

کارایی الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصویر ماهواره‌ای GeoEye-1 در تشخیص درختان بنه و تعیین الگوی مکانی آنها (بررسی موردی: منطقه حفاظت‌شده تگ احمدشاهی استان خراسان جنوبی)

رضا باقری^{۱*}، شعبان شتایی^۲ و سید یوسف عرفانی فرد^۳

- ۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ۳- دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۳

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی قابلیت الگوریتم تطبیق الگو در تعیین موقعیت مکانی درختان بنه منطقه حفاظت‌شده تگ احمدشاهی استان خراسان جنوبی با تصویر ماهواره‌ای GeoEye-1 انجام شد. پس از انجام تصحیح هندسی و ادغام باندهای طیفی با باند پانکروماتیک برای هر باند و شاخص گیاهی NDVI سه الگو ساخته شد. به منظور ارزیابی صحت الگوریتم تطبیق الگو یک شبکه 100×100 متری بر روی منطقه پیاده و تعداد ۶۰ قطعه نمونه به صورت تصادفی انتخاب و موقعیت درختان بنه در این قطعات با استفاده از DGPS با دقت سانتی‌متر به عنوان واقعیت زمینی برداشت شد. برای تعیین الگوی مکانی درختان از دو تابع پرکاربرد $D(r)$ و $g(r)$ استفاده شد. نتایج همبستگی متقابل نشان داد که الگوهای ساخته‌شده بر اساس لایه NDVI بالاترین همبستگی را بین نمونه‌ها داشتند. نتایج اجرای الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصویر نشان داد این الگوریتم با صحت کل ۹۵/۵۷ درصد، قابلیت تعیین موقعیت درختان بنه را با دقت مناسبی بر روی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا دارا است. نتایج تابع $D(r)$ نشان داد که درختان بنه حداکثر تا فاصله ۴۵ متری دارای نزدیک‌ترین همسایه بودند. همچنین تابع $g(r)$ نشان داد که درختان بنه تا فاصله ۱۱ متر دارای پراکندگی معنی‌دار بودند در حالی که از فاصله ۱۱/۵ تا ۱۷ متر الگوی پراکنش کپه‌ای آنها از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0/05$).

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، بنه، تطبیق الگو، GeoEye-1.

مقدمه

موقعیت تمام درختان در جنگل باشد همیشه ممکن نیست، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و الگوریتم‌های مناسب می‌تواند در این زمینه مفید باشد و به‌عنوان یک روش کم‌هزینه و قابل‌اعتماد برای استخراج اطلاعات درختان محسوب می‌شود (Shao and Reynolds, 2006). به‌طور کلی روش‌های تشخیص موقعیت مکانی درختان بر روی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا شامل فیلتر حداکثر محلی (Local Maximum Filtering)، باینری‌سازی تصویر (Image Binarization)، آنالیز مقیاس (Scale Analysis) و تطبیق الگو (Template Matching) هستند (Ke and Quackenbush, 2011). تطبیق الگو، فرآیند مقایسه الگوها با تصویر با توجه به مقدار تشابه است که منجر به شناسایی پدیده‌ها در سطح تصویر می‌شود. ساده‌ترین روش کاربردی تطبیق الگو در آنالیز تصویر، محاسبه همبستگی با استفاده از یک پنجره متحرک (Moving window) است (Brunelli, 2009). مقدار تشابه با معیارهای شباهت آماری مانند همبستگی متقابل نرمال‌شده (Normalized Cross Correlation)، مجموع قدر مطلق اختلافات (Sum of Absolute Differences)، مجموع مربعات اختلافات (Sum of Squared Differences) و فاصله اقلیدسی (Euclidean Distance) قابل اندازه‌گیری است (Cheng and Han, 2016). در جنگلداری، الگوریتم تطبیق الگو در تعیین موقعیت و شمارش تاج درختان کاربرد دارد (Hung et al., 2006; Olofsson, 2011; Shafri et al., 2011; Larsen et al., 2012). به بررسی شش الگوریتم تشخیص تک‌درختان در جنگل‌های با شرایط مختلف پرداختند و نتیجه گرفتند یک الگوریتم خاص برای تمامی شرایط مناسب نیست. آنها نتیجه گرفتند در مناطق با تک‌درختان جدا از هم الگوریتم تطبیق الگو

موقعیت مکانی یک درخت نتیجه عوامل مختلف زیست‌شناختی یک توده جنگلی است و بنابراین این ویژگی نه تنها یک مشخصه مهم مکانی بوده، بلکه یکی از مشخصات کمی اصلی درختان در جنگل است (Alvarez et al., 2011). یکی از اساسی‌ترین انواع داده‌های مکانی، الگوهای نقطه‌ای هستند که مجموعه‌ای از موقعیت‌های ثبت‌شده در یک محدوده معین هستند (Erfanifard and Rezayan, 2014). یکی از راهکارهای مناسب در پویایی مکانی درختان، بهره‌گیری از تحلیل الگوی نقطه‌ای (Point Pattern Analysis) نقشه حاوی موقعیت درختان است. هدف اصلی استفاده از تحلیل الگوی نقطه‌ای در بوم‌شناسی و برهم‌کنش درختان، شناسایی عواملی است که منجر به شکل‌گیری الگوی مکانی درختان در یک توده شده است (Clyatt et al., 2016). به‌طور کلی سه نوع الگوی مکانی اصلی شامل کپه‌ای (Clump)، پراکنده (Dispersed) و تصادفی (Random) در طبیعت وجود دارد، شناخت الگو مهم‌ترین بخش در بررسی نحوه عملکرد بوم‌شناختی یک توده جنگلی محسوب می‌شود (Han et al., 2008). تابع K رایپلی و مشتقات آن (توابع $L(r)$ و $g(r)$) از پرکاربردترین توابع در پژوهش‌های بوم‌شناسی مکانی جنگل هستند و نیازمند نقشه موقعیت تمام درختان در یک توده جنگلی هستند (Illian et al., 2008). تابع g که نوعی تابع چگالی احتمال (Probability Density Function) است که در مقایسه با تابع K رایپلی و مدل تبدیل‌شده آن (تابع $L(r)$)، در تشخیص الگوهای مکانی با تغییر مقیاس بسیار قوی‌تر است (Guo et al., 2013; Erfanifard and Rezayan, 2014).

