

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

معرفی معادلات آلومتری زی توده و شاخص سطح برگ

*Avicenia marina* (Forssk.) Vierh حرا

*Rhizophora mucronata* (L.) و چندل

در جنگل‌های مانگرویی جنوب ایران

مریم مصلحی

عبدالحمید حاجبی

حسین پرورش

شماره مصوب	عنوان طرح منتج به این نشریه فنی
۲۴-۶۲-۰۹-۱۰۵-۹۶۰۸۵۷	تأثیر شدت‌های مختلف شاخه‌زنی بر خصوصیات رویشی و زایشی جنگل‌های حرا در منطقه خمیر



عنوان نشریه: معرفی معادلات آلومتری زی توده و شاخص سطح برگ حرا *Avicenia marina* (Forssk.) Vierh و چنل *Rhizophora mucronata* (L.) در جنگل‌های مانگرو جنوب ایران  
**نویسندگان:**

**مریم مصلحی**

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندر عباس، ایران.

**عبدالحمید حاجبی**

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندر عباس، ایران.

**حسین پرورش**

استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندر عباس، ایران.

**تهیه شده در:** موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور / اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی / مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان

**مدیر داخلی:** فاطمه عباسپور

**ویراستار ادبی:** اصغر احمدی

**ویراستاران علمی:** یعقوب ایرانمنش، علی اصغر واحدی

**نوبت چاپ:** اول

**شمارگان:** الکترونیکی

**قیمت:** رایگان

**نشانی:** بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید علی گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی

ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. صندوق پستی: ۱۱۶-۱۳۱۸۵

تلفن: ۰۲۱-۴۴۷۸۷۲۸۲-۵ وبسایت: [www.rifr-ac.ir](http://www.rifr-ac.ir)

این نشریه به شماره ۵۹۶۱۰ در تاریخ ۱۴۰۰/۰۳/۰۲ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.



## فهرست مندرجات

۵	چکیده.....
۵	مقدمه.....
۶	فواید جنگل‌های مانگرو.....
۷	عوامل تهدید مانگرو.....
۷	شاخص سطح برگ (Leaf area index).....
۸	زی توده برگ (Leaf biomass).....
۸	محاسبه معادله آلومتری.....
۱۰	معادله آلومتری زی توده برگ درختان حرا و چنل.....
۱۱	معادله آلومتری شاخص سطح برگ.....
۱۳	نتیجه‌گیری.....
۱۴	منابع.....

## مخاطبان نشریه:

اعضای هیئت علمی، محققان، مروجان منابع طبیعی، مدیران جنگل، سازمان محیط زیست و سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور

## اهداف آموزشی:

### خوانندگان گرامی در این نشریه فنی می توانید:

با استفاده از معادلات آلومتریک و به روش غیر تخریبی، زی توده برگ درختان حرا را با اندازه گیری سطح تاج و قطر یقه، شاخص سطح برگ را با استفاده از قطر یقه در درختان چندل، زی توده برگ را با اندازه گیری سطح تاج و شاخص سطح برگ را با اندازه گیری سطح برگ و ارتفاع درخت محاسبه نمایید.

## چکیده

شاخص‌های بوم‌شناسی برای شناخت وضعیت بوم‌سازگان‌ها، پایش و ارزیابی تغییرات در طول زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به کمبود اطلاعات پایه، تخریب و ناپایداری منابع طبیعی در کشور، برقراری سامانه پایش منابع طبیعی با چالش جدی روبروست. از شاخص‌های مهم بوم‌شناسی که ضعف اطلاعات آن در کشور به چشم می‌خورد توان تولیدی و شاخص سطح برگ بوم‌سازگان جنگلی است. یکی از این بوم‌سازگان‌های جنگلی مهم که به علت شرایط خاص رویشگاهی، کمبود اطلاعات پایه در آن به شدت احساس می‌شود، بوم‌سازگان ماندابی کشور است. بنابراین در این تحقیق زی توده برگ و شاخص سطح برگ درختان حرا و چندل برای اولین بار با استفاده از روش غیرتخریبی برآورد شد. در این نشریه با معادلات آلومتری گونه حرا و چندل با استفاده از تحلیل رگرسیون قطر یقه، قطر در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، قطر متوسط تاج، طول تاج، سطح تاج و صفات اندازه‌گیری شده (زی توده برگ و شاخص سطح برگ)، ارائه مدل و تخمین زی توده برگ و شاخص سطح برگ درختان حرا و چندل برای اولین بار به روش غیر تخریبی با استفاده از مدل، آشنا خواهید شد.

