Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

The application of the linear intercept sampling (LIS) method in comparing land cover patterns in the forests of Lorestan

Yasaman Fatemeh Azizi[1], Ziaeldin Badehian[*2], Hamed Naghavi[3], Habib Ramezani[4]

1. Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: yasaman.azizi68@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Range and Watershed Management (Nature Engineering), College of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran. E-mail: zd-badehian@fasau.ac.ir
3. Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: hm.naghavi@gmail.com
4. Dept. of Forest Resource Management, Swedish University of Agriculture Science, SLU, Umeå 901 83, Sweden. E-mail: habib.ramezani@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 10.26.2022
Revised: 06.01.2023
Accepted: 07.07.2023

Keywords:
Landscape metrics,
Line intersect sampling,
Point sampling,
Quantification

ABSTRACT

Background and Objectives: Studying the landscape structure based on ecological principles and spatial indicators is recognized as a valuable approach for mapping and assessing the spatial characteristics of different land uses. Unfortunately, the expansion of human activities has resulted in undesirable changes to ecological functions, landscape structure, and landscape patterns. Consequently, it is crucial to monitor and control these changes by quantifying and studying the landscape. This study aims to quantify the landscape pattern in regions with varying degrees of development, utilizing the line intersect sampling (LIS) method to estimate metrics such as the total length of forest edges, and employing the point sampling method to estimate the metric of contagion. Specifically, the preserved region of Sefidkuh and the manipulated region of Qaleh Gol in Lorestan province were selected for analysis.

Materials and Methods: To achieve this objective, we utilized Google Earth imagery and a GIS environment to select two 200-hectare areas from the aforementioned regions. For the line intersect method, we established 16 transects of 100 and 200 meters in length within the study area, employing systematically randomized directions. Similarly, for the paired point sampling method, we systematically and randomly positioned paired points of 100 and 200 meters on the selected images, followed by metric calculations. The results indicate that the Qaleh Gol region exhibits a greater total length of forest edge in both measured transects compared to the Sefidkuh region. Additionally, the contagion metric value is lower in the Qaleh Gol region compared to Sefidkuh. We further utilized the *t*-test method to compare the regions using different line intersect lengths and paired point lengths, followed by the calculation of spatial indices. The paired *t*-test was also employed to compare the different distances within the two regions.

Results: The findings reveal a higher degree of disturbance and fragmentation in the Qaleh Gol region. Furthermore, the results demonstrate that the sampling methods employed in this study serve as a viable alternative for generating more comprehensive vegetation cover maps. These methods allow for quantifying landscape patterns with reduced costs, time, and increased accuracy. The obtained results hold

significant value for planning and management at various levels, including local, regional, and national, particularly in areas experiencing rapid changes. Additionally, this study highlights the suitability of the sampling methods as an effective alternative for creating detailed vegetation maps. The results of the total length of the forest edge are also consistent with the results of the contagion estimation, and the Qaleh Gol area, which has less contagion, has a longer total length of the forest edge, indicating more destruction and fragmentation of this area compared to the less disturbed Sefidkuh area. Among the reasons for the disturbances in the Qaleh Gol area, we can mention the presence of artificial and man-made disturbances such as numerous villages, agricultural activities, horticulture, livestock grazing, and other rural activities. These have caused the thinning of the forest cover in the area.

Conclusion: The linear intercept sampling (LIS) method proves useful in estimating the total edge length of forests, whereas paired-point sampling can be employed to estimate the spatial coverage index. These methods offer effective alternatives to creating detailed vegetation cover maps, enabling the characterization of land cover patterns in diverse regions with varying levels of development. Moreover, they facilitate accurate comparisons of land cover patterns, all while minimizing costs and reducing time requirements.

Cite this article: Azizi, Yasaman Fatemeh, Badehian, Ziaeldin, Naghavi, Hamed, Ramezani, Habib. 2023. The application of the linear intercept sampling (LIS) method in comparing land cover patterns in the forests of Lorestan. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (2), 1-14.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2023.20571.1981
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

کاربرد روش نمونه‌برداری خطی (LIS) در مقایسه الگوهای سیمای سرزمین در جنگل‌های لرستان

یاسمن فاطمه عزیزی[۱]، ضیاءالدین بادەیان*[۲]، حامد نقوی[۳]، حبیب رمضانی[٤]

۱. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: yasaman.azizi68@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری (مهندسی طبیعت)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. رایانامه: zd-badehian@fasau.ac.ir
۳. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: hm.naghavi@gmail.com
٤. گروه مدیریت منابع جنگلی، دانشگاه علوم کشاورزی سوئد، اومئا، سوئد. رایانامه: habib.ramezani@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۸/۰٤
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰٤/۱٦

