

تعیین الگوی مکانی درختان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، طبقه‌بندی شیء پایه و تابع O-ring (مطالعه موردی: جنگل سنگده شهرستان ساری)

نعیمه رحیمی‌زاده^۱، ساسان بابایی کفاکی^{۲*}، محمودرضا صاحبی^۳ و اسدالله متاجی^۴

۱. دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳. دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۴. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۲

چکیده

تعیین الگوی مکانی درختان به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم ساختاری جنگل، در شناسایی فرایندهای بوم‌شناختی و پایش آن در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. از سویی تعیین این پارامتر ساختاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تأثیر بسیاری در کاهش هزینه‌های آماربرداری و سهولت ارزیابی مدیران جنگل خواهد داشت. در این تحقیق، الگوی مکانی درختان در جنگل‌های طبیعی فریم استان مازندران با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تعیین شد. به این منظور ابتدا برخی مشخصات درختان همچون نوع گونه، قطر برابر سینه، قطر تاج، روشنه‌ها و موقعیت مکانی درختان به‌صورت صددرصد در ۱۲ پلات مربعی یک هکتاری اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر داده‌های سنجنده SPOT-7 با توجه به قدرت تفکیک مکانی و طیفی انتخاب شد و پس از تصحیحات هندسی و رادیومتریک، با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء پایه، تاج‌پوشش درختان و روشنه‌ها تفکیک و مرکز ثقل تاج درختان، به‌عنوان موقعیت مکانی تک‌پایه‌ها استخراج شد. سپس، الگوی مکانی پراکنش پایه‌ها در آماربرداری زمینی و استخراج‌شده از تصویر ماهواره‌ای توسط تابع O-ring تعیین و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که تفکیک تاج درختان از روشنه‌ها با دقت ۹۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۷ و الگوی مکانی درختان در تصاویر ماهواره‌ای، مشابه آماربرداری زمینی و به‌صورت تصادفی تعیین شد. به‌طور کلی، تصاویر SPOT-7 و روش طبقه‌بندی شیء پایه، قابلیت مناسبی در تعیین الگوی مکانی پایه‌های درختان جنگلی دارند.

واژه‌های کلیدی: تابع O-ring، تصاویر ماهواره‌ای SPOT7، طبقه‌بندی شیء پایه، جنگل‌های هیرکانی.

مقدمه

جنگل، اهمیت زیادی در شناخت فرایندهای بوم‌شناختی همچون استقرار توده، رویش، رقابت، تولید و مرگ‌ومیر و همچنین فرایند پویایی توده‌ها و موزاییک‌های تحولی دارد [۱، ۲]. از سویی تعیین این پارامتر ساختاری در جنگل نیازمند آماربرداری صددرصد، پرهزینه و زمان‌بر است [۳] و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های آماربرداری و سهولت ارزیابی مدیران جنگل داشته

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تغییرات در جنگل، شناخت خصوصیات ساختاری جنگل است [۱]. تعیین الگوی مکانی درختان در توده یا به‌عبارت بهتر طرز پراکندگی درختان در فضا، به‌عنوان یکی از خصوصیات ساختاری

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۱۳۶۰۴۸

Email: s_babaie@srbiau.ac.ir

است و بنابراین قدرت بیشتری در کشف و تحلیل الگو و کنش متقابل نسبت به رایبلی دارد [۸].

در این بین می‌توان به تحقیقاتی [۳-۹] اشاره داشت که از تابع K رایبلی برای تعیین الگوی مکانی درختان در جنگل‌های راش هیرکانی در مراحل توالی استفاده کردند یا در تحقیق دیگری [۱۰] به منظور تعیین حداقل سطح مناسب برای بررسی الگوی مکانی برودار در جنگل‌های کمتر دخالت‌شده مریوان از تابع K رایبلی استفاده شده است. برخی دیگر نیز در تحقیق خود [۶] از آماره O -ring برای تعیین الگوی مکانی توده خالص بلندمازو در نکا مازندران استفاده کردند که الگوی به‌دست‌آمده در ابتدا خوشه‌ای و سپس با بزرگ شدن مقیاس بررسی، الگو تصادفی تعیین شد یا در تحقیقات دیگری [۷] از تابع O -ring به منظور تعیین الگوی مکانی و کنش متقابل گونه‌ها در مقیاس کوچک استفاده شد که نتایج تحقیق بیانگر تشریح مناسب الگوی مکانی در توده‌های تحت بررسی می‌باشد.

بر مبنای تحقیقات، مطالعاتی در زمینه تعیین الگوی مکانی پایه‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌ویژه در ایران صورت پذیرفته و کارایی آنها در تعیین الگوی مکانی درختان در توده‌های انبوه جنگلی ناشناخته است. از این‌رو در این تحقیق، با تکیه بر قابلیت روش طبقه‌بندی شیء پایه تصاویر ماهواره‌ای در استخراج اطلاعات ساختاری جنگل از جمله تعیین تاج‌پوشش درختان [۱۱]، برای بررسی الگوی مکانی پایه‌های درختان جنگلی و تعیین دقت محاسبات با استفاده از داده‌های زمینی تلاش شده است. طبقه‌بندی شیء پایه تصاویر ماهواره‌ای که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته، بر مبنای طبقه‌بندی صورت می‌گیرد و به معنای اختصاص دادن هر یک از قطعات تصویری به یک طبقه خاص با انتخاب چند نمونه تعلیمی یا براساس تعریف دامنه خاصی است [۱۲]. با این فرض، در این تحقیق با استفاده از طبقه‌بندی شیء پایه تصویر

باشد، همچنین با توجه به وسعت دامنه اخذ اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای به لحاظ ابعاد مکانی و زمانی و قابلیت تکرار در طی زمان و مکان‌های متفاوت، تأثیر بسیار مهمی در بررسی روند پویایی جنگل خواهد داشت [۵].

