

رابطه مقدار رطوبت سوختی برگ گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با داده‌های طیفی در ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاق استان چهارمحال و بختیاری

نرگس پورقاسمی^۱، مژگان عباسی^{۲*} و علی سلطانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
^۲ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۱۶)

چکیده

رطوبت گیاه، از عامل‌های مهم در تعیین وضع فیزیولوژیکی گیاه، شرایط سلامت، تعیین وضع استرس گیاه، ارزیابی خشکسالی و احتمال بروز آتش‌سوزی در جوامع جنگلی، به‌خصوص جنگل‌های با تاج‌پوشش باز است. نتیجه تحقیق‌های سنجش از دوری درصدد نشان دادن امکان برآورد متغیرهای گیاهی با هزینه کمتر، سرعت بیشتر و اطلاعات بهنگام، نسبت به روش‌های زمینی بوده است. در این تحقیق رابطه مقدار رطوبت سوختی، ضخامت آب معادل و وزن ویژه برگ گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با شاخص‌های طیفی بررسی شد. به این منظور ۴۰ درخت بلوط به‌طور تصادفی در دو دامنه جنوبی و غربی انتخاب و از هر چهار جهت اصلی تاج درخت‌ها توده‌ای برگ برای اندازه‌گیری طیفی برداشت شد. اطلاعات طیفی برگ‌ها در محدوده طول موج ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج زمینی ثبت شد. سپس ۳۰ برگ از بین توده برگ برای اندازه‌گیری متغیرهای گیاهی (سطح، وزن تر و خشک برگ‌ها) جدا شد. بنابر نتایج، شاخص رطوبت (WI) بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار ($P < 0/001, r = 0/۲۲$) را با مقدار رطوبت سوختی دارد. همچنین، دو شاخص WI و تفاوت گیاهی نرمال شده (NDVI) روابط معنی‌داری با مقدار رطوبت سوختی و وزن ویژه برگ نشان دادند. هیچ‌کدام از شاخص‌های طیفی رابطه معنی‌داری با ضخامت آب معادل نداشتند. به‌عبارت دیگر هیچ‌کدام از شاخص‌ها در این تحقیق، ارتباط معنی‌داری با متغیرهای مورد بررسی در جهت‌های مختلف تاج نشان ندادند. درحالی‌که این تفاوت در دامنه جغرافیایی غربی و جنوبی بین ضخامت آب معادل برگ و شاخص‌های NDVI، [۱۲۴۲ و ۱۱۰۸] و NDSI [۱۴۵۷ و ۱۱۰۸] معنی‌دار بوده است.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، شاخص طیفی، ضخامت آب معادل، طیف‌سنجی زمینی، مقدار رطوبت سوختی.

مقدمه و هدف

مقدار رطوبت سوختی (FMC^1)، متغیری کلیدی در کنترل وضع فیزیولوژیکی گیاه، ارزیابی خشکسالی، عملیات آبیاری محصولات زراعی و تعیین احتمال آتش‌سوزی جنگل است (Caccamo *et al.*, 2011; Gutierrez *et al.*, 2010; Penuelas *et al.*, 1997). در مدل‌های برآورد خطر آتش‌سوزی جنگل، مقدار رطوبت زنده برگ‌ها یا سوزن‌ها و مقدار رطوبت مرده (رطوبت لاشبرگ کف جنگل)، داده‌های ورودی هستند (Danson and Bowyer, 2004). رطوبت سوختی مرده (شامل لاشبرگ، شاخ و برگ و ترکه‌های افتاده کف جنگل) به‌طور مستقیم متأثر از عوامل جوی است، در حالی که FMC زنده (شامل درختان، بوته‌ها و گیاهان علفی) تحت تأثیر شرایط فیزیولوژی گیاه و رطوبت خاک است (De Santis *et al.*, 2006; Chuvieco *et al.*, 2004). بنابراین مقدار این متغیر در شرایط رویشگاهی متفاوت و در زمان‌های مختلف بیشتر از FMC مرده تغییر می‌کند (Verbesselt *et al.*, 2007; Danson and Bowyer, 2004).

درصد مقدار رطوبت سوختی زنده (درصد FMC) اندازه‌نسبی از مقدار رطوبت گیاه است که از اندازه‌گیری وزن خشک و وزن تر برگ محاسبه شده و به‌عنوان درصدی از وزن خشک برگ بیان می‌شود. همچنین این متغیر می‌تواند از مقادیر ضخامت آب معادل (EWT^2) و وزن ویژه برگ (SLW^3) نیز برآورد شود (Mahlein, 2011; Wang *et al.*, 2009; De Santis *et al.*, 2006; Riano *et al.*, 2005; Danson and Bowyer, 2004). ضخامت آب معادل از نسبت مقدار آب بر سطح برگ و وزن ویژه برگ از نسبت وزن خشک بر سطح برگ محاسبه می‌شوند. EWT و SLW اطلاعات مفیدی در مورد وضع رطوبت گیاهان جنگلی برای مدیریت آتش‌سوزی جنگل ارائه می‌دهند، اما به دلیل اینکه باید این متغیرها به‌طور

مستقیم در مقیاس سطح برگ اندازه‌گیری شوند، این اطلاعات به‌ندرت برای مدیریت و مدل‌یابی آتش‌سوزی در جنگل به‌کار گرفته می‌شوند (Wang *et al.*, 2009; Danson and Bowyer, 2004). از طرف دیگر، اندازه‌گیری FMC به‌طور زمینی، مخرب، زمان‌بر، پرهزینه و اغلب در سطح وسیع غیرممکن است و با خطاهایی در نمونه‌برداری و اندازه‌گیری همراه است. درمقابل استفاده از داده‌های دورسنجی برای برآورد این متغیر به‌طور متناوب و پیوسته امکان تحقیق را در سطح گسترده برگ، تاج و توده فراهم آورده است و از روش‌های غیرمخرب^۴ محسوب می‌شود (Riano *et al.*, 2005; Danson and Bowyer, 2004; Datt, 1999). با پیشرفت سنجنده‌های ابرطیفی و امکان پردازش داده‌های طیفی چه به‌صورت فضایی و هوایی و چه زمینی امکان تحقیق در خصوصیت‌های بیولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان فراهم آمده است. طیف‌سنجی زمینی^۵ به‌عنوان شاخه‌ای از علم سنجنش از دور ابرطیفی، امکان تحقیق در خصوصیت‌های طیفی و ارتباط بازتاب طیفی گیاه را با ویژگی‌های آن حتی در سطح سلولی و مولکولی فراهم کرده است (عباسی، ۱۳۸۸). داده‌های حاصل از طیف‌سنجی زمینی، در تجزیه و تحلیل دقیق تصاویر ماهواره‌ای و تفسیر آنها مانند کالیبره کردن داده‌های سنجنده‌های هوایی و ماهواره‌ای ابرطیفی، استخراج اطلاعات کمی و کیفی دقیق از داده‌های دورسنجی، تفکیک انواع گونه‌های گیاهی و تهیه نقشه‌های موضوعی نیز کاربرد دارد (Mahlein, 2011; عباسی، ۱۳۸۸).

