

## آنالیز تفکیک پذیری طیف های حاصل از مشاهدات میدانی ارقام گندم و جوی ایرانی در مراحل مختلف رشد آن ها با استفاده از شاخص های گیاهی

بهنام بیگدلی<sup>۱\*</sup>، محمدجواد ولدان زوج<sup>۲</sup>، یاسر مقصودی مهران<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۸

### چکیده

تهیه ی اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت گندم و جو و میزان محصول آن ها، تأمین کننده ی مدیریت موفق و پایدار در سیاست گذاری های اقتصادی برای این دو کالای راهبردی می باشند. با افزایش قدرت تفکیک طیفی و مکانی داده های ماهواره ای، امکان تهیه ی چنین اطلاعاتی به صورت به هنگام و دقیق تا حدود زیادی فراهم شده است. بررسی بازتاب طیفی گیاهان با استفاده از طیفسنجی میدانی امکان تفکیک ارقام مختلف گندم و جو و تهیه ی نقشه ی پراکندگی آن ها را به ویژه در استفاده از سنجش از دور ابر طیفی افزایش می دهد. به همین منظور منحنی رفتار طیفی مربوط به ۹ رقم گندم و ۵ رقم جو در مزرعه ی موسسه ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج در چهار مرحله از مقاطع رشد اندازه گیری شدند. مشاهدات توسط دستگاه طیفسنج میدانی ASD FieldSpec®3 در دامنه طول موج ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر در نور و شرایط طبیعی اخذ گردیدند. در مرحله ی پیش پردازش سه محدوده ی نویزی متأثر از بخار آب، شناسایی و حذف شدند. سپس با استفاده از روش های آماری مشاهدات اشتباه کنار گذاشته شدند. به منظور بارسازی تفاوت های احتمالی بازتاب طیفی ارقام مورد مطالعه، ۶۵ شاخص گیاهی طیفی مهم و حساس به غلظت کلروفیل، شدت فتوسنتز، نیتروژن و میزان آب موجود در تاج گیاه و غیره برای طیف های هر چهار مرحله مشاهداتی محاسبه گردیدند. سپس از آنالیز آماری واریانس و آزمون جفتی توکی، جهت بررسی تفکیک پذیری ارقام مختلف گندم و جو استفاده شد. نتایج نشان می دهد که در مرحله ی سوم مشاهداتی، شاخص های بیشتری می توانند تعداد ارقام بیشتری را از همدیگر تفکیک کنند. این مطلب نویدبخش امکان تهیه ی نقشه ی ارقام مختلف گندم و جو بر اساس داده های سنجش از دوری است.

**کلیدواژه ها:** طیفسنجی میدانی، تفکیک ارقام گندم و جوی ایرانی، شاخص های گیاهی .

\* نویسنده مکاتبه کننده تهران، خیابان ولی عصر، بالاتر از میرداماد، پلاک ۱۳۴۶ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک.

تلفن : ۰۹۱۹۷۴۸۷۵۵۲

## ۱- مقدمه

استفاده از سنجش از دور برای کاربردهای کشاورزی یکی از عمده‌ترین زمینه‌های کاربردی این علم 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. مبنای مطالعات سنجش از دوری بر پایه بازتاب طیفی پدیده‌ها استوار است. در طیف‌سنجی با بررسی انرژی بازتابی به دریافت اطلاعات پرداخته می‌شود. از آنجایی که جذب انرژی الکترومغناطیس مربوط به هر عنصر و یا ترکیب شیمیایی خاص، در هر طول موج به میزان مشخصی رخ می‌دهد، با ثبت طیف بازتابی از سطح پدیده‌ها و بررسی ویژگی‌های جذبی آن‌ها می‌توان به عناصر و ترکیب‌های تشکیل دهنده هر پدیده پی برد. بنابراین، یکی از روش‌های اصلی تشخیص و تمییز مواد مختلف، تحلیل طیف بازتابی آن‌ها است. در سال‌های اخیر با پیدایش نسل جدید ماهواره‌های سنجش از دوری و با افزایش قدرت تفکیک طیفی آن‌ها، ضرورت آگاهی دقیق از بازتاب طیفی پدیده‌ها بیشتر شده است. داده‌های طیف‌سنجی برای مدیران بخش کشاورزی و منابع طبیعی به دلیل فراهم آوردن امکان دستیابی به اطلاعات مفید و به هنگام با استفاده از روش‌های غیر مخرب، ارزان و دقیق، اهمیت بسزایی یافته است. از جمله این اطلاعات، نقشه سطح زیر کشت محصولات زراعی است که یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی پایدار است. این مطالعات مخصوصاً در زمینه‌ی کالاهای استراتژیک کشور مثل گندم و جو که مهم‌ترین غلات رژیم غذایی مردم ایران هستند، از یک طرف و افزایش تنوع ارقام مختلف آن‌ها و تفاوت در میزان محصول دهی هر یک از آن‌ها و مقاومت متفاوت آن‌ها در مقابل تنش‌های آبی، آفات و امراض گیاهی از طرف دیگر، لزوم بررسی دقیق و به هنگام میزان محصول دهی ارقام مختلف آن‌ها را

ایجاد می‌کند. در ادامه برخی از مطالعاتی که در زمینه‌ی تفکیک گونه‌های گیاهی که بر اساس طیف‌سنجی صورت گرفته است، بررسی می‌شوند. در سال ۲۰۰۰، ون آردات در مطالعه‌ای به تمایز طیفی شش گونه درخت سوزنی و پهن‌برگ در ویرجینیای آمریکا پرداخت. وی بعد از انجام پردازش اولیه توسط فیلترهای مختلف با استفاده از تحلیل تشخیص گام به گام، طول موج‌های مناسب را برای تفکیک گونه‌ها انتخاب کرد [۲۵]. در سال ۲۰۰۴، ریچاردسون و همکارانش با استفاده از تحلیل چندمتغیره به بررسی تفاوت طیفی برگ دو گونه سوزنی برگ در مناطق رویشگاهی متفاوت از لحاظ ارتفاعی پرداختند. در این مطالعه از روش‌های تبدیل منحنی طیفی از قبیل مشتق اول و دوم نیز استفاده شده است. در این تحقیق استفاده از داده‌های جانبی مانند خصوصیات بیوشیمیایی برگ از قبیل رنگدانه‌های مختلف و استفاده از طول موج‌های مرتبط برای تفکیک هرچه دقیق‌تر گونه‌ها پیشنهاد شده است [۷]. در سال ۲۰۰۹، زومر و همکارانش جهت طبقه‌بندی و مدیریت پوشش گیاهی مرداب‌ها یا تالاب‌ها، یک کتابخانه طیفی با استفاده از طیف‌سنجی میدانی از انواع گیاهان موجود در پنج سایت مختلف واقع در آمریکا تشکیل دادند. سپس از این کتابخانه طیفی، جهت طبقه‌بندی تصویر فرا طیفی که از مردابی واقع در دلتای ساکرامنتو تهیه شده بود، استفاده نمودند. طبقه‌بندی تصویر بر اساس اندازه‌گیری زاویه طیفی ( $SAM^1$ ) انجام شد [۴۷]. رائو و زبل در سال ۲۰۱۱، پتانسیل انتقال کتابخانه طیفی مربوط به بازتابندگی تاج پوششی به منظور طبقه‌بندی محصولات با استفاده از داده‌های فرا طیفی را بررسی کردند. نتایج حاصل وجود همبستگی بالا بین طیف حاصل از مشاهدات میدانی و طیف حاصل از تصویر را برای

<sup>1</sup> Spectral Angle Mapper

همکارانش نیز در مطالعه‌ای شبیه به همین مطالعه، بر روی تفکیک‌پذیری دو محصول زمستانه گندم و شبنم و دو محصول تابستانه برنج و ذرت تحقیق نمودند [۴۹].

در مطالعات قبلی تغییرات ناشی از رشد و نمو گیاه در طول دوره‌ی رشد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. 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 بدون اینکه توجه شود آیا این مرحله از رشد گیاهان، جهت هدف تعیین‌شده مناسب هست یا خیر؟ هدف این مطالعه، طیف‌سنجی از چندین رقم گندم و جو ایرانی در چهار مرحله‌ی رویشی و سپس انجام آنالیز تفکیک‌پذیری طیفی این ارقام از همدیگر بر اساس تغییرات محتوای کلروفیل، شدت فتوسنتز، نیتروژن، مقدار رطوبت و ساختار تاج پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی موجود می‌باشد. در این پژوهش سعی شده است به این سؤالات پاسخ داده شود که: آیا طیف‌های اندازه‌گیری شده از همدیگر قابل تفکیک هستند؟ کدامیک از ارقام تفکیک‌پذیری خوبی دارند؟ چه شاخصی جهت تفکیک این طیف‌ها از همدیگر می‌توان به کار برد؟ در کدام مرحله از رشد، این ارقام، بالاترین تفکیک‌پذیری را از همدیگر دارند؟

## ۲- روش

### ۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

مشاهدات میدانی در مزرعه‌ی موسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج انجام گردید. در این مزرعه تمامی ارقام آبی گندم و جو ایرانی کشت می‌شوند. از بین این ارقام با راهنمایی کارشناسان کشاورزی، ۹ رقم گندم و ۵ رقم جو جهت انجام این مطالعه انتخاب شدند. ارقام گندم انتخاب شده عبارتند از آزادی، بهار، چمران، کرج ۱، کرج ۲، کرج ۳، پیش‌تاز، روشن و شیراز و پنج رقم

برخی محصولات نشان داد [۴۸]. در سال ۲۰۱۱، راثو و زیل در مطالعه‌ای دیگر بازتابندگی طیفی 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 کردند و از این داده‌ها جهت طبقه‌بندی تصویر فرا طیفی هواپردی که از منطقه‌ای واقع در ۱۰۰ کیلومتری دو سایت فوق در سال ۱۹۹۹ اخذ شده بود، استفاده نمودند [۴۲].

