مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۷
ص ۱۱۱-۱۲۲

# کارایی روش نمونه‌برداری فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایهٔ پیوسته (*C*-nn) در مقایسه با روش قطعه نمونهٔ دایره‌ای در برآورد رویه‌زمینی در جنگل‌های خیرود نوشهر

**رضا اخوان[1*] و مجید حسنی[2]**

[1]دانشیار پژوهش، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
[2]کارشناس ارشد پژوهش، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۲)

## چکیده

روش‌های نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه (خطی یا فاصله‌ای) از شیوه‌های مهم آماربرداری در جنگل‌اند. در این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی روش نمونه‌برداری فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایهٔ پیوسته (*C*-nn)، محدوده‌ای به مساحت ۲۲۰ هکتار در بخش چلیر جنگل خیرود نوشهر انتخاب شد. سپس نمونه‌برداری به دو روش، یکی با قطعات نمونه دایره‌ای ۱۰ آری (مرسوم در جنگل‌های شمال کشور) و دیگری به‌روش فاصله‌ای *C*-nn با $k$=۱۵ درخت براساس شبکه‌ای به ابعاد ۲۰۰× ۱۵۰ متر انجام گرفت. در مجموع ۷۷ قطعه نمونهٔ دایره‌ای و ۷۷ نمونه *C*-nn با مراکز نمونه یکسان در منطقهٔ تحقیق برداشت شد. نتایج نشان داد که بین رویه‌زمینی برآوردشده به‌روش *C*-nn با نتایج برآورد این متغیر با قطعات نمونه دایره‌ای متناظر آنها تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد و نیز با کاهش تعداد $k$ در این روش از ۱۵ به ۶ درخت هم تفاوت معنی‌داری در برآورد این متغیر ایجاد نمی‌شود، ولی دقت نمونه‌برداری از $k$=۷ به $k$=۶ درخت به‌شدت کاهش می‌یابد. این در حالی است که روش نمونه‌برداری *C*-nn از نظر زمانی به‌طور معنی‌داری سریع‌تر از روش نمونه‌برداری مرسوم در جنگل‌های هیرکانی شمال کشور بود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه به هر دلیل، اجرای روش‌های نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه یا فاصله‌ای در این جنگل‌ها ضروری باشد، نمونه‌برداری به روش فاصله‌ای *C*-nn با توجه به وابستگی به تنهٔ درخت به‌جای تاج آن، در برخی شرایط کاربرد دارد و براساس معیار هزینه و دقت با هفت درخت انجام‌پذیر است.

**واژه‌های کلیدی:** روش $k$ درختی، موجودی جنگل، نمونه‌برداری با قطعه نمونه، نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه.

## مقدمه

روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای[1] یا بدون قطعه نمونه[2] را اکولوژیست‌ها ابداع کردند و به‌کار گرفتند. انگیزهٔ اصلی ایجاد این روش‌ها، برآورد مشخصه‌های جنگل بدون پیاده کردن قطعه نمونه بود که سبب کاهش زمان نمونه‌برداری می‌شد (Beasom & Hauck, 1975). مشکل روش‌های مبتنی بر قطعه نمونه با مساحت ثابت، این است که سطح قطعه نمونه برای نقاط پرتراکم و کم‌تراکم جنگل یکسان است که سبب می‌شود در نقاط پرتراکم، تعداد زیادی درخت در قطعه نمونه قرار گیرد، درحالی که در نقاط کم‌تراکم این تعداد کافی نیست. به همین دلیل از چند دهه پیش

* نویسندهٔ مسئول
شماره تماس: ۰۹۸۹۱۲۳۱۹۸۰۹۲+
ایمیل: akhavan@rifr-ac.ir

1. Distance method
2. Plotless

افرادی چون Prodan (1968) و Pielou (1977) به فکر استفاده از روش‌های اندازه‌گیری با قطعات نمونه با مساحت متغیر یا روش‌های بدون قطعه نمونه و خطی افتادند که در آن ابعاد قطعه نمونه یا طول خط نمونه‌برداری تابعی از تراکم توده است.

تاریخچهٔ استفاده از روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در جنگلداری به سدهٔ نوزدهم میلادی برمی‌گردد. اولین کسی که از این روش در نمونه‌برداری جنگل استفاده کرد König (1835) بود که روش فاصله‌ای درخت تا درخت[1] را به‌منظور برآورد تراکم و رویه‌زمینی جنگل در آلمان به‌کار گرفت. سپس Cottam & Curtis (1949) روش فاصله‌ای نقطهٔ نمونه‌برداری تا درخت[2] را در آمریکا به‌کار بردند. پس از آنها Köhler (1952) و Weck (1953) در آلمان از روش فاصله‌ای درخت تا درخت و Stoffels (1955) و Essed (1957) از روش فاصله‌ای نقطهٔ نمونه‌برداری تا درخت در جنگل استفاده کردند. در نهایت Prodan (1968) در آلمان روش نمونه‌برداری شش‌درختی را در آماربرداری جنگل پیشنهاد داد.

نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه را به چند روش می‌توان انجام داد: ۱. نمونه‌برداری به روش خطی[3] که در آن مبنای انتخاب درخت نمونه، برخورد تنه یا تصویر تاج درخت با خط نمونه‌برداری است که به دو روش با تعداد درخت ثابت یا خط نمونه با طول ثابت قابل اجراست؛ ۲. انتخاب $k$ درخت نزدیک نسبت به یک نقطه ($k$-NN[4]) مانند مرکز نمونه یا روش نزدیک‌ترین فرد[5] که حداقل $k$ می‌تواند ۱ باشد؛ ۳. انتخاب $k$ درخت نزدیک نسبت به یکدیگر یا نزدیک ترین همسایه[6] که مجدداً حداقل $k$ می‌تواند ۱ باشد. به مجموع این روش‌ها، روش‌های نمونه‌برداری $k$ درختی[7] گفته می‌شود. در مورد روش اول می‌توان به تحقیقات Alijanpour et al. (2003)، Eshagh Nimvari et al. (2003) و Naghavi et al. (2009) اشاره کرد که از روش نمونه‌برداری خطی به‌منظور برآورد متغیرهای جنگل در مناطق جنگلی ارسباران و زاگرس با موفقیت استفاده کرده‌اند. در مورد روش دوم می‌توان از تحقیقات Zobeiri (1978)، Soltani et al. (2007)، Heidari et al. (2010)، Sadeghi Kaji et al. (2014) و Moselou & Erfanifard (2016) در داخل کشور و Prodan (1968)، Schopfer (1969)، Malinen et al. (2003) و Kleinn & Vilcko (2006a) در خارج از کشور نام برد. در مورد روش سوم می‌توان به تحقیقات Askari et al. (2013)، Kiani et al. (2013) و Zare et al. (2016) در داخل کشور و تحقیقات Hanberry et al. (2012) و Hijbeek et al. (2013) در خارج کشور که به‌منظور آماربرداری جنگل استفاده شده است اشاره کرد.

خوبی استفاده از روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای و خطی، سرعت اجرا و پرهیز از نمونه‌های مملو از درخت یا کاملاً بی‌درخت است، زیرا این روش‌ها همیشه با تعداد مشخصی درخت انجام می‌گیرد (Kleinn & Vilcko, 2006a)؛ اما مشکل به‌کارگیری روش‌های نمونه‌برداری خطی در جنگل‌های طبیعی شمال کشور این است که به‌دلیل انبوهی و تداخل تاج درختان و همچنین ارتفاع زیاد آنها، اجرای روش‌های نمونه‌برداری خطی مانند خط نمونه که مبنای آن برخورد تنه یا تصویر تاج درختان با خط نمونه‌برداری است ممکن نیست (Safaei, 2002). به همین دلیل، معیار نزدیک‌ترین فاصله باید جایگزین آن شود که فاصلهٔ نزدیک‌ترین تنه به درخت نمونهٔ اول مبنای انتخاب درخت نمونهٔ بعدی است، نه برخورد تنه یا تصویر تاج درخت با خط نمونه‌برداری. در پژوهش حاضر با الهام از ۱. روش نمونه‌برداری با خط‌نمونه با تعداد درخت ثابت، و ۲. روش نمونه‌برداری دومین نزدیک‌ترین همسایه پیشنهادشده توسط

---

1. Tree-to-tree distance
2. Point-to-tree distance
3. Line Intersect Sampling
4. *k*- Nearest Neighbor
5. Nearest Individual
6. Nearest Neighbor
7. *k*- tree sampling

Cottam & Curtis (1956)، یک روش نمونه‌برداری فاصله‌ای با $k$=۱۵ درخت پیشنهاد شد که روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایهٔ پیوسته یا $C$-nn[1] نام‌گذاری شد. علت استفاده از عبارت "پیوسته" در انتهای نام این روش این است که پس از رسیدن به هر نزدیک‌ترین همسایه، نزدیک ترین همسایهٔ بعدی انتخاب می‌شود و این عمل تا پانزده درخت ادامه می‌یابد، درحالی که در روش اصلی نمونه‌برداری، یعنی دومین نزدیک‌ترین همسایه این کار فقط با سه درخت انجام می‌گیرد (Cottam & Curtis, 1956). در ادامه این روش با روش معمول نمونه‌برداری در جنگل‌های شمال کشور یعنی نمونه‌برداری با قطعات نمونه با مساحت ثابت (دایره‌ای دهآری) در شبکه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر از لحاظ دقت و زمان نمونه‌برداری مقایسه شد تا در صورت قابل قبول بودن نتایج از نظر سهولت اجرا و دقت نمونه‌برداری، بتوان این روش نمونه‌برداری را به‌منظور تعیین موجودی رویه‌زمینی در این نوع جنگل‌ها پیشنهاد کرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ پژوهش

این تحقیق در قسمتی از شمال بخش چلیر (چهارمین بخش جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران در ۷ کیلومتری شرق نوشهر) به مساحت ۲۲۰ هکتار که در ارتفاع ۱۱۰۰ تا ۱۴۵۰ متر از سطح دریا و در جامعهٔ راشستان قرار دارد اجرا شد. میانگین درجهٔ حرارت سالیانه در این جنگل ۱۵/۳ درجهٔ سانتی‌گراد؛ گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد و سردترین ماه سال دی است. براساس گزارش ایستگاه کلیماتولوژی نوشهر (۱۳۶۱-۱۳۳۵) و با توجه به گرادیان بارش، مقدار بارندگی سالیانه در بخش چلیر ۱۳۶۰ تا ۱۴۱۰ میلی‌متر است که حداقل آن در تیرماه و حداکثر آن در مهرماه اتفاق می‌افتد. براساس فرمول آمبرژه، اقلیم منطقه مرطوبِ سرد است (Sarmadian & Jafari, 2001).

### شیوهٔ اجرای پژوهش

#### نمونه‌برداری به‌روش قطعه نمونه دایره‌ای

نمونه‌برداری در محدودهٔ ۲۲۰ هکتاری منطقه تحقیق با یک شبکهٔ منظم- تصادفی به ابعاد ۲۰۰×۱۵۰ متر انجام گرفت که همان شبکهٔ معمول آماربرداری در جنگل‌های شمال کشور است. سطح قطعات نمونه نیز براساس روش معمول نمونه‌برداری در جنگل‌های شمال کشور ۱۰ آر (۱۰۰۰ مترمربع) و به‌شکل دایره در نظر گرفته شد. در داخل قطعات نمونه همهٔ درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابرسینه در طبقات قطری ۱ سانتی‌متری اندازه‌گیری و ثبت شدند. برای به‌دست آوردن رویه‌زمینی در هکتار، سطح مقطع برابرسینهٔ درختان از رابطهٔ $G=\pi d^2/4$ محاسبه شد (d: قطر برابرسینه به متر و G: سطح مقطع برابرسینه به مترمربع). سپس مجموع سطح مقطع برابرسینهٔ درختان هر قطعه نمونهٔ دهآری در عدد ۱۰ ضرب شد.

