



## برآورد زیست توده جنگل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SAR و اپتیک

محمدرضا رضانی<sup>۱</sup>، محمودرضا صاحبی<sup>۲\*</sup>

۱- دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
۲- استادیار دانشکده نقشه‌برداری، پژوهشکده سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۰۲

### چکیده

زیست توده جنگل‌ها و تخمین مقدار آن نقش بسزایی در تغییرات آب و هوا دارد. بدلیل محدودیت و زمانبر بودن روش‌های زمینی در تخمین زیست توده، روش‌های سنجش از دور جایگزین موثری برای روش‌های زمینی می‌باشد. در این تحقیق به منظور بهبود دقت برآورد میزان زیست توده جنگل نسبت به پژوهش‌های پیشین، از تصویر اپتیک AVNIR-2 و تصویر راداری PALSAR ماهواره‌ای ALOS و همچنین از داده‌های زمینی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران مربوط به منطقه‌ی شمالی خیرودکنار استفاده شده است. مراحل انجام این پژوهش را می‌توان در سه مرحله بیان کرد: ۱- استخراج ویژگی‌ها از تصاویر، ۲- انتخاب ویژگی به کمک الگوریتم ژنتیک، ۳- برآورد زیست توده با شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون از ویژگی‌های انتخابی می‌باشد. ارزیابی نتایج حاصل از اعمال شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون بر روی متغیرهای انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک، بیانگر دقت بالای ۷۰ درصد توسط شبکه عصبی و دقت حدود ۱۵ درصد توسط آنالیز رگرسیون در تخمین مقدار زیست توده است. به همین خاطر استفاده از شبکه عصبی به نحوی که در این تحقیق استفاده شده، برای جنگل‌های شمالی و با ساختار پیچیده پیشنهاد می‌گردد.

**کلید واژه‌ها:** برآورد زیست توده، سنجش از دور، تصاویر SAR و اپتیک، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی.

\* نویسنده مسئول: تهران خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۸۸۸۸۸۴۴۵ (۰۲۱) نمابر: ۸۸۷۸۶۲۱۳ (۰۲۱) تلفن همراه: ۰۹۱۲۱۵۹۲۵۸۱

## ۱- مقدمه

کربن اتمسفر به کمک فرآیند فتوسنتز به ماده زنده تبدیل می‌شود و دوباره با سازوکارهای انجام شده روی آن، به صورت دی اکسید کربن به اتمسفر باز می‌گردد. این روند در بازه های زمانی نسبتاً کوتاه تکرار شده و گیاهان به کار رفته در این چرخه به عنوان سوخت با گیاهان نسل جدید جایگزین خواهند شد. زیست توده جزئی از چرخه کربن می‌باشد و از این رو برآورد دقیق آن برای بسیاری اهداف از جمله تعیین محتوای گازهای گلخانه ای، محاسبه کربن زمین، مدل سازی تغییرات آب و هوا و اجرای پیمان نامه کیوتو کنوانسیون سازمان ملل متحد در مورد تغییرات اقلیمی مورد نیاز است. هم چنین زیست توده می تواند پارامتر مهمی در ارزیابی میزان استفاده تجاری از مراتع و جنگل ها به عنوان سوخت محسوب شود [۱].

روش سنتی برآورد زیست توده، استفاده از اندازه گیری های زمینی است. هزینه بالا، زمان بر و طاقت فرسا بودن جمع آوری داده های زمینی از محدودیت های روش سنتی می باشد و این روش را برای برآورد زیست توده ی مناطق با وسعت بالا، فوق العاده مشکل و پر هزینه می نماید. نمونه برداری زمینی برای برآورد میزان زیست توده در مقیاس های بزرگ به صرفه نیست و تنها جهت اطمینان از دقت و صحت برآورد میزان زیست توده به کمک استفاده از روش های سنجش از دوری به صورت محدود انجام می پذیرد.

محدودیت های اندازه گیری های زمینی در برآورد میزان زیست توده موجب افزایش تمایل به استفاده از سنجش دور برای حل این مساله شده است. امروزه داده های سنجش از دوری منبع اصلی برآورد میزان زیست توده محسوب می شوند [۲]. البته برآورد زیست توده از طریق داده های سنجش از دور نیز با چالش هایی روبرو می باشد. از جمله مسائل پیش رو استفاده از تصویر و پارامترهای تصویری مناسب به منظور برآورد زیست توده با دقت بالا می باشد [۳].

تحقیقات پیشین نشان داده که برآورد میزان زیست

توده بر اساس شناسه های اولیه ی طیفی در محدوده اپتیک و مادون قرمز به دلیل تاثیر بالای سایه ی تاج پوشش، ناهمگونی ساختاری گونه ها، تاثیر اندک استفاده از باندهای مختلف به تغییرات زیست توده در جنگل های انبوه با درختان بلند که موجب اشباع طیفی می شوند، محدودیت هایی در تخمین این پارامتر را بوجود می آورند [۱]. البته شاخص های گیاهی در به حداقل رساندن اثرات پس زمینه ی خاک، زاویه ی خورشید، زاویه ی دید سنجنده، پوشش گیاهی مسن و اتمسفر، موفق می باشند و عموماً دقت های کمتر از حد متوسط دارند و نهایتاً تا حدود ۶۵ درصد در برآورد زیست توده جنگل را نتیجه می دهند [۴]. از طرفی استفاده از فرکانس ها و پلاریزاسیون های مختلف در تصاویر ماکروویو فعال می توانند در بهبود دقت برآورد میزان زیست توده موثر باشند [۵]. چنانکه استفاده از ویژگی های مکانی تصاویر نظیر بافت هم قابلیت خود را جهت بهبود دقت نشان داده اند [۶].

اگرچه تصاویر اپتیک هنوز هم منابع اطلاعاتی پرترفداری محسوب می شوند، استفاده از تصاویر مایکروویو نیز با توجه به توانایی امواج مایکروویو در نفوذ به توده ی گیاهی و اندازه گیری زیست توده ی چوب درختان که در زیر پوشش شاخ و برگها قرار دارد، به سرعت در حال گسترش است [۲]. تحقیقات نشان داده است با ترکیب اطلاعات سنجنده های مختلف، نتایج امیدوار کننده تری در برآورد میزان زیست توده جنگل حاصل خواهد شد. در جنگل های گرمسیری استفاده از باند X (از سنجنده TerraSAR) و باند L (از سنجنده PALSAR) نتایج بهتری در تخمین زیست توده حاصل کرده است [۷].

