

بررسی تفاوت انعکاس طیفی برگ مهمترین گونه‌های درختی جنگلهای خزری با استفاده از طیف‌سنجی زمینی

مژگان عباسی^{۱*}، علی اصغر درویش صفت^۲، مایکل الرت شپمن^۳، محمدرضا مروی مهاجر^۴ و هوشنگ سبحانی^۲

* نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. پست الکترونیک: mozhgan.abasi@gmail.com

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۳- استاد، دانشگاه واخنینگن هلند.

۴- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۱۵

چکیده

پایه و اساس سنجش از دور به‌ویژه سنجش از دور ابر طیفی برای تشخیص گونه‌ها و تهیه نقشه تیپ جنگل، آگاهی از چگونگی انعکاس طیفی گونه‌های موردنظر می‌باشد. بخشی از سنجش از دور به‌نام طیف‌سنجی زمینی به تعیین این مشخصه‌های طیفی می‌پردازد و سعی در ایجاد کتابخانه‌های طیفی (Spectral library) پدیده‌ها دارد. در این راستا و با هدف تعیین مشخصه طیفی برگ مهمترین گونه‌های درختی جنگلهای شمال ایران، برای اولین بار با همکاری دانشگاه واخنینگن هلند، یک دستگاه طیف‌سنج زمینی پیشرفته در تابستان ۱۳۸۶ وارد ایران شد و مشخصه‌های طیفی برگ پنج گونه راش، ممرز، توسکای بیلاقی، بلندمازو و انجیلی در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در مجموع ۳۲۱ نمونه مجموعه برگ از ۱۰۷ درخت از گونه‌های یادشده، در دامنه ارتفاعی ۲۵۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا، در شرایط مناسب و نور طبیعی اندازه‌گیری شد. از هر نمونه مجموعه برگ به‌طور متوسط ۱۰۰ اسکن انجام و میانگین‌گیری شد. پس از بررسی‌های اولیه کیفیت داده‌ها و حذف داده‌های نویز، منحنی انعکاس طیفی گونه‌های یادشده در طول موج ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر تهیه شد. به‌منظور بررسی تفاوت‌های احتمالی بازتاب طیفی گونه‌ها، پنج شاخص گیاهی مهم و حساس به غلظت کلروفیل محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. شاخص‌های Vogelmann و نسبت ساده، تفاوت معنی‌داری (به احتمال ۹۹٪) را به‌ترتیب بین گونه ممرز با گونه‌های راش، بلندمازو و توسکای بیلاقی و همچنین گونه انجیلی با گونه‌های بلندمازو و توسکای بیلاقی نشان می‌دهد. دیگر شاخص‌ها تفاوت معنی‌داری را بین بازتاب طیفی برگ گونه‌ها نمایان نکردند. برای بررسی کامل‌تر تفاوت طیفی گونه‌ها، تعیین میزان کلروفیل برگ، محاسبه شاخص‌های حساس به دیگر رنگدانه‌ها و رطوبت برگ توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی زمینی، اثر انگشت طیفی، شاخص پوشش گیاهی، غلظت کلروفیل، جنگلهای خزری.

مقدمه

جمله نقشه تیپ جنگل و پراکنش مکانی گونه‌ها و توده‌های مختلف، لازمه مدیریت پایدار این جنگلها به‌ویژه در روشهای جنگل‌داری نزدیک به طبیعت می‌باشد. در جنگلهای شمال، تحقیقاتی به‌منظور تهیه نقشه تیپ جنگل با استفاده از داده‌های چند طیفی انجام شده است

اهمیت جنگلهای خزری به‌عنوان رویشگاهی باقی‌مانده از دوران سوم زمین‌شناسی و با جنگلهای سبز تابستانه در نیمکره شمالی و نیز جایگاه آن به‌عنوان میراث طبیعی جهانی کاملاً آشکار است. تهیه اطلاعات مکانی دقیق از

دارند. مطالعات زیادی در مورد تعریف و تعیین شاخص‌های پوشش گیاهی مناسب و مرتبط با ترکیبات بیوشیمیایی گیاه در سطح برگ و تاج‌پوشش به‌منظور بررسی تفاوت طیفی گونه‌های درختی انجام شده است (Blackburn, 1998; Lovelock & Robinson 2002; Le Maire *et al.*, 2004; Clevers *et al.*, 2005; Malenovsky *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای که بر روی برگ‌های بلوط انجام گرفت، ارتباط شاخص‌های مرتبط با رنگدانه‌های کلروفیل، آنتوسیانین و کارتنوئید با میزان غلظت هر یک از مواد یادشده بررسی شد (Ustin *et al.*, 2006).

اهداف تحقیق حاضر عبارتند از تهیه مشخصه طیفی برگ مهمترین گونه‌های جنگلی شمال ایران شامل راش (*Fagus orientalis*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata*)، بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و انجیلی (*Parrotia persica*) و همچنین بررسی تفاوت طیفی گونه‌ها در طول موج‌های مربوط به تغییرات غلظت کلروفیل با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

