مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل»
سال چهارم، شماره۲، تابستان ۱۳۹۲؛ ص ۱۴۴- ۱۳۷

تأثیر پارامترهای محیطی در تخمین ارتفاع درختان به روش تداخل‌سنجی پلاریمتری راداری با روزنه مصنوعی

شهرام شریفی هشجین[۱]، صفا خزائی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری و ۲- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

(دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۴، پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۲۵)

چکیده

تداخل‌سنجی پلاریمتری رادار با روزنه مصنوعی (PolInSAR) یک روش تداخل‌سنجی راداری است که امکان استفاده از اطلاعات کانال‌های مختلف پلاریزاسیون را به منظور بررسی ساختار و لایه‌های عمودی پراکنشگرها فراهم می‌نماید. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این روش، تخمین ارتفاع درختان است که در حوزه‌های جنگلداری و پدافند غیرعامل از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از مسائل اساسی در روش‌های تداخل‌سنجی پلاریمتری راداری برای تخمین ارتفاع درختان، بررسی نقش و تأثیر پارامترهای محیطی از قبیل رطوبت، شیب، گونه و زبری سطح است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر این گونه عوامل محیطی بر روی تخمین ارتفاع درختان با استفاده از انجام آزمایش‌های متعدد می‌باشد. در این بررسی، از مدل معروف پراکنش حجمی بی‌نظم بر روی سطح (RVOG) به منظور تخمین ارتفاع درختان در شرایط گوناگون استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، پارامترهای زبری و رطوبت به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تأثیر در دقت تخمین ارتفاع درختان می‌باشند.

کلید واژه‌ها: سنجش از دور، تخمین ارتفاع درختان، تداخل‌سنجی پلاریمتری راداری.

Impact of the Environmental Parameters on Tree Height Estimation Using Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar Techniques

Sh. Sharifi Hashjin, S. Khazaei*
Imam Hossein University

(Received: 13/04/2013; Accepted: 16/07/2013)

Abstract

Polarimetric Interferometric Synthetic Aperture Radar (PolInSAR) is a Radar polarimetric technique that provides the ability to use the information of different polarization channels to investigate the structure and perpendicular layers of scatters. Estimating the height of trees is one of the significant applications of PolInSAR which has high importance in the forestry and passive defense fields. One of the major problems to estimate the tree height using PolInSAR is evaluating the impact of environmental factors such as humidity, slope, surface roughness and species. The goal of this study is to conduct several experiments for investigating the impact of such environmental factors on tree height estimation. In this study, the height of trees is estimated in different scenarios using the well-known Random Volume above Ground (RVOG) model. Based on the results obtained in this study, the roughness and humidity parameters have, respectively, the maximum and minimum impact on the accuracy of estimating the height of trees.

Keywords: Remote Sensing, Polarimetric Interferometric Synthetic Aperture Radar (PolInSAR), Tree Height Estimation.

*Corresponding Author E-Mail: skhazai@ihu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، روش تصویربرداری پلاریمتری راداری کاربردهای فراوانی را در حوزه‌های مختلف از قبیل زمین‌شناسی، هواشناسی، کشاورزی و جنگل‌داری فراهم نموده است [۱]. یکی از مهمترین کاربردهای این روش سنجش از دور در حوزه جنگل‌داری، تخمین ارتفاع درختان می‌باشد. درختان علاوه بر داشتن نقش حیاتی در چرخه کربن کره زمین، اهمیت بالایی در حوزه‌های کاربردی مدیریت بلایای طبیعی به‌ویژه کاهش خسارات سیل، فرسایش خاک، آلودگی هوا و رانش زمین دارند [۲]. از سویی دیگر، بدیهی است توصیف و تحلیلی مناسب از وضعیت درختان در مقیاس محلی و ناحیه‌ای به‌طور قابل توجهی سبب کاهش ابهام در شناخت منطقه به‌منظور انجام صحیح طرح‌ریزی عملیات‌های نظامی می‌شود. همچنین تخمین ارتفاع درختان از دیدگاه پدافند غیرعامل دارای اهمیت قابل توجهی است. به این دلیل که آگاهی از میزان ارتفاع (متوسط) درختان در مناطق عملیاتی، عاملی تعیین کننده در برآورد میزان استتار و اختفاء طبیعی نیروها و تجهیزات در هنگام اسکان (موقت) و نیز حرکت و جابه‌جایی آنها است. این موضوع در مکان‌یابی برای اسکان نیروها و نیز در مسیریابی مناسب برای حرکت نیروها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین، یافتن روشی برای تخمین سریع و دقیق ارتفاع درختان بسیار ضروری است.

روش مرسوم در تعیین ارتفاع درختان، روش زمینی (میدانی) است که روش هزینه‌بر، زمان‌بر و با ریسک بالا بوده و معمولاً تنها برای مناطق با وسعت کم قابل استفاده است. بر این اساس، امروزه استفاده از داده‌های سنجش از دور یکی از مهمترین منابع داده برای تخمین ارتفاع درختان محسوب می‌شوند. یکی از روش‌های نوین تخمین ارتفاع درختان در تحقیقات اخیر سنجش از دور، استفاده از روش تداخل‌سنجی پلاریمتری راداری است. طی یک دهه اخیر روش‌های مختلفی برای تعیین ارتفاع درختان جنگل با استفاده از روش تداخل‌سنجی پلاریمتری راداری (PolInSAR[1]) ارائه شده است. با گسترش روش‌های به‌کارگیری پلاریزاسیون در تداخل سنجی راداری [۳] مشاهده می‌شود که بااختلاف فاز بین اینترفروگرام‌ها[2] (تداخل نما) در کانال‌های مختلف پلاریزاسیون منجر به تعیین ارتفاع پوشش گیاهی می‌شود [۴]. لازم به ذکر است که یک اینترفروگرام در واقع اختلاف فاز دو تصویر است.