تصاویر سنجنده های ALOS ANVIR-2 و SPOT-5 به تنهایی و به صورت تلفیقی جهت تخمین زیست توده منطقه جنگلی هنگ کنگ با ساختار ساده مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج استفاده از پارامترهای بافت و مشخصه های طیفی در شکل ۱ نشان می دهد که اولاً استفاده از پارامترهای بافت و ثانیاً استفاده از

الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده است. الگوریتم ژنتیک روشی مناسب برای جست و جو و بهینه‌سازی انتخاب یک ترکیب از ویژگی‌ها، برای برآورد هرچه دقیق‌تر میزان زیست توده می‌باشد. مدل برآورد میزان زیست توده ابتدا به کمک شبکه عصبی و سپس با آنالیز رگرسیون خطی توسعه داده شده است.

## ۲- منطقه مورد مطالعه و روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

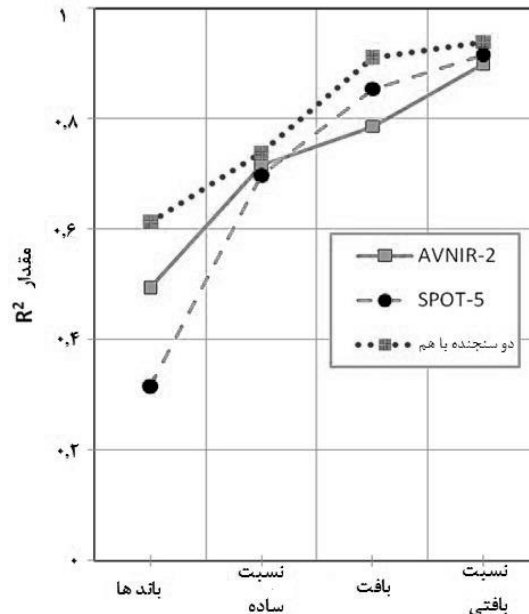
منطقه مورد مطالعه در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر (منطقه خیرودکنار) در استان مازندران واقع است. این منطقه دارای وسعتی در حدود ۸۰۱۷ هکتار می‌باشد و بین طول جغرافیایی  $51^{\circ} 32' 30''$  تا  $51^{\circ} 35' 30''$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 34' 30''$  و  $36^{\circ} 37' 30''$  قرار دارد. پوشش گیاهی منطقه از نوع درختان پهن برگ می‌باشد. جنگل‌های این نواحی از نوع جنگل‌های هیرکانی هستند که جز منحصر به فردترین انواع جنگل‌ها در دنیا می‌باشند و این منطقه نیز با وجود جنگل هیرکانی توپوگرافی منحصر به فردی نیز دارد. به نحوی که کمترین ارتفاع در این منطقه ۱۰ متر و بیشترین ارتفاع ۲۲۰۰ متر می‌باشد.

### ۲-۲- داده‌ها

داده‌های زمینی شامل اطلاعات درختان ۲۴۶ قطعه نمونه برداری شده، مربوط به چند بخش از جنگل می‌باشد. مساحت قطعات نمونه برداری شده برابر با ۱۰۰۰ مترمربع می‌باشد. داده‌های زمینی ذکر شده توسط گروه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در تابستان سال ۱۳۸۸ جمع‌آوری شده است.

با کمک اطلاعات برداشت شده زمینی مانند قطر برابر سینه، زیست توده هر قطعه محاسبه گردید. این مقدار زیست توده برای هر قطعه شامل تعدادی پیکسل در تصویر می‌شود که بستگی به قدرت تفکیک مکانی

ترکیب سنجنده‌ها، می‌تواند ما را به وابستگی بالاتری در تخمین زیست توده برساند [۱].



شکل ۱: مقایسه پارامترها و تلفیق سنجنده‌های مختلف در تخمین زیست توده [۱]

استفاده همزمان از داده‌های اپتیک و رادار نتایج بهتری در برآورد زیست توده را ارائه می‌دهد تا استفاده از هر یک از سنجنده‌ها به تنهایی [۲، ۵]. بر این اساس، در این تحقیق اطلاعات سنجنده‌های اپتیکی و SAR همزمان با یکدیگر برای برآورد زیست توده استفاده شدند. به جهت استفاده حداکثر از اطلاعات تصویر، چهار معیار بافت به نام کنتراست، همبستگی، ماکزیمم احتمال و انحراف معیار در تصویر SAR و میانگین باندها در دو تصویر اپتیک به کمک شبکه عصبی برای تخمین زیست توده جنگل‌های اطراف رضوانشهر در شمال ایران با یکدیگر ترکیب شدند.

این پژوهش نیز با ترکیب اطلاعات سنجنده‌های اپتیکی و SAR، درصد توسعه مدلی برای برآورد زیست توده جنگل می‌باشد. در این مقاله به منظور یافتن متغیرهای مناسب از مجموعه‌ی بالای متغیرها،

است. بر اساس این روندنا پس از تصحیح و زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای شامل یک تصویر اپتیک و یک تصویر SAR، مبادرت به استخراج متغیرها از این تصاویر شد. سپس ترکیب بهینه‌ای از ویژگی‌هایی که برای برآورد میزان زیست توده مناسبند توسط الگوریتم ژنتیک انتخاب شده و در ساختار شبکه عصبی، مدل برآورد میزان زیست توده توسعه یافت. در مرحله آخر نیز نتایج بدست آمده از مدل توسعه داده شده برای ارزیابی دقت و نتیجه گیری، با داده‌های زمینی مقایسه شدند.

متغیرهای انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک با آنالیز رگرسیون خطی جهت برآورد میزان زیست توده توسعه داده شدند. آنالیز رگرسیون یکی از متداولترین روش‌ها در برآوردها می‌باشد [۲]. سپس بررسی و مقایسه بهتر نتایج حاصل از روش توسعه داده شده با آنالیز رگرسیون خطی حاصل می‌شود.

تصویر دارد. به طور مثال قطعه‌ای با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در یک تصویر با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر دربرگیرنده ۱۰ پیکسل از تصویر می‌باشد که مجموع مقدار زیست توده در این پیکسل‌ها با توجه به داده‌های زمینی مشخص شده است.

