

بررسی ارتباط تعداد در هکتار در توده‌های جنگلی با علایم طیفی آن در تصویرسنجنده استر¹

مریم داغستانی¹، ساسان بابایی کفاکی²، اسداله متاجی³

چکیده

کسب اطلاعات به‌هنگام از وضعیت توده‌های جنگلی لازمه برنامه ریزی و مدیریت جنگل است. در این راستا علم سنجش از دور با قابلیت‌های فراوان می‌تواند بسیار سودمند باشد. از این رو به‌منظور بررسی امکان کسب اطلاعاتی در خصوص تعداد در هکتار به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای، اقدام به انجام این تحقیق شد. به این منظور در توده‌های خالص راش جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر، 21 قطعه نمونه یک هکتاری، به روش انتخابی برداشت شد. در داخل پلات‌ها تعداد در هکتار گونه راش و سایر گونه‌ها به‌صورت صددرصد شمارش شد سپس مختصات مراکز و چهار گوشه پلات‌ها ثبت شد و نقشه رقومی پلات‌ها تهیه گردید و در نهایت تصحیح هندسی تصویر تا سطح تصحیح خطای جابجایی با استفاده از معادله درجه اول و روش درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه انجام شد. به‌منظور انجام بررسی، باندهای مصنوعی و شاخص‌های مختلف، در قالب پردازش‌هایی نظیر ادغام، نسبت‌گیری طیفی و تجزیه مولفه‌های اصلی بر تصویر اعمال گردید. سپس ارزش‌های طیفی متناظر پلات‌ها از باندهای اصلی و مصنوعی استخراج، و در تحلیل رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان همبستگی با شاخص‌های $(G+NIR-R)/(G+NIR+R)$, $G+NIR+R$, $GRVI$, G/R به ترتیب با ضرایب همبستگی $74/4\%$ ، $73/5\%$ ، 53% و 52% بود. پس از استخراج ضرایب همبستگی، فرمول‌های برآورد مشخصه تعداد در هکتار از طریق ارزش‌های طیفی به‌دست آمد. نتایج این تحقیق فرضیه امکان برآورد تعداد در هکتار در توده خالص راش مشابه توده مورد مطالعه را، به وسیله تصاویر ماهواره‌ای تقویت نمود.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، استر، تعداد در هکتار، جنگل

1- دانش آموخته دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران - نویسنده مسوول

maryamdaghestani@yahoo.com

2- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران babaie47@yahoo.com

3- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران a_mataji2000@yahoo.com

¹ ASTER

مقدمه

نوار باریک جنگل‌های خزری به‌عنوان مترکم‌ترین و ارزشمندترین جنگل‌های ایران، در دهه‌های اخیر به دلایل متعدد دستخوش تغییر و تخریب‌های زیادی گشته است، به‌همین دلیل کسب اطلاعات به‌هنگام از وضعیت کمی و کیفی این جنگل‌ها می‌تواند در تعیین ضوابطی منطقی و علمی به‌منظور اعمال مدیریت صحیح و حفظ و بهره‌برداری هرچه اصولی‌تر از این منابع بسیار ارزشمند باشد. اصولاً^۱ تهیه اطلاعات از طریق عملیات میدانی و اندازه‌گیری مستقیم صورت می‌پذیرد، لیکن جمع‌آوری این اطلاعات مستلزم صرف هزینه‌های زمانی و مالی بالایی است، به‌علاوه صعب‌العبور بودن برخی مناطق امکان اندازه‌گیری مستقیم را فراهم نمی‌سازد. این محدودیت‌ها، در دهه‌های اخیر ضرورت به‌کارگیری روش‌های دیگر جمع‌آوری داده را مطرح ساخته است و در این میان داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل ویژگی‌های خاص خود از جمله سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به‌هنگام شدن مداوم نقش موثری در این زمینه ایفا می‌نمایند. در میان تصاویر ماهواره‌ای، تصویر سنجنده استر به‌دلیل قابلیت‌هایی از جمله تعدد و تنوع باندی، اندازه تفکیک مکانی مناسب، سهولت امکان سفارش و تهیه داده و قیمت مناسب داده مورد انتخاب بسیاری از محققان است. در این خصوص تحقیقات چندی صورت گرفته است.

