اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طو
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

19 - 20 January 2016

مروری بر روش های برآورد زیست توده ی جنگل با استفاده از داده های راداری

نرگس السادات قیاسی[1*]، علی اسماعیلی[2] ، یاسر مقصودی[3]

۱- دانشجوی ارشد عمران-سنجش از دور دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان
۲- استادیار دانشکده عمران-نقشه برداری دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان
۳- استادیار دانشکده عمران-نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی

چکیده :

جنگل ها نقش حیاتی در تنظیم آب و هوا از طریق تجزیه نمودن کربن در زیست توده شان ایفا می کنند.زیست توده شرایط سلامت و زیت محیطی اکوسیستم جنگل ها را منعکس می کند. در چهارچوب مکانیسم کاهش تغییرات آب و هوایی مانند کاهش انتشار از مناطق دچار جنگل زدایی و مناطق تخریب شده ی جنگلی(REDD)[1] یک کمپین گسترده نظارت ونمایش جنگلی بسیار مهم و اساسی است.سنجش از دور ساختار جنگلی و زیست توده با رادار روزنه ترکیبی (SAR)[2] پتانسیل بالایی برای نمایش و فهم فرآیندهای زیست محیطی جنگل فراهم می نماید.محدودیت های شیوه های قراردادی و مرسوم نمایش و اندازه گیری جنگل مانند هزینه های گزاف و زمان بر بودن می توانند از طریق تکنیک های یکپارچه مکانی مورد غلبه واقع شوند.سنجنده های نوری و SAR برای استخراج اطلاعات در مورد مناطق توده ی جنگلی و یکنواخت مناسب می باشند.هرچند سنجنده های نوری با محدودیت مواجه هستند ،بویژه در مناطق گرمسیری مانند پوشش ابری که تصاویر SAR قادر می باشند بر مشکلاتی از قبیل اشباع شدگی تارگت و جنبه های نفوذ غلبه کند.کاربرد همزمان اطلاعات طیفی و پارامترهای بافت تصویری ، ارزیابی زیست توده را در سطوح موج دار و شرایط رادیکال میسر می سازد.همچنین کاربرد تلفیقی چند سنجنده ای نوری و SAR پتانسیل بالاتری نسبت به تک سنجنده دارند.تصاویر پلسار[3] وتصاویر اینترفرومتریک[4] و یا ترکیب این دو نقش بسزایی در ارزیابی و برآورد پارامترهای بیوفیزیکی پیچیده و ناهمگن ریست محیطی ایفا می نمایند. هرچند داده های SAR محدودیت ها و پیچیدگی های خود را دارا می باشند. شناسایی ،فهم و حل نمودن ابهامات اصلی در سطوح متفاوت روند تخمین زیست توده ضروری و اساسی به شمار می روند.بر این اساس مطالعات جاری سیری در روش های سنجش از دور مبنا را در امر برآورد زیست توده ی جنگلی بیان می نماید.

واژه‌های کلیدی : زیست توده ،جنگل زدایی ، رادار روزنه ترکیبی ،ابهام

نویسنده مکاتبه کننده : نرگس السادات قیاسی
آدرس پستی :
تلفن : ۰۹۱۲۷۶۱۴۷۵۸
آدرس پست الکترونیک : nargesghiassi@yahoo.com

۱- مقدمه

جنگل به عنوان اکوسیستمی تعریف می شودکه اکثریت آن به وسیله ی درختان و سایر گیاهان چوبی با وسعت منطقه ای بیشتر از ۰.۵ هکتار با بیش از ۱۰ درصد پوشش گیاهی در برگرفته شده است و برای کشاورژی یا هرکاربری غیر جنگلی زمین مورد استفاده قرار نمی گیرد[1] . مساله ی بسیار اساسی و مهم برای بشریت این است که اکوسیستم جنگلی کنترلی بر روی آب و هوا ،جریان رودخانه ها ،خاک ،تعادل اکسیژن-دی اکسیدکربن ،تجهیزات چوبی تنوع زیستی دارد و سرویس های مختلف اکوسیستمی را فراهم می نماید[2]. اطلاعات کلیه جنگل ها تغییرات آب وهوایی و دینامیک گیاهان از نظر فنولوژی ،بازدهی محصولات وتغییرات قابلیت اشتعال را در برمی گیرد.در جنگل های گرمسیری افزایش در میزان تنفس با گرم و خشک شدن یک بازخورد مثبت را نشان می دهد.همانگونه که بوسیله ی مدل جفت شده ی کربن-آب و هواپیش بینی شده بود[3].

در حالی که برای جنگل های شمالی و معتدل ،تغییرات مهم و محدوده و گسترش جنگلی به طور بالقوه به دلیل تغییرات آب و هوایی انجام می شود[4].نمایش پیوسته ی زمانی جنگل ها می تواند گواهی بر تاثیر تغییرات آب و هوایی برروی سیستم های طبیعی باشد و همچنین می تواند به عنوان یک علامت هشدار دهنده ی تغییرات ناگهانی برای مثال تغییرات در محتوای آبی برگ قبل از آتش سوزی جنگل باشد.جنگل زدایی بر کارکرد صحیح خدمات اکوسیتمی تاثیر گذار است.و تاثیر جدی بر متدولوژی و سناریوی تغییرات آب و هوایی دارد.

فعالیت های انسانی ماند سوختن سوخت های فسیلی و تغییرات کاربری زمین شامل جنگل زدایی و آتش سوزی منجر به آزاد شدن پر حجم کربن دی اکسیدب به داخل اتمسفر می گردد[5,6].از این رو یک نیاز رو به رشد برای نمایش و مدیریت جنگل ها بویژه برای بیومس و زیست توده ی جنگلی ،ساختار جنگلی و تنوع زیستی وجود دارد. زیست توده مواد زنده ی گیاهی و حیوانی است که هر دو زیست توده بالای سطح زمین و زیر سطح زمین معمولا به عنوان وزن خشک(DW)[5] بیان می شود. زیست توده بالای سطح زمین شامل تمامی زیست توده های زنده بالای خاک از قبیل ساقه ،شاخ و برگ و کنده ی درخت است و زیست توده جنگلی به عنوان یک نشانه ی تغییرات آب و هوایی و سلامت جنگل عمل می کند[2,7].