تحقیق‌های بسیاری ارتباط بین مقدار رطوبت برگ و انعکاس طیفی را در دو محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز دور (SWIR) و باندهای جذب آب ۹۷۰، ۱۲۰۰، ۱۴۵۰ و ۱۹۵۰ نانومتر بررسی کرده‌اند (شکل ۱) (Chuvieco *et al.*, 2010; ...)

^۴ Nondestructive method

^۵ Field spectroscopy

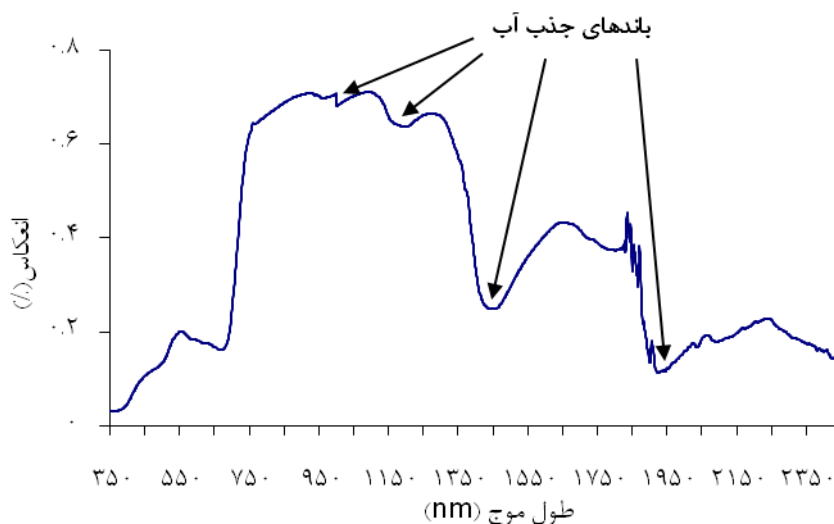
^۱ Fuel moisture content

^۲ Equivalent water thickness

^۳ Specific leaf weight

انعکاس طیفی برگ در محدوده مادون قرمز نزدیک، بیشتر تحت تأثیر ساختار درونی برگ و در محدوده مادون قرمز میانی، تحت تأثیر رطوبت برگ و مواد شیمیایی مانند سلولز، لیگنین، پروتئین و نشاسته است (Mahlein, 2011; Penuelas *et al.*, 1993).

Wang *et al.*, 2009; De Santis *et al.*, 2006; Riano *et al.*, 2005; Danson and Bowyer, 2004; Ceccato *et al.*, 2001). با کاهش رطوبت برگ انعکاس طیفی در دو محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز دور افزایش می‌یابد (Schaepman, 2007; Ceccato *et al.*, 2001).



شکل ۱- منحنی انعکاس طیفی و باندهای جذب آب (Eitel *et al.*, 2006)

طیفی مختلفی تاکنون برای تخمین FMC با استفاده از دو محدوده طول موج NIR و SWIR پیشنهاد شده است. از شاخص‌هایی که به‌طور وسیع بررسی شده‌اند، می‌توان شاخص رطوبت (WI) و شاخص تفاضل نرمال شده رطوبت (NDWI) را نام برد که براساس انعکاس در طول موج‌های ۹۷۰ و ۱۲۰۰ نانومتر محاسبه می‌شوند.

Wang *et al.*, (2009) با استفاده از تکنیک حذف پیوستار^۱، شاخص‌های جذب طیفی در ۱۴۵۰ nm و ۱۹۴۰ nm را از طیف برگ تعیین کرده و ارتباط این شاخص‌ها و شاخص‌های WI، MSI، NDWI، WI/NDVI را با EWT و FMC بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، شاخص‌های حاصل از تکنیک حذف پیوستار مناسب‌تر از دیگر شاخص‌ها هستند. Eitel *et al.*, (2006)، رابطه چهار شاخص طیفی WI،

(Bowyer and Danson, 2004)، بیان کردند که حساسیت انعکاس طیفی به تغییرات رطوبت برگ و مقدار ماده خشک در NIR و SWIR بیشتر است و تغییرات FMC تأثیری بر محدوده طول موج مرئی ندارد. همچنین نتیجه تحقیق Ceccato *et al.*, (2004) و Datt (1999)، نشان داد که انعکاس در محدوده SWIR به EWT حساس است اما به‌تنهایی نمی‌تواند در تخمین FMC به‌کار رود، زیرا دو متغیر ساختار درونی برگ و ماده خشک برگ همزمان انعکاس را در محدوده SWIR تحت تأثیر قرار می‌دهند و بهتر است برای تخمین FMC از طول موج‌های مربوط به محدوده NIR و SWIR استفاده شود. یکی از روش‌های انتخاب بهترین طول موج‌ها و محدوده‌های طیفی برای ارزیابی متغیرهای بیوشیمیایی و بیوفیزیکی گیاهان، روش مشتق‌گیری منحنی انعکاس طیفی است. به‌علاوه، شاخص‌های

¹ continuum removal

می‌شوند. اثرهای این متغیرهای محیطی به دلیل ویژگی‌های ساختاری‌شان و تأثیر بر متغیرهایی چون ذخیره انرژی خورشیدی، وجود جریان‌های هوایی، جریان‌های آبی و پوشش‌های ابری مختلف بسیار مهم تلقی می‌شود (کوچ و همکاران، ۱۳۸۹). نتیجه تحقیقات بسیاری (Richardson *et al.*, 2003; Richardson *et al.*, 2004; De Luz and Crowley, 2007; عباسی، ۱۳۸۸) نشان داده که رفتار طیفی گیاهان تحت تأثیر تفاوت شرایط رویشگاهی مانند شرایط زهکشی متفاوت در دامنه‌های مختلف و در جهت‌های مختلف تاج درخت به دلیل دریافت متفاوت تشعشعات خورشید است. از این رو، به منظور تهیه نمونه برگ یا اندازه‌گیری طیفی تاج درخت باید اثر جهت‌ها و دامنه‌های مختلف بر رفتار طیفی در طول موج‌های حساس به رطوبت برگ بررسی شود.

در این تحقیق به اهداف زیر پرداخته خواهد شد:

- ۱- مقایسه FMC، EWT، SLW و شاخص‌های طیفی در جهت‌های مختلف تاج درخت و دو دامنه جنوبی و غربی
- ۲- بررسی رابطه شاخص‌های طیفی با FMC، EWT و SLW.