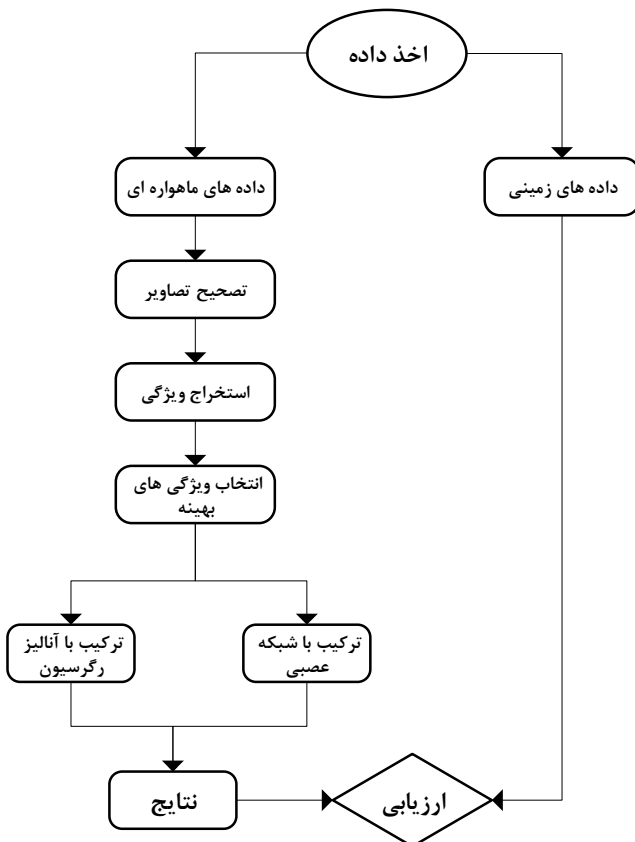
در این تحقیق از تصویر اپتیک مربوط به سنجنده‌ی AVNIR-2 ماهواره‌ی ALOS استفاده شده است. سنجنده‌ی AVNIR-2 یک سنجنده چند طیفی است و در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر تصویر برداری می‌نماید. تصویر مورد استفاده در تاریخ ۲ ژوئن ۲۰۰۸ از منطقه مورد نظر در سطوح استاندارد LB1 و LB2 اخذ شده و دارای کالیبراسیون رادیومتریکی و هندسی است. این تصویر دارای ۴ باند است. ۳ باند در محدوده مرئی یعنی قرمز، سبز و آبی و یک باند در محدوده فرورسرخ دارد.

تصویر مایکروویو اخذ شده از منطقه متعلق به سنجنده‌ی PALSAR ماهواره‌ی ALOS می‌باشد که در باند L داده اخذ می‌کند. این باند تا حد زیادی از شاخ و برگ‌ها عبور کرده و از تنه منعکس می‌شود. تصویر در تاریخ ۲۷ ژوئن ۲۰۰۸ در ساعت ۱۸ و ۵۸ دقیقه از منطقه اخذ شده است. تصویر مذکور دارای پلاریزاسیون‌های HH و HV می‌باشد.

### ۲-۳- روش تحقیق

در اکثر تحقیقات از جمله منابع [۱، ۲ و ۵] متغیرها برای برآورد میزان زیست توده بر اساس فرضیات محقق انتخاب می‌شدند و توسعه مدل برآورد میزان زیست توده به کمک این متغیرها بود. تابع مشخصی برای استخراج متغیرهای مناسب وجود ندارد که بتوان گفت متغیرهای استخراج شده بهترین متغیرها برای برآورد زیست توده هستند. بنابراین انتخاب متغیرهای مناسب مطابق با فرضیات محققان، به منظور بررسی قابلیت متغیرها در برآورد زیست توده صورت می‌پذیرفت.

روند کلی انجام پژوهش در روندنا (شکل ۲) ارائه شده



شکل ۲: روندنا کلی تحقیق

واریانس<sup>۱۹</sup>، همبستگی<sup>۲۰</sup>، عدم تجانس<sup>۲۱</sup>، همگنی<sup>۲۲</sup>، انرژی<sup>۲۳</sup> و آنتروپی<sup>۲۴</sup> بعنوان توصیف‌گرهای آماری بافت، نیز ده پارامتر بافتی را تشکیل می‌دهند [۱۵ و ۱۶]. بنابراین تعداد ویژگی‌های بافت در مجموع برابر ۶۰ می‌باشد.

تصویر مایکروویو سنجنده‌ی PALSAR ماهواره‌ی ALOS دارای پلاریزاسیون دوگانه‌ی HH و HV است. ویژگی‌های استخراج شده از این تصویر پراکنش‌های HH و HV به صورت جداگانه، نسبت پراکنش HV به پراکنش HH، میانگین پلاریزاسیون‌ها و همان ده پارامتر بافت اشاره شده در مورد تصویر اپتیک از دو تصویر پلاریزاسیون HH و HV می‌باشند. بنابراین تعداد متغیرهای استخراج شده از تصاویر اپتیک . SAR مطابق با جدول ۱) برابر با ۱۰۵ متغیر می‌شود.

جدول ۱ - تعداد متغیرهای استخراجی از تصاویر

تعداد	متغیرها
۷	شناسه های طیفی تصویر اپتیک (۶ پارامتر نسبت گیری و ۱ پارامتر میانگین)
۱۴	شاخص های گیاهی تصویر اپتیک
۶۰	پارامترهای بافت تصویر اپتیک
۴	پراکنش تصویر مایکروویو (۲ پارامتر پلاریزاسیون، میانگین و نسبت گیری)
۲۰	پارامترهای بافت تصویر اپتیک
مجموع متغیرهای استخراجی = ۱۰۵	

- 19 Variance
- 20 Correlation
- 21 Dissimilarity
- 22 Homogeneity
- 23 Energy
- 24 Entropy

## ۲-۳-۱- استخراج ویژگی

تصویر اپتیک سنجنده‌ی AVNIR-2 ماهواره‌ی ALOS دارای سه باند در محدوده مرئی و یک باند آن در محدوده NIR<sup>۱</sup> می‌باشد. به جای استفاده از اطلاعات باندها بهتر است از نسبت بین باندها استفاده کرد. بنابراین نسبت‌های باندی از اطلاعات چهار باند تصویر اپتیک، به صورت ۶ نسبت (۲/۱، ۳/۱، ۴/۱، ۳/۲، ۴/۲، و ۴/۳) محاسبه شده و مورد استفاده قرار گرفته است. میانگین مقدار چهار باند، پارامتر دیگری است که مفید می‌باشد. لازم به ذکر است نسبت و میانگین باندها در کم کردن خطا و نویز سنجنده می‌تواند موثر باشد. با در نظر داشتن محدودیت باندی تصویر چند طیفی، شاخص‌های مرتبط با زیست توده که شامل RDVI<sup>۲</sup>، SAVI<sup>۳</sup>، OS<sup>۴</sup>، SAVI<sup>۵</sup>، GEMI<sup>۶</sup>، MSR<sup>۷</sup>، SRI<sup>۸</sup>، NDVI<sup>۹</sup>، MS<sup>۱۰</sup>، SAVI<sup>۱۱</sup>، SARVI<sup>۱۲</sup>، ARVI<sup>۱۳</sup>، GNDVI<sup>۱۴</sup> و EVI<sup>۱۵</sup> استفاده شده است [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴]. همه‌ی این شاخص گیاهی از تصویر اپتیک استخراج شده و مورد استفاده قرار گرفته اند. دو پارامتر چولگی<sup>۱۶</sup> و محدوده داده<sup>۱۷</sup> و هشت پارامتر میانگین<sup>۱۸</sup>،

