نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.4, Winter 2020

۱ -۲۰

مقاله پژوهشی

بهبود تخمین زیست توده مناطق جنگلی به کمک بهینه‌سازی پارامترهای پلاریمتری داده‌های سنجنده هوایی *SETHI* به روش هوش جمعی ذرات

سیده سمیرا حسینی[1*]، حمید عبادی[2]، یاسر مقصودی[3]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۰۴

چکیده

در سال‌های اخیر تخمین زیست توده مورد توجه زیادی قرار گرفته است. سیستم‌های هوابرد و فضابرد راداری به دلیل قابلیت بالای نفوذ، توانایی زیادی در تعیین زیست توده دارند. پارامتر قطبش به دلیل حساسیت به مکانیزم‌های بازپراکنش، پارامتر مهمی در سیستم راداری بوده که می‌تواند در تخمین زیست توده مفید واقع شود. در این تحقیق از داده‌های تمام پلاریمتری سنجنده هوایی *SETHI* استفاده شده است. منطقه مورد بررسی از نوع جنگل‌های شمالی واقع در منطقه رمینگ استرپ در جنوب کشور سوئد می‌باشد. در این مقاله بهبود تخمین زیست توده در مناطق جنگل‌های شمالی با در نظر گرفتن تمامی حالات قطبش ممکن جهت استخراج پارامترهای پلاریمتری توسط ماتریس انتقال، در باندهای L و P مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین وابستگی زیست توده به پارامترهای استخراجی قبل و بعد از تغییر پایه قطبش در ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی مورد بررسی قرار گرفته و یک مجموعه از پارامترهای بهینه توسط هوش جمعی ذرات در حالت باینری انتخاب و جهت تخمین زیست توده مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بیانگر آن است که بازپراکنش‌هایی که شامل قطبش *HV* یا *HH-VV* هستند؛ بیشترین وابستگی را با زیست توده دارند و با تغییر پایه قطبش، امکان بررسی حالت‌های قطبش مختلف پارامترهای استخراجی از بازپراکنش‌ها فراهم می‌شود و میزان همبستگی پارامترها با زیست توده افزایش می‌یابد. بعد از انتخاب بهینه پارامترها توسط روش هوش جمعی ذرات در حالت باینری و استفاده از رگرسیون خطی به منظور تخمین زیست توده، نتایج به میزان ۶ درصد در باند L و ۲ درصد در باند P بهبود داشته است.

کلید واژه‌ها : تخمین زیست توده، هوش جمعی ذرات، بازپراکنش، پلاریمتری، ماتریس انتقال.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران - خیابان ولیعصر - تقاطع میرداماد - روبروی ساختمان اسکان- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۴- ۸۸۷۷۹۴۷۳

Email: shosseini@mail.kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

۱- مقدمه

یکی از نشانه‌های دخالت انسان در کره زمین رشد روز افزون دی اکسید کربن در اتمسفر می‌باشد که این موضوع باعث تغییرات آب وهوایی در اتمسفر شده است[۱].

به دلیل نقش بسزای جنگل‌ها در چرخه کربن جهانی، ضرورت بررسی این مناطق آشکار می‌شود که تخمین زیست توده در این زمینه نقش مهمی را ایفا می‌کند[۲]. روش‌های زمینی که برای تخمین زیست توده استفاده می‌شدند به رغم برخورداری از دقت بسیار بالا، محدودیت‌ها و مشکلات خاص خود را داشتند که از آن جمله می‌توان به زمان بر بودن، هزینه زیاد، عدم بررسی مناطق غیر قابل دسترس و عدم اطمینان در تخمین تغییرات زیست توده به دلیل عدم امکان پایش پیوسته اشاره کرد[۳].

با کمک داده‌های سنجش از دور می‌توان مناطق وسیعی را به طور پیوسته پایش کرد و به تعداد زیادی از مشکلات روش‌های سنتی غلبه کرد[۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. زیست توده توسط سنجنده‌های اپتیکی، بر اساس ارتباط بین شاخص‌های گیاهی و یا واکنش‌های طیفی با زیست توده تخمین زده می‌شد. یکی از مشکلات اصلی این روش، همبستگی پایین بین شاخص‌های گیاهی یا واکنش‌های طیفی با زیست توده بود؛ به همین دلیل در جنگل‌های متراکم، در سطح پایین‌تر از مقدار واقعی آن به سطح اشباع می‌رسیدند و نیز در مناطق با پوشش ابر پاسخگو نبودند[۱۱ و ۱۲]. سنجنده‌های راداری با گشودگی مصنوعی، قابلیت بالایی جهت تخمین زیست توده را دارند که علت آن نفوذ بالا و عدم وابستگی به شرایط آب و هوایی و شب و روز می‌باشد[۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷و ۱۸]. این سنجنده‌ها در فرکانس‌های مختلف و در رزولوشن‌های مختلف طراحی شده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد فرکانس‌های زیر باند L، حساسیت خوبی نسبت به تخمین زیست توده دارند. تحقیقات تجربی در باندهای P و L حساسیت این باندها را به بخش‌های مختلف ساختار جنگل اثبات کرده است[۲۴،۲۳،۲۲،۲۱،۲۰،۱۹و۲۵]. در جنگل‌های مناطق شمالی[1]، باند L داخل شاخ و برگ‌ها و تنه نفوذ می‌کند بنابراین حساسیت خوبی بین بازپراکنش از بخش‌های مختلف درخت با زیست توده مشاهده می‌شود؛ در حالی که باند P به دلیل طول موج بلندتر، نفوذ بیشتری دارد و بازپراکنش حاصل بیشتر به سهم زمینی و یا سهم تنه-زمین برمی‌گردد.

روش‌هایی که توسط سنجنده‌های راداری برای تخمین زیست توده استفاده می‌شود بر اساس مقادیر بازپراکنش‌ها در قطبش‌های مشخص (HH[2]،VV[3]،HV[4]) و یا ترکیبی از نسبت یا مجموع این قطبش[5]ها توسط آنالیزهای رگرسیون صورت می‌گیرد. تحقیقات نشان می‌دهد که طول موج‌های بلندتر و قطبش HV بیشترین حساسیت را نسبت به تخمین زیست توده دارند[۲۶ و ۲۷].

همان‌طور که اشاره شد روش‌های راداری از اطلاعات بازپراکنش در قطبش‌های مشخصی جهت تخمین زیست توده استفاده می‌کنند. بر اساس تحقیقات مروری صورت گرفته، تخمین زیست توده جنگلی با استفاده از شاخص‌های پلاریمتری در پایه قطبش‌های بهینه تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. به همین دلیل استخراج شاخص‌های پلاریمتری بهینه در این تحقیق به منظور تخمین زیست توده مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی پایه قطبش‌های مختلف و استخراج شاخص‌های پلاریمتری بهینه توسط پارامترهای هندسی بهینه (توجیه بیضوی[6] φ و میزان بیضوی بودن[7] τ) که بیشترین همبستگی را با زیست توده دارند؛ نتایج را می‌تواند بهبود دهد. بنابراین هدف اصلی

[1] Boreal
[2] Horizontal-Horizontal
[3] Vertical-Vertical
[4] Horizontal-Vertical
[5] Polarization
[6] Orientation
[7] Ellipticity

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

این تحقیق توسعه روشی جهت بهبود تخمین زیست توده جنگلی توسط انتقال پایه‌های قطبش می‌باشد. شاخص‌های پلاریمتری در پایه قطبش‌های مختلف ایجاد می‌شوند. پایه‌های قطبش مختلف منجر به تولید شاخص‌های پلاریمتری مختلف می‌شوند. بنابراین استفاده از روش‌های بهینه سازی جهت انتخاب شاخص‌های پلاریمتری بهینه ضروری است. روش‌های بهینه‌سازی مختلفی در سال‌های اخیر مطرح شده است. هوش جمعی ذرات *(PSO)*[1] یک روش بهینه‌سازی ابتکاری[2] می‌باشد که به عنوان یک روش بهینه‌سازی مناسب جهت استخراج ویژگی‌های بهینه[3] نشان داده شده است[۲۸]. به همین دلیل روش بهینه‌سازی *PSO* در این تحقیق استفاده شده است.

در این تحقیق، در ابتدا شاخص‌های پلاریمتری مختلف از ماتریس‌های همدوسی و کووریانس با استفاده از پایه قطبش‌های مختلف استخراج شده است. سپس ضریب همبستگی بین این پارامترها و زیست توده مورد بررسی قرار گرفته است. نهایتاً پارامترهای بهینه توسط روش بهینه‌سازی *PSO* انتخاب و زیست توده بوسیله رگرسیون خطی تخمین زده شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، داده‌های پلاریمتری از سنجنده هوایی *SETHI* در باند *L* می‌باشد. در ادامه ابتدا تئوری تحقیق که شامل قسمت‌های استخراج پارامترهای پلاریمتری جهت تخمین زیست توده، تغییر پایه قطبش و روش هوش جمعی ذرات در حالت باینری است توضیح داده شده است و سپس داده‌های مورد استفاده به تفضیل بیان شده است. در بخش بعد روش پیشنهادی مطرح و سپس نتایج روش پیشنهادی و مقایسه آن با داده‌های زمینی آورده شده و در انتها بخش نتیجه‌گیری بیان شده است.