مواد و روش‌ها

- منطقه تحقیق

این بررسی در ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاق با مساحت ۴۰۰ هکتار (۵۰' ۳۱° تا ۳۱' ۵۲° عرض شمالی و ۴۸' ۵۰° تا ۵۰' ۵۰° طول شرقی) در ۱۲۰ کیلومتری شهرستان شهرکرد انجام شده است. میانگین بارندگی ۵۳۰ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالیانه ۶/۷ درجه سانتی‌گراد است که حداکثر مطلق آن در تیر و حداقل مطلق آن در دی گزارش شده است. منطقه مورد تحقیق اغلب دارای جهت جغرافیایی غربی و جنوبی است. این منطقه از سال ۱۳۶۲ قرق کامل بوده و به همین دلیل کف جنگل از گیاهان علفی و

عمومی رطوبت گیاه (مقدار آب نسبی، ضخامت آب معادل، پتانسیل آب گیاه و پتانسیل آب خاک) برای استرس زیاد کم‌آبی و شرایط طبیعی رطوبت گیاه یا استرس اندک کم‌آبی در سطح برگ و تاج بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های طیفی به سطوح کم و طبیعی استرس آب گیاه حساسیت کمی نشان می‌دهند. (Bowyer and Danson (2004)، داده‌های Leaf Optical Properties Experiment (LOPEX) و مدل انعکاس برگ Prospect را برای تعیین رابطه بین FMC و EWT در سطح برگ و تاج با شاخص‌های طیفی TM5/TM7، GVMI، NDWI، WI، MSI، WI رابطه قوی‌تری با FMC داشت.

گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*)، گونه غالب و مهم جنگل‌های زاگرس است. این گونه کم‌نیاز با درجه بردباری بالا نسبت به خشکی و قدرت جست‌دهی زیاد، وسیع‌ترین گسترشگاه‌ها (حدود ۳/۵ میلیون هکتار از جنگل‌های غرب کشور) را در بین گونه‌های چوبی کشور به خود اختصاص داده است (طالبی و همکاران، ۱۳۸۵). در سال‌های اخیر وقوع آتش‌سوزی‌های فراوان، خشکسالی، ورود ریزگردها، تغییرات اقلیمی و از همه مهم‌تر شیوع بیماری خشکیدگی بلوط حیات این گونه را در معرض خطر قرار داده است. از سویی دیگر، شرایط حاکم بر جنگل‌های قرق‌شده و ذخیره‌گاه‌های جنگلی از نظر عدم چرای دام، به افزایش تراکم گیاهان علفی در کف جنگل منجر شده است. بی‌گمان همه موارد یادشده سبب افزایش خطر آتش‌سوزی به‌خصوص در فصل‌های خشک می‌شود. به دلیل اهمیت فراوان بلوط ایرانی در حفظ آب و خاک، و مواجه شدن این گونه با عوامل تهدیدکننده طبیعی و مصنوعی، بررسی وضعیت رطوبتی این گونه اجتناب‌ناپذیر است.

جهت‌ها و دامنه‌های جغرافیایی، عاملی مؤثر در ایجاد تنوع در پایه‌های درختی یا رویشگاه قلمداد

دقیقه گرفته شد که بلافاصله به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار RS^3 موجود بر روی رایانه میانگین‌گیری شده و به‌صورت یک منحنی طیفی بر روی صفحه نمایش نوت بوک نشان داده می‌شود (عباسی، ۱۳۸۸). سپس به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر بلافاصله برگ‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند و در آنها محکم بسته شد و برای جلوگیری از کاهش رطوبت و تغییر رنگدانه‌های برگ و استرس ناشی از آن، در محیط تاریک و خنک نگهداری شدند (Wang et al., 2009). منحنی‌های طیفی به کمک نرم‌افزار view spect به داده‌های طیفی تبدیل شد. سپس تعدادی از شاخص‌های طیفی مرتبط با رطوبت گیاهان محاسبه شد. شاخص‌های مورد تحقیق در جدول ۱ ارائه شده‌اند. به‌علاوه، همبستگی مشتق اول انعکاس طیفی با متغیرهای گیاهی نیز بررسی شد. اندازه‌گیری‌ها در اواخر مرداد سال ۱۳۹۰ انجام شد.

- اندازه‌گیری زمینی

برای برآورد مستقیم مقدار رطوبت سوختی زنده (FMC) از روش gravimetric method استفاده شد (Chuvieco, 2003; Viegas et al., 1992). برای این منظور ۳۰ برگ از بین هر توده برداشت‌شده برای انعکاس طیفی جدا شد و وزن تر آنها به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و با آون، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (Chuvieco et al., 2004; Danson and Bowyer 2004;) (Chuvieco et al., 2003; Chuvieco et al., 2002). متغیرهای FMC، EWT و SLW از روابط زیر محاسبه شد (Wang et al., 2009; Riano et al., 2005;) (Danson and Bowyer, 2004):

رابطه ۱

$$FMC (\%) = [(Fw - Dw) / Dw] \times 100$$

رابطه ۲

$$EWT (gr / cm^2) = (Fw - Dw) / A$$

بوته‌ای پوشیده شده است. گونه‌های درختی غالب آن شامل: ارس (*Juniperus polycarpus*)، بلوط (*Quercus brantii*)، بنه (*Pistacia atlantica*)، افرا (*Acer perciuim*)، زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia*) و زالزالک (*Crataegus azarolus*) است. از بین این گونه‌ها، گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*)، برای این تحقیق انتخاب شد. این گونه از وسیع‌ترین گسترشگاه در بین گونه‌های جنس بلوط در حوضه رویشی زاگرس برخوردار است. حداقل ارتفاع منطقه مورد تحقیق ۲۱۰۰ و حداکثر ۳۱۰۰ متر از سطح دریا است.