- 1 Near Infrared
- 2 Different Vegetation Index
- 3 Renormalized Difference Vegetation Index
- 4 Infrared Percentage Vegetation Index
- 5 Normalized Difference Vegetation Index
- 6 Simple Ratio Index
- 7 Modified Simple Ratio Index
- 8 Global Environmental Monitoring Index
- 9 Soil Adjusted Vegetation Index
- 10 Optimization of Soil Adjusted Vegetation Indices
- 11 Second Modified Soil Adjusted Vegetation Index
- 12 Atmospherically Resistant Vegetation Index
- 13 Soil adjusted Atmospherically Resistant Vegetation Index
- 14 Green Normalized Difference Vegetation Index
- 15 Enhanced Vegetation Index
- 16 Skewness
- 17 Data Range
- 18 Mean

## ۲-۳-۲- انتخاب ویژگی

بدیهی است با تکیه بر قابلیت‌های هر ویژگی نمی‌توان از بهینه بودن ترکیب ویژگی‌های انتخاب شده اطمینان حاصل کرد. چه بسا ویژگی به صورت فردی برای برآورد میزان زیست توده مناسب نباشد و با پوشاندن نقص کوچکی از یک مجموعه، در کیفیت کلی نتیجه‌ی نهایی بسیار تاثیر گذار باشند. با توجه به گستردگی فضای جستجو و نبود یک تابع شایستگی صریح، استفاده از روش‌های جستجوی بهینه، مناسب‌ترین راه به نظر می‌آید. در این پژوهش از روش جستجوی بهینه توسط الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن ترکیب بهینه از ویژگی‌ها برای برآورد میزان زیست توده استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه سازی است. متناسب با اهداف تحقیق متغیرهای انتخابی باید کمترین وابستگی با یکدیگر و بیشترین وابستگی با هدف (که در این تحقیق برآورد زیست توده است) را داشته باشند [۱۷]. بنابراین تابع شایستگی تبیین شده برای مساله، باید با وابستگی بین متغیر استخراجی و زیست توده نسبت مستقیم و با وابستگی بین متغیرهای استخراجی با یکدیگر نسبت عکس داشته باشد. تعریف تابع شایستگی که وابستگی بین متغیرهای با یکدیگر و وابستگی بین متغیرها با زیست توده را به صورت همزمان مورد ارزیابی قرار دهد پیچیدگی‌های بسیاری را به مسئله وارد می‌کند. بنابراین ابتدا وابستگی متغیرها با زیست توده بررسی می‌شود و فقط متغیرهایی که وابستگی آن‌ها بیشتر از قدر مطلق حد متوسط باشد وارد الگوریتم ژنتیک می‌گردد. با اعمال این شرط فقط ۵۰ متغیر از ۱۰۵ متغیر استخراجی وارد چرخه‌ی انتخاب الگوریتم ژنتیک می‌شوند. بنابراین در این صورت تابع شایستگی را می‌توان تنها بر اساس وابستگی متغیرها با یکدیگر تعریف نمود.

این تابع به کمک رابطه‌ی ۱ مشخص می‌شود.

1

رابطه (۱) وابستگی بین متغیرها = تابع شایستگی<sup>۱</sup> هر ترکیب از ویژگی‌ها توسط یک کد باینری ۵۰ ژنی به الگوریتم معرفی شده است که در آن یک نشانگر حضور و صفر نشانگر عدم حضور ویژگی در ترکیب است.

## ۲-۳-۳- شبکه عصبی

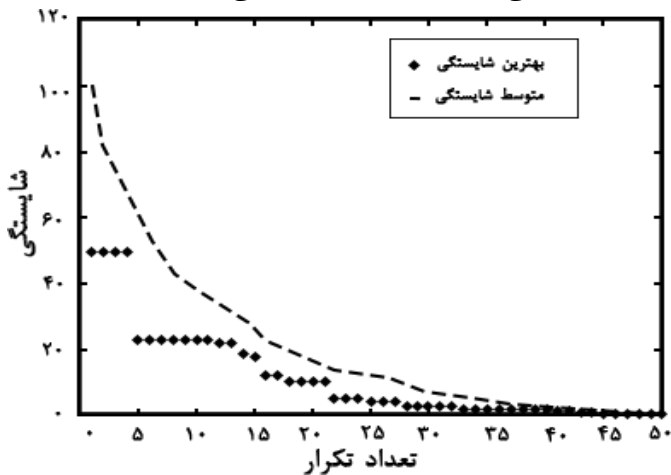
یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه عصبی، عدم وابستگی آنها به توزیع آماری داده‌های ورودی است. این ویژگی مهم شبکه‌های عصبی آنها را قادر به ترکیب اطلاعات دارای توزیع‌های مختلف می‌نماید که برتری ویژه‌ی آنها نسبت به روش‌های آماری است [۸]. شبکه‌های عصبی با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌توانند در استخراج الگوها و شناسایی رفتارهای گوناگونی که برای انسان و کامپیوتر شناسایی آن‌ها بسیار دشوار است، موفق عمل نمایند. جهت ترکیب متغیرهای انتخاب شده، از یک شبکه‌ی عصبی پرسپترون<sup>۲</sup> سه لایه استفاده شده است که توسط قاعده‌ی پس انتشار<sup>۳</sup> خطا آموزش داده می‌شود. این سه لایه عبارت از لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی که تعداد نرون‌ها در لایه ورودی برابر با ابعاد بردار ورودی و تعداد نرون‌ها در لایه خروجی برابر تعداد خروجی‌هایی است که شبکه عصبی بایستی آنها را مشخص کند و نرون‌های لایه مخفی نیز با سعی و خطا مشخص می‌گردد [۸] که در تحقیق حاضر خروجی شبکه همان مقدار زیست توده می‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق از یک نرون در لایه خروجی استفاده شده است. یکی از مهم‌ترین مراحل جهت توسعه مدلی برای برآورد میزان زیست توده آموزش شبکه می‌باشد و به نحوی که موفقیت شبکه عصبی وابسته به انجام صحیح این مرحله می‌باشد. با نرمال سازی نمونه‌های ورودی و خروجی مورد نظر

1 Fitness Function

2 Perceptron

3 Backpropagation

همگرا شده است. شکل ۳ مقدار شایستگی متوسط و بهترین شایستگی در مراحل تکرار را نشان می‌دهد.