هیکی^۱ و همکاران، (۲۰۰۳) تحقیقی با عنوان برآورد مشخصه‌های جنگل در فنلاند با استفاده از تصویر ماهواره آیکنونوس انجام دادند. در این تحقیق داده‌های مربوط به ۷۴ قطعه نمونه زمینی مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت ضریب همبستگی بین مشخصه تعداد در هکتار و تصویر ۵۰٪ به‌دست آمد. گرین برگ^۲ و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای با عنوان برآورد تراکم درخت با استفاده از داده‌های دور سنجی و آنالیز الگوهای محیطی انجام دادند. در این مطالعه که از داده‌های ماهواره آیکنونوس استفاده شد ۱۲ پلات ۳۰*۳۰ متری که ترکیبی از کاج و نراد بود مورد استفاده قرار گرفت. ضریب همبستگی بین تصویر ماهواره‌ای و تعداد در هکتار ۸۰٪ تعیین گردید. در مطالعه‌ای دیگر هوداک^۳ و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی امکان برآورد تراکم درخت با استفاده از داده‌های لیدار پرداختند. این مطالعه در توده مخلوط سوزنی‌برگ در امریکا انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ضریب همبستگی بین داده‌های لیدار با تعداد در هکتار در رگرسیون خطی ۷۴٪ است. لفسکی و همکاران^۴ (۲۰۰۱) به ارزیابی تولیدات سنجش از دوری برای آماربرداری، مدیریت و تهیه نقشه جنگل در جنگل‌های دوگلاس ایالت اورگون امریکا پرداختند. نتیجه تحقیق ایشان نشان داد که بین مشخصه تعداد در هکتار و داده‌های سنجنده (TM, AVIRIS, LIDAR) به‌ترتیب ضرایب همبستگی ۸۵٪، ۳۳٪ و ۲۲٪ وجود دارد. در این ارتباط با سایر تصاویر ماهواره‌ای تحقیقی صورت نپذیرفته است.

¹ Heikii and et al.

² Greenberg and et al.

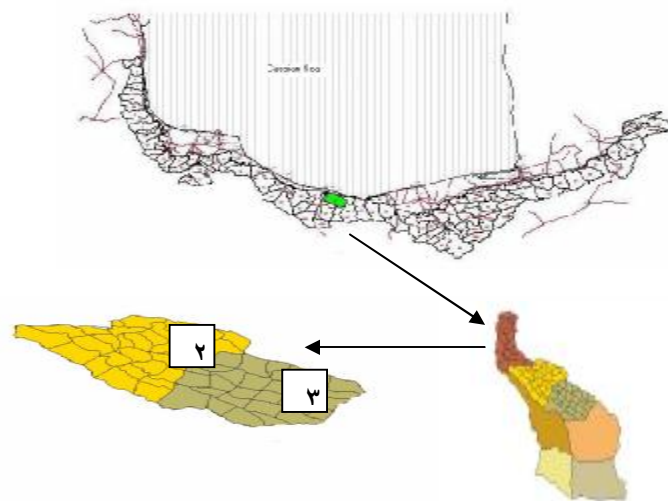
³ Hudak and et al.

⁴ Lefsky and et al.

در این مطالعه هدف تعیین میزان ارتباط مشخصه تعداد در هکتار در توده جنگلی خالص راش با علایم طیفی آن در تصویر ماهواره استر بود. در صورت بررسی و یافتن رابطه مناسب، زمینه برای اندازه‌گیری غیر مستقیم این مشخصه از طریق داده‌های ماهواره‌ای فراهم می‌آید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق با مساحت 890 هکتار، در راشستان‌های خالص جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر واقع شده‌است. میانگین ارتفاع منطقه 1200 متر از سطح دریا می‌باشد.