در سال ۲۰۱۱، درویش صفت و همکارانش بازتابندگی طیفی هفت رقم بومی برنج ایران به نام‌های فجر، هیبرید، خزر، نعمت، ندا، شیروودی و طارم را در مازندران با استفاده از طیف‌سنج میدانی فقط در یک مرحله رویشی جمع‌آوری نمودند. ایشان مجموعه‌ای منتخب از شاخص‌های طیفی مهم را محاسبه کردند. سپس از روش آماری آنالیز واریانس و آزمون جفتی توکی به منظور مقایسه جفتی رقم‌های برنج استفاده نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق نویدبخش امکان تهیه نقشه مناطق زیر کشت هر یک از رقم‌های برنج بر اساس داده‌های سنجش از دور فرا طیفی بود [۱]. در سال ۲۰۱۳، ابوالغار و همکارانش مطالعه‌ای با هدف تعیین محدوده‌ی فرا طیفی و باندی به منظور تفکیک چهار گونه مختلف از سیب‌زمینی کشت شده در منطقه بوحیرا در شمال کشور مصر انجام دادند. طیف‌سنجی در زمانی که سیب‌زمینی‌ها کاملاً رسیده بودند انجام شد. بعد از انجام پیش‌پردازش‌های لازم باندها را در شش زون اصلی آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه ۱ و مادون قرمز کوتاه ۲ دسته‌بندی کردند سپس آنالیز تفکیک خطی ( $LDA^1$ ) جهت شناسایی باندهای بهینه ویژه در زون‌های طیفی برای هر یک از گونه‌ها انجام دادند [۳۶]. در سال ۲۰۱۳، عرفات و

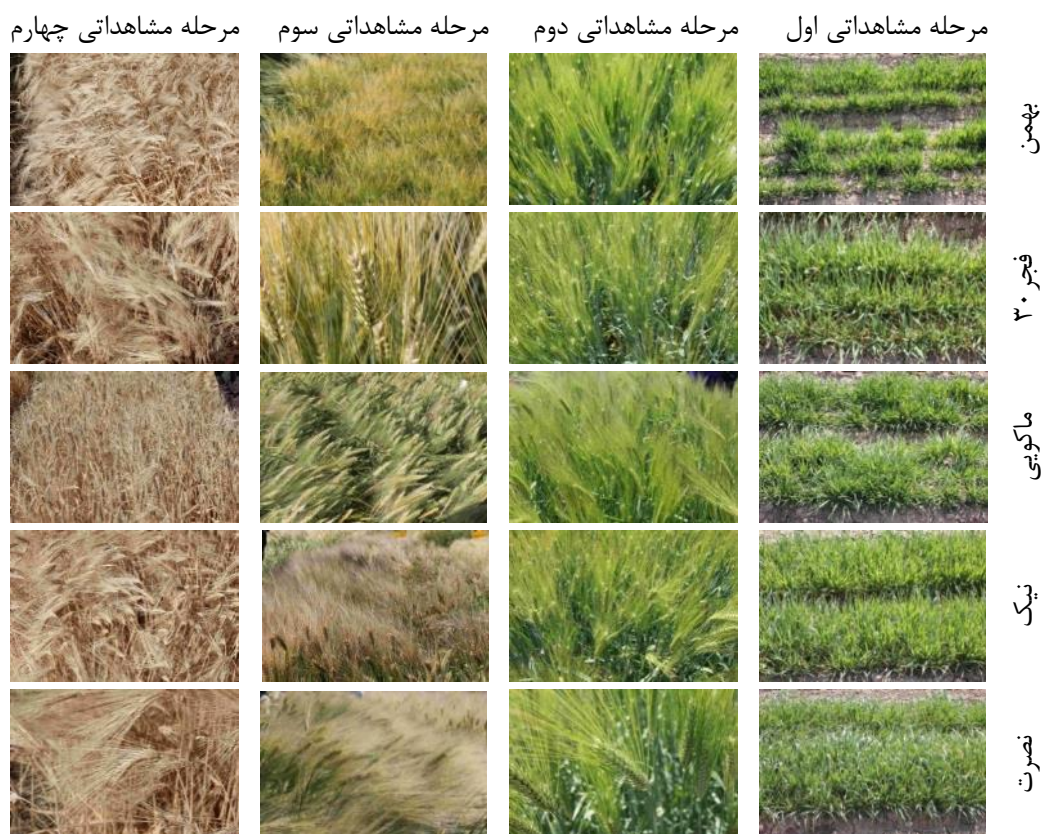
<sup>1</sup> Linear Discrimination Analysis

و جو به ترتیب در ۲۰ مهر و ۱۰ آبان کشت شدند، در ۲۶ مهر و ۱۵ آبان نیز اولین آبیاری شان انجام شد و تمامی محصولات به صورت همزمان در ۵ تیرماه ۱۳۹۲ برداشت شدند. طیف‌سنجی در چهار مرحله‌ی رویشی طبق جدول (۱)، صورت گرفت.

جوی انتخاب شده نیز عبارت‌اند از بهمن، فجر ۳۰، ماکویی، نیک و نصرت. شکل‌های (۲و۱) نمایی از ارقام مورد مطالعه را در چهار مرحله‌ی رویشی نشان می‌دهند. این ارقام غالباً در اقلیم معتدل ایران کشت می‌شوند. در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ همه‌ی ارقام گندم

جدول ۱: زمان اخذ داده‌های میدانی برای چهار مرحله‌ی مشاهداتی

مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم
۱۵ اسفند ۹۱	۷ اردیبهشت ۹۲	۲۹ اردیبهشت ۹۲	۳۰ خرداد ۹۲
پنجه زنی	گل دهی	خمیری شدن دانه	رسیدگی دانه



شکل ۱: نمایی از ارقام جو مورد مطالعه در هر چهار مرحله‌ی مشاهداتی





شکل ۲: نمایی از ارقام گندم مورد مطالعه در هر چهار مرحله‌ی مشاهداتی

## ۲-۲- طیف‌سنج میدانی

برای اندازه‌گیری طیف بازتابی پدیده‌های زمینی از طیف‌سنج استفاده می‌شود. طیف‌سنج‌ها در سه کلاس کلی آزمایشگاهی، میدانی (قابل حمل) و تصویربرداری تولید می‌شوند ولی اساس کار هر سه نوع بسیار شبیه هم است. اخذ سری زمانی تصاویر فرا طیفی مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است و پردازش آن‌ها سختی‌های مربوط به خود را دارد لذا فعلاً در این مطالعه از تصاویر فرا طیفی استفاده نشده است. از طرفی انتقال ارقام مورد نظر به آزمایشگاه امکان‌پذیر نبود. از طرفی دیگر جهت طرح ریزی برای مطالعات آتی و نائل آمدن به اهداف کاربردی مدیریت کشاورزی، بهتر است طیف‌سنجی در همان شرایط و محیط طبیعی صورت گیرد لذا روش اخذ داده‌های مورد نیاز، بر اساس طیف‌سنجی میدانی طرح‌ریزی شد. در این مطالعه از طیف‌سنج میدانی *ASD FieldSpec®3* استفاده گردید که شکل (۳)، نمایی از این مجموعه را نشان می‌دهد. محدوده‌ی طیفی این دستگاه از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است و در سه قسمت مجزا از دامنه طیف الکترومغناطیس به کار سنسور می‌پردازد. یک بخش در محدوده طیفی مرئی - مادون قرمز نزدیک و دو بخش دیگر در قسمت مادون قرمز موج کوتاه قرار می‌گیرد. در این مطالعه از زاویه میدان دید ۲۵ درجه‌ی این دستگاه استفاده شد [۱۸].



شکل ۳: مجموعه‌ی طیف‌سنج *ASD FieldSpec®3*

## ۲-۳- روش طیف‌سنجی

در مزرعه مورد نظر هر یک از ارقام در قطعاتی به ابعاد در حدود ۱۲ مترمربع کشت می‌شوند. به منظور کاهش 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. 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. پس از انجام هر پنج مشاهده به دلیل وابستگی شدید میزان بازتابندگی ثبت‌شده به صحت کالیبراسیون دستگاه طیف‌سنج، مرحله‌ی قرائت از صفحه مرجع و بهینه‌سازی تکرار می‌شد.

## ۲-۴- پیش‌پردازش

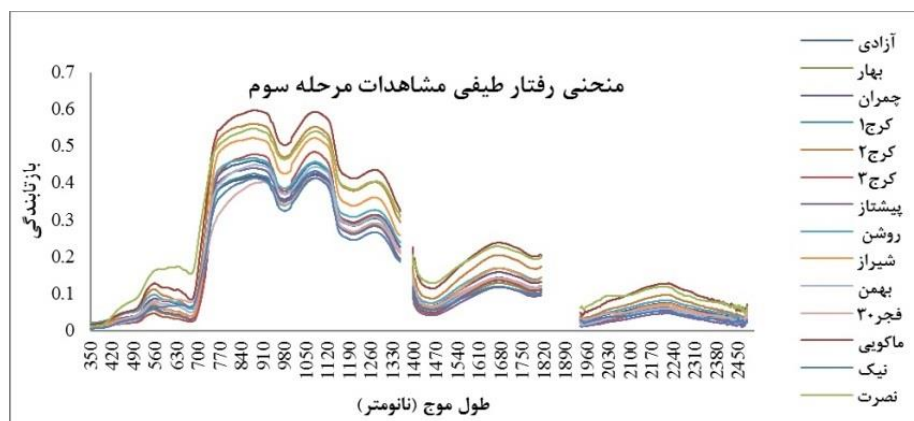
انرژی بازتاب شده توسط تارگت به وسیله سنجنده و فیبر نوری متصل به آن به خود دستگاه انتقال می‌یابد و از طریق اتصال رایانه قابل حمل به دستگاه، داده‌ها به رایانه منتقل می‌شوند. این داده‌ها توسط نرم‌افزار *RS<sup>3</sup>* پردازش، مشاهده، ثبت و ذخیره می‌شوند. مراحل کالیبراسیون، بهینه‌سازی و قرائت صفحه مرجع نیز توسط همین نرم‌افزار انجام می‌گیرد. بعد از تخلیه داده‌ها جهت انجام پردازش‌های لازمه 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 مشاهده موجود باشد. پس از آن باندهای نویزی و مشاهدات اشتباه حذف گردیدند.

## ۲-۴-۱- حذف باندهای نویزی

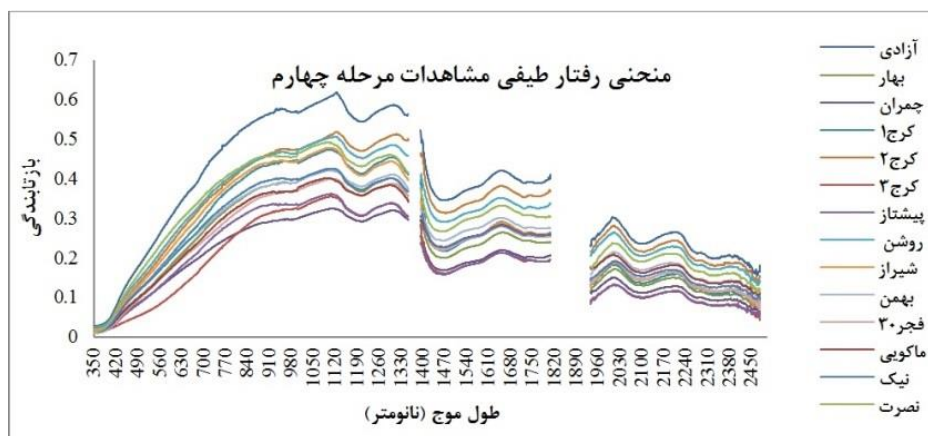
بخار آب در تمام محدوده بازتابی طیف خورشید دارای ویژگی‌های جذب است (شکل (۴)) که از نظر مکانی و زمانی متفاوت می‌باشد. به همین علت، بخار آب بزرگ‌ترین عامل ایجاد نویز در







شکل ۷: منحنی رفتار طیفی مشاهدات مرحله خمیری شدن پس از اعمال پیش پردازش‌ها



شکل ۸: منحنی رفتار طیفی مشاهدات مرحله رسیدگی دانه پس از اعمال پیش پردازش‌ها

## ۲-۵- شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات سنجش از دوری طراحی شده‌اند. بیش‌تر باندهایی که در محاسبه شاخص‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند. در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر بازتابندگی گیاهان کم است ولی میزان بازتابندگی در گذر از ناحیه سرخ به فروسرخ نزدیک افزایش ناگهانی می‌یابد. شاخص‌های گیاهی زیادی تا به حال معرفی شده‌اند و در چند دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: شاخص‌های نشان‌دهنده ساختار و سبزی‌نگی گیاهان، شاخص‌های ساختار و سبزی‌نگی گیاهان با اصلاح اثرات

خاک پس زمینه، شاخص‌های محتوای آب گیاهان، 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 ارقام گوناگون ما را در تفکیک ارقام از همدیگر یاری کنند. بنابراین برای طیف‌های حاصل از چهار مرحله مشاهداتی مقادیر ۶۵ شاخص طیفی که هر یک حساس به یکی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاه می‌باشند محاسبه گردید. هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در ضمیمه معرفی شده‌اند.