شکل ۳: همگرایی الگوریتم ژنتیک

### ۱-۳- ترکیب ویژگی‌ها

در استفاده از شبکه عصبی غالباً تعداد نرون‌های لایه پنهان با سعی و خطا مشخص می‌شود. آزمایش مقادیر مختلف تعداد نرون برای لایه پنهان را نتیجه داده است. نمونه‌های آموزشی به صورت تکراری به شبکه عصبی ارائه می‌شوند تا اختلاف بین خروجی نرون و مقدار مطلوب کمتر از حد آستانه مورد نظر شود. برای برآورد زیست توده از مجموعه متغیرها حد آستانه ۰/۱ در نظر گرفته شد. شبکه عصبی با حد آستانه‌ی ۰/۱ پس از ۶۹ تکرار همگرا شد.

دقت کل برآورد زیست توده مطابق با خطای نسبی (جدول ۲) بالای ۷۰ درصد است. میانگین RMSE<sup>۳</sup> نیز مطابق جدول ۲ برابر با ۹/۶۷ در واحد زیست توده (Ton/Ha) است که وجود میانگین RMSE برابر با ۹/۶۷ نیز بیانگر این است که مجموع دقت برآورد زیست توده، حدود ۱۰ تن بر هکتار می‌باشد. انحراف معیار نیز برابر با ۸/۶۵ است.

جهت آموزش شبکه عصبی در بازه [۱-۱]، صد تکرار جهت اجرای شبکه در نظر گرفته شد. نمونه‌های آموزشی از ۱۹۶ پلات با پراکندگی مناسب در منطقه، انتخاب شدند.

جهت تست الگوریتم از ۴۱ نمونه که وارد فرآیند آموزش شبکه عصبی جهت برآورد زیست توده نشده بودند، استفاده شد. برای هر پلات خطای نسبی آن طبق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{خطای نسبی} = \left| \frac{\text{زیست توده برآورد شده} - \text{زیست توده واقعی}}{\text{زیست توده واقعی}} \right| \times 100$$

### ۲-۳-۴- آنالیز رگرسیون خطی

ویژگی‌های انتخابی توسط الگوریتم ژنتیک جهت مقایسه بهتر نتایج خروجی، توسط آنالیز رگرسیون خطی چندگانه به منظور برآورد میزان زیست توده ترکیب شده‌اند. آنالیز رگرسیون خطی در حالت کلی از رابطه ۳ تبعیت می‌کند [۱۸].

رابطه (۳)

$$Y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \quad i = 1 \dots n$$

در رابطه ۳ ضرایب رگرسیون،  $a_i (i = 0, 1, \dots, n)$  بردار خروجی و بردار  $Y_i (i = 0, 1, \dots, n)$  مقادیر ورودی نیز با  $x_i (i = 0, 1, \dots, n)$  مشخص می‌گردد. برای حل معادله فوق نیز باید مقادیر  $a_i$  ها با توجه به مقادیر ورودی و خروجی تعیین گردد.

### ۳- نتایج و بحث

جهت تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک تعداد ۵۰ کروموزوم برای جامعه‌ی اولیه تولید شده است و مقادیر ترکیب<sup>۱</sup> و جهش<sup>۲</sup> مربوط به الگوریتم ژنتیک به ترتیب روی ۰/۴ و ۰/۱ تنظیم گردیده‌اند. مقادیر مذکور بر اساس سعی و خطا بدست آمده است. با انتخاب این مقادیر، الگوریتم ژنتیک پس از چند تکرار

3 Root Mean Square Error

1 CrossOver  
2 Mutation

جدول ۲: جدول نتایج شبکه عصبی

خطای نسبی (%)	زیست توده بر آورد شده (Ton/Ha)	زیست توده (Ton/Ha)	شماره قطعه	خطای نسبی (%)	زیست توده بر آورد شده (Ton/Ha)	زیست توده (Ton/Ha)	شماره قطعه
۴۶/۴۲	۲۶/۱۲	۱۷/۸۴	۱۳۶	۴۱/۹۷	۵۴/۱۹	۳۸/۱	۱
۴/۸۱	۵۴/۸۴	۵۲/۳۲	۱۴۱	۵۲/۱۹	۳۱/۲۳	۶۵/۳۲	۶
۵۴	۲۴/۲	۵۲/۶	۱۴۶	۳۴/۱۱	۳۰/۵۸	۴۶/۴۲	۱۱
۷/۵۲	۲۷/۱۳	۲۵/۲۳	۱۵۱	۳۴/۷۵	۳۱/۶۹	۲۳/۵۲	۱۶
۵۵/۹۷	۲۴/۳۳	۵۵/۲۵	۱۵۶	۳۶/۲۱	۲۵/۹۸	۴۰/۷۳	۳۱
۳۰/۹۱	۲۸/۴	۴۱/۱۱	۱۶۱	۴/۵۸	۲۷/۳۲	۲۸/۶۳	۴۱
۱۵/۵۹	۵۰/۴۶	۵۹/۷۸	۱۶۶	۱۰/۶۳	۲۹/۱۸	۲۶/۳۸	۵۱
۱۹/۳۳	۵۳/۴۵	۴۴/۷۹	۱۷۶	۱۰/۸	۴۰/۵۸	۴۵/۴۹	۵۶
۱۸/۸۵	۵۵/۴۶	۴۶/۶۶	۱۸۱	۱۰/۰۹	۲۹/۷۵	۳۳/۰۹	۶۱
۵۳/۷۷	۲۶/۶	۵۷/۵۵	۱۹۱	۲۶/۲۸	۳۰/۳۸	۴۱/۲۱	۶۶
۳۷/۰۲	۲۵/۵۱	۴۰/۵۱	۱۹۶	۳۲/۹۶	۲۹/۳۶	۴۳/۷۹	۷۱
۲۶/۵۶	۲۸/۰۸	۲۲/۱۹	۲۰۱	۰/۵۵	۲۶/۱۷	۲۶/۰۳	۷۶
۴۶/۰۱	۳۰/۳۸	۲۰/۸۱	۱۰۶	۵۱/۶۶	۱۸/۸۱	۳۸/۹۱	۸۱
۲۹/۳۳	۲۷/۹۲	۳۹/۵۱	۲۱۱	۲۵/۳۲	۲۲/۶۳	۳۰/۳	۹۱
۲۹/۴۲	۲۱/۹۱	۳۱/۰۴	۲۱۶	۱۶/۷۴	۲۸/۴۳	۲۴/۳۵	۹۶
۴/۲۴	۲۲/۱۲	۲۱/۲۲	۲۲۱	۹/۷۵	۲۶/۱۱	۲۳/۷۹	۱۰۶
۰/۴۹	۲۹/۴۲	۲۹/۵۶	۲۲۶	۱۷/۷	۳۰/۹۹	۳۷/۶۵	۱۱۱
۱۲/۴۴	۲۸/۵۸	۳۲/۶۴	۲۳۶	۱۲/۲۴	۳۵/۳۴	۳۱/۴۹	۱۱۶
۱۷/۳۲	۲۴/۳۴	۲۰/۷۵	۲۴۱	۱۰/۲۹	۲۷/۵۴	۲۴/۹۷	۱۲۱
۲۸/۳۳	۲۵/۱۹	۱۸/۹	۲۴۶	۴۸/۳۷	۲۹/۷۹	۲۰/۰۸	۱۲۶
متوسط خطای نسبی = ۲۵/۵۴%				۱۶/۸۶	۲۹	۲۴/۸۲	۱۳۱
واریانس خطا = ۸/۶۵				خطای میانگین = ۹/۶۷			