واژه‌های کلیدی:
سیمای سرزمین،
کمی‌سازی،
نمونه‌برداری خطی،
نمونه‌برداری نقطه‌ای

چکیده

سابقه و هدف: مطالعه ساختار سیمای سرزمین بر اساس اصول اکولوژی و شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده آن ابزاری مناسب برای نقشه‌سازی و کمی‌کردن خصوصیات مکانی هر کاربری محسوب می‌شوند. به‌دلیل گسترش روزافزون فعالیت‌های بشری، ساختار و کارکردهای اکولوژیک سیمای سرزمین تغییر می‌یابد و الگوهای سیمای سرزمین دستخوش تغییرات نامطلوبی می‌گردد. بنابراین به‌منظور پایش و کنترل این تغییرات، کمی‌سازی و مطالعه سیمای سرزمین اهمیت و ضرورت بیش‌تری می‌یابد. این مطالعه با هدف کمی‌سازی الگو سیمای سرزمین مناطقی با درجات مختلف توسعه با استفاده از روش نمونه‌برداری خطی (LIS) جهت برآورد شاخص مکانی طول کل لبه جنگل و روش نمونه‌برداری جفت نقطه‌ای برای برآورد شاخص مکانی سرایت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش یک عرصه ۲۰۰ هکتاری از دو منطقه حفاظت‌شده سفیدکوه و تخریب‌شده قلعه‌گل در استان لرستان بر روی تصاویر Google Earth انتخاب و در محیط GIS مورد پردازش قرار گرفتند. به‌منظور انجام نمونه‌برداری خطی ۱٦ پاره‌خط (ترانسکت) ۱۰۰ و ۲۰۰ متری به‌صورت سیتماتیک و با جهت تصادفی بر روی عرصه مورد مطالعه منطبق گردید. برای روش نمونه‌برداری جفت نقطه‌ای شبکه نقاطی با فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ متری به‌صورت سیستماتیک و با شروع تصادفی بر روی تصاویر منتخب پیاده شد و سپس شاخص‌های مکانی محاسبه شدند. از آزمون تی استیودنت جفتی نیز برای مقایسه فواصل مختلف در دو منطقه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که در هر دو طول اندازه‌گیری شده ترانسکت‌ها، طول کل لبه جنگل در منطقه قلعه‌گل بیش‌تر از سفیدکوه بوده و ارزش عددی شاخص مکانی سرایت در منطقه قلعه‌گل کم‌تر از سفیدکوه است. یافته‌ها نشان‌دهنده ازهم‌گسیختگی و تکه تکه‌شدن بیش‌تر منطقه قلعه‌گل است. نتایج طول کل لبه جنگل هم با نتایج برآورد سرایت مطابقت دارد و منطقه قلعه‌گل که سرایت کم‌تری دارد، طول کلی لبه جنگل بیش‌تری دارد که این امر هم نشان‌دهنده تخریب و از هم گسستگی بیش‌تر این منطقه نسبت به منطقه کم‌تر تخریب یافته سفیدکوه است. از دلایل تعدد لکه‌ها در منطقه قلعه‌گل می‌توان به حضور لکه‌های مصنوعی و انسان‌ساخت مانند روستاهای متعدد، فعالیت‌های کشاورزی، باغداری و چرای دام و مصرف چوب برای مصارف روستایی و... اشاره نمود که علاوه بر لکه لکه شدن این منطقه سبب تنک شدن پوشش جنگلی منطقه شده است.

نتیجه‌گیری: کمی‌سازی الگو سیمای سرزمین مناطقی با درجات مختلف توسعه با استفاده از روش نمونه‌برداری خطی (LIS) جهت برآورد شاخص مکانی طول کل لبه جنگل و روش نمونه‌برداری جفت نقطه‌ای برای برآورد شاخص مکانی سرایت می‌توانند به‌عنوان روش‌های مؤثری جایگزین نقشه‌های پوشش گیاهی با جزئیات شوند و می‌توان با صرف هزینه و زمان کم‌تر و با صحت بالاتر الگوهای سیمای سرزمین را کمی‌سازی و مقایسه نمود.

استناد: عزیزی، یاسمن فاطمه، باده‌یان، ضیاءالدین، نقوی، حامد، رمضانی، حبیب (۱۴۰۲). کاربرد روش نمونه‌برداری خطی (LIS) در مقایسه الگوهای سیمای سرزمین در جنگل‌های لرستان. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۲)، ۱۴-۱.
DOI: 10.22069/JWFST.2023.20571.1981

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

امروزه بالا بودن سرعت و وسعت تغییرات (ساختاری و فرایندی) ناشی از فعالیت‌های مخرب انسان در سیمای سرزمین، برنامه‌ریزان را با مشکل مواجه ساخته است (۱ و ۲). الگوی سیمای سرزمین می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر فرایندهای اکولوژیک مانند تنوع زیستی و پویایی جمعیت داشته باشد (۳ و ٤). ساختار مکانی سیمای سرزمین تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی و لکه‌های کاربری اراضی ناشی از آن است. کمی‌کردن الگوی سیمای سرزمین به درک و شناخت بهتر ارتباط بین فعالیت‌های انسانی و تغییرات سیمای سرزمین و به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در تصمیم‌گیری مناسب در جهت توسعه پایدار کمک می‌کند (۵). بنابراین کمی‌کردن الگوهای سیمای سرزمین اهمیت زیادی می‌یابد (۵، ٦، ۷، ۸، ۹ و ۱۰). شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین ابزارهایی جهت اندازه‌گیری، کمی‌سازی و بیان وجه‌های مختلف از الگوی سیمای سرزمین در یک لحظه از زمان هستند (۱۱ و ۱۲). کمی‌سازی تغییرات در سیمای سرزمین با استفاده از شاخص‌های مکانی دچار تحولات بسیاری شده است. اخیراً شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین گسترش و تنوع زیادی یافته و از توصیف صرف تغییرات ساختاری به ابزارهایی با امکان کمی‌سازی فرایندهای اکولوژیک متحول شده‌اند (۱۳). ازاین‌رو به‌دنبال توسعه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و در دسترس قرار گرفتن تصاویر ماهواره‌ای، پیشرفت‌های زیادی در کمی‌سازی محیط‌زیست ازنظر شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین صورت گفته است (١٤). روش‌های نمونه‌برداری مانند نقطه‌ای، نمونه‌برداری خطی (LIS)[1] و نمونه‌برداری پلات در داده‌های سنجش‌ازدوری به‌عنوان یک ابزار مفید جدید برای برآورد تعدادی از شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین استفاده شده‌اند (۱۵، ١٦، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰). در برخی از مطالعات اخیر داده‌های نمونه‌برداری به‌عنوان یک جایگزین برای نقشه‌های پوشش گیاهی کامل به‌منظور برآورد شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین پیشنهاد شده است (۱۷، ۱۸ و ۲۰). در رویکرد مبتنی بر نمونه‌برداری، برآورد یک شاخص مکانی از روش‌های نمونه‌برداری مختلف و بررسی راندمان روش نمونه‌برداری مرتبط با شاخص‌های مکانی انتخابی امکان‌پذیر است (۲۱). برای مثال: نمونه‌برداری (LIS) برای شاخص‌های مکانی مرتبط با لبه کارایی بیش‌تری دارد درحالی‌که نمونه‌برداری نقطه‌ای برای شاخص‌های مکانی نسبت یک ناحیه به یک نوع پوشش یا کاربری زمین مانند شاخص تنوع شانون ارجحیت دارد (۲۰). نمونه‌برداری خطی (LIS)، یک پروتکل نمونه‌برداری شناخته‌شده است که در موارد مختلفی به کار می‌رود ازجمله در تعیین کریدورها (پرچین‌ها، جاده‌ها)، لبه جنگل، مازاد مقطوعات درشت در جنگل‌ها، شاخص‌های مکانی سیمای سرزمین و غیره (۲۰، ۲۲، ۲۳، ٢٤، ۲۵، ٢٦، ۲۷ و ۲۸). به‌طورکلی نمونه‌برداری خطی (LIS) یک روش مؤثر و ساده برای بررسی ویژگی‌های خطی در داخل سیمای سرزمین است (۲۳ و ۲۹). هم‌چنین در برخی موارد LIS نشان داده که روشی کارآمد برای آماربرداری زمینی و داده‌های سنجش‌ازدوری است (۳۰ و ۳۱). نمونه‌برداری خطی (LIS) توسط چندین محقق در بررسی‌های مختلف استفاده شده است (۲۲، ۲۵، ٢٦، ۲۸، ۳۲ و ۳۳). هم‌چنین در بررسی دیگری، با استفاده از رویکرد تفسیر تصاویر با رزولوشن بالا وجود رابطه مثبت بین شاخص ساختمان‌سازی و تغییر در سطح جنگل مشاهده شد و رابطه معنادار و قوی بین متریک اندازه‌گیری شده توسط تفسیر انسانی از تصویر و مقادیر حاصل از نقشه پوشش زمین از همان دوره نشان داده شد (١٦).