بر اساس تحقیقات انجام شده [۵ و ۶]، استفاده از مدل پراکنش حجمی بی‌نظم از روی سطح (RVOG)[3] [۵ و ۷] در روش PolInSAR باعث محاسبه هرچه بهتر ارتفاع پوشش گیاهی می‌شود. در استفاده از مدل RVOG تنها پارامتر محیطی که مورد بررسی قرار می‌گیرد و وارد محاسبات می‌شود، تراکم پوشش گیاهی است که در قالب ضریب میرایی موج به‌کار گرفته می‌شود. در اکثر موارد نسبت سیگنال به نویز یک در نظر گرفته می‌شود و یا مقدار ناهمبستگی‌های زمانی صفر در نظر گرفته می‌شود [۶].

طی سال‌های اخیر مطالعات بسیاری از محققین بدون توجه به تأثیر عوامل محیطی روی نتایج، با استفاده از مدل RVOG صورت گرفته است [۱۴- ۸]. به‌عنوان مثال مرکر و همکاران در مطالعات سال ۲۰۱۰ یکی از دلایل عدم قطعیت نتایج خود را عدم اطلاع دقیق از گونه درختان و تأثیر آن بر روی مشاهدات معرفی می‌نمایند [۲]. نئومن و همکاران در سال ۲۰۱۲ یکی از محدودیت‌های مطالعه خود را پارامتر شیب و تأثیر آن بر روی زاویه برخورد و در نهایت تأثیر بر روی نتایج معرفی می‌نمایند [۱۵]. بنابراین مسئله مهم، عدم توجه به تأثیر پارامترهای محیطی از قبیل شیب، رطوبت، گونه و زبری سطح در مطالعات محققان است. تغییر در هر یک از این موارد به‌تنهایی موجب تغییر در محاسبه ارتفاع نهایی می‌شود و عدم توجه به این مسئله، باعث بروز خطاهایی می‌شود که مورد توجه قرار نگرفته است. از این رو تحقیق حاضر به‌دنبال روشی برای حل این مسئله است. ایده‌ای که در این پژوهش ارائه می‌شود، بررسی تأثیر این پارامترها می‌باشد، به‌نحوی که شدت و مقدار تأثیر هر یک از آنها در نتیجه نهایی به‌طور دقیق و به‌صورت ضرایب مربوط مشخص شود تا بتوان از آنها در مطالعات مشابه استفاده نمود. به‌طوری که هرمنطقه مورد مطالعه بر اساس رطوبت خاک، شیب در راستای آزیموت، دامنه و یا هردو، گونه درختان و زبری سطح به چند ناحیه تقسیم شود و برای هر ناحیه، بسته به تأثیری که پارامتر محیطی در آن دارد، یک ضریب اعمال شود تا به این ترتیب دقت کار افزایش یابد.

در ادامه در بخش ۲ تئوری تکنیک PolInSAR و نحوه به کارگیری این تکنیک در مطالعات پوشش گیاهی به طور اجمال ارائه می شود. سپس در بخش ۳، مدل RVOG و نحوه استخراج ارتفاع از این مدل تشریح می شود. در بخش ۴ نیز تأثیر پارامترهای مجیطی بر روی استخراج ارتفاع درختان از یک جفت تصویر پلاریمتری هوایی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سرانجام در بخش پایانی (۵)، بحث و نتیجه گیری نهایی در مورد پردازشهای انجام شده ارائه می شود.

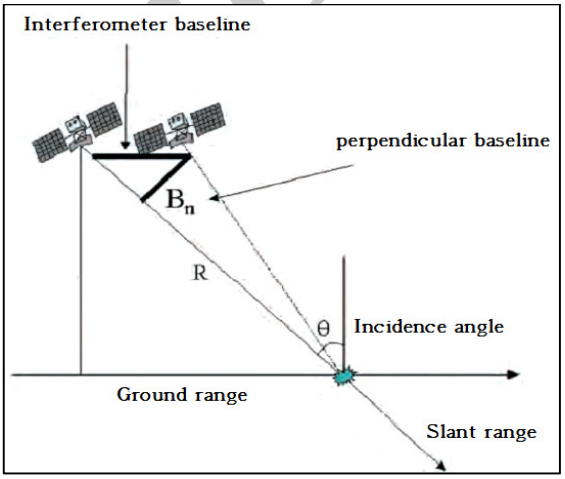
۲. تداخل‌سنجی پلاریمتری راداری

اولین بار روش تداخل‌سنجی رادار با روزنه مصنوعی (InSAR) به‌منظور اندازه‌گیری و برآورد توپوگرافی سطح زمین بنا نهاده شد [۱۶ و ۱۷]. در این روش لازم است تصاویر اخذ شده در دو جهت مخالف از یک منطقه نسبت به‌هم تطبیق[4] داده شوند و جهت افزایش همدوسی[5] در مناطق دارای پراکنشگرهای پراکنده، ابتدا باید حذف نویز و اصلاح اختلالات طیفی صورت گیرد [۱۸]. تداخل سنجی پلاریمتری رادار با روزنه مصنوعی (PolInSAR) [۴] در واقع یک روش InSAR است که امکان استفاده از اطلاعات کانال‌های

[1] Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar
[2] Interferogram
[3] Random Volume Over Ground
[4] Co-Register
[5] Coherent

Archive of SID
www.SID.ir

مختلف پلاریزاسیون را به‌منظور بررسی ساختار و لایه‌های عمودی پراکنشگرها فراهم می‌نماید. منظور از پلاریزاسیون، جهت و توجیه میدان الکترومغناطیس است. در سیستم‌های پلاریمتری راداری با ارسال و دریافت امواج در پلاریزاسیونهای افقی (H) و عمودی (V) چهار ترکیب مختلف HH، HV، VH و VV به‌دست می‌آید. در دهه اخیر، روش PolInSAR به‌طور گسترده در ماهواره‌های راداری (از قبیل TerraSAR-X، RADARSAT-2 و CSOMO-SkyMed) و نیز سیستم‌های هوابرد راداری نظیر مورد استفاده قرار گرفته است. هندسه تصویربرداری جهت ایجاد یک اینترفروگرام در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۹]. همان‌طور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، برای تهیه اینترفروگرام دو تصویر از دو موقعیت متفاوت با خط مبنای[1] معلوم از یکدیگر از یک منطقه، مورد نیاز است تا از یک یک هدف مشخص در فاصله R با زاویه برخورد θ دو داده مختلط تهیه شود.



