دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی گرایش جنگلداری

عنوان پایان نامه:

رابطه انعکاس طیفی برگ گونه‌های بلوط (*Quercus brantii*) و بنه (*Pistacia atlantica*) با شاخص سطح برگ، کلروفیل و برخی فاکتورهای مورفولوژیکی برگ

استاد راهنما:
دکتر مژگان عباسی

استادان مشاور:
دکتر علی سلطانی
دکتر پژمان طهماسبی

پژوهشگر:
نرگس پورقاسمی

مهرماه 1391

دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین

گروه علوم جنگل

پایان نامه خانم نرگس پورقاسمی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی گرایش جنگلداری با عنوان: رابطه انعکاس طیفی برگ گونه‌های بلوط (*Quercus brantii*) و بنه (*Pistacia atlantica*) با شاخص سطح برگ، کلروفیل و برخی فاکتورهای مورفولوژیکی برگ در تاریخ 91/7/15 با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره 19/78 مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

1. **استاد راهنما دکتر مژگان عباسی با مرتبه علمی استادیاری** **امضاء**
2. **استاد مشاور اول دکتر علی سلطانی با مرتبه علمی استادیاری** **امضاء**
3. **استاد مشاور دوم دکتر پژمان طهماسبی با مرتبه علمی استادیاری** **امضاء**
4. **استاد داور خارجی دکترعطاالله ابراهیمی با مرتبه علمی استادیاری** **امضاء**
5. **استاد داور داخلی دکتر نبی الله یارعلی با مرتبه علمی استادیاری** **امضاء**

دکتر علی جعفری

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس پروردگار مهربان را که دگر بار مرا در انجام وظیفه محوله یاری فرمود و دریچه ای از علم و معرفت را بر من گشود. در راه انجام این مهم، سروران و عزیزانی مرا ہمنون ساختند که سپاسی خالصانه را نثارشان مینمایم:

از پدر و مادر مهربانم و مجموعه عزیز و صمیمی خانواده ام به دلیل شکیبایی و حمایت های بی شائبه شان در تمام مراحل تحصیل نہایت سپاس و قدردانی دارم.

عرض سپاس ویژه خود را به پیشگاه استاد راہنمای گرانقدرم، سرکار خانم دکتر مژگان عباسی که با حوصله فراوان مشکلات مختلف کار را مرتفع و ہدایت و راہنمایی مرا چه در طی انجام این تحقیق و چه در طول تحصیل به عہده داشتند، تقدیم می کنم.

از جناب آقایان دکتر علی سلطانی و دکتر پژمان طہماسبی اساتید مشاور گرانمایه ام که مرا از راہنمایہای خود بہره مند نمودند، تشکر و قدردانی دارم.

از جناب آقای دکتر عطاالله ابراہیمی و جناب آقای دکتر نبی الله یار علی که زحمت بازخوانی پایان نامه را متقبل شدند و نماینده تحصیلات تکمیلی، جناب آقای دکتر مہرداد فتح اللهی تشکر می نمایم.

از کلیه دوستان، جناب آقای مہندس نصیری، مہندس فصیحی و خانم ها مہندس اصلانی، منظری، کرمی و جہانبازی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق بنده را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم.

تقدیم به:

