بررسي ساختار مكاني و برآورد موجودي حجمي جنگل‌هاي خزري با استفاده از روش زمين آمار(geostatistics)[۱]

رضا اخوان[۲] محمود زبيري[۳] قوام الدين زاهدي اميري[۴] منوچهر نميرانيان[۴] دنيل ماندالاز[۵]

چكيده

به‌منظور بررسي ساختار مكاني و برآورد موجودي حجمي جنگل‌هاي شمال كشور با استفاده از روش زمين آمار، اين مطالعه در بخشي از جنگل آموزشي- پژوهشي دانشگاه تهران، خيرودكنار نوشهر، در مساحت ۵۰۲ هكتار انجام پذيرفت. نمونه‌برداري از جنگل بر اساس شبكه اي منظم با شروع تصادفي، به ابعاد ۲۰۰ *۱۵۰ متر انجام شد. به‌منظور برآورد مناسبي از همبستگي مكاني در بين نمونه‌ها به‌ويژه در فواصل كوتاه، از محل تقاطع اضلاع شبكه مذكور، چهار قطعه نمونه ديگر نيز به فاصله ۵۰ متر در چهار جهت اصلي نسبت به قطعه نمونه‌هاي مركزي برداشت شدند. هر نمونه از دو قطعه نمونه متحدالمركز دايره‌اي شكل به مساحت‌هاي۳۰۰ و ۷۰۰ متر مربع تشكيل مي‌شد. با استفاده از ۷۲۱ قطعه نمونه برداشت شده زمين مرجع، واريوگرام تجربي ترسيم شد كه واريانس تصادفي (اثر قطعه اي) آن بيش از ۸۰ درصد بود. واريوگرام به‌دست آمده نشان داد كه تغيير پذيري زياد در فواصل كمتر از ۵۰ متر وجود دارد و ساختار مكاني موجود ضعيف است. برآورد با استفاده از مدل كروي برازش‌شده بر واريوگرام تجربي و به روش كريجينگ معمولي- بلوكي با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر انجام شد. نتايج ارزيابي برآوردها نشان داد كه كليه درون‌يابي‌ها اريب بوده و كريجينگ نتوانسته با توجه به وجود اثر قطعه‌اي زياد در واريوگرام، برآورد مناسبي از موجودي حجمي ارائه دهد. بنابراين با دخالت‌هاي اعمال شده در اين جنگل ناهمگن و ناهمسال، ساختار مكاني موجودي حجمي، ساختاري ضعيف بوده و تابعي از فاصله نيست. در نتيجه به علت تغييرپذيري زياد در فواصل كوتاه و نيز تناوبي بودن تغييرات، با روش نمونه‌برداري به كار رفته، استفاده از روش زمين آمار، براي برآورد موجودي حجمي در اين جنگل مناسب نيست.

واژه‌هاي كليدي: *زمين آمار، ساختار مكاني، كريجينگ، موجودي حجمي و واريوگرام.*

---

[۱] – اين تحقيق با استفاده از اعتبار مالي معاونت پژوهشي دانشگاه تهران انجام شده است.

[۲] – دانش آموخته دكتري جنگلداري، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، **E-mail: akhavan@rifr-ac.ir**

[۳] - استاد دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران

[۴] - دانشيار دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران

[۵] - دانشيار دانشگاه پلي تكنيك زوريخ، سوئيس (ETHz)

مقدمه

مديريت بهينه جنگل و بهره‌برداري پايدار از توليدات آن، براساس برنامه مدوني به نام طرح جنگلداري صورت مي‌پذيرد كه بايد بر پايه اطلاعات و اندازه هاي دقيق از بستر مورد نظر باشد. از آنجاكه به سبب تنگناهاي زماني و مالي تهيه اين اطلاعات از تمامي سطح جنگل به صورت آماربرداري صد در صد امكان‌پذير نيست، از طرح‌هاي نمونه‌برداري به‌منظور برآورد متغيرهاي مورد نظر استفاده مي‌شود.