شکل ۱. هندسه سیستم تداخل‌سنجی راداری SAR [۱۹]

وقتی یک موج پلاریزه به یک هدف برخورد می‌کند، پس‌پراکنش صورت می‌گیرد. بنابراین، با ثبت اطلاعات هدف در چهار کانال پلاریزه، می‌توان خواص پس پراکنش هر هدف را توسط ماتریس پراکنش S به‌صورت رابطه (۱) بیان نمود [۲۰]:

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در واقع، ماتریس پراکنش S که المان‌های آن را اعداد مختلط تشکیل می‌دهند، حاوی اطلاعات دامنه و فاز چهار کانال پلاریزاسیون می‌باشد. در حالت مونواستاتیک[2] (منطبق بودن آنتن‌های فرستنده و گیرنده) شرط تقابل[3] برای اکثر اهداف حفظ می‌شود. این خاصیت بدین معنی است که $S_{HV} = S_{VH}$ و به‌عبارت دیگر ماتریس پراکنش متقارن خواهد بود. به این ترتیب اطلاعات پلاریمتری موجود در دو تصویر S1 و S2 را می‌توان در قالب بردارهای پراکنش پایه پائولی[4] به‌صورت رابطه (۲) نمایش داد [۱۴].

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}[S_{1HH} + S_{1VV} \quad S_{1HH} - S_{1VV} \quad 2S_{1HV}]$$
$$K_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}[S_{2HH} + S_{2VV} \quad S_{2HH} - S_{2VV} \quad 2S_{2HV}] \quad (۲)$$

با استفاده از بردارهای ترانهاده مختلط مزدوج K_1^+ و K_2^+، می‌توان ماتریس‌های همدوسی $T_{11} = K_1.K_1^+$ و $T_{22} = K_2.K_2^+$ را که شامل اطلاعات پلاریمتری و ماتریس $\Omega_{12} = K_1.K_2^+$ را که علاوه بر اطلاعات پلاریمتری شامل داده‌های فاز تداخل‌سنجی بین کانال‌های متفاوت پلاریزاسیون دو تصویر می باشد، محاسبه نمود. با این کار می‌توان اینترفروگرام همدوسی نرمالیزه شده γ را برای هر دوکانال اختیاری $\underline{w}_1$ و $\underline{w}_2$ با استفاده از رابطه (۳) ایجاد نمود [۱۴].

$$\gamma\left(\underline{w}_1, \underline{w}_2\right) = \frac{\underline{w}_1^{*T}\Omega_{12}\underline{w}_2}{\sqrt{\underline{w}_1^{*T}T_{11}\underline{w}_1}.\sqrt{\underline{w}_2^{*T}T_{22}\underline{w}_2}} \quad (۳)$$
$$0 < \gamma < 1$$

در واقع بر طبق رابطه بالا، مقدار همدوسی نرمالیزه شده γ از مؤلفه‌های ماتریس همدوسی پلاریمتری هرمیتی[5] T_{11} و T_{22} و ماتریس دورن- همدوسی پلاریمتری غیر هرمیتی Ω_{12} محاسبه می‌شود. بر اساس رابطه (۳) مراکز فاز و مقادیر همدوسی برای حالت‌های مختلف پلاریزاسیون قابل محاسبه و برآورد است. بدیهی است هر چه مقدار همدوسی (γ) بیشتر باشد اطلاعات استخراجی از تداخل‌سنجی پلاریمتری دو تصویر دقیق‌تر خواهد بود. مقدار صفر برای همدوسی در یک نقطه نشانه عدم همبستگی فاز (نویز) و مقدار یک دلالت بر همدوسی کامل فاز (بدون نویز) در آن نقطه مشترک بین دو تصویر است. دسترسی به همدوسی بالا در مناطق جنگلی با توجه به پراکندگی پراکنشگرها از اهمیت بالایی برخوردار است که این مهم از طریق اعمال شرط $\underline{w}_2$=$\underline{w}_1$ در انتخاب کانال پلاریزاسیون و انتخاب کانال متناسب با کاربرد آن، محقق می‌شود. به‌عنوان مثال برای تولید اینترفروگرام با همدوسی بالا جهت استخراج اطلاعات روی پوشش گیاهی بهتر است از کانال HV برای $\underline{w}_1$ و $\underline{w}_2$ استفاده شود.

۳. تخمین ارتفاع پوشش گیاهی از طریق مدل RVOG

تخمین ارتفاع پوشش گیاهی به‌وسیله روش PolInSAR تحت روش‌های متنوعی قابل حل است [۵ و ۶]. یکی از پرکاربردترین روش‌ها در این زمینه استفاده از مدل RVOG می‌باشد. در این روش بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی، مدل نهایی به‌صورت رابطه (۴) مورد استفاده قرار گیرد [۶].

$$\tilde{\gamma}(\underline{w}) = e^{i\phi}\frac{\tilde{\gamma}_v + \mu(\underline{w})}{1+\mu(\underline{w})} =$$
$$e^{i\phi}\left[\tilde{\gamma}_v + \frac{\mu(\underline{w})}{1+\mu(\underline{w})}(1-\tilde{\gamma}_v)\right] \quad (۴)$$

در این رابطه μ مقدار نسبت پراکنش از سطح به حجم است که در واقع مؤلفه ارتفاع در این قسمت قرار دارد. همچنین ϕ فاز مربوط به سطح می‌باشد. w کانال پلاریزاسیون انتخابی جهت تشکیل

