

## برآورد موجودی حجمی جنگل با استفاده از شاخص‌های بافتی تصاویر هوایی

هرمز سهرابی<sup>۱\*</sup>، سیدمحسن حسینی<sup>۲</sup> و محمود زبیری<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشگاه تربیت مدرس، نور. پست الکترونیک: hmsohrabi@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور.

۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۳

### چکیده

وجود خطاهای رادیومتریک متعدد در تصاویر هوایی موجب می‌شود که برآورد موجودی حجمی جنگل با استفاده از شاخص‌های طیفی از دقت زیادی برخوردار نباشد. در مقایسه با شاخص‌های طیفی، شاخص‌های بافتی پایداری بیشتری نسبت به این خطاها دارند. در تحقیق حاضر، برآورد موجودی حجمی جنگل براساس شاخص‌های بافتی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ۱۵۰ قطعه نمونه با طرح منظم- تصادفی (سیستماتیک) برداشت شد. تصاویر هوایی مورد استفاده در این تحقیق مربوط به دوربین UltraCamD و باندهای مورد استفاده شامل سبز، قرمز و مادون قرمز بود. شاخص‌های بافتی شامل گشتاور مرتبه دوم، تباین، آنتروپی و همگنی براساس پنجره‌های با ابعاد مختلف از تصاویر استخراج گردید. با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام، باند، شاخص و پنجره مناسب انتخاب گردید که براساس آن باند مادون قرمز، شاخص ناهمگنی و ابعاد پنجره ۳۱×۳۱ انتخاب شد. جذر میانگین مربعات خطای نسبی و اریبی نسبی به ترتیب ۴۳ و ۲ درصد بود. براساس نتایج این تحقیق، صحت برآورد موجودی حجمی با استفاده از شاخص‌های بافتی تصاویر هوایی، اگرچه برای اهداف نقشه‌کشی مناسب است، اما برای بکارگیری این روش در برنامه‌ریزی عملیات جنگل‌داری هنوز به تحقیقات بیشتری نیاز است.

واژه‌های کلیدی: موجودی حجمی جنگل، تصاویر هوایی، شاخص‌های بافتی، رگرسیون گام‌به‌گام.

### مقدمه

امروزه تحول‌های پایه‌ای در روشهای دورسنجی و فناوریهای رایانه‌ای امکان دستیابی به تصاویر با توانایی تفکیک بسیار زیاد (Very high resolution: VHR) را فراهم نموده است. تحقیق‌های مختلفی نیز برای بکارگیری این تصاویر جهت مهیا نمودن اطلاعات مختلف مورد نیاز برای مدیریت جنگل انجام شده است. در این میان موجودی حجمی جنگل اطلاعات با ارزشی را در اختیار جنگل‌داران قرار می‌دهد. یکی از روشهای معمول برای برآورد موجودی حجمی جنگل، استفاده از شاخص‌های طیفی است. اما در این نوع تصاویر به دلیل کوچک بودن

ابعاد زمینی پیکسل نسبت به پدیده موردنظر مانند درخت، یک پیکسل به سادگی گویای شدت (Intensity) یا ترکیب (Composition) طیفی پدیده مورد نظر (Object of interest) نیست (Holopainen & Wang, 1997). از طرف دیگر وجود خطاهایی مانند خطای بازتاب دوسویه (Bidirectional reflectance) سبب می‌شود برای یک پایه درخت مشخص دو وضعیت طیفی متفاوت در دو طرف تاج بوجود آید (Pellikka et al., 2000). خطای دیگر لکه داغی (Hot spot) است که به دلیل بازتاب نور خورشید در داخل زاویه مخروطی لنز دوربین بوجود می‌آید. این خطا موجب می‌شود که ارزش رقومی یک

تحقیق دیگری برآورد برخی از ویژگیهای توده با استفاده از شاخص‌های بافتی توسط Toueminen & Pekkarinen (2005) مطالعه شد. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که عمدتاً شاخص‌های مبتنی بر ویژگیهای بافتی تصاویر نسبت به شاخص‌های طیفی توانایی بیشتری در برآورد ویژگیهای موردنظر از جنگلهای مورد بررسی دارند. به‌علاوه این که صحت برآورد بین ضعیف تا متوسط گزارش شده است.