از آنجایی که با توجه به عوامل محدودکننده‌ای چون زمان و هزینه، دسترسی به نقشه‌ای که حاوی

های مناسب در تحلیل الگوی مکانی درخت‌زارهای ناهمگن بنه زاگرس پرداختند و الگوی درختان از نوع کپه‌ای تعیین شد، نامبردگان، نتیجه گرفتند در این مناطق باید از توابع ناهمگن استفاده کرد و تابع $g(r)$ را با توجه به نمایش تغییرات جزئی در مقیاس‌های مکانی مختلف پیشنهاد کردند. Erfanifard and Mahdian (2012) به بررسی روش‌های تعیین الگوی مکانی مطلق درختان بنه در جنگل تحقیقاتی بنه استان فارس پرداختند که نتایج آنها نشان داد که الگوی درختان مورد بررسی از نوع کپه‌ای هستند. Safari و همکاران (2010) به بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان بنه در جنگل‌های باینگان کرمانشاه پرداختند و بر اساس شاخص‌های مختلف، الگوی پراکنش درختان بنه از نوع کپه‌ای تعیین شد.

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کارایی و قابلیت الگوریتم تطبیق الگو به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب در تعیین موقعیت درختان بنه بر روی تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (GeoEye-1) در منطقه حفاظت‌شده تگ احمدشاهی در ناحیه رویشی ایران و تورانی در شرق ایران انجام شد. همچنین تحلیل الگوی مکانی درختان بنه بر اساس نقشه موقعیت مکانی آنها، هدف دیگر این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی و داده مورد استفاده

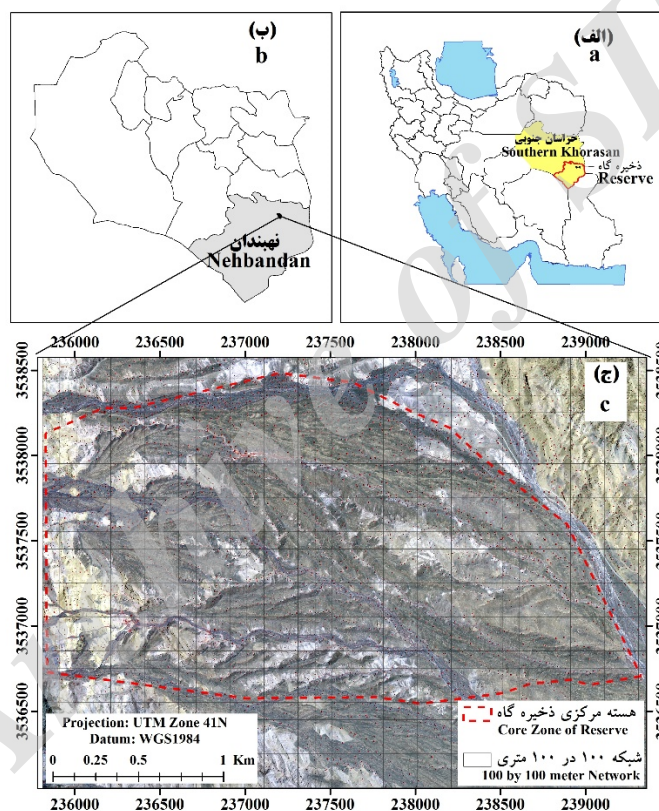
منطقه مورد بررسی ذخیره‌گاه جنگلی درختان بنه در استان خراسان جنوبی است. این منطقه در طول جغرافیایی بین $34^{\circ} 10' 60''$ الی $23^{\circ} 16' 60''$ شرقی و عرض جغرافیایی $12^{\circ} 53' 31''$ الی $5^{\circ} 57' 31''$ شمالی واقع شده است. مساحت ذخیره‌گاه تگ احمدشاهی 5500 هکتار است که 515 هکتار آن به‌عنوان هسته مرکزی ذخیره‌گاه (Core zone) تحت

بهترین نتایج را دارد. همچنین Wong-in and Kaewkongka (2015) به تعیین موقعیت درختان نخل روغنی با استفاده از تطبیق الگو به روش همبستگی متقابل نرمال‌شده و خوشه‌بندی چند مقیاسی (Multi-Scale Clustering) بر روی 21 تصویر هوایی در مناطق مختلف تایلند پرداخته و نتیجه گرفتند که روش ارائه‌شده با صحت بیش از 90 درصد، توانایی شناسایی درختان را دارد. Daliman و همکاران (2015) به شمارش درختان نخل روغنی با الگوریتم تطبیق الگو بر روی تصاویر ماهواره Worldview-2 در مالزی با استفاده از شاخص گیاهی EVI و 4 باند طیفی پرداخته و نتیجه گرفتند باند مادون‌قرمز با صحت 91 درصد بالاترین ضریب همبستگی را برای تطبیق الگو دارد. Salehi و همکاران (2016) به تعیین و تشخیص خودکار تاج درختان بلوط ایرانی در پارک جنگلی یاسوج با تصویر رقومی UltraCam-D پرداختند، صحت کل و ضریب کاپا نشان داد الگوریتم تطبیق الگو در تشخیص تاج درختان نسبت به دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده، کارآمدتر است.