[1] Baseline
[2] Monostatic
[3] Reciprocity Condition
[4] Pauli
[5] Hermitian

Archive
www.SID.ir

اینترفروگرام است و $\tilde{\gamma}$ نیز مقدار فاز و همدوسی[1] اینترفروگرام می‌باشد. استفاده از مدل RVOG نیازمند حل رابطه (۱) طبق معادله زیر می‌باشد. اگر مدل پراکنش در قالب M، پارامترهای مجهول با حرف P و مجموعه مشاهدات با حرف O نمایش داده شود آنگاه می‌توان به‌وسیله حل رابطه (۵)، مقدار ارتفاع پوشش گیاهی را برآورد نمود [۶].

$$\underline{P} = M^{-1}\,\underline{O}\ ,\quad \underline{P} = \begin{pmatrix} \emptyset_0 \\ h_v \\ \sigma \\ \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \end{pmatrix},\quad \underline{O} = \begin{pmatrix} \tilde{\gamma}_1 \\ \tilde{\gamma}_2 \\ \tilde{\gamma}_3 \end{pmatrix} \qquad (۵)$$

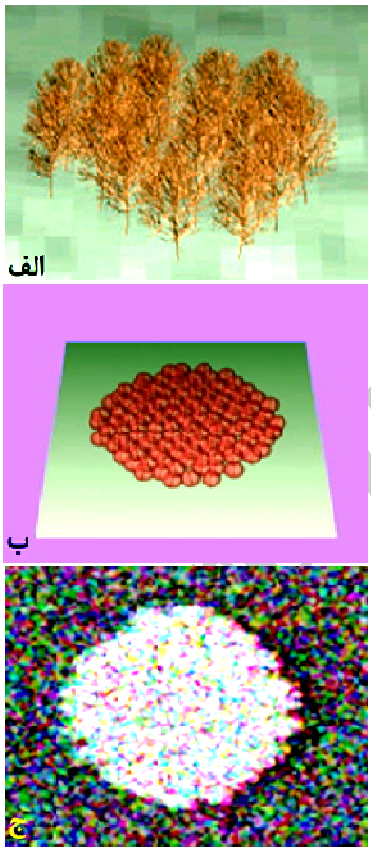
در رابطه بالا، h_v ارتفاع پوشش گیاهی و σ ضریب میرایی موج در پوشش گیاهی می‌باشند. لازم به توضیح است که σ می‌تواند به‌عنوان معرف تراکم پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد (هرچه میرایی بیشتر باشد نشانه تراکم بیشتر جنگل خواهد). در رابطه (۵) هر اینترفروگرام دو مشاهده همدوسی و فاز خواهد داشت و می‌توان ارتفاع درخت را به‌عنوان یکی از پارامترهای مجهول محاسبه نمود. به‌همین منظور و برای استخراج ارتفاع، نیازمند یک اینترفروگرام برای استخراج کف جنگل و یک اینترفروگرام برای تشکیل سطح روی تاج می‌باشد.

با توجه به مطالعات انجام شده، از کانال HV برای استخراج تاج استفاده می‌شود [۱۴]. ویژگی این کانال، همدوسی بالا در منطقه روی تاج و تشکیل سطحی بسیار نزدیک به واقعیت از روی تاج درختان است. برای استخراج لایه ارتفاعی کف جنگل نیز از کانال HH-VV استفاده شده است. ویژگی این کانال نفوذ به عمق جنگل و شناسایی پراکنش‌های دووجهی[2] از کف جنگل است که در اثر برخورد موج به زمین و سپس تنه درخت یا بالعکس به‌وجود می‌آید و در نهایت منجر به تشکیل سطحی بسیار نزدیک به زمین می‌شود [۱۴].

۴. نتایج و بحث

۴-۱. داده‌های شبیه‌سازی شده

با توجه به هدف این پژوهش، تعدادی تصویر هوایی راداری تمام پلاریزه که در هریک تنها یکی از پارامترهای محیطی تغییر کند مورد نیاز است. به‌عنوان مثال برای بررسی پارامتر رطوبت باید ده جفت تصویر از یک منطقه جنگلی موجود باشد به‌نحوی که در آنها تنها مقدار رطوبت خاک تغییر کند و سایر پارامترها و عوامل تأثیرگذار در نتیجه نهایی ثابت باشند. از اینرو در تحقیق حاضر از تصاویر شبیه‌سازی شده استفاده شده است. برای این منظور از نرم‌افزار PolSARPro استفاده شده که توسط موسسه ESA[3] ارائه شده است [۲۱]. منطقه شبیه‌سازی شده در این مطالعه یک ناحیه جنگلی به مساحت ۰/۵ هکتار با پوشش درختی انبوه است. شکل (۲) این منطقه جنگلی به‌همراه نمونه درختان و همچنین تصویر رنگی پائولی حاصل از کانال‌های پلاریزاسیون را نمایش می‌دهد. ویژگی‌های تصاویر شبیه‌سازی شده نیز در جدول (۱) آورده شده است. لازم به توضیح است که دامنه تغییرات رطوبت بین صفر که معرف خاک خشک و ۱۰ که معرف خاک خیس می‌باشد تغییر می‌کند. به‌همین ترتیب پارامتر زبری نیز بین صفر تا ۱۰ تغییر می‌یابد که حالت اول معرف زمین نرم و حالت دوم معرف زمین زبر می‌باشد. علاوه بر این، پارامترهای مربوط به سنجنده و هواپیما نیز به‌عنوان ورودی اعمال شده است. در تمامی این تصاویر، منطقه شبیه‌سازی شده شامل چهار ناحیه است که در هر ناحیه فقط یکی از پارامترهای محیطی مؤثر تغییر می‌کند. لازم به ذکر است که سنجنده مورد استفاده در نرم‌افزار مذکور، نمونه یکی از سنجنده‌های هوایی مؤسسه DLR[4] آلمان است.



شکل ۲. پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار PolSARPro. (الف): نوع پوشش گیاهی، (ب): منطقه جنگلی (ج): تصویر پلاریمتری راداری (رنگی پائولی) شبیه‌سازی شده.