بهبود دقت برآورد موجودي جنگل بر اساس نمونه‌هاي اندازه‌گيري‌شده از اهداف ديرين جنگلبانان بوده و در اين راه از روش‌هاي متعددي استفاده شده است. يكي از روش‌هاي دقيق آماري، به‌كارگيري تجزيه و تحليل‌هاي مكاني با برآورد كريجينگ به روش زمين آمار (geostatistics) است.

تغييرات مكاني داده‌هاي زيستي بيشتر به گونه اي است كه با آمار كلاسيك قابل توصيف نيست، زيرا اين نوع آمار در توصيف ساختار مكاني داده ها، در مواقعي كه نمونه‌هاي همجوار مستقل نباشند، ناتوان است (۱۷).

پايه و اساس زمين آمار را نظريه متغير ناحيه‌اي(regionalized variable) تشكيل مي‌دهد كه مترون[۱]، رياضيدان مدرسه معدن فرانسه در سال ۱۹٦٥ آن را مطرح كرد (۱٦). قبل از او در ۱۹٥۱، كريگ[۲]، مهندس معادن طلا در آفريقاي جنوبي، مشاهده كرد كه با برآورد ميانگين متحرك وزن‌دار به‌منظور تخمين خلوص معادن طلا و با استفاده از همبستگي بين بلوك‌هاي ذخاير مختلف آن، مي‌تواند تخمين بهتري از اين ذخاير داشته باشد كه بعدها روش او به درون‌يابي كريجينگ (Kriging) معروف شد.

بنابراين زمين آمار ابتدا در رشته‌هاي مهندسي معدن ظهور يافت و از آنجا براي نخستين بار در رشته‌هاي زمين‌شناسي و مهندسي نفت و سپس در رشته‌هاي هيدرولوژي، هواشناسي، خاك شناسي، كشاورزي، شيلات و محيطزيست انتشار يافت.

در زمينه آماربرداري جنگل، گويبل[۳] در ۱۹۷۳ براي اولين بار از روش كريجينگ به‌منظور برآورد موجودي حجمي جنگل‌هاي ناهمسال حاره‌اي گابن استفاده كرد. او به اين نتيجه رسيد كه دقت روش زمين آمار نسبت به آمار كلاسيك، بويژه براي سطوح كوچك، بيشتر است. پس از او (۱۹۷٦) ماربوآ[٤]، (۱۹۸۱) دوبلت[٥] و (۱۹۸٦) هويلر[٦] تحقيقات مشابهي انجام دادند (۸).

جاست[۷] (۱۹۹۳) اشتباه آماربرداري به دو روش منظم (سيستماتيك) و زمين آمار را در جنگل‌هاي سوزني‌برگ و پهن‌برگ همگن و همسال در آلمان مقايسه كرد. نتيجه تحقيق او نشان داد كه دقت برآورد به روش زمين آمار بيشتر از روش كلاسيك است.

گونارسون[۸] و همكارانش (۱۹۹۸) در سوئد ، كارايي روش كريجينگ را براي برآورد در سطح توده‌هاي جنگلي كه بر اساس سن طبقه‌بندي شده بودند، بررسي كردند. آنها با تفكيك جنگل به توده‌هاي مسن و جوان، اختلاف شديد و عدم پيوستگي متغيرهاي مورد مطالعه را در بين توده‌ها برطرف كرده، سپس در داخل توده‌ها از روش كريجينگ استفاده كردند. نتيجه برآورد با كريجينگ در توده‌هاي همسال سوزني‌برگ مناسب بود. اما در توده‌هاي همسال پهن‌برگ، همبستگي مكاني مناسبي براي موجودي جنگل و استفاده از روش كريجينگ به‌دست نيامد.

ماندالاز[۹] (۲۰۰۰ و ۱۹۹۳) روش زمين آمار را در نمونه‌برداري مضاعف از جنگل‌هاي آميخته (سوزني و پهن‌برگ) ناهمسال و نامنظم با استفاده از عكس‌هاي هوايي در سوئيس به‌كار برد و كريجينگ مضاعف

---

[۱] Matheron

[۲] Krige

[۳] Guibal

[۴] Marbeau

[۵] Duplat

[۶] Houiller

[۷] Jost

[۸] Gunnarsson

[۹] Mandallaz

(Double kriging) را روش مناسبي براي برآورد موجودي معرفي كرد.

