سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.3, No.4, Winter 2012

۳۳-٤٦

طبقه‌بندی تاج‌پوشش جنگل بر روی عکس‌های هوایی با استفاده از تجزیه و تحلیل بافتی (مطالعه موردی: جنگل تاف لرستان)

سیداحمدرضا نورالدینی[۱]*، امیر اسلام‌بنیاد[۲]، فرخ پورشکوری[۳]

۱. کارشناس ارشد منابع طبیعی، دانشگاه گیلان
۲. دانشیار سنجش از دور و بیومتری، دانشگاه گیلان
۳. دانشجوی دکتری منابع طبیعی، دانشگاه تهران و مربی سنجش از دور سازمان فضایی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۸/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۴/۱۲

چکیده

مدیریت درست و هوشمند منابع جنگلی مستلزم به‌کارگیری داده‌های دقیق و روزآمد است. عکس‌های هوایی یکی از منابع مناسب برای این امر به شمار می‌آیند. در پژوهش حاضر، برای تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل از الگوهای بافت عکس‌های هوایی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، متوازی‌السطوح، حداقل فاصله و حداکثر احتمال استفاده گردید. منطقه مورد مطالعه در غرب کشور و ناحیه زاگرس مرکزی واقع شده است. مقدار میانگین مربعات خطا برای عکس‌های هوایی ارتوفتوشده با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵۶ متر برابر با ۰/۲ پیکسل به‌دست آمد. ارتوفتوها با رعایت تعادل رادیومتریکی به ارتوفتوموزاییک برای ایجاد دید کلی از منطقه تبدیل گردیدند. باندهای مختلف حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی با ماتریس هم‌وقوعی به ابعاد ۳ × ۳ تهیه گردیدند. در الگوی بافت، پنجره ۱۰ × ۱۰ پیکسلی به دلیل همگنی در سطح نمونه‌ها برای آموزش بهینهٔ خوارزمیک‌ها مناسب تشخیص داده شد. در این بررسی امکان تفکیک ۴ کلاس از تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های مورد مطالعه با صحت بالاتر بر روی تصاویر بافت به نسبت تصویر خام مقدور گردید. نتایج حاصل از ارزیابی نقشه‌های خروجی نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۸۵ درصد و ۰/۸ در طبقه‌بندی تصاویر حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی در مقایسه با دیگر روش‌های مورد استفاده در این تحقیق بهتر عمل می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: تاج‌پوشش جنگل، الگوی بافت، شبکه عصبی مصنوعی، روش‌های طبقه‌بندی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: خرم‌آباد، میدان تختی، کوچه شهید همتی، پلاک ۱۱۰. تلفن: ۰۹۱۶۳۶۹۰۹۱۹

Email: ar.nourdini@gmail.com

۱- مقدمه

مشاهده مستقیم و جمع‌آوری داده به کمک عملیات میدانی، دقیق‌ترین روش جمع‌آوری اطلاعات از سطح جنگل است. کارشناسان جنگل همیشه به دنبال راهی بوده‌اند تا به صورت غیرمستقیم اطلاعات سریع، بهنگام و دقیقی از محیط جنگل به‌دست آورند. با گرفتن عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از زمین، تحقیقات وسیع و گسترده‌ای در زمینه استفاده از این داده‌ها انجام گرفت. عکس‌های هوایی از سال ۱۹۴۰ به طور وسیعی در مدیریت جنگل به کار گرفته شده‌اند (Franklin, 2001). فتوگرامتری در ابتدا به علت فقدان تکنیک‌های خودکار به شکل دستی انجام می‌گرفت. بنابراین، مسائل و مشکلاتی از جمله: کند بودن سرعت تجزیه و تحلیل، توانایی، ورزیدگی کاربر در تجزیه و تحلیل تصویر برای استخراج سیماها و همچنین اعمال سلیقه کاربر در امر تفسیر را به همراه داشت. با پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در پردازش تصویر به صورت خودکار و توسعهٔ روزافزون نرم‌افزارها و خوارزمیک‌های تجزیه و تحلیل تصاویر، امکان کاربردهای بیشتری حاصل گردید. شبکه‌های عصبی مصنوعی[1]، به ابزاری عمومی در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور تبدیل شده‌اند (Foody, 2001). بسیاری از پژوهشگران دلیل گسترش روزافزون شبکه‌های عصبی در تجزیه و تحلیل تصویر را ناشی از یادگیری الگوهای پیچیده، محاسبهٔ هر رابطه غیرخطی، به هم پیوستن انواع متنوعی از داده در تجزیه و تحلیل به دلیل نبود فرضیات در مورد مجموعه داده‌های به کار رفته و عوامل متعدد دیگر اشاره کرده‌اند (Mass & Flores, 2008). خوارزمیک شبکه عصبی مصنوعی با صحت بالا توان طبقه‌بندی تصاویر را دارد (سلمان ماهینی و همکاران، ۱۳۸۷).

در بیشتر مناطق جهان عکس‌های هوایی سیاه و سفید، تک‌باند و گاه ضعیف خصوصیات رادیومتریک، تنها منبع ارزشمند برای تجزیه و تحلیل گذشتهٔ زمین به‌شمار می‌آیند. اهمیت این امر به‌ویژه در بررسی تغییرات پوشش زمین دو چندان می‌شود، که از جمله این موارد می‌توان به مطالعات فنشام و دیگران (۲۰۰۲)، بای و دیگران (۲۰۰۵)، کاتس ـ فولچ و دیگران (۲۰۰۷)، صالحی و دیگران (۲۰۰۸) و هوداک و سمن (۱۹۹۸) اشاره کرد. بافت، الگوی محاسبهٔ همگنی پیکسل‌های همسایه است که در تفسیر عکس‌های هوایی کاربرد گسترده‌ای دارد. محاسبه بافت، و تعیین و تعریف الگوی مشخصی برای آن به دلیل اینکه هر پیکسل در میان همسایگانش ممکن است سطوح خاکستری مختلف را ارائه دهد مشکل است. با توجه به قدرت تفکیک مکانی عکس‌های هوایی، بافت ابزاری مناسب در تفسیر عکس هوایی قلمداد می‌شود (Mather et al., 1998).

