

مقایسه منحنی انعکاس طیفی سطح زیر و روی برگ گونه‌های راش و ممرز با استفاده از طیف‌سنجی زمینی و شاخص‌های طیفی

مژگان عباسی^{۱*}، علی اصغر درویش صفت^۲، Michael Schaepman^۳

^۱ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

^۲ استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

^۳ استاد سنجش از دور دانشگاه زوریخ، سوئیس

(تاریخ دریافت: ۸۸ / ۵ / ۵، تاریخ پذیرش: ۸۹ / ۷ / ۲۰)

چکیده

آگاهی دقیق از چگونگی انعکاس طیفی پدیده‌ها از اهمیت بسیار زیادی در سنجش از دور برخوردار است. بازتاب ثبت‌شده از تاج پوشش درخت می‌تواند به علت تفاوت زاویه برگ‌ها، شاخه‌ها و همچنین فضای درونی تاج پوشش، با بازتاب نمونه برگ همان درخت متفاوت باشد. از این رو ضروری است که علاوه بر بازتاب طیفی سطح رویی برگ، سطح زیرین برگ نیز مورد بررسی قرار گیرد. اینچنین اطلاعات، لازمه مدلسازی بازتاب تاج درختان و توده‌های جنگلی است. هدف از این تحقیق تهیه و بررسی بازتاب طیفی دو سطح زیر و روی برگ دو گونه راش و ممرز در شرایط طبیعی و بررسی تفاوت طیفی آنها با استفاده از شاخص‌های حساس به کلروفیل و کارتنوئید است. در این تحقیق اندازه‌گیری‌های طیفی با استفاده از یک دستگاه طیف-سنج زمینی به نام ASD FieldSpec با دامنه طول موج طیفی کامل ۲۵۰-۳۵۰ نانومتر بر روی نمونه‌های برگ ۵۲ درخت در شرایط طبیعی در جنگل خیرود نوشهر انجام و در مجموع ۳۱۲ منحنی طیفی ثبت شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از تهیه منحنی‌های بازتاب طیفی گونه‌ها نشان می‌دهد که در گونه ممرز، مقدار انعکاس طیفی سطح زیر برگ در تمامی طول منحنی بیشتر از سطح روی برگ است. در حالیکه در گونه راش، بازتاب، تنها در محدوده مرئی و مادون قرمز دور در سطح زیرین بیشتر و در مادون قرمز نزدیک کمتر است. به منظور بررسی دقیق‌تر تفاوت‌های بازتاب طیفی گونه‌ها در دو سطح برگ، شاخص‌های طیفی حساس به غلظت کلروفیل و کارتنوئید و رنگدانه‌های فتوسنتزی محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. ارزش شاخص NDI در سطح روی برگ نسبت به سطح زیرین بیشتر است. در مقابل بر اساس شاخص‌های SIPI و PRI ارزش‌ها در سطح روی برگ نسبت به سطح زیرین کمتر است. در هر سه مورد تفاوت معنی‌داری ($\alpha = 0/01$, $p < 0/0001$) بین دو سطح برگ در گونه‌های ممرز و راش دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی زمینی، طیف سطح زیر و روی برگ، شاخص طیفی، راش، ممرز.

مقدمه و هدف

پایه و اساس مطالعات سنجش از دوری بر بازتاب طیفی پدیده‌ها استوار است. امروزه با افزایش تعداد باندهای طیفی در سنجنده‌های ابرطیفی، امکان بررسی پدیده‌ها در محدوده وسیعی از طول موج طیفی از محدوده مرئی تا مادون قرمز دور فراهم شده است به طوری که در طیف‌سنجی زمینی با افزایش قدرت تفکیک طیفی در حدود ۱۰ - ۱ نانومتر، امکان بررسی پدیده‌ها با جزئیات بسیار دقیق تا حد ایجاد اثر انگشت طیفی فراهم شده است. داده‌های طیف-سنجی به لحاظ برداشت طیفی به طور مستقیم و حداقل خطای ناشی از عوامل محیطی به عنوان نمونه‌های نهایی^۱ و واقعی در بسیاری از روش‌های طبقه‌بندی و تحلیل داده‌های سنجنده‌های هوایی و فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیچیده بودن مطالعات طیفی پوشش گیاهی به علت پویایی این پدیده‌ها زمینه انجام مطالعات زیادی را فراهم کرده است. از طرف دیگر تفاوت در زاویه دید سنجنده‌ها، زاویه نور و ساختار متفاوت تاج درختان منجر به ثبت بازتاب‌های طیفی متفاوتی از پوشش درختی می‌شود. آنچه مسلم است زاویه برگ‌ها و شاخه‌ها، همچنین فضای درونی تاج پوشش درختان در همه گونه‌ها یکسان نیست. همچنین بازتاب ثبت شده از نمونه برگ یک درخت می‌تواند با بازتاب تاج پوشش همان گونه متفاوت باشد. این تفاوت ناشی از وضعیت برگ و شاخه از نظر زاویه و همچنین عناصر غیرفتوسنتزی و چوبی است. چنانچه وضعیت شاخه‌ها و برگ‌ها غیرافقی و به نسبت عمودی باشد، سهم بازتاب طیفی سطح زیرین برگ در انعکاس ثبت شده از تاج بیشتر می‌شود. در صورت لرزش و حرکت شاخه و برگ به علت جابجایی هوا و وزش باد، سهم بازتاب سطح زیرین برگ افزایش می‌یابد. در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده است. از جمله می‌توان به *Grant et al. 2003* و *Khavaninzadeh et al. (2010)* اشاره کرد.