تيومينن[۱] و همكارانش (۲۰۰۳)، در مطالعه اي كاربرد زمين آمار را به‌منظور بهبود دقت برآورد موجودي جنگل‌هاي بورآل فنلاند بررسي كردند. آنها به اين نتيجه رسيدند كه در جنگل‌هاي دخالت‌شده، استفاده از روش كريجينگ منجر به افزايش دقت برآورد در سطح توده‌هاي جنگلي نخواهد شد.

نيسكولز[۲] (۲۰۰۳) در رساله دكتري خود، روش زمين آمار را به‌منظور برآورد دقيق در سطح توده‌هاي همسال جنگل‌هاي سوزني‌برگ جنوب آلمان (blackforest) كه با استفاده از عكس‌هاي هوايي طبقه‌بندي شده بودند، به‌كار برد و از لحاظ دقت و هزينه در مقايسه با روش كلاسيك به نتايج بهتري دست يافت.

انگيزه استفاده از روش زمين آمار در آماربرداري جنگل اين است كه اغلب استفاده از نتايج آماربرداري‌هاي كلاسيك در سطوح وسيع (سري جنگل)، براي برآورد مشخصه‌هاي مورد نظر در سطوح كوچك‌تر (پارسل) از دقت قابل قبولي برخوردار نيست و در عين حال امروزه تقاضاي زيادي براي استفاده از نتايج آماربرداري‌هاي منطقه‌اي و يا ملي در سطوح محلي وجود دارد كه اين موضوع در آماربرداري جنگل از اهميت ويژه اي برخوردار است (۸). بنابراين هدف از اين تحقيق، بررسي ساختار مكاني موجودي حجمي جنگل و استفاده از آن به‌منظور افزايش دقت برآورد با استفاده از روش برآوردي كريجينگ در زمين آمار است تا با توليد نقشه دقيق از موجودي حجمي جنگل، بتوان كيفيت برنامه‌ريزي در جنگل را در سطوح مختلف بهبود بخشيد.

از آنجا كه استفاده از روش زمين آمار در آماربرداري جنگل تاكنون در ايران بررسي نشده، اين مطالعه در قالب طرح تحقيقاتي رساله دكتري انجام پذيرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشي پژوهشي دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران واقع در خيرودكنار نوشهر كه شاخص خوبي از جنگل‌هاي خزري شمال كشور است، براي انجام اين تحقيق در نظر گرفته شد. اين تحقيق در قسمتي از بخش دوم اين جنگل (نم‌خانه) در مساحت ۵۰۲ هكتار انجام پذيرفت. اين محدوده در دامنه ارتفاعي ۷۰۰ الي ۱۲۰۰ متر از سطح دريا قرار دارد و به روش تك‌گزيني بهره‌برداري مي‌شود.

گونه‌هاي اصلي تشكيل‌دهنده اين جنگل عبارتند از: راش، ممرز، افرا، توسكا و بلوط كه جوامع جنگلي بلوط- ممرزستان، راش- ممرزستان و راشستان را تشكيل مي‌دهند. در اين جنگل با توجه به اجراي طرح جنگلداري در دو دوره ۱۰ ساله و بهره‌برداري در طول سال‌هاي گذشته با برش‌هاي پناهي و تك‌گزيني، با وجود زادآوري، در قسمت‌هايي فضاهاي باز به چشم مي‌خورد كه بعضاً مورد هجوم تمشك و آقطي قرار گرفته است. به علاوه در اطراف جاده‌ها و گاوسراها فضاهاي باز به‌وجود آمده است. بادافتادگي درختان نيز سبب ايجاد مناطق باز شده است. همچنين قسمت‌هايي از جنگل پاك‌تراشي شده و دوباره در سطوح كوچك و گاهي بزرگ با گونه‌هاي سوزني‌برگ يا پهن‌برگ به شكل خالص يا آميخته جنگلكاري شده است(۱).