[1] *Particle Swarm Optimization*
[2] *Heuristic*
[3] *Optimum Features*

۲- تئوری تحقیق

در قسمت اول این بخش روش‌های به کار رفته به منظور استخراج پارامترهای پلاریمتری از ماتریس‌های همدوسی و کوریانس بیان شده است. در قسمت دوم تغییر پایه قطبش توضیح داده شده و در قسمت سوم این بخش بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات در حالت باینری بیان شده است.

۲-۱- استخراج پارامترهای پلاریمتری جهت تخمین زیست توده

با اخذ داده‌های راداری در ترکیب‌های پلاریزاسیون ارسالی و دریافتی متفاوت می‌توان چهار ضریب پراکنش S_{HH} ، S_{HV} ، S_{VH} و S_{VV} را ایجاد کرد و ماتریس پراکنش S را تشکیل داد.Vپلاریزاسیون عمودی و H قطبش افقی می‌باشد. ماتریس پراکنش در رابطه(۱) نشان داده شده است[۲۹].

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

برای بیان ویژگی‌های فیزیکی از هدف[4] می‌توان از ماتریس‌های همدوسی و کووریانس استفاده کردکه این ماتریس‌ها به کمک آنالیزهای آماری مرتبه دوم از ماتریس پراکنش قابل بدست آوردن هستند. بردار پاولی توسط ضرایب پراکنش از رابطه(۲) بدست می‌آید و به کمک این بردار ماتریس همدوسی توسط رابطه(۳) قابل محاسبه است[۲۹].

بردار لکزیکوگرافیک[5] نیز به کمک ضرایب پراکنش طبق رابطه(۴) قابل بدست آوردن است. در نهایت ماتریس کووریانس به کمک این بردار طبق رابطه(۵) بدست می‌آید[۲۹].

عناصر قطر اصلی ماتریس‌های همدوسی و کووریانس، مقدار حقیقی می‌باشد. پارامترهای ماتریس همدوسی و کووریانس به اندازه و حجم شاخ و برگ درختان و ساقه‌ها، ثابت دی‌الکتریک و جهت پراکنشگرها در هدف موردنظر و توپوگرافی زمین حساس هستند[۲۹].

[4] *Target*
[5] *Lexicographic*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

رابطه(۲)
$$k_t = \frac{1}{\sqrt{2}}[S_{HH} + S_{VV} \quad S_{HH} - S_{VV} \quad 2S_{HV}]^T$$

رابطه(۳)
$$T = \langle k_t k_t^{*T} \rangle = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} \langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & \langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & 2\langle (S_{HH}+S_{VV})S_{HV}^* \rangle \\ \langle (S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & \langle (S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & 2\langle (S_{HH}-S_{VV})S_{HV}^* \rangle \\ 2\langle S_{HV}(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & 2\langle S_{HV}(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & 4\langle S_{HV}S_{HV}^* \rangle \end{bmatrix}$$

رابطه(۴)
$$\Omega = [S_{HH} \quad S_{HV} \quad S_{VH} \quad S_{VV}]^T$$

رابطه(۵)
$$C = \langle \Omega\Omega^{*T} \rangle \begin{bmatrix} \langle S_{HH}S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2}\langle S_{HH}S_{HV}^* \rangle & \langle S_{HH}S_{VV}^* \rangle \\ \sqrt{2}\langle S_{HV}S_{HH}^* \rangle & 2\langle S_{HV}S_{HV}^* \rangle & \sqrt{2}\langle S_{HV}S_{VV}^* \rangle \\ \langle S_{VV}S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2}\langle S_{VV}S_{HV}^* \rangle & \langle S_{VV}S_{VV}^* \rangle \end{bmatrix}$$

مقدار دو مؤلفه اول قطری ماتریس همدوسی $\langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle$ و $\langle (S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle$ به نوع هدف بستگی دارد مقدار $\langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle$ برروی سطوح و اشیاء ایزوتروپیک قویتر است و مقدار $\langle (S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle$ بیانگر مکانیزم پراکنش دو سطحی (*Double bounce*) می‌باشد و بر روی این سطوح مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. طبق یک پژوهش که در این زمینه انجام شد؛ مشخص شد پارامترهایی مانند $\langle S_{HV}S_{HV}^* \rangle$ ، $\frac{\langle S_{HV}S_{HV}^* \rangle}{\langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle}$، $\frac{\langle S_{HV}S_{HV}^* \rangle}{\langle S_{VV}S_{VV}^* \rangle}$ به زیست توده جنگلی حساس هستند[۱۹]. شاخص نوع مکانیزم پراکنش نیز از رابطه(۶) قابل محاسبه است.

رابطه(۶)
$$|\delta| = \sqrt{\frac{T(2,2)+T(3,3)}{T(1,1)}} = \sqrt{\frac{\langle |S_{hh}-S_{vv}|^2 \rangle + 4\langle |S_{hv}|^2 \rangle}{\langle |S_{hh}+S_{vv}|^2 \rangle}}$$

در قسمت روش پیشنهادی، پارامترهایی که به منظور تخمین زیست توده از ماتریس‌های همدوسی و کوواریانس استخراج شده است به تفضیل آورده شده است.

۲-۲- تغییر پایه قطبش

با داشتن بازپراکنش در پایه قطبش افقی و عمودی و استفاده از ماتریس انتقال که تابعی از پارامترهای هندسی بیضوی (توجیه بیضوی φ و میزان بیضوی بودن τ) می‌باشد، می‌توان مقدار بازپراکنش در پایه‌های مختلف را به‌دست آورد. ماتریس انتقال از رابطه(۷) بدست می‌آید[۳۰].

رابطه(۷)
$$[U] = \frac{1}{\sqrt{1+\rho\rho^*}}\begin{bmatrix} 1 & -\rho^* \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$$

علامت * بیانگر مزدوج مختلط است. ρ از رابطه(۸) قابل محاسبه است.

رابطه(۸)
$$\rho = \frac{cos(2\tau)\,sin(2\varphi)+isin(2\tau)}{1+cos(2\tau)cos(2\varphi)}$$

در این رابطه φ توجیه بیضوی و τ میزان بیضوی بودن را بیان می‌کند.

ماتریس پراکنش در پایه قطبش جدید از رابطه(۹) بدست می‌آید[۳۰]. Tعلامت ترانهاده است.

رابطه(۹)
$$S' = U^T S U$$

انتقال ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی به پایه قطبش جدید نیز به کمک ماتریس انتقالی که از رابطه(۱۰) بدست می‌آید، صورت می‌پذیرد[۳۰]. در نهایت به کمک ماتریس انتقال F ، ماتریس کوواریانس و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

همدوسی در پایه قطبش جدید با رابطه(۱۱) بدست می‌آید.

$$F(\rho)=\frac{1}{1+\rho\rho^*}\begin{bmatrix}1 & \sqrt{2}\rho & \rho^2\\ \sqrt{2}\rho^* & 1-\rho\rho^* & \sqrt{2}\rho\\ \rho^{*2} & \sqrt{2}\rho^* & 1\end{bmatrix}$$ رابطه(۱۰)

$$T'=FTF^*$$ رابطه(۱۱)

پس از استخراج پارامترهای مدنظر از ماتریس‌های همدوسی و کووریانس، برای انتخاب بهینه پارامترها از بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات در حالت باینری استفاده شده است و در نهایت به کمک رگرسیون خطی زیست توده تخمین زده شده است. تئوری بهینه-سازی هوش جمعی ذرات در حالت باینری در ادامه آورده شده است.

۲-۳- هوش جمعی ذرات به روش باینری

کندی و ابرهارت در سال ۱۹۹۷ روش هوش جمعی ذرات در حالت گسسته باینری را برای حل مسائل باینری ارائه دادند[۲۸]. در این مدل هر ذره بر روی جواب‌های بله یا خیر، صحیح یا ناصحیح، شامل شدن یا شامل نشدن، تصمیم‌گیری می‌کند. این مقادیر باینری بیانگر یک عدد حقیقی در فضای جستجو باینری هستند.

روش هوش جمعی ذرات به حالت باینری به منظور کشف جواب بهینه در فضای جستجو با گروهی از ذرات تصادفی که هر ذره در آن نمایشگر یک راه حل کاندید می‌باشد؛ آغاز می‌گردد.در صورتی‌که مسأله دارای D متغیر باشد، هر ذره با بردار موقعیت $X_i=[x_{i1},x_{i2},\dots,x_{iD}]$ و بردار سرعت $V_i=[v_{i1},v_{i2},\dots,v_{iD}]$ مشخص می‌شود. در هر مرحله از حرکت، موقعیت و سرعت با توجه به دو مقدار: بهترین موقعیتی که ذره تاکنون تجربه کرده است، y_i ، و بهترین موقعیت بین همسایگان ذره، *best*،که در رابطه(۱۲) نشان داده شده است، به هنگام می‌شود[۲۸].

در این رابطه w وزن اینرشیا، c_1 و c_2 ضرایب شتاب و r_1 و r_2 اعداد تصادفی بین صفر و یک می‌باشند. وزن اینرشیا و ضرایب شتاب پارامترهای کنترلی الگوریتم می‌باشند که می‌بایست توسط کاربر تنظیم شوند و مقادیر آن‌ها بسیار بر عملکرد الگوریتم تاثیر می‌گذارد. در واقع این ضرائب اهمیت هر یک از جملات معادله سرعت را مشخص می‌کنند.