پدرم

کوشید تا بیاسایم، رنج کشید تا بیارامم،

صبر و بردبارش تکیه گاهم

وجود و ایمانش افتخارم

تداوم سایه اش آرزویم

مادرم

گوهر یگانه دریای خلقت،

یگانه سرچشمه جوشان محبت،

مونسی که دعای خیرش، بدرقه راه و توشه تلاشم بوده است

خواهر و برادران گرانقدرم

سرچشمه زلال محبت و خوبی

چکیده

اندازه‌گیری خصوصیات بیوشیمایی گیاهان مانند کلروفیل و نیتروژن در تعیین قدرت تولید گیاه، میزان استرس و شرایط کمی و کیفی گیاه نقش بسزایی دارد. پارامترهای بیوفیزیکی مانند شاخص سطح برگ و بیوماس نیز متغیر کلیدی در چرخه کربن اکوسیستم‌های زمینی هستند. شاخص سطح برگ، به عنوان یک پیش بینی کننده و ابزار ارزشمند برای توضیح فرایندهای اکولوژی جنگل، مدیریت جنگل و مطالعات سنجش از راه دوری است. اکثر روش‌های سنجش از دوری که به برآورد LAI می‌پردازند بر پایه نور عبور یافته از میان تاج پوشش درختان و نیز بررسی انعکاس طیف نوری بر داده‌های ماهواره‌ای و یا عکس‌های هوایی می‌باشند. در واقع این تکنیک‌ها در فضای سه بعدی تاج و با در نظر گرفتن ساختار هندسی تاج درختان میزان LAI را برآورد می‌کنند. به این منظور، در این مطالعه از تکنیک طیف سنجی زمینی برای بررسی ارتباط شاخص سطح برگ دو بعدی (در سطح تاج پوشش درخت) و سه بعدی (در حجم تاج درخت)، کلروفیل و سایر خصوصیات مورفولوژکی برگ با انعکاس طیفی دو گونه بلوط (*Quercus persica*) و بنه (*Pistacia atlantica*) در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. برای برآورد LAI سه بعدی جعبه‌ای به ابعاد 0/5 متر مکعب در چهار جهت تاج درخت قرار داده شد و تمامی برگ‌های داخل جعبه برداشت شد. سپس منحنی انعکاس طیفی برگ‌ها در محیط طبیعی با دستگاه طیف سنج ASD Fieldspec اندازه‌گیری شد. پس از توزین، خشک کردن برگ‌ها در آزمایشگاه و تعیین سطح برگ‌ها، شاخص سطح برگ برآورد شد. 40 شاخص طیفی حساس به متغیرهای گیاهی اندازه‌گیری شده، محاسبه شد. برای بررسی رابطه این پارامترها با انعکاس طیفی از ضریب همبستگی ساده پیرسون و رگرسیون حداقل مربعات بخشی استفاده شد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی نشان داد در گونه بلوط شاخص Datt بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار (r=0/46) را با ضخامت برگ و در گونه بنه، LAI3D بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار (r=-0/66) را با شاخص SIPI داشت. نتایج رگرسیون حداقل مربعات بخشی نیز نشان داد وقتی تمامی متغیرهای گیاهی با انعکاس طیفی وارد مدل شدند، برای گونه بلوط تنها وزن خشک، وزن مرطوب و سطح برگ و برای گونه بنه تمامی متغیر-های گیاهی جز SLA رابطه معنی‌دار داشتند. بیشترین رابطه را در بنه، LAI3D (R^2=0/4) نشان داد. هنگامیکه LAI3D یا LAI2D به تنهایی و با هم با انعکاس طیفی وارد مدل شد، در هر دو گونه R^2 افزایش یافت (برای بلوط به ترتیب R^2_{LAI2D}=0/16، R^2_{LAI3D}=0/13 و R^2_{LAI2D}=0/16، R^2_{LAI3D}=0/17، برای بنه به ترتیب R^2_{LAI2D}=0/15، R^2_{LAI3D}=0/42 و R^2_{LAI2D}=0/15، R^2_{LAI3D}=0/41). طول‌موج‌های 555، 699، 764، 1086 و 1367 نانومتر برای بلوط و طول‌موج‌های محدوده مادون قرمز نزدیک برای بنه بیشترین ضرایب رگرسیون را با LAI3D، LAI2D و هر دو با هم نشان دادند. در بنه برای تنها LAI2D محدوده مرئی بیشترین ضریب رگرسیون را داشت. شاخص‌های طیفی نیز با متغیرهای گیاهی وارد رگرسیون حداقل مربعات بخشی شدند و نتایج نشان داد برای هر دو گونه از بین 40 شاخص مورد بررسی شاخص WI/NDVI بیشترین ضریب رگرسیون را با اکثر متغیرهای گیاهی داشت. هنگامیکه LAI3D یا LAI2D به تنهایی و با هم با شاخص‌های طیفی وارد مدل شد، R^2 افزایش یافت (برای بلوط به ترتیب R^2_{LAI2D}=0/48، R^2_{LAI3D}=0/56 و R^2_{LAI2D}=0/48، R^2_{LAI3D}=0/55، برای بنه به ترتیب R^2_{LAI2D}=0/43، R^2_{LAI3D}=0/71 و R^2_{LAI2D}=0/43، R^2_{LAI3D}=0/36). همچنین در بلوط دو شاخص VOG2 و NDWI بیشترین ضریب رگرسیون را با LAI2D، LAI3D و هر دو با هم نشان دادند و در بنه برای تنها LAI3D شاخص NDWI و برای LAI2D و LAI3D با هم، شاخص SR5 بیشترین ضریب رگرسیون را داشتند. در گونه بنه نیز از بین تمامی متغیرهای گیاهی LAI2D و LAI3D بیشترین رابطه معنی‌دار را با شاخص‌های طیفی داشتند. به طور کلی با توجه به تمامی بررسی‌ها و آنالیزهای انجام شده بر هر دو LAI2D و LAI3D می‌توان نتیجه گرفت که برآورد شاخص سطح برگ در واحد حجم تاج معقول‌تر از برآورد در سطح تاج پوشش می‌باشد. زیرا در LAI3D اثر سایر متغیرها مانند زاویه برگ، مقدار رطوبت، وزن خشک، وزن مرطوب و ... نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: شاخص سطح برگ، طیف سنجی زمینی، شاخص طیفی، رگرسیون حداقل مربعات بخشی، جنگل‌های زاگرس

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول	17
مقدمه	17
فصل دوم	21
کلیات و مرور منابع	21
2-1: شاخص سطح برگ	21
2-2: روش‌های برآورد شاخص سطح برگ	21
2-2-1: روش‌های مستقیم	22
2-2-1-1: نمونه برداری مخرب	22
2-2-1-2: تله جمع آوری لاشبرگ	22
2-2-1-3: روابط آلومتریک	23
2-2-2: روش‌های غیر مستقیم	24
2-2-2-1: DEMON	25
2-2-2-2: آنالیزگر تاج LAI-2000	26
2-2-2-3: TRAC	26
2-2-2-4: عکاسی نیم کره‌ای تاج پوشش	27
2-2-2-5: تصاویر چند طیفی و ابر طیفی	28
2-2-2-6: طیف سنجی زمینی	29
2-3: منحنی انعکاس طیفی گیاه	31
2-3-1: محدوده مرئی	31
2-3-2: محدوده لبه قرمز	33
2-3-3: محدوده مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز دور (SWIR)	33
2-4: شاخص‌های طیفی	35
2-5: رگرسیون حداقل مربعات بخشی	36
فصل سوم	38
مواد و روش‌ها	38
3-1: مواد	38
3-1-1: منطقه مورد مطالعه	38
3-2: روش‌ها	40
3-2-1: اندازه‌گیری زمینی	40
3-2-2: اندازه‌گیری طیفی	41
3-2-3: اندازه‌گیری مقدار کلروفیل کلروفیل	42
3-2-4: نرم افزارها	42
3-2-5: شاخص‌های طیفی	43
3-2-6: تحلیل‌های آماری	44