**واژه‌های کلیدی:** آلومتری، زی توده برگ، قطر یقه، حرا، چندل.

## مقدمه

مانگروها درختان همیشه سبز و مقاوم به شوری در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری هستند که در پهنه‌های جزرومدی در کنار ساحل که مخلوط‌های متغیری از آب شیرین و شور وجود دارد، رشد می‌کنند (۲۵) و از طریق ویژگی‌های برگ خود (کرک‌های روی برگ، کوتیکول ضخیم و مومی بودن برگ) اتلاف آب را کاهش می‌دهند (۱۰). مانگروها در این مناطق در بستر خود شوری بیشتر از آب دریا را تحمل می‌کنند و همین عامل مانگروها را وادار به جذب آب از طریق قانون فشار اسمزی می‌نماید (۶). جنگل‌های مانگرو به‌عنوان مرز بین بوم‌سازگان‌های خشکی و دریا، از نظر تنوع زیستی (۹) (پستانداران، خزندگان، پرندگان، سخت‌پوستان، نرم‌تنان، صدف‌ها، ماهی‌ها و جانداران میکروسکوپی)، حفاظتی (سدی در مقابل طوفان و سیل، کاهش توانایی رسوب‌گذاری و فرسایش امواج)، حمایتی (کاهش انرژی و ارتفاع امواج) و تولید (تولید اولیه، تولید لاشریزه و غنای آب‌های

ساحلی) از بوم‌سازگان‌های مهم در جهان به‌شمار می‌روند. با وجود خدمات گسترده‌ای که این جنگل‌ها دارند همچنان در معرض تهدیدهای ناشی از دخالت‌های بشری (۴) و تهدیدهای طبیعی در سطح محلی و منطقه‌ای و همچنین تغییرات جهانی (۲۸) قرار دارند که در نتیجه آن، تنوع گونه‌ای و سطوح جنگل‌های مانگرو در بسیاری از نواحی، با روند سریعی در حال کاهش است (۴). با توجه به کمبود اطلاعات پایه در کشور، تفاوت درختان مانگرو در ایران نسبت به سایر کشورها، تخریب و حساسیت بالای بوم‌سازگان دریایی، برای پایش تغییرات ساختار جنگل‌های مانگرو، مدیریت صحیح و توسعه پایدار آن نیاز به اطلاعات پایه‌ای و برنامه‌های مختلف حفاظتی و ترمیمی است تا بتوان با استفاده از اقدامات پیشگیرانه و تکنیک‌های مدیریتی نو، تغییرات ساختار و عملکرد آن را مورد بررسی قرار داد. یکی از این تکنیک‌های نو استفاده از شاخص‌های بوم‌شناسی از طریق روابط آماری بین ویژگی‌های ساختاری گیاه و ارائه مدل آلومتریک است (۱۱).

برای ارزیابی توان تولیدی، پایش، مدیریت پایدار (۲)، ارزیابی شرایط فعلی جنگل و پیش‌بینی تغییرات در آینده، نیاز به تخمین صحیح زی توده و شاخص سطح برگ است. با توجه به اینکه درختان مانگروی ایران متفاوت از بوم‌سازگان دریایی سایر کشورهاست (کوتاه‌تر و چند شاخه) (۱۱)، از این رو مدل‌های آلومتریک آنها کاربرد چندانی برای عناصر مانگرو در کشور ندارد. بنابراین برای تخمین دقیق نیاز به ارائه مدل بر اساس شرایط بوم‌سازگان دریایی در کشور هستیم تا دقت پیش‌بینی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها افزایش یابد.

## فواید جنگل‌های مانگرو

- کاهش تخریب، فرسایش و رسوب‌گذاری امواج و حفاظت جوامع ساحلی در برابر عوامل طبیعی از طریق کاهش دامنه، ارتفاع و انرژی امواج (۲۶)؛
- ترسیب کربن اتمسفر و اقیانوس در واحد سطح در جنگل‌های مانگرو، با یک میزان بالاتری نسبت به سایر بوم‌سازگان ساحلی و خشکی انجام می‌شود (۲۳). بنابراین ذخیره کربن توسط مانگرو بیشتر از ذخیره کربن اندازه‌گیری شده در جنگل‌های خشک حاره، ساوانا و حتی جنگل‌های بارانی است. به‌طور مشابه، مانگروها نسبت به سایر بوم‌سازگان‌های ساحلی تمایل به ذخیره بیشتر کربن در واحد سطح دارند (۲۷)؛
- زیستگاه حیاتی پرندگان، حشرات، پستانداران و خزندگان در تاج‌پوشش (۲۱)؛