هدف تحقیق حاضر بررسی باند و شاخص بافتی مناسب و ابعاد بهینه پنجره برای استخراج بافت و برآورد موجودی حجمی جنگل با استفاده از شاخص‌های بافتی و بررسی دقت و صحت برآورد می‌باشد.

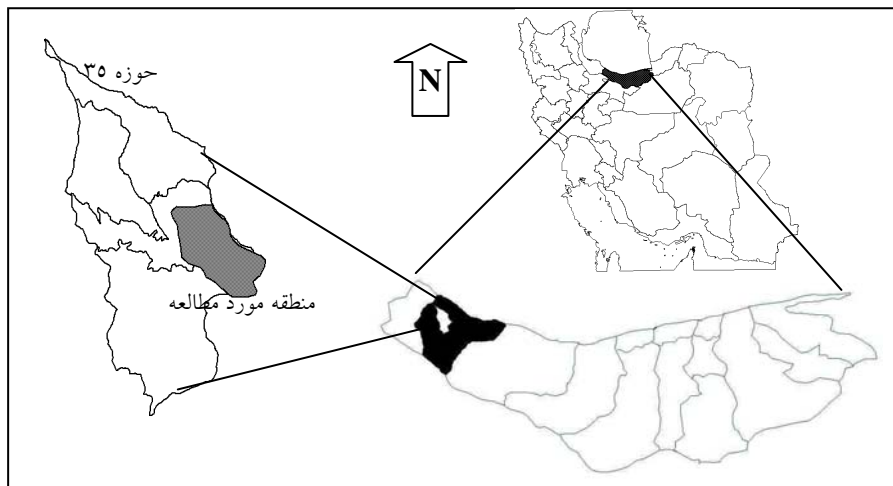
### مواد و روشها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگلهای لیره‌سر (حوضه آبخیز ۳۵، طرح جنگل‌داری طوبی) واقع در ۲۵ کیلومتری شهر تنکابن با حداقل و حداکثر طول جغرافیایی  $50^{\circ} 55' 18''$  تا  $50^{\circ} 59' 38''$  شرقی و حداقل و حداکثر عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 36' 48''$  تا  $36^{\circ} 40' 13''$  شمالی می‌باشد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۶۰۰ و حداکثر آن ۱۳۶۰ متر است (شکل ۱).

پیکسل برای پدیده‌های یکسان، در بخش‌های مختلف تصویر متفاوت باشد (Li & Strahler, 1992). این محدودیت‌ها در عمل، برآورد مشخصه‌های آماربرداری را با استفاده از شاخص‌های طیفی محدود می‌نماید. یک راهکار استفاده از شاخص‌های بافتی (Textural indices) است.

ویژگیهای مکانی تصاویر اَبَر مکانی (Hyper spatial) حاوی اطلاعات ارزشمندی در زمینه تفسیر تصاویر هوایی در علوم جنگل هستند (Bruniquel-Pinel & Gastellu-Etchegorry, 1998). یکی از این ویژگی‌ها اطلاعات مربوط به بافت تصویر است. بنابه تعریف، بافت عبارت است از تنوع مکانی تن (Tone)های تصویر (Haralick et al., 1973). تاکنون تحقیق‌های مختلفی در زمینه استفاده از شاخص‌های بافتی برای اهداف مختلف انجام شده است. طبقه‌بندی آماربرداری جنگل (Maudie, 1999)، شناسایی تک‌درختان (Samal et al., 2006)، بررسی تغییرات پوشش چوبی (Hudak & Wessman, 1998)، ویژگیهای ساختاری جنگل (Kayitakire et al., 2006) و تهیه نقشه جنگل (GE et al., 2006) از جمله کاربردهایی است که براساس داده‌های بافتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در تحقیقی برآورد مشخصه‌های عملیاتی جنگل‌داری با استفاده از شاخص‌های بافتی توسط Wiebe (1998) مورد بررسی قرار گرفت. برآورد حجم توده با اطلاعات مکانی توسط Anttila (2001) بررسی شد. در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

## تصاویر مورد استفاده

تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به دوربین UltraCamD بود که از سازمان جغرافیایی ارتش خریداری گردید. این تصاویر در ۲۸ مردادماه ۱۳۸۵ در ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متر از سطح زمین برداشت شدند.