حاصل از رابطه‌ی فوق از مقدار  $F$  بزرگ‌تر باشد، فرض اولیه رد می‌شود. در رابطه‌ی (۱) صورت کسر یعنی  $MSB^2$ ، میانگین مربعات میان گروهی است که از تقسیم مجموع مربعات میان گروهی ( $SSB^3$ ) به درجه آزادی مربوطه یعنی  $(k-1)$  به دست می‌آید (رابطه (۲)).  
مخرج کسر نیز یعنی  $MSW^4$ ، میانگین مربعات درون گروهی است که طبق رابطه (۳) از تقسیم مجموع مربعات درون گروهی ( $SSW^5$ ) به درجه‌ی آزادی مربوطه یعنی  $(n-k)$  به دست می‌آید.

$$MSB = \frac{SSB}{k-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MSW = \frac{SSW}{n-k} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مجموع مربعات میان گروهی ( $SSB$ )، تغییرات مربوط به گروه‌ها و مجموع مربعات درون گروهی ( $SSW$ ) تغییرات مربوط به داخل گروه‌ها یا واریانس خطا را نشان می‌دهد که به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند (رابطه‌ی (۴) و (۵)). در این دو رابطه،  $x_{ij}$ ،  $j=1, \dots, n_i$ ،  $i=1, \dots, k$ ،  $x_{i0}$  مجموع مشاهدات در گروه  $i$  ام؛  $x_{00}$  مجموع کل مشاهدات در همه‌ی گروه‌ها؛  $\bar{x}_{00}$  میانگین کل مشاهدات؛  $n_i$  تعداد مشاهدات در گروه  $i$  ام؛  $n$  تعداد کل مشاهدات و  $\bar{x}_{i0}$  میانگین مشاهدات در هر گروه می‌باشند.

$$SSB = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_{i0} - \bar{x}_{00})^2 = \sum_{i=1}^k \frac{x_{i0}^2}{n_i} - \frac{x_{00}^2}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$SSW = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{i0})^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{x_{i0}^2}{n_i} \quad \text{رابطه (۵)}$$

اگر در آزمون آنالیز واریانس، تفاوت معناداری بین میانگین‌های گروه‌ها ثابت شود، با آزمون‌هایی تفاوت معنادار ما بین تمامی جفت گروه‌ها بررسی می‌شود که یکی از معروف‌ترین این آزمون‌ها روش توکی<sup>۶</sup> است.

## ۲-۶- آنالیز آماری واریانس یک طرفه و آزمون جفتی توکی

در این مطالعه جهت مقابله با عوامل ایجادکننده خطاهای تصادفی و سیستماتیک اولاً تا حد امکان طوری برنامه‌ریزی شد که طیف‌سنجی در شرایط آب و هوایی کاملاً ساکن و صاف صورت گیرد ثانیاً از هر رقم به تعداد زیادی مشاهده جمع‌آوری گردید. حال وقتی محاسبات یک شاخص روی یک رقم انجام می‌شود، خروجی یک عدد نخواهد بود بلکه به تعداد طیف‌های هر رقم خروجی به دست خواهد آمد. در نتیجه برای هر رقم در هر مرحله مشاهداتی و برای هر شاخص یک جامعه‌ی آماری با ۱۰ عضو تشکیل خواهد شد که دارای میانگین و واریانس معلوم‌اند. در این حالت جهت مقایسه‌ی دو جامعه‌ی آماری از آنالیز واریانس یک طرفه<sup>۱</sup> استفاده می‌گردد. آنالیز واریانس یک شیوه‌ی آماری کارآمد برای مقایسه‌ی یک ویژگی در بین چند گروه است. اگر ویژگی میانگین در بین  $K$  گروه در نظر گرفته شود، آنگاه فرض صفر این آزمون، یکسان بودن میانگین‌ها در تمام گروه‌ها خواهد بود و فرض ثانویه این است که حداقل بین دو گروه تساوی میانگین‌ها برقرار نباشد؛ یعنی حداقل میانگین یک گروه با بقیه متفاوت است. اگر فرض اولیه قبول شود آنالیز واریانس به پایان می‌رسد و نشان‌دهنده‌ی این است که بین میانگین گروه‌ها تفاوتی وجود ندارد. اما اگر فرض اولیه رد شود، نشان‌دهنده‌ی اختلاف میان گروه‌ها می‌باشد و باید به دنبال اختلاف‌ها بود. آماره‌ای که از آن برای رد یا پذیرش فرض صفر استفاده می‌شود، کسری است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۵۰ و ۵۱]:

$$V.R = \frac{MSB}{MSW} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقدار  $V.R$  با مقدار بحرانی  $F$  با درجه آزادی  $(k-1, n-k)$  مقایسه می‌شود. که در آن  $k$  بیانگر تعداد سطوح متغیر مستقل و  $n$  بیانگر تعداد کل نمونه‌ها است. اگر مقدار  $V.R$

<sup>2</sup> Mean Square for Between groups (MSB)

<sup>3</sup> Sum of Squares Between groups (SSB)

<sup>4</sup> Mean Square for Within groups (MSW)

<sup>5</sup> Sum of Squares Within groups (SSW)

<sup>6</sup> Tukey

<sup>1</sup> One-way Analysis Of Variance (ANOVA)

مشخص شدند.

### ۳-۱- معرفی مناسب‌ترین شاخص‌ها برای هر مرحله

با انجام آنالیز واریانس یک طرفه، شاخص‌هایی که حداقل یکی از ارقام را از سایر ارقام تفکیک می‌کنند، شناسایی شدند. البته این که کدام شاخص عملکرد بهتری نسبت به بقیه دارد بحث دیگری است که این آنالیز به تنهایی قادر به پاسخگویی نیست. نتایج حاصل به صورت کلی در شکل (۹) و به صورت جزئی‌تر در شکل (۱۰) نشان داده شده‌اند. طبق شکل (۹)، در مرحله اول ۱۷ شاخص، در مرحله دوم ۴۰ شاخص، در مرحله سوم ۶۳ شاخص و در مرحله چهارم مشاهداتی ۴۳ شاخص به عنوان شاخص‌های مناسبی که اختلاف معنی‌دار بین ارقام مختلف را تشخیص می‌دهند، شناسایی شده‌اند. از همین نتیجه، می‌توان چنین استنباط کرد که امید می‌رود در مرحله سوم، تفکیک‌پذیری قابل‌ملاحظه‌ای بین ارقام ملاحظه شود. از نتایج جالب این مرحله این است که شاخص اصلاح شده‌ی تبدیل جذب کلروفیل به بازتابندگی<sup>۲</sup> (MCARI2)، شاخص تنش رطوبت<sup>۳</sup> (MSI)، شاخص گیاهی مثلی اصلاح شده<sup>۴</sup> (MTVI2)، شاخص تفاضلی بهنجار فروسرخ<sup>۵</sup> (NDII)، شاخص گیاهی بهبود یافته‌ی تعدیل شده برای اثر خاک<sup>۶</sup> (OSAVI) و شاخص باند آبی<sup>۷</sup> (WBI) در هر چهار مرحله به عنوان یکی از شاخص‌های مناسب معرفی شدند ولی شاخص تفاضلی بهنجار لیگنین<sup>۸</sup> (NDLI) در هیچ یک از مراحل به‌عنوان شاخص مناسب معرفی نشد بنابراین در این مطالعه شاخص تفاضلی

این آزمون به  $HSD^1$  نیز معروف است. فرض اولیه این آزمون، تساوی میانگین‌های یک جفت گروه و فرض ثانویه آن عدم تساوی میانگین‌های همان جفت گروه مورد بررسی است. رابطه‌ی (۶) آماره‌ی آزمون را نشان می‌دهد که در آن  $\alpha$ ، سطح معنی‌دار برگزیده؛  $k$ ، تعداد میانگین‌ها در آزمایش؛  $n$ ، تعداد کل مشاهدات در آزمایش؛  $df$  درجه‌ی آزادی  $(n-k)$  و  $MSW$ ، میانگین مربعات خطای حاصله از آنالیز واریانس یک طرفه است. مقدار بحرانی  $q$  از جدول آماری مربوطه‌اش قابل حصول است.

$$HSD = q_{\alpha, k, df} \sqrt{\frac{MSW}{n}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

اگر اختلاف بین دو میانگین از مقدار آماره‌ی  $HSD$  بیشتر شود، فرض اولیه رد خواهد شد. یعنی دو میانگین با هم مساوی نیستند و از همدیگر اختلاف معناداری دارند [۵۰ و ۵۱].

### ۳- نتایج

در این مطالعه پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، ابتدا محاسبات مربوط به ۶۵ شاخص گیاهی مورد نظر برای هر یک از مشاهدات مربوط به هر رقم در هر چهار مرحله‌ی مشاهداتی انجام شد. در خروجی این مرحله برای هر رقم در هر مرحله مشاهداتی و برای هر شاخص یک جامعه‌ی آماری با فراوانی ۷ الی ۱۰ عضو حاصل شد. آنالیز واریانس یک طرفه جهت تعیین معنادار بودن اختلاف میانگین‌ها با سطح اطمینان  $(\alpha = 0.05)$  انجام شد. در ادامه جهت تعیین معناداری اختلاف هر یک از جفت ارقام برای هر شاخص از آزمون جفتی توکی با سطح اطمینان  $(\alpha = 0.01)$  استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که در هر مرحله کدام یک از جفت‌ها تفکیک‌پذیرند و در کدام مرحله مشاهداتی، بیش‌ترین تفکیک‌پذیری بین ارقام وجود دارد و همچنین در هر مرحله شاخص‌هایی که به بهترین نحو ارقام را از همدیگر تفکیک می‌کنند،

<sup>2</sup> Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance

<sup>3</sup> Moisture Stress

<sup>4</sup> Modified triangular vegetation Index 2

<sup>5</sup> Normalized Difference IR

<sup>6</sup> Optimized soil adjusted vegetation Index

<sup>7</sup> Water Band Index

<sup>8</sup> Normalized Difference Lignin Index

<sup>1</sup> Tukey's Honestly Significant Difference (HSD)

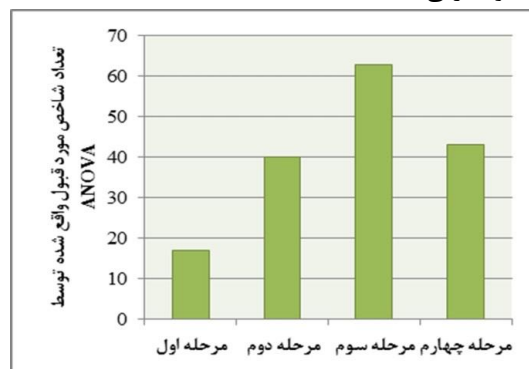
مختلف شاهد ۵۵ حالت جهت مقایسه جفتی ارقام مختلف بودیم ولی در سایر مراحل مشاهداتی طیف‌های مربوط به ۱۴ رقم گندم و جو موجود بود لذا جهت بررسی تفکیک‌پذیری ارقام مختلف شاهد ۹۱ حالت جهت مقایسه جفتی ارقام مختلف بودیم.