- اندازه‌گیری طیفی

در این تحقیق، اندازه‌گیری طیفی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج زمینی به نام ASD Fieldspec[®]3 با دامنه طول موج طیفی کامل ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر انجام گرفت. شرح دقیق‌تر دستگاه استفاده شده در این تحقیق، در مقاله عباسی و همکاران (۱۳۸۸) آمده است. ۴۰ درخت بلوط به‌طور تصادفی در دو دامنه جنوبی و غربی (دامنه‌های غالب منطقه مورد تحقیق) انتخاب شد. توده‌های برگ از جهت‌های مختلف تاج درخت قطع شد و اندازه‌گیری طیفی زیر نور خورشید در شرایط مناسب اتمسفری و آسمان صاف و آفتابی بین ساعت‌های ۱۰ تا ۱۴ صورت گرفت. برای این منظور توده برگ‌ها به ضخامت ۵ لایه برگ در دایره‌ای به قطر ۲۵ سانتی‌متر روی صفحه‌ای سیاه (پارچه) جمع‌آوری شد و اندازه‌گیری طیفی از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری و عمود بر سطح روی برگ‌ها صورت گرفت (ASD, 2000). زمینه سیاه سبب جذب نور و مانع رسیدن انعکاس پدیده‌های مجاور به سنجنده می‌شود. به‌علت اجرای اندازه‌گیری‌های طیفی در محیط طبیعی، تغییر شرایط جوی مانند رطوبت، دما و باد ممکن است سبب در ثبت انعکاس شود. از این‌رو، به‌منظور کاهش اثر این عوامل از هر نمونه ۱۰۰ اسکن (تهیه منحنی) پیاپی در کمتر از یک

(Danson and Bowyer, 2004):

رابطه ۳

$$SLW(\text{gr}/\text{cm}^2)=Dw/A$$

در این معادلات Fw وزن تر برگ (gr)، Dw وزن خشک برگ (gr) و A سطح برگ (cm²) است. معادله‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که FMC وابسته به مقدار رطوبت برگ و مقدار ماده خشک است، بنابراین می‌توان این متغیر را به صورت معادله زیر نیز محاسبه کرد (Riano *et al.*, 2005;)

رابطه ۴

$$FMC = (EWT / SLW) \times 100$$

برای تعیین سطح برگ‌ها، با دوربین دیجیتال از برگ‌ها عکس برداری و سطح آنها با نرم‌افزار Image J محاسبه شد.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی استفاده شده در این تحقیق

شاخص گیاهی	رابطه	منبع
Moisture Stress Index (MSI)	R_{1650}/R_{820}	Hunt and Rock (1989)
Normalised Difference Water Index (NDWI)	$(R_{860}-R_{1240})/(R_{860}+R_{1240})$	Gao (1996)
Water Index (WI)	R_{900}/R_{970}	Penuelas <i>et al.</i> , (1997)
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680})$	Rouse <i>et al.</i> , (1973)
Normalized Difference Infrared Index (NDII)	$(R_{819}-R_{1649})/(R_{819}+R_{1649})$	Hardisky <i>et al.</i> , (1983)
Normalised Difference Spectral Indices (NDSI)	$NDSI[1108,1242]=(R_{1108}-R_{1242})/(R_{1108}+R_{1242})$ $NDSI[1108,1457]=(R_{1108}-R_{1457})/(R_{1108}+R_{1457})$	De Santis <i>et al.</i> , (2006)

نتایج

قبل از آنالیزهای آماری، نرمال بودن متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی اندازه‌گیری شده بررسی شد. همه متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی دارای توزیع نرمال بودند. جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی را در هر چهار جهت تاج درخت (شمالی، شرقی، جنوبی، غربی) نشان می‌دهد. چنان که مشاهده می‌شود متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی تفاوت معنی‌داری در چهار جهت تاج درخت ندارند.

با توجه به تعداد ۴۰ درخت بلوط اندازه‌گیری شده و نمونه‌های برداشت شده در چهار جهت تاج درخت، در مجموع ۱۶۰ نمونه اندازه‌گیری شد. خلاصه آماری متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شده در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار حداکثر درصد FMC و SLW مربوط به نمونه برگ‌ها از جهت شمال تاج و دامنه غربی، و مقدار حداکثر EWT مربوط به جهت جنوب تاج و دامنه غربی بوده است. همچنین مقدار حداقل درصد FMC، SLW و EWT مربوط به نمونه برگ‌ها از جهت شرقی تاج و دامنه جنوبی بود.

جدول ۲- آماره متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شده در چهار جهت جغرافیایی (برای تعداد ۱۶۰ نمونه)

جهت	متغیر گیاهی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شمالی	FMC%	۶۲/۳۵	۱۰۹/۸۳	۸۱/۹۵	۱۲/۱۳
	EWT (gcm ⁻²)	۰/۰۰۶۵	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱۵
	SLW (gcm ⁻²)	۰/۰۰۸۴	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۱۷
شرقی	FMC%	۵۷/۲۳	۱۰۳/۳۶	۷۸/۰۷	۱۱/۸۸
	EWT (gcm ⁻²)	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۱۴
	SLW (gcm ⁻²)	۰/۰۰۷۴	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱۵
جنوبی	FMC%	۶۰/۲۶	۱۰۱/۶۸	۷۹/۸۵	۹/۲۷
	EWT (gcm ⁻²)	۰/۰۰۶۵	۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۱۶
	SLW (gcm ⁻²)	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۱۷
غربی	FMC%	۵۸/۴۸	۹۹	۸۰/۷۶	۱۲/۲۲
	EWT (gcm ⁻²)	۰/۰۰۶۵	۰/۰۱۲۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱۵
	SLW (gcm ⁻²)	۰/۰۰۸۱	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۱۲	۰/۰۰۱۵

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس تفاوت متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی در چهار جهت تاج درخت

معنی‌داری	آماره F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات	متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی
ns ۰/۴۹	۰/۸۲	۱۰۶/۹۲	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	FMC%
		۱۳۰/۹۷	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۲۴	۱/۴۲	۳/۲۵	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	EWT
		۲/۲۸	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۷	۰/۴۸	۱/۲۲	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	SLW
		۲/۵۵	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۹	۰/۲	۰/۰۰	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	MSI
		۰/۰۱	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۷۰	۰/۳۴	۰/۰۰	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	NDWI
		۰/۰۰	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۷	۰/۴۸	۰/۰۰	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	WI
		۰/۰۰	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۸۹	۰/۲۲	۰/۰۰	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	NDII
		۰/۰۰	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۳۶	۱/۰۸	۰/۰۰	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	NDVI
		۰/۰۰	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۶۱	۰/۶۱	۳/۹۹	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	NDSI[1108,1242]
		۶/۵۲	۱۵۶	خطا	
ns ۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۰۰	۳	چهار جهت جغرافیایی تاج درخت	NDSI[1108,1457]
		۰/۰۰	۱۵۶	خطا	

ns عدم معنی‌داری، *معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، **معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

وجود دارد. میانگین همه این متغیرها در دامنه غربی بیشتر از دامنه جنوبی است. FMC، SLW و شاخص‌های طیفی NDWI، WI و MSI تفاوت معنی‌داری در دو دامنه نشان ندادند (جدول ۴).