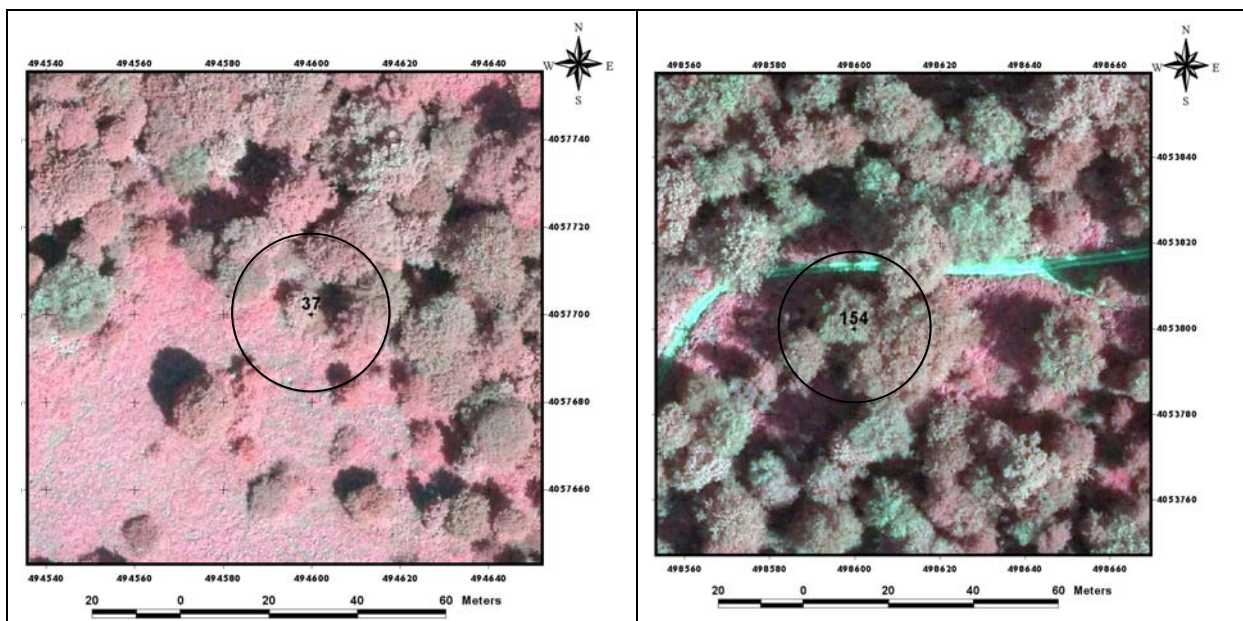
فاصله کانونی این دوربین ۱۰۱/۴ میلی‌متر و تصویرهای آن  $۱۱۵۰۰ \times ۷۵۰۰$  پیکسل با ابعاد ۹ میکرون می‌باشند. باندهای اخذ تصویر در این دوربین شامل آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز است (جدول ۱).

جدول ۱- نام و مشخصات باندهای UltraCamD مورد استفاده در این تحقیق

نام باند	طول موج (نانومتر)
آبی	۴۲۸-۴۹۲
سبز	۵۳۳-۵۸۷
قرمز	۶۰۸-۶۲۲
مادون قرمز	۷۰۳-۷۵۷

تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از داده‌های GPS/IMU به کمک نقاط گره‌ای (Tie point) و الگوریتم انطباق تصویر (Image Matching) انجام شد. مدل رقومی زمین مورد استفاده در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور بود. متوسط ابعاد زمینی واقعی پیکسل‌های این تصاویر ۱۴ سانتی‌متر بود که به منظور

هموارسازی (Smoothing) تصویر با نمونه‌برداری مجدد (Resampling) به روش نزدیکترین همسایه (Nearest Neighbor) به ۱ متر تبدیل شد. موزاییک تصاویر به شکلی انجام شد که حداکثر سطح نزدیک مرکز شاقولی تصاویر مورد استفاده قرار گیرد. نمونه تصاویر هوایی در محل قطعات نمونه در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- تصویر هوایی دو قطعه نمونه اندازه‌گیری شده بر روی زمین (نمونه‌های ۱۵۴ و ۳۷)