انعکاس طیفی برگ در هر طول موج تحت تأثیر عوامل متفاوتی از جمله غلظت و ترکیب مواد بیوشیمیایی و همچنین ساختار سلولی آن و عوامل محیطی است. نسبت‌گیری‌های

طیفی و شاخص‌های طیفی^۲ علاوه بر کاهش یا حذف اثر عوامل مزاحم محیطی و غیرمحیطی مانند نور پخش‌ناشی از پدیده‌های مجاور و غیره، با استفاده از مجموعه طول موج‌های مناسب، تغییرات متغیرهای مورد نظر را بارزتر می‌سازند. پژوهش‌های زیادی در خصوص تعریف و تعیین شاخص‌های طیفی مناسب و مرتبط با ترکیبات بیوشیمیایی گیاه در تاج پوشش گیاهان به منظور بررسی تفاوت طیفی آنها انجام شده است (*Malenovsky et al., 2005; Clevers et al., 2005; Le Maire et al., 2004; Lovelock & Robinson, 2002; Datt, 1999; Blackburn, 1998*). *Li et al. (2007)* با استفاده از شاخص‌های حساس به کلروفیل و کارتنوئید تفاوت غلظت این دو رنگدانه را در دو سطح زیر و روی برگ بررسی کرده‌اند. *Gamon & Surfus (1999)* و *Stylinski et al. (2002)* تغییرات شاخص حساس به فتوسنتز (PRI^3) را در دو سطح زیر و روی برگ در تیمارهای نور دهی مختلف بررسی نموده‌اند. بر اساس نتایج تحقیق *Li et al. (2007)* که با هدف بررسی پاسخ طیفی برگ در تیمارهای مختلف استرس سرما انجام شده، تخریب سطح زیرین سریع‌تر و بیشتر از سطح روی برگ است. به دلیل وجود رنگدانه‌های بیشتر فتوسنتزی از جمله گزانتوفیل و کلروفیل، حساسیت سطح روی برگ در مقابل استرس وارد شده کمتر است. تفاوت ساختار سلولی دو سطح برگ به علت وجود فضای بین سلولی بیشتر، سلول‌های اسفنجی مزوفیل و همچنین غلظت کمتر پروتئین در سطح زیرین منجر به پاسخ طیفی متفاوت در این دو سطح می‌شود (*Nishio, 2000; Vogelmann et al., 1996; Sun et al., 1993; Evans et al., 1996*).

هدف این تحقیق، تهیه و بررسی منحنی‌های بازتاب طیفی سطح زیر و روی برگ دو گونه مهم از جنگل‌های شمال ایران (راش و ممرز) و بررسی تفاوت طیفی آنها با استفاده از شاخص‌های حساس به کلروفیل، نسبت کلروفیل به کارتنوئید و رنگدانه‌های فعال فتوسنتز است.

2- Vegetation Indices

۳- Photochemical Reflectance Index

۱- Endmember

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد بررسی

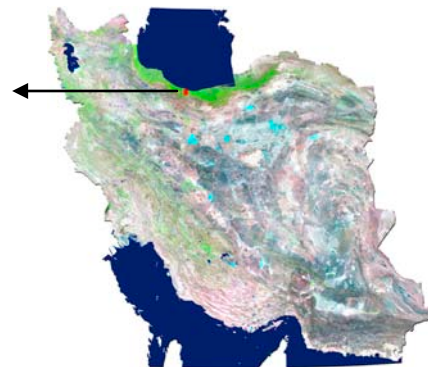
این بررسی در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در خیرودکنار نوشهر انجام شده است. جنگل خیرود در دامنه ارتفاعی ۱۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا و دارای سطح حدود ۸۰۰۰ هکتار است (شکل ۱). گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) به عنوان مهم‌ترین گونه اکولوژیکی و اقتصادی در جنگل‌های خزری مورد بررسی قرار گرفت. این گونه به صورت خالص و آمیخته، اغلب بر روی شیب‌های شمالی و در اشکوب غالب از ارتفاع حدود ۶۰۰ تا ۲۲۰۰ متر از سطح دریا گسترش دارد. گونه ممرز (*Carpinus betulus*) نیز به عنوان یکی دیگر از گونه‌های مهم جنگل‌های خزری که درصد قابل توجهی از سطح جنگل‌های شمال را می‌پوشاند و همراه با گونه‌های دیگر به خصوص راش در اشکوب پایین قرار می‌گیرد، گونه دوم مورد بررسی در این تحقیق است. به منظور فراهم نمودن نمونه‌های طیفی جامع از هر گونه، نمونه‌های درختی مورد بررسی از رویشگاه‌های خاص خود در ارتفاع‌های مختلف انتخاب شده‌اند.