بر اساس تحقیقات، سه نوع الگوی خوشه‌ای، تصادفی و منظم (یکنواخت) در جنگل مشاهده می‌شود [۲]. گونه‌های گیاهی به‌ندرت در طبیعت به صورت منظم پراکنش دارند و اغلب خوشه‌ای یا تصادفی‌اند. الگوی تصادفی به همگنی محیطی یا الگوی رفتار غیرانتخابی توده‌های جمعیت اشاره دارد [۶] و الگوی مکانی یکنواخت یا منظم نشان‌دهنده رقابت زیاد در توده بوده و در آخر الگوی مکانی خوشه‌ای نمایانگر تجدید حیات متراکم در توده است [۲]. معمول‌ترین روش برای بررسی الگوی مکانی در روش قطعه نمونه با مساحت ثابت و روش فاصله‌ای است که هر کدام از این دو روش مشکلات و محدودیت‌های خاص خود را دارد. شاخص‌های به‌کاررفته در روش قطعه نمونه در صورتی که الگوی مکانی غیرتصادفی باشد تا حد زیادی تحت تأثیر مساحت قطعه نمونه است و در روش‌های فاصله‌ای نیز مشکل تعیین درختان و اندازه‌گیری فواصل در مناطق شیبدار است [۷]. در صورتی که آماربرداری صددرصد در منطقه صورت پذیرد، بهترین روش‌ها در تعیین الگوی مکانی پراکنش درختان و همچنین خشکه‌دارها در جنگل استفاده از توابع K رایبلی و O -ring است. تابع K رایبلی بر اساس تعداد درخت موجود در شعاع مشخص (r) به بررسی الگوی مکانی می‌پردازد و با افزایش این شعاع، تابع همه اطلاعات موجود در دامنه را در نظر می‌گیرد [۸]. در مقابل آماره O -ring که بر پایه تابع k رایبلی و تابع همبستگی جفتی است، دایره‌های مورد استفاده با حلقه‌ها جایگزین می‌شوند. اساس این تابع، متوسط تعداد نقاط (درختان) قرار گرفته روی حلقه‌ها با شعاع r از نقاط مرکزی درختان در منطقه تحقیق است، بنابراین طبقات فاصله‌ای معین را مجزا می‌کند. مزیت دیگر تابع O -ring این است که یک تابع توزیع احتمالی با تشریح تراکم همسایه‌ها و نقاط مجاور

1. Segmentation

2. Threshold

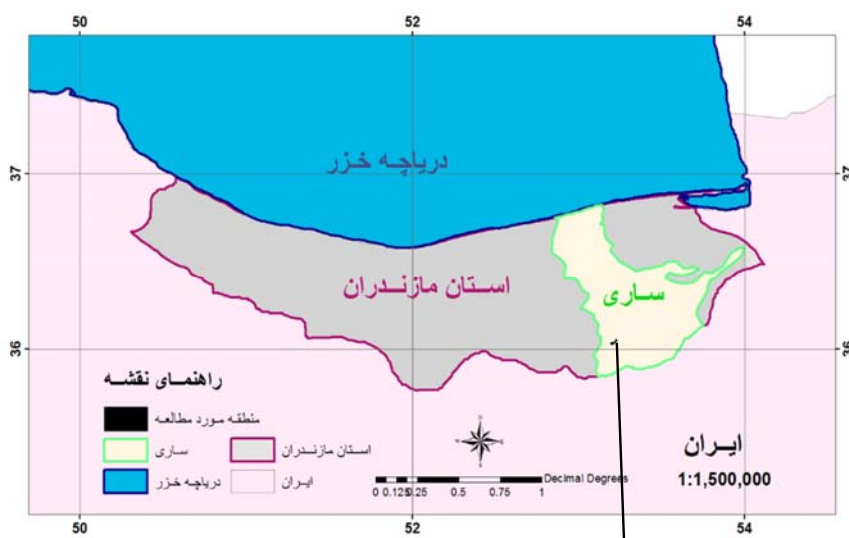
ساری استان مازندران صورت پذیرفت. منطقه پژوهش در بخش‌هایی از هفت پارسل از سری ۱ و ۲ طرح جنگلداری سنگده حوزه آبخیز ۶۴ انجام پذیرفت. منطقه با ۳۷۷ هکتار مساحت، دارای حداقل ارتفاع ۱۳۲۰ متر و حداکثر ارتفاع ۲۰۰۰ متر است. پوشش گیاهی منطقه درختان پهن‌برگ، ناهمسال و عمدتاً دوتا سه‌اشکوبه است که به‌طور متوسط دارای تراکم ۲۳۰ اصله در هکتار و تیپ غالب راش هستند (شکل ۱).

در SPOT-7 در جنگل ناهمسال هیرکانی، قطعات به دو طبقه تاج‌پوشش درختان و فضای فیما بین (روشنه‌ها) تفکیک و الگوی مکانی درختان با استفاده از مرکز ثقل محل حضور طبقه تاج‌پوشش تعیین شد و سپس دقت و صحت الگوهای به‌دست‌آمده با نمونه‌های زمینی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

تحقیق حاضر در جنگل‌های انبوه منطقه فریم شهرستان



(الف)



(ب)

شکل ۱. الف) موقعیت منطقه تحقیق و قطعات نمونه - استان مازندران - شهرستان ساری - جنگل سنگده فریم؛ ب) پراکنش قطعات نمونه در منطقه

مشخصات داده ماهواره‌ای

در این پژوهش از تصویر ماهواره‌ای SPOT-7 با قدرت تفکیک طیفی متناسب با هدف تحقیق (یک باند پانکروماتیک و چهار باند چندطیفی قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز نزدیک)، قدرت تفکیک مکانی بالا (۱/۵ متر پانکروماتیک و ۶ متر چندطیفی)، با کمترین زاویه نادیر موجود (۹ درجه) استفاده شد. تصویر مزبور فاقد ابر بوده و زمان اخذ داده (سپتامبر ۲۰۱۶) کاملاً همزمان با برداشت آماربرداری زمینی (شهریور ۱۳۹۵) است. همچنین پارسل‌های انتخابی مورد مطالعه در مرکزیت فریم تصویر و در اطراف خط فرضی نادیر قرار دارد.