#### نمونه‌برداری به‌روش نزدیک‌ترین همسایهٔ پیوسته ($C$-nn)

برای نمونه‌برداری به‌روش $C$-nn از همان مراکز شبکهٔ نمونه‌برداری ۲۰۰×۱۵۰ متر روش قطعه نمونهٔ دایره‌ای استفاده شد؛ با این تفاوت که در محل تقاطع اضلاع شبکهٔ نمونه‌برداری به‌جای پیاده کردن قطعات نمونهٔ دایره‌ای دهآری، نمونه‌ها به‌روش نزدیک‌ترین همسایهٔ پیوسته پیاده شدند. در روش نمونه‌برداری $C$-nn که در حقیقت یک روش فاصله‌ای و بدون قطعه نمونه است، $k$ درخت نزدیک به هم براساس فاصلهٔ افقی بین تنه‌هایشان انتخاب می‌شوند. در این روش برخلاف روش خط نمونه که تقاطع قسمتی از تنه یا تاج درخت با خط نمونه مبنای انتخاب درخت است، نزدیک بودن محور تنهٔ درختان نسبت به هم مبنای

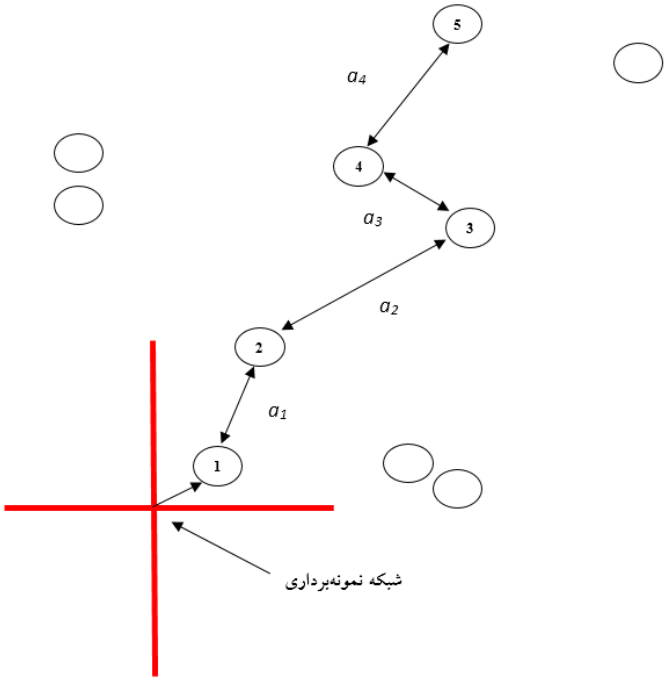
[1]. Continues Nearest Neighbor

انتخاب درخت نمونه است و فاصلهٔ افقی بین تنه‌های درختان نمونه نیز باید اندازه‌گیری شود تا برآوردها قابل تبدیل به سطح باشند.

در این پژوهش با الهام از دو روش نمونه‌برداری خط نمونه با تعداد درخت ثابت و نمونه‌برداری فاصله‌ای دومین نزدیک‌ترین همسایه[1] متعلق به Cottam & Curtis (1956) که با $k$=۳ درخت انجام می‌گیرد و توسعهٔ آن به $k$=۱۵ درخت، نمونه‌برداری به‌روش $C$-nn نخستین بار در جنگل‌های هیرکانی خیرود نوشهر اجرا شد. از هر محل تقاطع اضلاع شبکهٔ نمونه‌برداری، نزدیک‌ترین درخت از نظر فاصلهٔ افقی به محل این تقاطع بدون در نظر گرفتن جهت آن مشخص و به‌عنوان اولین درخت نمونه ($k$=۱) در نظر گرفته می‌شد. سپس نزدیک‌ترین درخت (بدون در نظر گرفتن جهت آن) به درخت اول و به‌عنوان درخت نمونهٔ دوم ($k$=۲) مشخص می‌شد. به همین ترتیب درخت نمونهٔ سوم ($k$=۳) نزدیک‌ترین درخت به درخت دوم بود.

به‌طور کلی مقدار $k$ در مطالعات جنگل بین ۲ تا ۱۲ متغیر است؛ Kleinn & Vilcko (2006a) مقدار $k$ را حداکثر ۱۲، Magnussen et al. (2012) مقدار $k$ را حداکثر ۱۰ و Nothdurft et al. (2010) مقدار $k$ را حداکثر ۶ در نظر گرفتند. در این مطالعه، مقدار $k$ براساس منابع بررسی‌شده و وضعیت تودهٔ تحت بررسی، ۱۵ در نظر گرفته شد تا هم درخت کافی در هر نمونه موجود باشد و هم بتوان اثر کاهش تعداد $k$ در نتایج نهایی را بررسی کرد.

همزمان با انتخاب تصادفی این درختان براساس فاصلهٔ افقی‌شان نسبت به یکدیگر، قطر برابرسینهٔ آنها نیز اندازه‌گیری شد. فاصلهٔ افقی بین محور مرکزی تنهٔ دو درخت نزدیک به هم ($a$) نیز در فرم‌های آماربرداری ثبت شد (شکل ۱).