سرعت ذرات به صورت یک مقدار احتمالی عمل می‌کند و بایستی بین محدوده (۱،۰) قرار بگیرد؛ به‌همین دلیل نیاز است که بعد از به‌دست آوردن سرعت ذرات از رابطه(۱۲)، مقدار سرعت نرمالیزه شود. تابع نرمالیزه کردن یک تابع سیگموید است که با رابطه(۱۳) بدست می‌آید[۲۸]. موقعیت جدید هر ذره از رابطه(۱۴) حاصل می‌شود. در این رابطه r_{ij} یک عدد تصادفی بین (۱،۰) است.

$$V_i(t+1)=w.V_i(t)+c_1r_1.(y_i(t)-X_i(t))+c_2r_2(best(t)-X_i(t))$$ رابطه(۱۲)

$$v'_{ij}(t)=sig(v_{ij}(t))=\frac{1}{1+e^{-v_{ij}(t)}}$$ رابطه(۱۳)

$$x_{ij}(t+1)=\begin{cases}1 & r_{ij}<sig(v_{ij}(t+1))\\ 0 & otherwise\end{cases}$$ رابطه(۱۴)

جمله اول رابطه(۱۲) به عنوان مولفه اینرسی شناخته می‌شود. اطلاعات مربوط به جهت حرکت قبلی ذره در این مولفه ذخیره می‌شود. استفاده از این جمله باعث جلوگیری از تغییرات ناگهانی در سرعت ذره می‌شود. ضریب w در این جمله، وزن سرعت فعلی را در محاسبه سرعت مرحله بعد نشان می‌دهد. این پارامتر می‌تواند

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

در طول الگوریتم ثابت بوده و یا به صورت خطی کاهش پیدا کند.

جمله دوم رابطه(۱۲) اطلاعات مربوط به بهترین تجربه شخصی ذره می‌باشد. در اولین تکرار الگوریتم، موقعیت اولیه ذرات به عنوان بهترین موقعیت آن‌ها در نظر گرفته می‌شود و در تکرارهای بعد با رابطه(۱۵) محاسبه می‌شود.

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t) iff(x_i(t+1)) \le f(y_i(t)) \\ x_i(t+1) iff(x_i(t+1)) > f(y_i(t)) \end{cases}$$

رابطه(۱۵)

در این رابطه *f(.)* تابع هدف می‌باشد. به عبارت دیگر ترم اطلاعات شخصی، تمایل ذره به رفتن به سمت بهترین موقعیتی که تا کنون تجربه کرده است را نشان می‌دهد.

در نهایت جمله پایانی رابطه(۱۲) اطلاعات اجتماعی مرتبط با اعضای گروه می‌باشد که در آن عملکرد ذره در رابطه با کل گروه یا همسایگان آن در نظر گرفته می‌شود و این جمله بیانگر تمایل ذره به رفتن به سمت بهترین موقعیت بدست آمده توسط اعضای گروه در انتقال به موقعیت بعد می باشد.

۳- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه رمینگ استرپ[1] در قسمت جنوبی کشور سوئد با طول و عرض جغرافیایی (′۲۸ °۵۸ شمالی ،′۳۸ °۱۳شرقی) واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این منطقه و تصویر زمین مرجع شده بر روی گوگل ارث در شکل(۱) نشان داده شده است. این منطقه شامل بیش از ۱۲۰۰ هکتار منطقه جنگلی حفاظت شده است. انواع گونه‌های غالب این منطقه شامل صنوبر نروژی، کاج اسکاتلندی و توس می‌باشد. شکل (۲) تصاویری از ایستگاه‌های جنگلی مختلف در رمینگ استرپ را نشان می‌دهد. این منطقه، منطقه ای نسبتاً مسطح است و تغییرات ارتفاعی آن بین ۱۲۰ تا ۱۴۵ متر بالای سطح متوسط دریاها می‌باشد. ارتفاع درختان منطقه بین ۵ تا ۳۵ متر و مقدار زیست توده بین ۵۰ تا ۳۰۰ تن بر هکتار است.

تصاویر مورد استفاده، تصاویر هوایی اخذ شده توسط سنجنده *SETHI* می‌باشد که در ۲۳ سپتامبر ۲۰۱۰ در باندهای L و P به صورت تمام پلاریزه برداشت شده‌اند. محدوده سیگنال در باند P بین ۴۶۰-۲۲۰ مگاهرتز و در باند L بین ۱۴۰۰-۱۲۵۰ مگاهرتز می‌باشد. همچنین ارتفاع پرواز چهار کیلومتر از سطح زمین است. قدرت تفکیک برای باند L در راستای آزیموت ۰/۹۲ متر و در راستای رنج نیز ۰/۹۲ متر و برای باند P در راستای آزیموت ۰/۷۹ متر و در راستای رنج ۰/۷۸ متر می‌باشد. اطلاعات پارامترهای سنجده *SETHI* در جدول(۱) آورده شده است.

اطلاعات مربوط به زیست توده زمینی به صورت فایل شکلی[2]، برای تمامی مناطق مطلوب که در منطقه در دو سیستم *UTM 33N* و *WGS84* موجود می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. این فایل توسط نرم افزار آرک جی آی اس ایجاد شده است و به منظور تخمین کل زیست توده خشک بالای زمین (شامل ساقه، پوست، شاخه و برگ‌های درخت به‌جز ریشه‌ها می‌باشد و برحسب تن بر هکتار بیان شده است) از توابع زیست توده پترسون[3] که برای سه نوع گونه جنگلی موجود در منطقه (صنوبر نروژی، کاج اسکاتلندی و توس) توسعه داده شده است؛ استفاده گردید[۳۱].

[1] *Remningstorp*

[2] *Shape file*

[3] *Petersson*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

الف)

ب)

شکل۱: (الف) موقعیت جغرافیایی منطقه (ب) تصویر زمین مرجع شده بر روی گوگل ارث

شکل۲: تصاویری از ایستگاه‌های جنگلی مختلف در رمینگ استرپ

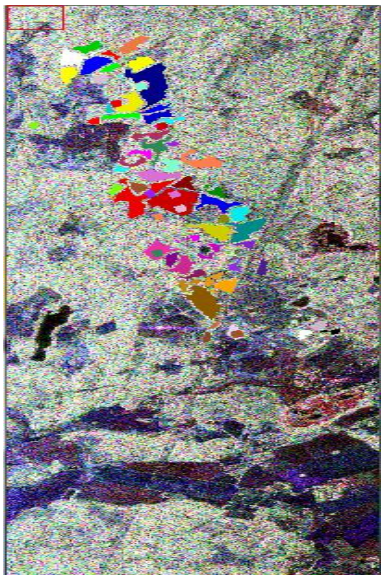
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

۶۹ منطقه مورد نظر برداشت شده و برای هر یک زیست توده زمینی محاسبه شده است. این مناطق بر روی تصویر در پایه پاولی در شکل(۳) نشان داده شده اند. این مناطق که اطلاعات زیست توده آن‌ها به صورت فایل شکلی در اختیار می‌باشد؛ بر روی خروجی نتایج نیز تصویر شده و برای مقایسه نتایج حاصل با زیست توده زمینی مورد استفاده قرار گرفته است[۳۲].

جدول۱: مشخصات سنجنده

پارامترهای سنجنده	باند *P*	باند *L*
ارتفاع پرواز(بر حسب متر)	۳۹۶۲	۳۹۶۲
نرخ نمونه برداری(مگاهرتز)	۵۰۰	۵۰۰
پهنای باند(مگاهرتز)	۲۶۰-۴۶۰	۱۲۵۰-۱۴۰۰
رزلوشن در راستای رنج(برحسب متر)	۰/۷۸	۰/۹۲
رزولوشن در راستای آزیموت (برحسب متر)	۰/۷۹	۰/۹۲
تعداد پیکسل‌ها در رنج	۷۲۵۱	۲۶۰۰
زاویه فرود(بر حسب درجه)	۲۴-۶۲	۲۴-۴۷



شکل۳: تصویر پلاریمتری در پایه پاولی، محل مناطق مطلوب بر روی تصویر نشان داده شده است (قرمز=*HH-VV*، سبز =*HV*، آبی=*HH+VV*)