روش تحقیق

مطالعات زمینی

به منظور تهیه نمونه‌های تعلیمی و بررسی صحت اطلاعات استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای، آماربرداری و مطالعات زمینی صورت پذیرفت. ابتدا نقشه‌ها و اطلاعات اولیه مورد نظر از قبیل نقشه‌های توپوگرافی عرصه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و مرز پارسل‌ها تهیه شد و پس از تولید لایه DEM منطقه، نقشه‌های طبقات شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع تولید شد. سپس با روی هم گذاری لایه‌های مذکور، واحدهای همگن زیست‌محیطی، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10 تولید شد. در مرحله بعد برای کاهش و حذف اثر متغیرهای شکل زمین، واحدهای همگن با شیب بیشتر از ۳۵ درصد حذف شدند [۱۳]. سپس به منظور توزیع متناسب و پراکندگی متوازن قطعات نمونه در کل محدوده تحت بررسی، تنوع لازم در جنگل و کاهش هزینه آماربرداری، واحدهای همگن بزرگ‌تر از یک هکتار (۱۲ واحد) شناسایی شدند و در همه آنها قطعات نمونه مربعی یک هکتاری پیاده شد (شکل ۱) و شاخص‌هایی همچون موقعیت درختان، نوع گونه، قطر برابر سینه (حد شمارش ۷/۵ سانتی‌متر)، قطر بزرگ و کوچک تاج، به صورت صد درصد برداشت شد. شایان ذکر است که

موقعیت همه پلات‌ها و مختصات اولین درخت در هر قطعه نمونه با استفاده از DGPS^۲ با مدل RTK^۳ (ابزار مزبور دارای یک آنتن مستقل و یک دستگاه گیرنده متحرک (Rover) برای ثبت نقاط کنترل زمینی است) ثبت شد تا مختصات بقیه درختان توسط آزیموت و فاصله یادداشت شده تعیین شود. همچنین به منظور تداقیق موقعیت درختان در هر قطعه نمونه، مختصات چند درخت نیز با ابزار DGPS برداشت شد. همه روشنیه‌های موجود در هر قطعه نمونه (بزرگ‌تر از ۲۰ متر مربع) به روش هشت‌جهته Brokaw [۱۳] برداشت شد. به این منظور، ابتدا موقعیت مرکز روشنیه‌ها با استفاده از ابزار GPS ثبت و سپس آزیموت و فاصله گوشه‌های روشنیه‌ها در هشت جهت مطابق عقربه‌های ساعت برداشت شد. شکل و ابعاد روشنیه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10 تعیین شد.

تعیین الگوی مکانی پایه‌ها در آماربرداری زمینی

بعد از عملیات زمینی و تکمیل فرم پلات‌های مربوط، به منظور تعیین الگوی مکانی درختان در واقعیت زمینی و مقایسه با الگوی به دست آمده با تصاویر ماهواره‌ای، همه اطلاعات به دست آمده در فرم پلات‌ها در محیط نرم‌افزار اکسل وارد شده و پس از آن موقعیت مکانی تک تک درختان (در سیستم تصویری UTM) با استفاده از روش‌های مثلثاتی تعیین شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Programita و تابع O-ring الگوی پراکنش مکانی درختان در هر قطعه نمونه تعیین شد. تابع اورینگ به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$O(r) = \lambda g(r) \quad (1)$$

در این رابطه $O(r)$ آماره تک‌متغیره او-رینگ، λ تراکم (تعداد در واحد سطح) و $g(r)$ مشتق تابع k رایلی است. در الگوی کاملاً تصادفی $O(r) = \lambda$ است. اگر $O(r) > \lambda$ باشد، الگو کپه‌ای و در فاصله $O(r) < \lambda$ الگو منظم

2. Differential Global Positioning System

3. DGPS system 500 (Leica), 1-5 cm accuracy assessment

۴. در فرمول $K(r) = \bar{n}(r)/\rho$ میانگین تعداد درختان همسایه‌ای است که به شعاع r از یک درخت قرار گرفته‌اند، \bar{n} و ρ تراکم درختان است.

1. Digital Elevation Model

افزایش دقت تصحیحات در فصل زمستان که درختان برگ نداشتند و احتمال خطای DGPS کمتر است، با استفاده از ابزار مزبور مجدداً ۳۰ نقطه کنترل زمینی از محل تقاطع جاده‌های بارز منطقه، گوشه ساختمان‌ها برداشت شدند. سپس با استفاده از لایه وکتوری حاصل از نقشه توپوگرافی و نقاط کنترل زمینی برداشت شده، عملیات اصلاح هندسی در نرم‌افزار PCI Geomatica صورت پذیرفت و در نهایت تصویر مزبور با RMSE برابر ۰/۷ پیکسل اصلاح شد. به منظور تفکیک دقیق تاج و روشنه‌ها، انواع شاخص گیاهی متداول، تبدیل‌های طیفی و نسبت‌گیری‌های طیفی با استفاده از باندهای اصلی تصویر با نرم‌افزارهای ENVI5.3 و SNAP تولید شدند. بدین ترتیب تعداد باندهای تصویر از ۴ باند به ۲۷ باند افزایش یافت (جدول ۱).

است [۱۴]. آنالیز نتایج به این صورت است که اگر خط تابع بین حدود مونت کارلو باشد، الگوی مکانی درختان به صورت تصادفی، اگر بالای خط باشد، خوشه‌ای و اگر پایین خط قرار گیرد منظم است [۲].