شکل ۱- نحوهٔ اجرای روش نمونه‌برداری $C$-nn برای $k$=۵

(دوایر محل و موقعیت درختان را نشان می‌دهند؛ $a_i$، فاصلهٔ افقی بین تنهٔ دو درخت)

[1]. Second nearest neighbor

در نمونه‌برداری به‌روش نزدیک‌ترین همسایه، مبنا، فاصلهٔ بین دو درخت است؛ بنابراین فاصلهٔ محل تقاطع اضلاع شبکهٔ نمونه‌برداری تا اولین درخت به‌منظور تعیین اولین درخت نزدیک به مرکز نمونه تعیین می‌شود، اما در محاسبات لحاظ نمی‌شود. در نتیجه تعداد فواصل بین درختان همیشه یک واحد از تعداد درختان کمتر است؛ بنابراین در این تحقیق هر نمونه $C$-nn شامل ۱۵ درخت و ۱۴ فاصله بود.

نکتهٔ دیگری که به‌هنگام اجرای این روش باید در نظر گرفت، این است که با توجه به مسیر زیگزاگ هر نمونه $C$-nn ممکن است پس از اندازه‌گیری مثلاً چهار درخت، پنجمین درختِ نزدیک به درخت چهارم همان درخت اول بشود. در صورت بروز این حالت باید درخت اندازه‌گیری‌شدهٔ قبلی را در نظر نگرفت و نزدیک‌ترین درخت بعدی را بدون در نظر گرفتن جهت آن به‌عنوان درخت نمونهٔ بعدی مشخص و اندازه‌گیری کرد. همچنین هنگامی که دو درخت با فاصلهٔ یکسان از درخت قبلی قرار می‌گیرند، به‌جهت رعایت اصل تصادفی بودن، باید همیشه درخت سمت راست یا همیشه درخت سمت چپ را انتخاب کرد. نکتهٔ شایان توجه در محاسبات مربوط به این روش این است که در این روش نیز همانند روش خط نمونه، برای محاسبهٔ متغیر مورد نظر (قطر یا رویه‌زمینی) در هر نمونه باید متوسط مقدار آن متغیر را براساس تعداد درختان موجود در هر نمونه (در اینجا ۱۵ درخت) ملاک قرار داد و برخلاف روش‌های مبتنی بر قطعه نمونه که در آنها مقدار متغیر مورد نظر در سطح قطعه نمونه باید با هم جمع شوند، در روش $C$-nn نباید این کار را انجام داد، بلکه باید میانگین متغیر را محاسبه و سپس به هکتار تبدیل کرد.

بنابراین باید در این روش، ابتدا ضریب تبدیل به هکتار[1] براساس کل نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده محاسبه می‌شود، سپس این ضریب در رویه‌زمینی برآوردشده برای هر نمونه $C$-nn ضرب می‌شود تا مقدار رویه‌زمینی هر نمونه به هکتار به‌دست آید. برای محاسبهٔ ضریب تبدیل به هکتار در این روش از رابطهٔ ۱ Cottam & Curtis (1956) استفاده شد.

$$N/ha = \frac{10000}{2.778\times(\frac{\sum_{i=1}^{n}\bar{a}}{n})^2} \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

$$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + ... + a_{k-1}}{k-1}$$

$\bar{a}$، متوسط فاصلهٔ درختان در هر نمونه $C$-nn به متر، $k$ تعداد درخت در هر نمونه $C$-nn و $n$ تعداد نمونهٔ برداشت‌شده به روش $C$-nn است.

زمان‌های صرف‌شده برای اندازه‌گیری نمونه‌ها در هر دو روش نیز ثبت شد تا در مقایسهٔ هزینهٔ دو روش نمونه‌برداری استفاده شود.

همچنین به‌منظور افزایش دقت نمونه‌برداری تا حد مجاز تعیین موجودی جنگل‌های هیرکانی (خطای ۱۰ درصد و کمتر) روش مونه‌بندی پس از آماربرداری[2] به‌کار گرفته شد (رابطه‌های ۲ و ۳)؛ سپس دقت نمونه‌برداری به‌روش $C$-nn با استفاده از رابطهٔ ۴ محاسبه شد (زبیری، ۱۳۸۶):

$$\bar{X}_T = \sum_{j=1}^{M}\left(\frac{N_j}{N}\times\bar{x}_j\right) \qquad \text{رابطهٔ ۲}$$

$$S_{\bar{x}_T} = \sqrt{\sum_{j=1}^{M}\left[\left(\frac{N_j}{N}\right)^2\times S^2_{\bar{x}_j}\right]} \qquad \text{رابطهٔ ۳}$$

$$E_T\,\% = \frac{S_{\bar{x}_T}\times t}{\bar{X}_T}\times 100 \qquad \text{رابطهٔ ۴}$$

$\bar{X}_T$ میانگین کل، $N_j$: تعداد نمونه در مونه $j$، $N$: تعداد کل نمونهٔ برداشته‌شده، $\bar{x}_j$: میانگین هر مونه، $S_{\bar{x}_T}$: اشتباه معیار کل، $S_{\bar{x}_j}$: اشتباه معیار هر مونه، $E_T\%$: دقت نمونه‌برداری کل و $t$: مقدار جدول تی- استیودنت است.

[1]. Expansion factor
[2]. Post stratification

به‌منظور مقایسهٔ مقادیر رویه‌زمینی به‌دست‌آمده و همچنین زمان نمونه‌برداری به دو روش *C*-nn و قطعات نمونهٔ دایره‌ای از آزمون t جفتی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

## نتایج

پس از پایان آماربرداری زمینی، ۷۷ قطعه نمونهٔ دایره‌ای ده‌آری و ۷۷ نمونه به‌روش *C*-nn با $k$=۱۵ درخت با مراکز نمونهٔ یکسان در عرصهٔ تحت مطالعه برداشت شد.