کاتسی ـ فولچ و دیگران (۲۰۰۷) در تحقیقی برای تهیه نقشهٔ پوشش زمین از عکس‌های سیاه و سفید با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر، محاسبات بافتی و مدل شبکه عصبی استفاده کردند. ایشان نتیجه گرفتند که این روش برای کسب اطلاعات کارتوگرافی تفصیلی و خودکار از پوشش زمین، کاربردی است و بر روش‌های سنتی مزیت دارد (هوداک و وسمن (۱۹۹۸) به تجزیه و تحلیل بافتی عکس‌های هوایی دو دوره برای بررسی روند گسترش گیاهان چوبی در علفزارهای جنوب آفریقا پرداختند. آنان با استفاده از شاخص بافت عکس‌های هوایی سیاه و سفید با قدرت تفکیک مکانی بالا ثابت کردند که این روش برای تهیه نقشه تراکم و بررسی روند تغییرات گیاهان چوبی در اکوسیستم ساوانا مناسب است. تومینن و پکارنین (۲۰۰۵) در تحقیقی شاخص‌های بافتی و طیفی حاصل از عکس‌های هوایی مادون قرمز را برای استخراج ویژگی‌های توده جنگلی به کار بردند. نتیجهٔ تحقیق‌شان نشان داد که متناسب با خصوصیات مختلف توده جنگلی، هر کدام از این شاخص‌ها می‌توانند مناسب باشند. جوشی و دیگران (۲۰۰۵) برای تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش با صحت بالا

1. Artificial Neural Networks

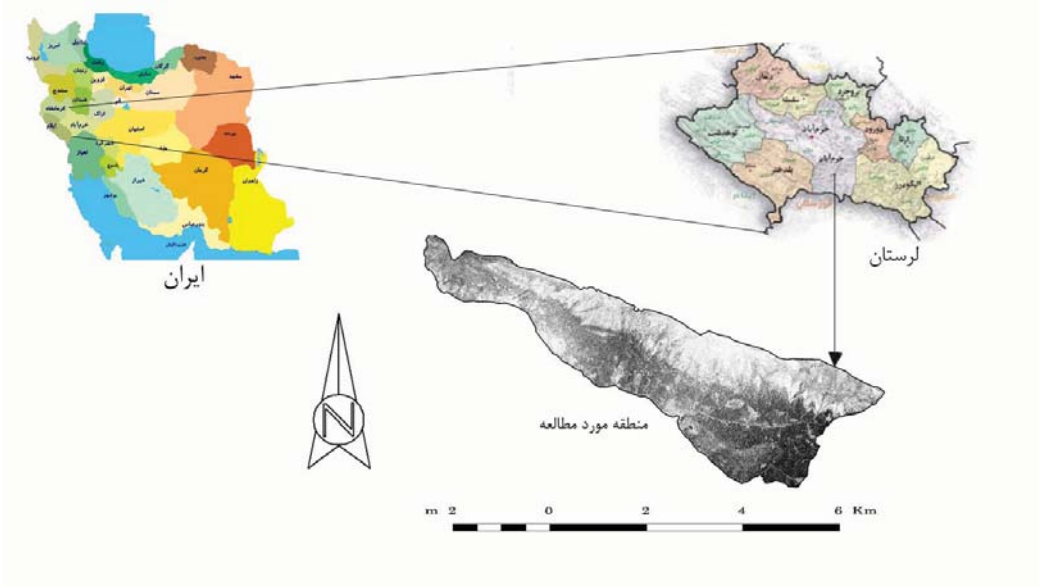
از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون چندمتغیره، نقشه‌بردار تراکم تاج‌پوشش و روش حداکثر احتمال استفاده کردند. ناصری و همکاران (۱۳۸۳) برای تهیه نقشه تراکم جنگل از خوارزمیک‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی‌السطوح استفاده کردند.

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی عملکرد خوارزمیک‌های شبکه عصبی مصنوعی، متوازی‌السطوح، حداقل فاصله و حداکثر احتمال بر روی تصاویر حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی و مقایسه اعمال این روش‌ها بر روی تصویر خام در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل است. به منظور تشخیص بهتر طبقات و افزایش صحت طبقه‌بندی، در پژوهش حاضر از تجزیه و تحلیل بافتی بر روی تصاویر خام و برای استخراج اطلاعات از خوارزمیک‌های مختلف در امر پردازش تصاویر دورسنجی استفاده گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حدود ۳۵ کیلومتری جنوب خرم‌آباد، در ۲۲۶۲۰۰۰ تا ۲۷۲۰۰۰ متر طول شرقی و ۳۶۸۳۰۰۰ تا ۳۶۸۹۰۰۰ متر عرض شمالی در سیستم مرکاتور جهانی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه سطحی معادل ۱۳۰۰ هکتار از منطقه جنگلی حوزه تاف از جنگل‌های غرب کشور را شامل می‌شود. طبق آمار ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد، میانگین بارندگی سالانه در منطقه ۷۲۵/۲۴ میلی‌متر است. عمده بارش این منطقه در نیمهٔ دوم سال اتفاق می‌افتد. منطقه از نظر توپوگرافی دارای پستی و بلندی‌های فراوان با جهت شیب غالب جنوبی، حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ متر است. گونهٔ درختی غالب این منطقه بلوط ایرانی[1] است. درختان منطقه عمدتاً دارای فرم رویشی شاخه‌زاد و تک‌اشکوبه هستند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه[1]

1. Quercus persica

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

به‌منظور انجام این بررسی عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۳۷۶ و اسکن ۱۴ میکرون آنها از سازمان نقشه‌برداری کشور با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ تهیه گردید (جدول ۱). اسکن این عکس‌ها با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵۶ متر در سازمان نقشه‌برداری کشور انجام شد و با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقاط کنترل زمینی حاصل از عملیات میدانی، پارامترهای دوربین عکسبرداری سنتی و مدل رقومی ارتفاع، ارتوفتوی هر عکس در محیط نرم‌افزار PCI Geomatica 9,1 با تعداد ۲۲ عدد نقطه کنترل زمینی تهیه گردید. به منظور دید کلی از منطقه با رعایت تعادل هیستوگرام به روش کمترین اختلاف، ارتوفتوموزاییک از ۲ قطعه عکس هوایی تهیه گردید.