- زیستگاهی مناسب برای گیاهان دریایی، جلبک‌ها، مهره‌داران و بی‌مهره‌گان در سیستم ریشه‌ای تودرتوی خود (۲۰)؛
- جاذبه گردشگری و توریسم؛
- پایه و اساس شبکه غذایی برای موجودات ساکن در بوم‌سازگان دریایی؛
- پناهگاهی برای فرار از رقابت موجودات ضعیف ساکن در مانگرو به علت داشتن منبع غذایی غنی و ریشه‌های تودرتو (۲۰)؛
- وابستگی معیشت افراد بومی به موجودات ساکن در مانگرو (۱۸).

## عوامل تهدید مانگرو

- بوم‌سازگان دریایی مانگرو برخلاف خدمات اقتصادی، اجتماعی و بوم‌شناسی نسبت به فعالیت‌های بشری و تغییرات آب و هوایی بسیار آسیب‌پذیر بوده و در معرض تهدید هستند (۱۳)؛
- تغییر کاربری اراضی (آبزی‌پروری) یکی از عواملی است (۸) که سبب کاهش تنوع زیستی بوم‌سازگان دریایی مانگرو در سرتاسر جهان شده است (۲۲)؛
- آلودگی نفتی که عامل افزایش فلزات سنگین در رسوب و گیاه است و منجر به ضعف گونه‌های جانوری و گیاهی می‌شود (۷)؛
- فاضلاب‌های شهری (۱) که با تغییر در شرایط شیمیایی رویشگاه منجر به کاهش توان تولید و بوم‌سازگان می‌شود؛
- سرشاخه‌زنی و تأمین علوفه دام و در نتیجه کاهش توان تولیدی گیاه (۱) و تزلزل در توسعه پایدار بوم‌سازگان؛
- تغییرات آب و هوایی از جمله بالا آمدن سطح آب دریا، تغییر اندازه سیکلون‌ها و شدت بارش (۸).

## شاخص سطح برگ (Leaf area index)

شاخص سطح برگ از مساحت مجموع برگ‌های یک درخت بر مساحت کل تاج محاسبه می‌شود. از آنجایی که فرایند اندازه‌گیری در کل توده بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است تعداد محدودی درخت انتخاب و با استفاده از معادلات آلومتریک برای کل توده استفاده می‌شود (۱۴). اهمیت شاخص سطح برگ به

دلیل ارتباطی است که بین آن و فرایندهای بوم‌شناسی (میزان فتوسنتز، تبخیر و تعرق (۲۴)، تولید اولیه خالص (۱۹)، میزان مبادله انرژی بین گیاه و اتمسفر (۱۲)) وجود دارد. در واقع با استفاده از شاخص سطح برگ می‌توان میزان رویش و تولید محصول را در آینده در یک توده پیش‌بینی نمود (۱۶) و به پایش تغییرات ساختار تاج ناشی از آلودگی و تغییر اقلیم پرداخت (۱۲).

### زی توده برگ (Leaf biomass)

زی توده برگ عبارت است از مجموع ماده آلی زنده در سطح تاج (بدون در نظر گرفتن شاخه) است که به صورت تن در واحد سطح بیان می‌شود. زی توده برگ درختان، عامل مهمی در مطالعه چرخه بیوژئوشیمیایی (۱۵)، فتوسنتز، تولید و ذخیره ماده آلی، چرخه عناصر غذایی (۳) و تخمین ذخیره کربن است. در واقع می‌توان گفت زی توده برگ، مهمترین عامل در زی توده کل یک درخت است که نبض حیاتی تولید و چرخه عناصر غذایی را در یک توده جنگلی تشکیل می‌دهد.

### محاسبه معادله آلومتری

خدمات گسترده اقتصادی مانگرو به جوامع ساحل‌نشین و معیشت آنها و همچنین ارائه خدمات بوم‌شناسی وسیع به ساکنان کره زمین از یکسو و تهدید انسانی و طبیعی و تخریب آن از سوی دیگر (۴)، آگاهی از سلامت، تولید و توان تولیدی رویشگاه، تغییرات بوم‌سازگان در طول زمان و پایش آن برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح بوم‌سازگان دریایی، ضروری به نظر می‌رسد (۲). با توجه به حساسیت جنگل مانگرو، بهترین شیوه برای اطلاع از موارد یادشده، استفاده از شاخص سطح برگ و زی توده گیاه و معادلات آلومتریک آنها با توجه به شرایط رویشگاهی کشور است.