بنه (*Pistachia Atlantica*) یکی از مهم‌ترین گونه‌های درختی ناحیه رویشی ایران و تورانی و جزو گونه‌های ممنوع‌القطع در قانون حفظ و حمایت از منابع طبیعی و ذخایر جنگلی کشور است. این گونه از نظر زیست‌محیطی در حفاظت خاک، جلوگیری از فرسایش، مقاومت بسیار بالای آن در تحمل خشکی و دیگر شرایط نامناسب محیطی، از ارزش و اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجاکه تاکنون پژوهشی در خصوص بررسی الگوی مکانی این گونه در شرق ایران انجام نشده است، تعیین الگوی مکانی این گونه در رویشگاه‌های طبیعی به‌منظور مدیریت صحیح آن و اجرای طرح‌های احیایی، ضروری به نظر می‌رسد. Erfanifard and Rezayan (2014) به بررسی روش -

۲۰۱۲ برابر با نهم شهریور ۱۳۹۱ استفاده شد. تصویر مورد استفاده فاقد پوشش ابر بوده و منطقه مورد بررسی در وسط فریم تصویر واقع شده است. قدرت تفکیک مکانی این ماهواره در باند پانکروماتیک ۴۶ سانتی متر و در باندهای طیفی ۱/۸۴ متر در نقطه نادیر است. محدوده طیفی باندهای آبی ۴۵۰-۵۱۰ nm، سبز ۵۱۰-۵۸۰ nm، قرمز ۶۵۵-۶۹۰ nm، مادون قرمز ۷۸۰-۹۲۰ nm و پانکروماتیک ۴۵۰-۸۰۰ nm است.

قرق چرای دام است. سنگ مادر در منطقه تگ احمدشاهی آهکی است، بافت خاک در داخل ذخیره گاه شنی لومی بوده و دارای خاک به نسبت عمیق و pH آن بازی و بین ۷/۵ تا ۸ است، شیب غالب در داخل ذخیره گاه صفر تا ۱۰ درصد و جهت غالب شیب شمالی است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی را در ایران و استان خراسان جنوبی نشان می دهد. در این بررسی از پنج باند طیفی تصویر ماهواره GeoEye-1 مربوط به تاریخ ۳۰ آگوست



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در ایران (الف)، استان خراسان جنوبی (ب) و جانمایی تصویر GeoEye-1 با ترکیب رنگی (RGB432) بر روی مرز منطقه مورد بررسی (ج)

Figure 1. Study area position in Iran (a), Southern Khorasan province (b) Geo-Eye1 image with 432 color composite located on boundary of study area region(c)

پیش پردازش تصویر ماهواره‌ای
تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای با ۴۶ نقطه کنترل
زمینی برداشت شده با دستگاه تعیین موقعیت جهانی به
روش تفاضلی Differential Global Positioning

پیش پردازش تصویر ماهواره‌ای
تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای با ۴۶ نقطه کنترل
زمینی برداشت شده با دستگاه تعیین موقعیت جهانی به
روش تفاضلی Differential Global Positioning

پیش پردازش تصویر ماهواره‌ای
تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای با ۴۶ نقطه کنترل
زمینی برداشت شده با دستگاه تعیین موقعیت جهانی به
روش تفاضلی Differential Global Positioning

خاکستری تصویر باشد، مقدار تابع همبستگی متقابل $h(u,v)$ به صورت زیر تعریف می‌شود (Cheng and Han, 2016):

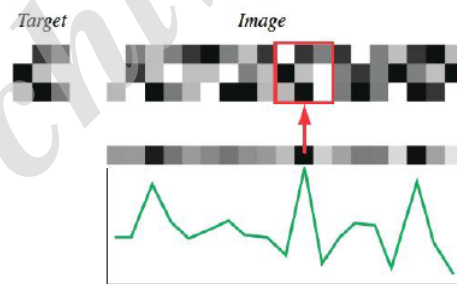
$$h(u,v) = \frac{\sum_{x,y} f(u+x,v+y)t(x,y)}{\sqrt{\sum_{x,y} f^2(u+x,v+y)} \sqrt{\sum_{x,y} t^2(x,y)}} \quad (2)$$

که u,v مختصات، با فرض $1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N$ در این صورت x,y اعداد صحیح هستند. ارزش‌های حداکثر این تابع بیش‌ترین تطابق را با الگو خواهند داشت (شکل ۲) و باید برای استخراج پدیده‌ها حد آستانه همبستگی در نظر گرفت (Duan et al., 2010). اگر همبستگی بین الگو و تصویر در یک نقطه مشخص بالاتر از حد آستانه تعریف شده باشد (حداکثر محلی در یک همسایگی مشخص)، لایه‌ای نقطه‌ای به‌عنوان درختان تطبیق یافته با الگو را نشان می‌دهد (Tiede et al., 2017).

طیفی به روش High Pass Filter (HPF) Resolution Merge با باند پانکروماتیک ادغام شدند (Gosh and Joshi, 2013). در نهایت به‌منظور کاهش نویز و هموارسازی از فیلتر Median با اندازه پنجره سه در سه بر روی تصویر استفاده شد. به‌منظور اجرای الگوریتم تطبیق الگو شاخص گیاهی NDVI با استفاده از باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک ساخته و ایجاد شد (رابطه ۱).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

که ρ_{NIR} مقادیر بازتاب در باند مادون‌قرمز نزدیک و ρ_R مقادیر بازتاب در باند قرمز است. ساخت الگو و اجرای الگوریتم تطبیق الگو در این پژوهش، الگوها بر اساس ۴ باند طیفی و شاخص NDVI ساخته شدند. معیار شباهت آماری به‌کاررفته برای تطبیق الگو، همبستگی متقابل نرمال-شده است. اگر فرض شود که پیکسل‌های الگو $M \times N$ ، $f(x,y)$ درجات خاکستری الگو و $t(x,y)$ درجات



شکل ۲- همبستگی متقابل یک الگو با تصویر برای حصول بهترین انطباق، موقعیت نشان داده‌شده بیش‌ترین شباهت را به الگو دارد (Ahmadi et al., 2016)

Figure 2. Cross correlation of a template with image to achieve best matching, showed pixel has the highest similarity into template (Ahmadi et al., 2016)

یک هکتاری به‌صورت تصادفی انتخاب شد و موقعیت تمامی درختان بنه در هر قطعه با استفاده از دستگاه DGPS به‌عنوان واقعیت زمینی برداشت شد. معیارهای دقت یا صحت کاربر (احتمال اینکه درخت تشخیص

ارزیابی صحت به‌منظور ارزیابی صحت الگوریتم تطبیق الگو، یک شبکه ۱۰۰ در ۱۰۰ متری (یک هکتاری) بر روی منطقه مورد بررسی پیاده شد و تعداد ۶۰ قطعه نمونه

داده شده معتبر باشد)، یادآوری یا صحت تولیدکننده
احتمال اینکه درخت تشخیص داده شده منطبق بر