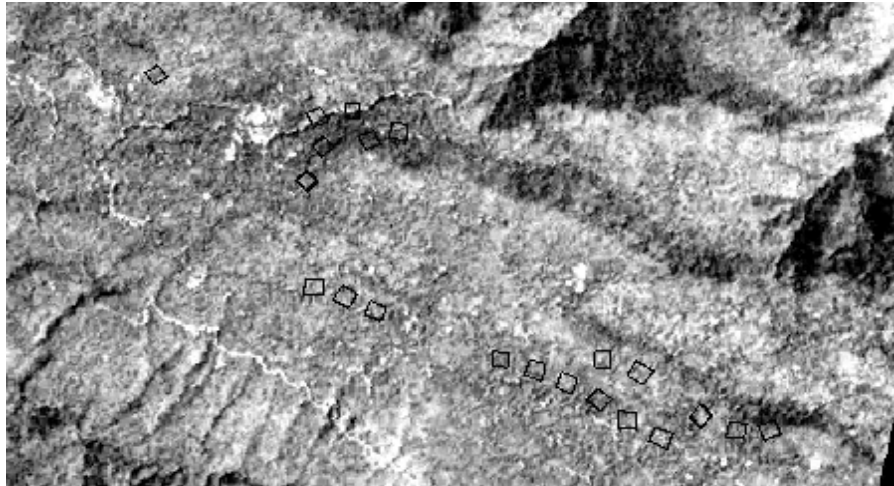


جنگل خیرودکنار بخش‌های نم‌خانه (2)، گرازین (3)

شکل 1- موقعیت منطقه در کشور

به منظور انجام مطالعه پس از پیمایش زمینی، ابتدا 21 قطعه نمونه یک هکتاری (به ابعاد 100*100 متر) از جنگل‌های خالص راش (بالای 90%) از شیب‌های رو به شمال و به روش انتخابی مشخص گردید (شکل 1). سپس تعداد پایه‌های بالای 12/5 سانتی‌متر در قطعات نمونه شمارش و با ذکر نوع گونه ثبت شد. همچنین قطر تمامی پایه‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت مختصات چهار گوشه و مراکز پلات‌ها به وسیله دستگاه موقعیت یاب جهانی¹ ثبت گردید. به وسیله مختصات قطعات نمونه، نقشه رقومی این قطعات تهیه گردید. پس از انجام این عملیات، به منظور بررسی ارتباط داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی با تصویر ماهواره‌ای، تصویر استر از ماهواره (Terra) در سطح (1B) با فرمت (HDF)، همچنین نقشه‌های 1/25000 سازمان نقشه‌برداری تهیه و مورد استفاده قرار گرفت و سپس اقدام به بررسی تصویر شد.

¹ GPS(Global position system)



شکل ۲- موقعیت پلات‌ها در منطقه مورد مطالعه

مشخصات سنجنده استر

سنجنده استریک از سنجنده‌های ماهواره تحقیقاتی Terra می‌باشد. این ماهواره، یکی از ماهواره‌های منابع زمینی و محصول مشترک کشور ژاپن و امریکا است که در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شده است. این ماهواره از تمام نقاط کره زمین تصویربرداری نمی‌کند، بلکه برحسب نیاز و سفارش کاربرها، تصویربرداری صورت می‌پذیرد. سنجنده استر دامنه وسیعی از طیف انرژی الکترومغناطیسی بازتابی و ساطع شده از اجسام را در سه زیر سیستم به نام‌های (VNIR، SWIR و TIR) ثبت می‌کند که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات زیر سیستم‌های سنجنده استر

عرض نوار برداشت (کیلومتر)	اندازه تفکیک مکانی (متر)	اندازه تفکیک رادیومتری (بیت)	دامنه طیفی (میلی‌متر)	شماره باند	زیر سیستم
60	15	8	0.52-1.6 (سبز)	1	VNIR
60	15	8	1.36-1.69 (قرمز)	2	
60	15	8	1.78-1.86 (مادون قرمز)	n3	
60	15	8	1.78-1.86	b3	
60	30	8	1.6-1.7	4	SWIR
60	30	8	2.14-2.18	5	
60	30	8	2.18-2.22	6	
60	30	8	2.23-2.28	7	
60	30	8	2.29-2.36	8	
60	30	8	2.36-2.43	9	
60	90	12	8.12-8.47	10	TIR
60	90	12	8.47-8.82	11	
60	90	12	8.92-9.27	12	
60	90	12	10.25-10.95	13	
60	90	12	10.95-11.65	14	

بررسی تصویر

به منظور بررسی خطای رادیومتری، تصویر در تمامی باندها به صورت بصری بررسی شد و برای دقت بیشتر از پنجره کوچکی در محدوده آب عمیق به ابعاد 100×80 پیکسل برای بررسی خطای نواری شدن¹ استفاده گردید.