در نتایج حاصل برای مرحله مشاهداتی اول، تنها ۳ شاخص توانستند بیش از ۵۰ درصد جفت‌های ممکن را از همدیگر تفکیک کنند. شاخص  $NPI$  توانست با تفکیک ۳۸ جفت (۶۹٪) از همدیگر به عنوان مناسب‌ترین شاخص یعنی شاخصی که توانست تعداد بیشتری از ارقام را از همدیگر تفکیک کند، شناخته شود. شاخص تفاضلی بهنجار فروسرخ ( $NDII$ ) و شاخص انحنا ( $CUR^3$ ) نیز عملکرد خوبی داشتند (شکل ۱۱-الف).

در نتایج حاصل برای مرحله مشاهداتی دوم، تنها ۳ شاخص توانستند بیش از ۵۰ درصد جفت‌های ممکن را از همدیگر تفکیک کنند. شاخص باند آبی ( $WBI$ ) با تفکیک ۵۴ جفت (۵۹٪) از همدیگر به عنوان مناسب‌ترین شناسایی شد. شاخص  $NPI^4$  و شاخص بازتابندگی فتوشیمیایی ( $PRI^5$ ) نیز با تفکیک ۵۱ جفت (۵۶٪) عملکرد قابل قبولی داشتند (شکل ۱۱-ج).

در نتایج حاصل برای مرحله مشاهداتی سوم، ۴۸ شاخص توانستند بیش از ۵۰ درصد جفت‌های ممکن را از همدیگر تفکیک کنند. در این بین شاخص لیچنهالر<sup>۲</sup> ( $LIC2^6$ ) و شاخص بازتابندگی فتوشیمیایی ( $PRI$ ) با تفکیک ۶۸ جفت (۷۴٪)، شاخص نسبت آبی به سرخ<sup>۲</sup> ( $BRI2^7$ ) و شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار بهبود یافته ( $mNDVI^8$ ) با تفکیک ۶۷ جفت (۷۳٪)، شاخص بازتابندگی

بهنجار لیگنین ( $NDLI$ ) در بین ۶۵ شاخص معرفی شده به عنوان نامناسب‌ترین شاخص جهت تفکیک ارقام گندم و جو معرفی شد.



شکل ۹: تعداد شاخص‌های مورد قبول واقع شده توسط آنالیز واریانس یک طرفه

در شکل (۱۰)، در هر مرحله مشاهداتی برای هر شاخص تعداد جفت‌هایی که توسط آن شاخص تفکیک‌پذیر شناخته شده‌اند، آورده شده است. در این نمودارها شاخص‌هایی که مقادیر صفر گرفته‌اند (یعنی، هیچ میله‌ای برایشان ترسیم نشده است)، آن‌هایی هستند که در مرحله‌ی آنالیز واریانس، رد شده‌اند. به عنوان مثال در نمودار ۷ الف، شاخص نسبت آبی به سبز<sup>۲</sup> ( $BGI2^1$ ) در مرحله اول ۲۶ جفت را از همدیگر تفکیک کرده ولی شاخص مقدار آنتوسیانین ( $ACI^2$ ) در همین مرحله توسط آنالیز واریانس رد شده است.

### ۳-۲- معرفی بهترین شاخص‌ها برای هر مرحله

با محاسبه انواع شاخص‌ها برای تمامی طیف‌های موجود و انجام آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون جفتی توکی برای تمامی جفت‌های ممکن، میزان قدرت این شاخص‌ها جهت تفکیک ارقام مختلف از یکدیگر در هر چهار مرحله مورد سنجش قرار گرفت. البته در مرحله مشاهداتی اول به دلیل از دست دادن طیف‌های مربوط به ارقام گندم بهار، پیشتاز و شیراز در نهایت ۱۱ طیف از ارقام گندم و جو باقی ماند. بنابراین جهت بررسی تفکیک‌پذیری ارقام

<sup>3</sup> Curvature Index

<sup>4</sup> Normalized Phaeophytinization Index

<sup>5</sup> Photochemical Reflectance Index

<sup>6</sup> Lichtenthaler

<sup>7</sup> Blue/Red Index 2

<sup>8</sup> Modified Red Edge Normalized difference vegetation Index

<sup>1</sup> Blue Green Pigment Index

<sup>2</sup> Anthocyanin Content Index

شاخص تنس رطوبت ( $MSI$ )، شاخص تفاضلی بهنجار فروسرخ ( $NDII$ ) و شاخص مجموع سبز ( $SG^{10}$ ) توانستند به ترتیب با تفکیک ۴۱، ۳۹، ۳۸، ۳۷ و جفت (۰/۴۵/۱، ۰/۴۲/۹، ۰/۴۱/۸، ۰/۴۰/۷ و ۰/۴۰/۷) از همدیگر به عنوان مناسبترین شاخصها، شناخته شوند (شکل (۱۱-ز)).

شکل (۱۱-ب) خروجی شاخص نسبت آبی به سرخ ۲ ( $BRI2^{11}$ ) را برای طیفهای مرحله‌ی مشاهداتی اول را نشان می‌دهد. بر اساس آنالیز واریانس یک طرفه این شاخص نتوانسته است تفاوت معناداری بین طیف ارقام مختلف قائل شود به عبارت بهتر مقدار شاخص حداقل برای یک رقم با سایر ارقام متفاوت نبوده است لذا توسط این آنالیز رد شده است به همین علت وارد آزمون جفتی توکی نیز نشده است. به همین ترتیب شکل (۱۱-د) مقدار شاخص بازتابندگی آنتوسیانین ۱ ( $ARI1^{12}$ ) برای طیفهای مرحله‌ی دوم، شکل (۱۱-و) مقدار شاخص تفاضلی بهنجار لیگنین ( $NDLI$ ) برای طیفهای مرحله‌ی سوم و شکل (۱۱-ح) مقدار شاخص انحنا ( $CUR^{13}$ ) برای طیفهای مرحله‌ی چهارم را نشان می‌دهند که این شاخصها نیز رد شده‌اند.

با توجه به نتایج حاصل در چهار بند اخیر مشخص می‌شود که در مرحله‌ی سوم تعداد شاخص بیشتری قادر به تفکیک ارقام مختلف از همدیگر است. به عبارت دیگر در این مرحله شاهد تفکیک پذیری قابل توجه طیفها نسبت به سایر مراحل هستیم.

آنتوسیانین ۲ ( $ARI2^1$ ) و شاخص وگلمن ۱ ( $VOG1^2$ ) با تفکیک ۶۵ جفت (۰/۷۱/۴) و شاخص نسبت آبی به سرخ ۱ ( $BRI1^3$ )، شاخص بهنجار رنگدانه‌ی کلروفیل ۴ ( $NPCI^4$ )، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار لبه قرمز ( $NDVI705^5$ ) و شاخص وگلمن ۲ ( $VOG2^6$ ) با تفکیک ۶۴ جفت (۰/۷۰/۳) از همدیگر به عنوان مناسبترین شناخته شدند (شکل (۱۱-ه)). در این مرحله از بین ۶۵ شاخص استفاده شده تنها شاخص تفاضلی بهنجار لیگنین ( $NDLI^7$ ) و شاخص تفاضلی بهنجار آب ( $NDWI^8$ ) به دلیل رد شدن در مرحله‌ی آنالیز واریانس یک طرفه به عنوان نامناسبترین شاخص معرفی شدند. آن چیزی که سبب شده است شاخص بازتابندگی فتوشیمیایی ( $PRI$ ) در این مرحله عملکرد خوبی داشته باشد این است که این شاخص به نوعی نشان دهنده‌ی میزان رسیدگی گیاه می‌باشد. به عبارت دیگر هر چقدر گیاه رسیده‌تر باشد مقدار این شاخص عدد بزرگ تری را نشان خواهد داد. از آنجایی که جو زودرس تر از گندم می‌باشد لذا در این مرحله مشاهداتی شاهد شرایطی هستیم که ارقام جو به مرحله‌ی رسیدگی کامل نزدیک‌تر شده‌اند ولی ارقام گندم هنوز به این مرحله از رشد نرسیده‌اند به همین علت ارقام گندم و جو به خوبی از هم تفکیک شده‌اند.

در نتایج حاصل برای مرحله مشاهداتی چهارم، هیچ شاخصی نتوانست بیش از ۵۰ درصد جفت‌های ممکنه را از همدیگر تفکیک کند. در بهترین حالت شاخص تفاضلی بهنجار نیتروژن ( $NDNI^9$ )، شاخص باند آبی ( $WBI$ )،