۴-۲. بررسی تأثیر پارامترهای محیطی

در این قسمت تأثیر پارامترهای محیطی در کارایی تخمین ارتفاع درختان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

[1] Coherence
[2] Double Bounce
[3] European Space Agency
[4] Deutschen Zentrums Für Luft- Und Raumfahrt

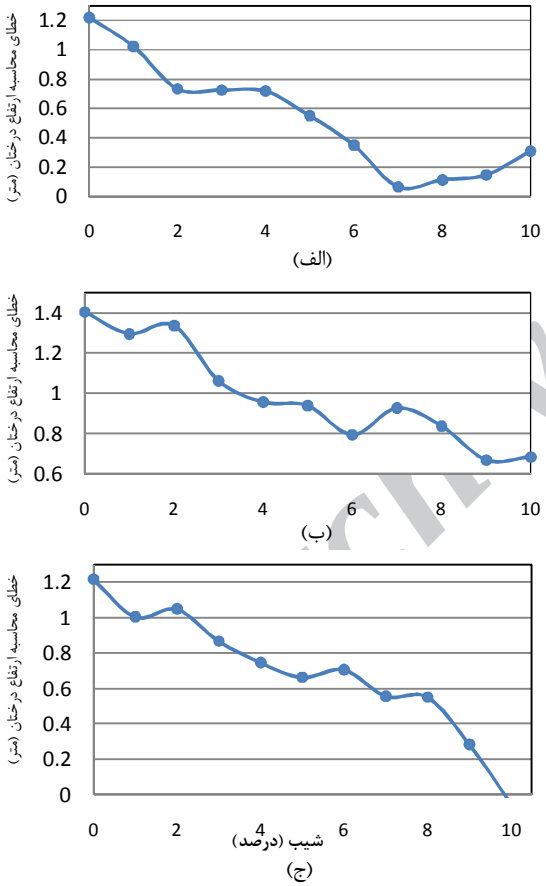
Archive of SID
www.SID.ir

شیب: تأثیر پارامتر شیب در سه حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالت اول تأثیر حضور شیب فقط در راستای آزیموت بررسی شده و سپس تأثیر آن را در راستای دامنه مورد آزمایش قرار گرفته است. حالت سوم نیز مربوط به وجود شیب در هر دو راستا در یک تصویر می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این مرحله مربوط به جدول (۱- ج) می‌باشد که زمین مورد مطالعه در تصاویر دارای شیب صفر تا ۱۰ درصد است. پس از انجام پردازش‌ها و استخراج ارتفاع درختان، می‌توان تأثیر شیب را در هر یک از سه حالت مورد نظر مشاهده نمود. نمودارهای شکل (۳) ارتباط بین شیب و ارتفاع محاسبه شده درختان را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است از آنجایی که افزایش شیب زمین رو به سمت سنجنده است، زاویه برخورد محلی با افزایش شیب کوچک شده و شدت پراکنش به سمت سنجنده افزایش می‌یابد. افزایش شدت پراکنش، رشد پراکنش از سطح تاج و سطح زمین را به‌دنبال خواهد داشت. به این ترتیب مراکز فاز این سطوح با دقت بیشتری در ارتفاع خود تخمین زده می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شیب منطقه در راستای دید سنجنده، دقت تخمین ارتفاع پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که شیب در راستای دامنه تأثیر بیشتری بر افزایش دقت می‌گذارد. این مسئله به نحوه تصویربرداری که در راستای عمود بر مسیر پرواز می‌باشد، وابسته است.

جدول ۱. ویژگی تصاویر شبیه‌سازی شده

نام منطقه / ویژگی	ناحیه الف	ناحیه ب	ناحیه ج	ناحیه د
ویژگی سطح	۰-۱۰	۰-۱۰	۱	۱
رطوبت خاک	۰-۱۰	۱	۱	۱
شیب در راستای آزیموت (درصد)	۰	۰	۰-۱۰	۰
شیب در راستای دامنه (درصد)	۰	۰	۰-۱۰	۰
گونه درخت	۴	۴	۴	۱-۴
ارتفاع درخت (متر)	۱۰	۱۲	۱۲	۱۲

رطوبت و زبری: در این قسمت تأثیر دو پارامتر رطوبت و زبری سطح خاک در استخراج ارتفاع بررسی و مقایسه می‌شود. در هر دو مورد دامنه تغییرات بین حداقل و حداکثر مقدار ممکن تغییر می‌کند. نتایج حاصل از این پردازش‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. در این مرحله، داده‌های مورد استفاده مربوط به ناحیه‌های (الف و ب) از جدول (۱) می‌باشند که زمین مورد مطالعه در تصاویر این مناطق دارای زبری و رطوبت متفاوت می‌باشند. پس از انجام پردازش‌ها و استخراج ارتفاع درختان، می‌توان تأثیر این دو پارامتر (زبری و رطوبت) را در برآورد ارتفاع مشاهده کرد (شکل ۴). باتوجه به شکل (۴) نتایج حاکی از آن است که که هر چه زمین منطقه مورد مطالعه زبرتر باشد قدرت پراکنش حجم- سطح کمتر خواهد شد. این مسئله باعث بروز خطا در مورد برآورد سطح زمین می‌شود. در مورد پارامتر دیگر، با افزایش رطوبت، زمین انرژی مایکروویو بیشتری را منعکس کرده و در نتیجه اطلاعات بیشتر و مفیدتری قابل استخراج می‌باشد. تأثیر پارامتر زبری بر روی مرکز فاز زمین در ۶ منطقه از ۱۱ منطقه مورد مطالعه، در شکل (۵) نمایش داده شده که در این شکل، فاز مربوط به لایه ارتفاعی کف جنگل نشان داده شده است. در حالت ایده‌آل وقتی زبری سطح صفر باشد، اطلاعات به‌دست آمده از کف جنگل بیشینه خواهد بود. در این حالت، یک تصویر فاز تقریباً بدون نویز و یکنواخت از سطح منطقه به‌دست خواهد آمد (شکل ۵- الف). با افزایش زبری مقادیر نویز و جهش فاز افزایش پیدا خواهد کرد که در نتیجه آن کاهش دقت و ایجاد خطا در محاسبه ارتفاع خواهد بود. تأثیر این شرایط در حالت زبری بیشینه بر روی فاز کف جنگل در شکل (۵- ه) نمایش داده شده است.