پردازش داده‌های ماهواره‌ای

به منظور پیش پردازش تصاویر مزبور، پس از تلفیق باند پانکروماتیک با دیگر باندهای اصلی چندطیفی تصویر [۱۵] و افزایش قدرت تفکیک مکانی تصویر چندطیفی، اصلاح هندسی روی داده‌های ماهواره‌ای مزبور (تسا سطح Orthorectification) صورت پذیرفت. به منظور اعمال تصحیحات هندسی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه تقاطع راه‌ها، رودخانه‌ها، منازل مسکونی و تأسیسات شاخص موجود در منطقه، همچنین گوشه‌های زمین‌های کشاورزی به عنوان یک لایه وکتور استخراج شد. همچنین به منظور

جدول ۱. شاخص‌های گیاهی تولیدشده - تبدیل‌های طیفی - نسبت‌گیری ساده طیفی

منبع	فرمول	شاخص‌های گیاهی، تبدیل‌های طیفی و نسبت‌گیری ساده طیفی	ردیف
[۱۶]	$(NIR - RED)/(NIR + RED)$	(NDVI) Normalized difference vegetation index	۱
[۱۷]	$NIR - RED$	(DVI) Difference vegetation index	۲
[۱۸]	$NIR/(RED + GREEN)$	(RVI) Ratio Vegetation Index	۳
[۱۹]	$eta*(1-0.25*eta)-(R-0.125)/(1-R)$	(GEMI) Global Environment Monitoring Index	۴
[۱۹]	PCA1, PCA2, PCA3	(PCA) Principal Components Analysis	۵
[۱۹]	HSV1, HSV2, HSV3	(HSV) Hues saturation value	۶
[۱۹]	Ratio 1: blue-red, Ratio2 =green-red, Ratio 3 = green-blue, Ratio4=NIR-Blue, Ratio 5=NIR-Green, Ratio 6= Red/Blue, Ratio 7= Red/Green, Ratio8= Red/NIR, Ratio 9 = Blue/Green, Ratio 10=Blue/NIR, Ratio 11= Green/NIR	Simple Ratio	۷

$$*eta = (2*(NIR^2-R^2) + 1.5*NIR+0.5*R)/(NIR+R+0.5)$$

روش Multi resolution segmentation تا رسیدن به بهترین حد تفکیک تاج پوشش درختان و روشنه در جنگل (با کنترل موقعیت قرارگیری درختان و قطر بزرگ و کوچک تاج در داده‌های زمینی) صورت پذیرفت. سپس طبقه‌بندی قطعه‌های تولیدشده با روش میانگین‌گیری ارزش‌های بهترین باند و رسیدن به بهترین طبقه

به منظور انتخاب بهترین باندها برای تشخیص مرز تاج پوشش جنگلی و روشنه فیما بین تاج‌ها با وارد کردن تصویر شامل همه باندها در محیط نرم‌افزار eCognition Developer64 و وزن‌دهی به باندها براساس نتایج هیستوگرام‌های ترسیم شده و همچنین تعیین حد فشردگی، مقیاس و شکل قطعات یا سگمنت‌ها با آزمون و خطا به

است. الگوی پراکنش درختان در قطعه نمونه‌های ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ در ابتدا تا شعاع ۳ تا ۵ متری خوشه‌ای و سپس تصادفی است. الگوی پراکنش مکانی درختان در قطعه نمونه ۱۲ با بقیه متفاوت است که دلیل آن، تراکم زیاد درختان به‌ویژه پایه‌های کم‌قطر و جوان در قطعه نمونه یادشده است، از این‌رو شکل نمودار با بقیه متفاوت شده است. الگوی پراکنش پایه‌ها در قطعه نمونه ۹ تا شعاع ۱۲ متری تصادفی، بین ۱۲ تا ۱۸ متری منظم و از محدوده ۱۸ متر به بعد تصادفی است.

در حالت کلی الگوی پراکنش درختان در قطعات نمونه تصادفی است که نشان‌دهنده همگنی محیطی یا الگوی رفتاری غیرانتخابی و همچنین بروز آشفتگی در مقیاس کوچک است. در برخی از قطعات در ابتدا الگو خوشه‌ای تعیین می‌شود و الگوی غیرتصادفی (خوشه‌ای و یکنواخت) نشان‌دهنده برخی محدودیت‌ها در جمعیت است. الگوی خوشه‌ای ممکن است به دلایلی همچون سنگین بودن بذر و فراوانی درختان جوان در بخش‌هایی از توده و ... ایجاد شود. امیدوار حسینی و همکاران [۶] نیز در تعیین الگوی مکانی و رقابت درون‌گونه‌ای در تیپ خالص بلندمازو با استفاده از آماره O-ring در یک پارسل مدیریت‌نشده از جنگل شاهد نکا به سنگین بودن بذر بلندمازو و فراوانی زیاد درختان جوان در فواصل کوتاه و خوشه‌ای شدن الگو در فواصل کم اشاره و سپس با بزرگ شدن مقیاس الگو را تصادفی تعیین کردند. کریمی و همکاران [۷] نیز علت خوشه‌ای شدن الگوی راش را سنگینی بذر آن معرفی کردند.

نتایج آنالیز تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصویر با استفاده از روش شیء‌پایه

نتایج نشان می‌دهد که از بین همه باندهای تصویر نهایی (۲۷ باند)، ۶ باند توان بهتری برای تفکیک قطعات در عملیات طبقه‌بندی مرز تاج‌پوشش درختان از هم و روزنه‌های فیما بین تاج‌ها دارند. باندهای مزبور شامل Red,

تاج‌پوشش و روشن‌تر در تصویر به‌دست آمد و صحت و دقت طبقات تولیدشده با استفاده از نقشه واقعیت زمینی (شامل صحت کلی و ضریب کاپا) محاسبه شد.