### شاخص‌های بافت

شاخص‌های گشتاور مرتبه دوم (Second moment)، تباین (Contrast)، همگنی (Homogeneity) و آنتروپی (Entropy) برای هر سه باند بر مبنای ماتریس هم‌وقوعی (Co-occurrence matrix) استخراج گردیدند. به منظور پیداکردن پنجره مناسب برای استخراج این شاخص‌ها، پنجره‌هایی با ابعاد ۱۵×۱۵، ۱۹×۱۹، ۲۳×۲۳، ۲۷×۲۷، ۳۱×۳۱ و ۳۵×۳۵ پیکسل در نظر گرفته شد. این ابعاد از محدوده داخلی قطعه نمونه (۱۵×۱۵ پیکسل) تا محدوده‌ای برابر مساحت قطعه نمونه (۳۵×۳۵ پیکسل) را در بر می‌گرفتند. معادلات مربوط به هر یک از شاخص‌های بافتی مذکور در روابط ۱ تا ۴ آمده است.

$$SEM = \sum_q \sum_r p^2(q,r) \tag{1}$$

گشتاور مرتبه دوم

$$CON = \sum_q \sum_r (q-r)^2 * p(q,r) \tag{2}$$

تباین

$$ENT = \sum_q \sum_r p(q,r) * \log(p(q,r)) \tag{3}$$

آنتروپی

$$HOM = \sum_q \sum_r \frac{p(q,r)}{1+(q-r)^2} \tag{4}$$

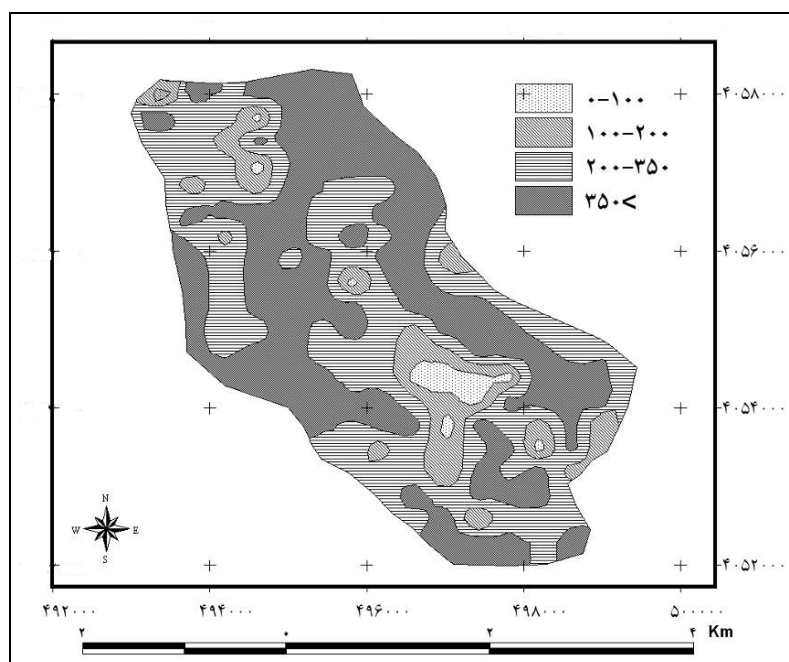
همگنی

که در آنها  $p(q,r) = M(q,r)/Nt$  ماتریس هم‌وقوعی پیکسل‌های  $q$  و  $r$  و  $Nt$  تعداد جفت‌های ممکن در پنجره تصویر می‌باشد.

### نمونه‌برداری زمینی

آماربرداری از این منطقه به صورت منظم- تصادفی با شبکه‌ای به ابعاد ۴۰۰×۳۰۰ متر انجام شد. تعداد ۱۵۰ نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۰/۱ هکتار برداشت شد. به منظور اندازه‌گیری دقیق نمونه‌ها در رابطه با تصاویر مورد استفاده، تصاویر متناظر با نمونه‌ها چاپ و در عرصه به کمک سامانه تعیین موقعیت جهانی (GPS) و تصویر محل قطعه نمونه، با حداکثر دقت ممکن برداشت شد. در هر یک از این نمونه‌ها، گونه و قطر برابر سینه برای همگی درختان نمونه و ارتفاع و قطر تاج برای سه درخت نزدیک به مرکز و قطورترین درخت اندازه‌گیری شد. با استفاده از جدول‌های حجم دوعامله جنگلهای منطقه نوشهر (بی‌نام، ۱۳۸۱)، حجم درختان شاهد محاسبه گردید و به کمک رابطه رگرسیونی بدست آمده از درختان شاهد  $(V(m^3) = 0.0427 - 0.01494 DBH_{cm} + 0.001305 DBH_{cm}^2, r = 0.98)$