فصل چهارم---------- 46
نتایج---------- 46
4-1: خلاصه آماری متغیرهای گیاهی---------- 46
4-1-1: بررسی نرمال بودن متغیرهای گیاهی---------- 47
4-1-2: مقایسه متغیرهای گیاهی در دو گونه بلوط و بنه---------- 47
4-1-3: مقایسه متغیرهای گیاهی در چهار جهت اصلی تاج درخت---------- 48
4-1-3-1: گونه بلوط---------- 48
4-1-3-2: گونه بنه---------- 48
4-1-4: مقایسه متغیرهای گیاهی در دامنه‌های جنوبی و غربی---------- 49
4-1-4-1: گونه بلوط---------- 49
4-1-4-2: گونه بنه---------- 50
4-2: شاخص‌های طیفی---------- 51
4-2-1: بررسی نرمال بودن شاخص‌های طیفی---------- 51
4-2-2: مقایسه شاخص‌های طیفی در دو گونه بلوط و بنه---------- 51
4-2-3: مقایسه شاخص‌های طیفی در چهار جهت تاج درختان مورد مطالعه---------- 53
4-2-4: مقایسه شاخص‌های طیفی در دامنه‌های جنوبی و غربی---------- 56
4-2-4-1: گونه بلوط---------- 56
4-2-4-2: گونه بنه---------- 57
4-3: بررسی ضریب همبستگی ساده پیرسون بین متغیرهای گیاهی در دو گونه بلوط و بنه---------- 59
4-4: بررسی ضریب همبستگی ساده پیرسون بین شاخص‌های طیفی و متغیرهای گیاهی---------- 59
4-4-1: گونه بلوط---------- 59
4-4-2: گونه بنه---------- 61
4-5: رابطه انعکاس طیفی برگ با LAI و سایر متغیرهای بیولوژیکی و مورفولوژیکی براساس رگرسیون حداقل مربعات بخشی (PLS)---------- 62
4-5-1: گونه بلوط---------- 62
4-5-1-1: رابطه انعکاس طیفی بلوط با کل متغیرهای گیاهی با استفاده از مدل PLS---------- 62
4-5-1-2: رابطه انعکاس طیفی بلوط و تنها متغیر LAI3D با استفاده از مدل PLS---------- 70
4-5-1-3: رابطه انعکاس طیفی بلوط و تنها متغیر LAI2D با استفاده از مدل PLS---------- 72
4-5-1-3: رابطه انعکاس طیفی بلوط و تنها متغیرهای LAI3D و LAI2D با مدل PLS---------- 73
4-5-2: گونه بنه---------- 76
4-5-2-1: رابطه انعکاس طیفی بنه با متغیرهای گیاهی در مدل PLS---------- 76
4-5-2-2: رابطه انعکاس طیفی بنه و تنها متغیر LAI3D با استفاده از مدل PLS---------- 83
4-5-2-3: رابطه انعکاس طیفی بنه و تنها متغیر LAI2D با استفاده از مدل PLS---------- 85
4-5-2-4: رابطه انعکاس طیفی بنه و تنها متغیرهای LAI3D و LAI2D با استفاده از مدل PLS------ 87
4-6: رابطه شاخص‌های طیفی با LAI و سایر متغیرهای بیولوژیکی و مورفولوژیکی براساس رگرسیون حداقل مربعات بخشی (PLS)---------- 89
4-6-1: گونه بلوط---------- 89

4-6-1-1: رابطه شاخص‌های طیفی بلوط با کل متغیرهای گیاهی با استفاده از مدل PLS---------- 89
4-6-1-2: رابطه شاخص‌های طیفی بلوط با تنها LAI3D با استفاده از مدل PLS---------- 97
4-6-1-3: رابطه شاخص‌های طیفی بلوط و تنها متغیر LAI2D با استفاده از مدل PLS---------- 98
4-6-1-4: رابطه شاخص‌های طیفی بلوط و تنها متغیرهای LAI2D و LAI3D با استفاده از مدل PLS-- 100
4-6-2: گونه بنه---------- 103
4-6-2-1: رابطه شاخص‌های طیفی بنه با کل متغیرهای گیاهی در مدل PLS---------- 103
4-6-2-2: رابطه شاخص‌های طیفی بنه با تنها LAI3D در مدل PLS---------- 110
4-6-2-3: رابطه شاخص‌های طیفی بنه با تنها LAI2D در مدل PLS---------- 112
4-6-2-4: رابطه شاخص‌های طیفی بنه با تنها متغیرهای LAI3D و LAI2D در مدل PLS---------- 114
فصل پنجم---------- 117
بحث و نتیجه گیری---------- 117
5-1: اثر جهت تاج درخت و دامنه‌های جغرافیایی بر متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی گونه‌های بلوط و بنه---------- 117
5-2: رابطه خطی ساده بین شاخصهای طیفی و متغیرهای گیاهی---------- 119
5-3: رابطه متغیرهای گیاهی با طیف الکترومغناطیسی با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات بخشی---- 120
5-4: رابطه متغیرهای گیاهی با شاخص‌های طیفی با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات بخشی------- 121
نتیجه‌گیری کلی---------- 124
پیشنهادات---------- 125
منابع---------- 127