برابر با بردار مقادیر زیست توده و پارامترها به عنوان بهترین پارامترها انتخاب گردید این ورودی به عنوان نودهای ورودی شبکه عصبی در لایه ورودی به این شبکه معرفی می شوند. جهت همسان سازی شرایط شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون این ۵ پارامتر در رگرسیون خطی مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین باید در مدل رگرسیون خطی ضرایب  $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$  تعیین گردد.  $Y_i$

با توجه به اینکه در بخش اعمال الگوریتم ژنتیک ۵ پارامتر به عنوان بهترین پارامترها انتخاب گردید این پارامترها به عنوان نودهای ورودی شبکه عصبی در لایه ورودی به این شبکه معرفی می شوند. جهت همسان سازی شرایط شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون این ۵ پارامتر در رگرسیون خطی مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین باید در مدل رگرسیون خطی ضرایب  $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$  تعیین گردد.  $Y_i$



ضریب  $R^2$  در آنالیز رگرسیون نشان دهنده مقدار برازندگی نمودار خطی برازش داده شده به داده‌ها می‌باشد و در بازه  $0 < R^2 < 1$  می‌باشد. هر چه  $R^2$  به یک نزدیکتر باشد برازش بهتر و هر چه به صفر نزدیکتر باشد برازش نامناسب می‌باشد. این مقدار در آنالیز رگرسیون فوق مندرج در جدول (۲)، نشان‌دهنده ضعیف بودن این برازش می‌باشد. نمودار (شکل ۴ شکل ۶) زیست توده برآورده شده به شیوه شبکه عصبی و روش آنالیز رگرسیون برای چند قطعه را مقایسه می‌کند.

### ۳-۲- آنالیز نتایج

دست یافتن به دقت بالای ۷۰ درصد در برآورد میزان زیست توده به کمک شبکه عصبی با وجود استفاده از تصویر با حد تفکیک مکانی و رادیومتریکی متوسط نشان می‌دهد که روش توسعه داده شده می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های زمینی موجود باشد. دقت برآورد ۷۰ درصد، دقت خوبی در برآورد میزان زیست توده برای منطقه جنگلی با ساختار پیچیده محسوب شود.

اگرچه با توجه به مقادیر واریانس و RMSE، در مواردی خطای نسبی مقدار بالایی دارد، اما می‌توان گفت شبکه عصبی توانایی بالایی در ترکیب اطلاعات داشته و می‌تواند دقت خوبی را حداقل نسبت به رگرسیون ارائه دهد. نمودار (شکل ۵) دقت برآورد میزان زیست توده بر حسب تعداد درختان در هر پلات را نشان می‌دهند. از بررسی میزان زیست توده در پلات‌های دارای خطای زیاد و میزان زیست توده پلات‌های دارای خطای مناسب، می‌توان به صورت کلی نتیجه گرفت خطا در پلات‌های با حجم زیست توده بالا، بیش از خطا در پلات‌های با حجم زیست توده پایین است.

- $X_3$ : شاخص گیاهی GNDVI تصویر اپتیک
- $X_4$ : پارامتر همگنی بافت از پراکنش HH تصویر میکروویو
- $X_5$ : پارامتر انرژی بافت از پراکنش HV تصویر میکروویو

نتیجه آنالیز رگرسیون خطی چند گانه جهت برآورد میزان زیست توده رابطه ۴ می‌باشد.

$$Y = 157.73 - 11.03X_1 - 167.93X_3 + 20X_4 + 18.43X_5$$

جدول (۳) پارامترهای آماری آنالیز رگرسیون انجام شده را ارائه می‌دهد.

جدول ۳: پارامترهای آماری

پارامتر آماری	مقدار عددی
مقدار $R^2$ ۱	۰/۲۴۷
مقدار $R^2$ ۲	۰/۰۶۱
سازگار شده $R^2$ مقدار	۰/۰۴۱
خطای استاندارد	۱۴/۴۱۵
تعداد مشاهدات	۲۴۶

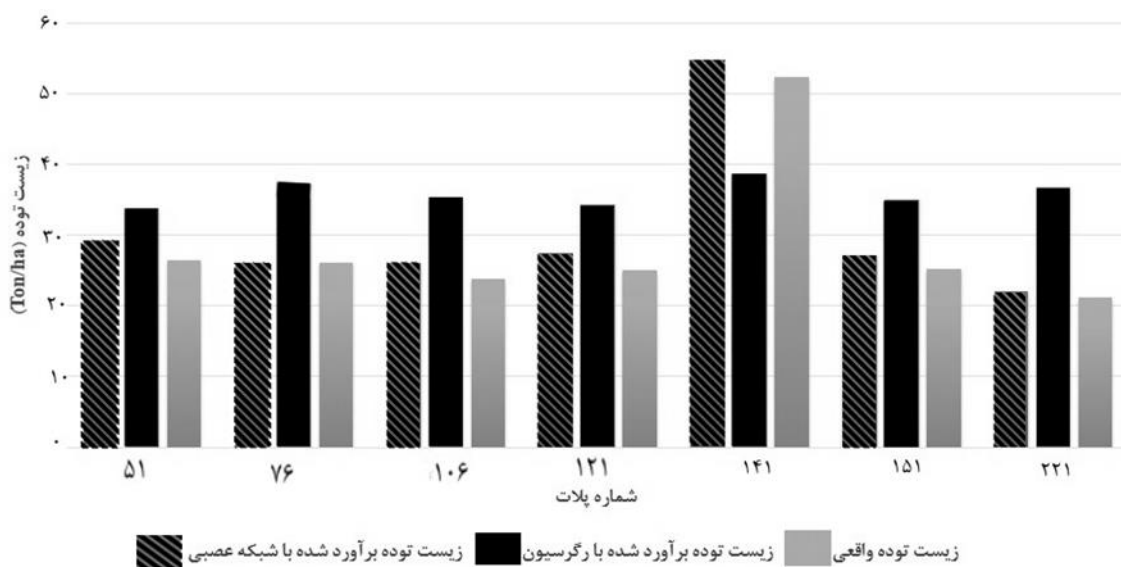
جدول (۴) نیز انحراف معیار ضرایب بدست آمده را نشان می‌دهد.