حجم سایر درختان و حجم در قطعه نمونه بدست آمد. شکل ۳ نشان‌دهنده نقشه حجم منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۳- نقشه موجودی حجمی (مترمکعب در هکتار) منطقه مورد مطالعه

شده در معادله بدست‌آمده قرار داده شد و براساس نتایج معادله رگرسیونی، مشخصه‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE: Root Mean Square Error)، جذر میانگین مربعات خطای نسبی، اریبی (Bias) و اریبی نسبی محاسبه گردید. معادلات هر یک از این مشخصه‌ها به صورت روابط ۵ تا ۸ است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE_r = \frac{RMSE}{\bar{y}} * 100 \quad (6)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \quad (7)$$

$$Bias_r = \frac{Bias}{\bar{y}} * 100 \quad (8)$$

### روشهای آماری

برای انتخاب متغیر مناسب و مدل‌سازی آماری از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. این روش ترکیبی از روشهای پیشرو و پسرو است که در مواردی که متغیرهای مستقل مورد استفاده همبستگی درونی دارند روش مناسب‌تری است. برای بررسی مناسب بودن خط برازش داده شده به ابر نقاط، از بررسی گرافیکی باقیمانده‌ها استفاده شد. به‌علاوه داده‌های پرت (داده‌هایی که باقیمانده آنها سه برابر انحراف معیار مدل است) شناسایی و درباره حذف یا عدم حذف آنها براساس نحوه قرارگیری در ابر نقاط تصمیم‌گیری شد.

معیارهای اعتبارسنجی در این تحقیق عبارت بودند از: انحراف معیار مدل برازش یافته، تحلیل واریانس رگرسیون، آزمون t برای ضرایب بدست‌آمده، تبعیت توزیع مقادیر باقیمانده‌ها از توزیع نرمال و نحوه توزیع آنها در مقابل مقادیر برازش یافته. نمونه‌های کنار گذاشته

### انتخاب پنجره

در این قسمت شاخص ناهمگنی باند مادون قرمز برای انتخاب ابعاد پنجره شامل  $15 \times 15$ ،  $19 \times 19$ ،  $23 \times 23$ ،  $27 \times 27$ ،  $31 \times 31$  و  $35 \times 35$  پیکسل مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام ابعاد پنجره  $31 \times 31$  پیکسل انتخاب گردید. بنابراین برای مدل‌سازی موجودی حجمی براساس شاخص‌های بافت، از شاخص همگنی باند مادون قرمز استخراج شده از پنجره  $31 \times 31$  پیکسل استفاده شد.

### مدل‌سازی رگرسیونی

با توجه به ابر نقاط موجودی حجمی در مقابل شاخص ناهمگنی باند مادون قرمز مستخرج از پنجره  $31 \times 31$  پیکسل، از رگرسیون تک‌متغیره خطی استفاده شد. به دلیل آن که رابطه شاخص همگنی باند مادون قرمز با موجودی سرپا منفی بود، مقدار عرض از مبدأ مدل رگرسیونی بسیار زیاد می‌شد. به منظور اصلاح این مسئله از معکوس شاخص بافت (شاخص بافت: ۱) استفاده شد. نتایج نشان داد که ایجاد چنین مدلی در سطح ۹۹ درصد اطمینان معنی‌دار است. اما آزمون  $t$  حکایت از عدم معنی‌داری عرض از مبدأ داشت. بنابراین از رگرسیون عبور مبدأ مختصات استفاده شد. به طوری که نتیجه آزمون  $t$  برای شیب خط بدست‌آمده، اختلاف ضریب با صفر را تأیید نمود (جدول ۲). همچنین براساس تحلیل باقیمانده‌ها، تعداد ۸ نمونه به‌عنوان داده‌های پرت شناسایی و حذف گردیدند.

که در آنها  $y_i$ : مقدار واقعی مشاهده  $i$ ،  $\bar{y}$ : مقدار برآوردی مشاهده  $i$ ، میانگین مشاهدات واقعی و  $n$ : تعداد مشاهدات می‌باشد.

تعداد ۳۰ نمونه به‌منظور احراز اعتبار مدل به‌صورت تصادفی انتخاب و از فرایندهای مدل‌سازی کنار گذاشته شدند.