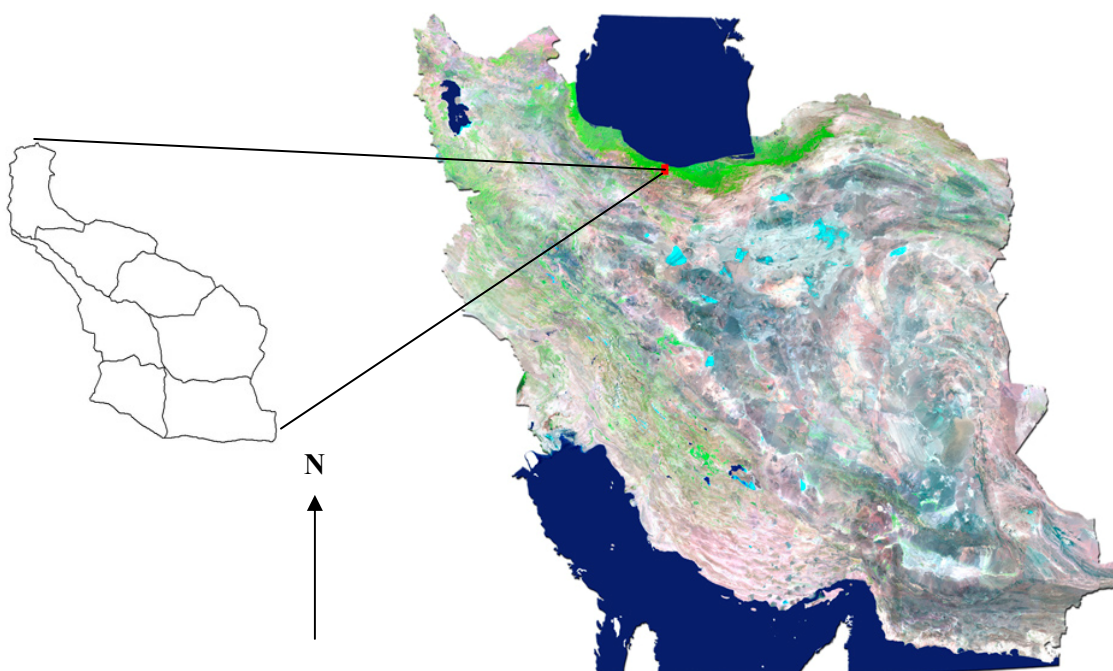
این مطالعه در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در خیرودکنار نوشهر انجام شده است (شکل ۱). این جنگل به وسعت ۸۴۵ هکتار به هفت بخش تقسیم شده و در دامنه ارتفاعی ۲۵۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. جوانشیر (۱۳۵۵) تعداد ۸۰ گونه درختی برای جنگلهای شمال ایران نام برده است. در میان آنها، گونه راش شرقی به‌عنوان مهمترین گونه با ایجاد راشستان‌های خالص و مخلوط، گونه غالب جنگلهای شمال را تشکیل می‌دهد. اهمیت این گونه از نظر تنوع ژنتیکی، حجم سرپای زیاد و ارزش اقتصادی آن در جنگلهای شمال می‌باشد. با تغییر

(Latifi & Oladi, 2006; Darvishsefat *et al.*, 2003)؛ شتایی جویباری و همکاران، ۱۳۸۶). تنوع گونه‌ای زیاد، کوهستانی بودن و شرایط پیچیده توپوگرافی این جنگلها، ضرورت استفاده از داده‌هایی با توان تفکیک طیفی و مکانی زیاد را برای دستیابی به نقشه تیپ و اطلاعات دقیق‌تر مطرح می‌کند. امروزه نسل جدید سنجنده‌ها در شاخه‌ای از سنجش از دور تحت عنوان طیف‌سنجی تصویری (Imaging spectroscopy)، با ایجاد تصاویر ابر طیفی، امکان تهیه داده‌هایی با توان طیفی زیاد و در حد ۱۰ نانومتر را فراهم نموده است. در برخی روشهای طبقه‌بندی داده‌های ابر طیفی، طیف‌سنجی زمینی به‌منظور تهیه کتابخانه طیفی (Spectral library) از پدیده‌های موردنظر و نهایی (endmembers)، مبحث گسترده و جدیدی را در علم سنجش از دور مطرح کرده است. در سالهای اخیر مطالعات زیادی در مورد تهیه خصوصیات طیفی پدیده‌های مختلف به‌ویژه پوشش گیاهی انجام شده است. (Gausman & Allen 1973; Kneubuehler *et al.*, 1998; Schaepman & Dangle, 2000; Malenovsky *et al.*, 2005). خصوصیات طیفی گیاهان در طول موج‌های مختلف تحت تأثیر ساختار درون سلولی و برون سلولی برگ، غلظت مواد بیوشیمیایی از جمله کلروفیل، کاروتنوئید، نیتروژن و میزان آب موجود در برگ می‌باشد (Asner, 1998; Jacquemoud & Ustin, 2000; Stimson *et al.*, 2005). به‌طوری که هر یک از عوامل تأثیرگذار یادشده بر بازتاب در طول موج‌هایی خاص بهتر نشان داده می‌شود. به‌عنوان مثال، موقعیت لبه قرمز (Red edge position) که در اطراف طول موج ۷۰۰ نانومتر است، نسبت به تغییرات کلروفیل بسیار حساس است (Filella & Peñuelas, 1994; Azong Cho & Skidmore, 2006). روشهای تجزیه و تحلیل مختلفی از جمله شاخص‌های پوشش گیاهی، نسبت‌گیرهای طیفی و تبدیل‌های آماری و ریاضی در بررسی منحنی طیفی و بارسازی تغییرات آن نسبت به تغییرات غلظت رنگدانه‌های مختلف وجود

پایین گونه بومی انجیلی همراه با راش و ممرز می‌باشد. گونه انجیلی از نظر اندمیک و خاص منطقه خزری بودن، منطقه فلوریستیک خزری را به‌عنوان یک منطقه مستقل و مشخص فیتوژئوگرافیک معرفی کرده است (مروی مهاجر و همکاران، ۱۳۸۴).

به‌منظور فراهم نمودن نمونه‌های طیفی جامع از هر گونه، نمونه‌های درختی مورد مطالعه از رویشگاه‌های خاص خود در ارتفاع‌های مختلف انتخاب شدند.

شرایط خرد اقلیمی، توپوگرافی و ارتفاع از سطح دریا، گونه‌های دیگری به‌صورت همراه در کنار راش قرار می‌گیرند. بعد از گونه راش بیشترین پراکنش و حجم سرپا مربوط به گونه‌های بلندمازو و توسکای ییلاقی در اشکوب بالا و ممرز در آشکوب پایین‌تر است. بلندمازو در شرایطی که اقلیم خشک‌تر یا در شرایطی با زهکشی خوب آب و توسکای ییلاقی بعکس در شرایطی که رطوبت بیشتر باشد، حضور پیدا می‌کند. در ارتفاعات



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای شمال ایران (راست) و بخش‌های جنگل خیرودکنار (چپ)