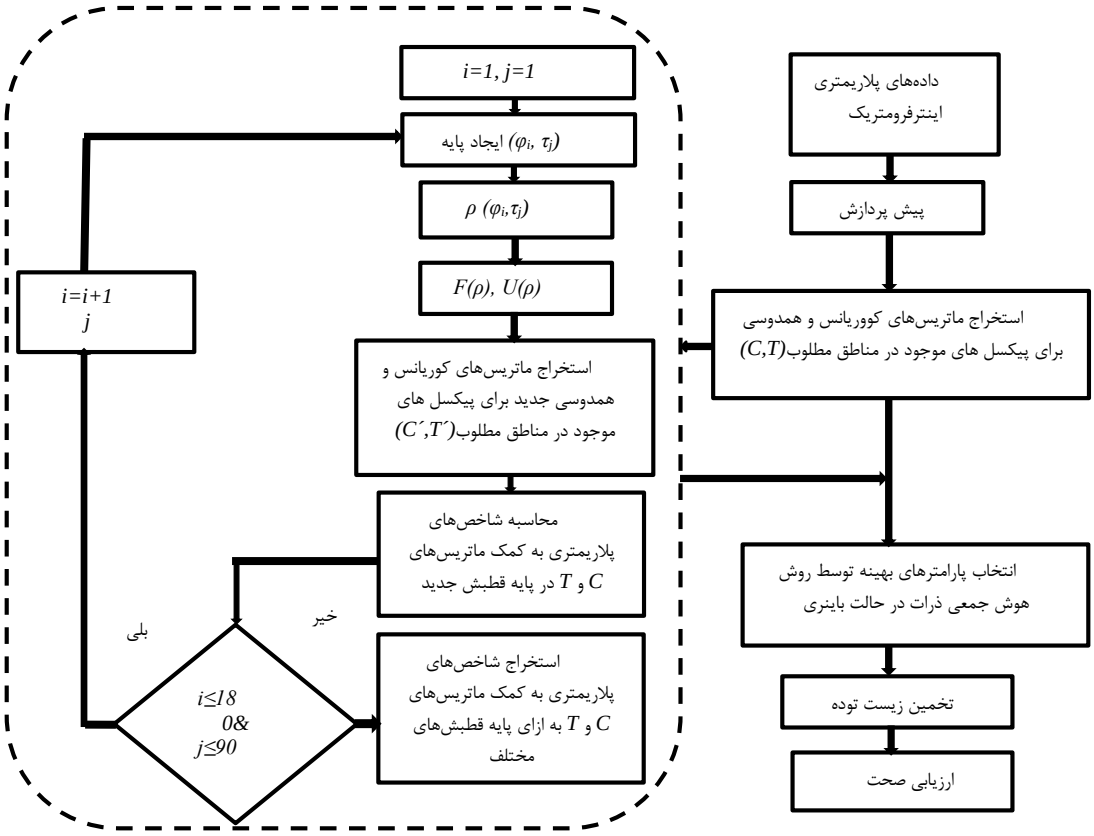
۴- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی این مقاله برای بهبود تخمین زیست توده جنگلی، استخراج پارامترهای بهینه از اطلاعات پلاریمتری به کمک هوش جمعی ذرات در حالت باینری می‌باشد. به منظور بررسی تمامی حالت‌های قطبش پارامترهای استخراج شده، از ماتریس انتقال به پایه قطبش جدید استفاده شده است و ماتریس‌های همدوسی و کوواریانس در پایه قطبش جدید بدست

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

آمده‌اند و با استفاده از آن‌ها پارامترهایی که بیشترین مقدار وابستگی با زیست توده را دارند به کمک روش هوش جمعی ذرات در حالت باینری استخراج شده‌اند.

روندنمای روش پیشنهادی در شکل(۴) آورده شده است.



شکل۴: روندنمای روش پیشنهادی

تصاویر موجود همان‌طور که قبلا نیز اشاره شد، تصاویر تمام پلاریمتری از سنجنده هوایی *SETHI* در باند *L* است که به کمک نرم افزار پلسارپرو[1]، پیش پردازش‌های لازم شامل ریجسترکردن، تصحیح اثر زمین مسطح و فیلتر کردن بر روی آن ها صورت پذیرفته است. به منظور زمین مرجع کردن تصاویر از نرم افزار آرک جی آس [2]استفاده شده است و سپس ماتریس‌های همدوسی و کوواریانس برای مناطق مطلوب استخراج شده‌اند. برای استخراج قطعات مورد نظر از نرم افزار آرک جی آس استفاده شده است و سپس با تغییر پارامترهای هندسی بیضوی (محدوده تغییرات پارامتر توجیه بیضوی بین ۰ تا ۱۸۰ درجه و محدوده تغییرات میزان بیضوی بودن بین ۴۵- تا ۴۵ درجه است) برای هر منطقه مطلوب پارامتر وضعیت قطبش ρ طبق رابطه(۸) بدست آمده است و با به‌کاربردن پارامتر وضعیت قطبش در ماتریس انتقال که از رابطه(۷) قابل محاسبه است ماتریس کوواریانس و همدوسی هر قطعه

[1] *PolSARpro*
[2] *ArcGIS*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

در پایه قطبش جدید استخراج شده است. یازده پارامتر پلاریمتری از ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی در پایه قطبش جدید استخراج شده‌اند و میزان وابستگی آن‌ها با زیست توده در تمامی پایه قطبش‌های حاصل مورد بررسی قرار گرفته است. میزان وابستگی قبل از تغییر پایه قطبش و بعد از آن با هم مقایسه شده است. به منظور انتخاب پارامترهای بهینه جهت تخمین زیست توده، از بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات در حالت باینری استفاده شده است و بعد از انتخاب پارامترهای بهینه به کمک معادلات رگرسیون خطی، مقدار زیست توده برای تمامی قطعات تخمین زده شده است. تابع هدف در روش هوش جمعی ذرات در حالت باینری خطای جذر میانگین مربعات[1] بین زیست توده حاصل از داده‌های زمینی و زیست توده تخمین زده شده از روش پیشنهادی است.

برای هر ذره مقادیر پارامترهای پلاریمتری استخراج شده از ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی بعد از تغییر پایه قطبش محاسبه شده است. پارامترهای کنترلی الگوریتم شامل C_1=۲، C_2=۲ و W=۱ است. بعد از تعداد تکرارهای مورد نیاز و دستیابی الگوریتم به همگرایی، پارامترهای بهینه به منظور تخمین زیست توده انتخاب می‌شوند.

۵- نتایج اجرایی الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله مقدار زیست توده به کمک انتخاب پارامترهای پلاریمتری بهینه استخراج شده از ماتریس‌های همدوسی و کوواریانس در پایه قطبش‌های مختلف به کمک بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات در حالت باینری تخمین زده شده است. به منظور تخمین زیست توده از معادلات رگرسیون خطی استفاده شده است و همه نتایج برای پیکسل های واقع شده در مناطق مطلوب بدست آمده است.

پارامترهای پلاریمتری استخراج شده از ماتریس کوواریانس و همدوسی در جدول (۲) نشان داده شده است. این پارامترها شامل عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس یا همان پارامترهای بردار لکزیکوگرافیک $\langle S_{HH}S_{HH}^*\rangle$،$\langle S_{HV}S_{HV}^*\rangle$،$\langle S_{VV}S_{VV}^*\rangle$، دو عنصر اول قطری ماتریس همدوسی $\langle|S_{HH}+|$،$\langle|S_{HH}-S_{VV}|^2$، $\langle|S_{VV}|^2$، نسبت عنصر دوم قطری ماتریس کوواریانس به عنصر اول قطری ماتریس همدوسی ($\frac{\langle S_{HV}S_{HV}^*\rangle}{\langle(S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^*\rangle}$)، نسبت عنصر دوم قطری ماتریس کوواریانس به عنصر سوم قطری آن $\frac{\langle S_{HV}S_{HV}^*\rangle}{\langle S_{VV}S_{VV}^*\rangle}$، مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس، پارامتر $|\delta|$ که قبلا معرفی شد و دو پارامتر $abs\langle S_{HH}S_{VV}^*\rangle$ و $arg\langle S_{HH}S_{VV}^*\rangle$ می‌باشد.

میزان همبستگی پارامترهای پلاریمتری استخراج شده و زیست توده در باند L و P در جدول (۲) قبل از تغییر پایه قطبش نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد قطبش HV حساسیت بالایی با ساختار تاج و شاخ و برگ درختان دارد، لذا در پارامترهایی که در آن‌ها بازپراکنش HV وجود دارد مقدار همبستگی خوبی با زیست توده در باند L مشاهده می‌شود. دو پارامتر $|\delta|$ و ($\frac{\langle S_{HV}S_{HV}^*\rangle}{\langle(S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^*\rangle}$)، بیشترین مقدار همبستگی را با زیست توده در باند L دارند. در پارامتر $|\delta|$ در صورت رابطه آن دو پارامتر $\langle|S_{hv}|^2\rangle$ و $\langle|S_{hh}-S_{vv}|^2\rangle$ وجود دارد که هر دو سهم بالایی در همبستگی با زیست توده دارند و در مخرج آن پارامتر $\langle|S_{hh}+S_{vv}|^2\rangle$ وجود دارد که بیانگر مکانیزم سطحی یا به نوعی سهم زمینی می‌باشد. پارامتر $\langle|S_{hh}-S_{vv}|^2\rangle$ نیز نسبت به پارامترهای دیگر همبستگی بالاتری با زیست توده نشان می‌دهد که دلیل آن منطقه مورد بررسی است که از نوع جنگل‌های شمالی می‌باشد و میزان نفوذ در آن بیشتر بوده و مقدار زیست توده در این مناطق کمتر است؛ لذا سهم مکانیزم‌های دوسطحی بین زمین و تنه درخت و یا زمین و شاخ و برگ‌های درختان بیشتر است. پارامتر $\frac{\langle S_{HV}S_{HV}^*\rangle}{\langle S_{VV}S_{VV}^*\rangle}$ نیز همبستگی خوبی با زیست توده دارد. پارامتر $\langle|S_{HH}+S_{VV}|^2$،که به مکانیزم‌های سطحی یا

[1] RMSE

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

به نوعی سهم زمینی برمی‌گردد؛ همبستگی پایینی با زیست توده نشان می‌دهد. شکل (۵) نمودار همبستگی بین پارامترهای استخراج شده با زیست توده در باند L را نشان می‌دهد.