### نتایج نمونه‌برداری به‌روش قطعات نمونهٔ دایره‌ای

جدول ۱ مشخصه‌های آماری رویه‌زمینی را براساس قطعه نمونه‌های برداشت‌شده نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج کمّی نمونه‌برداری به‌روش قطعه نمونهٔ دایره‌ای

| متغیر | تعداد نمونه | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | ضریب تغییرات | دقت برآورد (*E*%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رویه‌زمینی (مترمربع در هکتار) | ۷۷ | ۳۵/۳ | ۱۶/۸ | ۵۶/۷ | ۸/۵ | ٪۲۴/۱ | ۵/۵ |

سپس براساس این ضریب مقدار رویه‌زمینی در هکتار برای کل نمونه‌های *C*-nn در عرصه به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج کمّی نمونه‌برداری به‌روش *C*-nn

| متغیر | تعداد نمونه | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | ضریب تغییرات | دقت برآورد (*E*%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| رویه‌زمینی (متر مربع در هکتار) | ۷۷ | ۳۰/۸ | ۵/۰ | ۱۳۵/۳ | ۲۳/۸ | ٪۷۷/۳ | ۱۷/۶ |

با توجه به اینکه دقت برآورد کمتر از حد مجاز برآورد موجودی در جنگل‌های شمال به‌دست آمد، با به‌کارگیری روش مونه‌بندی پس از آماربرداری و تعیین سه مونه ۲۹-۲، ۶۰-۳۰ و بیشتر از ۶۰ متر مربع در هکتار رویه‌زمینی، محاسبهٔ دقت برآورد، از نو و به روش مونه‌بندی انجام گرفت که در نتیجه مقدار آن براساس رابطه‌های ۲ تا ۴ به E%=٪۷/۹ رسید:

$$\bar{X}_T = 30.8$$
$$S_{\bar{x}_T} = 1.22$$
$$E_T\,\% = 7.9\%$$

### مقایسهٔ نتایج نمونه‌برداری به‌روش *C*-nn با روش قطعات نمونهٔ دایره‌ای

مقایسهٔ مقادیر به‌دست‌آمدهٔ رویه‌زمینی در هکتار به‌روش *C*-nn و روش قطعات نمونهٔ دایره‌ای با استفاده

### نتایج نمونه‌برداری به‌روش *C*-nn با $k$=۱۵

### محاسبهٔ ضریب تبدیل به هکتار

با اندازه‌گیری متوسط فاصلهٔ بین درختان در هر نمونه *C*-nn و تعیین مقدار میانگین آن برای ۷۷ نمونه اندازه‌گیری‌شده، این مقدار در عرصهٔ مورد مطالعه، ۳/۷۹ متر به‌دست آمد. در نتیجه براساس رابطهٔ ۱ ضریب تبدیل به هکتار در این جنگل ۲۵۰/۶ اصله در هکتار محاسبه شد:

$$N/ha = \frac{10000}{\sum_{i=1}^{n}\bar{a}} = \frac{10000}{2.778\times(3.79)^2} = 250.6$$
$$2.778\times(\frac{\sum_{i=1}^{n}\bar{a}}{n})^2$$

از آزمون t جفتی نشان داد که بین این مقادیر به‌احتمال ۹۵ درصد تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳).

**نتایج نمونه‌برداری به‌روش *C*-nn با کاهش مقدار *k***

با توجه به اینکه در این تحقیق روش *C*-nn با تعداد $k$=۱۵ درخت اجرا شد، امکان کاهش مقدار $k$ و مشاهدهٔ اثرات آن بر تغییر مقادیر متغیر مورد نظر وجود داشت تا بتوان تعداد بهینهٔ درخت ($k$) را در این روش مشخص کرد. جدول ۴ نتایج محاسبهٔ متغیر رویه‌زمینی را برای مقادیر متفاوت $k$ نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتیجهٔ آزمون t جفتی مقایسهٔ رویه‌زمینی به دو روش قطعات نمونهٔ دایره‌ای و *C*-nn با $k$=۱۵

| درجهٔ آزادی | میانگین تفاوت‌ها | انحراف معیار تفاوت‌ها | آمارهٔ t | معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| ۷۶ | ۴/۵۸ | ۲/۴۷ | ۱/۸۵ | ۰/۰۶ ns |

ns: تفاوت معنی‌دار نیست

جدول ۴- نتایج کمّی نمونه‌برداری به‌روش *C*-nn برای متغیر رویه‌زمینی با کاهش مقدار $k$

| مقدار $k$ | میانگین (مترمربع در هکتار) | دقت برآورد پس از مونه‌بندی ($E_T$%) |
|---|---|---|
| ۶ | ۳۲/۸ | ۱۵/۳ |
| ۷ | ۳۲/۴ | ۸/۰ |
| ۸ | ۳۲/۳ | ۸/۰ |
| ۹ | ۳۱/۰ | ۸/۰ |
| ۱۰ | ۳۱/۶ | ۷/۶ |
| ۱۱ | ۳۱/۶ | ۸/۰ |
| ۱۲ | ۳۰/۹ | ۹/۵ |
| ۱۳ | ۳۰/۴ | ۹/۷ |
| ۱۴ | ۳۰/۴ | ۸/۵ |
| ۱۵ | ۳۰/۸ | ۷/۹ |

همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است، از $k$=۷ به $k$=۶ درخت، تفاوت معنی‌داری بین میانگین رویه‌زمینی مشاهده نمی‌شود، اما دقت برآورد رویه‌زمینی به‌شدت کاهش می‌یابد؛ بنابراین حداقل تعداد درخت در این روش در عرصهٔ مورد تحقیق باید هفت درخت باشد. شایان ذکر است که از $k$=۷ تا $k$=۱۵ همهٔ دقت‌های برآورد رویه‌زمینی کمتر از ۱۰ درصد است که کمترین مقدار آن متعلق به $k$=۱۵ درخت است.

تجزیهٔ واریانس مقادیر رویه‌زمینی برای مقادیر مختلف $k$ نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین این مقادیر نیز وجود ندارد (جدول ۵). بنابراین از این نظر نیز تفاوتی بین انتخاب تعداد درختان از شش تا ۱۵ درخت دیده نمی‌شود. در نتیجه آنچه در اینجا در انتخاب تعداد درخت برای روش *C*-nn تعیین‌کننده است، خطا یا میزان دقت نمونه‌برداری است.