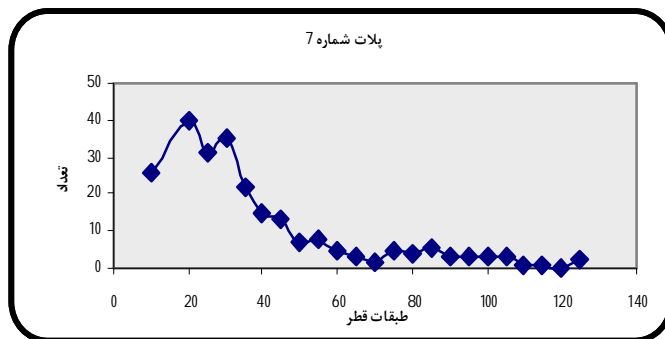
به منظور رفع خطای هندسی تصویر به دلیل تغییرات زیاد ارتفاعی منطقه از روش تصحیح تا سطح تصحیح خطای جابجایی² استفاده گردید. تصحیح با 29 نقطه کنترل زمینی، با استفاده از روش چند جمله‌ای³، با معادله درجه یک و روش نمونه‌گیری مجدد⁴ نزدیک‌ترین همسایه⁵ انجام شد.

پس از اعمال تصحیح‌های لازم بر تصویر، اقدام به تولید شاخص‌ها و باندهای مصنوعی مختلف از تصویر گردید. به این منظور در ابتدا از تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد، با انجام این عمل ضمن حذف اطلاعات مشابه، باندهای مصنوعی جدیدی تولید می‌شود که مستقل از هم بوده و هر یک اطلاعات مربوط به چند باند اصلی را دارد. در اقدام بعدی با توجه به طرح کلی انعکاس طیفی باندها، نسبت‌گیری طیفی و تولید شاخص‌های مختلف صورت پذیرفت. در نهایت به منظور تولید باندهایی با توان تفکیک مکانی و طیفی بالاتر، باند قرمز تصویر با باندهای (swir) به روش (pc) ادغام⁶ شد و شش باند جدید حاصل از ادغام تولید گردید. پس از تولید باندهای مصنوعی، ارزش‌های طیفی متناظر با قطعات نمونه زمینی (میانگین چند پیکسل) از باندهای اصلی و مصنوعی استخراج شد و در تحلیل همبستگی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج تحقیق

بررسی داده‌های حاصل از برداشت‌های زمینی نشان داد که کمترین میزان تعداد در هکتار در پلات‌های برداشت شده، 98 و بیشترین آن 245 پایه در هکتار بود و در مجموع 3282 پایه در 21 پلات شمارش شد. به منظور بررسی و تشریح ساختار پلات‌ها، نمودارهای پراکنش تعداد در طبقات قطری کلیه پلات‌ها ترسیم شد که به علت تعداد زیاد آنها، تنها به درج یک نمونه اکتفا شد (شکل 2). همان‌طور که الگو نشان داد، توده مورد مطالعه یک توده ناهمسال است که به لحاظ ساختار افقی از یک مدل کم‌شونده تبعیت می‌نماید.

¹ Stripping
² Orthorectification
³ Polynomial
⁴ Resampling
⁵ Nearest neighbour
⁶ Fusion



شکل 3- الگوی پراکنش تعداد در طبقه قطر پلات 7

نتیجه تصحیح تصویر

بررسی بصری تصاویر، خطای رادیومتری در تصویر نشان نداد. پس از بررسی انعکاس طیفی تک باندهای تصویر در محدوده آب عمیق، مشاهده شد که خطای مذکور در همه موارد کمتر از یک واحد بوده و قابل چشم پوشی است. همچنین پس از تصحیح هندسی تصویر، برای بررسی کیفیت تصحیح از لایه- برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها استفاده شد. انطباق این لایه‌ها با عوارض متناظر در تصویر نشان‌دهنده کیفیت مطلوب تصحیح هندسی بود (شکل 3).