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل 2-1: تله جمع آوری لاشبرگ در محیط جنگل ---------- 23
شکل 2-2: ابزار DEMO---------- 25
شکل 2-3: ابزار LAI-2000 ---------- 26
شکل 2-4: ابزار TRAC ---------- 27
شکل 2-5: الف) دوربین فیش آی، ب) لنز فیش آی، ج) تصویر حاصل از دوربین فیش آی ---------- 28
شکل 2-6: مقایسه تصاویر چند طیفی و ابر طیفی ---------- 29
شکل 2-7: الف) طیف سنجی در سطح تاج درخت، ب) طیف سنجی در عرصه، ج) طیف سنجی در آزمایشگاه - 30
شکل 2-8: بخش‌های تشکیل دهنده دستگاه اسپکترورادیومتر a) طیف سنج، b) حسگرفیبرنوری، c) pistol grip، d) رایانه، f) صفحه سفید مبنا ---------- 31
شکل 2-9: جذب کلروفیل، کارتنوئید و آنتوسیانین در محدوده مرئی ---------- 32
شکل 2-10: مشخصه جذبی کلروفیل a و b و کارتنوئید ---------- 32
شکل 2-11: موقعیت لبه قرمز و محدوده لبه قرمز بر منحنی انعکاس طیفی ---------- 33
شکل 2-12: منحنی انعکاس طیفی و باندهای جذب آب *Quercus brantii* ---------- 34
شکل 2-13: حساسیت LAI در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی ---------- 34
شکل 3-1: نقشه مناطق نمونه برداری در استان چهارمحال و بختیاری ---------- 39
شکل 3-2: الف) تصویر منطقه ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاق ج) تصویر منطقه جنگل کوت سیاه فلارد------ 40
شکل 3-3: برداشت زمینی شاخص سطح برگ سه بعدی (LAI3D)---------- 41
شکل 4-3: نمونه‌های درختی الف) بلوط، ب) بنه، ج) نمونه برداری طیفی ---------- 42
شکل 5-3: نمودار مراحل مختلف آنالیزهای آماری در مطالعه حاضر ---------- 45
شکل 1-4: نمودار مقایسه کلروفیل A در چهار جهت تاج درخت بنه با استفاده از آزمون توکی ---------- 49
شکل 2-4: مقایسه شاخص PRI در چهار جهت تاج درخت بنه با استفاده از آزمون توکی ---------- 55
شکل 3-4: مقایسه شاخص VOG2 در چهار جهت تاج درخت بنه با استفاده از آزمون توکی ---------- 56
شکل 4-4: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس کل متغیرهای گیاهی و انعکاس طیفی بلوط --------- 63
شکل 5-4: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای متغیرهای گیاهی بلوط 67
شکل 6-4: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس متغیرهای گیاهی و انعکاس طیفی بلوط با مدل PLS ---------- 69
شکل 7-4: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و انعکاس طیفی در بلوط ---------- 70
شکل 8-4: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای LAI3D بلوط -- 71
شکل 9-4: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI3D و انعکاس بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 71
شکل 10-4: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI2D و انعکاس طیفی ---------- 72
شکل 11-4: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای LAI2D در بلوط 73
شکل 12-4: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI2D و انعکاس بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 73
شکل 13-4: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و LAI2D با انعکاس طیفی بلوط ---------- 74

شکل 4-14: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای LAI2D و LAI3D بلوط ---------- 75
شکل 4-15: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده LAI3D و LAI2D از انعکاس با استفاده از مدل PLS در بلوط ---------- 76
شکل 4-16: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس کل متغیرهای گیاهی و انعکاس طیفی در بنه ------- 76
شکل 4-17: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای متغیرهای گیاهی در بنه 80
شکل 4-18: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس متغیرهای گیاهی و انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 83
شکل 4-19: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و انعکاس طیفی در بنه ---------- 84
شکل 4-20: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای LAI3D بنه -- 84
شکل 4-21: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI3D و انعکاس بنه ---------- 85
شکل 4-22: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI2D و انعکاس طیفی بنه ---------- 85
شکل 4-23: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای LAI2D بنه -- 86
شکل 4-24: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI2D و انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 87
شکل 4-25: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و LAI2D با انعکاس طیفی بنه ---------- 87
شکل 4-26: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در طول موج‌های مختلف برای LAI2D و LAI3D در بنه ---------- 88
شکل 4-27: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI3D و LAI2D از انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 89
شکل 4-28: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس کل متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی بلوط ---- 90
شکل 4-29: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS با شاخص‌های طیفی برای متغیرهای گیاهی بلوط ---------- 94
شکل 4-30: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 96
شکل 4-31: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و شاخص‌های طیفی بلوط ---------- 97
شکل 4-32: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS با شاخص‌های طیفی برای LAI3D بلوط ----- 98
شکل 4-33: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI3D و شاخص‌های طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 98
شکل 4-34: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI2D و شاخص‌های طیفی بلوط ---------- 99
شکل 4-35: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS با شاخص‌های طیفی برای LAI2D در بلوط --- 100
شکل 4-36: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده LAI2D از شاخص‌های طیفی با استفاده از مدل PLS در بلوط ---------- 100
شکل 4-37: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و LAI2D با شاخص‌های طیفی بلوط ------ 101
شکل 4-38: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS با شاخص‌های طیفی برای LAI3D و LAI2D بلوط ---------- 102