جدول ۴: انحراف معیار ضرایب رگرسیون

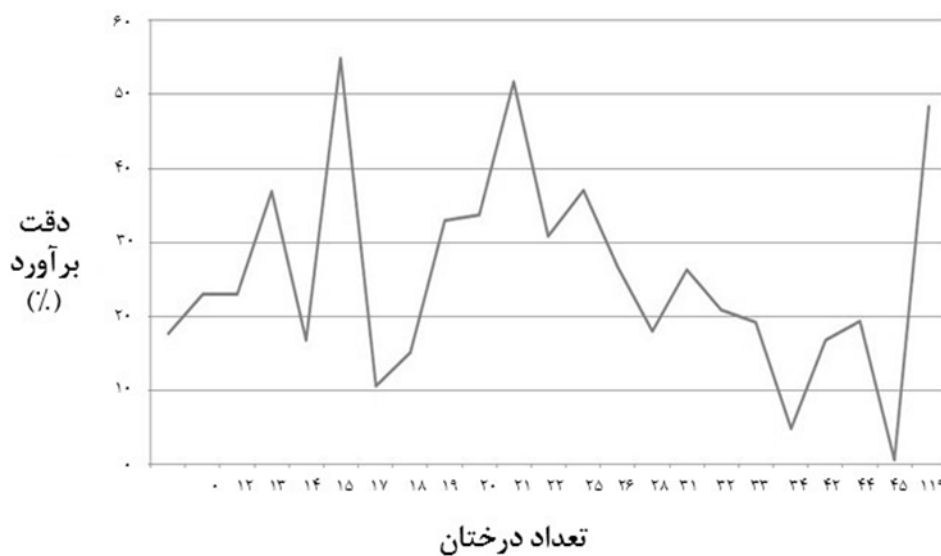
ضرایب	انحراف معیار	پارامتر
۱۵۷/۷۳	۹۲/۵۵	کلیه پارامترهای انتخابی
-۱۱/۰۳	۹/۱۹	همگنی در تصویر AVNIR
۰/۰۰	۰/۰۰	چولگی در تصویر AVNIR
-۱۶۷/۹۳	۱۱۳/۰۸	شاخص GNDVI در تصویر AVNIR
۲۰/۲۶	۹/۲۶	همگنی در تصویر SAR-HH
۱۸/۴۳	۱۲/۴۴	انرژی در تصویر SAR-HV

1 Residual

2 Coefficient of Determination



شکل ۴ - مقایسه بین برآورد زیست توده با شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون

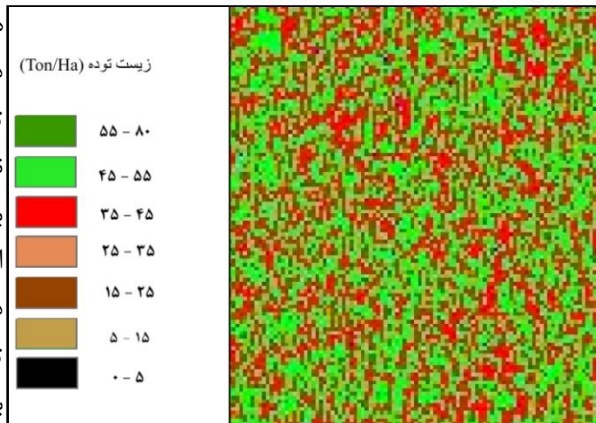


شکل ۵: دقت برآورد بر حسب تعداد درختان

ناشی از وجود نویز باشد. دقت ۷۰ درصد در این پژوهش با وجود تصاویر دارای قدرت تفکیک متوسط حاصل شد. بنظر اگر تصاویر دارای قدرت تفکیک بالا باشند دقت می‌تواند به بیش از ۷۰ درصد نیز برسد به دلیل اینکه متغیرهای بافت بدست آمده از تصویر با واقعیت موجود بیشتر سازگار بود. (شکل ۶) نقشه زیست توده محدوده ای از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن پیچیدگی کلی ساختار منطقه و اینکه با افزایش حجم زیست توده از دقت تخمین کاسته شده است حال می‌توان با توجه به اشباع سیگنال‌ها نسبت به تخمین زیست توده نتیجه گرفت قدرت تفکیک مکانی پایین داده‌های ماهواره ای موجب ضعف اطلاعات ویژگی‌های استخراج شده بوده و بر دقت برآورد حجم زیست توده تاثیر منفی دارد. همچنین خطای بالا در این پلات‌ها نیز می‌تواند

هر چند تعداد پارامترهای بدست آمده از تصاویر اپتیک در محاسبه زیست توده با روش پیشنهادی بیش از تعداد پارامترهای مستخرج از تصاویر SAR می‌باشد. نتایج بدست آمده با روش پیشنهادی هم چنین با نتایج بدست آمده از روش رگرسیون خطی مقایسه شد که این نتایج قابلیت بالاتری را نسبت به روش رگرسیون در محاسبه زیست توده نشان دادند. تصاویر با حد تفکیک مکانی و رادیو متریکی متوسط در این پژوهش بکار گرفته شد که بنظر می‌رسد استفاده از داده‌های با دقت بالاتر می‌تواند نتایج بهتری را در این زمینه ارائه می‌دهد.