واقعیت زمینی باشد) و صحت کل (Overall

رابطه (۳) کل موارد تشخیص داده شده توسط الگوریتم / تعداد درختان صحیح تشخیص داده شده = دقت

رابطه (۴) تعداد درختان در واقعیت زمینی / تعداد درختان صحیح تشخیص داده شده = یادآوری

رابطه (۵) $\frac{1}{2} \times (\text{دقت} + \text{یادآوری}) = \text{صحت کل}$

(2008). تابع $g(r)$ یکی از مشتقات تابع K رایپلی است

که بیانگر تراکم درختان بنه در دایره‌ای با شعاع r و مرکز تصادفی در محدوده مورد بررسی است (رابطه (۷):

$$g(r) = \frac{dK(r)}{(2\pi r)(dr)} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه $dK(r)$ مشتق تابع K رایپلی و dr

مشتق r است و مقدار این تابع در یک الگوی مکانی

تصادفی برابر عدد یک بوده و بیشتر بودن این تابع از

عدد یک بیانگر الگوی کپه‌ای و کمتر بودن آن

نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده است (Erfanifard

and kariminejad, 2015). به منظور آزمون آماری

نتایج، آزمون نیکویی برازش پیشنهادی Diggle

(2003) مورد استفاده قرار گرفت که صحت نتایج

توابع را ارزیابی می‌کند. در این بررسی از نرم‌افزارهای

2014 PCI Geomatica 9، eCognition،

Matlab 2010 و ArcGIS 10.2 استفاده شد.

نتایج

الگوریتم تطبیق الگو

با توجه به ناهمسان بودن درختان بنه در منطقه مورد

بررسی و اندازه‌های مختلف تاج، سه الگو با اندازه‌های

کوچک، متوسط و بزرگ (شکل ۳) برای هر یک از

باندهای طیفی و شاخص NDVI ساخته شد. مقدار

همبستگی نمونه‌ها برای انتخاب بهترین باند نشان داد

که شاخص NDVI با ۰/۹۴۳ مناسب‌تر از دیگر باندها

است (جدول ۱).

تحلیل الگوی مکانی

به منظور جلوگیری از بروز خطا در تحلیل الگوی

مکانی، بررسی همگنی پراکنش درختان در محدوده

مورد بررسی با برازش توزیع آماری پواسون همگن بر

داده‌های موقعیت مکانی درختان بنه انجام شد و

معنی‌دار بودن اختلاف این دو توزیع در سطح ۹۵

درصد از طریق آزمون نیکویی برازش کولموگروف-

اسمیرنوف ارزیابی شد (Erfanifard and Rezayan,

2014). برای تحلیل الگوی مکانی درختان بنه از توابع

توزیع نزدیک‌ترین همسایه ($D(r)$) و همبستگی جفتی

($g(r)$) استفاده شد. تابع $D(r)$ ارتباط هر درخت بنه را

با نزدیک‌ترین همسایه‌اش در فاصله r نشان می‌دهد.

این تابع علاوه بر شکل توزیع درختان، تغییرات فاصله

تا نزدیک‌ترین همسایه را مشخص می‌کند. برای

محاسبه این تابع از رابطه ۶ استفاده می‌شود. مقدار این

تابع از صفر (فاصله‌ای که در آن هیچ نزدیک‌ترین

همسایه‌ای وجود ندارد) تا یک (فاصله‌ای که در آن

تمام نقاط دارای نزدیک‌ترین همسایه هستند) تغییر

می‌کند (Erfanifard and Aali Beiranvand, 2016):

$$D(r) = 1 - \exp(-\lambda\pi r^2) \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه r مقدار فاصله از نقطه تصادفی و λ

تراکم درختان در منطقه مورد نظر است. مقدار این تابع

در الگوی کپه‌ای بیشتر از حالت تصادفی و در الگوی

پراکنده کمتر از حالت تصادفی است. برای تصحیح اثر

حاشیه‌ای در این تابع از روش هانیش (Hanisch) به-

عنوان مناسب‌ترین روش استفاده شد (Illian et al.,

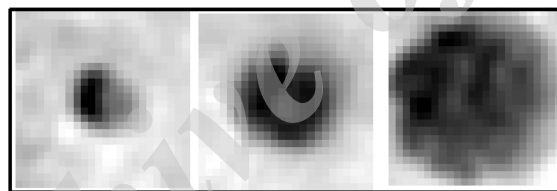
در نهایت پس از تهیه لایه همبستگی متقابل (شکل ۴) با در نظر گرفتن حد آستانه برابر با ۰/۷۵ لایه موقعیت درختان استخراج شد (Gulbe and Mednieks, 2013).

ارزیابی صحت ۶۰ قطعه نمونه یک هکتاری (شکل ۵) صحت کل برای الگوریتم ۹۵/۵۷ درصد محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۱- مقدار همبستگی نمونه‌ها برای انتخاب بهترین باند

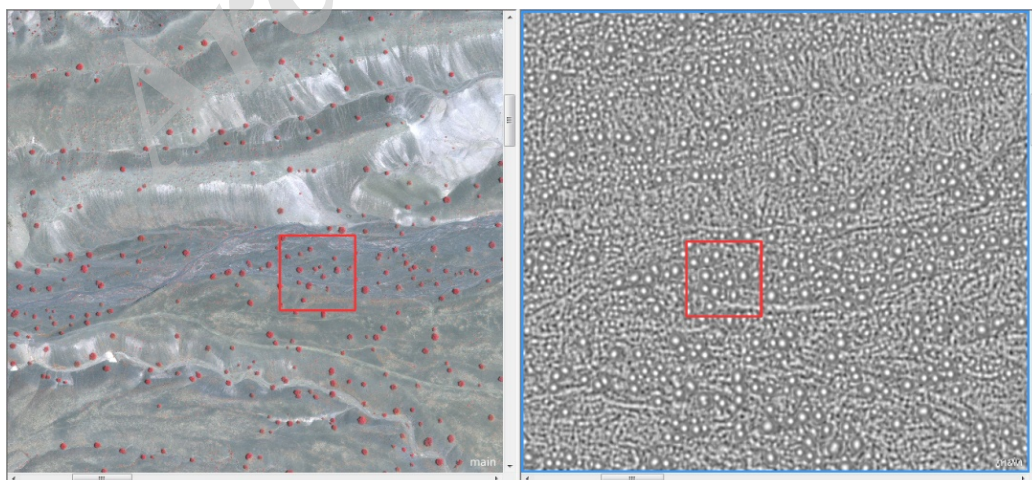
Table 1. Correlation of samples to select the best band