1- Line-intercept sampling

مطالعات دیگری نیز بیان داشته‌اند که روش‌های نمونه‌برداری مانند شاخص AI می‌توانند جایگزین‌های مناسب‌تر و مفیدتری برای اندازه‌گیری‌های در عرصه و نقشه پوشش گیاهی با جزئیات زیاد باشند (۲۷). نمونه‌برداری نقطه‌ای نیز یک روش شناخته‌شده برای برآورد برخی از پارامترهای جامعه بر روی عکس‌های هوایی، نقشه‌ها و یا به‌طور مستقیم در عرصه‌های میدانی است. در نمونه‌برداری نقطه‌ای داده‌ها در محل نمونه‌ها ارزیابی می‌شوند (۲۱). در این پژوهش شاخص‌های مکانی در کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف سرزمین در محدوده استان لرستان که بخش وسیعی از جنگل‌های ارزشمند زاگرس را در خود جای داده است، باهم مقایسه شدند تا تأثیر فعالیت‌های انسانی (مانند توسعه و اراضی زراعی) در ازهم‌گسیختگی اراضی جنگلی موردبررسی قرار گیرد و نیز کارایی شاخص‌های مکانی در تشخیص تفاوت‌ها در مناطق مورد مطالعه مورد آزمون قرار گیرد. چنین مطالعه‌ای برای اولین بار است که در ایران و بخصوص جنگل‌های زاگرس انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها

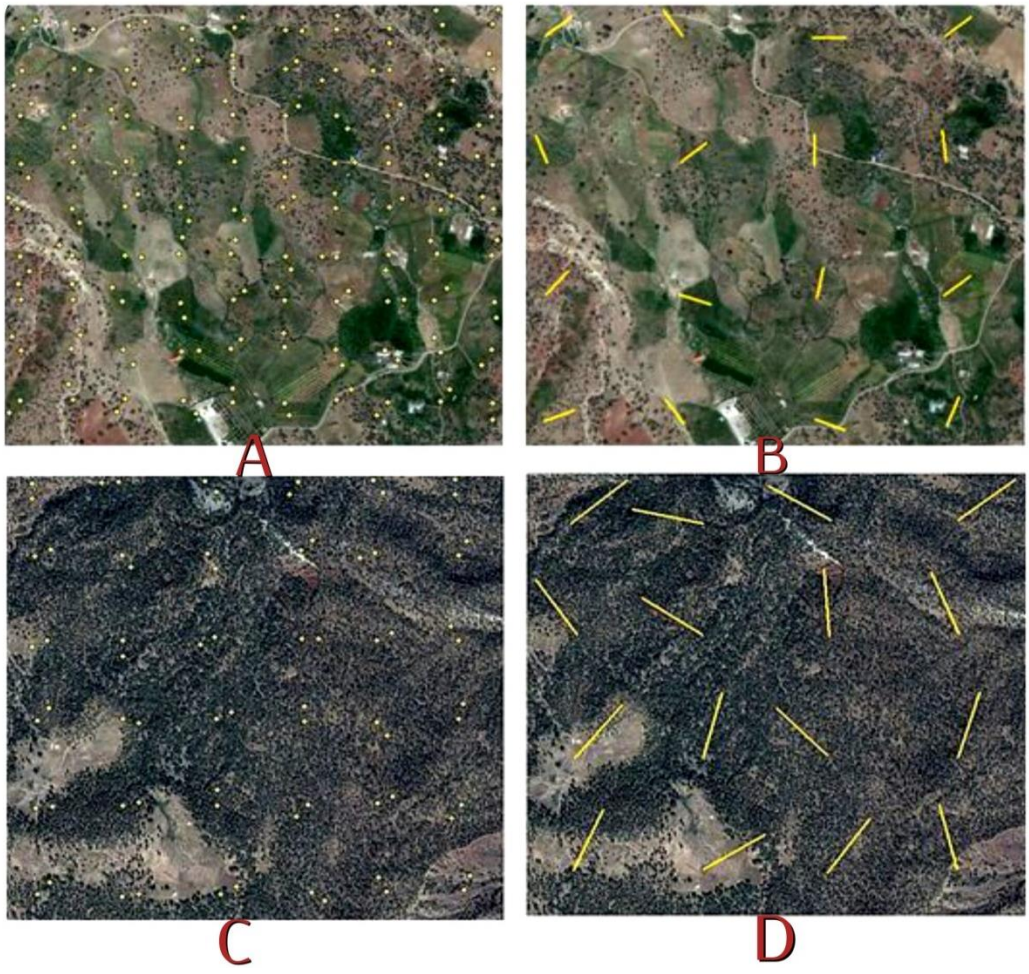
موقعیت جغرافیایی مناطق موردمطالعه: حدود ۲۰ درصد از جنگل‌های زاگرس در استان لرستان کشور ایران قرار دارند. دامنه‌های زاگرس غالباً از جنگل‌های بلوط پوشیده شده است. حوزه‌های مطالعاتی قلعه‌گل و سفیدکوه در قسمت مرکزی استان لرستان قرار گرفته‌اند. این مناطق ازنظر پوشش گیاهی، با توجه به شرایط اکولوژیک، دارای وضعیت رویشی متنوع و منابع حیاتی غنی، بی‌نظیر و کمیاب از مجموعه گیاهی و جانوری بوده که دارای جنبه‌های مختلف زیستی و اکولوژیک و اقتصادی می‌باشند، درنتیجه سیمای منظر این مناطق ازنظر زیبایی و ژئومورفولوژی ارزش علمی زیادی دارند. منطقه قلعه‌گل با مساحتی در حدود ۹۴۹۱ هکتار در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خرم‌آباد قرار گرفته است. این منطقه در محدوده ″۵۷′۲۰°۴۸ تا ″۲۰′۳۸°۴۸ طول شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۱′۱۳°۳۲ تا ″۴۱′۱۹°۳۳ شمالی قرار گرفته است. منطقه حفاظت‌شده سفیدکوه با مساحت ۶۹۶۴۵ هکتار در ۶۷ کیلومتری شمال غربی خرم‌آباد، در طول جغرافیایی ′۴۳.°۴۷ تا ′۱۸.°۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ′۲۹.°۳۳ تا ′۴۹.°۳۳ شمالی واقع شده است (۹).