- اندازه‌گیری طیفی

در این تحقیق اندازه‌گیری طیفی با استفاده از یک دستگاه طیف‌سنج زمینی به نام ASD FieldSpec با دامنه طول موج طیفی کامل ۲۵۰-۳۵۰ نانومتر انجام شد. شرح دقیق‌تر دستگاه مورد استفاده در این تحقیق، در تحقیق انجام شده توسط عباسی و همکاران (۱۳۸۸) آمده است. به علت وجود تغییرات لحظه‌ای شرایط جوی از جمله دما و

رطوبت محیط و اثر متفاوت آن بر روی ثبات‌های دستگاه طیف‌سنج که منجر به ایجاد خطاهایی در اندازه‌گیری می‌شود، این دستگاه با استفاده از صفحه سفید مبنا قبل از هر اندازه‌گیری کالیبره شد.

در این بررسی در مجموع ۵۲ درخت از دو گونه راش و ممرز (۳۲ و ۲۰ پایه به ترتیب از هر کدام از گونه‌ها) برای اندازه‌گیری طیفی انتخاب شد. به منظور فراهم آوردن شرایط یکسان نمونه‌برداری، از هر پایه درختی سه شاخه در جهتی که تاج بیشترین مقدار نور را در طول روز دریافت می‌کند، قطع و سطح زیر و روی برگ‌های هر سه شاخه مورد طیف‌سنجی قرار گرفت. شکل ۲ سطح زیر و روی برگ ممرز و راش را نشان می‌دهد. به این ترتیب برای هر سطح برگ (زیر و روی) سه منحنی طیفی و در مجموع شش منحنی طیفی برای هر درخت ثبت شد. جدول ۱ تعداد و مشخصات نمونه‌ها را نشان می‌دهد. انعکاس طیفی نمونه‌ها در روزهای آفتابی مرداد ماه ۱۳۸۶ و در ساعات ۱۴-۱۰ در نور مستقیم خورشید اندازه‌گیری شد. در طیف-سنجی از هر نمونه مجموعه برگ، ۱۰۰ بار عمل اسکن طیفی انجام شد. تعداد اسکن‌ها بستگی به تغییرات لحظه‌ای شرایط جوی به ویژه باد دارد که منجر به حرکت برگ و ثبت بازتاب سطح زیرین آن می‌شود. اندازه‌گیری طیفی بر روی برگ‌های جدا شده و توده برگ‌ها تهیه شده در دایره‌ای به قطر تقریبی ۲۵ سانتی‌متر انجام شد. به منظور جذب نور و جلوگیری از ثبت بازتاب‌های ناشی از پدیده‌های مجاور، نمونه‌ها روی صفحه‌ای سیاه رنگ قرار گرفتند (شکل ۳).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و نمونه‌های درختی اندازه‌گیری شده در منطقه (دایره: نمونه راش، ستاره: نمونه ممرز)

جدول ۱- تعداد و مشخصات کمی نمونه‌های اندازه‌گیری شده

ممرز	راش	
۲۰	۳۲	تعداد پایه درختی از هر گونه
۷۰۰-۱۰۰۰	۴۰۰-۲۲۰۰	دامنه ارتفاع از سطح دریا (متر)
۳۵-۵۸	۴۰-۷۰	دامنه قطر برابر سینه (سانتی‌متر)
۱۵-۲۵	۲۵-۳۸	ارتفاع درخت (متر)
۱۲۰	۱۹۲	تعداد منحنی‌های طیفی



شکل ۲- سطح زیر و روی برگ ممرز (الف) و راش (ب)



شکل ۳- توده‌های برگ‌گی تهیه‌شده بر روی صفحه‌ای سیاه رنگ برای اندازه‌گیری طیفی

- شاخص‌های طیفی

به‌علت وجود خطای ناشی از دستگاه و عوامل محیطی در حین اندازه‌گیری که از نمونه‌ای به نمونه دیگر متفاوت است نمی‌توان تفاوت طیفی نمونه‌ها را در طول منحنی با روش‌های آماری متداول برآورد کرد. از طرف دیگر بازتاب طیفی گیاه می‌تواند در هر طول موج ناشی از عوامل بسیار زیادی مانند مواد بیوشیمیایی گیاه از جمله کلروفیل، نیتروژن، کاروتنوئید و گزانتوفیل، همچنین رطوبت برگ، ساختار درون و برون سلولی و به‌طور کلی عملکرد فتوسنتز در گیاه باشد. از این‌رو شاخص‌های طیفی، به‌علت ارتباط قوی آنها با متغیر مورد نظر، علاوه بر توجیه علت تفاوت