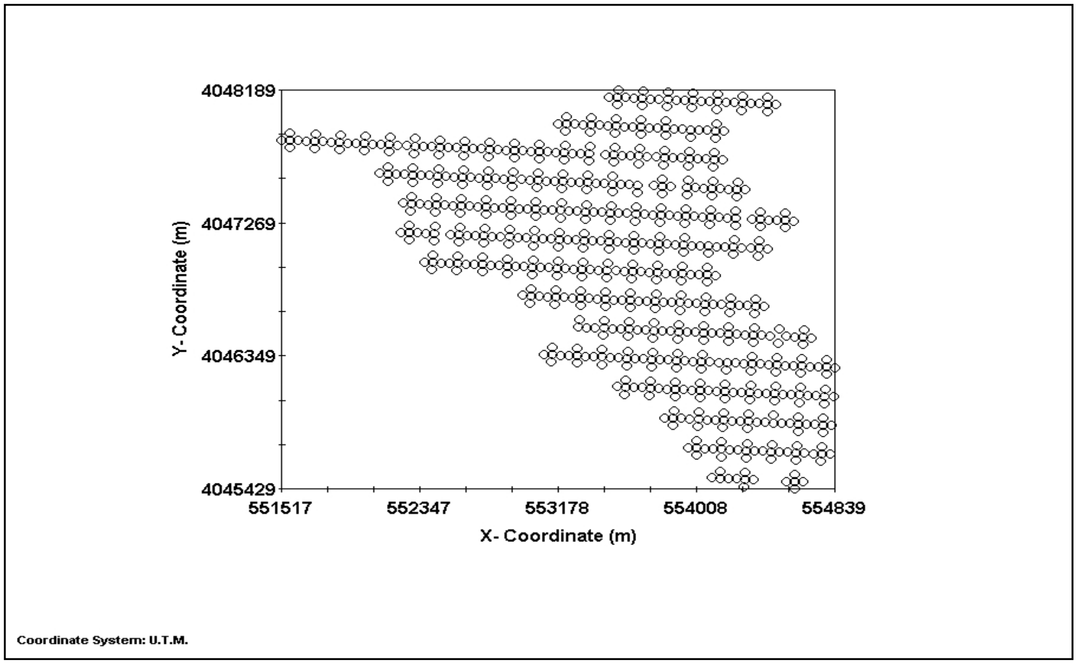
رويش ساليانه اين جنگل كوهستاني ناهمسال حدود ۸ متر مكعب در هكتار و ميانگين موجودي حجمي آن ٤٦٠ متر مكعب در هكتار است (۳).

---

[۱] - Tuominen

[۲] - Nieschulze

شکل۱ محدوده منطقه مورد مطالعه و وضعيت قطعات نمونه را نشان مي‌دهد:



شکل۱- موقعيت قطعات نمونه (دواير) در منطقه مورد مطالعه

مقياس ۱:٤۲۰۰۰

روش آماربرداري

نمونه‌برداري به روش منظم با شروع تصادفي و بر اساس شبکه معمول آماربرداري در اين جنگل، به ابعاد ۱۵۰ متر (شرقي- غربي، در جهت شيب غالب منطقه) در ۲۰۰ متر (شمالي- جنوبي) انجام شد. از آنجا که زمين آمار بر پايه برآورد مناسبي از همبستگي مکاني بين نمونه‌ها (auto correlation) به‌ويژه در فواصل کوتاه استوار است، از هر محل تقاطع اضلاع شبکه اصلي، ٤ قطعه نمونه ديگر نيز به فاصله ۵۰ متر در چهار جهت اصلي (به شکل خوشه) نسبت به قطعه نمونه‌هاي مرکزي برداشت شدند (شکل ۱).