شکل 4-39: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده LAI3D و LAI2D از شاخص‌های طیفی با استفاده از مدل PLS در بلوط ---------- 103
شکل 4-40: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس کل متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی بنه ------ 103
شکل 4-41: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در شاخص‌های طیفی برای متغیرهای گیاهی بنه -- 107
شکل 4-42: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 110
شکل 4-43: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و شاخص‌های طیفی بنه ---------- 110
شکل 4-44: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS براساس شاخص‌های طیفی برای LAI3D بنه - 111
شکل 4-45: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI3D و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 112
شکل 4-46: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI2D و شاخص‌های طیفی در بنه ---------- 112
شکل 4-47: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در شاخص‌های طیفی برای LAI2D بنه ------ 113
شکل 4-48: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI2D و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 114
شکل 4-49: فاکتور بهینه برای مدل PLS براساس LAI3D و LAI2D با شاخص‌های طیفی در بنه ----- 114
شکل 4-50: نمودار ضرایب رگرسیون حاصل از مدل PLS در شاخص‌های طیفی برای LAI2D و LAI3D در بنه ---------- 115
شکل 4-51: ابر نقاط و رگرسیون خطی برازش داده شده بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده براساس LAI3D و LAI2D و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 116

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول 3-1: شاخص‌های طیفی اندازه‌گیری شده ---------- 43
جدول4-1: حضور و میزان حداقل و حداکثر متغیرها در جهت‌های مختلف تاج دو گونه بلوط و بنه------- 46
جدول 4-2: نتایج آزمون کلموگروف- اسمیرنوف متغیرهای گیاهی در دو گونه بلوط و بنه ---------- 47
جدول 4-3: نتایج آزمون t متغیرهای گیاهی در دو گونه بلوط و بنه ---------- 47
جدول 4-4: جدول تحلیل واریانس متغیرهای گیاهی در چهار جهت تاج درخت بلوط ---------- 48
جدول 4-5: تحلیل واریانس متغیرهای گیاهی در چهار جهت تاج درخت بنه ---------- 49
جدول 4-6: نتایج آزمون توکی کلروفیل a بنه ---------- 49
جدول 4-7: نتایج آزمون t جفتی متغیرهای گیاهی بلوط در دو دامنه جنوبی و غربی ---------- 50
جدول 4-8: نتایج آزمون t غیر جفتی متغیرهای گیاهی گونه بنه در دو دامنه جنوبی و غربی ---------- 50
جدول 4-9: نتایج آزمون کلموگروف- اسمیرنوف شاخص‌های طیفی ---------- 51
جدول 4-10: جدول نتایج آزمون t شاخص‌های طیفی در دو گونه درختی ---------- 52
جدول 4-11: تحلیل واریانس تفاوت شاخص‌های طیفی بلوط در چهار جهت تاج درخت ---------- 53
جدول 4-12: تحلیل واریانس تفاوت شاخص‌های طیفی بنه در چهار جهت تاج درخت ---------- 54
جدول 4-13: نتایج آزمون توکی شاخص PRI بنه ---------- 55
جدول 4-14: نتایج آزمون توکی شاخصVOG2 بنه---------- 56
جدول 4-15: آزمون t جفتی شاخص‌های طیفی درختان بلوط در دو دامنه غربی و جنوبی ---------- 56
جدول 4-16: آزمون t غیرجفتی شاخص‌های طیفی درختان بنه در دو دامنه غربی و جنوبی ---------- 58
جدول 4-17: ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای گیاهی در دو گونه بلوط و بنه ---------- 59
جدول 4-18: همبستگی پیرسون بین شاخص‌های طیفی و متغیرهای گیاهی درختان ---------- 60
جدول 4-19: همبستگی پیرسون بین شاخص‌های طیفی و متغیرهای گیاهی درختان بنه ---------- 61
جدول 4-20: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS براساس کل متغیرهای گیاهی و انعکاس طیفی بلوط ---------- 63
جدول 4-21: بهترین طول موج‌های حساس به متغیرهای گیاهی با استفاده از مدل PLS ---------- 67
جدول 4-22: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس متغیرهای گیاهی و انعکاس طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 68
جدول 4-23: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D براساس انعکاس طیفی بلوط ---------- 70
جدول 4-24: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و انعکاس طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 71
جدول 4-25: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI2D براساس انعکاس طیفی بلوط ---------- 72
جدول 4-26: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI2D و انعکاس طیفی بلوط با مدل PLS ---------- 73
جدول 4-27: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D و LAI2D براساس انعکاس طیفی بلوط PLS ---------- 74