نتایج حاصل از آزمون t بر روی متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی در دو دامنه جنوبی و غربی نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری در EWT و شاخص‌های طیفی NDVI [1108,1242] و NDSI [1108,1457] در دامنه‌های جنوبی و غربی

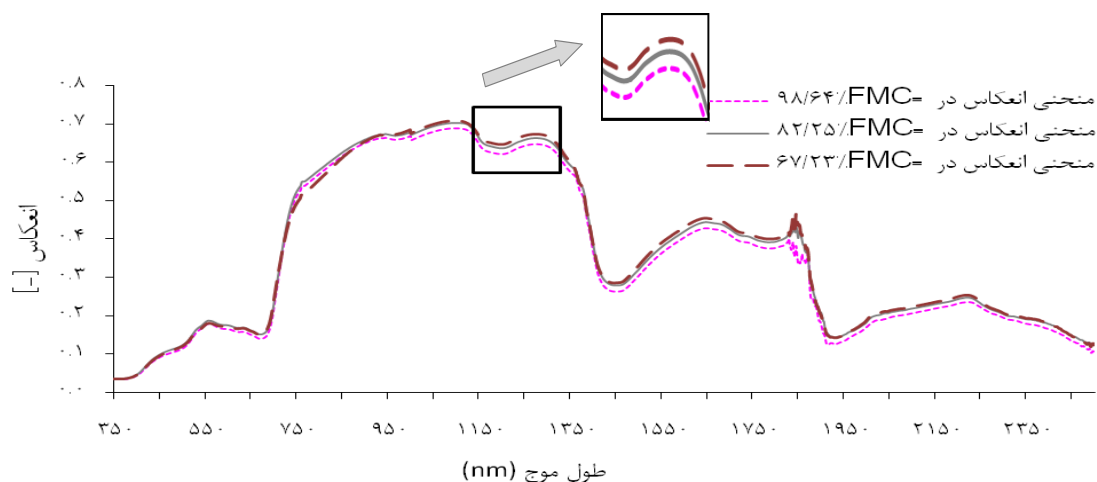
جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی در دامنه‌های غربی و جنوبی براساس آزمون t غیرجفتی

معنی‌داری	آماره t	میانگین دامنه غربی	میانگین دامنه جنوبی	درجه آزادی	متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی	
ns	۰/۱۳	-۱/۵۱	۷۸/۷۹	۸۱/۵۲	۷۹	FMC%
*	۰/۰۱	-۲/۵۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۷۹	EWT
ns	۰/۲۳	-۱/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۷۹	SLW
ns	۰/۲۹	۱/۰۵	۰/۷۶	۰/۷۴	۷۹	MSI
ns	۰/۴۰	-۰/۸۳	-۰/۰۲	-۰/۰۱	۷۹	NDWI
ns	۰/۲۴	-۱/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۵	۷۹	NDII
ns	۰/۴۰	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۹۸	۷۹	WI
**	۰/۰۰	-۲/۹۲	۰/۵۶	۰/۶	۷۹	NDVI
**	۰/۰۰	-۲/۶۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۷۹	NDSI[1108,1242]
**	۰/۰۰	-۳/۷۵	۰/۴۲	۰/۴۶	۷۹	NDSI[1108,1457]

ns عدم معنی‌داری، * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

به طوری که با افزایش مقدار FMC انعکاس طیفی به خصوص در دو محدوده NIR و SWIR کاهش پیدا می‌کند.

شکل ۲ نیز انعکاس طیفی برگ را در مقادیر مختلف FMC نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود حساسیت انعکاس طیفی به تغییرات مقدار رطوبت سوختی در NIR و SWIR بیشتر است.



شکل ۲- انعکاس طیفی برگ در مقادیر مختلف FMC

محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی نشان داد که همه شاخص‌های طیفی استفاده شده در این تحقیق همبستگی بسیار ضعیف تا ضعیف با متغیرهای اندازه‌گیری شده دارند. شاخص WI رابطه مثبت و معنی‌داری با FMC نشان داد. در واقع بیشترین مقدار

ارتباط را شاخص WI با FMC داشت. شاخص NDVI بیشترین همبستگی را با EWT نشان داد، در صورتی که هیچ کدام از شاخص‌های استفاده شده رابطه معنی‌داری با EWT نداشتند. تنها شاخص WI رابطه منفی و معنی‌داری با SLW نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵- همبستگی بین FMC، EWT و SLW با شاخص‌های طیفی

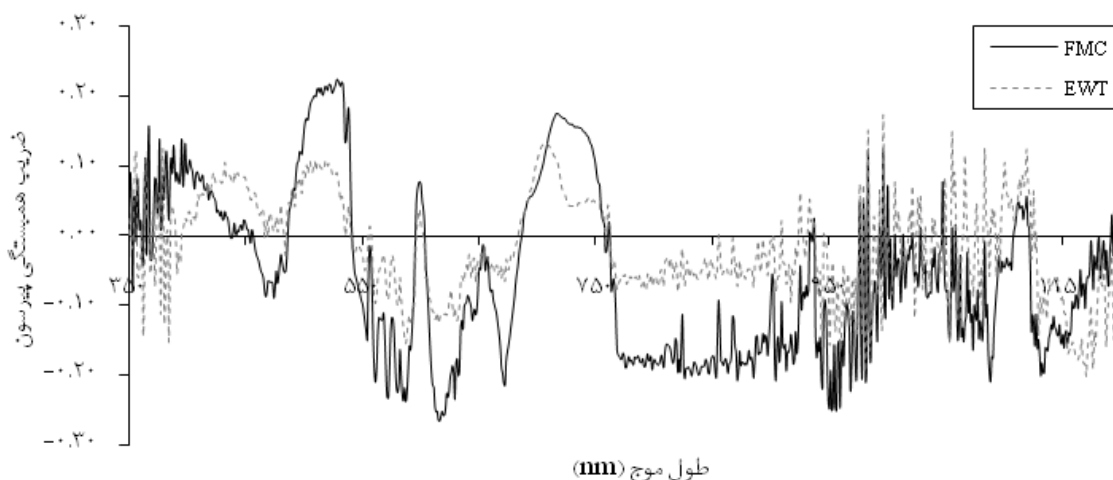
متغیرها	MSI	NDWI	WI	NDII	NDVI	NDSI[1108,1242]	NDSI[1108,1457]
FMC	*-۰/۱۶	*۰/۱۶	**۰/۲۲	ns۰/۱۵	*۰/۱۸	*۰/۱۷	ns۰/۱۱
EWT	ns۰/۰۲	ns-۰/۰۴	ns۰/۰۵	ns۰/۰۲	ns۰/۰۸	ns۰/۰۶	ns۰/۰۲
SLW	ns۰/۱۱	ns-۰/۰۱	*-۰/۱۶	ns-۰/۱۰	*-۰/۱	ns-۰/۰۶	ns-۰/۰۴

ns عدم معنی‌داری، * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

در بررسی رگرسیون خطی و لگاریتمی بین متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی نیز روابط بسیار ضعیفی دیده شد.