به‌منظور تعيين سطح مناسب قطعات نمونه در جنگل، از نتايج آماربرداري پيشين در بخش نم‌خانه (۱۳۷٤) استفاده شد. به اين ترتيب که نخست نمودار پراکنش تعداد در طبقات قطري براي درختان پارسل‌هاي مورد عمل ترسيم شد. سپس با رعايت اين اصل در انتخاب سطح نمونه که حداقل بايد ۱۰-۱۵ اصله درخت در داخل هر قطعه نمونه قرار گيرد، سطح مناسب قطعات نمونه به‌دست آمد (٤). به‌طوري‌که براي درختان تا قطر برابر سينه ۳۷/۵ سانتي‌متر (طبقه قطري ٤۰ سانتي‌متر که حد تعيين کيفيت درخت است)، قطعات نمونه ۳ آري و براي درختان بيشتر از قطر برابر سينه ۳۷/۵ سانتي‌متر، قطعات نمونه ۷ آري به صورت دواير متحد المرکز (nested plot) در نظر گرفته شدند.

مختصات مراکز قطعات نمونه (X و Y بر مبناي سيستم U.T.M.) براي استفاده در تجزيه و تحليل‌هاي زمين آماري و بررسي ارتباط مکاني بين قطعات نمونه نيز ثبت شدند.

با استفاده از قطعات نمونه متحدالمرکز و اندازه‌گيري درختان قطور در سطح بزرگ‌تر (۷ آر)، اين درختان که در حجم توده جنگلي سهم بيشتري دارند، به تعداد بيشتري اندازه‌گيري شدند (Probability Proportional to Size).

تجزیه و تحلیل زمین آماري

در زمین آمار فرض بر این است که نمونه‌هاي انتخاب‌شده از جامعه، تصادفي و مستقل نیستند، بلکه تا فاصله معینـي به‌صورت فضایي(مکاني) نسبت به هم وابستگي دارند. ایـن ارتباط فضایي ممکن است در قالب مدل ریاضي قابـل بیـان باشد که به این مدل‌هاي ریاضي ساختار فضـایي یـا مکـاني (spatial structure) گفته مي‌شود. زمـین آمـار بـه بررسـي متغیرهایي مي پردازد کـه از خـود سـاختار فضـایي نشـان مي‌دهند (۲).

زمین آمار شامل مدل واریوگرافي و درون‌یابي کریجینـگ است. در مدل واریوگرافي از واریوگرام یا واریانس وابسته به فاصله که ساختار ارتباط فضایي (مکاني) را در بین نمونه‌ها نشان مي‌دهد، براي مـدل‌سـازي واریـانس فضـایي(مکـاني) داده‌هـا اسـتفاده مـي‌شـود. سـپس در مرحلـه درون‌یـابي کریجینگ از مدل به‌دست آمده براي بـرآورد متغیـر مـورد نظر در نقاط نمونه‌برداري نشده استفاده مي‌شود.

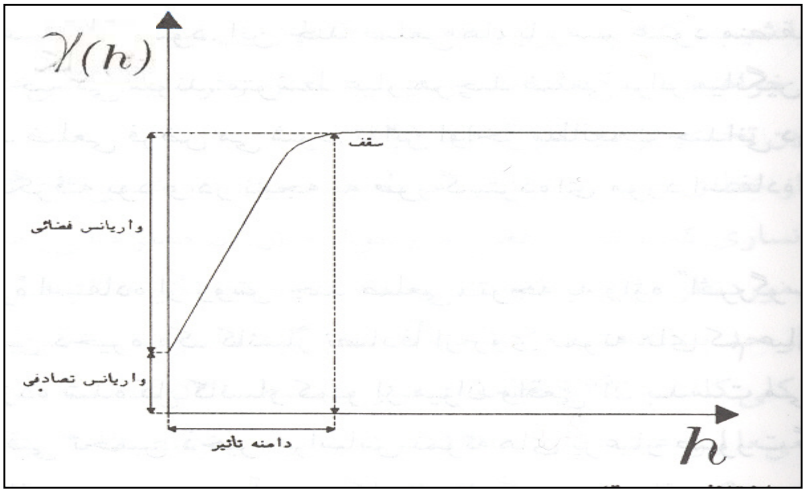
تابع واریوگرام به‌صورت زیرتعریف مي‌شود (۱۶):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[z(x_i) - z(x_i + h)\right]^2$$

به‌طـوري‌کـه $\hat{\gamma}(h)$ مقـدار واریـوگرام (semi- variance) براي تعدادN جفت نمونه است که با فاصله h (گام یا Lag) از یکدیگر جـدا شـده انـد. Z (x_i) نیـز ارزش متغیـر x در نقطـه i اسـت. Z(x) متغیـر ناحیـه اي (regionalized variable) نامیـده مـي‌شـود. اگـر تفاضـل ارزش دو متغیر تصادفي، وابسته به فاصله آنهـا از یکـدیگر باشد، چنین متغیري را ناحیه‌اي مي‌نامند که پایه و اسـاس زمین آمار را تشکیل مي‌دهد.