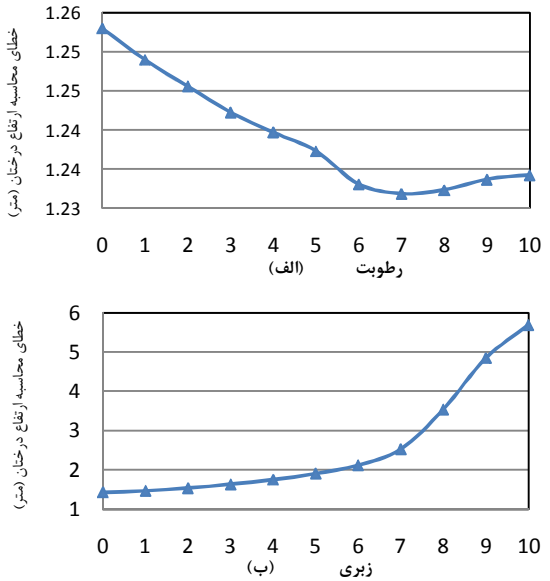
شکل ۳. تأثیر شیب زمین در تخمین ارتفاع درختان، الف) در راستای دامنه، ب) در راستای آزیموت و ج) در راستای دامنه و آزیموت. ارتفاع میانگین درختان منطقه ۱۲ متر است

گونه: پارامتر محیطی دیگری که در رابطه با فیزیک مسئله در این مطالعه مورد آزمایش قرار گرفته است، گونه درختان می‌باشد. در شکل (۶) نتایج حاصل از انجام پردازش‌ها در نواحی جنگلی که تنها پارامتر گونه درختان در آنها متفاوت است، به‌همراه هیستوگرام مناطق جنگلی مشاهده می‌شود.

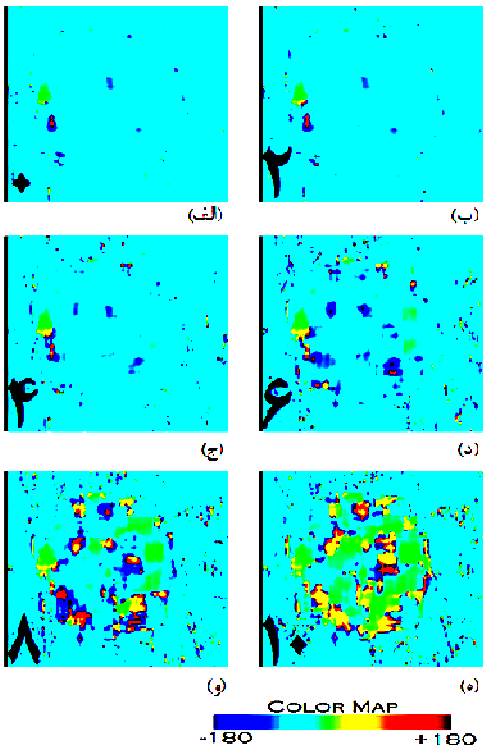
Archive of SID

www.SID.ir

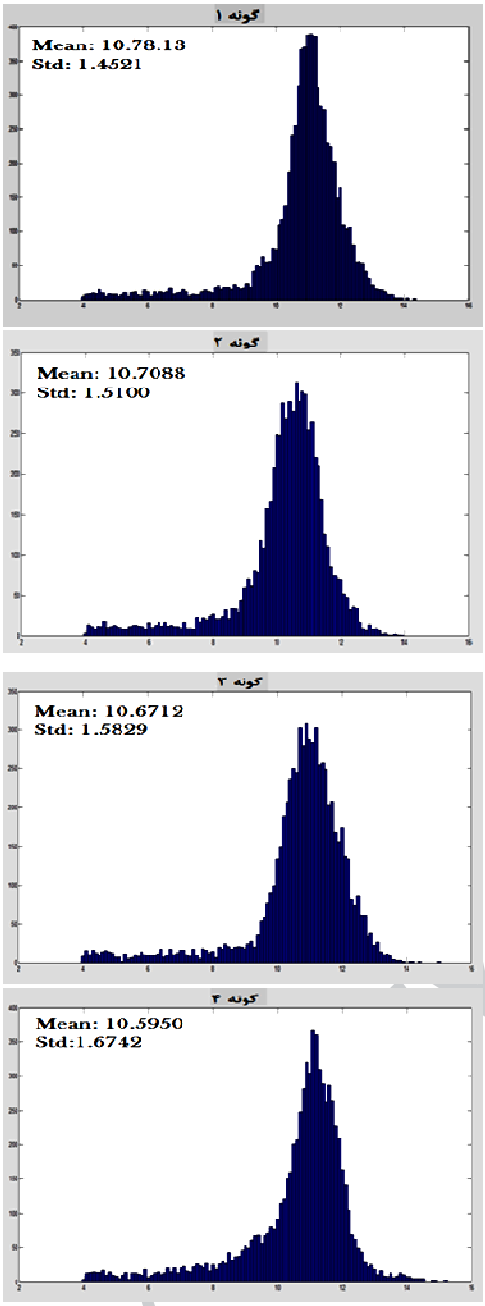
همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، با تغییر در گونه درختان مقدار ارتفاع محاسبه شده نیز تغییر می‌کند و این مسئله بیانگر این موضوع است که هرچه گونه درختان از حالت باریک و بلند مانند کاج به سمت حالت پهن‌برگ برگ‌ریز تغییر می‌کند، مقدار خطای محاسبه ارتفاع درختان افزایش می یابد (شکل ۷). برای انجام پردازش‌ها در این مرحله از داده‌های جدول (۱- د) استفاده شده است.