جدول 4-28: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و LAI2D از انعکاس طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 75
جدول 4-29: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای متغیرهای گیاهی براساس انعکاس طیفی بنه ---------- 77
جدول 4-30: بهترین طول موج‌های حساس به متغیرهای گیاهی با استفاده از مدل PLS ---------- 81
جدول 4-31: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و مقادیر اندازه گیری شده براساس متغیر-های گیاهی و انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 81
جدول 4-32: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D براساس انعکاس طیفی بنه 84
جدول 4-33: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 85
جدول 4-34: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI2D براساس انعکاس طیفی بنه 86
جدول 4-35: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI2D و انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 86
جدول 4-36: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D و LAI2D با انعکاس طیفی بنه ---------- 88
جدول 4-37: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و LAI2D از انعکاس طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 89
جدول 4-38: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS براساس کل متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی بلوط ---------- 90
جدول 4-39: بهترین شاخص‌های طیفی حساس به متغیرهای گیاهی با استفاده از مدل PLS ---------- 94
جدول 4-40: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی با استفاده از مدل PLS در بلوط ---------- 95
جدول 4-41: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D و شاخص‌های طیفی بلوط ---------- 97
جدول 4-42: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و شاخص‌های طیفی با استفاده از مدل PLS در بلوط ---------- 98
جدول 4-43: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل رگرسیون PLS برای LAI2D و شاخص-های طیفی بلوط ---------- 99
جدول 4-44: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI2D و شاخص‌های طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS ---------- 100
جدول 4-45: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D و LAI2D براساس شاخص‌های طیفی بلوط ---------- 101
جدول 4-46: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI2D و LAI3D براساس شاخص‌های طیفی بلوط با استفاده از مدل PLS---------- 102
جدول 4-47: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل گیاهیPLS برای متغیرهای با شاخص‌های طیفی بنه ---------- 104
جدول 4-48: نتایج مدل PLS برای تعیین بهترین شاخص‌های طیفی حساس به متغیرهای گیاهی ------ 108

جدول 4-49: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و مقادیر اندازه گیری شده براساس متغیر-های گیاهی و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 108
جدول 4-50: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D و شاخص‌های طیفی بنه- 111
جدول 4-51: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 111
جدول 4-52: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI2D و شاخص‌های طیفی در بنه 113
جدول 4-53: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI2D و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 113
جدول 4-54: درصد واریانس بیان شده توسط فاکتورها در مدل PLS برای LAI3D و LAI2D براساس شاخص‌های طیفی بنه ---------- 115
جدول 4-55: تجزیه واریانس رگرسیون مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده براساس LAI3D و LAI2D و شاخص‌های طیفی بنه با استفاده از مدل PLS ---------- 116

فصل اول

مقدمه

در مفهوم مدیریت جنگل‌ها دو اصل مهم شامل فهم و مدیریت فرآیندهای اکوسیستمی و تدوین الگوهایی در مقیاس-های مختلف مکانی و زمانی برای رسیدن به اهداف اکولوژیکی وجود دارد. مدیریت منابع جنگلی و ... نیاز به داشتن اطلاعات کمی و کیفی در مورد پارامترهایی مانند شاخص سطح برگ، نیتروژن، کلروفیل، رطوبت و ... دارد (Fava et al., 2009; Franklin, 2001). امروزه استفاده از شاخص‌های اکولوژیک برای شناخت وضعیت کمی و کیفی تاج درخت و پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در طی زمان امری ضروری است. از جمله شاخص‌های اکولوژیک که در آن ضعف اطلاعات به خوبی مشهود است، آگاهی از توان تولید زیتوده و شاخص سطح برگ در اکوسیستم‌های جنگلی و درختان آن است (عدل، 1386). شاخص سطح برگ[1]عامل مهم و کلیدی در تعیین تغییر فرآیندهای متنوع اکوسیستمی مانند: میزان عبور نور و باران، تعرق، فتوسنتز، تنفس گیاه و تنفس هتروتروپیک خاک (از طریق لاشبرگ) است (Maire et al., 2010; Xu et al., 2010; Soudani et al., 2006). این متغیر در مدل‌های فرآیندی اکوسیستم، برای تخمین رشد و تولید خالص اولیه[2]مورد استفاده قرار می‌گیرد و یکی از متغیرهای مهمی است که در مدل‌های تجربی، تغییرات سالیانه قدرت تولید توده را تشریح می‌کند. همچنین LAI می‌تواند یک مولفه حیاتی در تخمین بازدهی رشد و یک معیار مناسب در تشخیص سلامت و آسیب پذیری کل جنگل باشد (Franklin ., 2001). هر چند مبنای تعریف شاخص سطح برگ را روش اندازه‌گیری آن تعیین می‌کند (Jonckheere et al., 2004)، امّا به طور کلی طبق تعریف بسیار ساده شاخص سطح برگ عبارت است، نسبت مجموع مساحت یک طرف سطح برگ‌های گیاه بر واحد سطح تاج پوشش گیاه بر زمین (Thimonier et al., 2010; Heiskanen., 2006: Franklin., 2001) برای تاج پوشش سوزنی برگ و پهن برگ (Liu et al., 2007). برخی از محققان برای گونه‌های سوزنی برگ پیشنهاد محاسبه نصف مجموع مساحت برگ در واحد سطح زمین را ارائه داده اند. تعیین و کاربرد تعریف مشخص برای برآورد LAI می‌تواند نتایج متفاوتی را ارائه دهد (Jonckheere et al., 2004: عدل، 1386).