مطالعات فراوانی بر روی ارزیابی زیست توده بر روی جنگل های شمالی و معتدل تمرکز می کند.همانگونه که در جدول ۱ ذکر شده است. تحقیقات نشان داده است که مطالعات بر روی جنگل های گرمسیری محدود است. این موضوع به خاطر این حقیقت است که جنگل های گرمسیری پیچیده و دینامیک هستند و دارای ساختار و ترکیب پیچیده ی گونه ای و شرایط زیست محیطی هستند که کار ارزیابی و مدلسازی را بسیار دشوار می سازد.سنجش از دور نوری در مطالعات زیست توده ی جنگلی موفق بوده است اما تنها در مناطق محدود جغرافیایی. در مناطق گرمسیری در نقاطی که مشکلات پوشش ابری چیره و غالب هستند این تصاویر در واقعیت کاربردی نبودند. شرایط سنجش از دوری راداری بهترین راه حل ها را در این زمینه فراهم می کند.زیرا تصاویر راداری مزایای زیادی نسبت به تصاویر نوری دارا هستند.از جمله این که در تمام شرایط آب و هوایی و در شب و روز قادر به استفاده هستند و قدرت نفوذ در ابرها ،گیاهان ،خاک خشک ،شن و ماسه و برف خشک را دارند و البته تصاویر راداری نسبت به ویژگی هایی از قبیل زبری سطح ،ویژگی های دی الکتریک ، محتوای رطوبتی و همچنین نسبت به فرکانس و پلاریزاسیون حساس است و امکان تصویر برداری از انواع مختلف انرژی پلاریزاسیون مانند(HH,VV,HV,VH) و آنالیز حجمی را دارد.

---

[1] Reducing emissions from deforestation and forest degradation
[2] sar apertura radar
[3] -polsar
[4] Interferometric
[5] dry weight

هرچند سنجش از دور راداری محدودیت هایی مانند ابهام در برآورد ،اشباع شدگی ،داده های گران قیمت ،مشکلات در پردازش تصاویر و تعامل پیچیده با مناطق جنگلی است.در این مطالعه تلاش بر این است که مرور و بازبینی کاملی بر روی تحولات و توسعه تاریخی در رابطه با سنجش از دور راداری بویژه مرتبط با سنجش از دور SAR مبنا برای محیط زیست جنگلی با تمرکز بر استخراج زیست توده ی جنگلی فراهم نماییم.

۲-سنجش از دور در ارزیابی زیست توده

تکنولوژی های مشاهداتی در حال رشد و علائق شدید عموم به محافظت و مدیریت جنگل ها نیاز و فرصتی را برای فهم و درک بهتر جنگل ها فراهم می نماید.تکنولوژی های سنجش از دوری (اخذ و آنالیز تصاویر هوایی و ماهواره ای) ،چالش های منطقی اندازه گیری پارامترهای جهانی جنگل ها را در مقیاس سطوح محلی و جهانی در وضعیت دقیق ،صحیح ،دارای قابلیت تکرار و اقتصادی ارزیابی می کند. تکنیک های سنجش از دوری برای تخمین و برآورد زیست توده قادر هستند محدودیت هایی از قبیل اندازه ی نمونه ،محدودیت زمانی و هزینه را محاسبه نمایند و این محاسبات را در محدوده ی مقیاسی معین ارزیابی کنند[8].

داده های سنجش از دوری به گونه ی موثری می توانند نمایش مختصری از مناطق عظیم را فراهم کنند و میزان سودمندی و بهره وری شیوه های قراردادی و مرسوم را افزایش دهند.[8]. روی و همکاران [9]. از تلفیق تصاویر SAR باند ایکس هوابرد وتصاویر نوری برای لایه بندی جنگل ها و مشخص کردن خصوصیات تاج پوشش گیاهی استفاده نمودند. لوکاس وهمکاران [10] از فرضیه ی تلفیق تصاویر هایپراسپکترال و لایدار جهت براورد نمودن زیست توده ی جنگل استفاده نمودند. تکنولوژی ، آنالیز زمانی را به همراه پوشش محدود سینپتیک پیشنهاد می کند که شامل شناسایی تغییرات جنگل ها در مقیاس جهانی و پارمترهای بیوفیزیکی آن ها در سطوح و مقیاس های متغیرمی گردد. بنابراین می تواند به عنوان یک ابزار در براورد زیست توده استفاده شود. بنابراین سنجش از دور با تکیه بر تکنیک های لایدار ،هایپر اسپکترال ،تصاویر نوری و مایکروویو برای برآورد زیست توده به گونه ی در حال رشدتوجه دانشمندان را به خود جلب نموده است. هرولد[11] و همکاران در سال ۲۰۰۷ تکنیک های مشتمل بر براورد زیست توده را به ۴ قسمت طبقه بندی نمودند.۱-تکنیک هایی بر مبنای نمونه برداری مخرب یا برداشت ۲-تکنیک هایی بر مبنای نمونه برداری غیر مخرب ۳-روش های بر مبنای استفاده از تصاویر هوابرد و فضابرد سنجش از دوری ۴- تکنیک های برمبنای مدلسازی (روش های تجربی و نیمه تجربی). متد نموده برداری مخرب پرکاربردترین و گسترده ترین شیوه است که برای ارزیابی زیست توده از طریق اندازه گیری های میدانی به کاربرده شده است. این روش شامل معادلات برازشی با پارامتر هایی از قبیل ارتفاع درخت ،حجم ساقه و مساحت بسل برای ارزیابی زیست توده است.رایج ترین معادلات برازشی که برای براورد ریست توده به کاربرده می شوند معادلات خطی ،درجه دوم ،نمایی و الگوریتمی است[12]. ظاهرا تکنیک های سنجش از دوری و مدل-مبنا شامل مدل های غیر مخرب هستند. متناوبا بهتر است این متد را به ۳ گروه اصلی تقسیم بندی کنیم:۱-متدهای وابسته به اندازه گیری زمینی ۲-تا قسمتی وابسته به اندازه گیری زمینی ۳-مستقل از اندازه گیری زمینی.