طیفی نمونه‌ها، نقش مؤثری در برطرف کردن یا کاهش اثر عوامل مزاحم در بازتاب طیفی دارند. پژوهش‌های زیادی برای تعیین و تعریف شاخص‌های مناسب در زمینه بررسی تغییرات غلظت رنگدانه‌های مختلف (Barry *et al.*, 2008; Kimura *et al.*, 2004; Gitelson *et al.*, 2003; Gitelson *et al.*, 1994; Gamon *et al.*, 1992; Wang *et al.*, 2008)، شاخص سطح برگ (Vaesen *et al.*, 2001)، نیتروژن (Lee *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2008) و دیگر عوامل تأثیرگذار بر منحنی انعکاس طیفی گیاهان انجام شده است. در تحقیق حاضر با توجه به نتایج تحقیقات انجام‌شده در این زمینه، تعدادی از این شاخص‌ها که رابطه

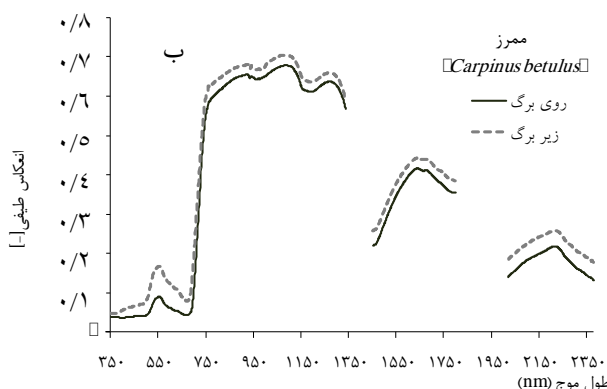
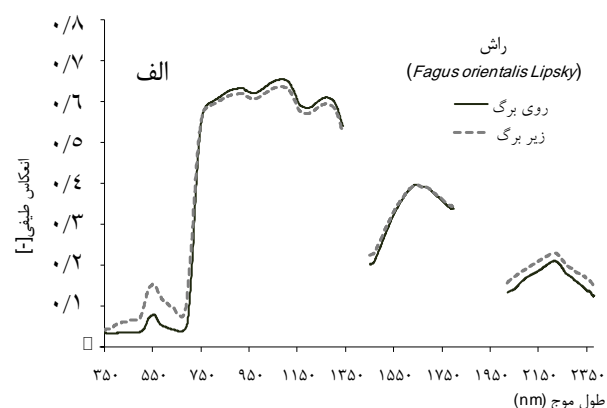
تجزیه و تحلیل‌های آماری

شاخص‌های یادشده بر روی یکایک منحنی‌های نمونه‌های طیف‌سنجی هر یک از گونه‌ها محاسبه شد. با محاسبه شاخص‌های یادشده، امکان بررسی تفاوت آماری انعکاس طیفی برگ گونه‌ها فراهم شد. در این بررسی از تحلیل واریانس و آزمون مقایسه میانگین جفتی دانکن در محیط SAS استفاده شده است.

نتایج

- مشخصه طیفی نمونه‌ها

پس از ثبت ۱۰۰ اسکن طیفی از نمونه، دستگاه به‌طور خودکار از اسکن‌ها میانگین‌گیری کرده و نتیجه به‌صورت یک منحنی طیفی در طول موج ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر بر روی صفحه نمایش رایانه، نشان داده می‌شود. نتیجه پیش‌پردازش‌های انجام‌شده به‌منظور حذف داده‌های نویز منحنی طیفی، در شکل ۴ ارائه شده و به تفصیل در تحقیق انجام شده توسط عباسی و همکاران (۱۳۸۸) تشریح شده است.



شکل ۴- منحنی انعکاس طیفی گونه‌های راش (الف) و ممرز (ب)

در سطح زیر (منحنی پررنگ) و روی برگ (منحنی نقطه‌چین)

آماری خوبی با ساختار سلولی برگ در دو سطح آن نشان داده‌اند، انتخاب شدند. در شاخص‌های حساس به تغییرات غلظت کلروفیل، عمدتاً از طول موج‌های محدوده لبه قرمز^۱ و طول موج‌های جذب کلروفیل در محدوده مرئی، استفاده می‌شود. منطق استفاده از طول موج‌های استفاده‌شده در شاخص SIPI^۲ که تغییرات نسبت غلظت کاروتنوئید به کلروفیل را نشان می‌دهد، بر پایه حساسیت طول موج‌های ۶۸۰ نانومتر به کلروفیل، همچنین بروز حداقل جذب در طول موج ۴۴۵ نانومتر در مقابل غلظت بسیار اندک کلروفیل و جذب کاروتنوئید است، ضمن این که وضعیت سطح برگ (اپیدرم) نقش چندانی در مقدار جذب در طول موج اخیر ندارد (Zarco-Tejada et al., 2005; Dechmi et al., 2003). در شاخص NDI^۳ از طول موج‌های محدوده لبه قرمز، حساس به غلظت کلروفیل، استفاده می‌شود. حساسیت این شاخص به علت جذب کلروفیل در طول موج‌های ۷۰۵ و ۷۵۰ نانومتر، نسبت به دامنه وسیعی از تغییرات غلظت کلروفیل در برگ است (Le Maire et al., 2004).