پس از اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی در جنگل و نیز انجام عملیات آزمایشگاهی (شکل ۱)، با تجزیه و تحلیل داده‌ها، روابطی حاصل شدند که به دلیل اندازه‌گیری سطح تاج و قطر یقه درختان حرا می‌توان زی توده برگ و قطر یقه را به تنهایی شاخص سطح برگ تخمین زد. البته در درختان چندل نیز با استفاده از سطح تاج، زی توده برگ، سطح برگ و ارتفاع درخت شاخص سطح برگ قابل پیش‌بینی است.





ب) اندازه گیری ارتفاع



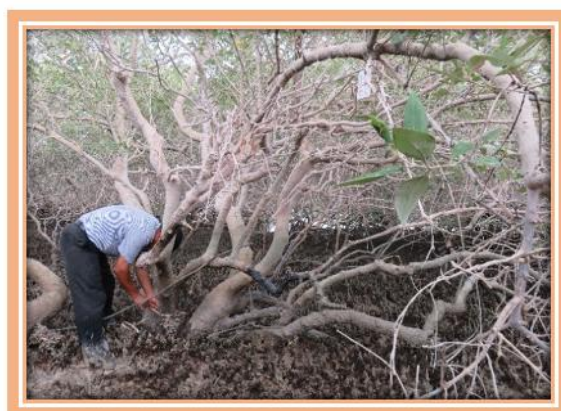
الف) اندازه گیری قطر تاج



د) تعیین زی توده برگ



ج) برداشت یک هشتم تاج



ی) اندازه گیری قطر

## معادله آلومتری زی توده برگ درختان حرا و چندل

از بین قطر یقه (میانگین قطر یقه جست گروه‌ها)، قطر در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، قطر متوسط تاج، سطح برگ، طول و سطح تاج اندازه‌گیری شده، فقط سطح تاج و قطر یقه در درختان حرا و سطح تاج در درختان چندل بیشترین همبستگی را به زی توده برگ نشان دادند و در معادله پیش‌بینی زی توده برگ قرار گرفتند (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج آزمون رگرسیون چندگانه پیش‌بینی متغیر وابسته زی توده برگ در سطح احتمال ۹۹ درصد

گونه	پیش‌بینی شونده	متغیر پیش‌بین	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	مدل	سطح معنی‌داری	میانگین مربعات خطا
حرا	زی توده برگ (کیلوگرم) LDM	سطح تاج (CA) (مترمربع) و قطر یقه (COD) (سانتی‌متر)	۰/۹۳	۰/۸۷	$LDM = -1.105 + 0.179 CA + 0.081 COD$	۰/۰۰	۱/۷۰
چندل	زی توده برگ (کیلوگرم) LDM	سطح تاج (CA) (مترمربع)	۰/۸۱	۰/۶۵	$LDM = 1.06 + 1.232 CA$	۰/۰۰	۰/۵۳

میزان همبستگی زی توده برگ در حرا با متغیر پیش‌بین ۰/۹۳ و میزان زی توده برگ طبق معادله محاسبه شده ۶/۶۱ کیلوگرم بود. همچنین میزان همبستگی زی توده برگ در چندل با متغیر پیش‌بین ۰/۸۱ بود که طبق معادله محاسبه شده میزان زی توده برگ ۳/۳۴ کیلوگرم به دست آمد (۵). لازم است یادآوری شود که میزان محاسبه شده زی توده برگ از دو معادله تنها ۰/۰۱ با مقدار اندازه‌گیری شده به روش مستقیم (۶/۶۲ و ۳/۳۳ کیلوگرم) تفاوت داشت.

## معادله آلومتری شاخص سطح برگ

با استفاده از متغیرهای اندازه‌گیری شده و بررسی رابطه رگرسیونی بین آنها و شاخص سطح برگ، مدلی برای تخمین ارائه شد (جدول ۲). در این مدل مشخص شد که فقط با اندازه‌گیری قطر یقه درختان حرا و سطح برگ و ارتفاع درختان چنندل می‌توان متغیر پرهزینه و وقت‌گیر شاخص سطح برگ را در شرایط سخت جنگل‌های مانگرو به‌راحتی و با دقت بالا محاسبه نمود.