مقدار همبستگی Correlation	باند طیفی Spectral band
0.711	آبی Blue
0.876	سبز Green
0.848	قرمز Red
0.913	مادون قرمز نزدیک Near Infrared
0.943	شاخص نرمال شده تفاوت گیاهی Normalized Difference Vegetation Index



شکل ۳- نمونه الگوهای ساخته شده در باند قرمز برای اجرای الگوریتم

Figure 3. Sample Templates built in red band for algorithm executing



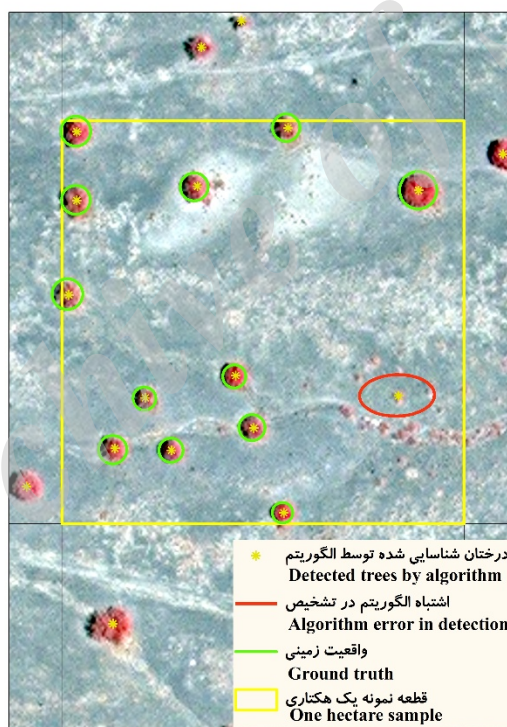
شکل ۴- لایه همبستگی متقابل حاصل از تقابل الگو با تصویر NDVI (سمت راست)، تصویر رنگی ۴۳۲ (سمت چپ)

Figure 4. Cross correlation layer resulted with NDVI image (Right), Color composite image 432 (Left)

جدول ۲- ارزیابی صحت

Table 2. Accuracy Assessment

شاخص ارزیابی Assessment Index	مجموع ۶۰ قطعه نمونه Sum of 60 Samples
تعداد درختان صحیح تشخیص داده شده The number of correctly detected trees	496
تعداد کل پدیده‌های تشخیص داده شده The number of all detected objects	521
تعداد درختان در واقعیت زمینی The number of trees in ground truth	517
دقت (درصد) Precision (%)	95.20
یادآوری (درصد) Recall (%)	95.94
صحت کل (درصد) Overall accuracy (%)	95.57



شکل ۵- یکی از قطعات نمونه مورد بررسی برای ارزیابی صحت

Figure 5. One of the checked samples for accuracy assessment

دارد و بیشترین مقدار ضریب تغییرات (۵۷/۹ درصد) مربوط به تعداد پایه درختان در هکتار است که نشان‌دهنده پراکنش ناهمگن درختان در سطح منطقه است.

مشخصه‌های کمی درختان بنه در منطقه مورد بررسی آمار توصیفی مشخصه‌های کمی درختان بنه در منطقه مورد بررسی در جدول ۳ آمده است. کمترین مقدار ضریب تغییرات (۲۰/۱ درصد) را مقدار ارتفاع درختان

جدول ۳- مشخصه‌های کمی درختان بانه در منطقه مورد بررسی

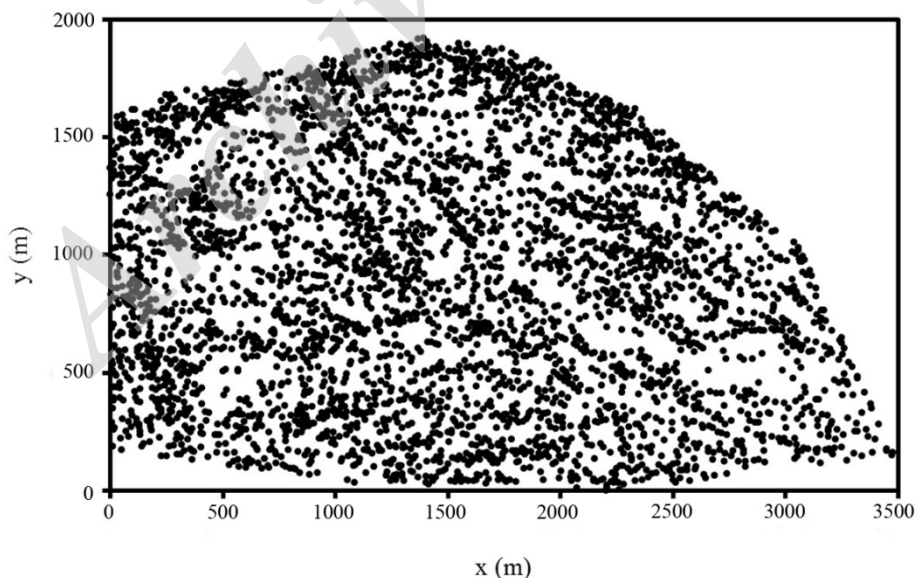
Table 3. Quantitative characteristics of wild pistachio trees in study area

ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	خطای استاندارد Standard Error	میانگین Average	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	مشخصه کمی Quantitative Characteristics
35.3	1.8	44.3	72	16	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)
20.1	0.1	4.1	6.2	2.3	ارتفاع (متر) Height (m)
46.8	1.5	34.9	99.5	5.7	سطح تاج (مترمربع) Crown area
57.9	1.6	7.3	28	0	تعداد در هکتار Number per hectare

فاصله ۴۵ متری دارای نزدیک‌ترین همسایه بودند. همچنین تابع $g(r)$ نشان داد که درختان بانه تا فاصله ۱۱ متر دارای پراکندگی معنی‌دار بودند درحالی‌که از فاصله ۱۱/۵ تا ۱۷ متر الگوی پراکنش کپه‌ای آنها از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0/05$).