بررسی شاخص سطح برگ همچنین در تعیین حاصلخیزی رویشگاه‌های جنگلی کاربرد دارد (زرگران، 1380) و میزان آن به عواملی مانند ترکیب گونه‌ها، مراحل توسعه یا توالی جوامع گیاهی، فصول مختلف سال، شرایط حاکم بر رویشگاه و اقدامات مدیریتی اعمال شده بر آن وابسته است (عدل، 1386: Brantley et al., 2011). به علاوه از بین ویژگی‌های

[1] Leaf area index
[2] Net primary production

توده و خاک، قطر برابر سینه، ارتفاع، بیوماس اندام‌های هوایی، درصد نیتروژن، کربن آلی و سیلت همبستگی بالایی با شاخص سطح برگ دارند (خادمی و همکاران، 1390؛ بابایی کفاکی و همکاران، 1388). علاوه بر موارد ذکر شده در بالا، عواملی در سطح تاج درخت و برگ مانند مقدار کلروفیل، رطوبت، زاویه برگ و ... نیز بر میزان این متغیر تأثیر گذار هستند (Brantley et al., 2011; Anser & Martin, 2008; Hunt et al, 1989). دامنه آن براساس مطالعات صورت گرفته از 0/4 برای توده درختی کم تراکم *Quercus peterea* در لیبی تا 16/9 برای توده *Psudotsuga menziesii* با بیش از 200 سال سن در فرانسه گزارش شده است (Jonckheere et al.,2004). به طور کلی گیاهانی که بیشتر برگ های عمودی دارند، دارای بیشترین شاخص سطح برگ هستند. هرچه مقدار شاخص سطح برگ افزایش یابد، شدت اشباع نوری یک اجتماع گیاهی نیز افزایش می‌یابد. از این رو نگاه داشتن شاخص سطح برگ در حد مطلوب برای کارایی بهتر نور حایز اهمیّت است (مقدم، 1384).

روش‌های برآورد LAI به 2 دسته عمده مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند که هرکدام از آنها مزیت‌ها و محدودیت‌هایی دارند. روش‌های مستقیم شامل: نمونه برداری تخریبی[3]، تله جمع آوری لاشبرگ[4] و روابط آلومتریک هستند. این روش‌ها اگرچه دقیق هستند اما به دلیل پیچیده بودن، طولانی بودن زمان برآورد، پر زحمت بودن، نیاز به نیروی انسانی بیشتر، هزینه‌های زیاد نمونه برداری تخریبی در صورت جمع آوری برگ قطع شده درختان (عدل، 1386)، عدم تکرارپذیری به طور فصلی و سالیانه به مطالعات محدود به تک درخت و یا قطعات نمونه محدود می شوند و اجرای آنها در سطح وسیع غیرممکن است (Heiskanen., 2006; Brantley et al., 2011; Fava et al., 2009; Franklin., 2001 ؛ Gower et al., 1999). از جمله روش‌های غیرمستقیم، ابزارهای اپتیکی هستند. منطق این روش-ها که از تنوع زیادی نیز برخوردارند، به طور عمده بر پایه اندازه‌گیری میزان نور عبور یافته از میان تاج پوشش درختان با استفاده از ابزارهای پیشرفته‌ای مانند عکسبرداری یا لنز چشم ماهی[5] (Macfarlane et al., 2007; Van Gardingen et al., 1999) LAI-2000, (Ryu et al., 2010; Cutini et al, 1998) می‌باشد. تکنیک‌های سنجش از دوری شاخه‌ای از روش‌های اپتیکی محسوب می‌شوند که با به کاربردن طیف سنجی زمینی، هوابرد ابرطیفی، ماهواره-ها و داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی از مقیاس محلی تا قاره‌ای مشکلات تخمین متغیرهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی مانند LAI، بیوماس، کلروفیل، نیتروژن و ... را حل کرده اند (Ma et al., 2012; Fava et al., 2009). مزیت مهم این روش‌ها غیر مخرب[6]، ساده، سریع و ارزان بودن آنها و از همه مهمتر تکرارپذیری به طور فصلی و سالیانه و نیاز به نیروی انسانی کمتر است (Brantley et al., 2011).

امروزه، نسل جدید سنجنده‌ها در شاخه‌ای از سنجش دور تحت عنوان طیف سنجی تصویری، با ایجاد تصاویر ابر طیفی (100-252 باند تصویر) تهیه داده‌هایی با توان طیفی زیاد و در حد 10 نانومتر را فراهم نموده است. به علاوه، طیف سنجی زمینی با افزایش تعداد باندهای طیفی امکان مطالعه پدیده‌ها در محدوده طول موج طیفی از مرئی تا مادون قرمز دور را فراهم کرده است (عباسی، 1388؛ Fava et al., 2009).

بازتاب طیفی گیاهان از یک الگوی کلی پیروی می‌کند که در طول موج های مختلف عواملی مانند کلروفیل، ذرات رنگی، آب موجود در گیاه، شکل و ساختار فیزیکی و بسیاری از پارامترهای هر گیاه آن را کنترل می‌کند. به عنوان مثال انعکاس در محدوده طیفی مرئی شامل یک مشخصه جذبی است که تحت تاثیر میزان کلروفیل گیاه است. این تفاوت در بازتاب باعث شناسایی جنس و گونه گیاهی می‌شود (Sims & Gamon, 2002; Slaton et al, 2001). در مطالعات بسیاری از طیف سنجی برای تخمین متغیرهایی مانند شاخص سطح برگ (Darvishzadeh et al., 2008)، میزان فتوسنتز (Serbin et al., 2011)، رطوبت (Wang et al., 2009)، کلروفیل و نیتروژن (Lee et al., 2011) و ....