واریوگرام، رکن اصلي و قلب زمین آمار بـوده و مقـدار آن وابسته به فاصله بین دو متغیـر ناحیـه اي اسـت. اگـر ایـن مقدار وابسته به جهـت نیـز باشـد، واریـوگرام، ناهمسـانگرد (anisotropic) و در غیـر ایـن صـورت، همسـانگرد (isotropic) نامیده مي‌شود.

شکل ۲ یك مدل واریوگرام نظري (تئوریـك) را بـه همـراه اجزاي آن نشان مي‌دهد:



شکل ۲- واریوگرام نظري به همراه اجزاي آن

از آنجاكه نمونه‌هايي كه در يك نقطه اندازه‌گيري شده‌اند (h=0) بايد داراي ارزش يكساني باشند، بنابراين واريوگرام بايد از مبدأ مختصات شروع شود. ولي در عمل واريوگرام هاي تجربي داراي عرض از مبدايي (interception) هستند كه اثر قطعه اي (nugget effect) يا واريانس تصادفي ناميده مي‌شود.

زمين آمار توانايي جدايش واريانس تصادفي را از واريانس فضايي (ساختار دار) دارد. در نتيجه با مشخص شدن بخش غيرتصادفي واريانس مي‌توان با تعداد نمونه كمتري به دقت مورد نظر دست يافت (٢).

اثر قطعه‌اي به‌علت اشتباه در اندازه‌گيري نمونه‌ها و يا تغييرپذيري در فواصل كمتر از حداقل فاصله نمونه‌برداري(lag) بروز مي‌كند. مقداري از سمي واريانس كه در آن واريوگرام ثابت مي‌شود، حد آستانه يا سقف واريوگرام (sill) ناميده مي‌شود كه برابر مجموع واريانس تصادفي و ساختاردار است.

فاصله اي كه در آن واريوگرام به سقف خود مي رسد، دامنه تأثير(range) ناميده مي‌شود. بديهي است كه پس از عبور از دامنه تأثير، هيچ گونه ارتباط مكاني بين نمونه‌ها وجود ندارد و نمونه‌ها مستقل از يكديگر خواهند بود.

كريجينگ كه شيوه برآورد يا تخمين در روش زمين آمار است، بهترين تخمين‌گر نا اريب خطي (BLUE)[12] است كه مي‌تواند بدون اريبي و با حداقل واريانس، ارزش متغيرها را در نقاط نمونه‌برداري‌نشده، برآورد كند. تابع كريجينگ به‌صورت زير تعريف مي‌شود (١٦):

$$\hat{z}(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(x_i)$$

n : تعداد نمونه‌ها

λ_i : وزن داده شده به هر نمونه

به‌طوري‌كه:

$$E\left[\hat{z}(x)-z(x)\right]=0 \Rightarrow \sum_{i=1}^{n}\lambda_i =1$$

$$E\left[\hat{z}(x)-z(x)\right]^2 = \min$$

ويژگي ديگر كريجينگ، علاوه بر دقت در برآورد، اين است كه به همراه هر برآوردي (نقشه كريجينگ) ميزان اشتباه آن (نقشه انحراف معيار كريجينگ) را نيز محاسبه مي كند. بنابراين با استفاده از اين روش مي توان كيفيت برآوردها را كمّي كرد.

عمومي‌ترين شكل كريجينگ كه بيشترين كاربرد را در مطالعات زيست محيطي دارد، كريجينگ معمولي (ordinary kriging) است كه اغلب به‌صورت بلوكي (block kriging) استفاده مي‌شود. به عبارت ديگر، مقادير برآورد شده به وسيله نمونه‌ها به سطح نسبت داده مي‌شوند.