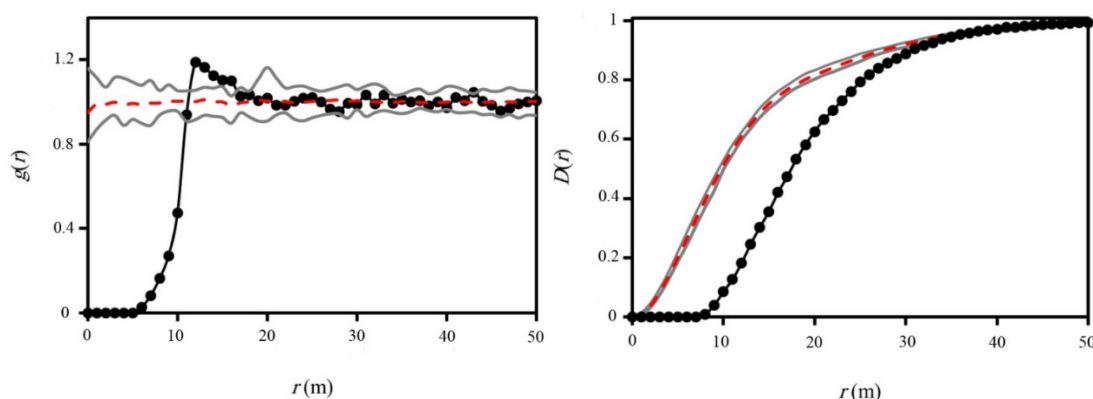
الگوی پراکنش مکانی درختان

بررسی توزیع درختان بانه در هسته مرکزی ذخیره‌گاه بانه (۵۱۵ هکتار) نشان داد توزیع درختان با توزیع پواسون همگن به‌طور معنی‌داری متفاوت بود و فرض صفر رد شد ($p < 0/05$)؛ بنابراین برای تحلیل مکانی درختان از شکل ناهمگن توابع $D(r)$ و $g(r)$ استفاده شد. نتایج تابع $D(r)$ نشان داد که درختان بانه حداکثر تا



شکل ۶- پراکنش درختان بانه در محدوده هسته مرکزی ذخیره‌گاه درختان بانه حاصل از تحلیل تصویر GeoEye-1

Figure 6. Wild pistachio trees in core zone of wild pistachio trees Reserve resulted of GeoEye-1 image analysis



شکل ۷- تغییرات الگوی مکانی درختان بنه در هسته مرکزی ذخیره‌گاه بنه با استفاده از دو تابع $D(r)$ و $g(r)$ (خط مشکی دایره دار، تغییرات الگوی مکانی را نشان می‌دهد، خطوط خاکستری رنگ، حدود مونت کارلو در سطح ۵ درصد و خط چین قرمز مقدار پیش فرض تابع‌ها را بیان می‌کنند)

Figure 7. Wild pistachio spatial pattern variation in core zone of Reserve using $D(r)$ and $g(r)$ functions (Black line with circle showed spatial pattern variation, gray lines showed Monte Carlo confidence limits in 5% significant level and red dash stated the default functions)

نتایج این بررسی نیز به‌نوعی در تأیید این موضوع است. با توجه به ناهمسال بودن درختان بنه در منطقه مورد بررسی استفاده از الگوهای با اندازه‌های مختلف به‌جای یک الگو سبب افزایش صحت شد که با نتایج Hung و همکاران (2012) مطابقت دارد. یکی از خطاهای این الگوریتم در منطقه مورد بررسی، تشخیص اشتباه درختچه‌های کاروان‌کش و تنگرس به‌جای درختان بنه بود که استفاده از شاخص‌های مختلف و آنالیز بافت می‌تواند سبب بهبود نتایج شود. از آنجایی‌که با توجه به عوامل محدودکننده‌ای چون زمان و هزینه، دسترسی به نقشه‌ای که حاوی موقعیت تمام درختان در جنگل باشد همیشه ممکن نیست، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و الگوریتم‌های مناسب می‌تواند در زمینه مفید واقع شود و به اطلاعات دقیق و با هزینه کمتر در سطحی وسیع دست یافت. در دیگر تحقیقات انجام شده در ایران، قابلیت استفاده از تصاویر ماهواره GoeEye-1 در برآورد سطح تاج‌پوشش درختان شهری (Golshani *et al.*, 2014) و جنگل‌های زاگرس

بحث

در این پژوهش امکان تشخیص و شمارش درختان بنه توسط تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا (GeoEye-1) مربوط به تابستان ۱۳۹۱ با کاربرد الگوریتم تطبیق الگو مورد بررسی قرار گرفت. اندازه صحت کل ۹۵ درصد در مرحله ارزیابی صحت بیانگر قابلیت بالای الگوریتم تطبیق الگو در استخراج موقعیت درختان بنه در ذخیره‌گاه مورد بررسی است که با نتایج Salehi و همکاران (2016) مطابقت دارد. با توجه به مقدار دقت حاصله این روش به‌عنوان یک روش نیمه‌خودکار در تشخیص تاج درختان می‌تواند در مناطق مشابه به کار گرفته شود. اندازه صحت کل این بررسی از نتایج Wong-in and Kaewkongka (2015) و همچنین Daliman و همکاران (2015) بالاتر است که می‌تواند ناشی از تراکم پایین‌تر و جدا بودن پایه‌های درختان بنه در منطقه مورد بررسی باشد. بر اساس نتایج Li و همکاران (2017) الگوریتم تطبیق الگو در مناطق متراکم مناسب نیست و بالعکس در مناطق جنگلی باز و درخت‌زارها دقت بالاتری دارد که