شکل ۳ بخشی از نمودار تفاوت الگوی همبستگی مشتق اول انعکاس طیفی با FMC و EWT را در طول موج ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. در بیشتر طول موج‌ها FMC و EWT الگوی به نسبت مشابهی نشان دادند. مضرس بودن نمودار ناشی از اختلاف بسیار در مقادیر ضریب همبستگی در طول

موج‌های مجاور یکدیگر است. FMC بیشترین ضریب همبستگی را در طول موج‌های ۵۲۸، ۵۸۵، ۶۱۶، ۶۷۲، ۷۱۸، ۸۲۰، ۹۵۶ و EWT بیشترین ضریب همبستگی را در طول موج‌های ۴۳۲، ۵۰۵، ۵۸۷، ۷۰۷، ۹۸۱، ۱۱۰۷، ۱۲۷۲، ۱۴۴۳ نشان داد. چنانکه در شکل ۳ دیده می‌شود مشتق اول انعکاس در منطقه مرئی بیشترین ضریب همبستگی را با FMC نشان داده است.



شکل ۳- تفاوت الگوی همبستگی مشتق اول انعکاس طیفی با FMC و EWT

بحث

بررسی انجام گرفته نشان داد مقدار حداکثر درصد FMC و SLW مربوط به نمونه برگ‌ها از جهت شمال تاج و دامنه غربی، و مقدار حداکثر EWT مربوط به نمونه برگ‌ها از جهت جنوب تاج و دامنه غربی است (جدول ۲) که ناشی از شرایط بهینه رطوبت و دریافت نور خورشید در جهت‌ها و دامنه‌های شمالی و غربی است. همچنین حداقل مقدار درصد FMC، SLW و EWT در نمونه برگ‌ها از جهت شرقی تاج و دامنه جنوبی است که شدت تابش نور خورشید در دامنه‌های جنوبی سبب کاهش درصد FMC، EWT و SLW شده است.

اهمیت بررسی تفاوت شاخص‌های طیفی و دیگر متغیرهای گیاهی در دامنه‌های مختلف و جهت‌های مختلف تاج درخت ناشی از این موضوع است که اگر اندازه‌گیری زمینی متغیرهای گیاهی به دلایلی مانند دقت اندازه‌گیری، خطا و ... نتوانند تفاوت معنی‌دار را در دامنه‌ها و جهت‌های مختلف نشان دهند، شاخص‌های طیفی می‌توانند با حساسیت بیشتری این تفاوت‌ها را آشکار کنند. چنانکه در نتایج مشاهده شد، شاخص‌های طیفی NDVI، [NDSI[1108,1242]، و متغیر EWT توانستند تفاوت معنی‌داری را در دو دامنه جنوبی و غربی نمایان کنند. از آنجا که متغیرهای گیاهی تفاوت معنی‌داری در جهت‌های مختلف نداشتند، می‌توان نتیجه گرفت تراکم اندک درختان و باز بودن تاج پوشش منطقه سبب شده نور تابشی رسیده به همه جهت‌های تاج درخت یکسان باشد و تمامی جهت‌ها شرایط یکسانی از نظر نور و رطوبت و دیگر ویژگی‌ها داشته باشند. بنابراین می‌توان تنها یک نمونه از هر پایه درختی برداشت کرد و به برداشت چندین نمونه نیاز نیست. از سوی دیگر شاخص‌های طیفی نیز در گونه بلوط تفاوت معنی‌داری در جهت‌های مختلف نشان ندادند که اثر جهت بر متغیرهای گیاهی را تأیید می‌کند. از مقایسه معنی‌داری متغیرهای گیاهی و شاخص‌ها در

چهار جهت تاج و دو دامنه جنوبی و غربی می‌توان نتیجه گرفت که هر چه مقیاس تحت بررسی بزرگ‌تر باشد، تفاوت‌ها نیز بیشتر می‌شود، به طوری که در مقیاس تاج عدم معنی‌داری (جدول ۳) و در مقیاس منطقه‌ای تفاوت معنی‌داری در متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی دیده شد (جدول ۴).

بررسی تفاوت متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی در جهت‌های مختلف تاج درخت اهمیت بسیاری در تهیه نمونه نهایی برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای دارد، زیرا اگر تفاوت معنی‌داری در رفتار طیفی برگ در جهت‌های مختلف تاج وجود نداشته باشد، ارزش پیکسل‌های مربوط به تاج هر درخت نیز تفاوت معنی‌داری ندارند و پیکسلی را که بخشی از تاج درخت را پوشش داده است، بدون توجه به جهت تاج می‌توان در تحقیق استفاده کرد

در تحقیق حاضر شاخص WI حساسیت بیشتری به FMC نشان داد که با نتایج تحقیق‌های Bowyer and Danson and Bowyer., (2004) و Serrano *et al.*, (2000)، Danson., (2004) و Penueles *et al.*, (1997) مطابقت دارد. شاخص WI همبستگی مثبت و معنی‌داری با FMC و رابطه منفی و معنی‌داری با SLW نشان داده است. نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین شاخص‌های طیفی با متغیرهای گیاهی مورد نظر وجود ندارد به علاوه هیچ‌کدام از شاخص‌های استفاده شده رابطه معنی‌داری با EWT نشان ندادند. اگرچه بسیاری از تحقیق‌ها روابط قوی بین شاخص‌های طیفی و متغیرهای گیاهی به دست آوردند، در برخی از آنها به عواملی که سبب ایجاد ارتباط قوی یا ضعیف می‌شوند، اشاره شده است. Datt (1999)، Danson and Bowyer (2004) و Hunt and Rock (1989) مقدار و دامنه مقادیر رطوبت گیاه در نمونه برگ‌ها و نوع پوشش گیاهی را بر رابطه شاخص‌های طیفی با رطوبت برگ اثرگذار دانستند. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، دامنه متغیرهای گیاهی در تحقیق حاضر نیز کم است و

آبی، همبستگی $r^2=0/88$ با EWT و در شرایط طبیعی رطوبت برگ یا استرس اندک کم‌آبی همبستگی $r^2=0/01$ را نشان داد. همچنان‌که پیشتر نیز گفته شد، بلوط ایرانی گونه‌ای کم‌نیاز با بردباری زیاد در برابر خشکی است. بنابراین تغییرات اندک در مقدار رطوبت این گونه، ممکن است تأثیری بر انعکاس طیفی آن نداشته باشد. بنابراین انتخاب باندهای طیفی مناسب برای کنترل تمامی موارد اثرگذار بر انعکاس اهمیت بسزایی دارد. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، یکی از روش‌های انتخاب باندهای طیفی روش مشتق انعکاس طیفی است. (Danson & Bowyer, 2004). Schaeppman, (2007) و Ceccato *et al.*, (2001) نیز اهمیت بررسی مشتق اول انعکاس طیفی را در بررسی تغییرات FMC بیان کرده‌اند. همچنان‌که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، مشتق اول انعکاس طول موج‌ها در محدوده مرئی رابطه بهتری با FMC نشان می‌دهد.