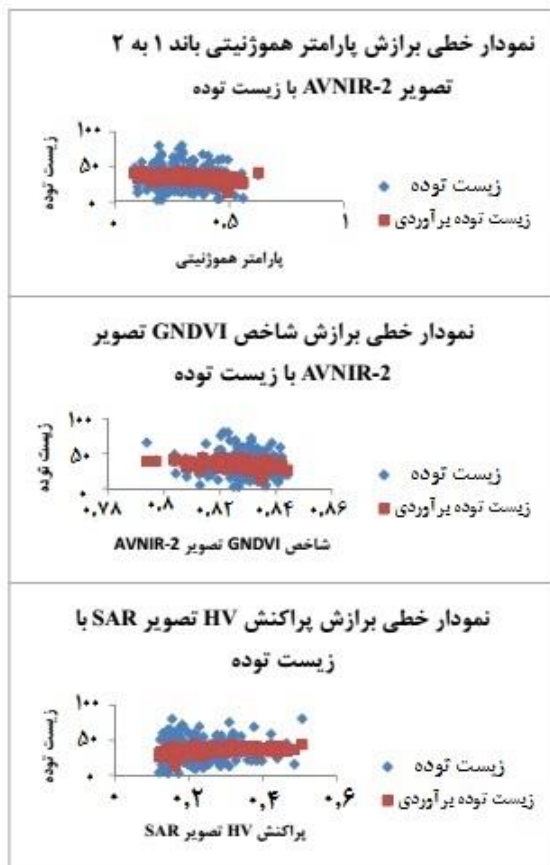


شکل ۶- نقشه زیست توده از منطقه دلخواه

از آنجا که گونه‌های درختی مختلف در میان پلات‌های با خطای زیاد و هم چنین پلات‌های با خطای مناسب مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که قدرت تفکیک مکانی در دقت محاسبه زیست توده یک پارامتر تاثیرگذار می‌باشد. همچنین دقت بالا در برداشت‌های زمینی و آنالیز پلات‌ها می‌تواند نقش مهمی در تعیین میزان خطای محاسبات را ایفا نماید. با توجه به آماره‌های بدست آمده از آنالیز رگرسیون خطی و دقت حدود ۱۵ درصد می‌توان نتیجه گرفت که رگرسیون در برآورد زیست توده با ویژگی‌های انتخابی ضعیف بوده و قابل مقایسه با نتایج شبکه عصبی دارای دقت بالاتر از ۷۰ درصد نمی‌باشد. شکل (۷) چند نمودار آنالیز رگرسیون برازش متغیرهای انتخابی با زیست توده را نمایش می‌دهد.

#### ۴- نتیجه گیری

در پژوهش ارائه شده تخمین زیست توده جنگل‌ها با استفاده از تصاویر سنجش از دوری و ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که روش پیشنهادی می‌تواند میزان زیست توده جنگل‌های انبوه و بلند را با دقت بالای ۷۰ درصد بدست آورد. تحلیل ویژگی‌های استخراج شده به کمک الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد، استفاده توأمان از دو تصویر SAR و اپتیک دقت مناسبی را در محاسبه زیست توده ارائه می‌دهد.



شکل ۷: نمودارهای آنالیز رگرسیون خطی

#### ۵- تقدیر و تشکر

از سازمان فضایی اروپا ESA<sup>1</sup> و دانشکده منابع طبیعی

<sup>1</sup> European Space Agency

و کشاورزی دانشگاه تهران نیز بخاطر در اختیار گذاشتن داده‌ها تشکر و قدردانی می‌نمایم.

### مراجع

- [1] J.E. Nichol, and M.L.R. Sarker, "Improved biomass estimation using the texture parameters of two high-resolution optical sensors", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49(3), 930-946, 2011.
- [2] N. Ghasemi, M.R. Sahebi, and A. Mohammadzadeh, "Biomass estimation of a temperate deciduous forest using wavelet analysis", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 51(2), 765-776, 2013.
- [3] G. Zheng, J. Chen, and Q. Tian, "Combining remote sensing imagery and forest age inventory", Journal of Environmental Management, 85(3), 616-623, 2007.
- [4] D.S Boyd, and F.M Danson, "Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development", Progress in Physical Geography, 29(1), 1-26, 2005.
- [5] J. Amini, and J.T. Sumantyo, "Employing a method on SAR and optical images for forest biomass estimation", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(12): 4020 - 4026, 2009.
- [6] T. Mette, K. Papathanassiou, and I. Hajnsek, "Biomass estimation from polarimetric SAR interferometry over heterogeneous forest terrain", IGARSS 04, September 20-24 Anchorage AK USA, 511-514, 2004.
- [7] S. Englhart, V. Keuck, and F. Siegert, "Aboveground biomass retrieval in tropical forests - The potential of combined X- and L-band SAR data use", Remote Sensing of Environment, 115(5), 1260- 1271, 2011.
- [8] D.L Civco, and Y. Wang, "Classification of multispectral, multitemporal, multisource spatial data using artificial neural networks", Proc 1994 Annual of ASPRS/ACSM Conv, Baltimore U.S.A, 123 -133, 1994.
- [9] J. Dong, R.K Kaufmann, R.B Myneni, and C.J. Tucker, "Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass", Remote Sensing of Environment, 84(3), 393-410, 2003
- [10] D. Boyd, G. Foody, and P. Curran, "The relationship between the biomass of Cameroonain tropical forests", International Journal of Remote Sensing, 20(5), 1017- 102, 1999.
- [11] J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering, "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS", Third ERTS Symposium, NASA SP-351 December 10-14 Washington U.S.A, 309-317, 1973.
- [12] N.M Azizi, and M. Hashim, "Mapping of urban above-ground biomass with high resolution remote sensing data", Forest Ecology and Management, November 12-16 Kuala Lumpur Malaysia, 1-7, 2003.
- [13] R. Madugundu, V. Nizalapur, and C.S. Jha, "Estimation of LAI and above-ground biomass", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10(2), 211- 219. 2008.
- [14] G.M. Foody, D.S. Boyd, and M.E. Cutler, "Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data", Remote Sensing of Environment, 85(4), 463-474, 2003.
- [15] M.L.R. Sarker, and J.E. Nichol, "Improved forest biomass estimates using ALOS AVNIR-2 texture indices", Remote Sensing of Environment, 115(4), 968- 977, 2011.
- [16] R.J. Dekker, "Texture analysis and classification of ERS SAR images for map updating of urban areas in the Netherlands", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(9), 1950-1958, 2003.
- [17] A. Haddadi, M.R. Sahebi, and A. Mansourian, "Polarimetric SAR feature selection using a genetic algorithm", Canadian Journal of Remote Sensing, 37(1), 27-36, 2011.
- [18] V. Cherkassky, and Y. Ma, "Multiple model regression estimation", IEEE Transactions on Neural Networks, 16(4), 785,798, 2005.



## Forest Biomass Estimation Using SAR and Optical Images

Mohamad Reza Ramezani<sup>1</sup>, Mahmood Reza Sahebi\*<sup>2</sup>

1- MSc in Photogrammetry, K.N. Toosi University of Technology.

2- Head of remote sensing research center, Assistant Prof. of Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology.

### Abstract

Forest biomass and estimate its value has a significant role in climate change. Because of land constraints and time-consuming methods to estimate biomass, using remote sensing is an effective alternative to terrestrial methods. In this study, in order to improve the accuracy of estimates of forest biomass to earlier research, optical image AVNIR-2 and PALSAR radar satellite ALOS images used with data from ground-based College of Agriculture, Tehran University of North region Kheiroudkenar. This study procedure respectively 1 - features extraction from images, 2 - select features using genetic algorithms, 3 - Biomass estimated with features selected by regression analysis and neural networks. Evaluating the results of the application of neural networks and regression analysis on the features selected by genetic algorithms, neural networks represent the accuracy over 70 percent and regression analysis represent the accuracy to about 15 percent. For this reason, the use of neural networks in a way that has been used in this study for the northern forests and the complex structures is recommended.

**Key words:** estimation of biomass, remote sensing, SAR and optical images, genetic algorithms, neural networks.