جدول ۵- تجزیهٔ واریانس متوسط رویه‌زمینی برای مقادیر مختلف $k$ از ۶ تا ۱۵

| منابع تغییرات | درجهٔ آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | آمارهٔ F | معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| بین گروه‌ها | ۹ | ۴۸۶ | ۵۴/۰ | ۰/۰۸ | ۱/۰۰۰ ns |
| داخل گروه‌ها | ۷۶۰ | ۵۱۱۱۰۷ | ۶۷۲/۵ | | |
| کل | ۷۶۹ | ۵۱۱۵۹۳ | | | |

ns: معنی‌دار نیست

**نتایج مطالعات زمانی**

با توجه به اینکه در این تحقیق در روش $C$-nn همیشه ۱۵ درخت برداشت‌شده، ولی در روش قطعه نمونه ده‌آری بسته به تراکم جنگل، تعداد درختان قرارگرفته در داخل قطعات نمونه متفاوت بوده است (با میانگین ۲۸ درخت در هر قطعه نمونه)، میانگین زمان نمونه‌برداری برای برداشت یک قطعه نمونهٔ ده‌آری و یک نمونه $C$-nn در عرصهٔ مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۶/۷ و ۱۴/۵ نفر دقیقه محاسبه شد که تفاوت معنی‌داری به احتمال ۹۵ درصد دارند (جدول ۶).

جدول ۶- نتیجهٔ آزمون t جفتی مقایسهٔ زمان نمونه‌برداری به دو روش قطعات نمونهٔ دایره‌ای و $C$-nn با $k$=۱۵

| درجهٔ آزادی | میانگین تفاوت‌ها | انحراف معیار تفاوت‌ها | آمارهٔ t | معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|
| ۷۶ | ۲/۲۲ | ۸/۲ | ۲/۲۵ | ۰/۰۲۷ * |

*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

**بحث**

در این تحقیق به بررسی کارایی روش نمونه‌برداری فاصله‌ای نزدیک‌ترین همسایهٔ پیوسته ($C$-nn) در مقایسه با روش معمول نمونه‌برداری در جنگل‌های هیرکانی خیرود نوشهر با قطعات نمونهٔ ده‌آری دایره‌ای با شبکهٔ نمونه‌برداری یکسان ۲۰۰×۱۵۰ متر پرداخته شد. نتایج نشان داد که برآورد متغیر رویه‌زمینی در هکتار به‌روش $C$-nn تفاوت آماری معنی‌داری با برآورد این متغیر به‌روش قطعه نمونهٔ دایره‌ای ده‌آری ندارد (جدول ۳). از سوی دیگر، نتایج تجزیهٔ واریانس مقادیر برآوردشدهٔ رویه‌زمینی با مقادیر مختلف $k$ نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین این مقادیر نیز وجود ندارد (جدول ۵). بنابراین با کاهش $k$ از ۱۵ به ۶ درخت، تفاوت آماری معنی‌داری بین نتایج نمونه‌برداری به‌روش قطعه نمونهٔ دایره‌ای با روش $C$-nn برای متغیر رویه‌زمینی ایجاد نمی‌شود، اما با کاهش $k$، دقت برآورد متغیر رویه‌زمینی به‌تدریج کاهش یافت تا به عدد ۸ درصد برای $k$=۷ رسید، ولی برای $k$=۶ درخت از حد مجاز دقت نمونه‌برداری در جنگل‌های شمال کشور (خطای ۱۰ درصد و کمتر) عبور کرد (جدول ۴). بنابراین اگر دقت نمونه‌برداری معیار انتخاب باشد، براساس نتایج این پژوهش، باید در این جنگل و جنگل‌های مشابه برای نمونه‌برداری به‌روش $C$-nn به‌منظور برآورد رویه‌زمینی، دست‌کم هفت درخت در هر نمونه $C$-nn برداشت شود. ازآنجا که زمان برداشت نمونه برای $k$=۱۵ درخت به روش $C$-nn به‌طور معنی‌داری کمتر از زمان برداشت قطعه نمونهٔ دایره‌ای

ده آری است (جدول ۶)، برای $k$=۷ درخت این زمان بی‌تردید کمتر هم خواهد شد که این به‌معنای کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری در جنگل خواهد بود. بنابراین هم از نظر زمان نمونه‌برداری و هم از نظر دقت نمونه‌برداری استفاده از روش $C$-nn قابل توصیه است.