دستگاه طیف‌سنج زمینی

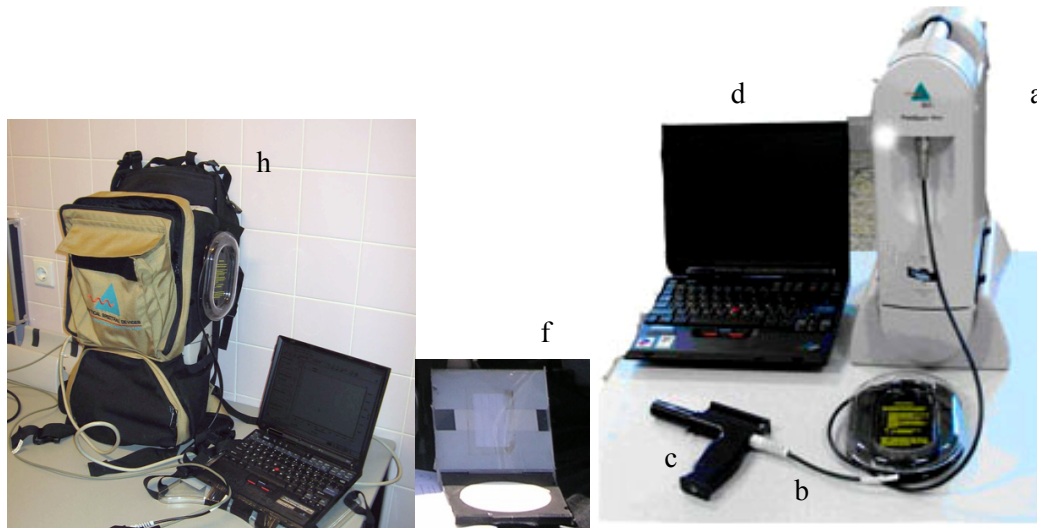
در این تحقیق یک دستگاه طیف‌سنج زمینی به‌نام ASD FieldSpec با دامنه طول موج طیفی کامل ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفت. مجموعه این دستگاه به وزن ۱۰ کیلوگرم شامل بخش‌های زیر می‌باشد:
- طیف‌سنج به ابعاد ۱۳×۲۹×۳۵ سانتی‌متر که شامل سه ثابت در طول موج‌های ۱۰۰۰-۳۵۰، ۱۸۰۰-۱۰۰۱ و

۱۸۰۱-۲۵۰۰ نانومتر با درجه حساسیت متفاوتی نسبت به تغییرات دما و رطوبت می‌باشد.

- حسگر فیبر نوری (fiber optic sensor) با میدان دید ۲۵ درجه که با قرار گرفتن در موقعیت عمودی (Nadir) در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر از نمونه دایره‌ای به قطر ۱۸ سانتی‌متر را اندازه‌گیری می‌کند. این حسگر از طریق یک کابل به طول ۱/۲ متر، بازتاب نوری را به طیف‌سنج

- صفحه سفید مینا (spectralon) از جنس تفلون به شکل یک لوح فشرده که برای کالیبره کردن دستگاه طیف‌سنج بکار می‌رود (شکل ۲).

منتقل می‌نماید. به منظور نشانه‌گیری بهتر، حسگر فیبر نوری در بخشی شبیه تفنگ (pistol grip) قرار دارد.
- یک نوت‌بوک که برای نمایش و ذخیره داده‌های طیفی به همراه نرم‌افزار ویژه پردازش داده‌های طیف‌سنجی (RS³) مورد نیاز است.



شکل ۲- مجموعه دستگاه طیف‌سنج شامل a: طیف‌سنج، b: حسگر فیبر نوری، c: pistol grip، d: نوت‌بوک، f: صفحه سفید مینا، h: مجموعه دستگاه در کیف مخصوص

نمونه‌ها و اندازه‌گیری طیفی

به منظور فراهم آوردن شرایط یکسان نمونه‌برداری، از هر پایه درختی سه شاخه در جهتی که تاج بیشترین میزان نور را در طول روز دریافت می‌کند، قطع و برگ‌های آن مورد طیف‌سنجی قرار گرفت. جدول ۱ تعداد و مشخصات نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در مجموع ۳۲۱ منحنی طیفی از کل نمونه‌ها (۱۰۷ درخت) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اندازه‌گیری‌ها در طول ماه‌های مرداد و شهریور سال ۱۳۸۶ انجام شد. انعکاس طیفی نمونه‌ها در کنار جاده جنگل در روزهای آفتابی در ساعات ۱۰-۱۴ و در نور مستقیم خورشید انجام شد. از هر نمونه مجموعه برگ سه بار (تکرار) طیف‌سنجی صورت گرفت و هر تکرار شامل ۱۰۰ اسکن (تهیه منحنی) بود. معمولاً هر تکرار طیف‌سنجی بدون در نظر گرفتن زمان آماده‌سازی نمونه و

در این مطالعه در مجموع ۱۰۷ درخت از پنج گونه مورد نظر برای اندازه‌گیری طیفی انتخاب شدند. از آن جا که عموماً تاج پوشش گونه‌های غالب در معرض دید سنجنده قرار می‌گیرد، برای تهیه کتابخانه طیفی گونه‌ها، درختانی از جوامع نمونه که تاج بالغ داشته و در شرایط کاملاً طبیعی قرار دارند، انتخاب می‌شوند. بنابراین با توجه به قرار گرفتن پایه مورد نظر در آشکوب غالب بر اساس قطر برابر سینه و ارتفاع درخت، این انتخاب صورت گرفت. در مورد گونه‌های انجیلی و ممرز که عموماً در توده‌هایی مانند راش- ممرز و ممرز- انجیلی در آشکوب زیرین قرار می‌گیرند، پایه‌ای که قطر برابر سینه و ارتفاع بیشتری در میان پایه‌های نظیر خود داشت، انتخاب شد.

قطر تقریبی ۲۵ سانتی‌متر بر روی صفحه‌ای سیاه رنگ فراهم شده و مورد اندازه‌گیری طیفی قرار گرفتند (شکل ۳). زمینه سیاه باعث جذب نور و مانع رسیدن بازتاب‌های ناشی از پدیده‌های مجاور به سنجنده می‌شود.

کالیبراسیون دستگاه، کمتر از یک دقیقه به طول می‌انجامد. به‌منظور حذف اثر تغییرات هر چند اندک دما و بخار آب محیط بر طیف‌سنجی، قبل از هر بار اندازه‌گیری، دستگاه با استفاده از صفحه سفید مبنا کالیبره شد. بلافاصله پس از قطع شاخه‌ها، برگها جدا شده و توده برگی در دایره‌ای به

ب



الف



شکل ۳- نمونه آماده شده برای اندازه‌گیری طیفی (الف)، صحنه اندازه‌گیری در محل (ب)