۲-۳- تجزیه و تحلیل بافتی تصویر

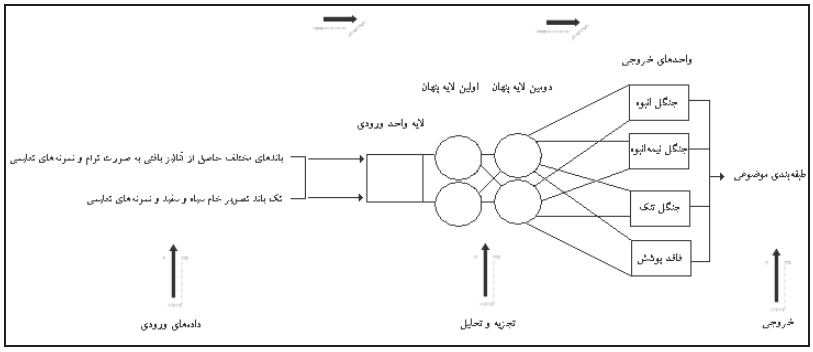
به منظور تشخیص بهتر طبقات تراکم تاج‌پوشش و افزایش صحت طبقه‌بندی، باندهای مصنوعی حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی شامل: تباین، عدم‌تجانس، همگنی، میانگین، انحراف از معیار و همبستگی از ارتوفتوموزاییک عکس‌های هوایی خاک در محیط نرم‌افزار PCI Geomatica 9,1 تهیه و به کار گرفته شدند. الگوی بافتی به‌وسیله مقادیر درجه خاکستری با تغییرپذیری تن عکس در منطقه یا محیط همسایگی مشخص می‌شود. در این تحقیق برای افزایش سرعت تجزیه و تحلیل بافتی در محیط نرم‌افزار، ارتوفتوها به قدرت تفکیک مکانی ۵ متر تبدیل گردیدند.

۲-۴- روش‌های طبقه‌بندی

شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده برمبنای تئوری Kolmogorov's است که تعداد لایه‌های پنهان آن دو برابر لایه‌های ورودی است (شکل ۲). استفاده از شبکه عصبی با دو لایه پنهان در صورت استفاده از تک‌باند و چند باند ورودی مناسب به نظر می‌رسد (Mather, 2004). در این شبکه، پس‌انتشار برای تشخیص الگوها به کار می‌رود و فرایند آموزش شبکه با استفاده از نمونه‌های تعلیمی صورت می‌گیرد.

جدول۱. عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه

سال عکسبرداری	خط پرواز	شماره عکس هوایی	شماره بلوک
۱۳۷۶	۱۳	۱۵	۵۶
۱۳۷۶	۱۳	۱۶	۵۶



شکل ۲. مدل شبکه عصبی مورد استفاده

علاوه بر شبکه مصنوعی، از خوارزمیک‌های متوازی‌السطوح، حداقل فاصله و حداکثر احتمال که از عمده‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل آماری در دنیای سنجش از دور به شمار می‌آیند، استفاده گردید (Mather, 2004).

۲-۵- نمونه‌های تعلیمی و اندازه پنجره

تاج‌پوشش، سطحی از جنگل است که به‌وسیله تصویر عمودی تاج درختان پوشیده می‌شود (زبیری و دالکی، ۱۳۸۳). با توجه به شاخه‌زاد بودن جنگل‌های منطقه، تاج‌پوشش مناسب‌ترین فاکتور در بررسی و پایش توده جنگلی به شمار می‌آید. تاج‌پوشش درختان منطقهٔ مورد مطالعه برحسب درصد تراکم به ۵ کلاس مطابق جدول ۲ تقسیم گردید.

جدول ۲. کلاس‌های تراکم تاج‌پوشش جنگل

کلاس	درصد تراکم
I	۱-۱۰
II	۱۰-۲۵
III	۲۵-۵۰
IV	۵۰<
V	فاقد پوشش جنگلی

برای کل این کلاس‌ها تعداد ۸۵ قطعه نمونه زمینی ۱۲ آری به صورت کاملاً تصادفی در سال ۱۳۸۷ از منطقه مورد مطالعه برداشت شد (جدول ۳).

در این قطعات نمونه، قطر بزرگ و کوچک تاج درختان اندازه‌گیری شد و با استفاده از میانگین حسابی، مساحت تاج و در نهایت درصد تاج‌پوشش در هر یک از قطعات نمونه محاسبه گردید. از نمونه‌های میدانی برای تفسیر پلی‌گون‌بندی منطقهٔ مورد مطالعه بر روی عکس هوایی استفاده گردید. برای تهیهٔ تعداد کافی از نمونه‌های تعلیمی، به طور تصادفی تعداد ۲۵۰ پلی‌گون یا پنجره با ابعاد ۱۰ × ۱۰ پیکسل انتخاب گردید. این ابعاد پنجره، با بررسی ابعاد ۲۰ × ۲۰، ۱۶ × ۱۶، ۱۴ × ۱۴، ۱۲ × ۱۲ و ۱۰ × ۱۰ به دلیل یکنواختی بیشتر قطعات نمونه و وارد نشدن اطلاعات کلاس‌های مختلف در همدیگر انتخاب گردید.