جدول ۲. نتایج آزمون رگرسیون چندگانه برای پیش‌بینی متغیر وابسته شاخص سطح برگ  
در سطح احتمال ۹۹ درصد

مجدور میانگین مربعات خطا	سطح معنی‌داری	مدل	ضریب تبیین	ضریب همبستگی	متغیر پیش‌بین	پیش‌بینی شونده	گونه
۰/۰۵	۰/۰۰	$LAI=0.195+0.004COD$	۰/۶۸	۰/۸۳	قطر یقه (سانتی‌متر) (COD)	شاخص سطح برگ	حرا
۰/۵	۰/۰۰۱	$LAI=1.938+0.081LA+0.758H$	۰/۶۸	۰/۸۲	میانگین سطح برگ (LA) (سانتی‌متر) ارتفاع (H) (متر)	شاخص سطح برگ	چندل

تقریباً تمامی فرایندهای داخل جنگل، به ویژه فرایند تولید اولیه وابسته به اندازه و مساحت قسمت جذب کننده تاج درخت است (۱۷) که با معادله ذکر شده می توان به این مهم دست یافت. میانگین شاخص سطح برگ پیش بینی شده ۰/۳۰ بود که با مقدار واقعی تفاوتی نداشت.

همچنین شاخص سطح برگ پیش بینی شده بر اساس معادله آلومتری چندل با متغیرهای پیش بین سطح برگ و ارتفاع درخت با ضریب همبستگی ۰/۸۲، برابر با ۷/۰۵ بود که با مقدار واقعی (۷/۰۶) تفاوت محسوسی نداشت (۵).

### نتیجه گیری

- اندازه گیری سطح تاج و قطر یقه و جاگذاری آن در مدل محاسبه ای  $LDM = 1.105 + 0.179 CA + 0.081 COD$  برای تخمین دقیق زی توده برگ درختان حرا؛
- پیش بینی زی توده برگ درختان چندل با اندازه گیری متغیر سطح تاج و استفاده از آن در معادله  $LDM = 1.06 + 1.232 CA$ ؛
- تخمین شاخص سطح برگ درختان حرا با اندازه گیری تنها قطر یقه و قرار دادن آن در مدل محاسبه شده  $LAI = 0.195 + 0.004 COD$ ؛
- اندازه گیری میانگین سطح برگ و ارتفاع درخت و جاگذاری آن در مدل  $LAI = 1.938 + 0.081 LA + 0.758 H$  برای تخمین شاخص سطح برگ درختان چندل؛
- استفاده از مدل های محاسبه شده در ارزیابی تولیدی و کیفی جنگل های مانگرو، پیش بینی تولید در آینده، برنامه ریزی های مدیریتی و پایش تغییرات در جنگل های مانگرو.

## منابع

۱. حسین زاده منفرد، سجاده؛ یاسر توحیدیان فر؛ حمیدرضا احمدنیا مطلق و محمدتقی احمدی، ۱۳۸۷، جنگل های مانگرو؛ پراکنش، اهمیت و تهدیدات آن در ایران، اولین همایش منطقه ای بومسازگان های آبی داخلی ایران، بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، ۱-۶ص.
۲. عدل، ح.، ۱۳۸۶. برآورد بیومس برگ و شاخص سطح برگ دو گونه عمده در جنگل های یاسوج. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۱۵ (۴): ۴۲۶-۴۱۷.
۳. مقدم، م.، ۱۳۸۴، اکولوژی گیاهان خاکروی . انتشارات دانشگاه تهران، ۵۱۲ صفحه.
۴. مصلحی، م.، ۱۳۹۷. ارزش اکولوژیکی بومسازگان های در معرض خطر مانگرو، فصلنامه انسان و محیط زیست. ۴۶: ۱۶۷-۱۴۹.
۵. مصلحی، م.، یعقوبزاده، م.، بیژنی، م.، احمدی، ا.، ۱۳۹۹. اندازه گیری و برآورد شاخص سطح برگ، زی توده و سطح ویژه درختان چنندل در جنگل های مانگروی سیریک. مجله جنگل ایران، ۱۲: ۴۲۱-۴۳۴.
6. Aziz, I., and Khan, M. A. 2001. Effect of seawater on the growth, ion content and water potential of *Rhizophora mucronata* Lam. Journal of Plant Research, 114(3): 369-373.
7. Bahuguna, A., Nayak, S., and Roy, D. 2008. Impact of the tsunami and earthquake of 26th December 2004 on the vital coastal ecosystems of the Andaman and Nicobar Islands assessed using RESOURCESAT AWiFS data, Int J App Earth Obs Geoinf, 10: 229-237.
8. Blasco, F., Aizpuru, M., and Gers, C. 2001. Depletion of the mangroves of Continental Asia. Wetl Ecol Manag, 9: 245-256.
9. Boto, K.G., Bunt, J.S., and Wellington, J.T. 1984. Variations in mangrove forest productivity in northern Australia and Papua New Guinea. Estuar. Coast. Shelf Sci, 19 (3): 321-329.
10. Clarke, P.J. 1993. Dispersal of grey mangrove (*Avicennia marina*) propagules in southeastern Australia. Aquat Bot, 45(2-3): 195-204.
11. Ghasemi, A., Fallah A., and Joibary, S.S. 2016. Allometric equations for estimating standing biomass of *Avicennia marina* in Bushehr of Iran. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 66(2), 691-697.
12. Gholz, H.L., Vogel, S.A., Cropper, W.P., McKelvey, K., Ewel, K.C., Teskey, R.O., and Curran, P.J. 1991. Dynamics of canopy structure and light interception in *Pinus elliottii* stands. North Florida. Ecol. Monogr, 6: 33-51.
13. Gilman, E.L., Ellison, J., Jungblat, V., Lavieren, H.V., and Wilson, L. 2006. Adapting to Pacific Island mangrove responses to sea level rise and other climate change. Clim Res, 32: 161-176.