استفاده از تکنولوژی سنجش از دور برای براورد زیست توده ثابت نموده است که تکنیک بهتری نسبت به متد های مرسوم و سنتی تخمین زیست توده است.[6 , 13]. براورد زیست توده با استفاده از داده های نوری در سنجش از دور با مشخص کردن همبستگی میان زیست توده با پاسخ طیفی و شاخص های گیاهی که از تصاویر چند طیفی استخراج می گردند انجام می شود. لو در سال ۲۰۰۶ [6] تکنیک های براورد زیست توده را به ۳ گروه اصلی طبقه بندی نمود. (1): متدهای اندازه گیری زمینی (۲): روش های سنجش از دور مبنا (۳):روش هایی بر مبنای سیتم اطلاعات مکانی[۱۶] (GIS). سنجش از دور نوری از تکنیک های مدلسازی بر مبنای ارتباط میان زیست توده و شاخص های گیاهی برای

[6] geospatial information system

براورد زیست توده استفاده می کند ، همانگونه که تعامل میان امواج الکترومغناطیسی با شیمی و ساختار برگ برای اندازه گیری شاخص های گیاهی مانند شاخص تفاضل نرمال شده ی گیاهی[۷] (NDVI) و شاخص مساحت برگ[۸] (LAI) استفاده می کند.[14]

۳- تصاویر راداری در برآورد زیست توده

استفاده از تصاویر SAR یک روش امید بخش برای برآورد زیست توده به شمار می روند. دلیل این موضوع قابلیت این گونه تصاویر برای نفوذ در تاج پوشش گیاهی تا یک عمق معین ،حساسیت این تصاویر به محتوای آبی در گیاهان ومستقل بودن از شرایط آب و هوایی است[15,16,17,18,19] .تکنیک برازش براساس دامنه های پراکنش راداری [20,21] و تکنیک های تداخل سنجی بر پایه فازها و دامنه پراکنش امواج راداری[22] به گونه ی رایج در براورد زیست توده به کار برده می شوند.طول موج ها مانند(P,L,C,X) ،پلاریزاسیون ها مانند(HH,VV,HV,VH) ،زاویه فرود تابشی ،پوشش زمینی و مشخصات سطحی زمین مانند زبری و ضریب دی الکتریک معیارها و فاکتورهای مهم می باشند که بر ضریب پراکنش سطوح پوششی زمین تاثیرگذار می باشند.

به طور کلی رادار با طول موج بلندتر قدرت بیشتری برای نفوذ در تاج پوشش گیاهی جنگل را دارد و اطلاعات بیشتری در مورد ساختار عمودی اخذ می نماید.مطالعات پیشین نشان داده اند که داده های باند L,P نسبت به باند C دارای حساسیت بیشتری برای براورد زیست توده هستند[23,24,25]. این موضوع به این دلیل است که امواج باند C یا X که طول موج کوتاه دارند از همان ابتدا به تاج پوشش گیاهی برخورد می کنند و برای تراکم پایین زیست توده مناسب می باشند. در مقابل ، امواج با طول موج های بلند تر L,P با شاخه ها ،تنه ی درخت و پارامترهای زمینی زیر تاج پوشش گیاهی برخورد می کنند و برای تراکم نسبتا بالای زیست توده مناسب هستند[8]. اکثر مطالعات تخمین زیست توده رادار مبنا از داده های SAR باند L استفاده می کنند ،پویژه داده های باند L سنجنده ی الوس پالسار[۹] [21,26,27]. داده های باند Cتصاویر SAR به طور وسیع مورد استفاده قرار نگرفته اند. به دلیل عدم توانایی و قابلیت آن برای دست یابی به ویژگی های زیست توده ی جنگلی [15,16]. در یک منطقه مورد مطالعه با ساختارهای پیچیده ی توده جنگلی مانند جنگل های بالغ ، اشباع شدگی داده ها در داده های رادار یک مشکل به شمار می رود زمانی که مقادیر پراکنش برای براورد زیست توده مورد استفاده قرار می گیرند[28,29]. تصاویر تداخل سنجی SAR (اینسار[۲]) قادر به کاهش این مشکل هستند. اینسار تکنیکی است که در آن همدوسی (هم چسبی) داده ها در مدت افزایش زمانی کوتاه بوسیله دو ابزار شناسایی و جمع آوری می گردند. [22,25]. این روش میتواند محدوده ی اشباع شدگی را به یک نرخ معین افزایش دهند و به این طریق برآورد ارتفاع مبنای زیست توده را بهبود بخشند[30].یک نمونه ی بارز مدل آب ابر اینترفرومتریک است[31]. که درآن مقاویر کلی همدوسی یک جنگل به صورت مجموع همدوسی زمین و تاج پوشش گیاهی در نظر گرفته می شود. مطالعات پیشین نشان داده است که ترکیب مقادیر INSAR ومقادیر بازپراکنش راداری برای تخمین حجم و یا زیست توده محتمل می باشد ومقدار اشباع شدگی باند L به ۲۰۰ تن بر هکتار افزایش می یابد[30]. به دلیل همبستگی بالای میان ارتفاع تاج پوشش گیاهی و زیست توده ، قابلیت INSARدر فراهم ساختن ویژگی های ارتفاعی گیاهان ابزار نوید بخشی را برای براورد زیست توده در مقیاس بالا فراهم می نماید.این موضوع بویژه برای مناطق گرمسیری به دلیل مشکل پوشش ابری دارای اهمیت است[29]. هرچند دقت تخمین INSAR تا حد زیادی وابسته به شرایط محیطی مانند سرعت باد ،رطوبت و دماست.[32].