شکل 4- انطباق لایه وکتوری جاده و آبراهه با عوارض متناظر

نتیجه تولید شاخص‌ها

شاخص‌ها و نسبت‌های تولید شده در این مطالعه به شرح ذیل بود:

$$(NIR-R/NIR+R) \text{ NDVI} -$$

$$(G-R/G+R) \text{ GRVI} -$$

$$NIR/R -$$

$$G/R -$$

$$(R+G+NIR) -$$

$$[(G+NIR)-R]/(G+NIR+R) -$$

$$NIR/(NIR+R) -$$

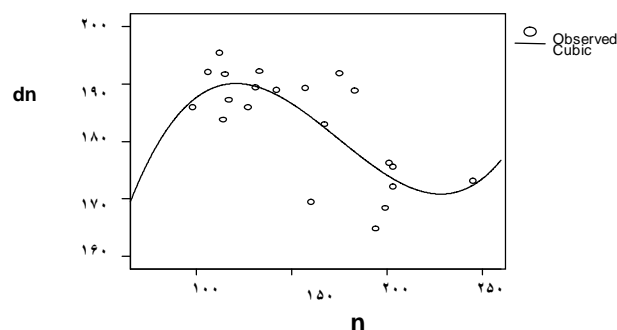
$$SWIR2/SWIR6 -$$

نتیجه بررسی همبستگی مشخصه تعداد در هکتار و ارزش‌های طیفی باندهای اصلی و مصنوعی نتایج نشان داد که بین تعداد در هکتار و 3 باند (vnir)، همچنین مجموعه باندهای (swir) به جز (swir3) همبستگی وجود ندارد. باندهای حاصل از ادغام همچنین باندهای حاصل از تجزیه مولفه‌های اصلی نیز همبستگی با این مشخصه نداشتند. اما بین تعداد در هکتار و باندها و شاخص‌های ذکر شده در جدول 2 همبستگی مشاهده شد.

جدول 2- بالاترین ضرایب همبستگی باندهای اصلی و مصنوعی با تعداد در هکتار

-%74/4	G/R
-%73/5	GRVI
-%53	(G+NIR+R)
-%52	(G+NIR-R)/(G+NIR+R)
%50	SWIR2/SWIR6
-%49	NIR/(NIR+R)
-%49	NDVI
-%45	NIR/R
%43	SWIR3

پس از بررسی نتایج به دست آمده مشاهده شد که بیشترین میزان ضریب همبستگی تعداد در هکتار با شاخص (G/R) به میزان 71%- است. با توجه به این که ضریب همبستگی به دست آمده مربوط به ضریب همبستگی پیرسون است که صرفاً "رابطه خطی را مورد بررسی قرار می‌دهد، به منظور بررسی روابط غیر خطی، انواع رگرسیون، مدل‌های لگاریتمی، معکوس، درجه دوم، درجه سوم، نمایی و غیره مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به روند تغییرات (DN) در رابطه با تغییرات تعداد در هکتار (شکل 4)، مشخص شد که رگرسیون غیر خطی مذکور در رابطه درجه سوم به 74/4%- افزایش پیدا کرده است.



شکل 5- ابر نقاط و منحنی درجه سوم بین تعداد در هکتار و شاخص G/R

پس از تعیین نوع رابطه، فرمول محاسبه شاخص از طریق تعداد در هکتار (شاخص به عنوان متغیر وابسته و تعداد در هکتار متغیر مستقل) به شرح ذیل استخراج شد:

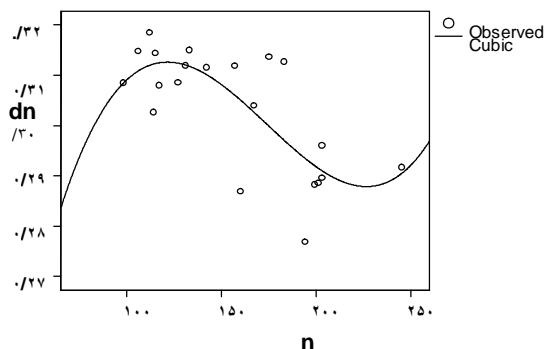
$$dn = 62/710173 + 11/414908n - 23/774332n^2 + 11/822874n^3$$

(مقدار شاخص = dn تعداد در هکتار = n)