روش انجام تحقیق: در این مطالعه برای تهیه و شناخت کاربری‌های انسانی و لکه‌های طبیعی در محدوده موردمطالعه از تصاویر Google Earth استفاده شده است. به این منظور ابتدا در نرم‌افزار Google Earth مناطق مورد نظر شناسایی شد. در این پژوهش قسمتی از منطقه قلعه‌گل که تخریب بیش‌تری داشت و بخشی از منطقه سفیدکوه که حفاظت‌شده و کم‌تر تخریب یافته است برای برآورد شاخص‌های مکانی سرایت[1] از روش نمونه‌برداری نقطه‌ای و برآورد تراکم لبه جنگل[2] از روش نمونه‌برداری خطی انتخاب گردید. در این مطالعه مساحت ناحیه مورد مطالعه، نوع طبقه‌بندی، نوع پیکربندی، تعداد و جهت ترانسکت‌ها، فاصله بین نقاط و اندازه نمونه با توجه به هدف مطالعه و بررسی پژوهش‌های مشابه (۱۸، ۲۰ و ۳۵) که به‌تفصیل به بحث و آزمایش این موارد پرداخته‌اند انتخاب شده است. در شروع کار بر روی تصاویر Google Earth پلی‌گون‌های ۲۰۰ هکتاری (به‌منظور پوشش دادن کاربری‌ها و پوشش‌ها ازهم‌گسیختگی‌ها) در مناطق موردمطالعه قلعه‌گل و سفیدکوه بسته شد و در مجموع هفت کاربری یا پوشش (جنگل، مرتع، روستا، زراعت آبی یا دیم، آبزی‌پروری، باغداری و بدون پوشش) در

1- Contagion
2- Forest edge

منطقه قلعه‌گل دو پوشش جنگل بدون پوشش در منطقه سفیدکوه اندازه‌گیری شد. به‌منظور برآورد شاخص مکانی سرایت از روش نمونه‌برداری نقطه‌ای بر روی تصویر منطقه قلعه‌گل و سفیدکوه جفت نقاط در دو فاصله (۱۰۰ و ۲۰۰ متر) به‌صورت تصادفی سیستماتیک انداخته شد. لازم به ذکر است نقاط ابتدا به‌صورت سیسماتیک و با رعایت فواصل ذکر شده بر روی تصاویر انداخته شد و سپس به فاصله ۵۰ متر با نقطه اول جفت نقطه به روش تصادفی انداخته شد.

برای برآورد شاخص مکانی لبه جنگل از روش نمونه‌برداری خطی ۱۶ ترانسکت به طول ۱۰۰ و ۲۰۰ متر به‌صورت تصادفی سیستماتیک بر روی تصویر منطقه قلعه‌گل و سفیدکوه انداخته شد در این روش مکان ترانسکت‌ها به روش سیستماتیک و جهتشان به‌صورت تصادفی انتخاب شد. در هر دو روش نقطه‌ای و خطی سعی بر جلوگیری از اثرات حاشیه پلی‌گون شد. پس از انجام این مراحل شاخص‌های موردنظر محاسبه شدند.



شکل ۱- نمونه‌هایی از شبکه نقاط و ترانسکت بر روی تصاویر گوگل ارث. A) شبکه نقاط با فاصله ۲۰۰ متری در منطقه قلعه‌گل، B) شبکه ترانسکت‌های ۲۰۰ متری در منطقه قلعه‌گل، C) شبکه نقاط با فاصله ۱۰۰ متری در منطقه سفیدکوه D) شبکه ترانسکت‌های ۱۰۰ متری در منطقه سفیدکوه.