<sup>1</sup> Anthocyanin Reflectance Index2

<sup>2</sup> Vogelmann Index 1

<sup>3</sup> Blue/Red Index 1

<sup>4</sup> Normalized pigment chlorophyll Index

<sup>5</sup> Normalized difference vegetation Index

<sup>6</sup> Vogelmann Index 2

<sup>7</sup> Normalized Difference Lignin Index

<sup>8</sup> Normalized Difference Water

<sup>9</sup> Normalized Difference Nitrogen Index

<sup>10</sup> Sum Green Index

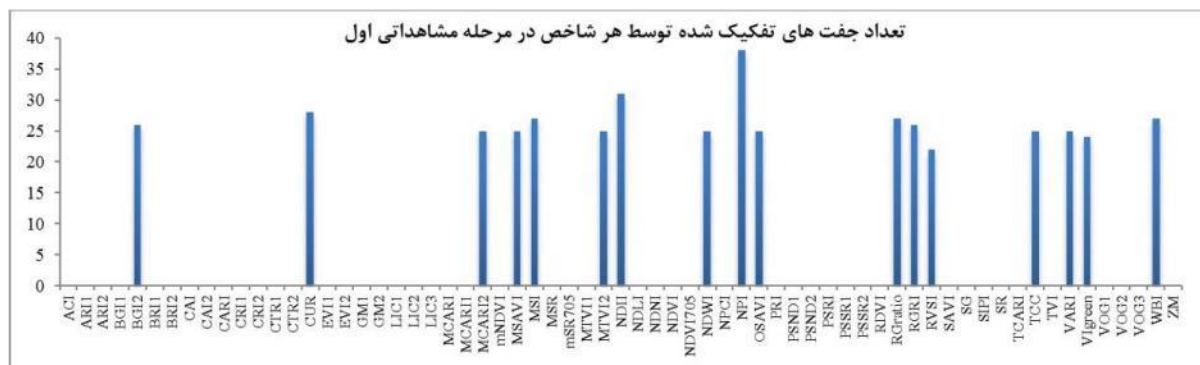
<sup>11</sup> Blue/Red Index 2

<sup>12</sup> Anthocyanin Reflectance Index1

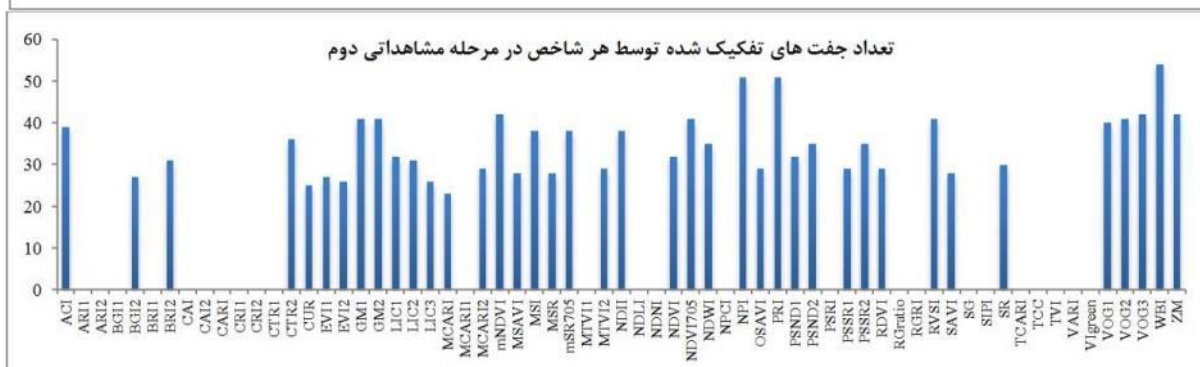
<sup>13</sup> Curvature Index



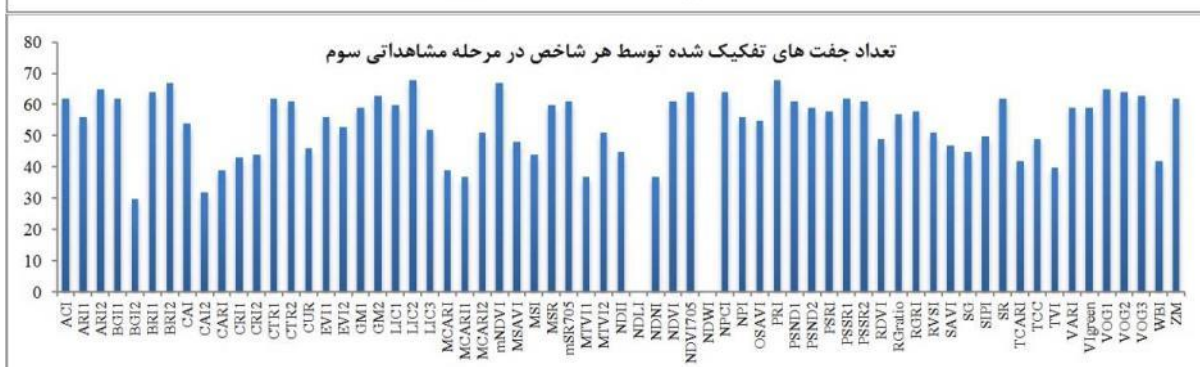
الف



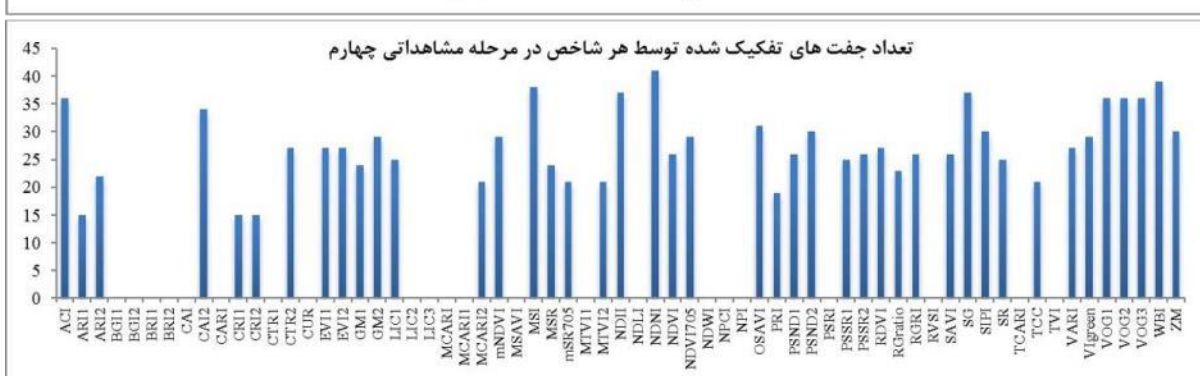
ب



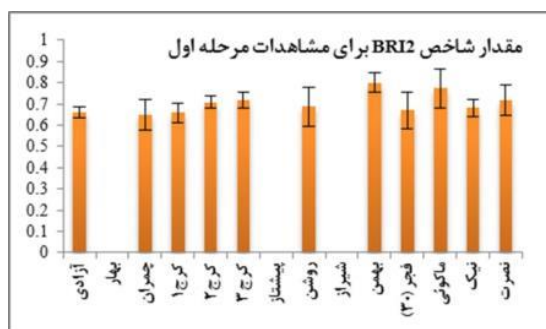
ج



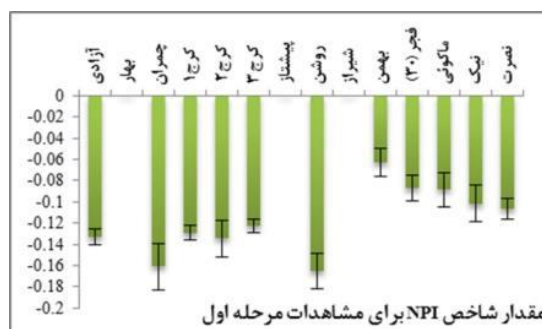
د



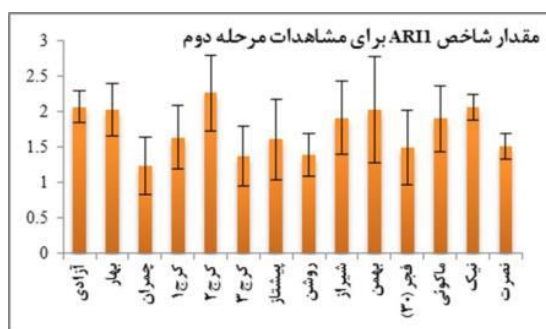
شکل ۱۰: تعداد جفت‌های تفکیک‌شده توسط هر شاخص در هر چهار مرحله مشاهداتی (در این نمودارها شاخص‌هایی که هیچ میله‌ای برایشان ترسیم نشده است، آن‌هایی هستند که در مرحله‌ی آنالیز واریانس یک طرفه به‌عنوان شاخص نامناسب شناسایی شده‌اند)



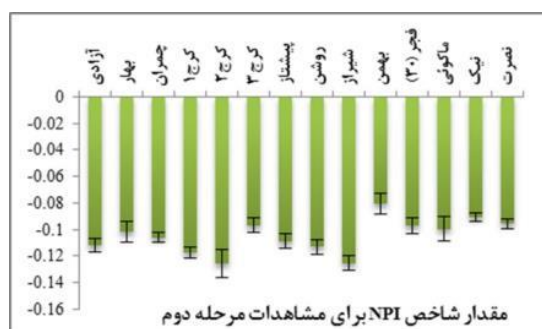
ب



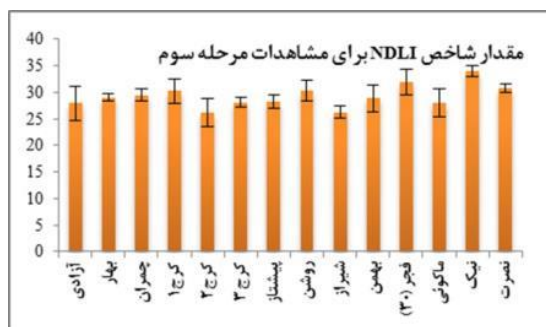
الف



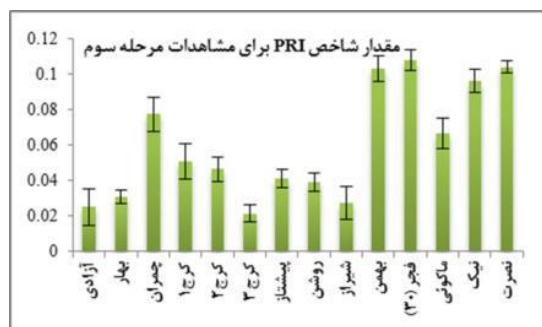
د



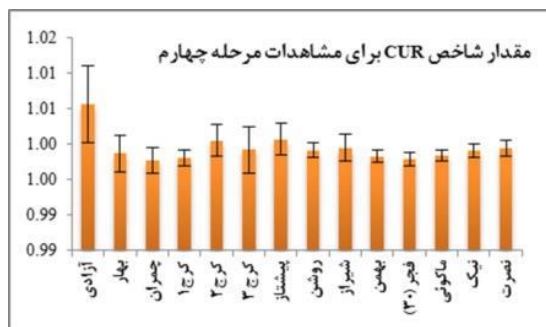
ج



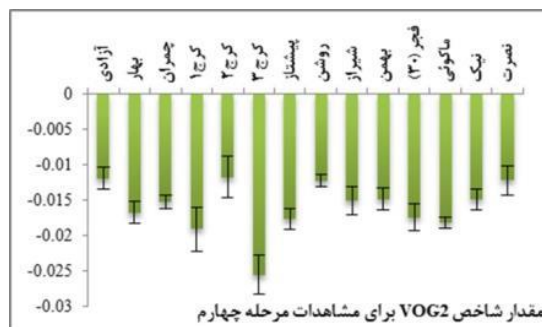
و



ه



ح



ز

شکل ۱۱: مقادیر برخی از شاخص‌های محاسبه‌شده (نمودارهای سمت راست مربوط به شاخص‌هایی است که جهت تفکیک ارقام عملکرد مناسبی داشته‌اند و نمودارهای سمت چپ مربوط به شاخص‌هایی است که عملکرد مناسبی نداشته و در مرحله‌ی آنالیز واریانس رد شده‌اند).

شناخته شدند، معرفی شده‌اند. جدول (۳) نیز تفکیک‌ناپذیرترین جفت ارقام را نشان می‌دهد. به این ترتیب که آن دست از جفت ارقامی که توسط بیش از ۹۵ درصد شاخص‌ها از همدیگر تفکیک‌ناپذیر شناخته شدند، معرفی شده‌اند.

جدول ۲: تفکیک‌پذیرترین جفت ارقام (جفت ارقامی که توسط بیش از ۸۰ درصد شاخص‌ها از همدیگر تفکیک شدند)

مرحله مشاهداتی	تفکیک‌پذیرترین جفت ارقام
اول (پنجه‌زنی)	—
دوم (گل‌دهی)	—
سوم (خمیری شدن)	آزادی و فجر ۳۰؛ آزادی و نصرت؛ بهار و فجر ۳۰؛ بهار و نصرت؛ کرج ۳ و چمران؛ شیراز و چمران؛ کرج ۱ و نصرت؛ کرج ۲ و فجر ۳۰؛ کرج ۲ و نصرت؛ کرج ۳ و فجر ۳۰؛ ماکویی و کرج ۳؛ نصرت و کرج ۳؛ پیشتاز و فجر ۳۰؛ روشن و نصرت؛ پیشتاز و نصرت؛ شیراز و فجر ۳۰؛ شیراز و نصرت
چهارم (رسیدگی)	—

جدول ۳: تفکیک‌ناپذیرترین جفت ارقام (ارقامی که توسط بیش از ۹۵ درصد شاخص‌ها از همدیگر تفکیک نشدند)

مرحله مشاهداتی	تفکیک‌ناپذیرترین جفت ارقام
اول (پنجه‌زنی)	آزادی و کرج ۲؛ آزادی و کرج ۳؛ روشن و چمران؛ فجر ۳۰ و چمران؛ نیک و چمران؛ کرج ۱ و کرج ۲؛ کرج ۱ و کرج ۳؛ نصرت و کرج ۲؛ نصرت و کرج ۳؛ نیک و روشن؛ نصرت و روشن؛ بهمن و فجر ۳۰؛ بهمن و ماکویی؛ بهمن و نیک؛ ماکویی و فجر ۳۰؛ نیک و فجر ۳۰؛ نصرت و فجر ۳۰؛ نیک و ماکویی؛ نصرت و ماکویی؛ نصرت و نیک.
دوم (گل‌دهی)	آزادی و کرج ۲؛ آزادی و شیراز؛ چمران و بهار؛ روشن و بهار؛ بهار و فجر ۳۰؛ روشن و چمران؛ کرج ۱ و کرج ۳؛ کرج ۱ و پیشتاز؛ کرج ۱ و شیراز؛ کرج ۲ و شیراز؛ پیشتاز و روشن؛ پیشتاز و نصرت؛ نصرت و روشن؛ بهمن و فجر ۳۰؛ نیک و بهمن؛ نصرت و بهمن؛ نصرت و فجر ۳۰؛ نصرت و ماکویی.
سوم (خمیری شدن)	آزادی و بهار؛ پیشتاز و آزادی؛ آزادی و شیراز
چهارم (رسیدگی)	آزادی و روشن؛ آزادی و بهمن؛ آزادی و نیک؛ بهار و کرج ۱؛ بهار و پیشتاز؛ بهار و شیراز؛ بهار و نیک؛ روشن و چمران؛ بهمن و چمران؛ چمران و فجر ۳۰؛ چمران و نیک؛ کرج ۱ و فجر ۳۰؛ کرج و ماکویی؛ کرج ۲ و روشن؛ کرج ۲ و بهمن؛ پیشتاز و شیراز؛ پیشتاز و فجر ۳۰؛ بهمن و روشن؛ نیک و روشن؛ شیراز و ماکویی؛ نیک و شیراز؛ بهمن و فجر ۳۰؛ بهمن و ماکویی؛ نیک و بهمن؛ فجر ۳۰ و ماکویی؛ فجر ۳۰ و نیک؛ ماکویی و نیک.