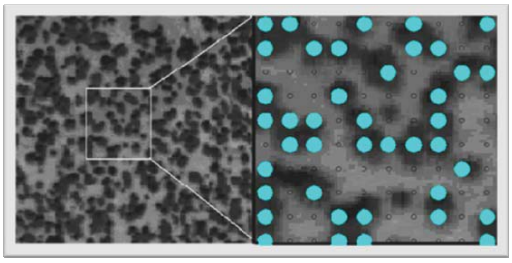
جدول ۳. مشخصات نمونه‌های زمینی

کلاس	تعداد قطعات نمونه برداشت‌شده (۱۲ آری)
I	۱۲
II	۱۷
III	۲۸
IV	۱۵
V	۱۳
جمع	۸۵

در پژوهش حاضر از کل پلی‌گون‌ها، به دلیل حساسیت آماری روش‌های متعارف طبقه‌بندی نسبت به پراکنش نمونه‌های تعلیمی تعداد ۱۲۰ عدد با توزیع نرمال برای آموزش خوارزمیک‌ها در مرحله تعلیمی انتخاب گردیدند. برای برآورد و ارزیابی درصد تراکم تاج‌پوشش درختان در روی عکس‌های هوایی، از شبکه نقطه‌چین در هر پنجره استفاده گردید. درون هر پنجره ۱۰ × ۱۰ تعداد ۱۰۰ نقطه به طور تصادفی قرار گرفت. این تعداد نقاط با محاسبهٔ متوسط فاصله درختان در سامانه اطلاعات مکانی (فاصله نقاط از یکدیگر ۵ متر) در هر قطعهٔ نمونه (بر طبق شکل ۳) به طور تصادفی در نظر گرفته شد. درصد تاج‌پوشش طبق رابطه (۱) محاسبه گردید (Carreiras et al., 2006).

$$TCC = \frac{c}{n} \times 100$$ رابطه (۱)

که در آن: c تعداد نقاط پوشش داده‌شده بر روی تاج پوشش، n تعداد کل نقاط قرار گرفته در داخل قطعه نمونه و TCC درصد تاج‌پوشش (Tree Canopy Cover) است.



شکل ۳. نقاط قرارگرفته بر روی تاج‌پوشش در داخل قطعه نمونه

از ۸۵ قطعه نمونه برداشت‌شدهٔ میدانی، ۲۰ عدد برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی استفاده گردید.

۲-۶- نرم‌افزارها

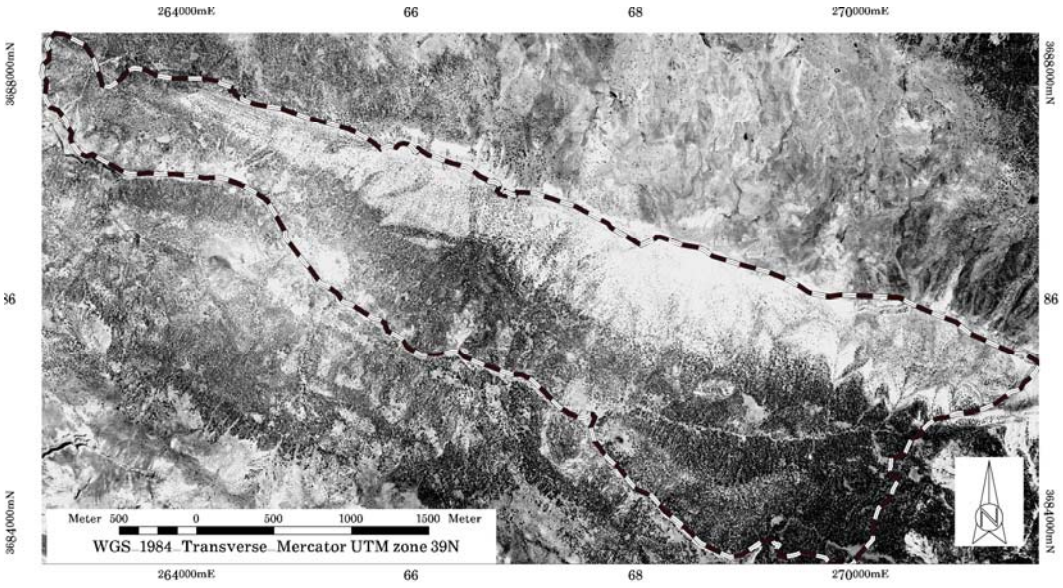
برای تهیه ارتوفتو و ارتوفتوموزاییک از عکس‌های هوایی، تهیه مدل رقومی ارتفاع، تعیین درصد تاج‌پوشش درختان و اعمال طبقه‌بندی از نرم‌افزارهای PCIGeomatica V ۹/۱، ENVI V۴/۴، و ArcGISV ۹/۲ استفاده گردید.

۳- نتایج

۳-۱- تصحیح عکس‌های هوایی

ارتوفتوها با روش نزدیک‌ترین همسایه، با میانگین مربعات خطای ۰/۲ پیکسل تهیه گردیدند. بعد از تهیه ارتوفتو صحت این عکس‌ها به کمک روی‌هم‌اندازی عکس‌های تصحیح‌شده و لایه‌های جاده و آبراههٔ منطقه ارزیابی شد. این بررسی نشان داد که لایه عوارض جاده و آبراههٔ استخراج‌شده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ با عکس هوایی به طور کامل مطابقت دارد.

شکل ۴، ارتوفتوموزاییک تصحیح‌شدهٔ دو قطعه عکس‌هوایی مربوط به منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴. ارتوفتوموزاییک عکس‌های هوایی منطقه مربوط به سال ۱۳۷۶

۳-۲- تفکیک‌پذیری کلاس‌ها و الگوی بافتی

پنج کلاس تعیین‌شده از نظر تفکیک طیفی با فاصله باتاچاریا بر روی باندهای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. فاصله باتاچاریا برای محاسبه تفکیک‌پذیری دو کلاس از هم استفاده می‌گردد (Choi & Lee, 2003). فاصله باتاچاریا برمبنای اختلاف انحراف از معیار و میانگین اعداد رقومی نمونه‌های تعلیمی دو کلاس عمل می‌کند؛ بنابراین، هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشانه عدم تفکیک‌پذیری دو کلاس از یکدیگر است (Reyes-Aldasoro & Bhalerao, 2006).