اگرچه ارزش‌های بحرانی FMC (کمتر از ۱۰۰ درصد) برای احتراق وابسته به نوع گونه است، به‌طور کلی وقتی FMC کمتر از ۱۰۰ درصد باشد احتمال احتراق وجود دارد، زیرا در این مقادیر اندازه مواد خشک بیشتر از مقدار رطوبت برگ است (Danson and Bowyer, 2004; Chuvieco *et al.*, 2003). با توجه به مقادیر FMC در این تحقیق که نزدیک به ۱۰۰ درصد است، می‌توان نتیجه گرفت که احتمال احتراق در منطقه مورد تحقیق ممکن است زیاد باشد. از سوی دیگر، عدم چرای دام و در نتیجه ازدیاد تراکم پوشش علفی کف جنگل، احتمال احتراق را در فصل خشک چند برابر افزایش خواهد داد. بنابراین، عملیات‌های حفاظتی و حمایتی نیز باید در ذخیره‌گاه‌ها کنترل شود. اقداماتی مانند برداشت گیاهان علفی کف جنگل یا چرای دام کنترل‌شده در این مناطق می‌تواند سبب بهبود وضع رطوبتی این ذخیره‌گاه شود.

از آنجا که اندازه‌گیری‌ها در اواخر مرداد صورت گرفت، سطح برگ‌های بلوط دارای کرک‌های بسیاری

مقادیر FMC کمتر از ۱۰۰ درصد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت عامل دامنه مقادیر در این تحقیق نیز اثرگذار بوده است. (Danson *et al.*, 1998) همبستگی ضعیفی بین FMC با شاخص‌های طیفی WI و NDWI نشان دادند. در تحقیق آنها نیز دامنه ارزش‌های FMC محدود بود (۵۳ تا ۶۳ درصد). در صورتی که در دیگر تحقیق‌های انجام گرفته (Danson and Bowyer, 2004; De Santis *et al.*, 2006; Datt, 1999) مقادیر بیشتری داشت. اگرچه تخمین FMC از ترکیب چند گونه سبب وسعت دامنه مقادیر FMC و افزایش همبستگی با شاخص‌های طیفی می‌شود (Penuelas *et al.*, 1997)، نتایج قابل اعتمادی ارائه نمی‌دهد. زیرا هر کدام از گونه‌ها مقدارهای مختلفی از رطوبت و مواد خشک را دارا است (Chuvieco *et al.*, 2003). از سویی دیگر، تفاوت در شرایط نور خورشید، مرحله رشد برگ‌ها، مورفولوژی، خصوصیات آناتومی، اندازه سطح برگ، تغییرات در ساختار برگ، ضخامت برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی (Eitel *et al.*, 2006; Datt, 1999) یا همپوشانی اثر متغیرهایی چون LAI، مقدار کلروفیل، ماده خشک و زاویه دید نور با مقدار رطوبت گیاه در طول موج‌های طیفی سبب تغییرات در ویژگی‌های انعکاس برگ می‌شود و ارتباط مستقیم رطوبت برگ و شاخص‌های طیفی را پیچیده می‌کند (Wang *et al.*, 2009; De Santis *et al.*, 2006; Danson and Bowyer, 2004). به‌علاوه، سن و گونه نیز انعکاس طیفی برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Penuelas *et al.*, 1993).

یکی از دلایل مهم روابط ضعیف شاخص‌های طیفی با مقدار رطوبت برگ، حساسیت کم آنها به شرایط طبیعی رطوبت برگ و استرس اندک کم‌آبی است که در تحقیق Eitel *et al.*, (2006) به آن اشاره شده است. در این تحقیق، نشان داده شده که با افزایش استرس کم‌آبی حساسیت شاخص‌های طیفی بیشتر می‌شود، به‌طوری که شاخص WI در شرایط استرس زیاد کم-

ASD Technical Guide, 2000. 3rd Edition, Sections 0-1.

Bowyer, P. and F.M. Danson, 2004. Sensitivity of remotely sensed spectral reflectance to variation in live fuel moisture content, *Remote Sensing of Environment*, 92: 297-308.

Caccamo, G., L. A. Chisholm, R. A. Bradstock, M. L. Puotinen and B. G. Pippen, 2011. Monitoring live fuel moisture content of heathland, shrubland and sclerophyll forest in south-eastern Australia using MODIS data, *International Journal of Wildland Fire*, 21:257-269.

Ceccato, P., S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemoud and J.M. Gregoire, 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain, *Remote Sensing of Environment*, 77: 22-33.

Chuvieco, E., D. Cocero, D. Riano, P. Martin, J. Martinez-Vega, J. de la Riva and P. Fernando, 2004. Combining NDVI and Surface Temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating, *Remote Sensing of Environment*, 92: 322-331.

Chuvieco, E., D. Riano, I. Aguado and D. Cocero, 2002. Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper reflectance data: Applications in fire danger assessment, *International Journal of Remote Sensing*, 23: 2145-2162.

Chuvieco, E., I. Aguado, D. Cocero and D. Riano, 2003. Design of an empirical index to estimate fuel moisture content from NOAA-AVHRR images in forest fire danger studies, *International Journal of Remote Sensing*, 24: 1621-1637.

Danson, F.M. and P. Bowyer, 2004. Estimation live fuel moisture content from remotely sensed reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 92: 309-321.

Datt, B., 1999. Remote sensing of water content in eucalyptus leaves, *Australian Journal of Botany*, 47: 909-923.

بود که سبب شده بودند گردوغبار سطح آنها را بپوشاند. بنابراین این عامل توانسته بود بر رابطه متغیرهای گیاهی با شاخص‌های طیفی اثر چشم‌گیری گذارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود این گونه تحقیق‌ها در زمانی که اثرهای این عوامل کمتر است صورت گیرد. براساس نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود که رابطه انعکاس طیفی و مقدار رطوبت در گونه‌های مختلف بلوط با در نظر گرفتن عامل‌هایی مانند سن، خصوصیات مورفولوژیکی، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت‌های جغرافیایی بررسی شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان به دلیل در اختیار گذاشتن دستگاه طیف‌سنج، قدردانی می‌شود.

منابع

طالبی، محمود، خسرو ثاقب طالبی و حسن جهانبازی گوجانی، ۱۳۸۵. بررسی نیاز رویشگاهی و برخی خصوصیات کمی و کیفی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۴ (۱): ۶۷-۷۹.