[7] normalizaed difference vegetation index
[8] Leaf area index
[9] ALOS PALSAR

تداخل سنجی SAR پلاریمتری[۳] (POL-INSAR) ، ترکیبی از پلاریزاسیون و تداخل سنجی یک تکنولوژی سنجش از دور راداری است که در سال های اخیر توسعه یافته است.POL-INSAR ویژگی های حساس تری از جنبه های مکانی مانند اندازه و جهت نسبت به پلاریمتری با اینترفرومتری برای انتشار و پراکنش جنگل ها فراهم می کند.توموگرافی همدوسی قطبش[۱۰] (PCT) تصاویر استریوی توده را فراهم می سازد و به طور گسترده ای برای براورد زیست توده مورد توجه محققان واقع شده است[33]. ازمایش تاثیر انتخاب کانال های قطبش و خطاهای تخمین ارتفاع درخت بر روی براورد زیست توده نشان داد که پارامترهای ویژگی که از توابع نسبی بازتابی بر مبنای تکنولوژی PCT استخراج گردیده اند به تراکم زیست توده حساس هستند[34].استفاده از نتایج توابع نسبی انعکاس می تواند دقت براورد زیست توده را بهبود بخشد.علاوه بر تکنیک های ذکر شده ی بالا استفاده از نرخ بارپراکنش [35] و اندازه گیری بافت تصاویر راداری [36,37] پتانسیل بالایی در بهبود عملکرد براورد زیست توده دارند. به طور خلاصه ،استفاده از داده های راداری برای تشخیص انواع پوشش گیاهی دشوار است[38]. به این دلیل که داده های راداری زبری سطوح پوششی زمین را به جای اختلاف میان انواع گیاهان منعکس می کند ، بدین گونه منجر به مشکلات در براورد زیست توده می گردند. نویز اسپکل در رادار یک مشکل دیگر است که بر کاربردهای آن تاثیرگذار است. روش های صحیح به کاربردن فیلتر برای کاهش نویز در داده های INSAR برای بهبود عملکرد برآورد ارتفاع گیاه مورد نیاز است[39]. به دلیل قابلیت دید استریوی تصاویر INSAR ، تخمین زیست توده با استفاده از INSAR مورد توجه افراد زیادی واقع شده است[40].داده های SAR باند P آژانس فضایی اروپا ممکن است فرصت جدیدی را برای برآورد زیست توده در مقیاس منطقه ای و حتی جهانی فراهم نماید[41]. به علاوه ، ماموریت جدید ماهواره ای ،مشابه با ماموریت دسدینل لغو شده که داده های باند L سنجنده ی پالسار و داده های چند پرتویی لایدار فراهم می ساخت ،بتواند در آینده به فضا پرتاب شود ، این داده ها ممکن است براورد زیست توده را در مقیاس جهانی و محلی بهبود بخشند[42]. جدول ۱ لیستی از فعالیت ها و تحقیقاتی را نشان می دهد که از قابلیت SAR برای براورد زیست توده و پارامترهای بیوفیزیکی جنگل استفاده نموده اند. روشی که اغلب برای براورد زیست توده با استفاده از SAR استفاده می گردد به ۲ گروه اصلی طبقه بندی می گردد: ۱-استفاده از مقادیر بازپراکنش راداری ۲-تکنیک های تداخل سنجی راداری [25].

۴-روش های اصلی برآورد زیست توده با استفاده از داده های SAR:

۴-۱-برآورد زیست توده با استفاده از پراکنش راداری

آنالیز برازشی تا بحال پرکاربردترین روش برآورده زیست توده بوده است که مقادیر بارپراکنش را به مقادیر اندازه گیری زمینی زیست توده مرتبط می نماید. این روش بر روی مناطق مختلف جنگل های مخروطی فلوریدای شمالی ومناطق لندز در فرانسه با نتایج دقیق مورد آزمایش قرار گرفته شده است[15,43]. باودوین در سال ۱۹۹۴ رابطه میان مقادیر پراکنش VV, HV با زیست توده ی تاج گیاهی مشاهده نمود ، درحالی که بازگشت موج HH مرتبط با زیست توده ی تاج گیاهان و تنه ی گیاهان است.طول موج های بلند تر L,P با پلاریزاسیون غیر همنام(HV,VH) نتایج بهتری برای مطالعات مرتبط با زیست توده نسبت به طول موج های کوتاه تر(باندC یاX)با پلاریزاسیون های همنام (HHوVV) فراهم می کند [14,43,28,45,46] .مشکل مهم با این روش سطوح اشباع شدگی طول موج ها و پلاریزاسیون های متفاوت مرتبط با چندین مطالعه است. فاکتورهایی که سطوح اشباع شدگی به آنها وابسته است طول موج ها(برای باندهای SAR متفاوت است) ،پلاریزاسیون ها(پلاریزاسیون ها ی هم نام و غیر همنام) ،ساختار توده ی گیاهی و مشخصات شرایط زمینی است[25].

[10] polarized coherence tomography

جدول ۱-تکنیک ها و روش های SAR مبنا جهت برآورد زیست توده

مطالعات انجام شده	نوع تصویر و سنجنده	مناطق مورد مطالعه	مدل مورد استفاده
سانتوس و همکاران (۲۰۰۴)	ASAR هوابرد	مناطق رودخانه ای Tapajos استان پارا ،برزیل	آنالیز پلاریمتری و تداخل سنجی و آنالیز برازشی
رائوسته و همکاران (۲۰۰۵)	Seasat-JERS-سنجنده ی هوا برد AIRSAR	مناطق منتخب در سوئد-آلمان-فینلند-افریقا	آنالیز برازشی
جیها و همکاران(۲۰۰۶)	Envisat ASAR	سلسله کوههای غربی ،کارناتاکا ،هندوستان	آنالیز برازشی
سانتارو و همکاران (۲۰۰۶)	JERS-1 SAR	کاتبل ،سوئد ،توزولا ،فینلند ،سیبری	مدل انتقال تابشی
کومار (2007)	Envisat-ASAR لندست ETM	پارک ملی دودهوئا ، هندوستان	آنالیز برازشی
امینی و سومانتیو(۲۰۰۹)	Alos avnir2-PRISM-JERS-1 SAR	جنگل های شمالی ایران	شبکه عصبی
نئومان(۲۰۰۹)	داده های pol-Insar	منطقه ی Oberpfaffenhofen آلمان	مدلسازی polInsar-RVOGشیوه ی معکوس سازی-تجزیه پلاریمتریکی مدل مبنا
کومار و همکاران(2009)	Envisat ASAR	پارک ملی دودهوئا ،هند	مدل آب و ابر تداخل سنجی(IWCM)
نیزالاپور و همکاران(۲۰۱۰)	DLR ESAR	راجپیپیلا ،گوجارات ،هندوستان	آنالیز برازشی
یو و همکاران(۲۰۱۰)	SRTM، Landsat ETM NED	ماین ، امریکا	الگوریتم زیست توده
گاما و همکاران(۲۰۱۰)	Orbitsat-1	ایالت سائوپائولو ، برزیل	آنالیز برازشی
فاتوبینبو و آرمسترانگ(۲۰۱۰)	داده های pol-Insar	جنگل های گیاهان شاه پسند نیجریه	آنالیز برازشی
آلاپات و همکاران(۲۰۱۱)	E-SAR	جنگل های چاندراپور هندوستان	آنالیز برازشی
لتوآن و همکاران(۲۰۱۱)	SAR زیست توده	مناطق ماواس ،هند-مناطق لس لندز ،فرانسه	آنالیز برازشی
هامدان و همکاران(۲۰۱۱)	ALOS_PALSAR	موسسه تحقیقاتی جنگل های برزیل	آنالیز برازشی
والرشیم(۲۰۱۱)	ALOS-PALSAR´	جنگل های تحقیقاتی پتاواوا ،آنتاریو ،کانادا	آنالیز پلاریمتریکی
انگلهارت(۲۰۱۲)	ALOS_PALSAR TERRASAR_X	کالیمانتان مرکزی ،برنئو ،اندونزی	آنالیز برازشی چندگانه ،شبکه عصبی ، برازش ماشین بردار پشتیبان
سامباتی و همکاران(۲۰۱۲)	داده های تداخل سنجی باند p,x هوابرد	مناطق پاراگومیناس ،پارا ،برزیل	آنالیز برازشی
آنتروپوو و همکاران(۲۰۱۳)	AlOS-PALSAR	فینلند مرکزی	مدل نیمه تجربی جنگل ،مدل معکوس سازی
کاریراز و همکاران(۲۰۱۳)	ALOS-PALSAR ALOS-AVNIR	افریقا-موزامبیک	مدل BAGSGB
قاسمی(۲۰۱۳)	ALOS-PALSAR ALOS-AVNIR	جنگل های معتدل برگریز	آنالیز موجک
هامه و همکاران(۲۰۱۳)	ALOS-PALSAR ALOS-AVNIR	لائو PDRو لائوس	آنالیز برازشی و شیوه ی احتمالات
پرگون و یاماگاتا(۲۰۱۳)	ALOS-PALSAR	سیبری غربی	آنالیز برازشی ، مدل ابر و آب(WCM)