جدول ۱- تعداد و مشخصات کمی نمونه‌های اندازه‌گیری شده

| مشخصه | توسکای بیلاقی | ممرز | راش | انجیلی | بلندمازو | جمع |
|----------------------------------|---------------|----------|----------|---------|----------|-----|
| تعداد پایه درختی از هر گونه | ۲۰ | ۲۰ | ۳۲ | ۱۵ | ۲۰ | ۱۰۷ |
| دامنه ارتفاع از سطح دریا (متر) | ۷۵۰-۱۲۵۰ | ۷۰۰-۱۰۰۰ | ۴۰۰-۲۲۰۰ | ۲۵۰-۶۰۰ | ۷۰۰-۱۳۲۰ | - |
| دامنه قطر برابر سینه (سانتی‌متر) | ۳۸-۶۱ | ۳۵-۶۸ | ۴۰-۷۰ | ۲۸-۳۶ | ۴۲-۷۰ | - |
| ارتفاع درخت (متر) | ۲۷-۳۶ | ۱۵-۲۵ | ۲۵-۳۸ | ۱۵-۲۲ | ۳۵-۴۰ | - |
| تعداد منحنی‌های طیفی | ۶۰ | ۶۰ | ۹۶ | ۴۵ | ۶۰ | ۳۲۱ |

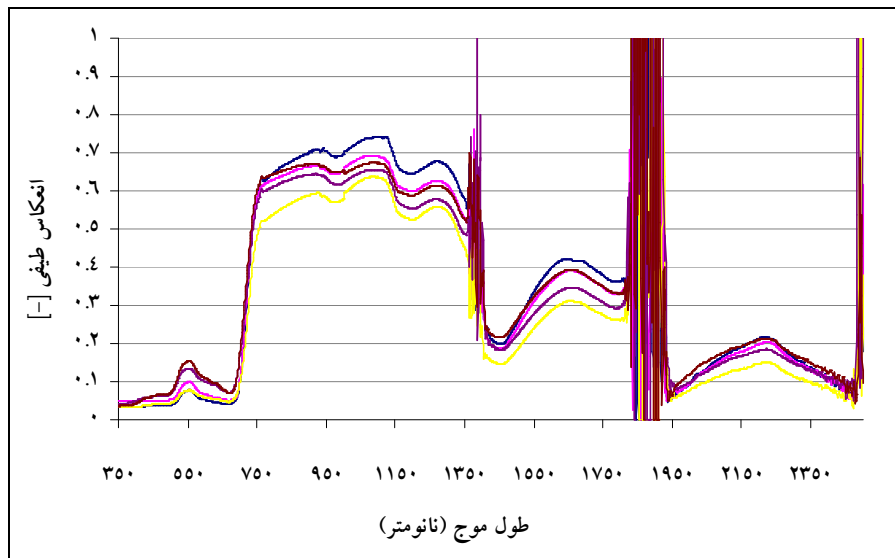
پیش پردازش داده‌ها

چنانچه بیان شد در طیف‌سنجی از هر نمونه مجموعه برگ، ۱۰۰ بار عمل اسکن طیفی انجام شد. داده‌های حاصل به‌طور خودکار و به‌هنگام طیف‌سنجی میانگین‌گیری شده و در نهایت یک منحنی برای هر نمونه در دامنه طول موج ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر تولید و ذخیره شد. پس از انتقال داده‌ها از دستگاه طیف‌سنج به رایانه آزمایشگاه، کلیه منحنی‌های برداشت شده (۳۲۱ منحنی) از

۱۰۷ درخت، به‌طور نظری مورد بررسی کیفیت قرار گرفته و ۱۵ منحنی غیر عادی (متعلق به پنج گونه) از مجموعه داده‌ها حذف شدند. در ادامه از سه منحنی مربوط به هر پایه درختی میانگین‌گیری به‌عمل آمد (شکل ۴). به این ترتیب برای هر یک از گونه‌های توسکای بیلاقی، ممرز، راش، انجیلی و بلندمازو به‌ترتیب ۱۹، ۲۰، ۲۹، ۱۵ و ۲۰ منحنی محاسبه شد. سپس برای تعیین هرچه دقیق‌تر دامنه طول موج‌های مربوط به جذب آب که

در آن دسته طول موج‌هایی که مقدار آنها از دو برابر انحراف معیار از میانگین بیشتر بودند به‌عنوان خطا تلقی و حذف شدند (Yoder & Pettigrew-Crosby, 1995).

همواره شدیداً تحت تأثیر بخار آب هوا قرار می‌گیرند، میانگین و انحراف معیار بازتاب هر یک از گونه‌ها در یکایک طول موج‌ها و براساس تمامی منحنی‌های هر گونه محاسبه شد. براساس این محاسبات، کلیه داده‌های طیفی

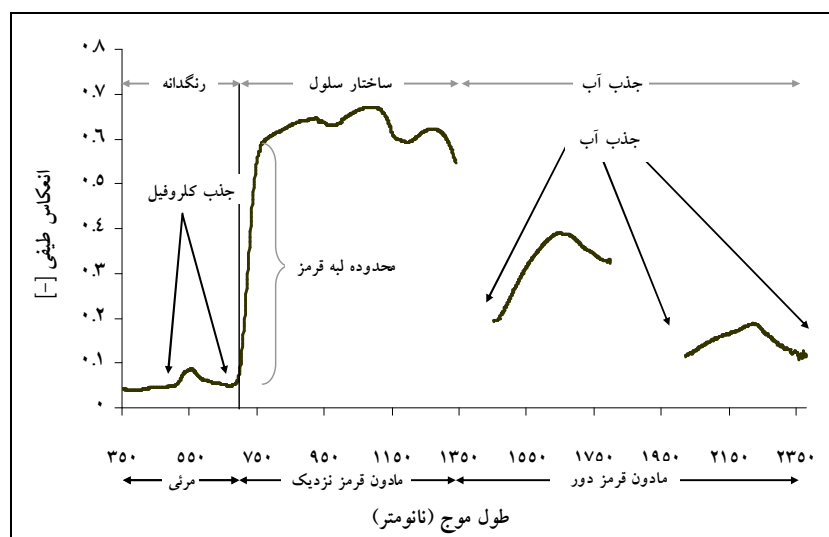


شکل ۴- سه منحنی انعکاس طیفی مربوط به سه تکرار طیف‌سنجی از یک پایه درختی

Le Maire *et al.* (2004)، تعداد زیادی از شاخص‌های بیان‌کننده تغییرات غلظت کلروفیل در سطح تاج و برگ درختان معرفی شده است. علاوه بر باندهای جذب کلروفیل در محدوده مرئی، محدوده لبه قرمز (Red edge) (۶۹۰ تا ۷۴۰ نانومتر) نیز در مطالعات مربوط به تغییرات کلروفیل نقش اساسی داشته و حساسیت زیادی به این تغییرات دارد (شکل ۵). هر چند که در همه گونه‌ها با کاهش یا افزایش میزان کلروفیل، این لبه به ترتیب به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر و بلندتر جابه‌جا می‌شود، اما میزان این جابه‌جایی در گونه‌های مختلف متفاوت است (Ustin *et al.*, 1993).