قبل از انجام كريجينگ، لازم است مدلي بر روي واريوگرام تجربي برازش شود (زمين آمار روشي وابسته به مدل،model dependent،است).

متداول‌ترين مدل مورد استفاده، مدل كروي (spherical) است كه به‌صورت زير تعريف مي‌شود (١٦):

$$\hat{\gamma}(h)=c_0+c\left[\frac{3}{2}\left(\frac{h}{a}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3\right] \qquad 0\le h\le a$$

C_0 : اثرقطعه اي

C : واريانس فضايي

a : دامنه تأثير

در زمين آمار براي ارزيابي اعتبار مدل و برآوردها، از روشي به نام Cross- validation استفاده مي‌شود. اين روش شامل حذف به نوبت نمونه‌ها و برآورد مجدد آنها به روش كريجينگ با استفاده از ساير نمونه‌ها و مدل برازش شده بر واريوگرام تجربي است. سپس از تفاضل مقادير واقعي و برآورد شده براي ارزيابي برآوردها استفاده مي‌شود (١٣).

١- Best Linear Unbiased Estimator

نتايج

الف: نمونه‌برداري

با اجراي نمونه‌برداري، به شكل خوشه، ٧٢١ قطعه نمونه در محدوده منطقه مورد مطالعه اندازه‌گيري شد (يك قطعه نمونه در هر ٠/٦ هكتار). حجم قطعات نمونه با استفاده از جداول حجم محلي به‌دست آمد. جدول ١ نتايج كمّي حاصل از اجراي اين نمونه‌برداري را (با استفاده از روابط روش نمونه‌برداري تصادفي) نشان مي‌دهد:

جدول ١- نتايج كمي نمونه‌برداري

متغير	حداقل	حداكثر	ميانگين	انحراف معيار	ضريب تغييرات **CV%**	***p***
موجودي حجمي قطعه نمونه m^3/ha	٦/٥٤	١١٥٣/٣٥	٤٦٠/٦٩	١٩٩/٨٣	%٤٣/٣٤	٠/٠٨

ضريب همبستگي بين خوشه اي[1]=p

---

[1] Intra-cluster correlation coefficient

محاسبه مقدار p (۹) نشان داد که همبستگي بين قطعات نمونه بسيار ضعيف مي باشد (در حالت ايده آل اين ضريب برابر ۱± است). همچنين بالا بودن مقدار ضريب تغييرات (CV%)، نشان دهنده تغييرپذيري زياد در بين داده ها است.

ب: واريوگرافي

داده‌هاي مورد استفاده در مطالعات زمين آماري بايد داراي توزيع نرمال باشند. بررسي پراکنش نمونه‌ها نشان داد که داده‌هاي مورد استفاده داراي توزيع نرمال بوده (چولگي:۰/۳ و کشيدگي: ۳/۳۵) و بنابراين نيازي به استفاده از روش‌هاي تبديل داده ها (transformation) نبود.

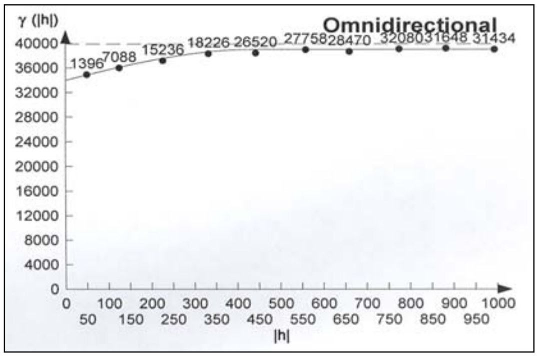
شکل ۳ واريوگرام تجربي محاسبه شده براي داده‌هاي مربوط به موجودي حجمي ۷۲۱ قطعه نمونه برداشت شده و مدل کروي برازش شده بر آن را که با استفاده از نرم افزار Variowin 2.21 محاسبه شده است نشان مي‌دهد. همان طوري که از شکل ۳ پيداست مقدار واريوگرام از فاصله ۵۰ متر تا ٤۳۰ متر که به مقدار سقف مي رسد افزايش يافته و سپس ثابت مي‌شود.