شکل ۴. تأثیر پارامترهای رطوبت، الف) و زبری سطح و ب) در محاسبه ارتفاع درختان. ارتفاع میانگین درختان منطقه برای بررسی پارامترهای رطوبت و زبری به‌ترتیب ۱۰ و ۱۲ متر است



شکل ۵. تأثیر زبری سطح بر روی تخمین مرکز فاز کف جنگل (اعداد نوشته شده معرف منطقه مورد مطالعه می‌باشند)



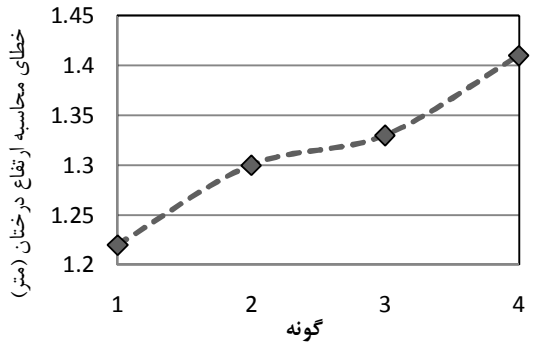
شکل ۶. تأثیر گونه بر روی ارتفاع محاسبه شده درختان. ارتفاع میانگین درختان منطقه ۱۲ متر است

پس از بررسی مراحل اجرای پردازش‌ها مشاهده شده که کانال HV، پارامتر تأثیرگذار می‌باشد. همچنین مرکز فاز این کانال تحت تأثیر گونه درختان قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود مقدار مرکز فاز کانال HV از لحاظ همدوسی تحت تأثیر گونه قرار گرفته است. پراکنشگرهای گونه پهن‌برگ با توجه به ساختار چیدمانشان باعث نفوذ امواج پلاریمتری و پخش آنها می‌شوند که نتیجه آن همدوسی کمتر، کاهش ارتفاع مرکز فاز و تخمین ارتفاع درخت کمتر از مقدار واقعی می‌باشد. به‌دلیل چیدمان پراکنشگرها در ساختار درختان باریک و بلند، منطقه

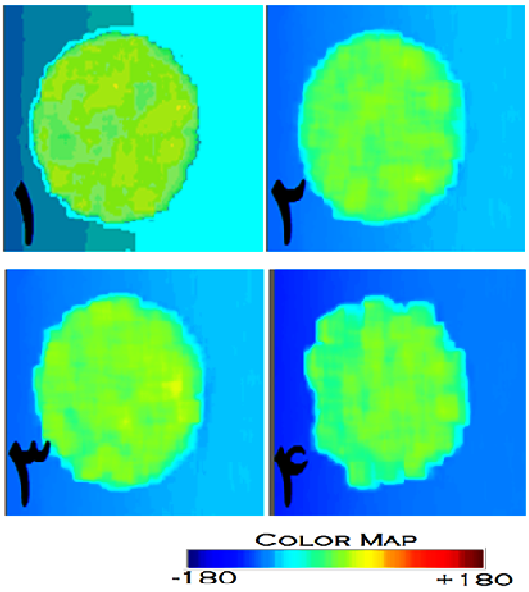
www.SID.ir

جنگلی دارای این گونه، قادر خواهد بود کانال متقاطع را در سطوح بالاتر به سمت سنجنده منحرف کند. همچنین تأثیر این چیدمان را می‌توان در مقدار انحراف معیار محاسباتی مشاهده نمود. پوشش گیاهی فشرده بر روی تاج درختان موجب کاهش انحراف معیار و نزدیکی مقادیر ارتفاعی محاسبه شده به یکدیگر می‌شود. در واقع چگالی نوک درختان یا همان تراکم پراکنشگرها علت بالاتر بودن مرکز فاز کانال HV خواهد بود.

کاهش میانگین و افزایش انحراف معیار ارتفاع محاسبه شده برای درختان حاکی از افزایش خطا و تغییر در دقت بر مبنای تغییر گونه درختان است. این در حالی است که گونه، تأثیر اصلی خود را بر روی چیدمان و نوع پراکنشگرها، و در نتیجه بر روی فاز محاسباتی تاج خواهد گذاشت. با بررسی تأثیر تمام پارامترها می‌توان دریافت که برآورد ارتفاع، بیش از هر چیز به زبری سطح وابسته است و از طرف دیگر در محاسبه ارتفاع پوشش گیاهی، پارامتر رطوبت در درجه کمتری از اهمیت قرار دارد.



شکل ۷. تأثیر گونه بر روی ارتفاع محاسبه شده درختان. ارتفاع میانگین درختان منطقه ۱۲ متر است



شکل ۸. تأثیر گونه درختان بر روی مرکز فاز کانال HV (اعداد معرف منطقه مورد مطالعه می‌باشند)

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از چند تصویر پلاریمتری راداری شبیه‌سازی شده از مناطق جنگلی متفاوت به‌منظور بررسی تأثیر پارامترهای محیطی شیب، رطوبت، زبری، و گونه درختان بر صحت تخمین ارتفاع درختان از طریق مدل معروف RVOG استفاده شده است. بر اساس نتایج تجربی به‌دست آمده، هرچه گونه درختان از نوع باریک و بلند به سمت پهن‌برگ برگ‌ریز با تاج پراکنده تغییر نماید، اختلاف مراکز فاز تاج و کف جنگل کاهش پیدا نموده (به علت نفوذ آسان امواج پلاریمتری در تاج درختان) و به این ترتیب مقدار ارتفاع محاسبه شده کمتر از مقدار واقعی خواهد شد. همچنین تأثیر شیب در سه راستای دامنه، آزیموت و آزیموت/ دامنه مثبت بوده و در حالتی که در این سه راستا افزایش شیب وجود داشته باشد با توجه به کاهش زاویه برخورد، مقدار اطلاعات رسیده به سنجنده افزایش می‌یابد و این مسئله باعث تخمین هرچه بهتر سطوح کف و تاج جنگل می‌شود و در نتیجه تخمین بهتری از ارتفاع درختان حاصل خواهد شد. همچنین این تحقیق نشان داده که پارامتر زبری سطح دارای بیشترین تأثیر در تخمین صحیح ارتفاع درختان می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، با افزایش زبری سطح تخمین ارتفاع درختان کمتر از مقدار واقعی محاسبه می‌شود و هرچه سطح مورد مطالعه نرم‌تر باشد اطلاعات شفافی از سطح به دست نخواهد آمد زیرا امواج با قدرت بیشتری از سطح زمین پس پراکنش می‌یابند. از سوی دیگر، تأثیر رطوبت در تخمین ارتفاع نسبت به سایر پارامترهای محیطی کمتر مشاهده شده است. با افزایش رطوبت، به‌دلیل اینکه زمین انرژی مایکروویو بیشتری را منعکس می‌کند، اطلاعات رسیده از لایه زیرین به نحوه بهتری سطح زمین را می‌سازد.