در برآورد معکوس که شاخص به‌عنوان متغیر مستقل و تعداد در هکتار به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، بالاترین میزان ضریب همبستگی در رگرسیون غیرخطی از نوع درجه دو (دو بعدی) به میزان 70/7٪- مشاهده شد. فرمول برآورد تعداد در هکتار از طریق شاخص به شرح ذیل استخراج شد:

$$n = -658/665886 + 2/762384dn - 3/467132dn^2$$

بیشترین میزان ضریب همبستگی بعدی مربوط به شاخص (GRVI) بود. پس از بررسی رابطه شاخص (GRVI) با این مشخصه و بررسی انواع رگرسیون غیرخطی مشخص شد که رگرسیون غیر خطی مذکور نیز در رابطه درجه سوم به مقدار 73/5٪- افزایش پیدا کرده است (شکل 5).



شکل 6- ابر نقاط و منحنی درجه سوم داده‌های تعداد در هکتار و شاخص GRVI

پس از تعیین نوع رابطه، فرمول محاسبه شاخص از طریق مشخصه (شاخص به‌عنوان متغیر وابسته و تعداد در هکتار به‌عنوان متغیر مستقل) به شرح ذیل استخراج شد:

$$Dn = 0/13645 + 12/057589n - 25/076478n^2 + 12/506089n^3$$

در مرحله بعد به دلیل این که هدف از این مطالعه امکان برآورد داده‌های زمینی از تصاویر است، شاخص به‌عنوان متغیر مستقل و تعداد در هکتار به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. در این حالت بیشترین میزان ضریب همبستگی در رگرسیون غیر خطی از نوع درجه دو (دو بعدی) به میزان 69/8٪- مشاهده شد و رابطه برآورد آن به شرح ذیل استخراج شد:

$$n = -2287/395656 + 5/499426dn - 6/190773dn^2$$

بحث و نتیجه‌گیری

آن چه از نتایج این تحقیق حاصل می‌شود این است که بیشترین میزان ضریب همبستگی مشخصه تعداد در هکتار در توده جنگلی خالص راش با تصویر استر 74/4٪- است. این در حالی است که هیکی، (2003) بین تعداد در هکتار و تصویر ماهواره آیکونوس 50٪ همبستگی به دست آورد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود علی‌رغم اندازه تفکیک زمینی بسیار بالاتر در تصویر آیکونوس، میزان ضریب همبستگی تعداد در هکتار با تصویر استر بالاتر بوده است. در همین راستا گرین برگ و همکاران (2008) بین تصویر آیکونوس و تعداد در هکتار توده سوزنی‌برگ 80٪ همبستگی مشاهده نمودند. با توجه به روش کار مشابه، دلیل بالاتر بودن ضریب همبستگی به دلیل تفاوت نوع توده (سوزنی‌برگ) در منطقه مورد مطالعه ایشان

است. در مقایسه با توده مورد مطالعه در این تحقیق که توده‌ای پهن‌برگ است، ضریب همبستگی به‌دست آمده با تصویر استر که از لحاظ قیمت نیز در مقایسه با تصویر آیکونوس بسیار پایین‌تر است، قابل ملاحظه می‌باشد. لفسکی (2001) بین مشخصه تعداد در هکتار با تصاویر ماهواره‌ای (AVIRIS) و (TM) به-ترتیب ضرایب همبستگی 33% و 22% به‌دست آورد، که در مقایسه با نتیجه تحقیق حاضر بسیار پایین‌تر بود. همین محقق در بررسی تعداد در هکتار با داده لیدار¹ 85% همبستگی مشاهده‌نمود. هوداک و همکاران (2007) بین تعداد در هکتار و داده لیدار ضریب همبستگی 74% به‌دست آوردند. بررسی نتایج نشان می‌دهد که داده‌های لیدار نیز توانایی بالایی در برآورد این مشخصه دارند به گونه‌ای که لفسکی و همکاران (2002) نشان دادند که ارتباط بین لیدار و ساختار تاج پوشش در انواع متفاوت جنگل‌ها از جمله سوزنی‌برگ بوره‌آل، سوزنی‌برگ معتدله و پهن‌برگ معتدله متفاوت است. این ارتباط در درختان سوزنی‌برگ به دلیل ساختار مخروطی درختان که اجازه عبور راحت‌تر انرژی را به داخل و اطراف تاج مخروطی می‌دهد بیشتر است. اما با توجه به ساختار کاملاً متفاوت داده‌های سنجنده لیدار و سنجنده استر این ضرایب با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. بنابراین همبستگی استر را با این مشخصه بیشتر بررسی می‌شود. ضریب همبستگی به-دست آمده در این تحقیق منفی است. یعنی با افزایش تعداد در هکتار ارزش راقومی تصویر کاهش می‌یابد و بالعکس. در توده مورد مطالعه با کاهش تعداد در هکتار میانگین قطر توده افزایش می‌یابد (جدول 3) بنابراین در این شرایط تاج پوشش انبوه و بسته می‌گردد و همین عامل موجب افزایش میزان انعکاس از توده می‌شود، چرا که عواملی از جمله میزان عبور نور از برگ‌ها، تعداد لایه برگ‌ها، نحوه قرارگیری برگ‌ها در گیاه و زمینه بستر که ممکن است خاک، خار و خاشاک و یا پوشش گیاهی باشد، در میزان انعکاس موثر هستند (نجفی دیسفانی، 1377).