طول موج‌های به‌کار برده‌شده در شاخص طیفی فتوسنتز PRI، به‌طور کلی مربوط به جذب طیفی رنگدانه‌های مؤثر در فتوسنتز از جمله گزانتوفیل است. ارزیابی عملکرد فتوسنتز گیاه یکی از مهم‌ترین مابانی در تشخیص و پیش‌بینی ساختار بیوشیمیایی و سلولی گیاه، رویش آن، مبادله کربن بین اکوسیستم، گیاه و سلامت آن است. در این شاخص طیفی، طول موج‌های ۵۳۱، ۵۳۹ و ۵۲۸ به‌عنوان طول موج مبنا برای کاهش یا حذف اثر تغییرات زاویه تابش خورشید استفاده می‌شود. اگرچه این طول موج‌ها رابطه مستقیم مشخصی با وضعیت ساختار سلولی برگ در دو سمت آن نشان نمی‌دهند، اما آنچه مسلم است مقدار و شدت فتوسنتز در سطح زیرین و زبرین برگ متفاوت است (Hughes et al., 2008).

$$SIPI = (R_{\lambda_{..}} - R_{\lambda_{445}}) / (R_{\lambda_{..}} + R_{\lambda_{680}})$$

$$NDI = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$$

$$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$$

R: انعکاس طیفی در یک طول موج

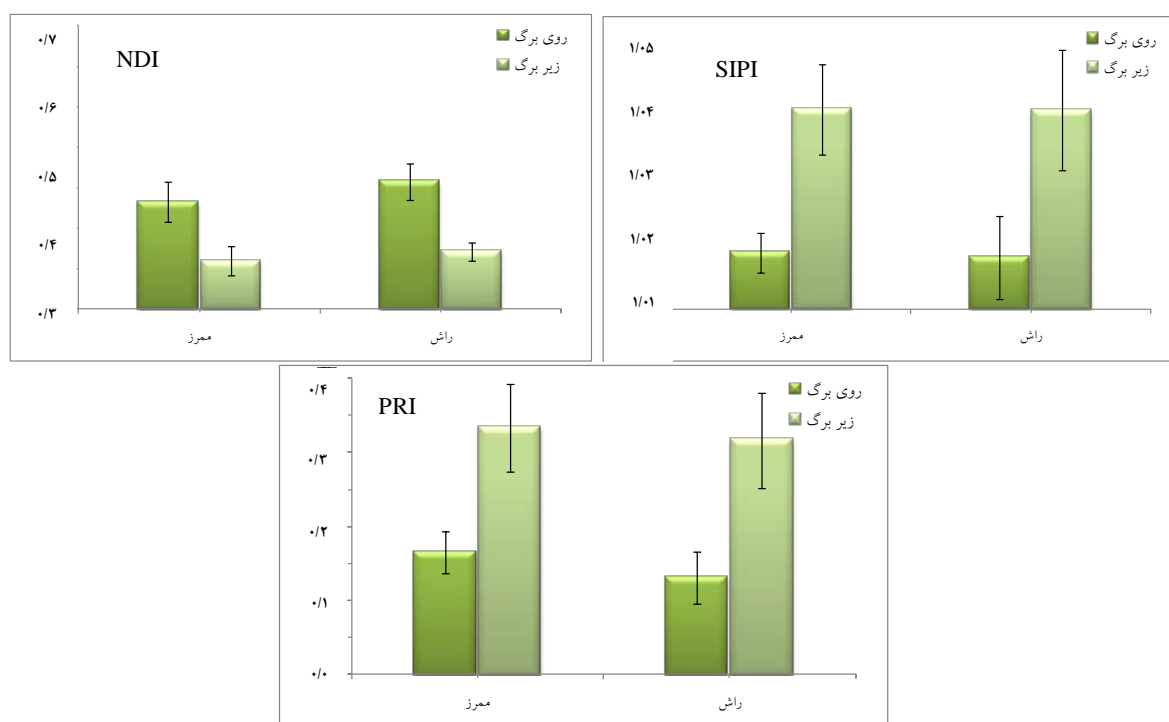
۱- Red Edge

۲- Structure Insensitive Pigment Index

۳- Normalized Difference Index

- تحلیل آماری تفاوت طیفی برگ گونه‌ها ارزش شاخص NDI محاسبه شده در سطح روی برگ نسبت به سطح زیرین بیشتر است. در مقابل بر اساس شاخص‌های SIPI و PRI ارزش‌ها در سطح روی برگ نسبت به سطح زیرین کمتر است. بر اساس نتایج تحلیل واریانس در بررسی معنی‌دار بودن تفاوت طیفی دو سطح برگ با استفاده از این شاخص‌ها، در هر سه مورد تفاوت معنی‌داری ($p < 0.0001$, $\alpha = 0.01$) بین دو سطح برگ در گونه‌های ممرز و راش دیده می‌شود (شکل ۵).