Erfanifard and Erfanifard and Mahdian, 2012) کپه‌ای بودن پراکنش مکانی درختان بنه را گزارش کرده‌اند. هرچند تاکنون تحقیقی در خصوص تحلیل الگوی پراکنش درختان بنه در شرق ایران و ناحیه رویشی ایران و تورانی انجام نشده است اما الگوی متفاوت درختان در منطقه مورد بررسی نسبت به ناحیه رویشی زاگرس با توجه به تفاوت شرایط رویشگاهی و کمتر بودن تراکم درختان بنه قابل توجه است. نتایج تابع $D(r)$ نشان داد نزدیک‌ترین همسایه درختان بنه حداکثر در فاصله ۴۵ متری مشاهده می‌شود که زیاد بودن این فاصله به علت تراکم کم درختان در منطقه مورد بررسی است. نتایج این پژوهش، قابلیت تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا را در تعیین موقعیت درختان بنه و در شناسایی الگوی مکانی آنها را تأیید کرد. در بررسی الگوی مکانی، اگر هدف بررسی تغییرات رفتار درختان در مقیاس‌های مختلف باشد، تهیه نقشه موقعیت درختان در مقیاس بزرگ بسیار دشوار است که با استفاده از روش ارائه‌شده در این تحقیق می‌توان به آن دست یافت. همچنین برای بالا بردن صحت نتایج پیشنهاد می‌شود از تلفیق روش‌های شی پایه با الگوریتم تطبیق الگو استفاده شود (Tiede et al., 2017).

References

- Ahmadi, R., N. Fathianpour & G. H. Norouzi, 2016. Detecting Cylindrical Targets Characteristics Hidden in GPR Images Using Artificial Neural Network and Template Matching, *Journal of Engineering Geology*, 9(4): 3069-3092. (In Persian)
- Alvarez, L. J., H. E. Epstein, J. Li & G. S. Okin, 2011. Spatial patterns of grasses and shrubs in an arid grassland environment, *Ecosphere*, 2(9): 1-30.
- Brunelli, R., 2009. Template matching techniques in computer vision: theory and practice, John Wiley & Sons Press, United States, 384 p.

(Naghavi et al., 2014) مورد تأیید واقع شده و نتایج تحقیق حاضر بیانگر قابلیت این تصویر در تعیین موقعیت درختان در ناحیه رویشی ایران و تورانی است.

نتایج بررسی الگوی پراکنش درختان با استفاده از نقشه موقعیت درختان حاصل از تصویر ماهواره‌ای و تابع $g(r)$ نشان داد که الگوی پراکنش درختان بنه تا ۱۱ متر به صورت معنی‌داری دارای الگوی پراکنده هستند که می‌تواند به دلیل رقابت بین درختان بنه در محیط ناهمگن مورد بررسی باشد و با نتایج Kariminejad و همکاران (2017) که توزیع ناهمگن درختان بنه را ناشی از ناهمگنی شرایط رویشگاهی و استفاده از توابع مناسب را اجتناب‌ناپذیر دانسته مطابقت دارد. همچنین در فاصله میانی ۱۱/۵ تا ۱۷ متر الگوی پراکنش به طور معنی‌داری به صورت کپه‌ای است که احتمالاً ناشی از حضور گونه‌های همراه همچون تنگرس و کاروانکش است. همچنین ممکن است خوشه‌ای و سنگین بودن بذر درختان بنه و حضور گروه‌های درختی در مناطق مساعدتر رویشگاه سبب ایجاد الگوی کپه‌ای در این حدفاصل شده باشد. دیگر تحقیقات در خصوص تحلیل الگوی نقطه‌ای درختان بنه در غرب ایران و ناحیه رویشی زاگرس (Safari et al., 2010, Pourreza et al., 2012)

- Cheng, G. & J. Han, 2016. A survey on object detection in optical remote sensing images, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117: 11-28.
- Clyatt, K. A., J. S. Croteau, M. S. Schaedel, H. L. Wiggins, H. Kelley, D. J. Churchill & A. J. Larson, 2016. Historical spatial patterns and contemporary tree mortality in dry mixed-conifer forests, *Forest Ecology and Management*, 361: 23-37.
- Daliman, S., S. A. Bakar & I. Busu, 2015. Oil palm tree enumeration based on template matching. In: World Virtual Conference on Applied Sciences and Engineering