شاخص‌های پوشش گیاهی

معمولاً در مقایسه چشمی منحنی طیفی گونه‌ها تفاوت‌هایی دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از عواملی نظیر غلظت رنگدانه‌های مختلف، ساختار درون و برون سلولی و همچنین میزان رطوبت برگ باشد. در تحقیق حاضر تنها به بررسی طول موج‌هایی که مرتبط با تغییرات غلظت کلروفیل بودند، پرداخته شده است. مطالعات زیادی بر روی تعیین و تعریف شاخص‌های مناسب در مورد بررسی تغییرات غلظت رنگدانه‌های مختلف در منحنی انعکاس طیفی گیاهان انجام شده است (Gamon *et al.*, 1992; Gitelson & Merzlyak, 1994; Gitelson *et al.*, 2003; Barry *et al.*, 2008). در مطالعه



شکل ۵- منحنی انعکاس طیفی معمول درخت به همراه بخش‌های مختلف، عوامل تأثیرگذار بر آن و موقعیت محدوده لبه قرمز (Red edge) (برگرفته از Azong Cho & Skidmore, 2006)

بین گونه‌های مورد مطالعه به لحاظ تفاوت ساختار درون و برون سلولی، بیشتر از تفاوت درون‌گونه‌ای یا درون یک پایه می‌باشد (Ustin et al., 1993; Datt, 1999). بر این اساس پنج شاخص پوشش گیاهی مناسب و مرتبط با تغییرات غلظت کلروفیل در بین گونه‌های مختلف انتخاب و محاسبه شدند (جدول ۲).

تفاوت غلظت کلروفیل می‌تواند مربوط به تفاوت ساختار درون و برون سلولی برگ در گونه‌های مختلف باشد؛ تغییرات آن نیز متأثر از عواملی چون تفاوت در حاصل‌خیزی رویشگاه و شرایط نوری مختلف برای یک گونه یا حتی یک درخت معین در نقاط مختلف تاج است. در چنین تحقیقاتی فرض بر این است که میزان تغییرات

جدول ۲- شاخص‌های حساس به غلظت کلروفیل، مورد استفاده در این تحقیق

| منبع | رابطه | شاخص پوشش گیاهی |
|------------------------|--|--------------------|
| Sims & Gamon (2002) | $(R_{750}-R_{705}) / (R_{750}+R_{705}-2R_{445})$ | mND ₇₀₅ |
| Gitelson et al. (2003) | R_{750} / R_{700} | نسبت ساده |
| Sims & Gamon (2002) | $(R_{750}-R_{445}) / (R_{705}-R_{445})$ | mSR ₇₀₅ |
| Vogelmann (1993) | R_{740} / R_{720} | Vogelmann |
| Datt (1999) | $(R_{850}-R_{710}) / (R_{850}+R_{680})$ | Datt |

mND₇₀₅: modified Normalized Difference, mSR₇₀₅: modified Simple Ratio و R: انعکاس طیفی

(اپیدرم)، نقش چندانی در میزان جذب در طول موج اخیر ندارد. در شاخص Datt نیز از طول موج ۶۸۰ نانومتر (محدوده مرئی) که بارزترین طول موج جذب کلروفیل می‌باشد، استفاده شده است.

منطق استفاده از طول موج‌های استفاده شده در شاخص‌های جدول ۲ بر پایه حساسیت طول موج‌های ۷۰۰، ۷۰۵، ۷۲۰، ۷۱۰، ۷۴۰ و ۷۵۰ نانومتر (مادون قرمز) به تغییرات غلظت کلروفیل و همچنین بروز حداقل جذب در طول موج ۴۴۵ نانومتر در مقابل غلظت بسیار اندک کلروفیل می‌باشد. ضمن این که وضعیت سطح برگ

تجزیه و تحلیل‌های آماری

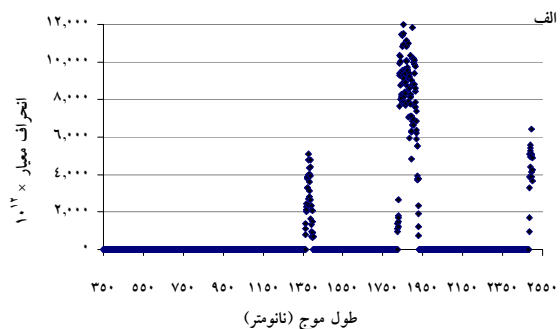
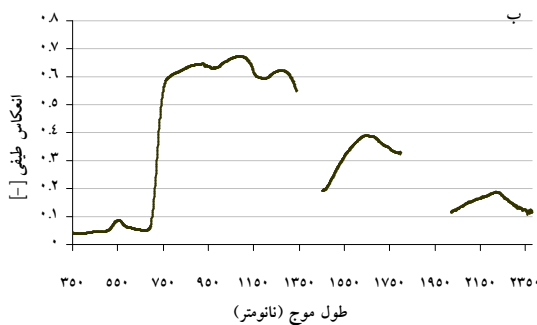
شاخص‌های یادشده بر روی یکایک منحنی‌های نمونه‌های طیف‌سنجی هر یک از گونه‌ها (بعد از حذف باندهای جذب آب) محاسبه شدند. با محاسبه شاخص‌های یادشده امکان بررسی تفاوت آماری انعکاس طیفی برگ گونه‌ها فراهم شد. در این بررسی از تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین دانکن در محیط SAS استفاده شده است.