سانتوس و همکارانش در سال ۲۰۰۲ کاربرد نسبت میان باندهای C,L,P را برای حل نمودن مشکل اشباع شدگی نشان دادند[47]. هوکمن و کوپینونس استفاده از ترکیب باند C,L را در جنگل های مخروطی پیشنهاد دادند[48].رانسون یک روش ترکیبی جانشینی جنگل و مدل های بازپراکنش راداری را برای تعیین زیست توده ی جنگل به کار برد و نتایج منطقی مشاهده نمود زمانی که زیست توده کمتر از ۱۵ کیلوگرم برمتر مربع بود[48].ویژگی های محیطی از قبیل توپوگرافی ،آب سطحی و ساختار جنگلی برای تخمین زیست توده با استفاده از SAR مفید می باشند که منجر به نتایج با دقت بالاتری می شوند[43].لوکاس در سال ۲۰۱۰ بر تفاوت ها میان شرایط رطوبت سطحی و ساختار گیاهان برای توسعه الگوریتم بازیابی زیست توده بالای زمین تاکید نمود و به این نتیجه رسیدکه داده های باند L سنجنده ی پالسار که در بازه ی زمانی حداقل میزان رطوبت سطحی و کمترین میزان بارش اخذ شده اند برآورد بهتری از زیست توده ی گیاهی جنگل در مناطق کویین لند استرالیا نشان داده اند.

۴-۲- برآورد زیست توده با استفاده از تداخل سنجی رادار

تکنیک اینترفرومتری به طور همزمان از ۲ یا تعداد بیشتری تصاویر SAR با استفاده از اختلاف ها در فاز موج هایی که به سنسور باز می گردند استفاده می کند. روش در برگیرنده ی اینترفرومتری پتانسیلی برای غلبه بر مشکل اشباع شدگی دارد[51]. همان گونه که یک نقطه ی اشباع شدگی نسبتا بالا را دارا می باشد.این شیوه قابلیت اعتماد و بازدهی بیشتری نسبت به روش های تک عکس مرسوم گذشته نشان داده است. در مقابل پولیانن در سال ۲۰۰۳ پیشنهاد داد که دقت این روش تا حد زیادی وابسته به فاکتورهای معینی است که شامل شرایط منطقه ای از قبیل سرعت باد ، رطوبت ،دما و غیره می باشد[52]. همچنین مشاهده گردید که دقت تخمین می تواند با استفاده از تصاویر چند زمانه ی SAR تحت شرایط مطلوب بهبود بخشیده شود. این روش نتایج نسبتا بهتری را در چندین مطالعه در مورد جنگل های شمالی کسب نموده است[51,52]. عملکرد هم فاز تصاویرSAR بین 120-80 مگاهرتز می تواند برای اندازه گیری زیست توده ی سنگین و متراکم جنگلی مورد استفاده قرار گیرد[53].

ارتفاع درختان با این تکنیک در سال ۲۰۰۴ با استفاده از تداخل سنجی باند L,X,P با دقت بهبود یافته در مقایسه با روش های بازپراکنش راداری تخمین زده شد[54]. تکنیک های اینسار می تواند با سنجش از دور نوری و هایپراسپکترال و تصاویر لایدار تلفیق گردد که در نتیجه قادر به تقویت نمودن متدهای برآورد ساختارهای عمودی به دنبال برآورد پارامترهای بیوفیزیکی و زیست توده می گردد[55].

۵-محدودیت ها و ابهامات در برآورد زیست توده با تصاویر SAR

در دهه های اخیر محققان برجسته ای در مورد موضوع ابهام در سنجش از دور ،جی ای اس ،مدل های مکانی و علوم جعرافیایی اطلاعاتی کسب نموده اند[56,57,58]. پنج منبع مهم ابهام ممکن در آنالیزهای سنجش از دوربوسیله ی دوگان[60] توصیف گردیده است که شامل ۱-ابهامات متغیر۲-ابهام پشتیبانی مکانی۳-ابهام موقعیتی۴-ابهام مدل۵-ابهام پارامتریک می شوند.واژه ی پشتیبانی به رزولوشن مکانی مربوط می شود.به علاوه این متغیرها یک رزولوشن زمانی دارند. علاوه بر منبع ابهام در آنالیز های سنجش از دوری ، تعداد زیادی نقاط ممکن برای ابهامات در ارزیابی زیست توده از طریق سنجش از دور وجود دارد.پیش نیاز کلیدی برای توسعه روش های تخمین زیست توده دسترسی به منابع داده ها با کیفیت بالاست.معادلات الومتریک برای محاسبه زیست توده بالای سطح زمین نیازمند اندازه متغیرهایی مانند قطر تنه ی درخت در ارتفاع معین[11] (DBH)و یا ارتفاع است که منبعی از ابهام هستند[61].منابع مهم ابهام در برآورد زیست توده به طور خلاصه شامل موارد زیر است.