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند P نسبت به باند L بیشتر است. همچنین همبستگی بین $HH\text{-}VV$ با زیست توده به مقدار قابل توجهی در باند P نسبت به L افزایش یافته است. این پدیده به‌دلیل طول موج بلندتر P نسبت به L می‌باشد که منجر به نفوذ بیشتر موج شده و در نتیجه تعامل بین تنه درخت و سطح زمین یا بین شاخ و برگ‌های درخت و سطح زمین را به طور قابل توجهی به دلیل مکانیزم‌های دوسطحی افزایش می‌دهد. از طرفی دیگر همان‌طور که در نتایج مشاهده می‌شود همبستگی بین $HH+VV$ با زیست توده در باند P نسبت به L کاهش یافته است. این مسأله به دلیل در نظر گرفتن سهم زمینی بیشتر در باند P با توجه به قابلیت نفوذ بیشتر این موج نسبت به باند L است. بنابراین همبستگی بین پارامتر $|\delta|$ و زیست توده در باند P در مقایسه با باند L بیشتر است.

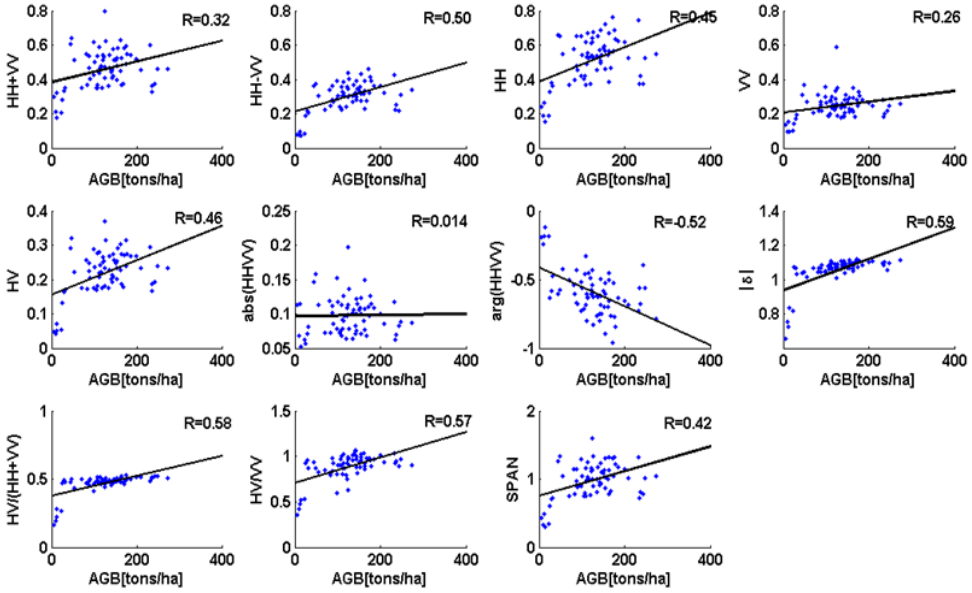
جدول۲: مقدار همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند L و P قبل از تغییر پایه قطبش از ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی

پارامترهای استخراج شده از اطلاعات پلاریمتری توسط ماتریس C و T بدون تغییر پایه قطبش	مقدار همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند L	مقدار همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند P
abs(HHVV)	۰/۰۱۴	۰/۳۰
arg(HHVV)	-۰/۵۲	۰/۴۱
$\|\delta\|$	۰/۵۹	۰/۷۷
HV/(HH+VV)	۰/۵۸	۰/۶۱
HV/VV	۰/۵۷	۰/۷۵
HH-VV	۰/۵۰	۰/۶۸
HH+VV	۰/۳۲	۰/۲۵
VV	۰/۲۶	۰/۱۷
HH	۰/۴۵	۰/۶۲
HV	۰/۴۶	۰/۳۹
SPAN	۰/۴۲	۰/۴۶

شکل(۶) نمودار همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری استخراج شده در باند P با زیست توده را نشان می دهد. کمترین مقدار همبستگی توسط شاخص *abs(HHVV)* با $R=۰/۰۱۴$ در باند L و شاخص VV با $R=۰/۱۷$ در باند P بدست آمده است. با تغییر پایه قطبش، امکان بررسی همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری استخراج شده با زیست توده در پایه قطبش دلخواه امکان پذیر است. افزایش در ضریب همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری استخراج شده و زیست توده بعد از تغییر پایه قطبش در جدول (۳) مشاهده می شود. متغیرهای مربوط به شاخص‌های پلاریمتری استخراج شده بعد از تغییر پایه قطبش در جدول (۳)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

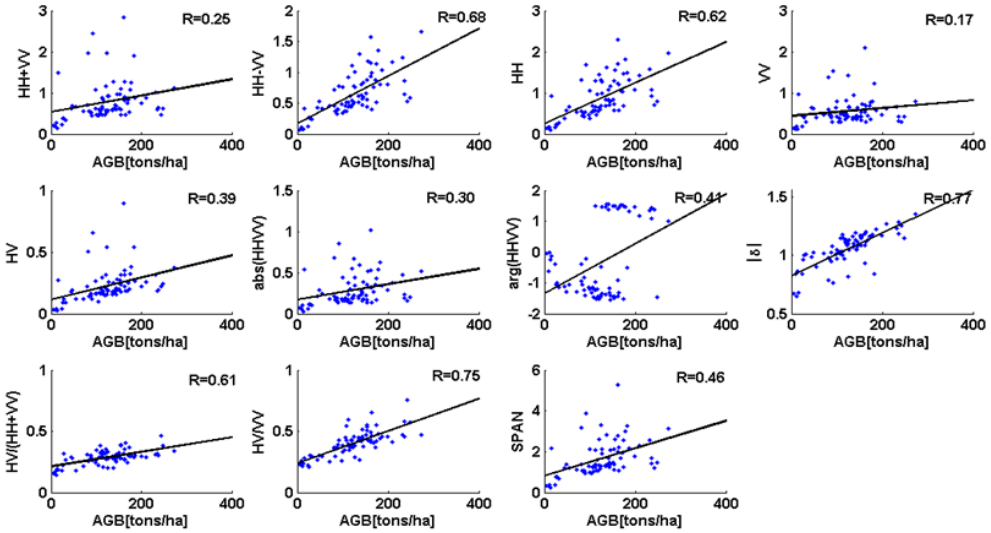
تغییر کرده است که دلیل آن تغییر پارامترهای دوران و توجیه بیضوی می‌باشد. شکل(۷) نمودار همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری استخراج شده در باند L با زیست توده را بعد از تغییر پایه قطبش نشان می‌دهد. مقدار پارامت*SPAN* یا *Trace(C)* (مجموع عناصر قطری ماتریس کوواریانس)، مستقل از دوران می‌باشد و از آنجا که تابعی از پارامترهای هندسی بیضوی نمی‌باشد و یک پارامتر از جنس اندازه را نشان می‌دهد قبل و بعد از تغییر پایه قطبش، ثابت باقی مانده است. همچنین کمترین مقدار همبستگی توسط این شاخص بعد از تغییر پایه قطبش در هر دو باند L و P بدست آمده است. بیشترین مقدار همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری و زیست توده در مقادیر φ و τ مشخصی اتفاق افتاده است که این مقادیر در جدول(۴) آورده شده است. بیشترین همبستگی بین *T(2,2)* و *C(2,2)* با زیست توده در دو محل که با هم اختلاف زاویه دوران ۹۰ درجه دارند اتفاق افتاده است. همبستگی بین شاخص‌های *C(1,1)* و*C(3,3)* با زیست توده نیز در زوایای دورانی که اختلاف ۹۰ درجه با هم دارند و مقادیر زوایای توجیه بیضوی آن‌ها قرینه است، اتفاق افتاده است. شکل(۸) نمودار همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری استخراج شده در باند P با زیست توده را بعد از تغییر پایه قطبش نشان می‌دهد.



شکل۵: نمودار همبستگی بین پارامترهای استخراج شده قبل از تغییر پایه قطبش با زیست توده در باند L

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]



شکل۶: نمودار همبستگی بین پارامترهای استخراج شده قبل از تغییر پایه قطبش با زیست توده در باند *P*

جدول۳: مقدار همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند *L* و *P* بعد از تغییر پایه قطبش از ماتریس‌های کووریانس و همدوسی

پارامترهای استخراج شده از اطلاعات پلاریمتری توسط ماتریس *C* و *T* با تغییر پایه قطبش	مقدار همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند *L*	مقدار همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در باند *P*
abs(C(1,3))	۰/۴۶	۰/۶۸
arg(C(1,3))	۰/۵۵	۰/۸۰
$\|\delta\|$	۰/۶۳	−۰/۸۵
C(2,2)/T(1,1)	۰/۶۳	۰/۸۵
C(2,2)/C(3,3)	−۰/۶۱	۰/۸۶
T(2,2)	۰/۵۱	۰/۷۲
T(1,1)	۰/۴۹	۰/۶۶
C(3,3)	۰/۵۰	۰/۷۱
C(1,1)	۰/۵۰	۰/۷۱
C(2,2)	۰/۵۱	۰/۶۹
Trace(C)	۰/۴۲	۰/۴۶