نتایج

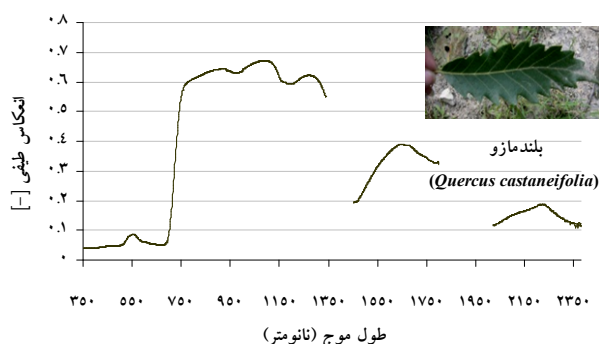
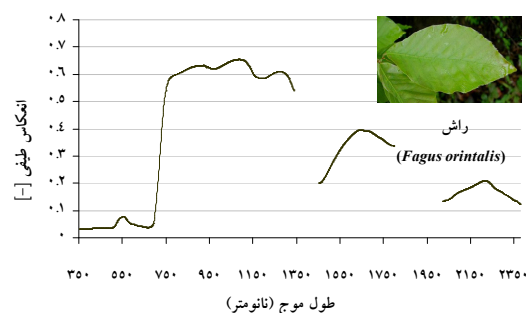
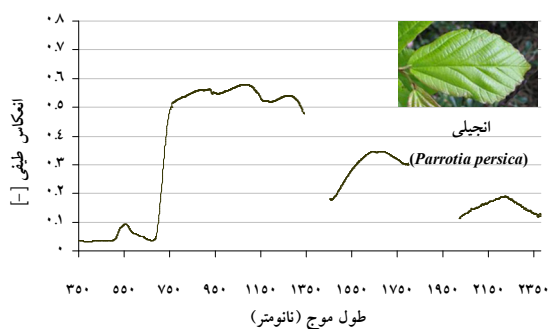
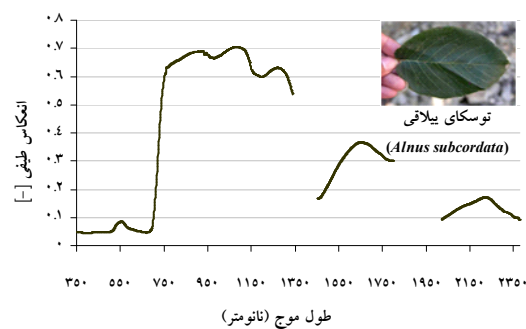
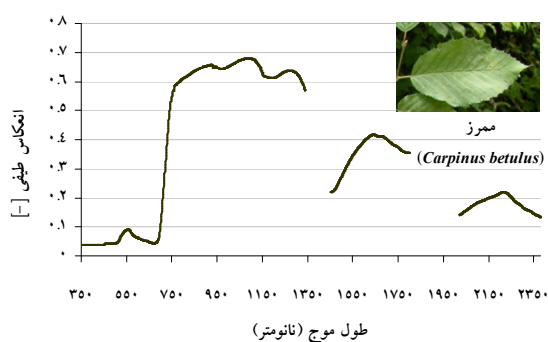
مشخصه طیفی گونه‌ها

شکل ۴ نمونه‌ای از منحنی‌های طیفی حاصل از میانگین ۱۰۰ اسکن مربوط به هر تکرار از عملیات طیف‌سنجی و خروجی دستگاه طیف‌سنج می‌باشد. کیفیت خوب دستگاه مورد استفاده و پایداری نسبی شرایط محیطی موجب ایجاد منحنی‌های بدون خطا و قابل قبول شده است. وضعیت غیر عادی منحنی‌ها در طول موج‌های حدود ۱۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۵۰۰ ناشی از حساسیت این طول موج‌ها به بخار آب می‌باشد. شکل ۶- الف میزان انحراف

معیار محاسبه شده در طول موج‌های مختلف مربوط به یک گونه را به‌صورت نمونه نشان می‌دهد. براساس این شکل تنها در دامنه طول موج‌های جذب آب، میزان انحراف معیار بازتاب‌ها بسیار زیاد است که بیانگر خطای شدید می‌باشد. این خطا در دیگر طول موج‌ها دیده نمی‌شود. دامنه‌های طول موج‌هایی که داده‌های آنها حذف شدند در تمامی گونه‌ها یکسان بوده است (۱۳۴۰ تا ۱۴۵۰، ۱۸۰۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۳۸۰ تا ۲۵۰۰). شکل ۶- ب نشان‌دهنده منحنی بازتاب طیفی یک گونه پس از حذف بازتاب‌های دارای خطا می‌باشد. منحنی‌های نهایی بازتاب طیفی برگ گونه‌های توسکای ییلاقی، ممرز، راش، انجیلی و بلندمازو که به‌ترتیب از پیش پردازش و میانگین‌گیری ۱۹، ۲۰، ۲۹، ۱۵ و ۲۰ تکرار طیف‌سنجی نمونه مجموعه برگ محاسبه شده، در شکل ۷ درج شده است. این چنین منحنی‌های طیفی که معرف رفتار طیفی هستند به‌عنوان اثر انگشت طیفی (Spectral fingerprint) شناخته می‌شوند. از داده‌های این منحنی‌های طیفی برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری بررسی تفاوت طیفی گونه‌ها استفاده شد.



شکل ۶- انحراف معیار انعکاس طیفی محاسبه شده برای تمامی طول موج‌ها (الف)، منحنی بازتاب طیفی یک گونه پس از حذف بازتاب‌های دارای خطا (ب)



شکل ۷- منحنی‌های نهایی انعکاس طیفی برگ گونه‌های توسکای ییلاقی، ممرز، راش، انجیلی و بلندمازو به‌عنوان مشخصه طیفی آنها

تحلیل آماری تفاوت طیفی برگ گونه‌ها

براساس نتایج آزمون آماری بر روی شاخص‌های استخراج شده از بازتاب طیفی برگ گونه‌های مورد مطالعه، شاخص‌های Vogelmann (R_{740}/R_{720}) و نسبت ساده (R_{750}/R_{700})، نسبت به دیگر شاخص‌ها حساسیت بیشتری را در رابطه با غلظت کلروفیل نشان می‌دهند. نتایج مربوط به این دو شاخص در جدول ۳ درج شده است. براساس این جدول، شاخص Vogelmann تفاوت

معنی‌داری ($\alpha=0/01$, $P=0/001$) را بین گونه ممرز با گونه‌های راش، بلندمازو و توسکای ییلاقی و همچنین گونه انجیلی با گونه‌های بلندمازو و توسکای ییلاقی نشان می‌دهد. شاخص نسبت ساده نیز تفاوت معنی‌داری ($\alpha=0/01$, $P<0/0001$) را بین بازتاب طیفی برگ گونه ممرز با توسکای ییلاقی و همچنین انجیلی با گونه‌های توسکای ییلاقی، راش و بلندمازو نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس در بررسی تفاوت آماری بازتاب طیفی برگ گونه‌ها با یکدیگر با استفاده از شاخص‌های

Vogelmann (R_{740} / R_{720}) و نسبت ساده (R_{750} / R_{700})

| گونه | شاخص | توسکای بیلاقی | ممرز | راش | انجیلی |
|----------|------|---------------|------|-----|--------|
| ممرز | Vog | ** | | | |
| | SR | ** | | | |
| راش | Vog | NS | ** | | |
| | SR | NS | NS | | |
| انجیلی | Vog | ** | NS | NS | |
| | SR | ** | NS | ** | |
| بلندمازو | Vog | NS | ** | NS | ** |
| | SR | NS | NS | NS | ** |

** : تفاوت معنی‌دار ($\alpha = 0/01$) است، NS: تفاوت معنی‌دار نیست.

Vog: شاخص Vogelmann، SR: شاخص نسبت ساده (Simple Ratio)

بحث

تغییرات هر چند اندک در وزش باد، دما و رطوبت محیط در یک فاصله زمانی بسیار کوتاه (کمتر از یک دقیقه) به‌هنگام طیف‌سنجی هر نمونه می‌تواند موجب خطاهایی در کار ثبات‌های دستگاه طیف‌سنج شود. از این رو افزایش تعداد اسکن‌ها (حدود ۱۰۰ اسکن) در هر تکرار و میانگین‌گیری از آنها ضروریست.