پس از تهیه منحنی بازتاب طیفی دو گونه راش و ممرز در دو سطح زیر و روی برگ، درصد تفاوت منحنی هر گونه در دو سطح محاسبه شد. در گونه ممرز در همه طول منحنی طیفی از ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر، ارزش انعکاس طیفی سطح زیر بیشتر از سطح روی برگ می‌باشد. در حالیکه در گونه راش در محدوده مرئی و مادون قرمز دور در سطح زیرین بیشتر و در مادون قرمز نزدیک کمتر است. به‌طور کلی در کل طول منحنی طیفی، تفاوت دو منحنی در دو سطح برگ در گونه راش ۲۳ درصد و در ممرز ۲۵/۵ درصد است.



شکل ۵- میانگین و انحراف معیار ارزش شاخص‌های NDI، SIPI و PRI در دو سطح برگ (ستون پر رنگ و کم رنگ به ترتیب روی و زیر برگ) برای گونه‌های ممرز و راش

بحث

شاخص NDI حساس به کلروفیل، حاکی از آنست که در طول محدوده مرئی، جذب طیفی کلروفیل در سطح زیرین کمتر از سطح روی برگ در هر دو گونه است. در گونه ممرز، مقدار انعکاس طیفی سطح زیر برگ در همه طول موج‌ها بیشتر از سطح روی برگ آن است، در حالیکه در گونه راش در محدوده مادون قرمز نزدیک مقدار انعکاس طیفی سطح زیرین کمتر است. از آنجا که مشخصه طیفی گیاه در محدوده مادون قرمز نزدیک عمدتاً مربوط به ساختار سلولی گیاه است، تفاوت ساختار سلولی اپیدرم زیرین

بیشتر بودن انعکاس طیفی سطح زیرین نسبت به سطح روی برگ در هر دو گونه راش و ممرز در محدوده مرئی (شکل ۴) ناشی از جذب طیفی کمتر رنگدانه‌ها در سطح زیرین است. نتیجه تحقیق Hughes *et al.* (2008) نیز در بررسی بازتاب طیفی سطح زیرین و زیرین برگ، نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند. نتایج تحقیق Khavaninzadeh *et al.* (2010) نیز نشان داد که بازتاب سطح زیرین برگ گونه ممرز از سطح بالایی آن بیشتر است. ارزش‌های به‌دست‌آمده از محاسبه