[11] diameter breast height

۱-حالت جمع آوری داده های نمونه ی زیت توده.۲-انتخاب مناطق صحیح برای جمع آوری داده های نمونه ۳-خطای ثبت[12] میان داده های ماهواره ای و داده های نمونه برداری شده ی زیست توده ۴- تصحیحات اتمسفری۵-عدم هماهنگی میان سایز پیکسل های تصویر ماهواره ای و ابعاد پلات های نمونه برداری زمینی۶- انتخاب متغیرهای مناسب استخراج شده از تصاویر سنجش از دوری برای بدست آوردن رابطه با زیست توده ی اندازه گیری شده ی زمینی۷-الگوریتم ها و معادلات برای توسعه ی مدل های برآورد زیست توده . سطوح ابهام و ارزیابی عملکرد مدل می تواند بوسیله ی ضرایب تعیین(R^2) و خطای میانگین مربعات ریشه[13] (RMSE) تعیین شود[62].مقاویر بالای R^2 و مقادیر پایین RMSE برازش خوبی رامیان داده های نمونه برداری و مدل توسعه یافته نشان می دهد.دقت ارزیابی زیست توده با بهبود در پارامترهای مشخصی بهبود می یابد. برای مثال ارتفاع تاج پوشش گیاهی می تواند با دقت بیشتری با استفاده از تکنولوژی لیزر یا لایدار محاسبه شود. زولکوس در سال ۲۰۱۳[63] ثابت نمود که مدل زیست توده ای که با استفاده از مدل هوابرد تولید می شوددقت بالاتری نسبت به مقادیر زیست توده ای دارد که با استفاده از داده های نوری مجهول یا رادار محاسبه می گردد.

این موضوع به ارتباط قوی میان سیتم های لایدار و سطوح زیست توده ی فراتر از ۱۰۰۰ تن برهکتار مربوط می شود که به طور قابل توجهی از سطوح نرمان اشباع شدگی سنجنده های نوری و راداری تجاوز می کند[64]. مجموع داده های راداری و نوری قادر هستند سطوح اشباع شدگی داده های را در تصاویر سنجنده های نوری کاهش دهند.توسعه ی مدل های پیشرفته با استفاده از داده های چند منبع برای کاهش ابهامات بسیار ضروری و اساسی می باشد. متدهای جمع بندی داده ها ،توسعه ی مدل های بهبود یافته ،انتخاب بهتر کمیت ها و متغیرها نقاط عطف برای پژوهش های آینده برای بهبود تکنولوژی حال حاضر برای کاهش ابهامات تخمین زیست توده با استفاده از داده های راداری است. اینترفرومتری و پلاریمتری ۲ تکنیک های رادار مبنا هستند که نیازمند کشف و جست و جوی بیشتر در زمینه ی مطالعات زیست توده می باشند.

۶- نتیجه گیری

برآورد زیست توده در جنگل های گرمسیری برای اجرا به دلیل پویایی بالای این مناطق مانند شرایط دست یابی طاقت فرسا بسیا دشوار می باشد.اگر چه کاربرد داده های چند سنجنده ای و چند رزولوشنی پتانسیل بالا برای بهبود عملکرد تخمین زیست توده رادارند ،زمان و کار زیاد برای پردازش تصاویر به گونه ی قابل توجهی افزایش یافته است. معیار های اقتصادی یک جنبه ی مهم در استفاده از داده های چند منبع سنجش از دورمبنا در مناطق وسیع به شمار می اید. الارغم این محدودیت ها ،تصاویر SAR یک ابزار کارآمد برای ارزیابی زیست توده فراهم می سازد. وجود این ابزار قادر است بر مخدودیت های مهم سنجش از دوری در برآورد زیست توده غلبه نماید.طول موج های بلند و پلاریزاسیون های غیر هم نام دارای حساسیت بیشتری نسبت به زیست توده هستند. آنالیزهای بافتی همراه با بازپراکنش ،تداخل سنجی و آنالیزهای پلاریمتری SAR دقت برآورد زیست توده را بهبود می بخشند. آنالیز برازشی موثرترین و رایج ترین و آسان ترین تکنیک برای برآورد زیست توده باقی مانده است. روش های مدل مبنا با استفاده از مدل های نیمه تجربی شامل مدل های انتقال تابشی ، مدل آب ابر(WCM) و IWCM برای برآورد زیست توده با استفاده از تصاویر SAR به کار برده می شوند. با وجود اینکه لایدار به عنوان مناسب ترین سنجنده برای ارزیابی ریست توده عمل می کند ، تلفیق استفاده از تصاویر راداری و نوری به دلیل دسترسی آسان ،هزینه ی کمتر و زمان پردازش انتخاب واضح و ارجحی می باشند. ترکیبی از تصاویر نوری چند زمانه ،تصاویر مایکروویو(SAR,INSAR,POLINSAR) و داده های لایدار به طور بالقوه می توانند بهترین تلفیق در سنجش از دور به همراه کاربرد روش های مدل مبنا(نیمه تجربی) برای براورد زیست توده

[12] registration
[13] root-mean-squared error

باشند. به طور کلی بایستی اشاره شود که زیست توده ی بالای سطح زمین می تواند با استفاده از مقادیر شدت بازپراکنش راداری و تکنیک های پلاریمتری و تداخل سنجی با دقت بالا برآورد گردد.

مراجع

[1] FAO (2001) Global forest resources assessment 2000—main report. FAO Forestry Paper 140, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp 363

[2] Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K et al (2007) Forestry. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds) Climate change 2007: mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press

[3] Field CB, Buitenhuis ET, Ciais P et al (2007) Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. Proc Nat Acad Sci USA (PNAS) 104:18866–18870

[4] Loehle C (2000) Forest ecotone response to climate change: sensitivity to temperature response functional forms. Can J For Res 30:1632–1645

[5] Malhi YP (2002) Forests, carbon and global climate. Phil Trans R Soc Lond A 360:1567–1591

[6] Lu, D. 2006. "The Potential and Challenge of Remote Sensing-based Biomass Estimation." International Journal of Remote Sensing 27 (7): 1297–1328. doi:10.1080/01431160500486732

[7] Kumar P, Sharma LK, Pandey PC, Sinha S, Nathawat MS (2013) Geospatial strategy for tropical forest-wildlife reserve biomass estimation. IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens 6(2):917–923. doi:10.1109/JSTARS.2012.2221123.

[8] Patenaude GM, Milne R, Dawson TP (2005) Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation: reporting to the Kyoto Protocol. Environ Sci Policy 8:161–178.

[9] Roy PS, Diwakar PG, Singh IJ, Bhan SK (1994) Evaluation of microwave remote sensing data for forest stratification and canopy characterization. J Indian Soc Remote Sens 22(1):31–44.

[10] Lucas RM, Lee AC, Bunting PJ (2008) Retrieving forest biomass through integration of CASI and LiDAR data. Int J Remote Sens 29(5):1553–1577.