نتایج بدست آمده از مطالعه Gitelson & Merzlyak (1994) مبنی بر ارتباط قوی شاخص نسبت ساده با کلروفیل برگ درختان افرا و گیلان با نتایج این تحقیق در بررسی تفاوت طیفی گونه‌ها با استفاده از این شاخص همخوانی دارد. در مطالعه‌هایی که (Le Maire 2004) و (Vogelmann 1993) انجام داده‌اند نیز نتایج مشابهی در میزان حساسیت دو شاخص Vogelmann و نسبت ساده، نسبت به غلظت کلروفیل برگ گونه‌های مختلف بدست آمده است.

تفاوت معنی‌دار گونه‌های ممرز و انجیلی با سه گونه دیگر را می‌توان ناشی از قرار گرفتن این دو گونه در آشکوب زیرین نسبت به گونه‌های توسکای بیلاقی، راش و بلندمازو و دریافت نور غیرمستقیم یا نور عبوری

دانست، زیرا این وضعیت منجر به تفاوت میزان غلظت کلروفیل در آنها می‌شود. از همین رو گونه‌های آشکوب بالا از میزان غلظت کلروفیل نزدیک به هم برخوردار می‌شوند، به‌طوری که شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه دارای حساسیت کافی برای نشان دادن تفاوت بین آنها نمی‌باشند. به‌طور مثال، جذب طیفی در گونه‌های ممرز و انجیلی در طول موج‌های یادشده با غلظت کمی از کلروفیل به حد اشباع خود می‌رسد و چه بسا که در طول موج‌های دیگر حساسیت طیفی در مقادیر بیشتری از میزان غلظت کلروفیل وجود داشته باشد؛ از این رو نمی‌توان عدم وجود تفاوت آماری بازتاب طیفی مربوط به میزان غلظت کلروفیل را تنها بر مبنای طول موج‌های استفاده شده در این تحقیق، بیان نمود. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که با انجام تحلیل‌های آماری چند متغیره مانند رگرسیون حداقل مربعات جزئی (Partial Least Square Regression)، دیگر طول موج‌های حساس به غلظت کلروفیل در گونه‌های ممرز و انجیلی بررسی و تعیین شوند. به‌منظور بررسی کامل‌تر تفاوت طیفی گونه‌ها به‌ویژه در مواردی که از نظر غلظت کلروفیل در سطح یکسانی هستند و طول موج‌های مرتبط با جذب کلروفیل که از

جنگلهای خزری (شمال ایران). مجموعه مقالات ارائه شده در سمینار کارشناسی، کلارآباد (چالوس): ۱۹-۱۲ شهریور ۱۳۸۰. ۱۸۷ صفحه.

- Asner, G.P., 1998. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64: 134-53.
- Azong Cho, M. and Skidmore, A.K., 2006. A new technique for extracting the red edge position from hyperspectral data: The linear extrapolation method. *Remote Sensing of Environment*, 101: 181-193.
- Barry K.M., Stone, C. and Mohammed, C.L., 2008. Crown-scale evaluation of spectral indices for defoliated and discolored eucalypts. *International Journal of Remote Sensing*, 29: 47-69.
- Blackburn, G.A., 1998. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 19(4): 657-675.
- Clevers, J.G.P.W., Heijden, G.W., Van der, A.M., Verzakov, S. and Schaepman, M.E., 2005. Estimating spatial patterns of biomass and nitrogen status in grasslands through imaging spectrometry. In: 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS), Beijing, 17-19 October 2005. Beijing: ISPRS WG VII/1: 56-59.
- Darvishsefat, A., Abbasi, M. and Mohajer, M.R.M., 2003. Evaluation of the Potential of Landsat ETM for Forest Type Mapping in Northern Iran. *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 34(7/B): 956-957.
- Datt, B., 1999. Visible/near infrared reflectance and chlorophyll content in Eucalyptus leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 20(14): 2741-2759.
- Filella, I. and Peñuelas, J., 1994. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing*, 15(7):1459-1470.
- Gamon, J.A., Peñuelas, J. and Field, C.B., 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41: 35-44.
- Gitelson, A. and Merzlyak, M.N., 1994. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*, 22: 247-252.
- Gitelson, A.A., Gritz, Y. and Merzlyak, M.N., 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology* 160: 271-282.
- Gausman, H.W. and Allen W.A., 1973. Optical Parameters of Leaves of 30 Plant Species. *International journal of plant physiology*, 52: 57-62.

حساسیت کمی برخوردار می‌باشند، می‌توان به بررسی رنگدانه‌ها و عناصر بیوشیمیایی دیگر از جمله نیتروژن، لیگنین، سلولز و همچنین میزان رطوبت برگ با استفاده از طول موج‌های بیشتری پرداخت. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر ارتباط بازتاب در طول موج‌های مربوط به تغییرات غلظت کلروفیل با میزان کلروفیل برگ پیشنهاد می‌شود که میزان کلروفیل موجود در برگ‌ها در آزمایشگاه تعیین و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گیرند.

با توجه به وضعیت پراکنش گونه‌ها در شرایط رویشگاهی متفاوت از نظر ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت‌های جغرافیایی که می‌تواند از جمله عوامل تأثیرگذار بر بازتاب طیفی گونه‌ها باشد، ضرورت تهیه طرح نمونه‌برداری جامعی که منجر به کتابخانه طیفی حاوی مشخصه طیفی گونه موردنظر در شرایط مختلف باشد، مطرح می‌گردد. تحقق این امر در راستای طرح‌های جامع جهانی تهیه کتابخانه‌های طیفی می‌تواند به عنوان داده‌های پایه در مقیاس‌های وسیعی کاربرد داشته باشد (Hüniet al., 2007).