Figure 1. Samples of the network of points and transect on Google Earth images, A) the network of points with a distance of 100 m in Ghalegol region, B) 100-m transects network in the Ghalegol region, C) the network of points with a 200 m distance in Sefidkouh region, D) the network of 200-m transects in Sefidkouh region.

برآورد شاخص لبه جنگل از روش نمونه‌برداری خطی: این شاخص به مرز مشترک بین دو طبقه مختلف (پوشش گیاهی یا کاربری زمین) اشاره دارد. در این روش کافی است تا تعداد برخوردهای بین ترانسکت‌ها و مرز مشترک بین دو پوشش گیاهی متفاوت شمارش شود. طول لبه جنگل با استفاده از خطوط نمونه‌برداری متعدد با طول‌های مساوی برابر است با (۳۵):

$$T = \frac{10000\,.\,\pi\,.m}{2\,.\,n\,.\,c} \qquad (۱)$$

که در آن، m تعداد کل تقاطع‌ها، n اندازه نمونه (تعداد ترانسکت خطی) و c طول خط نمونه‌برداری شده در هر پیکربندی برحسب متر است. هم‌چنین به‌منظور محاسبه واریانس در این متریک از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\hat{V}(\hat{\tau}_y) = \frac{1}{n(n-1)}\sum_{j=1}^{n}(\hat{\tau}_{y,j} - \hat{\tau}_y)^2 \qquad (۲)$$

که، $\hat{\tau}_{y,j}$ برآورد فردی مجموع جمعیت یک ترانسکت تکی، j و $\hat{\tau}_y$ میانگین تمامی ترانسکت‌های n است. خطای نسبی نمونه‌برداری SE٪ برای مجموع جمعیت $\hat{\tau}_y$ با رابطه $\frac{\sqrt{\hat{V}(\hat{\tau}_y)}}{\hat{\tau}_y} \times 100$ محاسبه می‌شود (Lister et al., 2019).

برآورد شاخص مکانی سرایت از روش نمونه‌برداری نقطه‌ای: این شاخص به‌طور گسترده‌ای در کمی کردن سیمای سرزمین به‌کار می‌رود. شاخص سرایت نحوه پراکنش مکانی انواع پوشش گیاهی را در سیمای سرزمین نشان می‌دهد (۱۶، ۱۷ و ۲۰). این شاخص اولین بار برای داده‌های رستری توسعه پیدا کرد ولی اخیراً یک فرمول جدید برای داده‌های غیررستری معرفی گردید (۲۰). شاخص مکانی سرایت، اندازه‌گیری خوشه‌ای از طبقه‌ها در داخل سیمای سرزمین است که ارزشی بین ۰ تا ۱ دارد. ارزش بالا نشان‌دهنده سرزمین تکه‌تکه نشده و ارزش پایین نشان‌دهنده سرزمین تکه‌تکه شده است (۳۵). سرایت قطعی برای فاصله d به‌صورت رابطه ۳ تعریف شده است:

$$C_u\,(\mathrm{d}) = 1 + \frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} p_{ij}(d).ln\left(p_{ij}\,(d)\right)}{2\ln(s)} \qquad (۳)$$

که در آن، $p_{ij}\,(d)$ احتمال این‌که دو نقطه تصادفی انتخاب‌شده در فاصله d متعلق به کلاسه‌های i و j باشد و s تعداد طبقه‌ها یا تعداد پوشش گیاهی است.

تابع سرایت مشروط از طریق رابطه ٤ برآورد می‌شود:

$$C_c\,(\mathrm{d}) = 1 + \frac{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} p_{\frac{j}{i}}(d).ln\left(p_{\frac{j}{i}}\,(d)\right)}{s\ln(s)} \qquad (٤)$$

که در آن، $p_{ij}\,(d)$ احتمال این‌که دو نقطه تصادفی انتخاب‌شده در فاصله d متعلق به کلاسه‌های i و j باشد و s تعداد طبقه‌ها یا تعداد پوشش گیاهی است.

$$pj/i\,(d) = pij\,(d)/pi\,(d),$$
$$\text{with } pi\,(d) = \sum_{j=1}^{s} pij(d).$$

به‌وسیله فراوانی نسبی نقاط در کلاسه‌های i و j، $pj/i\,(d)$ مطابق تعریف بالا برآورد شده است. برآورد $\hat{p}ij\,(d)$ و $\hat{p}\;j/i\,(d)$ در داخل تعریف رابطه‌های ۱ و ۲ درج شد تا برآوردهای C_u (d) و $C_c\,(d)$ از تابع سرایت به دست آمد.

هم‌چنین برای محاسبه واریانس از برآوردگر واریانس جک نایف (۵) استفاده خواهد شد:

$$v(\hat{\theta}) = \frac{n-1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{\theta}_i - \bar{\theta}_{jack})^2 \qquad (۵)$$

که، $\widehat{\theta_i}$ یک برآوردگر است زمانی که از کلاستر جدا می‌شود $\bar{\theta}_{jack} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\widehat{\theta_i}$ و n نشان‌دهنده تعداد کلاسترها می‌باشد (۲۷).

نتایج

پس از پلی‌گون‌بندی و برآورد شاخص‌ها، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها صورت گرفت. نتایج حاصل از برآورد شاخص‌های سرایت و طول کل لبه جنگل در دو منطقه حفاظت‌شده سفیدکوه و منطقه تخریب‌شده قلعه‌گل به شرح زیر است:

برآورد شاخص مکانی طول کل لبه جنگل از طریق روش نمونه‌برداری خطی: این پژوهش طول کل لبه جنگل را در دو منطقه حفاظت‌شده (کم‌تر تخریب یافته) و منطقه تخریب‌شده برآورد می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده طول لبه جنگل با ۱۶ ترانسکت ۱۰۰ متری در منطقه سفیدکوه ۳/۰۶۶۴ متر و طول لبه جنگل با ترانسکت ۲۰۰ متری در سفیدکوه ۲/۱۴۶۴ متر برآورد شد. هم‌چنین طول لبه جنگل با ترانسکت ۱۰۰ متری و ۲۰۰ متری در قلعه‌گل به ترتیب ۴/۲۹۲۹ و ۳/۵۹۱۷ متر به‌دست آمد (جدول ۱).