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

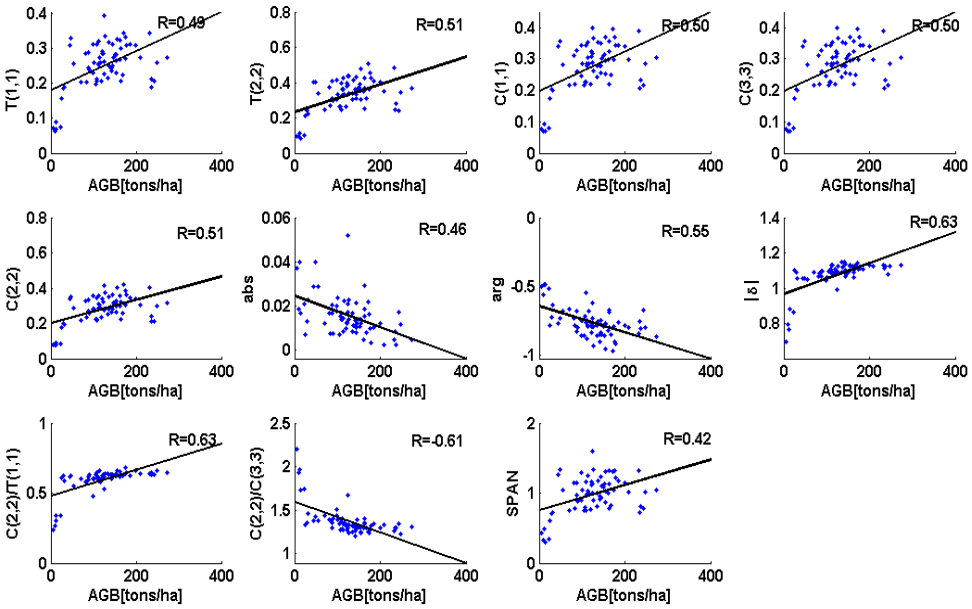
جدول۴: مقادیر φ و τ به ازای بیشترین مقدار همبستگی بین شاخص‌های پلاریمتری و زیست توده در باندهای P و L

شاخص‌های پلاریمتری	τ (بر حسب درجه) باند P	φ (بر حسب درجه) باند P	τ (بر حسب درجه) باند L	φ (بر حسب درجه) باند L
$abs(C(1,3))$	۳۸	۳۶	-۲۵	۱۶۰
$arg(C(1,3))$	۱۱	۷۰	-۱۲	۲۰
$\lvert\delta\rvert$	-۲۱	۶۴	۸	۱۷۶
$C(2,2)/T(1,1)$	۳	۱۶۴	-۶	۱۷۲
$C(2,2)/C(3,3)$	-۱	۱۳	-۲۹	۱۰۸
$T(2,2)$	-۸.۸	۸۰.۱۷۰	-۵.۵	۸۴.۱۷۴
$T(1,1)$	۱۶	۵۷	-۳۰	۹۲
$C(3,3)$	-۳۵	۱۰۰	۳۷	۶۰
$C(1,1)$	۳۵	۱۰	-۳۷	۱۵۰
$C(2,2)$	-۵.۵	۴۱.۱۳۱	-۵.۵	۳۳.۱۲۳
$Trace(C)$	-۱۹	۱۲۳	۳	۹۴

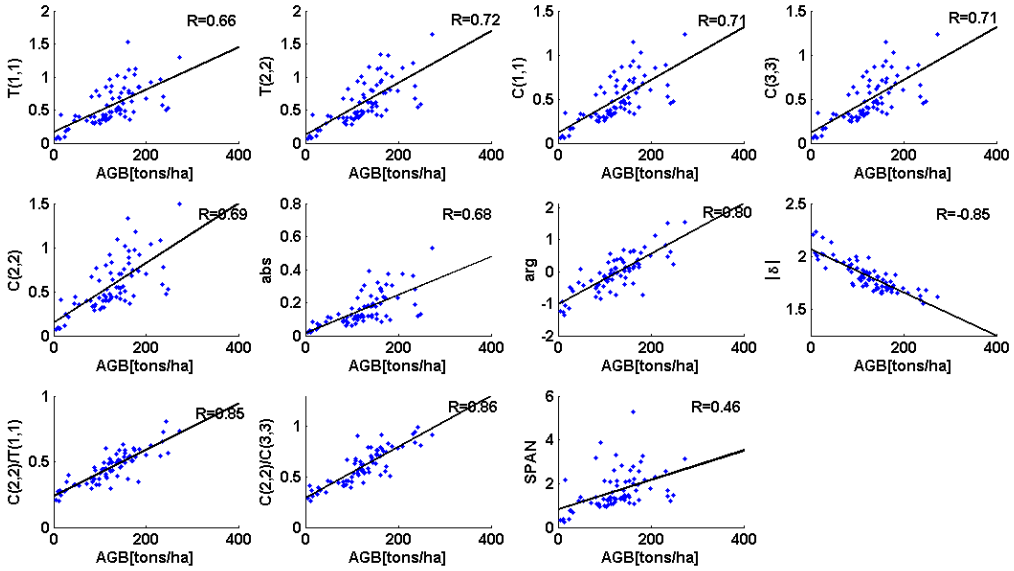
همان‌طور که قبلاً در بخش ۲-۳ اشاره شد، استفاده از پایه قطبش‌های مختلف منجر به تولید متغیرهای مختلفی می‌شود. بنابراین نیاز به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی جهت انتخاب پارامترهای پلاریمتری بهینه می‌باشد. روش‌های بهینه‌سازی مختلفی در سال‌های اخیر توسعه یافته است. روش بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات یکی از روش های بهینه‌سازی می باشد که به عنوان روشی مناسب جهت استخراج پارامترهای بهینه اثبات شده است[۲۸]. بنابراین روش بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات در این تحقیق استفاده شده است.

بعد از استخراج پارامترهای پلاریمتری به کمک تغییر پارامترهای دوران و توجیه بیضوی، با توجه به آنکه ۱۱ شاخص پلاریمتری استخراج شده است و زاویه دوران به اندازه ۹۰ درجه و زاویه توجیه بیضوی به اندازه ۱۸۰ درجه تغییر پیدا می‌کند. طول رشته باینری که برای بهینه‌سازی به روش هوش جمعی ذرات استفاده می‌شود ۱۸۰×۹۰×۱۱ می‌باشد. اندازه جمعیت ۳۰ انتخاب شده و وزن اینرشیا و ثابت‌های C_1 و C_2 به ترتیب ۱ و ۲ انتخاب شده است. همچنین r_1 و r_2 اعداد تصادفی بین صفر و یک در نظر گرفته شده است. بیشترین مقدار تکرار برای پایان دهی الگوریتم نیز ۲۰۰ انتخاب شده است. تابع هدف مینیمم کمترین مربعات بین زیست توده استخراج شده و زمینی در نظر گرفته شده است. در این روش مقدار صفر بیانگر حذف یک پارامتر پلاریمتری و مقدار یک انتخاب آن پارامتر پلاریمتری برای تخمین زیست توده است. در مرحله اول، طبق رابطه(۱۲)، $y_i(t)$ یا بهترین موقعیت مربوط به هر ذره که تاکنون به دست آورده است همان موقعیت حال ذره در نظر گرفته می‌شود و قسمت دوم رابطه (۱۲)، در مرحله اول حذف می‌شود با قرار دادن پارامترهای کنترلی در رابطه (۱۲)، سرعت ذره در هر مرحله بدست می‌آید و با قرار دادن در روابط (۱۳) و (۱۴)، موقعیت جدید ذره حاصل می‌شود. پارامترهای کنترلی بکار رفته برای انتخاب بهینه پارامترها به روش هوش جمعی ذرات در حالت باینری در جدول(۵) نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]



شکل۷: نمودار همبستگی بین پارامترهای استخراج شده بعد از تغییر پایه قطبش با زیست توده در باند *L*



شکل۸: نمودار همبستگی بین پارامترهای استخراج شده بعد از تغییر پایه قطبش با زیست توده در باند *P*

۶۹ منطقه مطلوب که اطلاعات آن‌ها به صورت فایل شکلی بوده و در قسمت داده‌ها توضیح داده شد برای تخمین زیست توده در این قسمت استفاده شده اند. از داده‌های موجود در ۳۵ منطقه مطلوب به عنوان داده‌های آموزشی استفاده شد. مقادیر پارامترهای پلاریمتری مختلف در پایه قطبش‌های مختلف برای

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

پیکسل‌های موجود در هر کدام از این مناطق استخراج شد و به کمک ضرایب استخراج شده توسط رگرسیون خطی و پارامترهای پلاریمتری بهینه انتخاب شده، برای ۳۴ منطقه مطلوب کنترلی باقیمانده زیست توده تخمین زده شد و صحت نتایج حاصل با زیست توده زمینی مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای پلاریمتری بهینه نهایی انتخاب شده در جدول(۶) نشان داده شده است.