- Applications (WVCASEA2015). Johor Bahru, Johor. pp: 27-29.
- Diggle, P. J., 2003. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Hodder Education, London, 159 p.
 - Duan, H., C. Xu, S. Liu & S. Shao, 2010. Template matching using chaotic imperialist competitive algorithm, *Pattern Recognition Letters*, 31(13): 1868-1875.
 - Erfanifard, S. Y. & F. Mahdian, 2012. Comparative investigation on the methods of true spatial pattern analysis of trees in forests, Case study: Wild pistachio research forest, Fars province, Iran, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 62-73. (In Persian)
 - Erfanifard, Y. & F. Aali Beiranvand, 2016. Evaluating the Intraspecific Interactions of Indian Rosewood (*Dalbergia sissoo* Roxb.) Trees in Indian Rosewood Reserve of Khuzestan Province, *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5(15): 15-26. (In Persian)
 - Erfanifard, Y. & F. Rezayan, 2014. Suitable Methods in Spatial Pattern Analysis of Heterogeneous Wild Pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) Woodlands in Zagros, Iran, *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(9): 81-91. (In Persian)
 - Erfanifard, Y. & N. Kariminejad, 2015. Efficiency of different summary statistics in modelling spatial point patterns of Christ's thorn jujube trees (*Ziziphus spina-christi* (L.) Wild.), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 413-423. (In Persian)
 - Ghosh, A. & P. K. Joshi, 2013. Assessment of pan-sharpened very high-resolution WorldView-2 images, *International Journal of Remote Sensing*, 34(23): 8336-8359.
 - Golshani, P., A. Fallah & S. Kalbi, 2014. Estimation of Urban Forest Canopy Using Non-parametric Methods and GeoEye-1 Imagery Data (Comparison of BRT and RF Regression Algorithms), *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 21(1): 21-44.
 - Gulbe, L. & I. Mednieks, 2013. Automatic Identification of Individual Tree Crowns in Mixed Forests Using Fusion of LIDAR and Multispectral Data, *Rigas Tehniskas Universitates Zinatniskie Raksti*, 14(1): 93-99.
 - Guo, Y., J. Lu, S. B. Franklin, Q. Wang, Y. Xu, K. Zhang, D. Bao, X. Qiao, H. Huang, Z. Lu & M. Jiang, 2013. Spatial distribution of tree species in a species-rich subtropical mountain forest in central China, *Canadian Journal of Forest Research*, 43(9): 826-835.
 - Han, L., H. Wang, Z. Zhou & Z. Li, 2008. Spatial distribution pattern and dynamics of the primary population in a natural *Populus euphratica* forest in Tarim Basin, Xinjiang, China, *Frontiers of Forestry in China*, 3(4): 456-461.
 - Hung, C., M. Bryson & S. Sukkarieh, 2012. Multi-class predictive template for tree crown detection, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68: 170-183.
 - Illian, J., A. Penttinen, H. Stoyan & D. Stoyan, 2008. Statistical analysis and modeling of spatial point patterns, John Wiley & Sons Press, West Sussex, 560 p.
 - Kariminejad, N., S. Y. Erfanifard, S. R. Fallah Shamsi & H. Sadeghi, 2017. Analyzing the effect of clustered spatial distribution of mount Atlas mastic (*Pistacia atlantica* Desf.) trees on their biometric characteristics using mark-correlation function in Baneh Research Forest, Fars province, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(2): 264-274. (In Persian)
 - Ke, Y. & L. J. Quackenbush, 2011. A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 32(17): 4725-4747.
 - Larsen, M., M. Eriksson, X. Descombes, G. Perrin, T. Brandtberg & F. A. Gougeon, 2011. Comparison of six individual tree crown detection algorithms evaluated under varying forest conditions, *International Journal of Remote Sensing*, 32(20), 5827-5852.
 - Li, W., H. Fu, L. Yu & A. Cracknell, 2016. Deep Learning Based Oil Palm Tree Detection and Counting for High-Resolution Remote Sensing Images, *Remote Sensing*, 9(1): 22.
 - Naghavi, H., A. Fallah, S. Shataee, H. Latifi, J. Soosani, H. Ramezani & C. Conrad, 2014. Canopy cover estimation across semi-Mediterranean woodlands: application of high-resolution earth observation data, *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1): 083524-083524.
 - Olofsson, K., J. Wallerman, J. Holmgren & H. Olsson, 2006. Tree species discrimination using Z/I DMC imagery and template

- matching of single trees, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21(S7): 106-110.
- Pourreza, M., S. M. Hosseini & A. A. Zohrevandi, 2012. Spatial variations of diameter of *Pistacia atlantica* trees in Zagros area (Case study: Pirkashan, Kermanshah), *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(3): 1-19. (In Persian).
 - Safari, A., N. Shabanian, S. Y. Erfanfard, R. H. Heidari & M. Purreza, 2010. Investigation of spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) (Case study: Bayangan forests, Kirmanshah), *Iranian Journal of Forest*, 2(2):177-185. (In Persian)
 - Salehi, A., M. Gomroki, Z. Azizi & H. Sadeghian, 2016. Automated tree crown delineation and detection in UltraCam-D Digital image, *Journal of Forest Research and Development*, 2(3):241-256. (In Persian)
 - Shafri, H. Z. M., N. Hamdan & M. I. Saripan, 2011. Semi-automatic detection and counting of oil palm trees from high spatial resolution airborne imager, *International Journal of Remote Sensing*, 32(8): 2095-2115.
 - Shao, G. & K. M. Reynolds, 2006. Computer applications in sustainable forest management: including perspectives on collaboration and integration, Dordrecht, Springer Science & Business Media Press, 277 p.
 - Sohrabi, H., 2014. Spatial pattern of woody species in Chartagh forest reserve, Ardal, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(1): 27-38. (In Persian)
 - Tiede, D., P. Krafft, P. Füreder & S. Lang, 2017. Stratified Template Matching to Support Refugee Camp Analysis in OBIA Workflows, *Remote Sensing*, 9(4): 326.
 - Wong-in, T., T. Kaewkongka, N. Cooharajanone & R. Lipikorn, 2015. Automatic Oil Palm Detection and Identification from Multi-scale Clustering and Normalized Cross Correlation. In: Gen, M., K. J. Kim, X. Huang & Y. Hiroshi (Eds.), *Industrial Engineering, Management Science and Applications 2015*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 403-410.

Efficiency of template matching algorithm on GeoEye-1 image for detecting wild pistachio trees and determining their spatial pattern (Case study: The Tag-Ahmad-Shahi protected area, southern Khorasan Province, Iran)

R. Bagheri^{*1}, Sh. Shataee² and S. Y. Erfanifard³

1- Ph.D Student of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R Iran.

2- Associate Professor, Forestry department, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

3- Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, I.R. Iran.

Received: 04.08.2017

Accepted: 15.12.2017

Abstract

This study was carried out to investigate the ability of template matching algorithm in wild pistachio tree position and their spatial pattern determination using GeoEye-1 images in TAGE-AHMADSHAHI protected area of Southern Khorasan. After geometric correction and fusion of multi-spectral bands with panchromatic band, three templates were generated for each band and NDVI index. For accuracy assessment of template matching a 100 by 100 meter network (1 ha) used and 60 samples selected randomly and the location of wild pistachio as ground truth registered using a precise DGPS device. For spatial pattern analyzing two useful functions $D(r)$ and $g(r)$ were used. The result of cross correlation showed that the generated templates based on NDVI have the highest correlation between samples. The result of template algorithm on satellite image showed that this method with 95.57 percent overall accuracy have the ability to determine tree position by suitable precision on high resolution satellite images. The result of $D(r)$ function showed that wild pistachio trees have nearest neighbor maximum to 45 meter distance. Also the result of $g(r)$ function showed that the trees have a significant uniform dispersion up to 11 meter while between 11.5 and 17 meter have a clumped dispersion which were statistically significant ($p < 0.05$).

Keywords: GeoEye-1, Spatial pattern, Template matching, Wild Pistachio.

* Corresponding author:

Email: bagheri_gau@yahoo.com