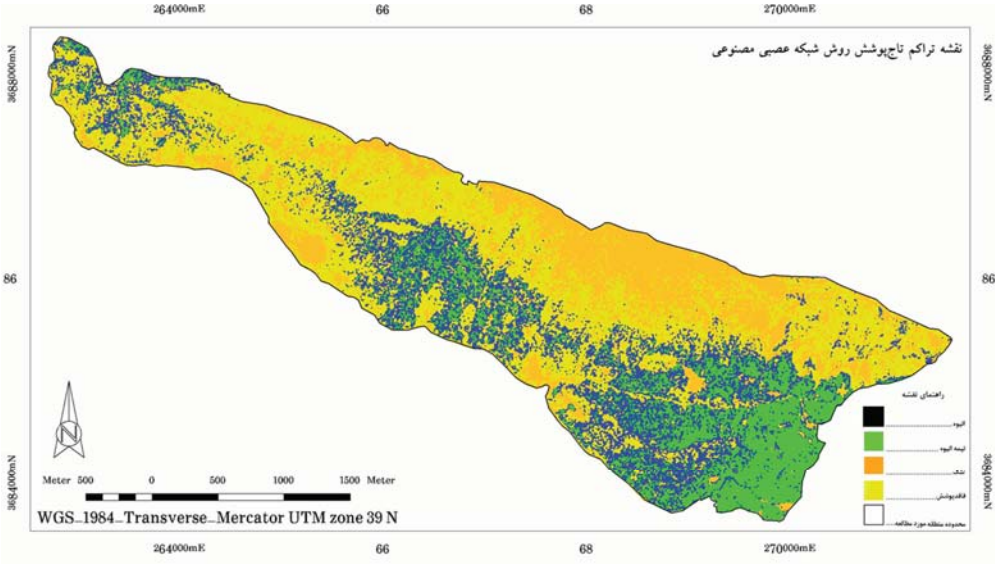
بنابراین دو کلاس I و II به‌دلیل تفکیک‌ناپذیری طیفی با هم ادغام شدند. از این رو، جنگل مورد مطالعه به ۴ کلاس انبوه (تاج‌پوشش بالای ۵۰ درصد)، نیمه انبوه (۵۰-۲۵ درصد)، تنک (۲۵-۱ درصد) و بدون پوشش تفکیک گردید. جدول ۴ بیانگر تفکیک‌پذیری بین کلاس‌ها با فاصله باتاچاریا بر روی باندهای مختلف حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی و تک‌باند خام است.

۳-۳- طبقه‌بندی با استفاده از خوارزمیک‌های شبکه عصبی مصنوعی، متوازی‌السطوح، حداقل فاصله و حداکثر احتمال

الگوی بافت برای شاخص‌های مختلف به‌وسیله تغییرپذیری تن عکس هوایی در پیکسل‌های همسایه به طریق خودکار با ماتریس هم‌وقوعی به ابعاد ۳×۳ محاسبه گردید. درصد تاج‌پوشش با استفاده از شبکه نقطه‌چین در پنجره‌های نمونه ۱۰×۱۰ پیکسلی بر روی تصاویر خام برآورد گردید. باندهای حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی مربوط به شاخص‌های مختلف به صورت توأم، همچنین تصویر خام به صورت مجزا با استفاده از خوارزمیک‌های شبکه عصبی مصنوعی، متوازی‌السطوح، حداقل فاصله و حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند. نقشه حاصل از اعمال مناسب‌ترین خوارزمیک از نظر صحت کلی و ضریب کاپا بر روی باندهای حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی در شکل ۵ نشان داده شده است. ضریب کاپا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و صحت کلی برای هر یک از این روش‌ها محاسبه شده و نتایج آن در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول۴. تفکیک‌پذیری محاسبه‌شده با فاصله باتاچاریا برای باندهای مختلف

تصویر خام	انحراف از معیار	میانگین	همگنی	تجانس	همبستگی	تباین	کلاس ۲	کلاس ۱
۰/۲۳۷۸۸۹	۰/۰۷۱۳۹۴	۰/۷۳۸۰۳۹	۰/۲۹۱۶۰۴	۰/۰۴۴۸۲۳	۰/۰۰۲۷۱۰	۰/۰۹۵۲۰۰	نیمه‌انبوه	تنک
۰/۶۵۵۸۵۴	۰/۴۳۰۵۸۸	۱/۵۳۹۸۷۸	۰/۰۰۴۶۷۲	۰/۳۱۶۹۴۲	۰/۰۰۶۱۰۹	۰/۵۱۲۳۷۳	انبوه	تنک
۰/۱۶۳۰۴۴	۰/۲۹۵۵۰۷	۰/۴۲۲۴۶۷	۰/۳۰۳۴۷۲	۰/۲۹۱۰۷۲	۰/۰۰۳۴۰۴	۰/۲۷۴۹۲۲	انبوه	نیمه‌انبوه
۰/۱۳۷۰۹۱	۱/۱۱۲۱۵۵	۰/۱۷۷۶۷۱	۰/۸۶۲۵۴۶	۱/۰۶۶۸۱۳	۱/۹۹۴۳۸۹	۱/۰۱۷۶۶۶	تنک	فاقد پوشش
۰/۶۶۷۸۹۲	۱/۰۷۴۷۹۱	۱/۱۷۱۸۵۴	۱/۷۸۴۵۶۲	۱/۱۸۱۹۲۹	۱/۹۹۰۴۸۴	۰/۸۶۰۷۷۲	نیمه‌انبوه	فاقد پوشش
۱/۱۳۲۱۴۱	۰/۳۸۴۸۸۵	۱/۷۵۲۱۶۴	۰/۹۰۳۷۷۷	۰/۴۵۹۸۴۲	۱/۹۹۵۶۵۹	۰/۲۸۱۵۰۶	انبوه	فاقد پوشش