تفکیک بیش از ۸۰ درصد جفت‌های موجود از همدیگر می‌باشند، آورده شده است. بر اساس این شکل و جدول (۴)، در مرحله سوم، ۵۶ جفت (۶۲٪) از ارقام مختلف گندم و جو توسط بیش از ۵۰ درصد شاخص‌های مورد استفاده از همدیگر تفکیک شده‌اند. از طرفی دیگر در همین مرحله به تعداد ۳۶ جفت (۸۰٪) از جفت‌هایی که ترکیب گندم-جو بودند

### ۳-۳- معرفی تفکیک‌پذیرترین و تفکیک‌ناپذیرترین جفت ارقام

جدول (۲)، تفکیک‌پذیرترین جفت ارقام را نشان می‌دهد. جفت ارقامی که توسط بیش از ۸۰ درصد شاخص‌ها از همدیگر تفکیک‌پذیر

### ۳-۴- معرفی تفکیک‌پذیرترین و مرحله‌ی مشاهداتی

آن گونه که بیان شد یکی از اهداف اساسی این مطالعه شناسایی بهترین مرحله مشاهداتی (مرحله رشد) یعنی مرحله‌ای که در آن بیش‌ترین تفکیک‌پذیری بین ارقام مختلف وجود دارد، است. در شکل (۱۲) برای هر مرحله‌ی مشاهداتی تعداد شاخص‌هایی که قادر به

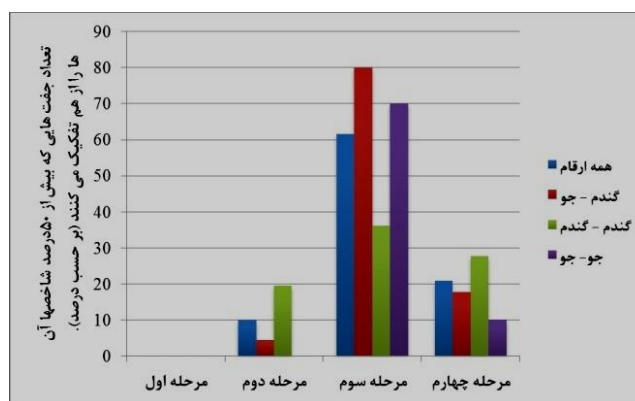
بر می‌گردد چرا که ایشان به دنبال تفکیک گندم از جو و در سطحی بالاتر به دنبال تفکیک ارقام آبی و دیم این دو محصول زراعی از همدیگر و در نهایت تعیین سطح زیر کشت می‌باشند. البته در این مطالعه اکثر ارقام مورد مطالعه به صورت آبی کشت می‌شوند. همان طور که از شکل (۱۲) معلوم است در هر چهار مرحله شاهد تفکیک گندم از جو هستیم ولی در این بین، مرحله سوم مشاهداتی بهترین نتیجه را ارائه داده است. به عبارت دیگر اگر قرار باشد بتوان به طریق سنجش از دور بین ارقام مختلف تفاوت قائل شد و به سطح زیر کشت ارقام مورد مطالعه دست یافت، گندم و جوهای موجود در یکی از تصاویر اخذ شده از منطقه باید در سن رشدی متناسب با مرحله‌ی مشاهداتی سوم قرار داشته باشند.

توسط بیش از ۵۰ درصد شاخص‌های مورد نظر از همدیگر تفکیک شده‌اند. همچنین به تعداد ۱۳ جفت (۳۶٪) از جفت‌هایی که ترکیب گندم-گندم بودند و به تعداد ۷ جفت (۷۰٪) از جفت‌هایی که ترکیب جو-جو بودند توسط بیش از ۵۰ درصد شاخص‌های در نظر گرفته شده از همدیگر تفکیک شده‌اند. بنابراین مرحله سوم از هر لحاظ (تفکیک همه ارقام از یکدیگر، تفکیک گندم از جو، تفکیک ارقام گندم از همدیگر، تفکیک ارقام جو از همدیگر) مناسب‌ترین مرحله مشاهداتی برای اهداف تعیین شده است.

نکته حائز اهمیت در این بین که بسیار مهم و قابل توجه می‌باشد تفکیک گندم از جو است. علت این اهمیت به صورت مسئله سازمان‌های مرتبط با جهاد کشاورزی

جدول ۴: تعداد جفت‌های ممکن از هر یک از ترکیب‌های مورد نظر

تعداد جفت‌های ممکن	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم
همه ارقام	۵۵	۹۱	۹۱	۹۱
گندم - جو	۳۰	۴۵	۴۵	۴۵
گندم - گندم	۱۵	۳۶	۳۶	۳۶
جو - جو	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰



شکل ۱۲: تعداد جفت‌هایی که بیش از ۵۰ درصد شاخص‌ها آن‌ها را از هم تفکیک می‌کنند (بر حسب درصد).

آنالیز تفکیک‌پذیری آن‌ها از یکدیگر، اندازه‌گیری شد. در مرحله اول (پنجه زنی)، هر ۱۴ رقم از شباهت بالایی برخوردار بودند. در مرحله‌ی مشاهداتی دوم، سنبله‌ها شکل گرفته و مشغول گل‌دهی و گرده‌افشانی بودند و

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه منحنی رفتار طیفی ۹ رقم گندم و ۵ رقم جوی ایرانی در چهار مرحله‌ی رویشی با استفاده از طیف‌سنج میدانی به منظور



به طریق سنجش از دور بین ارقام مختلف تفاوت قائل شد و به سطح زیر کشت ارقام مورد مطالعه دست یافت، تصویری که در آن، گندم و جوه‌های موجود، در سن رشدی متناسب با مرحله‌ی مشاهداتی سوم (خمیری شدن دانه قبل از رسیدن کامل آن) قرار داشته باشند، نقشی کلیدی بازی خواهد کرد. اکنون سؤالی که مطرح می‌شود این است که آیا این میزان تفاوت بین طیف‌ها را می‌توان در تصاویر سنجش از دوری فرا طیفی یا حتی چند طیفی نیز ملاحظه نمود؟

### تشکر و قدردانی

در این مطالعه از داده‌های کتابخانه‌ی طیفی ملی ایران که با هزینه‌ی سازمان فضایی ایران و به همت تیم تحقیقاتی دانشکده‌ی ژئودزی و ژئوماتیک خواجه نصیرالدین طوسی تهیه شده است، استفاده شد. لذا بر خود لازم می‌داریم از مدیریت سازمان فضایی کشور، مدیریت و کارکنان موسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و تیم تحقیقاتی دانشکده‌ی ژئودزی و ژئوماتیک خواجه نصیرالدین طوسی از جمله آقایان دکتر مهدی مختارزاده و دکتر محمودرضا صاحبی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

به لحاظ ساختار تاج پوششی، تعداد برگ‌ها، ارتفاع و ساختار ساقه‌ها، طول و تراکم سنبله‌ها و مواردی از این قبیل به لحاظ بصری تفاوت‌ها قابل احساس بود. همین تفاوت‌ها تا حدودی خود را در منحنی رفتار طیفی نیز نشان دادند. ولی در مرحله‌ای که ارقام گندم و جو در مقطع خمیری شدن دانه قرار داشتند و هنوز به مرحله‌ی رسیدگی کامل دانه نرسیده بودند و به لحاظ ترکیب رنگی، دارای رنگ سبز مایل به زرد و قرمز بودند، شاهد بیش‌ترین تفاوت بین طیف‌های ارقام مختلف بودیم. با این همه، باز هم ارقامی وجود داشتند که حتی در این مرحله نیز تفکیک‌پذیر نبودند. در این مرحله از رشد، تفکیک‌پذیری گندم از جو به صورت چشم‌گیری قابل ملاحظه بود که علت آن نیز زودرس‌تر بودن جو نسبت به گندم است. پس از رسیدن زرد رنگ شدن دانه‌ها، بار دیگر شباهت طیفی افزایش یافت.

در این مطالعه جهت تعیین وجود یا عدم شباهت طیفی از آنالیز واریانس و آزمون جفتی توکی بر اساس ۶۵ شاخص گیاهی، استفاده شد. در این بین، شاخص لیچنهالر ۲ ( $LIC2$ ) و شاخص بازتابندگی فتوشیمیایی ( $PRI$ ) با تفکیک ۶۸ جفت ( $0.74/7$ ) در مرحله‌ی مشاهداتی سوم بهترین عملکرد را داشتند. با توجه به نتایج تحقیق، اگر قرار باشد بتوان

### مراجع

- [1] A. A. Darvishsefat, M. Abbasi, M. E. Schaeppman, "Evaluation of Spectral Reflectance of Seven Iranian Rice Varieties Canopies", J. Agr. Sci. Tech. Vol. 13: 1091-1104, 2011.
- [2] A. A. Gitelson, and M. N. Merzlyak, "Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L and *Acer platanoides* L. leaves: spectral features and relation to chlorophyll estimation", Journal of Plant Physiology, 143, 286-292, 1994.
- [3] A. A. Gitelson, and M. N. Merzlyak, "Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves", International Journal of Remote Sensing, 18, 2691-2697, 1997.
- [4] A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, R. Stark, and D. Rundquist, "Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction", Remote Sensing of Environment, 80, 76-87, 2002.
- [5] A. A. Gitelson, M. N. Merzlyak, and O. B. Chivkunova, "Optical properties and non-destructive estimation of anthocyanin