۶. مراجع

[1] Lee, J. S.; Boerner, W. M. “Imaging Radar Polarimetry and Applications”; URSI-F Open Symposium, 2002, 12, 12-24.

[2] Mercer, B.; Zhang, Q.; Schwaebisch, M.; Denbina, M. “Estimation of Forest Biomass from an Airborne Single-pass L-band PolInSAR System”; ISPRS J. Photogramm. In Proc. of the PolInSAR Workshop, 2011, 24-28.

[3] Cloude, S. R.; Papathanassiou, K. P. “Polarimetric Optimisation in Radar Interferometry”; Electron Lett. 1997, 33, 1176-1178.

[4] Cloude, S. R.; Papathanassiou, K. P. “Polarimetric SAR Interferometry”; In Proc. of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium,1998, 36, 1551-1565.

[5] Treuhaft, R. N.; Sequeira, P. R. “The Vertical Structure of Vegetated Land Surfaces from Interferometric and Polarimetric Radar”; Radio Sci. 2000, 35, 141-177.

[6] Papathanassiou, K. P.; Cloude, S. R.; Reigber, A.; Boerner, W. M. “Multi-Baseline Polarimetric SAR Interferometry for Vegetation Parameter Estimation.”; In Proc. of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000, 6, 2762–2764.

[7] Papathanassiou, K. P.; Cloude, S. R.; Reigber, A. “Single and Multibaseline Polarimetric SAR Interferometry Over Forested Terrain.”; In Proceedings of EUSAR, 2000, 23-25.

Archive of SID

www.SID.ir

[8] Mette, T.; Papathanassiou, K.; Hajnsek, I. "Biomass Estimation from PolInSAR over Heterogeneous Terrain"; In Proc. of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004, 20-24.

[9] Lumsdon, P.; Mercer, B.; Zhang, Q. "Estimation and Monitoring of Tropical Forest Biomass Using Polarimetric Interferometric SAR Data"; Intermap Technologies Corp. 2008.

[10] Karjalainen, M.; Pyysalo, U.; Karila, K.; Hyyppä, J. "Forest Biomass Estimation Using ALOS PALSAR Images in Challenging Natural Forest Area in Finland"; In Proceedings of ALOS PI Symposium, 2008.

[11] Lee, S.; Kugler, F.; Hajnsek, I.; Papathanassiou, K. "The Impact of Temporal Decorrelation Over Forest Terrain in Polarimetric SAR Interferometry"; In Proc. of PolInSAR Workshop, 2009, 6-12.

[12] Mercer, B.; Zhang, Q.; Schwaebisch, M.; Denbina, M.; Cloude, S. R. "Forest Height and Ground Topography at L-Band from an Experimental Single-Pass Airborne PolInSAR System"; Proc. of PolInSAR Workshop, 2009, 16-22.

[13] Moreira, A.; Hajnsek, I.; Krieger, G.; Papathanassiou, K.; Eineder, M.; De Zan, F.; Younis, M.; Werner, M. "Tandem-L: Monitoring the Earth's Dynamics with Insar and PolInSAR"; In Proc. of PolInSAR, 2009, 1-9.

[14] Garestier, F.; Fernandez, P. D.; Champion, I.; Toan, T. L. "Pine Forest Investigation Using High Resolution P-Band PolInSAR Data"; Remote Sens. Environ. 2011, 115, 2897–2905.

[15] Neumann, M.; Saatchi, S. S.; Ulander, L. M. H.; Fransson, J. E. S. "Assessing Performance of L- And P-Band Polarimetric Interferometric SAR Data in Estimating Boreal Forest Above-Ground Biomass"; IEEE Geosci. Remote 2012, 50, 3.

[16] Graham, L. C. "Synthetic Interferometric Radar for Topographic Mapping"; Proc. of the IEEE 1974, 62, 763–768.

[17] Zebker, H. A.; Goldstein, R. M. "Topographic Mapping from Inter-Ferometric Synthetic Aperture Radar Observations"; J. Geophys. Res. 1986, 91, 4993–4999.

[18] Gatelli, F.; Guarneri, A.; Parizzi, F.; Pasquali, P.; Prati, C.; Rocca, F. "The Wavenumber Shift in SAR Interferometry"; IEEE T Geosci. Remote 1994, 32, 855–865.

[19] Ferretti, A.; Monti-Guarneri, A.; Massonnet, D.; Prati, C.; Rocca, F. "Insar Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation"; ESA Publications ESTEC Noordwijk NL; ESA TM-19, Part A, 2007.

[20] Sinclair, G. "The Transmission and Reception of Elliptically Polarized Waves"; Proc. IRE, 1950, 38, 148-151.

[21] Pottier, E.; Ferro-Famil, L.; Cloude, S. R.; Hajnsek, I., Papathanassion, K. P.; Moreira, A.; Pearson, T.; Desnos, Y. "A Versatile Polarimetric SAR Data Processing and Educational Toolbox"; Proc. of PolInSAR. 2005, Http://Earth.Esa.Int/Workshops/PolInSAR2005/Proceedings. Htm.

Archive of SID

www.SID.ir