شکل ۵. نقشه حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از خوارزمیک شبکه عصبی مصنوعی

جدول ۵. صحت حاصل از چهار روش طبقه‌بندی بر روی باندهای بافتی

روش طبقه‌بندی	درصد صحت کاربر				درصد صحت تولیدکننده				درصد صحت کلی و کاپا	
	انبوه	نیمه‌انبوه	تنک	فاقد پوشش	انبوه	نیمه‌انبوه	تنک	فاقد پوشش	صحت‌کلی	کاپا
شبکه عصبی مصنوعی	۱۰۰	۸۰	۷۵	۸۳	۱۰۰	۸۰	۶۰	۱۰۰	۸۵	۸۰
متوازی‌السطوح	۱۰۰	۶۰	۶۰	۸۳	۸۰	۶۰	۶۰	۱۰۰	۷۵	۶۷
حداقل فاصله	۱۰۰	۷۵	۷۱	۸۳	۶۰	۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۷۳
حداکثر احتمال	۱۰۰	۶۰	۶۰	۸۳	۸۰	۶۰	۶۰	۱۰۰	۷۵	۶۷

جدول ۶. صحت حاصل از چهار روش طبقه‌بندی بر روی تک‌باند تصویر خام

روش طبقه‌بندی	درصد صحت کاربر				درصد صحت تولیدکننده				درصد صحت کلی و کاپا	
	انبوه	نیمه-انبوه	تنک	فاقد پوشش	انبوه	نیمه‌انبوه	تنک	فاقد پوشش	صحت‌کلی	کاپا
شبکه عصبی مصنوعی	۷۱	۰	۵۰	۷۵	۱۰۰	۰	۴۰	۶۰	۶۷	۵۰
متوازی‌السطوح	۷۱	۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۵۰	۳۳
حداقل فاصله	۶۲	۰	۲۰	۶۶	۱۰۰	۰	۲۰	۸۰	۵۰	۳۳
حداکثر احتمال	۷۱	۰	۳۳	۶۲	۱۰۰	۰	۲۰	۱۰۰	۵۵	۴۰

۳-۴- بررسی صحت نقشه‌های تولیدی

۲۰ قطعه نمونه زمینی (هر کلاس ۵ عدد) برای ارزیابی صحت حاصل از طبقه‌بندی خوارزمیک‌های مختلف استفاده گردید. از ضریب کاپا برای بررسی صحت نقشه‌های تولیدی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که ضریب کاپا برای نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی ۰/۸، روش‌های متعارف متوازی‌السطوح و حداکثر احتمال ۰/۶۷ و برای نقشه حاصل از خوارزمیک حداقل فاصله ۰/۷۳ است. جداول ماتریس خطای مربوط به نقشه‌های تراکم تاج‌پوشش تهیه‌شده از باندهای بافتی با خوارزمیک‌های مختلف در ادامه آورده شده است (جدول‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰). هنگامی که از باند اصلی برای طبقه‌بندی تصویر با روش‌های مختلف استفاده گردید، مشاهده شد که صحت کلی نقشه‌های حاصل از باند اصلی در مقایسه با تجزیه و تحلیل بافتی پایین‌تر است. در این حالت مشاهده شد که کلاس نیمه‌انبوه بر روی تصویر اصلی قابل برچسب‌دهی نیست.

جدول ۷. ماتریس خطا مربوط به طبقه‌بندی نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل به روش شبکه عصبی مصنوعی

ANNs	جنگل انبوه	جنگل نیمه‌انبوه	جنگل تنک	فاقدپوشش	کل	خطا
جنگل انبوه	۵	۰	۰	۰	۵	۰
جنگل نیمه‌انبوه	۰	۴	۱	۰	۵	۰/۲
جنگل تنک	۰	۱	۳	۰	۴	۰/۲۵
فاقد پوشش	۰	۰	۱	۵	۶	۰/۱۷
کل	۵	۵	۵	۵	۲۰	
خطا	۰	۰/۲	۰/۴	۰		۰/۱۵

جدول۸. ماتریس خطا مربوط به طبقه‌بندی نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل به روش متوازی‌السطوح

PPC	جنگل انبوه	جنگل نیمه‌انبوه	جنگل تنک	فاقدپوشش	کل	خطا
جنگل انبوه	۴	۰	۰	۰	۴	۰
جنگل نیمه‌انبوه	۱	۳	۱	۰	۵	۰/۴
جنگل تنک	۰	۲	۳	۰	۵	۰/۴
فاقد پوشش	۰	۰	۱	۵	۶	۰/۱۷
کل	۵	۵	۵	۵	۲۰	
خطا	۰/۲	۰/۴	۰/۲	۰		۰/۲۵

جدول ۹. ماتریس خطا مربوط به طبقه‌بندی نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل به روش حداقل فاصله

خطا	کل	فاقدپوشش	جنگل تنک	جنگل نیمه‌انبوه	جنگل انبوه	MDC
۰	۳	۰	۰	۰	۳	جنگل انبوه
۰/۲۵	۴	۰	۰	۳	۱	جنگل نیمه‌انبوه
۰/۲۹	۷	۰	۵	۲	۰	جنگل تنک
۰/۱۷	۶	۵	۰	۰	۱	فاقد پوشش
	۲۰	۵	۵	۵	۵	کل
۰/۲		۰	۰	۰/۴	۰/۴	خطا

جدول ۱۰. ماتریس خطا مربوط به طبقه‌بندی نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل به روش حداکثر احتمال