منابع

- عباسی، مژگان، علی اصغر درویش صفت، Michael Schaepman، محمد رضا مروی مهاجر و هوشنگ سبحانی، ۱۳۸۸. بررسی تفاوت انعکاس طیفی برگ مهم ترین گونه‌های درختی جنگل‌های خزری با استفاده از طیف سنجی زمینی. مجله علمی- پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۴): ۵۸۰-۵۶۸.
- Barry, K.M., C. Stone & C.L. Mohammed, 2008. Crown-scale evaluation of spectral indices for defoliated and discoloured 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.
- Brakke, T.W., W.P. Wergin, E.F. Erbe & J.M. Harnden, 1993. Seasonal variation in the structure and red reflectance of leaves from yellow poplar, Red Oak, and Red Maple, *Remote Sensing of Environment*, 43: 115-130.
- Burger, J. & P. Geladi, 2006. Hyperspectral NIR imaging for calibration and prediction: A comparison between image and spectrometer data for studying organic and biological samples, *Analyst*, 131: 1152-1160.
- Cho, M.A., A. Skidmore, F. Corsi, S.E. van Wieren & I. Sobhan, 2007. Estimation of green grass/herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9: 414-424.
- Clark, M.L., D.A. Roberts & D.B. Clark, 2005. Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales, *Remote Sensing of Environment*, 96: 375-398.
- Clevers, J.G.P.W., G.W. Heijden, A.M. Van der, S. Verzakov & M.E. Schaepman, 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.
- Datt, B., 1999. Visible/ near infrared reflectance and chlorophyll content in Eucalyptus leaves, *International Journal of Remote Sensing*, 20(14): 2741-2759.
- Dechmi, F., E. Playan, J.M. Faci & M. Tejero, 2003. Analysis of an irrigation district in همچنین وجود پرزها در گونه راش می‌تواند عامل مؤثری در تفاوت انعکاس طیفی سطح زیرین برگ گونه راش با ممرز باشد، ضمن اینکه سرشت نوری این دو گونه نیز متفاوت است. در این راستا، بر پیشنهاد (Grant *et al.*, 2003) مبنی بر ضرورت بررسی رابطه مشخصه طیفی سطح زیرین و زیرین برگ گونه‌ها با عوامل مؤثر بر بازتاب مانند رنگدانه‌ها، مقدار و نوع پرز و همچنین ترکیبات بیوشیمیایی برگ در ارتباط با چرمی بودن آن، تأکید می‌شود. بیشتر بودن میزان شاخص PRI در سطح زیرین برگ‌های دو گونه راش و ممرز، با نتایج تحقیق (Gamon & Surfus (1999) و Styliniski *et al.* (2002) همسو است. با توجه به یکسان نبودن زاویه برگ‌ها و شاخه‌ها و فضای درونی تاج پوشش درختان در همه گونه‌ها، مقدار نور بازتاب‌شده و رسیده به سنجنده علاوه بر سطح رویی برگ می‌تواند متأثر از سطح زیرین برگ نیز باشد (Poulson & Delucia, 1993)، به‌ویژه آنکه در صورت غیرافقی بودن شاخه‌ها و برگ‌ها سهم بازتاب طیفی سطح زیرین در انعکاس ثبت‌شده از تاج بیشتر خواهد بود. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که در بررسی‌های سنجش از دوری برای تفکیک گونه‌های درختی، توده‌ها و تیپ‌های جنگلی، لازم است که تفاوت بازتاب طیفی برگ در هر دو سطح آن مورد بررسی قرار گیرد و با آگاهی از چگونگی بازتاب شاخه و تنه درختان نسبت به مدلسازی بازتاب آنها اقدام کرد (Zeng *et al.*, 2009). در این راستا و بر اساس نتایج پژوهش‌های (Cho *et al.* (2007)؛ Burger & Geladi (2006) و Stæhr & Cullen (2003) پیشنهاد می‌شود از روش‌های پردازش و تحلیل منحنی‌های طیفی مانند برداشت حدفی^۱، مشتق‌گیری منحنی و روش‌های آماری پیشرفته‌تر همانند PLS^۲ استفاده شود. بر اساس نتایج این تحقیق و پژوهش‌های (Li *et al.*, 2007؛ Clark *et al.*, 1995 و Brakke *et al.*, 1993، استفاده از شاخص‌های طیفی حساس به وضعیت ساختار بیوشیمیایی و فیزیکی برگ توصیه می‌شود.

1- Continuum Removal

۲- Partial Least Square

- northeastern Spain I. Characterisation and water use assessment, *Agricultural Water Management*, 61: 75-92.
- Evans, J.R., I. Jakobsen & E. Ogren. 1993. Photosynthetic light-response curves: Gradients of light absorption and photosynthetic capacity, *Planta*, 189: 191- 200.
- Gamon, J.A., J. Penuelas & C.B. Field, 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency, *Remote Sensing of Environment*, 41: 35-44.
- Gamon, J.A. & J.S. Surfus, 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer, *New Phytologist*, 143: 105-117.
- Gitelson, A. & M.N. Merzlyak, 1994. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 22: 247-252.
- Gitelson, A.A., Y. Gritz & M.N. Merzlyak, 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.
- Grant, R.H., G.M. Heisler, W. Gao, M. Jenks, 2003. Ultraviolet leaf reflectance of common urban trees and the prediction of reflectance from leaf surface characteristics, *Agricultural and Forest Meteorology*, 120: 127-139.
- Hughes, N.M., T.C. Vogelmann & W.K. Smith, 2008. Optical effects of abaxial anthocyanin on absorption of red wavelengths by understory species: revisiting the backscatter hypothesis, *Journal of Experimental Botany*, 59(12): 3435-3442.
- Khavaninzadeh, A.R., F. Veroustraete, K. Wuyts & R. Samsó, 2010. Leaf spectral characteristics of *Carpinus betulus* L. for assessing urban habitat quality. CLIMAQS Workshop 'Local Air Quality and its Interactions with Vegetation' January 21-22, 2010, Antwerp, Belgium, 4pp.
- Kimura, R., S. Okada, H. Miura & M. Kamichika, 2004. Relationships among the leaf area index, moisture availability, and spectral reflectance in an upland rice field, *Agricultural Water Management*, 69: 83-100.
- Lee, Y.J., C.M. Yang, K.W. Chang & Y. Shen, 2008. A Simple Spectral Index Using Reflectance of 735 nm to assess Nitrogen Status of Rice Canopy, *Agronomy Journal*, 100(1): 205-212.
- Le Maire, G., C. Francoeois & E. Dufreene, 2004. Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements, *Remote Sensing of Environment*, 89: 1-28.
- Li, P.M., P. Fang, W.B. Wang, H.Y. Gao & T. Peng, 2007. The higher resistance to chilling stress in adaxial side of *Rumex K-1* leaves is accompanied with higher photochemical and non-photochemical quenching. *Photosyntheetica*, 45 (4): 496-502.
- Lovelock, C.E. & S.A. Robinson, 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., C. Ufer, Z. Lhotakova, J.G.P.W. Clevers, M.E. Schaepman, P. Cudlin & J. Albrechtova, 2005. A new Optical Index for Chlorophyll Estimation of a Forest Canopy from Hyperspectral Images. In *Imaging Spectroscopy - New Quality in Environmental Studies* (eds B. Zagajewski & M. Sobczak), 1: 651-659. EARSeL, Warsaw (Pl).
- Nishio, J.N., 2000. Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement, *Plant Cell Environment*, 23: 539-548.
- Poulson, M.E. & E.H. DeLucia, 1993. Photosynthetic and structural acclimation to light direction in vertical leaves of *Silphium terebinthinaceum*, *Oecologia*, 95(3): 393-400.
- Stæhr, P.A. & J.J. Cullen, 2003. Detection of *Karenia mikimotoi* by spectral absorption signatures, *Journal of Plankton Research*, 25(10): 1237-1249.
- Stylinski, C.D., J.A. Gamon & W.C. Oechel, 2002. Seasonal patterns of reflectance indices, carotenoid pigments and photosynthesis of evergreen chaparral species, *Oecologia*, 131: 366- 374.
- Sun, J., J.N. Nishio & T.C. Vogelmann, 1996. High-light effects on CO₂ fixation gradients across leaves, *Plant Cell and Environment*, 19: 1261-1271.
- Vaesen, K., S. Gilliams, K. Nackaerts & P. Coppin, 2001. Ground-measured spectral signatures as indicators of ground cover and leaf area index: The case of paddy rice, *Field Crops Research*, 69: 13-25.
- Vogelmann, T.C., J.N. Nishio & W.K. Smith, 1996. Leaves and light capture: light propagation and gradients of carbon fixation within leaves, *Trends Plant Science*, 1: 65-70.
- Wang, F. M., J.F. Huang & X.Z. Wang, 2008. Identification of Optimal Hyperspectral Bands for Estimation of Rice Biophysical Parameters, *Journal of Integrative Plant Biology*, 50 (3): 291-299.