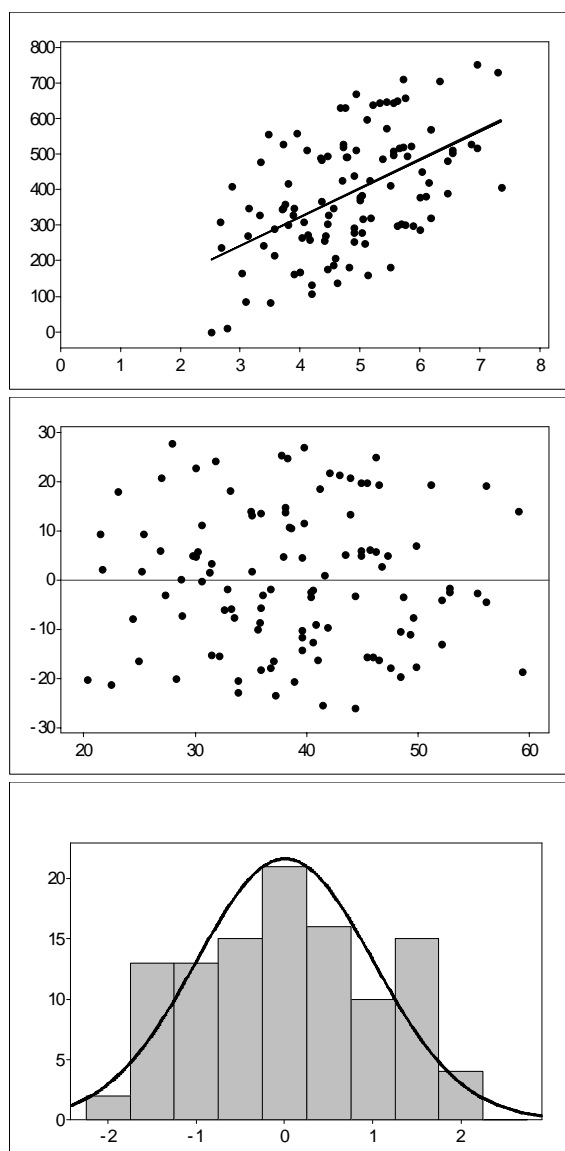
### نتایج

#### انتخاب باند

انتخاب باند مناسب با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد. به طوری که در این مرحله برای هر آزمون، شاخص‌های بافت و ابعاد پنجره ثابت بود و تنها انواع باند (شامل باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز) در تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام وارد شدند. براساس نتایج بدست آمده در همه موارد تنها باند مادون قرمز انتخاب شد. بنابراین شاخص‌های بدست‌آمده براساس باند مادون قرمز برای سایر محاسبات در نظر گرفته شدند.

#### انتخاب شاخص

در این مرحله تنها از باند مادون قرمز استفاده شد. به نحوی که ابعاد پنجره ثابت بود و شاخص‌های بافتی (شامل آنتروپی، تباین، همگنی و گشتاور) در رگرسیون گام‌به‌گام وارد شدند. در این بخش تنها شاخص ناهمگنی در هر سه ابعاد پنجره از بین سایر شاخص‌ها انتخاب شد. بنابراین شاخص ناهمگنی باند مادون قرمز در تحلیل‌های بعدی بکار رفت.



شکل ۴- ابر نقاط و خط برازش داده شده، متغیر مستقل موجودی حجمی به مترمکعب در هکتار در قطعه نمونه (x) و متغیر مستقل معکوس شاخص ناهمگنی باند مادون قرمز مستخرج از پنجره  $31 \times 31$  پیکسل (y) (بالا)، پراکنش باقیمانده‌ها (x) در مقابل مقادیر برازش یافته (y) (وسط) و هیستوگرام باقیمانده‌ها و منحنی نرمال آنها (پائین)

هیستوگرام آنها نیز وضعیت نرمالی را نشان می‌دهد (شکل ۴ پائین). نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز نرمال بودن مقادیر باقیمانده را تأیید نمود ( $P=0/67$ ).