جدول ۱- برآورد شاخص مکانی طول کل لبه جنگل از طریق روش نمونه‌برداری خطی.

Table 1. Estimation of the metric of the total length of the forest edge through linear sampling method.

	طول ترانسکت‌ها (m) Transects length (m)	طول لبه جنگل Total length of the forest edge
	100	200
ناحیه مورد مطالعه Study area		
قلعه‌گل Ghalegol	4.2929	3.5917
سفیدکوه Sefidkouh	3.0664	2.1464

برآورد شاخص مکانی سرایت از طریق روش نمونه‌برداری نقطه‌ای: بر اساس رابطه ۲ و ۳ سرایت قطعی و مشروط محاسبه شد که در منطقه سفیدکوه به دلیل وجود دو نوع پوشش و درنتیجه یکسان شدن معادله محاسبه شاخص‌ها، سرایت قطعی و مشروط با هم برابر شدند؛ اما در منطقه قلعه‌گل، در هر دو فاصله اندازه‌گیری شده، سرایت مشروط از سرایت قطعی مقادیر بزرگ‌تری را نشان داد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده سرایت قطعی و مشروط با فاصله نقاط ۲۰۰ متری در منطقه سفیدکوه ۰/۵۹۸۴ و در فاصله ۱۰۰ متری ۰/۶۵۱۴ برآورد شد. هم‌چنین در منطقه قلعه‌گل در فاصله ۲۰۰ متری سرایت قطعی و مشروط به‌ترتیب ۰/۵۶۳۷ و ۰/۸۷۵۳ و در فاصله ۱۰۰ متری به‌ترتیب ۰/۵۳۱۵ و ۰/۸۶۶۱ به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج برآورد شاخص مکانی سرایت از طریق روش نمونه‌برداری نقطه‌ای.

Table 2. Estimation of contagion metric through point sampling method.

فاصله نقاط (m) Distance points (m)	(Unconditional)		(Conditional)	
	100	200	100	200
ناحیه مورد مطالعه Study area				
قلعه‌گل Ghalegol	0.5393	0.5637	0.8661	0.8753
سفیدکوه Sefidkouh	0.6514	0.5984	0.6514	0.5984

در زیر، نتایج آزمون t بین دو منطقه نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، با طول خط ۱۰۰ متر، در سطح اطمینان ۹۵٪، تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه وجود ندارد (P>۰/۰۵)، درحالی‌که با طول خط ۲۰۰ متر، در سطح اطمینان ۹۵٪، تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه وجود دارد (P<۰/۰۵).

جدول ۳- آزمون T-Student جفتی در فواصل مختلف.

Table 3. Paired T-Student test at different intervals.

	100 m			200 m	
میانگین Mean	0.3125	0.4375	میانگین Mean	0.4375	0.75
واریانس Variance	0.3625	0.39583	واریانس Variance	0.2625	0.2
مشاهدات Observations	16	16	مشاهدات Observations	16	16
P(T<=t) two-tail	0.163876		P(T<=t) two-tail	0.01965703	

بحث و نتیجه‌گیری

فعالیت‌های بشر اغلب سبب لکه لکه‌شدن سیمای سرزمین‌ها می‌شود و به دلیل گسترش روزافزون این فعالیت‌ها ساختار و کارکردهای اکولوژیک سیمای سرزمین تغییر می‌یابد و الگوهای سیمای سرزمین دستخوش تغییرات و نابودی می‌شود. برای درک اکوسیستم باید الگوی سیمای سرزمین کمی شود. هر چه تغییرات در سیمای سرزمین بیش‌تر باشد، کمی‌سازی و مطالعه سیمای سرزمین اهمیت و ضرورت بیش‌تری می‌یابد. در این مطالعه دو الگوی سیمای سرزمین با درجات مختلف توسعه (تخریب‌یافته و کم‌تر تخریب یافته) در استان لرستان با استفاده از شاخص‌های مکانی لبه جنگل و سرایت مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بیانگر متفاوت بودن الگوهای سیمای سرزمین مناطق مورد مطالعه با یکدیگر است. بسته به اهداف، نقشه‌برداری نمونه‌ای نه‌تنها نسبت به نقشه‌برداری کامل، مقرون به‌صرفه‌تر است، بلکه صحت بالاتری نیز دارند چراکه جمع‌آوری داده‌ها اگر محدود

به مناطق کوچک‌تر باشد، می‌تواند به روشی دقیق‌تر و با جزئیات بیش‌تر صورت پذیرد (۱۸، ۳٦، ۳۷ و ۳۸). در این مطالعه مشخص شد که روش‌های نمونه‌برداری می‌تواند جایگزین مناسبی برای نقشه‌های پوشش گیاهی با جزییات فراوان باشد. مزیت مهم این روش این است که برخلاف روش‌های وکتوری هیچ ضرورتی به ترسیم مرزهای پلی‌گون‌بندی نیست (۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰) بدین معنا که روش موردبررسی برای استفاده بر روی سیمای سرزمین واقعی است زیرا نتایج به‌طور مستقیم استفاده می‌شوند (۲۱) و همین امر موجب سهولت کار و صرف زمان کم‌تر انجام مطالعات می‌گردد و خطاهای توصیف پلی‌گون به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند کاهش یابند یا حذف شود (۳٤). درنهایت، روابط هزینه- دقت در مطالعات به‌دست آمده توسط Ramezani و Holm (2011) و نیز Ramezani و Ramezani (2021) نیز نشان‌دهنده این است که نقاط نمونه‌برداری می‌توانند یک به‌عنوان جایگزین برای نقشه‌های پوشش گیاهی به‌کار روند. در پژوهش‌های مبتنی بر نمونه‌برداری، بررسی کارایی روش نمونه‌برداری مرتبط با شاخص‌های انتخابی امکان‌پذیر است (۲۰، ۲۷ و ۲۸). نتایج روش خطی (LIS) نشان داد که برآورد شاخص مکانی طول کل لبه جنگل از این روش امکان‌پذیر است بنابراین نتایج این پژوهش با مطالعات Marshall و همکاران (2000) و Esseen و همکاران (2006) که بیان می‌دارند در برخی موارد LIS روشی کارآمد برای آماربرداری زمینی و داده‌های سنجش‌ازدوری است، انطباق دارد (۸، ۱۸، ۳۰ و ۳۱). هم‌چنین نتایج روش نمونه‌برداری نقطه‌ای نشان داد که این روش قابلیت برآورد شاخص مکانی سرایت را دارد که با یافته‌های مطالعه Ramezani و Holm (2013) همخوانی دارد (۲۱، ۲۹).