تعیین الگوی مکانی پایه‌ها در داده‌های ماهواره‌ای

پس از طبقه‌بندی تصویر و تعیین تاج‌پوشش درختان، از تصویر طبقه‌بندی‌شده یک لایه برداری شامل مرز طبقات تاج‌پوشش و روشن‌ها با حد تفکیک تاج‌پوشش و لایه رستری ارزش طبقات تاج‌پوشش جنگل استخراج شد. از آنجا که در جنگل‌های متراکم، تاج درختان در صورت بروز نیافتن هر گونه دخالت متقارن بوده و مرکز ثقل با پایه درختان انطباق دارد و بسیار نزدیک است، لایه وکتوری نقاط مرکز ثقل قطعات به‌عنوان مرکز تاج درختان استخراج شد. در مرحله آخر به روش پیشتر گفته‌شده الگوی مکانی درختان با استفاده از خروجی مختصات مرکز ثقل نقاط استخراجی از طبقات تصویر به روش شیء‌پایه و تابع O-ring تعیین و نتایج مزبور با نتایج حاصل از الگوی مکانی زمینی مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آماربرداری زمینی

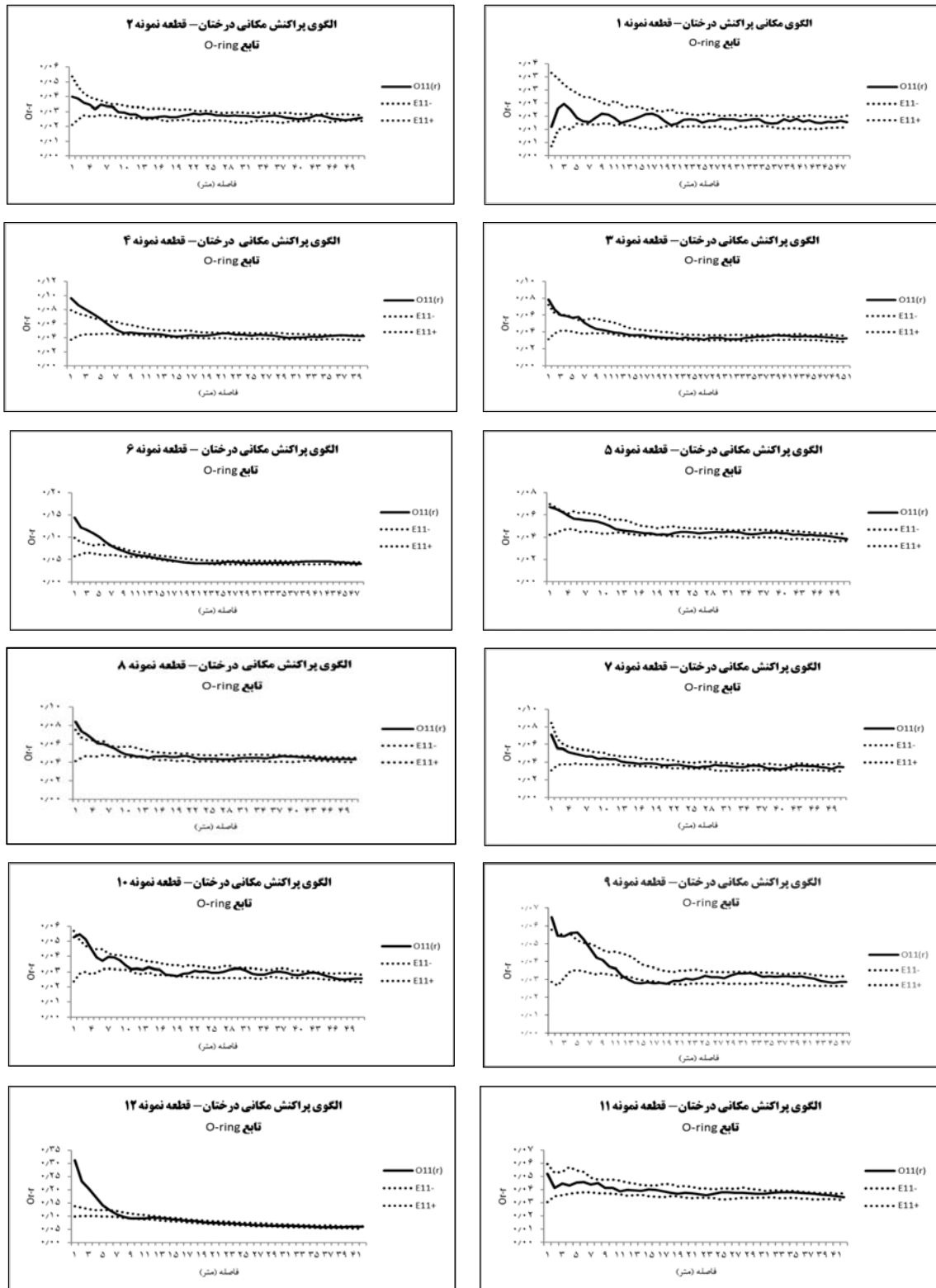
عرصه تحت مطالعه واجد ۱۱ گونه درختی با غالبیت گونه راش و تعداد کل درختان اندازه‌گیری‌شده ۳۵۵۸ اصله است و به‌طور متوسط ۲۴۵ پایه در هر قطعه نمونه وجود دارد. قطر متوسط درختان ۲۷/۶ سانتی‌متر و قطر متوسط تاج‌پوشش درختان ۳ متر است. همچنین با ترسیم نمودارهای فراوانی تعداد پایه‌ها در طبقات قطری مشخص شد که در همه قطعات، الگوی پراکنش کاهشی است و بنابراین توده‌ها ناهمسال‌اند.