- content in plant leaves", *Photochemistry and Photobiology*, 74: 38 – 45, 2001.
- [6] A. D. Richardson, G. P. Berlyn, and S. P. Duigan, "Reflectance of Alaskan black spruce and white spruce foliage in relation to elevation and latitude", *Tree Physiology*, 23, 537-544, 2003.
- [7] A. D. Richardson, J. B. Reeves Iii, and T. G. Gregoire, "Multivariate analyses of visible/near infrared (VIS/NIR) absorbance spectra reveal underlying spectral differences among dried, ground conifer needle samples from different growth environments", *New Phytologist*, 301-291, 161, 2004.
- [8] A. K. Van den Berg, and T.D. Perkins, "Nondestructive estimation of anthocyanin content in autumn maple leaves", *HortScience* 40:685–686, 2005.
- [9] A. R. Huete, "A soil-adjusted vegetation index", *Remote Sensing of Environment*, 25, 295–309, 1988.
- [10] A. R. Huete, C. Justice, L.W. Van, "MODIS vegetation index (MOD13) algorithm theoretical basis document". [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf), 1999.
- [11] B. Gao, "NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space", *Remote Sensing of Environment*, 58:257–266, 1996.
- [12] C. S. T. Daughtry, C. L. Walthall, M. S. Kim, E. B. de Colstoun, and J. E. McMurtrey, III., "Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance", *RSE*, 74, 229–239, 2000.
- [13] C. S.T. Daughtry, "Discriminating crop residues from soil by shortwave infrared reflectance", *Agron. J.* 93, 125–131, 2001.
- [14] D. A. Sims, J. A. Gamon, "Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features", *Remote Sensing of Environment*, 526–537, 2003.
- [15] D. A. Sims, and J. A. Gamon, "Relationship between pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages", *RSE*, 81, 337-354, 2002.
- [16] D. Haboudane, J. R. Miller, E. Pattey, P. J. Zarco-Tejada, and I. B. Strachan, "Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agricultura", *Remote Sensing of Environment*, 90, 337–352, 2004.
- [17] E. R. Hunt, and B. N. Rock, "Detection of changes in leaf water content using near and middle infrared reflectance", *Remote sensing of Environment*, 30, 43-54, 1989.
- [18] [FieldSpec® 3 User Manual, ASD Inc, ASD Document 600540 Rev, 2010.
- [19] G. A. Blackburn, "Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves", *International Journal of Remote Sensing*, 19, 657–675, 1998.
- [20] G. A. Carter, "Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands s indicators of plant stress", *int. J. Remote Sensing*, 15,697-703, 1994.
- [21] G. Rondeaux, M. Steven, and F. Baret, "Optimization of soil adjusted vegetation index", *Remote Sensing of Environment*, 24, 109–127, 1996.
- [22] H. K. Lichtenthaler, A. Gitelson, and M. Lang, "Non-destructive determination of chlorophyll content of leaves of a green and an aurea mutant of tobacco by reflectance measurements", *Journal of Plant Physiology*, 148, 483-493, 1996.
- [23] Introduction to Hyperspectral Imaging, MicroImages Inc, Lincoln, NE, <http://www.microimages.com/documentation/Tutorials/hyprspec.pdf>, 2010.
- [24] J. A. Gamon, J., Penuelas, and C. B. Field, "A narrow waveband spectral index that

- tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency", *Remote Sensing of Environment*, 41, 35± 44, 1992.
- [25] J. A. N. Van Aardat, "Spectral separability among six southern tree species", MSc Thesis, Virginia polytechnic institute and state university Blacksburg, USA. Pp. 184, 2000.
- [26] J. D. Barnes, L. Balaguer, E. Manrique, S. Elviras, and A.W. Davison, "reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants", *Environmental Experimental Botany*, 2, 85-100, 1992.
- [27] J. E. Vogelmann, B. N. Rock, and D. M. Moss, "Red-edge spectral measurements of sugar maple leaves", *International Journal of Remote Sensing*, 14(9), 1563–1575, 1993.
- [28] J. G. Gamon, J. S. Surfus, "Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer", *New Phytologist* 143:105-117, 1999.
- [29] J. L. Roujean, and F. M. Breon, "Estimating PAR Absorbed by Vegetation from Bidirectional Reflectance Measurements", *Remote Sensing of Environment*. 51:375-384, 1995.
- [30] J. M. Chen, "Canopy architecture and remote sensing of the fraction of photosynthetically active radiation absorbed the boreal conifer forests", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*(submitted), 1995.
- [31] J. Penuelas, F. Baret, and I. Filella, "Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance", *Photosynthetica*, 31, 221–230, 1995.
- [32] J. Penuelas, J. Pinol, R. Ogaya, and I. Lilella, "Estimation of plant water content by the reflectance water index WI (R900/R970)", *Int. J.Remote Sens.* 18:2869–2875, 1997.
- [33] J. Qi, A. Chehbouni, A. R. Huete, and Y. H. Kerr, "Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)", *Remote Sensing of Environment*, 48, 119–126, 1994.
- [34] K. S. Schmidt, and A. K. Skidmore, "Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland", *Remote Sensing of Environment*, 85, 92-108, 2003.
- [35] L. Serrano, J. Penuelas, S. L. Ustin, "Remote sensing of nitrogen and lignin in Mediterranean vegetation from AVIRIS data: Decomposing biochemical from structural signals", *RSE*. 81, 355– 364, 2002.
- [36] M. A. Aboelghar, S. M. Arafat, E. Farag, "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, 2013.
- [37] M. A. Hardisky, V. Klemas, and R. M. Smart, "The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 49,77- 83, 1983.
- [38] M. N. Merzlyak, A. A. Gitelson, O. B. Chivkunova, and V. Y. Rakitin, "Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening", *Physiologia Plantarum*, 106, 135-141, 1999.
- [39] M. S. Kim, C. S. T. Daughtry, E. W. Chappelle, J. E. McMurtrey, and C. L. Walthall, "The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation", *ISPRS sixth international colloquium on physical measurements and signatures in remote sensing*, Val d'Isère, France, 17–21. European Space Agency, 29, 9–306, 1994.
- [40] N. Goodwin, R. Turner, and R. Merton, "Classifying Eucalyptus forests with high spatial and spectral resolution imagery: An investigation of individual species and vegetation communities", *Australian Journal of Botany*, 53, 337-345, 2005.
- [41] N. H. Broge, and E. Leblanc, "Comparing

- prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density", *Remote Sensing of Environment*, 76, 156–172, 2000.
- [42] N. R. Rao, B. Zbell, "Use of field reflectance data for crop mapping using airborne hyperspectral image", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 683–691, 2011a.
- [43] N. R. Rao, B. Zbell, "Transferring spectral libraries of canopy reflectance for crop classification using hyperspectral remote sensing data", *biosystems engineering* 110 231e246, 2011b.
- [44] P. J. Zarco-Tejada, J. Miller, G. H. Mohammed, T. Noland, and P. Sampson, "Scaling-up and model inversion methods with narrow-band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39, 1491–1507, 2001.
- [45] P. J. Zarco-Tejada, A. Berjon, R. Lopez-Lozano, J. R. Miller, P. Martin, V. Cachorro, et al, "Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy", *Remote Sensing of Environment*, 99, 271–287, 2005.
- [46] R. B. De Luz, and J. K. Crowley, "Spectral reflectance and emissivity features of broad leaf plants: Prospects for remote sensing in the thermal infrared", *Remote Sensing of Environment*, 109, 393-405, 2007.
- [47] R. J. Zomer, A. Trabucco, S. L. Ustin, "Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing", *Journal of Environmental Management*. 90 ,2170e2177, 2009.
- [48] R. Merton, and J. Huntington, "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, 1999.
- [49] S. M. Arafat, M. A. Aboelghar, E. F. Ahmed, "Crop Discrimination Using Field Hyper Spectral Remotely Sensed Data, *Advances in Remote Sensing*. 2, 63-70, 2013.
- [50] S.R. Searle, F.M. Speed and G.A. Milliken, Population marginal means in the linear model: an alternative to least-squares means, *American Statistician*, pp. 216-221, 1980.
- [51] Y. Hochberg, and A.C. Tamhane, *Multiple Comparison Procedures*, Wiley, 1987.



## ضمیمه

جدول زیر مشخصات ۶۵ شاخص گیاهی تعریف شده برای سنجنده‌های با پهنای باند کم (فراطیفی) را که در این مطالعه مورد استفاده واقع شدند، نشان می‌دهد.

ردیف	نام اختصاری	نام کامل شاخص	فرمول	حساسیت	رفرنس
۱	<b>NDVI705</b>	<i>Normalized difference vegetation Index</i>	$(\rho_{750} - \rho_{705}) / (\rho_{750} + \rho_{705})$	<i>Chlorophyll</i>	[2]
۲	<b>mNDVI</b>	<i>Modified Red Edge Normalized difference vegetation Index</i>	$(\rho_{750} - \rho_{705}) / (\rho_{750} + \rho_{705} - 2\rho_{445})$	<i>Chlorophyll</i>	[15]
۳	<b>SR</b>	<i>Simple ratio vegetation Index</i>	$(\rho_{800}) / (\rho_{680})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[15]
۴	<b>mSR705</b>	<i>Modified simple ratio</i>	$(\rho_{750} - \rho_{445}) / (\rho_{705} + \rho_{445})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[15]
۵	<b>LIC1</b>	<i>Lichtenthaler</i>	$(\rho_{800} - \rho_{680}) / (\rho_{800} + \rho_{680})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[22]
۶	<b>LIC2</b>	<i>Lichtenthaler</i>	$(\rho_{440}) / (\rho_{690})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[22]
۷	<b>LIC3</b>	<i>Lichtenthaler</i>	$(\rho_{440}) / (\rho_{740})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[22]
۸	<b>RDVI</b>	<i>Renormalized difference vegetation Index</i>	$(\rho_{800} - \rho_{670}) / \sqrt{(\rho_{800} + \rho_{670})}$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[29]
۹	<b>PRI</b>	<i>Photochemical Reflectance Index</i>	$(\rho_{570} - \rho_{531}) / (\rho_{570} + \rho_{531})$	<i>Photosynthesis</i>	[24]
۱۰	<b>RVSI</b>	<i>Red-edge Vegetation Stress Index</i>	$((\rho_{714} + \rho_{752}) / 2) - (\rho_{733})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[48]
۱۱	<b>SAVI</b>	<i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i>	$(\rho_{800} - \rho_{670}) / (\rho_{800} + \rho_{670} + L)(L=0.5)$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[9]
۱۲	<b>MSAVI</b>	<i>Improved soil adjusted vegetation Index</i>	$1/2(2(\rho_{800} + 1) - \sqrt{(2(\rho_{800} + 1)^2 - 8(\rho_{800} - \rho_{670}))})$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[33]
۱۳	<b>OSAVI</b>	<i>Optimized soil adjusted vegetation Index</i>	$(\rho_{800} - \rho_{670}) / (\rho_{800} + 1.16 * \rho_{670} + 0.16)$	<i>LAI/Biomass/fraction</i>	[21]
۱۴	<b>ZM</b>	<i>Zarco and miller</i>	$(\rho_{750}) / (\rho_{710})$	<i>Leaf Water</i>	[44]
۱۵	<b>BGI1</b>	<i>Blue/Green Index</i>	$(\rho_{400}) / (\rho_{550})$	<i>Leaf Water</i>	[45]
۱۶	<b>BGI2</b>	<i>Blue green pigment Index</i>	$(\rho_{450}) / (\rho_{550})$	<i>Leaf Water</i>	[45]
۱۷	<b>BRI1</b>	<i>Blue/Red Index 1</i>	$(\rho_{400}) / (\rho_{690})$	<i>Leaf Water</i>	[45]
۱۸	<b>BRI2</b>	<i>Blue/Red Index 2</i>	$(\rho_{450}) / (\rho_{690})$	<i>Leaf Water</i>	[45]
۱۹	<b>CUR</b>	<i>Curvature Index</i>	$(\rho_{675} * \rho_{690}) / (\rho_{683})^2$	<i>Leaf Water</i>	[44]
۲۰	<b>CTR1</b>	<i>Carter Index</i>	$(\rho_{695}) / (\rho_{420})$	<i>Leaf Water</i>	[20]
۲۱	<b>CTR2</b>	<i>Carter Index</i>	$(\rho_{695}) / (\rho_{760})$	<i>Leaf Water</i>	[20]
۲۲	<b>GM1</b>	<i>Gitelson and Merzlyak</i>	$(\rho_{750}) / (\rho_{550})$	<i>Leaf Water</i>	[2]
۲۳	<b>GM2</b>	<i>Gitelson and Merzlyak</i>	$(\rho_{750}) / (\rho_{700})$	<i>Leaf Water</i>	[3]
۲۴	<b>NDWI</b>	<i>Normalized Difference Water</i>	$(\rho_{857} - \rho_{1241}) / (\rho_{857} + \rho_{1241})$	<i>Leaf Water /Biomass</i>	[11]
۲۵	<b>MSI</b>	<i>Moisture Stress</i>	$(\rho_{1599}) / (\rho_{819})$	<i>Water Stress</i>	[17]
۲۶	<b>NDII</b>	<i>Normalized Difference IR</i>	$(\rho_{819} - \rho_{1649}) / (\rho_{819} + \rho_{1649})$	<i>Leaf Water</i>	[37]
۲۷	<b>NDNI</b>	<i>Normalized Difference Nitrogen Index</i>	$\log(1/\rho_{1510}) - \log(\rho_{1680}) / ((\log(1/\rho_{1510}) + \log(\rho_{1680}))$	<i>Nitrogen</i>	[35]
۲۸	<b>CAI</b>	<i>Cellulose Absorption Index</i>	$(\rho_{2000} - \rho_{2200}) / (2 * \rho_{2100})$	<i>Cellulose</i>	[12]
۲۹	<b>PSRI</b>	<i>Plant senescence reflectance Index</i>	$(\rho_{680} - \rho_{500}) / (\rho_{750})$	<i>Chlorophyll/Carotenoid</i>	[38]
۳۰	<b>NDLI</b>	<i>Normalized Difference Lignin Index</i>	$\log(1/\rho_{1754}) - \log(\rho_{1680}) / ((\log(1/\rho_{1754}) + \log(\rho_{1680}))$	<i>Lignin &amp; Cellulose</i>	[35]
۳۱	<b>TCC</b>	<i>Total Chlorophyll Concentration</i>	$\rho_{672} / (\rho_{550} * \rho_{708}) (\rho_{850} - \rho_{710}) / (\rho_{850} - \rho_{680})$	<i>Chlorophyll</i>	[3]
۳۲	<b>TCARI</b>	<i>Transformed chlorophyll absorption in reflectance Index</i>	$\rho_{700} - \rho_{670} - 0.2(\rho_{700} - \rho_{670}) / (3((\rho_{550}) * (\rho_{700} / \rho_{670}))$	<i>Chlorophyll</i>	[16]