ازآن‌جایی‌که شاخص مکانی سرایت، ارزشی بین ۰ تا ۱ دارد. ارزش بالا نشان‌دهنده سرزمین تکه نشده و ارزش پایین نشان‌دهنده سرزمین تکه‌تکه شده است (۳۵). بنابراین میزان لکه‌لکه شدن منطقه قلعه‌گل به‌دلیل مقادیر سرایت کم‌تر، بیش‌تر از منطقه سفیدکوه است و تنوع کاربری‌ها بیش‌تری در این منطقه حاکم است. شاید این‌گونه به نظر برسد با توجه به مطالعه یک منطقه تخریب‌شده با یک منطقه کم‌تر تخریب‌شده این نتیجه دور از ذهن نبوده اما کمی‌سازی الگوهای سیمای سرزمین می‌تواند نتایج کمی، ملموس‌تر، دقیق‌تر و کارآمدتر به برنامه‌ریزان و پژوهش‌گران ارائه دهد. علاوه بر این نتیجه این پژوهش کارایی روش‌های نمونه‌برداری خطی و نقطه‌ای را در کمی‌کردن دو سیمای تخریب یافته و حفاظت‌شده را نشان می‌دهد. نتایج طول کل لبه جنگل هم با نتایج برآورد سرایت مطابقت دارد و منطقه قلعه‌گل که سرایت کم‌تری دارد، طول کلی لبه جنگل بیش‌تری دارد که این امر هم نشان‌دهنده تخریب و از هم گسستگی بیش‌تر این منطقه نسبت به منطقه کم‌تر تخریب یافته سفیدکوه است. از دلایل تعدد لکه‌ها در منطقه قلعه‌گل می‌توان به حضور لکه‌های مصنوعی و انسان‌ساخت مانند روستاهای متعدد، فعالیت‌های کشاورزی، باغداری و چرای دام و مصرف چوب برای مصارف روستایی و... اشاره نمود که علاوه بر لکه‌لکه شدن این منطقه سبب تنک شدن پوشش جنگلی منطقه شده است. در منطقه سفیدکوه مقدار شاخص مکانی سرایت رقم بالاتری را نشان می‌دهد که نشانگر لکه لکه شدن کم‌تر است و عمده لکه‌های مشاهده‌شده ناشی از لکه‌های طبیعی است. این مطالعه به استفاده از اندازه نمونه بزرگ‌تر و طول پاره‌خط (ترانسکت) بزرگ‌تر که موجب افزایش دقت می‌گردد توصیه می‌کند. در برآورد شاخص مکانی سرایت با افزایش فاصله بین نقاط دقت برآورد کم‌تر می‌شود زیرا در فاصله زیاد نوع پوشش متفاوت خواهد بود. درنهایت می‌توان گفت اهمیت استفاده از روش‌های

ساده و با هزینه کم‌تر برای بررسی ساختار الگوهای سیمای سرزمین در این است که با افزایش تغییرات ساختاری و فرآیندی در سیمای سرزمین که ناشی از فعالیت‌های مخرب انسان است باید مطالعات به‌صورت پیوسته و مداوم برای بررسی تغییرات سیمای سرزمین در طی زمان و نقش انسان در ایجاد تغییرات و آسیب‌های محیط‌زیستی صورت گیرد. روش‌های نمونه‌برداری خطی و نقطه‌ای به‌عنوان یکی از راه‌های کمی‌کردن سیمای سرزمین، با توجه به هزینه کم و دقت زیاد و سادگی به‌کارگیری آن امکان پژوهش‌های بیش‌تری برای پژوهش‌گران و برنامه‌ریزان فراهم می‌سازد ازاین‌روش‌های نمونه‌برداری می‌توان در سایر نقاط نیز استفاده نمود. از دیگر شاخص‌های مکانی نیز برای بررسی میزان یکپارچگی اکوسیستم می‌توان استفاده نمود. هم‌چنین مناسب است که در بررسی‌های بعدی زمان آماربرداری نیز لحاظ گردد.