الگوی پراکنش مکانی درختان در هر قطعه نمونه

براساس اطلاعات زمینی

نتایج حاصل از الگوی پراکنش مکانی درختان در آماربرداری زمینی در ۱۲ قطعه نمونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، الگوهای پراکنش مکانی درختان در قطعات نمونه ۱، ۲، ۵، ۷ و ۱۱ کاملاً تصادفی



شکل ۲. الگوی پراکنش مکانی افقی درختان در قطعات نمونه زمینی (آماره Or (خط ممتد) - حدود مونت کارلو (خطوط نقطه چین))

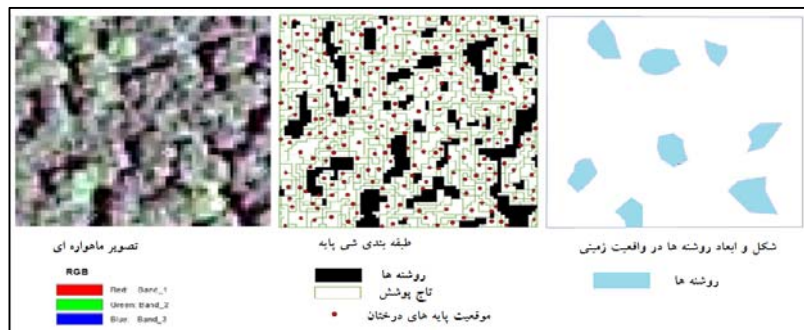
بر مبنای نتایج به دست آمده دقت تولیدکننده در تشخیص تاج پوشش بیشترین میزان و دقت کاربر در تعیین روشنه بیشترین میزان است. در تحقیقات Malahlela و همکاران [۲۰] میزان روشنه و تاج پوشش با استفاده از تصاویر Word view2 با صحت کلی ۹۳ درصد استخراج شد که در مقایسه، دقت اطلاعات استخراج شده در این تحقیق نیز قابل قبول است. شایان ذکر است که تعداد روشنه‌های استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای بیشتر از واقعیت زمینی به دست آمد که دلیل آن استخراج روشنه‌های کوچک‌تر از ۲۰ متر مربع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است.

الگوی مکانی پراکنش درختان استخراج شده از داده‌های SPOT-7

با استفاده از استخراج موقعیت جغرافیایی درختان از تصویر طبقه‌بندی شده به روش شیء پایه، الگوی مکانی درختان با استفاده از تابع O-ring و مشابه روش زمینی تعیین شد که نتایج به تفکیک در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

green, NIR, PCA1, GEMI, B1/B4 هستند. در نهایت در عملیات طبقه‌بندی به باندهای مذکور وزن ۱ و به بقیه باندها وزن ۰ داده شد. با توجه به وزن دهی به باندهای مؤثر و تنظیم معیارهای مؤثر در عملیات طبقه‌بندی تاج و روشنه‌ها میزان مقیاس ۶، فشردگی ۰/۵ و شکل ۰/۲ در نظر گرفته شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بهترین باندها برای تفکیک قطعات و طبقه‌بندی، باندهای قرمز، سبز و شاخص GEMI است که از بین باندهای مورد اشاره میانگین باند قرمز برای تفکیک مرز مزبور استفاده شد که آستانه حد تفکیک ۱۵۰ برای باند قرمز در نظر گرفته شد. نتایج طبقه‌بندی شیء پایه تصویر ماهواره‌ای و مقایسه نتایج طبقه‌بندی تاج پوشش و روشنه‌ها با واقعیت زمینی و تعیین مرکز ثقل طبقات تاج پوشش به عنوان موقعیت تک پایه‌های درختان در یکی از قطعات نمونه (برای مثال قطعه نمونه ۴) در شکل ۳ دیده می‌شود.

دقت اطلاعات استخراج شده با دو پارامتر صحت کلی^۱ و ضریب کاپا^۲ در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