جدول۵: پارامترهای کنترلی بکار رفته برای انتخاب بهینه پارامترها به روش هوش جمعی ذرات در حالت باینری

اندازه جمعیت	۳۰	وزن اینرشیا	۱
ماکزیمم تکرار	۲۰۰	ثابت C_1	۲
طول رشته باینری	۱۱×۹۰×۱۸۰	ثابت C_2	۲

جدول۶: پارامترهای پلاریمتری بهینه نهایی انتخاب شده

پارامترهای بهینه پلاریمتری در باند P	τ (بر حسب درجه) باند P	φ (بر حسب درجه) باند P	پارامترهای بهینه پلاریمتری در باند L	τ (بر حسب درجه) باند L	φ (بر حسب درجه) باند L
$\lvert\delta\rvert$	-۲۱ -۴۳،۱۲،۳۱،۲۷،	۶۴،۸۵،۱۲۴،۲۰،۵ ۳	$abs(C(۱.۳))$	۳۰،۱۸،۱۰	۴۵،۳۷،۱۲۸
$T(۲.۲)$	۸،۳۳	۱۷۰،۹۰	$arg(C(۱.۳))$	۴-۱۲	۴۱ ،۲۰
$arg(C(۱.۳))$	-۲۵،۱۱،۱۰	۷۰،۱۱۰،۵۸	$C(۲.۲)$	۲۷،۳۱،۴۴-۹	۶۲،۹۳،۷۱،۱۴۲
$C(۲.۲)/C(۳.۳)$	۳۰-۵	۱۴،۱۲۰	$T(۱.۱)$	-۱۳،۱۰	۵۴،۸۰
$C(۳.۳)$	۲۲،۱۶ ،۴۱-۳۵	۱۰۰،۸۹،۱۳۰،۷۲	$Trace(C)$	۳	۹۴
$C(۲.۲)/T(۱.۱)$	۲۶	۱۵۰	$\lvert\delta\rvert$	-۸،۱۸،۲۲	۱۷۶،۳۹،۱۶۷
			$C(۲.۲)/T(۱.۱)$	-۶،۱۸،۲۵،۸	۱۵۰،۲۹،۷۳،۲۰
			$C(۲.۲)/C(۳.۳)$	-۲۹،۱۵،۱۶-۱۰ ۷،۲۱،	۱۳۰،۱۹،۹۰،۷۸،۵۱،۸۰

همان‌طور که قبلا اشاره شد تابع هدف به عنوان کمینه کمترین مربعات بین زیست توده استخراج شده و زمینی در نظر گرفته شده است. اگر مقدار تابع هدف در هر مرحله کمتر از مراحل قبل باشد پارامترهای پلاریمتری انتخاب شده برای آن ذره به عنوان بهترین پارامترهای پلاریمتری آن ذره تا آن مرحله و موقعیت مربوط به آن ذره به عنوان بهترین موقعیت آن ذره تا آن مرحله در نظر گرفته شده است. علاوه بر آن موقعیت حاصل از کمترین مقدار تابع هدف برای تمامی ذرات به عنوان بهترین موقعیت کلی (بهترین موقعیت بین همسایگان ذره) در نظر گرفته شده است و این مراحل تا آنجا ادامه یافته که شرط توقف حاصل شود. شرط توقف همان‌طور که قبلا اشاره شد بر مبنای تعداد معینی تکرار صورت گرفته است و سپس پارامترهای پلاریمتری بهینه انتخاب شده به وسیله هوش جمعی ذرات جهت تخمین زیست توده استفاده شده و مقادیر متوسط زیست توده استخراج شده برای ۳۴ منطقه مطلوب کنترلی با زیست توده زمینی مقایسه شده است.

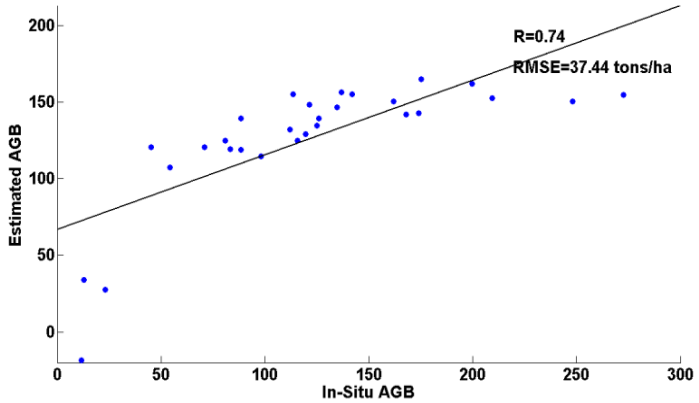
شکل‌های(۹) و (۱۰) نمودار زیست توده تخمین زده شده از پارامترهای استخراج شده قبل از تغییر پایه قطبش را بر حسب زیست توده استخراج شده از داده-

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

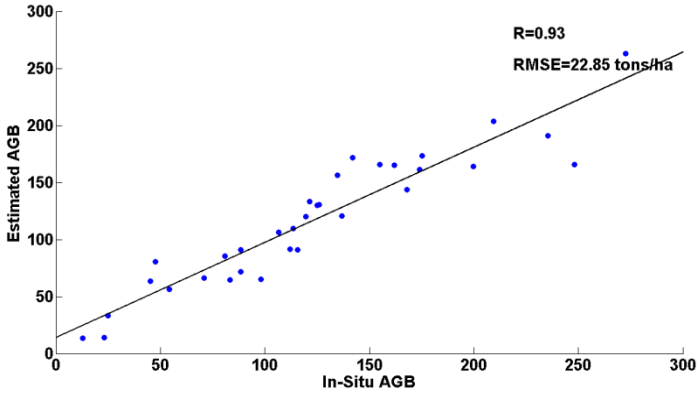
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

های زمینی در باندهای L و P نشان می‌دهد مقدار R=۰/۷۴ و $RMSE$= ۳۷/۴۴$tons/ha$ در باند L و R=۰/۹۳ و $RMSE$= ۲۲/۸۵$tons/ha$ در باند P بدست آمده است.

بعد از تغییر پایه قطبش و در نظر گرفتن کلیه حالات قطبش‌های ممکن برای پارامترهای استخراج شده و بررسی میزان همبستگی این پارامترها با زیست توده، پارامترهای بهینه از میان آن‌ها انتخاب گردیده و با رگرسیون خطی مقدار زیست توده تخمین زده شد. در باند L ، R نسبت به حالتی که تغییر پایه قطبش لحاظ نشده بود به مقدار ۶ درصد و در باند P به مقدار ۲ درصد بهبود داشته است. نمودار زیست توده تخمین زده شده از پارامترهای استخراجی بعد از تغییر پایه قطبش بر حسب زیست توده زمینی در باندهای L و P در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.



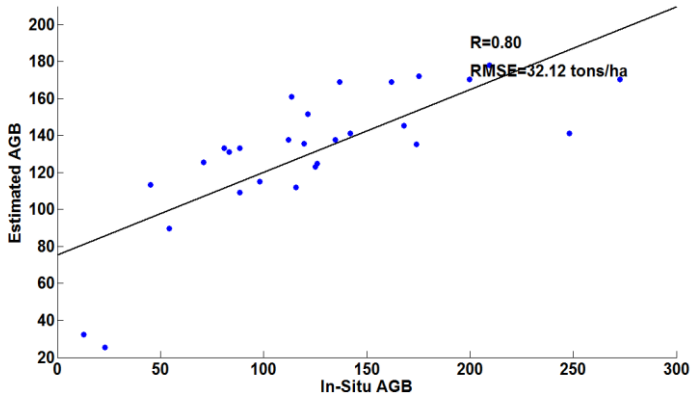
شکل۹: نمودار زیست توده تخمین زده شده از پارامترهای استخراج شده قبل از تغییر پایه قطبش بر حسب زیست توده استخراج شده از داده‌های زمینی در باند L



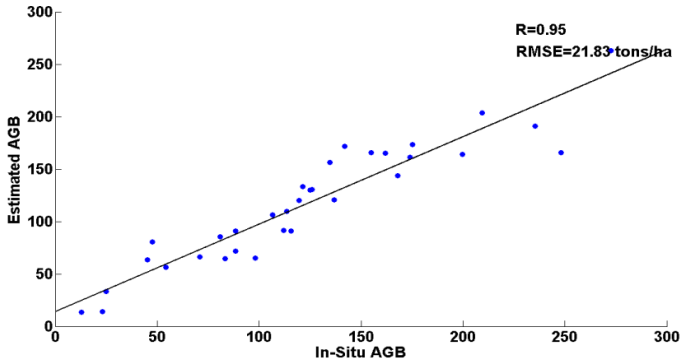
شکل۱۰: نمودار زیست توده تخمین زده شده از پارامترهای استخراج شده قبل از تغییر پایه قطبش بر حسب زیست توده استخراج شده از داده‌های زمینی در باند P

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]



شکل۱۱: نمودار زیست توده تخمین زده شده از پارامترهای استخراج شده بعد از تغییر پایه قطبش بر حسب زیست توده استخراج شده از داده‌های زمینی در باند L



شکل۱۲: نمودار زیست توده تخمین زده شده از پارامترهای استخراج شده بعد از تغییر پایه قطبش بر حسب زیست توده استخراج شده از داده‌های زمینی در باند P

۶- نتیجه‌گیری

به منظور تخمین زیست توده براساس بازپراکنش‌ها، از یک‌سری پارامترهای استخراج شده در پایه قطبش‌های مشخصی که توسط سنجنده ارسال و دریافت می‌شود، استفاده می‌شود. در این مقاله، پارامترهای پلاریمتری استخراج شده از ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی جهت تخمین زیست توده در تمامی پایه قطبش‌های ممکن بدست آمدند. بدین صورت که در ابتدا ماتریس‌های کوواریانس و همدوسی به کمک ماتریس انتقال در پایه قطبش جدید استخراج شدند و سپس پارامترهای استخراج شده در پایه قطبش جدید برای تخمین زیست توده استفاده شدند. به کمک روش هوش جمعی ذرات، پارامترهای بهینه انتخاب شد و توسط رگرسیون خطی مقدار زیست توده تخمین زده شد و با زیست توده حاصل از داده‌های زمینی مقایسه گردید. این مقایسه، برای مقادیر پیکسل های موجود در ۳۴ منطقه مطلوب صورت گرفت. میزان همبستگی بین زیست توده و پارامترهای استخراج شده در این حالت افزایش یافت و مقدار پارامتر R با تغییر پایه قطبش، در مقایسه با حالت بدون تغییر پایه قطبش و فقط استفاده از بازپراکنش‌ها در پایه قطبش‌های ارسالی و دریافتی توسط سنجنده، در باند L به مقدار ۶ درصد و در باند P به مقدار ۲ درصد بهبود یافت. برای تحقیقات آینده بررسی بهبود تخمین زیست توده با پارامترهای زیست فیزیکی در مناطق دیگر و به ویژه مناطق استوایی پیشنهاد می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

مراجع

[1] C. O. Stockle, J. R. Williams, N. J. Rosenberg, and C. A. Jones, "A method for estimating the direct and climatic effects of rising atmospheric carbon dioxide on growth and yield of crops: Part I—Modification of the EPIC model for climate change analysis," Agricultural Systems, vol. 38, pp. 225-238, 1992.