ردیف	نام اختصاری	نام کامل شاخص	فرمول	حساسیت	رفرنس
۳۳	MCARI	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance	$((\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2(\rho_{700} - \rho_{550})) * (\rho_{700} / \rho_{670})$	Chlorophyll / LAI	[12]
۳۴	MCARI1	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance	$1.2(2.5(\rho_{800} - \rho_{670}) - 1.3(\rho_{800} - \rho_{550}))$	Chlorophyll / LAI	[16]
۳۵	MCARI2	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance	$1.5[2.5 * (\rho_{800} - \rho_{670}) - 1.3(\rho_{800} - \rho_{550})] / \sqrt{((2\rho_{800} + 1)^2 - (6\rho_{800} - 5\rho_{670})(\rho_{670} - 0.5))}$	Chlorophyll / LAI	[16]
۳۶	CRI1	Carotenoid Reflectance Index 1	$(1/\rho_{510}) - (1/\rho_{550})$	Carotenoid	[4]
۳۷	CRI2	Carotenoid Reflectance Index 2	$(1/\rho_{510}) - (1/\rho_{700})$	Carotenoid	[4]
۳۸	ARI1	Anthocyanin Reflectance Index1	$(1/\rho_{550}) - (1/\rho_{700})$	Anthocyanin	[5]
۳۹	ARI2	Anthocyanin Reflectance Index2	$\rho_{800}((1/\rho_{550}) - (1/\rho_{700}))$	Anthocyanin	[5]
۴۰	TVI	Triangular vegetation Index	$60(\rho_{750} - \rho_{550}) - 100(\rho_{670} - \rho_{550})$	pigment	[41]
۴۱	MTVI1	Modified triangular vegetation Index 1	$1.2[1.2 * (\rho_{800} - \rho_{550}) - 2.5(\rho_{670} - \rho_{550})]$	pigment	[16]
۴۲	MTVI2	Modified triangular vegetation Index 2	$1.5[1.2 * (\rho_{800} - \rho_{550}) - 2.5(\rho_{670} - \rho_{550})] / \sqrt{((2\rho_{800} + 1)^2 - (6\rho_{800} - 5\rho_{670})(\rho_{670} - 0.5))}$	pigment	[16]
۴۳	NPI	Normalized Phaeophytinization Index	$(\rho_{415} - \rho_{435}) / (\rho_{415} + \rho_{435})$	Biomass	[26]
۴۴	NPCI	Normalized pigment chlorophyll Index	$(\rho_{680} - \rho_{430}) / (\rho_{680} + \rho_{430})$	Chlorophyll/ Biomass	[31]
۴۵	SIPI	Structure Insensitive Pigment Index	$(\rho_{800} - \rho_{445}) / (\rho_{800} - \rho_{680})$	Chlorophyll/Carotenoid	[15]
۴۶	SG	Sum Green Index	میانگین بازتابندگی از ۵۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر	Biomass/pigment	[28]
۴۷	VOG1	Vogelmann Index 1	$(\rho_{740}) / (\rho_{720})$	Biomass	[27]
۴۸	VOG2	Vogelmann Index 2	$(\rho_{734} - \rho_{747}) / (\rho_{715} + \rho_{726})$	Biomass	[44]
۴۹	VOG3	Vogelmann Index 3	$(\rho_{734} - \rho_{747}) / (\rho_{715} + \rho_{720})$	Biomass	[27]
۵۰	WBI	Water Band Index	$(\rho_{900}) / (\rho_{970})$	LAI/Biomass/fraction	[32]
۵۱	RGratio	Red Green Ratio Index	(مجموع رفلکتانس‌ها از ۵۰۰ تا ۵۹۹) / (مجموع رفلکتانس‌ها از ۶۰۰ تا ۶۹۹)	LAI/Biomass/fraction	[28]
۵۲	EVI1	Enhanced Vegetation Index	$2.5 * [(\rho_{800} - \rho_{690}) / (\rho_{800} + 6\rho_{690} - 7.5\rho_{450} + 1)]$	LAI/Biomass/fraction	[10]
۵۳	EVI2	Enhanced Vegetation Index	$2.5 * [(\rho_{800} - \rho_{690}) / (\rho_{800} + 6\rho_{600} - 7.5\rho_{400} + 1)]$	LAI/Biomass/fraction	[10]
۵۴	CAI2	Cellulose Absorption Index	$100[0.5(\rho_{2031} - \rho_{2211}) - (\rho_{2101})]$	Lignin & Cellulose	[13]
۵۵	CARI	Chlorophyll Absorption Ratio Index	$(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2(\rho_{700} - \rho_{550})$	Chlorophyll	[39]
۵۶	PSSR1	Pigment Specific Spectral Ratio	$(\rho_{800} / \rho_{675})$	Chlorophyll	[19]
۵۷	PSSR2	Pigment Specific Spectral Ratio	$(\rho_{800} / \rho_{650})$	Chlorophyll	[19]
۵۸	PSND1	Pigment Sensitive Normalized Difference	$(\rho_{800} - \rho_{675}) / (\rho_{800} + \rho_{675})$	pigments	[19]
۵۹	PSND2	Pigment Sensitive Normalized Difference	$(\rho_{800} - \rho_{650}) / (\rho_{800} + \rho_{650})$	pigments	[19]
۶۰	VIgreen	Vegetation Index green	$(\rho_{green} - \rho_{RED}) / (\rho_{green} + \rho_{RED})$	LAI/Biomass/fraction	[4]
۶۱	RGRI	red/green ratio Index	$(\rho_{RED}) / (\rho_{green})$	Anthocyanin	[28]
۶۲	ACI	Anthocyanin Content Index	$(\rho_{green}) / (\rho_{NIR})$	Anthocyanin	[8]
۶۳	VARI	Vegetation Atmospherically Resistant Index	$(\rho_{green} - \rho_{Red}) / (\rho_{green} - \rho_{Red} + \rho_{Blue})$	LAI/Biomass/fraction	[4]
۶۴	MSR	Modified Simple Ratio	$(\rho_{800} / \rho_{670}) / \sqrt{((\rho_{800} - \rho_{670}) + 1)}$	LAI/Biomass/fraction	[30]
۶۵	NDVI	Normalized difference vegetation Index	$(\rho_{800} - \rho_{670}) / (\rho_{800} + \rho_{670})$	LAI/Biomass/fraction	[15]



## **Evaluation of Spectral Reflectance of Iranian Wheat and barley Varieties Canopies at different growth stages using vegetation**

**Behnam Bigdeli <sup>\*1</sup>, Mohammad Javad Valadan Zouj <sup>2</sup>, Yasser Maghsoudi <sup>3</sup>**

1- Ms.c student of remote sensing in Department of Geomatics, College of Engineering, K.N.Toosi University

2- Professor in Department of Geomatics, College of Engineering, K.N.Toosi University

3- Assistant professor in Department of Geomatics, College of Engineering, K.N.Toosi University

### **Abstract**

The information of the wheat and barley cultivated areas and its yield are indispensable for sustainable management and economic policy making for these strategic food crops. Introduction of high spectral and special resolution satellite data has enabled production of such information in a timely and accurate manner. Evaluation of the spectral reflectance of plants using field spectroradiometry provides the possibility to identify and map different wheat and barley varieties especially while using hyperspectral remote sensing. Therefore, the behavior of the spectral curve corresponding to the nine varieties of wheat and five varieties of barley in a field at Seed and Plant Improvement Institute in Karaj growth were measured in four sections. Measurements were carried out using ASD FieldSpec®3 spectroradiometer in the range of 350-2,500 nm under natural light and environmental conditions. In the preprocessing phase noise of steam three areas are identified and eliminated and then the quality of the data collected using statistical methods, erroneous observations were excluded. A set of 65 indices of important vegetation indices sensitive to canopy chlorophyll content, photosynthesis intensity, nitrogen and water content were employed to enhance probable differences in spectral reflectance among various wheat and barley varieties in four growth stage. Analysis of variance and Tukey's paired test were then used to compare wheat and barley varieties. The results showed that more indices number can be observed in the third stage of the cultivars are separated from each other. This promises the possibility of accurate mapping of wheat and barley varieties cultivated areas based on hyperspectral remotely sensed data.

---

Correspondence Address: Remote Sensing Group, Department of Geomatics, College of Engineering, University of K.N.Toosi, Tehran, Iran.  
Tel: +98 9197487552  
Email: bigdelibehnam@gmail.com