بررسی باقیمانده‌ها با رسم آنها در مقابل مقادیر برازش یافته نشان داد که این مقادیر به شکل مناسبی در اطراف خط صفر توزیع شده‌اند (شکل ۴ وسط). به علاوه

جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی و احراز اعتبار مدل خطی تک‌متغیره

مدل	آماره F	آماره t	انحراف معیار مدل	RMSE	RMSEr	اریبی	اریبی نسبی
$80/781 \times X$	۸۵۴***	۲۹***	۱۴۲/۳۶	۱۵۹/۳	٪۴۳/۱	-۷/۷	٪۲/۱

\*\*\* معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ خطا، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و RMSEr درصد جذر میانگین مربعات خطای نسبی است

نتایج احراز اعتبار مدل بدست آمده، حکایت از توانایی مناسب مدل برای برآورد موجودی حجمی برای نمونه‌های جدید داشت. به طوری که درصد جذر میانگین مربعات خطای نسبی ۴۳/۱ درصد و درصد اریبی نسبی ۲/۱ درصد بدست آمد (جدول ۲).

## بحث

از نظر کاربردهای آماربرداری، ویژگیهای بافتی مطلوبیت بیشتری دارند؛ زیرا نسبت به ویژگیهای طیفی حاوی اطلاعات بیشتری هستند، به ویژه در مواردی که به دلیل ماهیت توده‌های جنگلی ناهمگنی زیادی در اطلاعات طیفی وجود دارد (Wulder *et al.*, 1998). این مسئله در مواردی که استفاده از تصاویر آبرمکانی موردنظر است مصداق بیشتری دارد (Touminen & Pekkarinen, 2005). بنابراین در تحقیق حاضر امکان و دقت برآورد موجودی حجمی در قطعه نمونه با استفاده از شاخص‌های بافتی مستخرج از تصاویر هوایی رقومی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مقایسه توانایی باندهای مختلف نشان داد که از بین باندهای مورد بررسی، اطلاعات بافتی باند مادون قرمز توانایی بیشتری برای برآورد موجودی حجمی نسبت به سایر باندها دارد.

بررسی شاخص‌های مختلف به منظور مدل‌سازی موجودی حجمی نیز نشان داد که شاخص ناهمگنی بهتر از سایر شاخص‌ها است. نتایج مطالعه Touminen & Pekkarinen (2005) نیز حکایت از مناسب‌تر بودن این شاخص برای باندهای اصلی نسبت به سایر شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق دارد.

نتایج انتخاب پنجره مناسب برای استخراج شاخص‌های بافتی نشان داد که پنجره ۳۱×۳۱ پیکسل نتایج بهتری نسبت به سایر پنجره‌ها دارد. در جنگلهای فنلاند سطح مناسب استخراج ویژگیهای بافتی ۲۰×۲۰ پیکسل است (Touminen & Pekkarinen, 2005; Holopainen & Wang, 1998). علت تفاوت ابعاد پنجره مناسب علاوه بر تفاوت ویژگیهای توده جنگلی، تفاوت در طراز مدل‌سازی (قطعه نمونه یا توده) است. ابعاد ۲۰×۲۰ پیکسل برای مدل‌سازی در طراز توده بوده است. به طور کلی بررسی دقت برآورد حجم با روش مورد استفاده در این تحقیق و مقایسه آن با تحقیق‌هایی که هدف آنها برآورد موجودی حجمی بوده است، حکایت از دقت زیاد این برآورد دارد. (Poso *et al.*, 1999). RMSE، نسبتی ۷۳ تا ۸۱ درصد با استفاده از تصاویر لندست TM، ۷۱ تا ۷۴ درصد با استفاده از تصاویر پانکروماتیک ماهواره IRS و ۷۴ درصد برای عکس‌های هوایی رقومی شده و (Touminen & Pekkarinen, 2005) RMSE نسبی ۵۸ درصد با استفاده از تصاویر هوایی در شرایط جنگلهای فنلاند را گزارش نموده‌اند. در شرایط جنگلهای شمال آمریکا، RMSE نسبی ۶۵ درصد گزارش شده است (Franco-lopez *et al.*, 2001). در تحقیق حاضر RMSE نسبی ۴۳ درصد بود؛ دلیل این امر علاوه بر بیشتر بودن دقت مکانی تصویرهای مورد استفاده در این تحقیق، مقدار زیاد موجودی حجمی جنگل است که میزان خطای نسبی را به شدت کاهش می‌دهد. براساس نتایج این تحقیق، اگرچه صحت برآورد موجودی حجمی با استفاده از شاخص‌های بافتی تصاویر هوایی برای اهداف نقشه‌کشی



characterize woody plant encroachment in South African Savanna. *Remote Sensing of Environment*, 66: 317-330.