[2] R. Houghton, F. Hall, and S. J. Goetz, "Importance of biomass in the global carbon cycle," Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, vol. 114, 2009.

[3] H. Klinge, W. Rodrigues, E. Brunig ,and E. Fittkau, "Biomass and structure in a central Amazonian rain forest," in Tropical ecological systems, ed: Springer, 1975, pp. 115-122.

[4] G. Foody, "Remote sensing of tropical forest environments: towards the monitoring of environmental resources for sustainable development," International journal of remote sensing, vol. 24, pp. 4035-4046, 2003.

[5] D. Lu, "Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon," International Journal of Remote Sensing, vol. 26, pp. 2509-2525 ,2005.

[6] R. Nelson, W. Krabill, and J. Tonelli, "Estimating forest biomass and volume using airborne laser data," Remote sensing of environment, vol. 24, pp. 247-267, 1988.

[7] S. A. Sader, R. B. Waide, W. T. Lawrence, and A. T. Joyce, "Tropical forest biomass and successional age class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data," Remote Sensing of Environment, vol. 28, pp. 143IN1159-156IN2198, 1989.

[8] J. R. Santos, C. C. Freitas, L. S. Araujo, L. V. Dutra, J. C. Mura, F. F. Gama, et al., "Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest," Remote Sensing of Environment, vol. 87, pp. 482-493, 2003.

[9] M. Steininger, "Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia," International Journal of Remote Sensing, vol. 21, pp. 1139-1157, 2000.

[10] D. Zheng, J. Rademacher, J. Chen, T. Crow, M. Bresee, J. Le Moine. "Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA," Remote sensing of environment, vol. 93, pp. 402-411, 2004.

[11] M. Rahman, E. Csaplovics, and B. Koch, "Satellite estimation of forest carbon using regression models," International Journal of Remote Sensing, vol. 29, pp. 6917-6936, 2008.

[12] M. Schlerf, "Determination of structural and chemical forest attributes using hyperspectral remote sensing data—case studies in Norway spruce forests," Geography/Geosciences. sl: University of Trier, 2006.

[13] H. Balzter, C. S. Rowland, and P. Saich, "Forest canopy height and carbon estimation at Monks Wood National Nature Reserve, UK, using dual-wavelength SAR interferometry," Remote Sensing of Environment, vol. 108, pp. 224-239, 2007.

[14] M. C. Dobson, F. T. Ulaby, T. LeToan, A. Beaudoin, E. S. Kasischke, and N. Christensen, "Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass," IEEE Transactions on Geoscience and remote Sensing, vol. 30, pp. 412-415, 1992.

[15] K. Ranson and G. Sun, "Mapping biomass of a northern forest using multifrequency SAR data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 32, pp. 388-396, 1994.

[16] M. Santoro, J. Askne, G. Smith, and J. E. Fransson, "Stem volume retrieval in boreal forests from ERS-1/2 interferometry," Remote Sensing of Environment, vol. 81, pp. 19-35, 2002.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

[17] M. Santoro, C. C. Schmullius, L. Eriksson, and S. Hese, "The SIBERIA and SIBERIA-II projects: an overview," in International Symposium on Remote Sensing, 2003, pp. 247-256.

[18] C. Thiel, P .Drezet, C. Weise, S. Quegan, and C. Schmullius, "Radar remote sensing for the delineation of forest cover maps and the detection of deforestation," Forestry, vol. 79, pp. 589-597, 2006.

[19] A. Beaudoin, T. Le Toan, S. Goze, E. Nezry, A. Lopes, E. Mougin, et al., "Retrieval of forest biomass from SAR data," International Journal of Remote Sensing, vol. 15, pp. 2777-2796, 1994.

[20] P. S. Bharadwaj, S. Kumar, S. Kushwaha, and W. Bijker, "Polarimetric scattering model for estimation of above ground biomass of multilayer vegetation using ALOS-PALSAR quad-pol data," Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, vol. 83, pp. 187-195, 2015.

[21] D. Lu, Q. Chen, G. Wang, L. Liu, G. Li, and E. Moran, "A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems," International Journal of Digital Earth, vol. 9, pp. 63-105, 2016.

[22] M. Neumann, L. Ferro-Famil, and A. Reigber, "Estimation of forest structure, ground, and canopy layer characteristics from multibaseline polarimetric interferometric SAR data," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, pp. 1086-1104, 2010.

[23] E. J. Rignot, R. Zimmermann, and J. J. van Zyl, "Spaceborne applications of P band imaging radars for measuring forest biomass," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 33, pp. 1162-1169, 1995.

[24] S. S. Saatchi and M. Moghaddam, "Estimation of crown and stem water content and biomass of boreal forest using polarimetric SAR imagery," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 38, pp. 697-709, 2000.

[25] M. A. Tanase, R. Panciera, K. Lowell, S. Tian, J. M. Hacker, and J. P. Walker, "Airborne multi-temporal L-band polarimetric SAR data for biomass estimation in semi-arid forests," Remote Sensing of Environment ,vol. 145, pp. 93-104, 2014.

[26] H. Balzter, "Forest mapping and monitoring with interferometric synthetic aperture radar (InSAR)," Progress in Physical Geography, vol. 25, pp. 159-177, 2001.

[27] S. Ustin, vol. 4: Remote sensing for natural resource management and environmental monitoring, 2004.

[28] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "A discrete binary version of the particle swarm algorithm," in Systems, Man, and Cybernetics, 1997. Computational Cybernetics and Simulation., 1997 IEEE International Conference on, 1997, pp. 4104-4108.

[29] J.-S. Lee and E. Pottier, Polarimetric radar imaging: from basics to applications: CRC press, 2009.

[30] K. Tragl, "Polarimetric radar backscattering from reciprocal random targets," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 28, pp. 856-864, 1990.

[31] H. Petersson, "Biomassafunktioner för trädfaktorer av tall, gran och björk i Sverige," 1401-1204, 1999.

[32] L. M. Ulander, A. Gustavsson, P. Dubois-Fernandez, X. Dupuis, J. E. Fransson, J. Holmgren, et al",.BIOSAR 2010-A SAR campaign in support to the BIOMASS mission," in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International, 2011, pp. 1528-1531.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.4, Winter 2020

Research Paper

Improvement of Biomass Estimation in Forest Areas based on Polarimetric Parameters Optimization of SETHI airborne Data using Particle Swarm Optimization Method

Samira Hosseini*[1], Hamid Ebadi[2], Yaser Maghsoudi[3]

1- PhD student of photogrammetry, Faculty of geodesy and geomatic, K.N.Toosi University of technology
2- Associate Professor at photogrammetry and remote sensing department, K.N.Toosi University of technology
3- Assisstant Professor at photogrammetry and remote sensing department, K.N.Toosi University of technology

Abstract

Estimation of forest biomass has received much attention in recent decades. Airborne and spaceborne (SAR) have a great potential to quantify biomass and structural diversity because of its penetration capability. Polarizations are important elements in SAR systems due to sensitivity of them to backscattering mechanisms and can be useful to estimate biomass. Full Polarimetric Synthetic Aperture Radar (SAR) data used in this research was acquired by SETHI over Remningstorp, a boreal forest in south of Sweden. A new method based on Polarimetric indicators from covariance and coherency matrixes by changing the polarization basis using transformation matrix in the boreal forests at L and P-band is presented. The presented method showed its capability to improve forest biomass estimation. The correlation between biomass and extracted Polarimetric indicators is investigated before and after changing polarization basis. Particle swarm optimization in binary version is used to select optimum Polarimetric indicators and afterward biomass is estimated based on these optimum parameters. Results indicated that maximum correlation between biomass and Polarimetric indicators was in HV and HH-VV polarizations before changing polarization basis. After changing the polarization bases, the results show significantly higher correlation of biomass with the extracted polarization variables. The results have been improved approximately about 6% and 2% in L and P band respectively, after extraction of optimum parameters by particle swarm optimization and using linear regression model for estimation of forest biomass.

Key words: *Biomass Estimation, Backscatter, Particle Swarm Optimization, Polarimetry, Transformation Matrix.*

Correspondence Address *: The Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Mirdamad Blvd, Tehran, Iran*
Tel *: +98 88779473-4.*
Email*: shosseini@mail.kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.1]