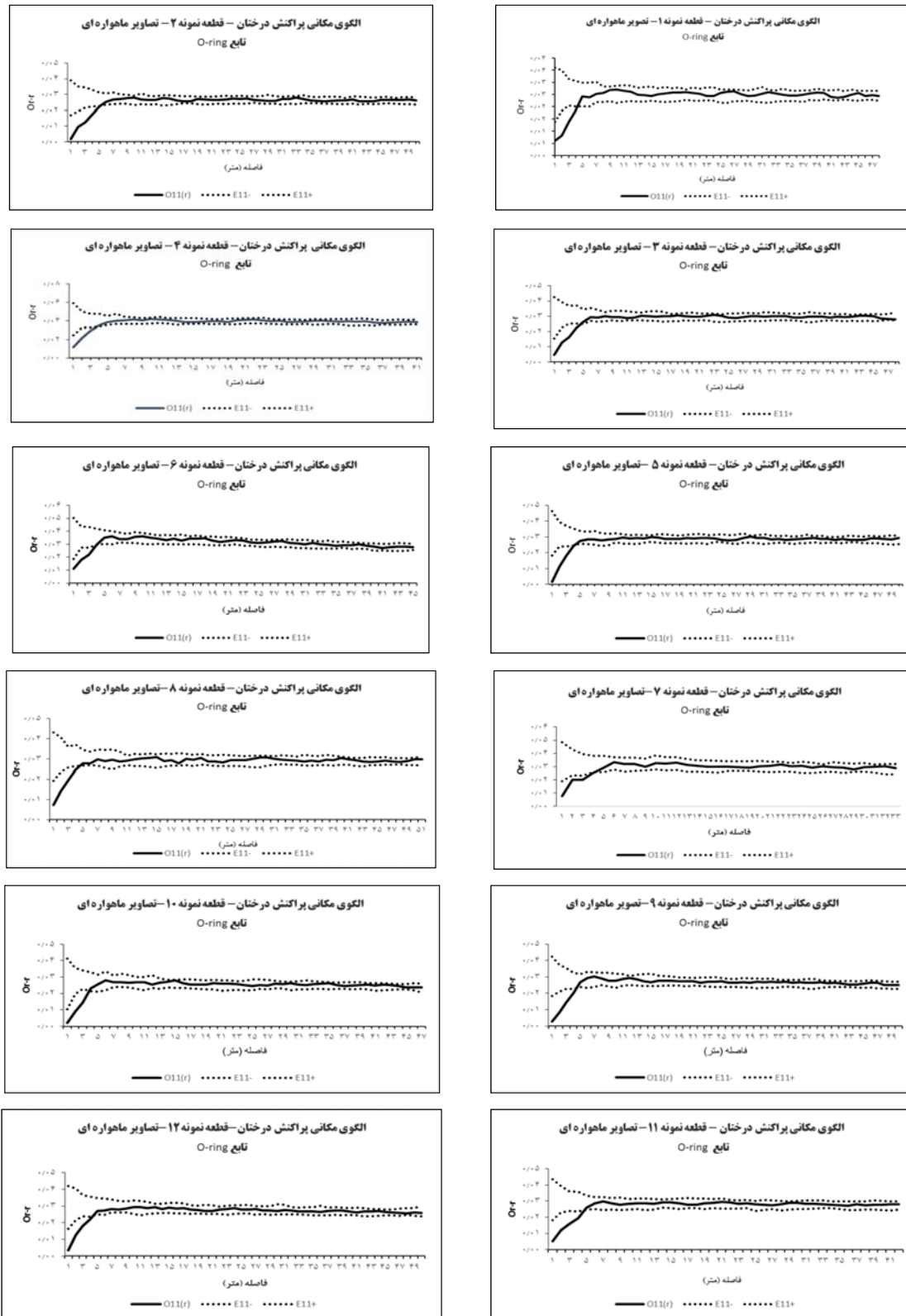


شکل ۳. مقایسه نتایج طبقه‌بندی تاج پوشش و روشنه‌ها با واقعیت زمینی و تعیین مرکز ثقل طبقات تاج پوشش به عنوان موقعیت تک پایه‌های درختان در یکی از قطعات نمونه (قطعه نمونه ۴)

جدول ۲. نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی شیء پایه تصاویر ماهواره‌ای

ردیف	طبقه	دقت تولیدکننده (درصد)	دقت کاربر (درصد)
۱	روزنه	۶۲/۳	۹۹/۷۴
۲	تاج پوشش	۹۹/۹۶	۹۰/۶۸
۳	صحت کلی	= ۹۱/۸٪	
۴	ضریب کاپا	= ۷۲۰۹/۰	

1. Overall accuracy
2. Kappa coefficient
3. Producer accuracy
4. User accuracy



شکل ۴. الگوی پراکنش مکانی افقی درختان در قطعات نمونه تصاویر ماهواره‌ای (آماره Or خط ممند) - حدود مونت کارلو (خطوط نقطه چین)

روشنه‌های فیما بین تاج‌ها و همچنین تعیین موقعیت مکانی درختان با دقت مناسبی قابل استخراج است و از بین همه شاخص‌های تولیدشده و باندهای اصلی، باندهای قرمز، سبز و شاخص GEMI مناسب‌ترین باندها به‌منظور تفکیک مرز تاج‌پوشش، روشنه‌ها و موقعیت درختان جنگلی هستند. الگوی مکانی افقی درختان با استفاده از آماربرداری زمینی و تابع O-ring در بیشتر قطعات نمونه تصادفی است. در مقایسه الگوی مکانی پایه‌های استخراج‌شده از داده‌های SPOT-7 با استفاده از تابع O-ring تصادفی استفاده شد که در قیاس با نتایج الگوهای مکانی درختان در آماربرداری زمینی در ابتدا متفاوت و در ادامه تقریباً به‌درستی تعیین شد. ممکن نبودن تعیین الگو در ابتدا به‌دلیل قرارگیری درختان زیر تاج‌پوشش درختان قطورتر و اشکوب فوقانی و درهم‌رفتگی تاج‌هاست. بنابراین داده‌های استفاده‌شده قابلیت مناسبی در تشخیص تاج‌پوشش و روشنه‌ها در جنگل و توان به‌نسبت خوبی در تعیین الگوی مکانی توده‌ها دارند که با توجه به خصوصیات داده و سطح پوشش وسیع و تکرارپذیر بودن تصاویر از سویی و زیاد بودن هزینه آماربرداری زمینی از سوی دیگر، استخراج اطلاعات از داده‌های SPOT-7 با روش‌های طبقه‌بندی شیء پایه برای شناخت این خصوصیت ساختاری جنگل توصیه می‌شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، الگوی مکانی پراکنش افقی درختان در همه قطعات نمونه در ابتدا تا شعاع ۴ تا ۵ متری منظم و در ادامه تصادفی تعیین شد. این نتیجه با الگوی مکانی داده‌های زمینی که تصادفی کامل و در برخی قطعات ابتدا خوشه‌ای و سپس تصادفی‌اند در شعاع ۴ تا ۵ متری متفاوت به‌دست آمد، ولی در شعاع بزرگ‌تر از حد ۵ متر الگو در اکثر قریب به اتفاق قطعات به‌درستی تعیین شد. این تفاوت به‌دلیل ناتوانی تشخیص کامل تاج درختان زیر اشکوب و جوان مجاور پایه‌های قطور توسط داده‌های ماهواره‌ای استفاده‌شده و درگیری تاج‌ها با یکدیگر است. شایان توضیح است که تراکم درختان استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای در قطعه نمونه ۱۲ با واقعیت زمینی متفاوت و کمتر از حد واقعی برآورد شد. از این‌رو در نمودار تابع O-ring استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای این قطعه با الگوی واقعیت زمینی به لحاظ شکل متفاوت است، ولی در کل مشابه واقعیت زمینی و تصادفی تعیین می‌شود؛ بنابراین با هدف تحقیق که تعیین الگوی مکانی درختان است منطبق بر واقعیت زمینی است.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد که طبقه‌بندی شیء پایه تصویر ماهواره‌ای SPOT7 با هدف تفکیک تاج‌پوشش درختان،

References

- [1]. Bozali, N., Sivrikaya, F., and Akay, A. E. (2015). Use of spatial pattern analysis to assess forest cover changes in the Mediterranean region of Turkey. *Journal of Forest Research*, 20 (4): 365-374.
- [2]. Mataji, A., Babaie Kafaki, S., Safae, H., and Kiadaliri, H. (2008). Spatial pattern of regeneration gaps in managed and unmanaged stands in natural Beech (*Fagus orientalis*) forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(1): 149-157.
- [3]. Kazempour Larsary, M., Abkenar Taheri, K., Pourbabaie, H., Pothier, D., and Amanzadeh, B. (2018). Spatial patterns of trees from different development stages in mixed temperate forest in the Hyrcanian region of Iran. *Journal of Forest Science*, 64 (6): 260-270.
- [4]. Bayat, M., Thanh Noi, P., Zare, R., and Tien Bui, D. (2019). A semi-empirical approach based on genetic programming for the study of biophysical controls on diameter-growth of *Fagus orientalis* in Northern Iran. *Remote Sensing*, 11(14): 1680.
- [5]. Daghestani, M., Babaie Kafaki, S., Mataji, A., and Adeli, E. (2010). Surveying the Relationship of Beech Stand Diameter and Its Spectral Signature on Satellite Data. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 17(3): 137-149.