هرچند دقت نمونه‌برداری روش‌های بدون قطعه نمونه، به‌طور معمول کمتر از روش‌های مبتنی بر پیاده کردن قطعه نمونه است (Kleinn & Vilcko, 2006a, b) که در این تحقیق نیز به اثبات رسید (مقایسهٔ جدول‌های ۱ و ۴)، اجرای روش‌های نمونه‌برداری خطی و فاصله‌ای یا بدون قطعه نمونه، ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر از روش‌های مبتنی بر قطعه نمونه است (Beasom & Hauck, 1975; Kleinn & Vilcko, 2006a). در این تحقیق نیز زمان نمونه‌برداری به‌روش $C$-nn به‌طور معنی‌داری کمتر از زمان نمونه‌برداری با قطعات نمونهٔ دایره‌ای ده‌آری به‌دست آمد (جدول ۶). سهولت اجرای این روش‌ها سبب شده که امروزه کاربرد زیادی در آماربرداری جنگل پیدا کنند. خوبی دیگر استفاده از روش نمونه‌برداری $C$-nn این است که با توجه مشخص شدن تعداد درختان لازم برای هر نمونه $C$-nn از قبل، نه‌تنها نمونهٔ خیلی پر و متراکم از درخت نخواهیم داشت، بلکه از بروز نمونهٔ خالی از درخت نیز پرهیز خواهد شد. با این‌حال این روش همانند بسیاری از روش‌های نمونه‌برداری معایبی نیز دارد؛ از جمله در صورت قرار گرفتن مرکز نمونهٔ $C$-nn در داخل زادآوری‌های متراکم و درختان کم‌قطر بلوط و ممرز، به‌دلیل نزدیکی و تراکم پایه‌ها، همیشه نزدیک‌ترین درخت نمونهٔ بعدی از این درختان کم‌قطر خواهد بود و به‌اصطلاح نمونه $C$-nn در داخل زادآوری‌ها محبوس خواهد شد، به‌طوری که چندین بار این اتفاق در داخل عرصه مشاهده شد که فقط درختان کم‌قطر ممرز یا بلوط با قطر ۸ تا ۲۰ سانتی‌متر به‌عنوان پانزده درخت نمونه $C$-nn برداشت شدند. اشکال دیگر این روش این است که برای درختانی که پایین‌تر از ارتفاع برابرسینه، دوشاخه یا چندشاخه شده‌اند - که در آماربرداری جنگل هر یک درختی مجزا به‌حساب می‌آیند- مناسب نیست؛ زیرا براساس قاعدهٔ نمونه‌برداری در این روش که همیشه در پی درختان نزدیک است، ممکن است نیمی از تعداد درختان در نظر گرفته‌شده برای هر نمونه $C$-nn با دو یا سه درخت دو یا چندشاخه تکمیل شود.

به‌طور کلی با توجه به مزایا و معایب یادشده، نتایج این تحقیق نشان داد که برخلاف مشاهدات و تجربیات موجود و همچنین نتایج مطالعات Safaei (2002) که تصور می‌شد روش‌های نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه (مانند روش خط نمونه) به‌دلیل انبوهی جنگل، ارتفاع زیاد و تداخل تاج درختان، در جنگل‌های شمال کشور کاربردی ندارد، استفاده از این روش‌ها در جنگل‌های شمال کشور کاملاً منتفی نیست، بلکه در مواردی که به هر دلیل، اجرای روش‌های نمونه‌برداری بدون قطعه نمونه یا فاصله‌ای در این جنگل‌ها ضروری باشد، می‌توان از روش نمونه‌برداری $C$-nn که در آن نزدیکی تنهٔ درختان به یکدیگر ملاک انتخاب درختان نمونه است استفاده کرد.

البته ناگفته پیداست که با اجرای یک تحقیق و در یک محل نمی‌توان به نتیجهٔ قطعی دست یافت و حتماً باید این روش نمونه‌برداری در چند نقطهٔ دیگر از جنگل‌های شمال کشور نیز آزموده شود. همچنین باید این روش در سطح محدودتر با نتایج آماربرداری صددرصد مقایسه شود تا هم صحت‌سنجی نتایج آن امکان‌پذیر باشد و هم مقایسهٔ آن با روش‌های مختلف $k$-NN ممکن شود. اما آنچه در اینجا از اهمیت بیشتری برخوردار است، توسعهٔ برآوردگری[1] ناریب برای روش $C$-nn است تا برآوردی دقیق از به‌کارگیری این روش به‌دست دهد. پیشتر افرادی چون Kleinn & Vilcko (2006b); Magnussen et al. (2010); Nothdurft et al. (2010); Magnussen et al. (2012) برآوردگرهایی را به‌منظور برآورد ناریب متغیرهای

[1]. Estimator development

جنگل به‌روش نزدیک‌ترین فرد پیشنهاد کرده‌اند، ولـی این کار باید برای برآوردگرهای نزدیک‌تـرین همسـایهٔ پیوسته نیز انجام گیرد.

## References


Alijanpour, A., Zobeiri, M., Marvi Mohajer, M.R., & Zargham, N. (2003). An investigation of the best statistical sampling method in forests of Arasbaran. *Iranian Journal of Natural Resources, 56* (4), 397-406.

Askari, Y., Zobeiri, M., & Sohrabi, H. (2013). Comparison of five distance sampling methods for estimating quantitative characteristics of Zagros forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21* (2), 316-328.

Beasom, S.L., & Hauck, H.H. (1975). A comparison of four distance sampling techniques in south Texas live oak Mottes. *Journal of Range Management, 28*(2), 142-144.

Cottam, G., & Curtis, J.T. (1949). A method for making rapid surveys of woodlands by means of pairs of randomly selected trees. *Ecology, 30*, 101-104.

Cottam, G., & Curtis, J.T. (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology, 37* (3), 451-460.

Eshagh Nimvari, J., Zobeiri, M., Sobhani, H., & Purshafie Zangeneh, H. (2003). A comparison of randomized-systematic sampling with circle shape plot and transect method, based on precision and cost. *Iranian Journal of Natural Resources, 56*(4), 383-396.

Essed, D. (1957). *Estimation of standing timber*. Doctoral thesis. Wageningen.

Hanberry, B.B., Yang, J., Kabrick, J.M., & He, H.S. (2012). Adjusting forest density estimates for surveyor bias in historical tree surveys. *American Midland Naturalist, 167*, 285-306.

Heidari, R.H., Zobeiri, M., Namiranian, M., Sobhani, H., & Safari, A. (2010). Study of accuracy of nearest individual sampling method in Zagros Forests. *Iranian Journal of Forest, 2*(4), 322-330.

Hijbeek, R., Koedam, N, Khan, M.N.I., Kairo, J.G., Schoukens, J., & Guebas, F.D. (2013). An evaluation of plotless sampling using vegetation simulation and field data from mangrove forest. *PLoS One, 8*(6), e67201.

Kiani, B., Fallah, A., Tabari, M., Hosseini, S.M., & Parizi, M.H. (2013). A comparison of distance sampling methods in Saxaul (*Halloxylon ammodendron* C.A.Mey Bunge) Shrub-Lands. *Polish Journal of Ecology, 61*(2), 207-219.