[11] Herold M, Brady M, Wulder M, Kalensky D (2007) Biomass ECV report. ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0197e/i0197e16.pd.

[12] Husch B, Beers TW, Kershaw JA (2003) Forest mensuration, 4th edn. Wiley, New Jersey.

[13] Lu, D. 2005. "Aboveground Biomass Estimation Using Landsat TM Data in the Brazilian Amazon." International Journal of Remote Sensing 26: 2509–2525. doi:10.1080/014311605001 42145.

[14] Kumar, P., L. K. Sharma, P. C. Pandey, S. Sinha, and M. S. Nathawat. 2013. "Geospatial Strategy for Tropical Forest-wildlife Reserve Biomass Estimation." IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 6 (2): 917–923. doi:10.1109/JSTARS.2012. 2221123.

[15] Le Toan, T., A. Beaudoin, and D. Guyon. 1992. "Relating Forest Biomass to SAR Data." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 30 (2): 403–411. doi:10.1109/36.134089.

[16] Le Toan, T., S. Quegan, M. W. J. Davidson, H. Balzter, P. Paillou, K. Papathanassiou, S. Plummer, et al. 2011. "The BIOMASS Mission: Mapping Global Forest Biomass to Better Understand the Terrestrial Carbon Cycle." Remote Sensing of Environment 115 (11): 2850–2860. doi:10.1016/j. rse.2011.03.020.

[17] Dobson MC, Ulaby FT, Le Toan T et al (1992) Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass. IEEE Trans Geosci Remote Sens 30:412–416.

[18] Kasischke ES, Melack JM, Dobson MC (1997) The use of imaging radars for ecological applications—a review. Remote Sens Environ 59:141–156.

[19] Huang, Y. P., and J. S. Chen. 2013. "Advances in the Estimation of Forest Biomass Based on SAR Data." Remote Sensing for Land and Resources 25: 7–13.

[20] Sandberg, G., L. M. H. Ulander, J. E. S. Fransson, J. Holmgren, and T. Le Toan. 2011. "L- and P-band Backscatter Intensity for Biomass Retrieval in Hemiboreal Forest." Remote Sensing of Environment 115 (11): 2874–2886. doi:10.1016/j.rse.2010.03.018.

[21] Rahman, M. M., and J. T. S. Sumantyo. 2013. "Retrieval of Tropical Forest Biomass Information from ALOS PALSAR Data." Geocarto International 28 (5): 382–403. doi:10.1080/10106049.2012.710652.

[22] Balzter, H., C. S. Rowland, and P. Saich. 2007. "Forest Canopy Height and Carbon Estimation at Monks Wood National Nature Reserve, UK, Using Dual-wavelength SAR Interferometry." Remote Sensing of Environment 108: 224–239. doi:10.1016/j.rse.2006.11.014.

[23] Saatchi, S. S., and M. Moghaddam. 2000. "Estimation of Crown and Stem Water Content and Biomass of Boreal Forest Using Polarimetric SAR Imagery." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 38: 697–709.

[24] Sun, G., K. J. Ranson, and V. I. Kharuk. 2002. "Radiometric Slope Correction for Forest Biomass Estimation from SAR Data in the Western Sayani Mountains, Siberia." Remote Sensing of Environment 79 (2–3): 279–287. doi:10.1016/S0034-4257(01)00279-6.

[25] Nafiseh, G., S. M. Reza, and M. Ali. 2011. "A Review on Biomass Estimation Methods Using Synthetic Aperture Radar Data." International Journal of Geomatics and Geosciences 1: 776–788.

[26] Mitchard, E. T. A., S. S. Saatchi, S. L. Lewis, T. R. Feldpausch, I. H. Woodhouse, B. Sonké, C. Rowland, and P. Meir. 2011. "Measuring Biomass Changes Due to Woody Encroachment and Deforestation/degradation in a Forest–savanna Boundary Region of Central Africa Using Multi- temporal L-band Radar Backscatter." Remote Sensing of Environment 115 (11): 2861–2873. doi:10.1016/j.rse.2010.02.022.

[27] Carreiras, J. M. B., M. J. Vasconcelos, and R. M. Lucas. 2012. "Understanding the Relationship between Aboveground Biomass and ALOS PALSAR Data in the Forests of Guinea-Bissau (West Africa)." Remote Sensing of Environment 121: 426–442. doi:10.1016/j.rse.2012.02.012.

[28] Lucas, R. M., A. L. Mitchell, A. Rosenqvist, C. Proisy, A. Melius, and C. Ticehurst. 2007. "The Potential of L-band SAR for Quantifying Mangrove Characteristics and Change: Case Studies from the Tropics." Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 17: 245–264.

[29] Solberg, S., R. Astrup, T. Gobakken, E. Naesset, and D. J. Weydahl. 2010. "Estimating Spruce and Pine Biomass with Interferometric X-Band SAR." Remote Sensing of Environment 114 (10): 2353–2360. doi:10.1016/j.rse.2010.05.011.

[30] Saatchi, S., M. Marlier, R. L. Chazdon, D. B. Clark, and A. E. Russell. 2011a. "Impact of Spatial Variability of Tropical Forest Structure on Radar Estimation of Aboveground Biomass." Remote Sensing of Environment 115 (11): 2836–2849. doi:10.1016/j.rse.2010.07.015.

[31] Askne, J., and M. Santoro. 2005. "Multitemporal Repeat Pass SAR Interferometry of Boreal Forests." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 43 (6): 1219–1228. doi:10.1109/TGRS.2005.846878.

[32] Pulliainen, J., M. Engdahl, and M. Hallikainen. 2003. "Feasibility of Multi-temporal Interferometric SAR Data for Stand-level Estimation of Boreal Forest Stem Volume." Remote Sensing of Environment 85 (4): 397–409. doi:10.1016/S0034-4257(03)00016-6.

[33] Cloude, S. R. 2006. "Polarization Coherence Tomography." Radio Science 41: RS4017.

[34] Lu, D., G. Li, E. Moran, L. Dutra, and M. Batistella. 2011. "A Comparison of Multisensor Integration Methods for Land Cover Classification in the Brazilian Amazon." GIScience & Remote Sensing 48 (3): 345–370. doi:10.2747/1548-1603.48.3.345

[35] Foody, G. M., R. M. Green, R. M. Lucas, P. J. Curran, M. Honzak, and I. Do Amaral. 1997. "Observations on the Relationship between SIR-C Radar Backscatter and the Biomass of Regenerating Tropical Forests." International Journal of Remote Sensing 18: 687–694. doi:10.1080/014311697219024.