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولان دانشگاه واخنینگن هلند به دلیل مساعدت در انتقال دستگاه طیف‌سنج به ایران برای انجام نمونه‌برداری طیفی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- جوانشیر، ک.، ۱۳۵۵، *اتلس گیاهان چوبی ایران*. انجمن ملی حفاظت منابع طبیعی و محیط انسانی. ۱۷۰ صفحه.
- شتایی جویباری، ش.، *درویش صفت، ع.ا. و سبحانی، ه.، ۱۳۸۶*. مقایسه روشهای طبقه‌بندی شی- پایه و پیکسل پایه تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی تیپ‌های جنگل. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۲۶(۲): ۸۸۱-۸۶۹.
- مروی مهاجر، م.ر.، نصرتی، ک.، دیتز کناپ، ه. و بوده، و.، ۱۳۸۴. *حفاظت از تنوع زیستی و مدیریت پایدار*

- Schaepman, M.E. and Dangel S., 2000. Solid laboratory calibration of nonimaging spectroradiometer. *Applied Optics*, 39(21): 3754-3764.
- Sims, D.A. and Gamon, J.A., 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, 81: 337-354.
- Stimson, H.C., Breshears, D.D., Ustin, S.L. and Kefauver, S.C., 2005. Spectral sensing of foliar water conditions in two co-occurring conifer species: *Pinus edulis* and *Juniperus monosperma*. *Remote Sensing of Environment*, 96: 108-118.
- Ustin, S.L., Smith, M.O. and Adams J.B., 1993. Remote sensing of ecological processes: A strategy for developing and testing ecological models using spectral mixture analysis. In: Ehrlinger, J.R. and Field, C.B., (Eds.). *Scaling Physiological Processes. Leaf to Globe*, Academic Press, San Diego: 339-357.
- Ustin, S.L., Asner, G.P., Gamon, J.A., Gitelson, A.A., Huemmrich, K.F., Jacquemoud, S., Schaepman, M.E. and Zarco-Tejada, P.J., 2006. Retrieval of quantitative and qualitative information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Article number 4241664: 1996-1999.
- Vogelmann, J.E., Rock, B.N. and Moss, D.M., 1993. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 1563-1575.
- Yoder, B.J., and Pettigrew-Crosby, R.E., 1995. Predicting Nitrogen and Chlorophyll Content and Concentrations from Reflectance Spectra (400-9, 500 nm) at Leaf and Canopy Scales. *Remote Sensing of Environment*, 53: 199-211.
- Hüni, A., Nieke, J., Schopfer, J., Kneubühler, M., and Itten, K.I., 2007. Meta data of spectral data collections. *Proceedings 5th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*. Bruges, Belgium, April 23-25. 10 p.
- Jacquemoud, S. and Ustin, S.L., 2000. Leaf optical properties: a state of the art. *Proceeding. 8th International Symposium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, Aussois (France), 8-12 January 2001, CNES: 223-232.
- Kneubuehler, M., Schaepman, M.E. and Kellenberger, T.W., 1998. Comparison of different approaches of selecting endmembers to classify agricultural land by means of hyperspectral data (DAIS7915). *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2: 888-890.
- Latifi, H. and Oladi, D., 2006. Evaluating landsat ETM+ data capability to produce forest cover type maps in the timberline of northern forests of Iran. *Taiwan J. For. Sci.*, 21(3): 363-375.
- Le Maire, G., François, C. and Dufrêne, E., 2004. Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 89 (1): 1-28.
- Lovell, C.E. and Robinson, S.A., 2002. Surface reflectance properties of Antarctic moss and their relationship to plant species, pigment composition and photosynthetic function. *Plant, Cell and Environment*, 25: 1239-1250.
- Malenovsky, Z., Ufer, C., Lhotakova, Z., Clevers, J.G.P.W., Schaepman, M.E., Cudlin, P. and Albrechtova, J., 2005. A new Optical Index for Chlorophyll Estimation of a Forest Canopy from Hyperspectral Images. In: Zagajewski, B. and Sobczak, M., (Eds.). *Imaging Spectroscopy-New Quality in Environmental Studies*, EARSeL, Warsaw (P), 1: 651-659.

Investigation on leaf spectral reflectance of most important species of Caspian forests using field Spectroradiometry

M. Abbasi ^{1*}, A.A. Darvishsefat ², M.E. Schaepman ³, M.R. Marvie Mohd jer ⁴ and H. Sobhany ²

1*- Corresponding author, Ph.D. student, Faculty of Natural Resource, University of Tehran.

E-mail: mozhgan.abasi@gmail.com

2- Associate Prof., Faculty of Natural Resource, University of Tehran.

3- Professor, Geo- information Dep., University of Wageningen.

4- Professor, Faculty of Natural Resource, University of Tehran.

Abstract

Remote sensing systems especially hyperspectral remote sensing for recognizing tree species and mapping forest type requires fundamental knowledge of spectral reflectance of desired tree species. A field of remote sensing named field spectrometry dealing with determination of these spectral characteristics tries to provide the spectral libraries for different objects. The main objective of this study was to prepare the spectral signature of the most important forest tree species of the northern forest of Iran. With this respect for the first time, field Spectroradiometric measurements were carried out using a full range spectrometer with Wageningen University of the Netherlands corporation during the summer 2007. The spectral fingerprint of five tree species namely *Fagus orientalis*, *Quercus castaneifolia*, *Carpinus betulus*, *Alnus subcordata* and *Parrotia persica* located in the Experimental Forest of Tehran University was prepared. A total of 321 leaf pile spectral curves were acquired of 107 trees of the mentioned species in altitude gradients between 400m and 2100m under clear and cloudless sky. A total of 100 scan for each leaf pile sample have been performed and averaged. After quality control and noises remove, the spectral fingerprint of the species was prepared along 350-2500nm. In order to investigate the spectral reflectance differences, five important vegetation indices related to leaf chlorophyll content were calculated and statistically analyzed. We conclude that the Vogelmann index and Simple Ratio is more sensitive to chlorophyll content in comparison to the other indices. It shows that hornbeam is significantly different in spectral signatures compared to beech, oak, and alder as well as ironwood with alder and oak being statistically different ($p < 0.0001$, $\alpha = 0.01$). For further investigation of spectral reflectance differences, we propose to make a correlation with extracted chlorophyll content and investigate the suitable vegetation indices related to other biochemical constituents and water content.

Key words: field spectroradiometry, spectral fingerprint, vegetation indices, chlorophyll content, Caspian forest tree species.