خطا	کل	فاقدپوشش	جنگل تنک	جنگل نیمه‌انبوه	جنگل انبوه	MLC
۰	۴	۰	۰	۰	۴	جنگل انبوه
۰/۴	۵	۰	۱	۳	۱	جنگل نیمه‌انبوه
۰/۴	۵	۰	۳	۲	۰	جنگل تنک
۰/۱۷	۶	۵	۱	۰	۰	فاقد پوشش
	۲۰	۵	۵	۵	۵	کل
۰/۲۵		۰	۰/۴	۰/۴	۰/۲	خطا

۴- بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مشخصه‌های جنگل که می‌توان آن را روی عکس‌های هوایی تعیین کرد سطح تاج‌پوشش است (زبیری و دالکی، ۱۳۸۳). اندازه‌گیری تاج درختان روی عکس‌های هوایی به دلیل مشاهده از بالا، دقت بالایی دارد (عرفانی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۶). ارتوفتوموزاییک رقومی از موزاییک عکس‌های هوایی تصحیح‌شده برای تهیه منظر کلی از منطقهٔ مورد مطالعه حاصل شد. تصاویر متوالی از لحاظ رادیومتریکی با هم اختلاف داشتند. بنابراین فرایند نرمال‌سازی بین تصاویر صورت گرفت. کاسر و ایگلز (۲۰۰۲) بر روی عکس‌های هوایی عمل نرمال‌سازی را انجام دادند و نتیجهٔ تحقیق‌شان نشان داد که این امر باعث افزایش صحت طبقه‌بندی می‌گردد. ایشان توصیه کردند که پیش از اعمال خوارزمیک طبقه‌بندی، فرایند نرمال‌سازی درجه خاکستری بر روی تصویر صورت گیرد. صحت بالای تصحیح هندسی عکس‌ها با انتخاب نمونه‌های کنترل زمینی فراوان (۲۲ عدد برای هر عکس) و مشخص بر روی نقشه‌های رقومی منطقه با لایه‌های اطلاعاتی متنوع حاصل گردید. هدف از انتخاب خوارزمیک‌های شبکه عصبی مصنوعی، متوازی‌السطوح، حداقل فاصله و حداکثر احتمال این بود که روش نخست از روش‌های

پیشرفته در تجزیه و تحلیل تصاویر سنجش از دور به شمار می‌آید (Mass AND Flores, 2008). توانایی تشخیص الگوهای پیچیده دلیل دیگر انتخاب شبکه عصبی مصنوعی در این تحقیق بود. دیگر خوارزمیک‌های آماری مورد استفاده در پژوهش حاضر، از متعارف‌ترین روش‌های استخراج اطلاعات در سنجش از دور قلمداد می‌شوند. پنجره‌های ۱۰ × ۱۰ پیکسل به دلیل همگنی در سطح نمونه برای آموزش بهینه خوارزمیک‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. هوداک و وسمن (۱۹۹۸) در تحقیق‌شان به این نتیجه رسیدند که ناهمگنی مهم‌ترین عامل در واریانس پیکسل در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاست. از این رو ایشان انتخاب اندازهٔ مناسب پنجرهٔ تعلیمی را با توجه به مسئله یکنواختی بسیار مهم دانستند. ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی با استفاده از ۲۰ نمونه زمینی صورت گرفت. همان‌طور که در جدول حاصل از صحت طبقه‌بندی آمده، روش شبکه عصبی در مقایسه با روش‌های دیگر از نظر صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب با مقدار ۸۵ درصد و ۰/۸ دارای برتری است. جوشی و دیگران (۲۰۰۵) در مقایسهٔ بین روش‌های مختلف طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل به این نتیجه رسیدند که شبکه‌های عصبی مصنوعی با صحت کلی ۸۹ درصد، پیش‌بینی بدون تورشی از تراکم تاج‌پوشش جنگل به دست می‌دهد. سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از خوارزمیک شبکه عصبی مصنوعی در امر طبقه‌بندی دریافتند که این خوارزمیک با صحت بالا قادر به تهیه نقشه پوشش درختی است.

در پژوهش حاضر ابتدا طبقه‌بندی برمبنای طبقات تراکم متعارف در سازمان جنگل‌ها اعمال گردید. به دلیل تفکیک‌ناپذیری طیفی، طبقات I و II تحت یک کلاس قرار داده شدند و از این رو طبقه‌بندی برمبنای طبقات تراکم ۲۵-۱ درصد، ۵۰-۲۵ درصد و بالاتر از ۵۰ درصد صورت گرفت که این امر باعث افزایش صحت طبقه‌بندی گردید. ناصری و همکاران (۱۳۸۳) در تهیه نقشه تراکم به دلایل اختلاط طیفی طبقات با تراکم اندک، آنها را در یکدیگر ادغام کردند. ایشان در نهایت به این نتیجه رسیدند که با این عمل صحت طبقه‌بندی افزایش خواهد یافت.

نتایج مقایسه‌ای حاصل از صحت باندهای بافتی و خام در طبقه‌بندی نشان دادند که باندهای حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی، در مقایسه با باند خام حاصل از عکس‌های هوایی توانایی بیشتری در برآورد تراکم تاج‌پوشش جنگل دارند. تومینن و پکارینن (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که استفاده از شاخص‌های بافتی، صحت برآورد خصوصیات توده را به نسبت باندهای اصلی افزایش خواهدداد.

در پژوهش حاضر، نمونه‌های تعلیمی مربوط به هر کلاس از لحاظ تفکیک‌پذیری طیفی نسبت به دیگر کلاس‌ها بر روی تصویر خام مورد بررسی قرار گرفتند. به دلیل تفکیک‌ناپذیری مناسب کلاس‌ها از لحاظ طیفی و در نهایت عدم برچسب‌دهی بعضی کلاس‌ها (کلاس نیمه‌انبوه) در فرایند طبقه‌بندی، نتیجهٔ کلاس‌بندی بر روی عکس خام مورد قبول نبود. چوئی و لی (۲۰۰۳) به مطالعهٔ ارتباط بین فاصله باتاچاریا کلاس‌ها و خطای طبقه‌بندی پرداختند. ایشان در نهایت دریافتند که با کاهش فاصله بین کلاس‌ها و نزدیک شدن به صفر، خطای طبقه‌بندی نیز افزایش می‌یابد.