14. Gspaltl, M., and Sterba, H., 2011. An approach to generalized non-destructive leaf area allometry for Norway spruce and European beech. *Australian Journal of Forest Science*. 4: 219–250.
15. Husch, B., Beers. T.W., and Kershaw, J.A., 2003. *Forest mensuration*. John Wiley and Sons, Inc, New Jersey
- Imbert, D. and Rollet, B. 1989. Phytmassaerienne et production primaire dans la mangrove du Grand Culde-sac Marine (Guadeloupe, Antilles francaises). *Bull. Ecol.* 20: 27–39.
16. Kaufmann, M.R., Edminster, C.B., and Troendle, C. 1982. Leaf area determinations for subalpine tree species in the central Rocky Mountains. U.S, Dep. Agric. Rocky Mt. For. Range. Exp. Stn. Gen. Tech. Rep., RM-238.
17. Li, P., Peng, C., Wang, M., Li, W., Zhao, P., Wang, P., Yang, Y., and Zhu, Q. 2017. Quantification of the response of global terrestrial net primary production to multifactor global change. *Ecological Indicators*, 76: 245–255.
18. Manson, F.J., Loneragan, N.R., Skilleter, G.A., and Phinn, S.R. 2005. An evaluation of the evidence for linkages between mangroves and fisheries: a synthesis of the literature and identification of research directions. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 43: 483–513.
19. Meyers, T.P., and Paw, U.K.T. 1986. Testing of a higher-order closure model for modelling airflow within and above plant canopies. *Boundary-Layer Meteorol*, 37: 297-311.
20. Mumby, P. J. 2005. Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: Algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. *Biological conservation*, 128: 215-22.
21. Nagelkerken, I., Blaber, S.J.M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L.G., Meynecke, J.-O., Pawlik, J., Penrose, H.M., Sasekumar, A., and Somerfield, P.J. 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, 89: 155–185.
22. Osuna, F. P. 2000. The environmental impact of shrimp aquaculture: A global perspective. *Environ Pollut*, 112: 229-231.
23. Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. and Hayes, D. 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333: 988-993.
24. Pierce, L.L., and Running, S.W. 1988. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. *Ecology* 69, 1762-1767.
25. Sandilyan, S., and Kathiresan, K. 2012. Mangrove conservation: a global perspective. *Biodiversity and Conservation* 21(14): 3523–3542. United

- Nations. 1992, Framework convention for climate change. Geneva, Switerland.
26. Spalding, M., McIvor, A., Tonnejck, F.H., Tol, S., and van Eijk, P. 2014. Mangroves for coastal defense. Guidelines for coastal managers & policy makers. Published by Wetlands International and The Nature Conservancy. 42 p
  27. UNEP, (2014). The Importance of Mangroves to People: A Call to Action. Van Bochove, J., Sullivan, E., Nakamura, T., (Eds). United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Cambridge. 128 pp.
  28. Valiela, I., Bowen, J.L., and York, J.K. 2001. Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. Bioscinces, 51: 807-815.