[3] Distructive sampling
[4] Litter trap
[5] Fisheye phtography
[6] Nondestructive

استفاده شده است. بنابراین امکان مطالعه و بررسی رابطه انعکاس طیفی گیاه و شاخص های طیفی مرتبط با LAI و سایر متغیرهای تأثیرگذار بر انعکاس طیفی از طریق مطالعات طیف سنجی زمینی وجود دارد.

به منظور بارزتر کردن تفاوت‌ها و حتی کاهش اثرات منفی محیطی بر روی بازتاب طیفی گیاهان از روش‌هایی مانند شاخص‌های طیفی[7] و منحنی حذف پیوستار[8] استفاده می‌شود (عباسی، 1388 ,2000, Kokaly).

شاخص‌های طیفی یک ترکیب ریاضی ساده از طول موج‌های متعدد هستند که از اختلاف معنی‌دار بازتابش پوشش گیاهی در طول موج‌های آبی، قرمز، سبز، مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند. این شاخص‌ها از طول موج‌هایی که متاثر از ویژگی‌های بیوفیزیکی و بیوشیمیایی متفاوتی می‌باشند، استفاده می‌شود. در نتیجه نسبت‌گیری و یا نرمال کردن، انعکاس در طول موج‌های خاص نسبت به عوامل دیگر بارزتر شده و بهبود پیدا می‌کند. در این صورت با فرض اینکه ویژگی‌های مختلف گیاه در اثر نرمال سازی بارزتر می‌شود در صورت وجود تفاوت می‌توان از شاخص‌های طیفی برای تشخیص گونه‌ها استفاده کرد (Riedell & Blakmer, 1999; Datt, 1999).

از آنجا که اکثر روش‌های اپتیکی و تکنیک‌های سنجش از دوری در فضای سه بعدی تاج درخت و با در نظر گرفتن ساختار تاج درختان میزان LAI را برآورد می‌کنند، بهتر است برای مقایسه LAI بدست آمده از این روش‌ها با روش-های زمینی به جای برآورد LAI در فضای دو بعدی سطح تاج پوشش درخت میزان LAI در فضای سه بعدی (حجم تاج) برآورد شود. در کشور ایران به دلیل نو پا بودن فن سنجش از دور در عرصه های منابع طبیعی و فقدان وسایل و تجهیزات مورد نیاز، این نوع تحقیقات چندان مورد توجه قرار نگرفته است. این پژوهش رابطه انعکاس طیفی برگ را به وسیله طیف سنجی با شاخص سطح برگ در سطح دو بعدی و سه بعدی تاج درخت و برخی فاکتورهای بیوشیمیایی و مورفولوژیکی دیگر مانند میزان کلروفیل برگ، زاویه، رطوبت، وزن خشک و اندازه ها برای دو گونه اصلی جنگل‌های زاگرس (*Quercus brantii* و *Pistacia atlantica*) بررسی می‌کند.

ماهیت داده‌های طیفی حاصل از طیف سنجی زمینی به گونه‌ای است که مستلزم به کارگیری روش‌های خاص برای بررسی تفاوت طیفی پدیده‌ها می‌باشد. یکی از کاراترین روش‌ها در این زمینه، رگرسیون چند متغیره حداقل مربعات بخشی[9] می‌باشد که نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به روش‌های آماری دیگر ارائه داده است. در این مطالعه برای بررسی رابطه انعکاس طیفی و شاخص سطح برگ و سایر متغیرهای گیاهی از رگرسیون حداقل مربعات بخشی استفاده شد.

اهداف اصلی تحقیق

- بررسی رابطه بین انعکاس طیفی دو گونه بلوط و بنه با میزان LAI، میزان کلروفیل و برخی خصوصیات برگ از جمله زاویه، اندازه ها ، وزن خشک و میزان رطوبت
- مقایسه رابطه LAI به دست آمده در سطوح دو بعدی (LAI2D) و سه بعدی شاخسار (LAI3D) با داده‌های طیفی در دو گونه بلوط و بنه
- بررسی توانایی رگرسیون حداقل مربعات بخشی در بررسی رابطه بین متغیرهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بلوط و بنه
- استفاده از رگرسیون PLS برای تعیین مؤثرترین متغیرهای گیاهی بر انعکاس طیفی گونه‌های بلوط و بنه
- استفاده از رگرسیون PLS برای تعیین حساسترین طول موج‌ها و شاخص‌های طیفی به LAI3D، LAI2D و سایر متغیرهای گیاهی

[7] Vegetation index
[8] Continuum remove
[9] Partial least squar

اهداف فرعی تحقیق

- بررسی تفاوت آماری متغیرهای گیاهی و شاخص‌های طیفی در دو گونه بلوط و بنه
- بررسی اثر جهت‌های تاج درخت و دامنه‌های جغرافیایی بر LAI3D، LAI2D و سایر متغیرهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

- بررسی اثر جهت‌های تاج درخت و دامنه‌های جغرافیایی بر شاخص‌های طیفی