منابع

1. Affleck, D. (2010). On the efficiency of line intersect distance sampling, *Can. J. Forest Research*. 40 (6), 1086-1094.
2. Asri, Y., & Mehrnia, M. (2002). Introducing the flora of the central part of the Sefidkouh protected area. *J. Natural Resources of Iran*. 55 (3), 363-387. [In Persian]
3. Baker, W. L., & Cai, Y. (1992). The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system, *J. Landscape Ecology*. 7, 291-302.
4. Battles, J., Dushoff, G., & Fahey, J. (1996). Line intersects sampling of forest canopy gaps, *J. Forest Science*. 42, 131-138.
5. Corona, P., Chirici, G., & Travaglini, D. (2004). Forest ecotone survey by line intersect sampling, Can. *J. Forest Research*. 34, 1776-1783.
6. DeVries, P. G. (1979). Line intersect sampling: statistical theory, applications, and suggestions for extended use in ecological inventory in Cormack R.M., Patil G.P., and Robson D.S., editors, sampling biological population. International Co-operative publishing house, Fairland, Maryland. Pp: 1-70.
7. Eiden, G., Jadues, P., & Theis, R. (2005). Linear landscape features in the European Union. Developing indicators related to linear landscape features based on LUCAS transect data an EU publication report EUR 21669. Trends of some agri-environmental indicators in the European Commission.
8. Essepen, P. A., Jansson, K. U., & Nilsson, M. (2006). Forest edge quantification by line intersect sampling in aerial photographs, *J. Forest Ecology and Management*. 230, 32–42.
9. Farhadi, P., Soosani, J., Adeli, K., & Alijani, V. (2014). Analysis of Zagros forest structure using neighborhood-based indices (case study: Ghalehgol forest, Khorramabad). *J. Forest and Poplar Research*. 22 (2), 294-306.
10. Freese, F. (1962). Elementary forest sampling, USDA Forest Service, Agriculture Handbook 232, Washington D.C.
11. Girvetz, E. H., Thorne, J. H., Berry, A. M., & Jaeger, J. A. G. (2008). Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: A statewide multi-scale case study from California, USA, *J. Landscape and Urban Planning*. 86, 205-218.
12. Gustafson, E. J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *J. Ecosystems*. 1, 143-156.
13. Herold, M., Scepan, J., & Clarke, K. C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *J. Environmental Planning*. 34 (8), 1443-1458.
14. Hunsaker, C. T., O'Neill, R. V., Jackson, B. L., Timmins, S. P., Levine, D. A., & Norton, D. J. (1994). Sampling to characterize landscape patterns. *J. Landscape Ecology*. 9, 207-226.

15.Kleinn, C., Ka¨ndler, G., & Schnell, S. (2011). Estimating forest edge length from forest inventory sample data. *J. Forest Research*. 41, 1-10.
16.Lister, A., Lister, T., & Weber, T. (2019). Semi-automated sample-based forest degradation monitoring with photointerpretation of high-resolution imagery. *Forests*. 10(10), 896.
17.Makhdoum, M. F. (2008). Landscape ecology or environmental studies (Land Ecology) (European versus Anglo-Saxon school of thought). *J. International Environmental Application and Science*. 3, 147-160.
18.Marshall, P. L., Davis, G., & LeMay, V. M. (2000). Using line intersect sampling for coarse woody debris, Technical Report TR-003, Research Section, Vancouver Forest Region, British Columbia Ministry of Forests.
19.Mate´rn, B. (1964). A method of estimating the total length of roads by means of line survey, *J. Studia forestalia Suecica*. 18, 68-70.
20.McGarigal, K., & Marks, E. J. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape pattern, General technical report 351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
21.Nagendra, H. (2000). Estimating landscape pattern from supervised and unsupervised classification: studies in the Western Ghats, India. Int. Arch. Photogram. *J. Remote Sensing*. 33 (7), 955-961.
22.Narumalani, S., Mishra, D. R., & Rothwell, R. G. (2004). Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *J. Remote Sensing Environment*. 91 (3-4), 478-489.
23.Naveh, Z. (2002). Foreword. In: Bastian, O. and Steinhardt, U. (Eds). Development and perspectives of landscape ecology, Kluwer Academic Publisher. Boston, 499p.
24.O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., & Graham, R. L. (1998). Indices of landscape pattern. *J. Landscape Ecology*. 1, 153-162.
25.Raj, D. (1986). Sampling theory, New York: McGraw-Hill., 302p.
26.Ramezani, H. (2010). Deriving landscape metrics from sample data (Ph.D. thesis). In: Faculty of Forest Sciences Department of Forest Resource Management 72, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umea, 162p.
27.Ramezani, H., & Ramezani, A. (2021). Forest fragmentation assessment using field-based sampling data from forest inventories. *Scandinavian J. Forest Research*. 36 (4), 289-296.
28.Ramezani, H., & Holm, S. (2011). Sample-based estimation of landscape metrics: accuracy of line intersect sampling for estimating edge density and Shannon's diversity, *J. Environmental, and Ecological Statistics*. 18, 109-130.
29.Ramezani, H., & Holm, S. (2013). Estimating a distance-dependent contagion function using point sample data. *J. Landscape Ecology Engineering*. 21, 61-82.
30.Ramezani, H., Holm, S., Allard, A., & Ståhl, G. (2010). Monitoring landscape metrics by point sampling: accuracy in estimating Shannon's diversity and edge density. *J. Environmental Monitoring and Assessment*. 164, 403-421. **doi:10.1007/s10661-009-0902-0.**
31.Ricotta, C., Corona, P., & Marchetti, M. B. (2003). Beware of contagion. *J. Landscape and Urban Planning*. 62, 173-177.
32.Ringvall, A., & Ståhl, G. (1999). Field aspects of line intersect sampling for assessing coarse woody debris. *J. Forest Ecology and Management*. 119, 163-170.
33.Seto, K. C., & Fragkias, M. (2005). Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics, *J. Landscape Ecology*. 20 (7), 871-888.
34.Turner, M. G. (1990). Spatial and temporal analysis of landscape patterns, *J. Landscape Ecology*. 4, 21-30.

35.Turner, M. G., & Gardner, R. H. (1991). Quantitative methods in landscape ecology. Springer Verlag, New York. 333p.
36.Warren, W. G., & Olsen, P. F. (1964). A line intersect technique for assessing logging waste. *J. Forest Science*. 10, 267-276.
37.Woodall, C. W., & Nagel, L. M. (2006). Coarse woody type: a new method for analyzing coarse woody debris and forest change, *J. Forest Ecology and Management*. 227 (1-2), 115-121.
38.Yeh, C. T., & Hung, S. L. (2009). Investigating spatiotemporal pattern of landscape diversity in response to urbanization. *J. Landscape and Urban Planning*. 93 (3-4), 151-162.