Kleinn, Ch., & Vilcko, F. (2006a). A new empirical approach for estimation in *k*- tree sampling. *Forest Ecology and Management, 237*, 522-533.

Kleinn, Ch., & Vilcko, F. (2006b). Design- unbiased estimation for point- to- tree distance sampling. *Canadian Journal of Forest Research, 36*, 1407-1414.

Köhler, A. (1952). Vorratsermittlung in Buchenbeständen nach Stammdurchmesser und Stammabstand. Allg. *Forst Jagdztg, 123*, 69-74.

König, G. (1835). Die Forstmathematik mit Anweisung zur Forsttschatzer, Holzschätzung und Waldwertrechnung, nebst Hülfstafeln für Forstschätzer. Gotha, in commission der Beckerschen Buchhandlung.

Magnussen, S., McRoberts, R.E., & Tomppo, E.O. (2010). A resampling variance estimator for the *k* nearest neighbors technique. *Canadian Journal of Forest Research, 40*, 648-658.

Magnussen, S., Fehrman, L., & Platt, W.J. (2012). An adaptive composite density estimator for *k*- tree sampling. *European Journal of Forest Research, 131*, 307-320.

Malinen, J., Maltamo, M., & Verkasalo, E. (2003). Predicting the internal quality and value of Norway spruce trees by using two nonparametric nearest neighbor methods. *Forest Products Journal, 53*, 85-94.

Naghavi, H., Fallah, A., Jalilvand, H., & Soosani, J. (2009). Determination of the most appropriate transect length for estimation of quantitative characteristics in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest, 1* (3), 229-238. (In Persian)

Moselou, M., & Erfanifard, Y. (2016). Comparing different *k-NN* sampling methods for density estimation of wild pistachio with clustered spatial pattern in a Zagros open stand. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23* (4), 626-636. (In Persian)

Nothdurft, A., Saborowski, J., Robert, S.N., & Stoyan, D. (2010). Density estimation based on *k*- tree sampling and point pattern reconstruction. *Canadian Journal of Forest Research, 40*, 953-967.

Pielou, E.C. (1977). *Mathematical Ecology*. Wiley press.

Prodan, M. (1968). Punktstichprobe für die forsteinrichtung (A point sample for forest management planning). *Forst Holzwirt, 23* (11), 225-226.

Sadeghi Kaji, H., Zafariyan, I., & Badfar, K. (2014). N- tree distance sampling Vs. fixed- radius plots methods for tree density estimation in central Zagros forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22* (3), 381-391.

Safaei, S. (2002). *Application of transect sampling in the northern forests of Iran*. M.Sc. thesis, University of Tehran, Faculty of natural resources.

Sarmadian, F., & Jafari, M. (2001). Investigation of forest soil in Educational- Experimental Forest of Tehran University. *Journal of Iranian Natural Resources, Special Issue*.

Schopfer, W. (1969). 6 tree sampling for forest management planning. *Allgemeine Forst Zeitung, 25*, 533-536.

Soltani, A., Zobeiri, M., & Namiranian, M. (2007). Optimization of Prodan's six tree sampling method. *Iranian Journal of Natural Resources, 60*, 1291-1307. (In Persian)

Stoffels, A. (1955). Die Genauigkeit der Bestimmung der Stammzahl pro Hektar durch Messung von Stammabständen (The accuracy of estimation of number of stems per hectare with distance measurements). *Forstwiss Centralbl, 74*, 211-218.

Weck, L. (1953). Untersuchung über Die Brauchbarkeit und Genauigkeit eines Verfahrens der Bestandesmessung unter Verwendung von Stammabständen (A study on usefulness and accuracy of stand estimations with distance measurements). *Forstarchive, 24*, 257-260.

Zare, L., Erfanifard, Y., Taghvai, M., & Kariminejad, N. (2016). Efficiency of distance sampling methods in estimation of biometric characteristics of wild Pistachio open stands in Zagros. *Journal of wood and forest science and technology, 23* (3), 125-144.

Zobeiri, M. (1978). Tree sampling in natural forests of northern Iran. *The Forestry Chronicle, 54* (3), 171-172.

Zobeiri, M. (2007). *Forest Biometry*. University of Tehran press. 405 p.

Iranian Journal of Forest
Vol. 10, No. 1, Spring 2018
pp. 111-122

# Efficiency of *C*-nn distance sampling method in comparison to sampling with fixed area plot for estimation of forest stem basal area in Kheyroud forests of northern Iran

**R. Akhavan[1*] and M. Hasani[2]**

[1]Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
[2]Research expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

(Received: 21 September 2017, Accepted: 13 November 2017)

## Abstract

Plotless or distance sampling methods, also known as *k*- tree sampling, are practical field sampling methods for forest inventories and ecological surveys. In this research, in order to test the efficiency of Continues Nearest Neighbor (*C*-nn) distance sampling method a 220 ha forest area was selected in Kheyroud forests of northern Iran. Then field sampling was performed using: 1- circular sample plots of 1000 $m^2$ which is conventional in these forests and 2- *C*-nn samples with $k = 15$ trees, both based on a 150 m×200 m systematic grid. In total, we measured 77 circular sample plots and 77 *C*-nn samples in the study area. Results showed that there was no significant difference between estimation of forest stem basal area using the two methods and even among different values of *k* (6 to 15). However, sampling precision decreased significantly by decreasing the amount of *k* from 7 to 6 trees. Furthermore, time cost in the *C*-nn method was significantly lower than the other one. Therefore, regarding to the ease of implementation and the statistical precision of the *C*-nn sampling method, we concluded when sampling using plotless methods is needed to apply in these kind of forest, the *C*-nn sampling method can be implemented with $k = 7$ trees based on the cost and precision of inventory.

**Keywords:** Fixed area sample plot, Forest stock, *k*-tree sampling, Plotless sampling.

∗Corresponding author Tel: +9891230198092 Email: akhavan@rifr-ac.ir