در این تحقیق، مدل شبکه عصبی مصنوعی که باندهای بافتی را به صورت توأم در بر می‌گرفت، بالاترین صحت کلی طبقه‌بندی را به دست داد. کاتس ـ فولچ و دیگران (۲۰۰۷) در تحقیق‌شان به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی مصنوعی در استخراج اطلاعات باندهای حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی دارای عملکرد مناسبی است.

با توجه به افزایش قابلیت تشخیص کلاس‌های تراکم تاج‌پوشش درختی بر روی باندهای مصنوعی حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی، پیشنهاد می‌شود که قابلیت خوارزمیک‌های دیگر در استخراج اطلاعات برمبنای بافت بر روی عکس‌های سیاه و سفید مورد

آزمون قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که تک‌تک باندهای حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی به طور مجزا به خوارزمیک شبکه عصبی معرفی گردند تا بهترین باندها برای تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل از منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب گردد. با توجه به مزایای شبکه عصبی ـ از جمله عدم محدودیت در شرایطی که نمونه‌های تعلیمی دارای توزیع نرمال نباشد ـ می‌توان در نواحی‌ای از جنگل‌های زاگرس که اجرای عملیات میدانی مشکل است از آن برای استخراج اطلاعات از تصاویر استفاده کرد. در این تحقیق قابلیت تهیه نقشه پوشش به صورت رقومی از عکس‌های هوایی سیاه و سفید با استفاده از تجزیه و تحلیل بافتی به طریق خودکار مشخص گردید. این طریقه استخراج اطلاعات باعث پیشرفت فرایند استخراج اطلاعات پوشش زمین بر روی این منبع داده خواهد شد.

۶- منابع

Bai, Y., Wolsworth, N., Roddan, B., Hill, D.A., Broersma, K. and Thompson, D., 2005, **Quantifying Tree Cover in Forest–grassland Ecotone of British Columbia Using Crown Delineation and Pattern Detection**, Forest Ecology and Management, 212, 92-100.

Carreiras, M.B., Pereira, M.C. and Pereira, S., 2006, **Estimation of Tree Canopy Cover in Evergreen Oak Woodlands Using Remote Sensing,** Forest Ecology and Management, 223, 45-53.

Choi, E. and Lee, C., 2003, **Feature Extraction Based on the Bhattacharyya Distance**, The Journal of the Pattern Recognition, 36(3): 1703-1709.

Cots-Folch, R., Aitkenhead, M.J. and Nezcasasnovas, J.A., 2007, **Mapping Land Cover from Detailed Aerial Photography Data Using Textural and Neural Network Analysis**, International Journal of Remote Sensing, 28: 1625-1642.

Erfanifard, Y., Zobeiri, M., Feghhi, J. and Namiranian, M., 2007, **Estimation of Crown Cover on Aerial Photographs Using Shadow Index**, Iranian Journal of Forest and Poplar research, 15(3):278-288.

Fensham, R.J., Fairfax, R.J. and Holman, J.E., 2002, **Quantitative Assessment of Vegetation Structural Attributes from Aerial Photography**, International Journal of Remote Sensing, 23: 2293-2317.

Foody, G.M., 2001, **Thematic Maping from Remotely Sensed Data with Neural Network: MLP, RBF and PNN Based Approaches,** J Geographic System, 3: 217-232.

Franklin, S.E., 2001, **Remote Sensing for Sustainable Forest Management**, CRC publication, New York Washington, D.C, 424p.

Hudak, A.T. and Wessman, C.A., 1998, **Textural Analysis of Historical Aerial Photography to Characterize Woody Plant Encroachment in South African Savanna**, Remote Sensing and Environment, 66: 317-330.

Joshi, C., De Leeuw, J., Skidmore, A.K., van Duren, I.C. and Van Oosten, H., 2006,

Remotely Sensed Estimation of Forest Canopy Density: A Comparison of the Performance of Four Methods, Int. J. Geoinform. Earth Obs, 2(8): 84–95.

Kasser, M. and Egels, Y., 2002, **Digital Photogrammetry**, Taylor and francis, new york and London, 368 p.

Mather, P.M., Tso, B. and Koch, M., 1998, **An Evaluation of Landsat TM Spectral Data and SAR-derived Textural Information for Lithological Discrimination in the Red Sea Hills, Sudan**, International Journal of Remote Sensing, 19: 587–60.

Mather, P.M., 2004, **Computer Processing of Remotely-sensed Images (third Edition)**, wiley, Boston, 442 p.

Mass, J.F. and Flores, J.J., 2008, **The Application of Artificial Neural Networks to the Analysis of Remotely Sensed Data**, International Journal of Remote Sensing, 29: 617-663.

Naseri, F., Darvishsefat, A.A., Sobhani, H. and Namiranian, M., 2004, **An Evaluation of the Potential of Landsat ETM+ for Forest Density Mapping in Arid and Semi Arid Regions**, Iranian J.Natural Res,57(1): 109-118.

Reyes-Aldasoro, C.C. and Bhalerao, A., 2006, **The Bhattacharyya Space for Feature Selection and Its Application to Texture Segmentation**, The Journal of the Pattern Recognition, 39: 812-826.

Salehi, A., Wilhelmsson, E. and Soderberg, U., 2008, **Land Cover Changes in a Forested Watershed Southern Zagros, Iran**, Land Degradation and Development, 19: 542-553.

Salman mahini, A., Feghhi, J., Nadali, A. and Riazi, B., 2009, **Tree Cover Change Detection Through Artificial Neural Network Classification Using Landsat TM and ETM+ images.** Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(3):495-505.

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.

Zobeiri, M. and Dalaki, A., 2004, **Fundamental of Aerial Photo Interpretation with Application to Natural Resources**, Tehran university press, 319p.