همچنین در توده مورد مطالعه کاهش تعداد در هکتار نشان دهنده افزایش سن توده‌است و برگ درختان جوان به دلیل داشتن میزان کرک و موم بیشتر در مقایسه با درختان مسن از بازتاب بیشتری در محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک برخوردارند (فلاح شمسی، 1376). اما با این وجود دلیل رابطه منفی مشخصه تعداد در هکتار و شاخص‌های (G/R) و (GRVI)، افزایش بیشتر میزان انعکاس در محدوده طیف قرمز به نسبت طیف سبز، به دلیل تیره‌تر شدن رنگ توده، توام با کاهش تعداد در هکتار و افزایش سن است. این در حالی است که به طور طبیعی میزان انعکاس از پوشش گیاهی در محدوده طیف سبز بیشتر از طیف قرمز است (زبیری، 1382). همین عامل فرصتی برای بررسی رابطه شاخص‌های مذکور با تعداد در هکتار را فراهم می‌آورد. نتیجه کلی این تحقیق نشان داد مشخصه تعداد در هکتار از طریق تصویر استر با دقت مطلوبی در توده‌ای با ساختار و گونه مشابه توده مورد مطالعه قابل برآورد است.

¹ Light detection and ranging

منابع

- 1- زبیری، م.، مجد، ف.، 1382. آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران، شماره 2315، تهران، ص 317.
- 2- فاطمی، ب.، رضایی، ی.، 1385. مبانی سنجش از دور. انتشارات آزاده، تهران، ص 257.
- 3- فلاح شمسی، ر.، 1376. خصوصیات انعکاس طیفی پوشش های گیاهی و نظارت بر آنها به کمک داده های ماهواره ای. سمینار کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ص 80.
- 4- نجفی دیسفانی، م.، 1377. پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه ها، تهران، ص 437.
- 5- Greenberg, J.A., Dobrowski, S.Z. and Vandebilt, V.C., 2008. Limitation on maximum tree density using hyperspectral remote sensing and environmental gradient analysis. *Remote sensing of environment.*, 113(1): 94-101.
- 6- Heikki, A., 2003. High forest estimation from high resolution remote sensing data. technical research center of Finland information technology, information system, p.o.Box 1201, Fin 02044 vtt, Finland.
- 7- Hudak, A.T., Crookston, N.L., Evans, J.S., Falkowski, M.J., Smith, A.M.S., Gessler, P.E. and Morgan P., 2007. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral satellite data. *Canadian journal of remote sensing.*, 32(2): 126-138.
- 8- Hudak, A.T., Crookston, N.L., Evans, J.S., Hal, E.D. and Falkowski, M.J. 2007. Nearest neighbor imputation of species-level plot-scale forest structure attribute from lidar data. *Remote sensing of environment.*, 112(5): 2232-2245.
- 9- Lefsky, M.A., Cohen, W.B. and Spies, T.A., 2001. An evaluation of alternate remote sensing products for forest inventory, monitoring and mapping of Douglas-fir forest in Western Oregon., *Canadian journal of forest research.*, 31(1): 78-87.
- 10- Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Acker, A., Parker, G.G. and Gower, S.T., 2002. Lidar remote sensing of above ground biomass in three biomes. *Global ecology and biogeography.*, 11: 393-399