Zarco-Tejada, P.J., A. Berjon, R. Lo'pez-Lozano, J. R. Miller, P. Martin, V. Cachorro, M.R. Gonzalez & D.A. Frutos, 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy, *Remote Sensing of Environment*, 99: 271-287.

Zeng, Y., M.E. Schaepman, B. Wu, J.G.P.W. Clevers & A.K. Bregt, 2009. Quantitative forest canopy structure assessment using an inverted geometric-optical model and up-scaling, *International Journal of Remote Sensing*, 30, 1385-1406.

Zhu, Y., X. Yao, Y. Tian, X. Liu & W. Cao, 2008. Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10: 1-10.

Comparison of adaxial and abaxial spectral reflectance of *Fagus orientalis* Lipsky and *Carpinus betulu* using field spectroradiometer and spectral indices

M. Abbasi^{*1}, A.A. Darvishsefat² and M. Schaepman³

¹Assistant Prof., Faculty of Natural Resource and Earth Science, University of Shahre-kord, I. R. Iran

²Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

³Prof., Faculty of Science, University of Zurich, Zurich

(Received: 26 July 2009, Accepted: 12 October 2010)

Abstract

The spectral reflectance of tree crown can be different from spectral reflectance of its leaves because of diverse leaf and branch angles as well as internal space of tree crown. For these reasons it is necessary to study spectral reflectance of both adaxial and abaxial surfaces of the leaves. Such information is necessary for modeling the reflectance of tree crown and forest stands. The main objective of this study was to obtain and study the spectral reflectance of both adaxial and abaxial leaves of beech and hornbeam in natural condition and to investigate their spectral differences using indices sensitive to chlorophyll, chlorophyll to carotenoid ratio and photosynthetic pigments. Field spectroradiometric measurements were performed using a portable spectroradiometer (ASD FieldSpec) in Kheyroud forest. A total of 52 trees were sampled and 312 spectra were recorded and analyzed. Spectral measurements cover the wavelength range between 350 – 2500 nm. The results of the spectral reflectance analysis of these two species showed that the abaxial spectral reflectance from 350 to 2500 nm was higher than the adaxial one for hornbeam species. However, for beech species in the visible region and far infrared region, the abaxial spectral reflectance was higher whereas in the near infrared it was lower than the adaxial one. For more detailed investigation of spectral reflectance difference for these two species, spectral indices sensitive to chlorophyll and carotenoid were calculated and statistically analyzed for both surfaces. The value of adaxial NDI index was found to be higher than abaxial for both species. In contrast, the values of adaxial SIPI and PRI indices were lower than abaxial. The differences significant ($\alpha=0.01$, $p<0.0001$) for both species.

Key words: field spectroradiometry, Spectral reflectance, Adaxial and abaxial surface of leaves, Spectral index, Beech, Hornbeam.