[36] Kuplich, T. M., P. J. Curran, and P. M. Atkinson. 2005. "Relating SAR Image Texture to the Biomass of Regenerating Tropical Forests." International Journal of Remote Sensing 26 (21): 4829–4854. doi:10.1080/01431160500239107.

[37] DeGrandi, G. D., R. M. Lucas, and J. Kropacek. 2009. "Analysis by Wavelet Frames of Spatial Statistics in SAR Data for Characterizing Structural Properties of Forests." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47: 494–507. doi:10.1109/TGRS.2008.2006183.

[38] Li, D., C. Wang, Y. Hu, and S. Liu. 2012a. "General Review on Remote Sensing-based Estimation." Geomatics and Information Science of Wuhan University 37: 631–635.

[39] Kellndorfer, J., W. Walker, L. Pierce, C. Dobson, J. A. Fites, C. Hunsaker, J. Vona, and M. Clutter. 2004. "Vegetation Height Estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets." Remote Sensing of Environment 93 (3): 339–358. doi:10.1016/j.rse.2004. 07.017.

[40] Solberg, S., E. Næsset, T. Gobakken, and O. Bollandsås. 2014. "Forest Biomass Change Estimated from Height Change in Interferometric SAR Height Models." Carbon Balance and Management 9: 5. doi:10.1186/s13021-014-0005-2.

[41] Hélière, F., F. Fois, C. Lin, K. Scipal, M. Arcioni, P. Bensi, M. Davidson, P. Silvestrin, M. R. Drinkwater, and R. Meynart. 2013. "Biomass: New Mission Selected as the 7th ESA Earth Explorer Mission." In Towards Horizon 2020, edited by R. Lasaponara, N. Masini, and M. Biscione, 89–98. EARSeL.

[42] Hall, F. G., K. Bergen, J. B. Blair, R. Dubayah, R. Houghton, G. Hurtt, J. Kellndorfer, et al. 2011. "Characterizing 3D Vegetation Structure from Space: Mission Requirements." Remote Sensing of Environment 115: 2753–2775. doi:10.1016/j.rse.2011.01.024.

[43] Dobson MC, Ulaby FT, Le Toan T et al (1992) Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass. IEEE Trans Geosci Remote Sens 30:412–416

[44] Beaudoin A, Le Toan T, Goze S et al (1994) Retrieval of forest biomass from SAR data. Int J Remote Sens 15:2777–2796

[45] Wollersheim M, Collins MJ, Leckie D (2011) Estimating boreal forest species type with airborne polarimetric synthetic aperture radar. Int J Remote Sens 32(9):2481–2505

[46] Hamdan O, Aziz HK, Rahman KA (2011) Remotely sensed L-band SAR data for tropical forest biomass estimation. J Trop For Sci 23(3):318–327.

[47] Santos JR, Pardi Lacruz MS, Araujo LS, Keil M (2002) Savanna and tropical rainforest biomass estimation and spatialization using JERS-1 data. Int J Remote Sens 23:1217–1229.

[48] Ranson KJ, Sun G, Weishampel JF, Knox RG (1997) Forest biomass from combined ecosystem and radar backscatter modeling. Remote Sens Environ 59:118–133.

[49] Austin JM, Mackey BG, van Niel KP (2003) Estimating forest biomass using satellite radar: an exploratory study in a temperate Australian Eucalyptus forest. For Ecol Manag 176:575–583.

[50] LucasRM,ArmstonJ,FairfaxRetal(2010)AnevaluationoftheALOS PALSAR L-band backscatter—above ground biomass relation- ship Queensland, Australia: impacts of surface moisture condition and vegetation structure. IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens 3(4):576–593. doi:10.1109/JSTARS.2010.2086436.

[51] Fransson JES, Smith G, Askne J, Olsson H (2001) Stem volume estimation in boreal forests using ERS-1/2 coherence and SPOT XS optical data. Int J Remote Sens 22(14):2777–2791.

[52] Pulliainen JT, Engdahl M, Hallikainen M (2003) Feasibility of multi- temporal interferometric SAR data for stand-level estimation of boreal forest stem volume. Remote Sens Environ 85:397–409

[53] Imhoff ML, Johnson P, Holford W et al (2000) BioSar (TM): an inexpensive airborne VHF multiband SAR system for vegetation biomass measurement. IEEE Trans Geosci Remote Sens 38(3):1458–1462.

[54] Mette T, Papathanassiou K, Hajnsek I (2004) Biomass estimation from polarimetric SAR interferometry over heterogeneous forest terrain. In: Geoscience and remote sensing symposium (IGARSS), 2004 IEEE International. Anchorage, AK. IEEE IGARSS 1:511–514.

[55] Treuhaft RN, Asner GP, Law BE (2003) Structure-based forest biomass from fusion of radar and hyperspectral observations. Geophys Res Lett 30(9):1472. doi:10.1029/2002GL016857.

[56] Sinha S, Sharma LK, Nathawat MS (2012) Tigers losing grounds: impact of anthropogenic occupancy on tiger habitat suitability using integrated geospatial-fuzzy techniques. The Ecoscan 1:259–263.

[57] Liang J, Zeng GM, Shen S et al. (2013) Bayesian approach to quantify parameter uncertainty and impacts on predictive flow and mass transport in heterogeneous aquifer. Int J Environ Sci Technol. doi:10.1007/s13762-013-0453-3

[58] Shen Z, Xie H, Chen L, Qiu J, Zhong Y (2015) Uncertainty analysis for nonpoint source pollution modeling: implications for watershed models. Int J Environ Sci Technol 12:739–746

[59] Dungan JL (2002) Toward a comprehensive view of uncertainty in remote sensing analysis. In: Foody GM, Atkinson PM (eds) Uncertainty in Remote Sensing and GIS. Wiley, West Sussex, pp 25–35.

[60] Keller M, Palace M, Hurtt G (2001) Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. For Ecol Manage 154:371–382.

[61] Deepika B, Avinash K, Jayappa KS (2014) Shoreline change rate estimation and its forecast: remote sensing, geographical infor- mation system and statistics-based approach. Int J Environ Sci Technol 11(2):395–416.

[62] Zolkos SG, Goetz SJ, Dubayah R (2013) A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. Remote Sens Environ 128:289–298.

[63] Yavasli DD (2012) Recent approaches in above ground biomass estimation methods. Aegean Geographical Journal 21(1):39–51