عباسی، مزگان، ۱۳۸۸. بررسی مشخصه‌های طیفی برگ گونه‌های راش، ممرز، توسکا، بلوط و انجیلی با استفاده از طیف‌سنجی زمینی، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۱۶ ص.

عباسی، مزگان، علی اصغر درویش صفت، مایکل الرت شپمن، محمدرضا مروی مهاجر و هوشنگ سبحانی، ۱۳۸۸. بررسی تفاوت انعکاس طیفی برگ مهم‌ترین گونه‌های درختی جنگل‌های خزری با استفاده از طیف‌سنجی زمینی، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷ (۴): ۵۶۸-۵۸۰.

کوچ، یحیی، حمید جلیلود، محمد رضا پورمجیدیان، اصغر فلاح، ۱۳۸۹. تنوع گونه‌های گیاهی در جهت‌های مختلف جغرافیایی جنگل پایین بند خانیکان، چالوس، مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۳: ۶۹۷-۷۰۶.

- Dawson, T.P., P.J. Curran and S.E. Plummer, 1998. The biochemical decomposition of slash pine needles from reflectance spectral using neural networks, *International Journal of Remote Sensing*, 19: 1433- 1438.
- De Luz, R.B and J.K. Crowley, 2007. Spectral reflectance and emissivity features of broad leaf plants: Prospects for remote sensing in the thermal infrared (8.0-14.0 μm), *Remote Sensing of Environment*, 109: 393-405.
- De Santis, A., P. Vaughan and E. Chuvieco, 2006. Foliage moisture content estimation from one- dimensional and two- dimensional spectroradiometry for fire danger assessment, *Journal of Geophysical Research*, 111: 1-12.
- Eitel, J.U.H., P.E. Gessler, A.M.S. Smith and R. Robberecht, 2006. Suitability of existing and novel spectral indices to remotely detect water stress in *Populus spp*, *Forest Ecology and Management*, 229: 170-182.
- Gao, B.C., 1996. NDWI-A normalised difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, 58: 257– 266.
- Gutierrez, M., M.P. Reynolds and A.R. Klatt, 2010. Association of water spectral indices with plant and soil water relations in contrasting wheat genotypes, *Journal of Experimental Botany*, 61: 3291–3303.
- Hardisky, M. A., V. Klemas and R.M. Smart, 1983. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral reflectance of *Spartina alterniflora* canopies, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49: 77– 83.
- Hunt, E. R., Jr and B.N. Rock, 1989. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances, *Remote Sensing of Environment*, 30: 43- 54.
- Mahlein, A.K., 2011. Detection, identification, and quantification of fungal diseases of sugar beet leaves using imaging and non-imaging hyperspectral techniques, Ph. D Dissertation, University of Bonn, 172 pp.
- Penuelas, J., I. Filella, C. Biel, L. Serrano and R. Save, 1993. The reflectance at the 950– 970 nm region as an indicator of plant water status, *International Journal of Remote Sensing*, 14: 1887–1905.
- Penuelas, J., J. Pinol, R. Ogaya and I. Filella, 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970), *International Journal of Remote Sensing*, 18: 2869– 2875.
- Riano, D., P. Vaughan, E. Chuvieco, P.J. Zarco- Tejada and S.L. Ustin, 2005. Estimation of fuel moisture content by inversion of radiative transfer models to simulate equivalent water thickness and dry matter content: analysis at leaf and canopy level, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: 819- 826.
- Richardson, A.D; G.P. Berlyn and S.P. Duigan, 2003. Reflectance of Alaskan black spruce and white spruce foliage in relation to elevation and latitude, *Tree Physiology*, 23: 537-544.
- Richardson, A.D; J.B. Reeves Iii and T.G. Gregoire, 2004. 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*, 161: 291-301.
- Rouse, J. W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering, 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 1: 309- 317. (NASA: Washington, DC.)
- Schaepman, M.E., 2007. Spectrodirectional remote sensing: From pixels to processes, *International Journal of Applied Earth Observathon and Geoinformation*, 9: 204-223.
- Serrano, L., L. S.L. Ustin, D. A. Roberts, J. A. Gamon and J. Penuelas, 2000. Deriving Water Content of Chaparral Vegetation from AVIRIS Data, *Remote Sensing of Environment*, 74: 570–581
- Viegas, D. X; T.P. Viegas and A.D. Ferreira, 1992. Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in central Portugal, *The International Journal of Wildland Fire*, 2: 69– 85.
- Wang .J, R. Xu and S. Yang, 2009. Estimation of plant water content by spectral absorption features centered at 1,450 nm and 1,940 nm regions, *Environmental Monitoring and Assessment*, 157: 459- 469.

The relationship between fuel moisture content and leaf spectral reflectance of *Quercus brantii* in Chahartagh Reserve forest, Chaharmahal Va Bakhtiari province

N. Pourghasemi¹, M. Abbasi^{2*}, and A.Soltani³

¹ M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, I. R. Iran

² Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, I. R. Iran

³ Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, I. R. Iran

(Received: 15 September 2012, Accepted: 7 November 2013)

Abstract

To assess the physiological states, the stress impact and ultimately the overall health condition of living plants, measuring moisture content is a well-known choice. Alteration in plant water is more likely occurs not only after prolonged drought and fire prone forests, but also in more sparse and weakened stands. Hyperspectral remote sensing techniques try to provide means to quantify the leaf moisture content with low cost, high-speed, online and up-to-date information. In this study the relationship between spectral reflectance of *Quercus brantii* leaves and fuel moisture content, equivalent water thickness and specific leaf weight was estimated. The sampling was done on 40 randomly selected oak trees in southern and western aspects in central Zagros range. To acquire spectral reflectance the leaves were scanned through wavelengths 350 to 2500 nm, using a ASD Fieldspec® field spectrometer. For each tree, leaves were picked up from four canopy directions. Then the leaf wet and dry weights as well as their masses were determined. Water Index (WI) spectral was most significantly correlated to fuel moisture content ($P < 0/001$, $r = 0/22$). In addition, WI and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) showed high correlation coefficient with both fuel moisture content and specific leaf weight. None of the spectral indices could establish significant relationship with equivalent water thickness. On the other hand, there was also no significant difference between fuel moisture content, water equivalent thicknesses, and specific leaf weight with spectral indices in four of the tree crown direction. Nevertheless, there was significant difference between leaf equivalent water thickness and indices NDVI, NDSI [1108, 1242] and NDSI [1108, 1457] in both western and southern aspects.

Keywords: Fuel moisture content, Field spectrometry, Remote sensing, Spectral index, Water equivalent thickness

* Corresponding author

Tel: +989133124036

Email: Mozhgan.abbasi@nres.sku.ac.ir