- [6]. Omidvar Hosseini, F., Akhavan, R., Kia Daliri, H., and Mataji, A. (2015). Spatial patterns and intra-specific competition of Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) using O- ring statistic (Case study: Neka Forest, Iran). *Journal of Forest and Poplar Research*, 23 (2): 294-306.
- [7]. Karimi, M., Pormajidian, M.R., Jalilvand, H., and Safari, A. (2012). Preliminary study for application of O- ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(4): 608-621.
- [8]. Wiegand, T., and Moloney, K.A. (2004). Rings, circles, and null-models for points pattern analysis in ecology. *Oikos*, 104 (2): 209–229.
- [9]. Akhavan, R., Sagheb-Talebi, K., Zenner, E. K., and Safavimanesh, F. (2012). Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research*, 131(5), 1355-1366.
- [10]. Batoubeh, P., Akhavan, R., Pourhashemi, M., and Kiadaliri, H. (2013). Determining the minimum plot size to study the spatial patterns of manna Oak trees (*Quercus brantii* lindl.) using Ripley –K function at less-disturbance stands in Marivan forests. *Forest and Wood Products*, 66 (1): 27-38.
- [11]. Rafieyan. O., Darvishsefat. A. A., Babaii. S., and Mataji, A. (2011). Object-Based Classification of UltraCamD Imagery for Identification of Tree Species in the Mixed Planted Forest. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 9 (1): 67-79.
- [12]. Amini, S., Homayouni, S., Safari, A., and Darvishsefat A., A. (2018). Object-based classification of hyperspectral data using Random Forest algorithm. *Geo-spatial Information Science*, 21(2):127–138.
- [13]. Rahimizadeh, N., Kafaky, S. B., Sahebi, M. R., and Mataji, A. (2020). Forest structure parameter extraction using SPOT-7 satellite data by object-and pixel-based classification methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1): 43.
- [14]. Akhavan, R., Momeni Moghaddam, T., Akbarinia, M., and Hoseini, S. M. (2017). Spatial patterns and intra-specific competition of Juniper tree in different life stages using O- ring statistic in Layen Forests, Iran. *Forest and Wood Products*, 70 (1): 111-125.
- [15]. Zhang, L., Shen, H., Gong, W., and Zhang, H. (2012). Adjustable model-based fusion method for multispectral and panchromatic images. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 42(6): 1693-1704.
- [16]. Jensen, J. R. (2000). *Remote Sensing of the Environment an Earth Resource Perspective* Prentice Hall. Upper Saddle River (NJ), USA. 544 p.
- [17]. Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8 (2):127-150.
- [18]. Nourian, N., Joibary, S. S., and Mohammadi, J. (2016). Assessment of different remote sensing data for forest structural attributes estimation in the Hyrcanian forests. *Forest systems*, 25(3): 9.
- [19]. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., and Moran, E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management*, 198(1-3): 149-167.
- [20]. Malahlela, O., Cho, M. A., and Mutanga, O. (2014). Mapping canopy gaps in an indigenous subtropical coastal forest using high-resolution WorldView-2 data. *International Journal of Remote Sensing*, 35(17): 6397-6417.

Tree spatial pattern determination by satellite data, object-based classification and O-ring function (Case study: Sangedeh forest - Sari city)

N. Rahimizadeh; Ph.D. Graduated., Department of Environmental and Natural Resources, Science and Research branch - Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

S. Babaie Kafaky*; Assoc. Prof., of Environmental and Natural Resources faculty, Science and Research branch - Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

M. R. Sahebi; Assoc. Prof., of Geodesy & Geomatics Engineering Faculty, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, I.R. Iran

A. Mataji; Prof., of Environmental and Natural Resources Faculty, Science and Research Branch - Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran

(Received: 12 January 2020, Accepted: 12 March 2020)

Abstract

Determination of the spatial pattern of trees is one of the important structural parameters of the forest for identifying changes in forest communities and its monitoring in recent years. On the one hand, extracting this structural parameter using satellite data has a significant impact on reducing cost of inventory and makes it easy to evaluate forests of forest managers. In this study, the spatial pattern of trees in the natural forest of Farim of Mazandaran province was determined by using SPOT7 satellite data. Thus, some tree's characteristics such as species, diameter at breast height, the diameter of canopies, gaps and the position of each tree were measured in 12 plot with area about one ha (100 m x 100 m). On the other hand, after radiometric and geometric corrections of satellite data, the tree's canopy and gaps were classified, using the object-based method, and tree position per plot also was determined by canopy gravity center. Then, the spatial distribution pattern of the trees and structure, distinguished and extracted by field inventory and satellite data was compared by O-ring function. The results showed that the overall accuracy of canopy and gaps extracted from satellite data by object-based classification was about 91% and kappa coefficient equaled 0.7. The spatial pattern of trees were random except of the small radius and similar to the pattern of trees in-ground inventory. In total, results showed that SPOT-7 data and the object-based classification have an acceptable potential for determining the spatial pattern of forest stands.

Keywords: object-based classification, O- ring function, satellite data SPOT7, Hyrcanian forests.

* Corresponding Author, Email: s_babaie@srbiau.ac.ir, Tel:+989123136048