- Kayitakire, F., Hamel, C. and Defourny, P., 2006. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 102: 390-401.
- Li, X. and Strahler, A.H., 1992. Geometric-optical bidirectional reflectance modeling of the discrete crown vegetation canopy: Effect of crown shape and mutual shadowing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30: 276-292.
- Maudie, A.J., 1999. Forest inventory classification using aerial image texture in the New Brunswick Acadian Forest Region. M.Sc. Thesis, the University of Calgary, 115 p.
- Pellikka, P., King, D.J. and Leblanc, S.G., 2000. Quantification and reduction of bidirectional effects in aerial CIR imagery of deciduous forest using two reference land surface types. *Remote Sensing Reviews*, 19 (1-4): 259-291.
- Poso, S., Wang, G. and Tuominen, S., 1999. Weighting alternative estimates when using multi-source auxiliary data for forest inventory. *Silva Fennica*, 33: 41-50.
- Samal, A., Brandle J.R. and Zhang, D., 2006. Texture as the basis for individual tree identification. *Information Sciences*, 176: 565-576.
- Tuominen, S. and Pekkarinen, A., 2005. Performance of different spectral and textural aerial photograph features in multi-source forest inventory. *Remote Sensing of Environment*, 94: 256-268.
- Wiebe, J.A., 1998. Texture estimates of operational forestry parameters, Ph.D. Thesis, University of Calgary, 109 p.
- Wulder, M.A., LeDrew, E.F., Franklin, S.E. and Lavigne, M.B., 1998. Aerial image texture information in the estimation of northern deciduous and mixed wood forest leaf area index (LAI). *Remote Sensing of Environment*, 64: 64-76.

مناسب است، اما بکارگیری این روش در برنامه‌ریزی عملیات جنگل‌داری هنوز به تحقیقات بیشتری نیاز دارد.

### منابع مورد استفاده

- بی‌نام، ۱۳۸۱. جدول حجم گونه‌های جنگلی شمال کشور. دفتر فنی جنگل‌داری، سازمان جنگلها مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۱۴ صفحه.
- Anttila, P., 2002. Nonparametric estimation of stand volume using spectral and spatial features of aerial photographs and old inventory data. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 1849-1857.
- Bruniquel-Pinel, V. and Gastellu-Etchegorry, P., 1998. Sensitivity of texture of high resolution images of forest to biophysical and acquisition parameters. *Remote Sensing of Environment*, 65: 61-85.
- Franco-Lopez, H., Ek, A.R. and Bauer, M.E., 2001. Estimation and mapping of forest density, volume and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote Sensing of Environment*, 77: 251-274.
- Ge, S., Carruthers, R. and Gong, P., 2006. Texture analysis for mapping *Tamarix parviflora* using aerial photographs along the Cache Creek, California. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114: 65-83.
- Haralick, R.M., Shanmugm, K. and Dinstein, I., 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3 (6): 610-621.
- Holopainen, M. and Wang, G., 1998. The calibration of digitized aerial photographs for forest stratification. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (4): 677-696.
- Hudak, A.T. and Wessman, C.A., 1998. Textural analysis of historical aerial photography to

## Estimation of forest stand volume using textural indices of aerial images

H. Sohrabi<sup>1\*</sup>, S.M. Hosseini<sup>2</sup> and M. Zobeiri<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, Ph.D. student of forest biometry, University of Tarbiat Modares, Noor, Iran.

E-mail: hmsohrabi@yahoo.com

2- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares, Noor, Iran.

3- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.

### Abstract

Because of several radiometric errors, precise estimation of forest stand volume based on spectral indices is not achievable. In contrast to spectral indices, textural indices are more consistent dealing with these errors. In this research, estimation of forest stand volume based on textural indices was studied. For this aim, 150 plots were collected using systematic random design. Green, red and near infra red bands were used. Textural indices included second moment, contrast and homogeneity extract by different window size. Appropriate band, index and window size were chosen by stepwise regression. Based on this analysis, near infra red band, homogeneity index and 31×31 pixel window size were selected. RMSE and bias of estimation was 43 and 2 percent, respectively. Although, estimation accuracy of forest stand volume by textual indices was suitable for mapping purposes, however, its application in forestry operations needs more researches.

**Key words:** Forest stand volume, aerial images, textural indices, stepwise regression.