جدول ۲ مشخصات مدل برازش‌شده بر روي واريوگرام تجربي را نشان مي‌دهد:

جدول ۲- مشخصات مدل برازش شده بر واريوگرام تجربي

مدل	اثر قطعه‌اي $(m^3/ha)^2$	سقف $(m^3/ha)^2$	دامنه تأثير(m)	گام يا Lag (m)
کروي	۳٤۰۰۰	۳۹۰۰۰	٤۳۰	۱۱۰

محاسبه واريوگرام در جهت‌هاي مختلف هيچ‌گونه ناهمسانگردي هندسي (geometric anisotropy) يا منطقه‌اي (zonal anisotropy) را نشان نداد. در نتيجه واريوگرام به‌کار رفته چند جهته (omni-directional) است.



شکل۳- واريوگرام تجربي (دواير) و مدل برازش شده بر آن (خط) به همراه تعداد جفت نقاط در هر گام (**h** : فاصله بر حسب متر)

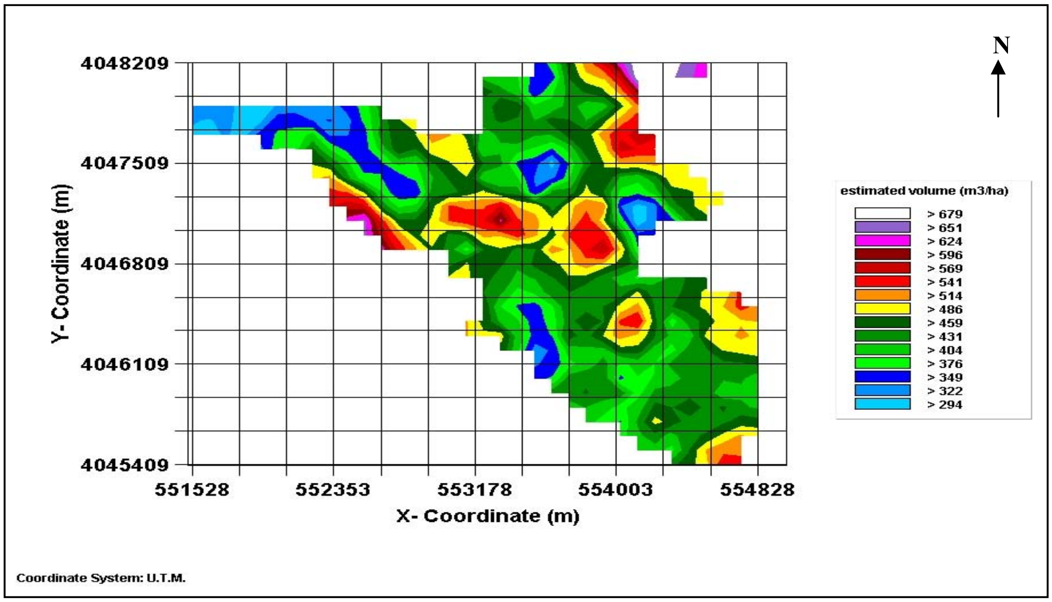
همان‌طورکه از جدول ۲ و شکل ۳ پيداست، مقدار اثر قطعه اي واريوگرام بسيار زياد است که مبين ساختار مکاني ضعيف در بين قطعات نمونه در حد دامنه تأثير و تغييرپذيري زياد در فواصل کمتر از ۵۰ متر (حداقل فاصله نمونه‌برداري) است. محاسبه بخش ساختاردار واريوگرام[۱] (۱۷) نشان داد که اين بخش فقط ۱۲/۸ درصد از واريانس کل را تشکيل مي‌دهد. درحالي‌که ۸۷/۲ درصد از واريانس کل را بخش تصادفي و غير ساختاردار آن (nugget effect) تشکيل مي‌دهد. اين مطلب با پايين بودن ضريب همبستگي بين خوشه اي p نيز تطابق دارد.

---

[۱] Structured Part = (Sill- Nugget effect/ Sill) × 100

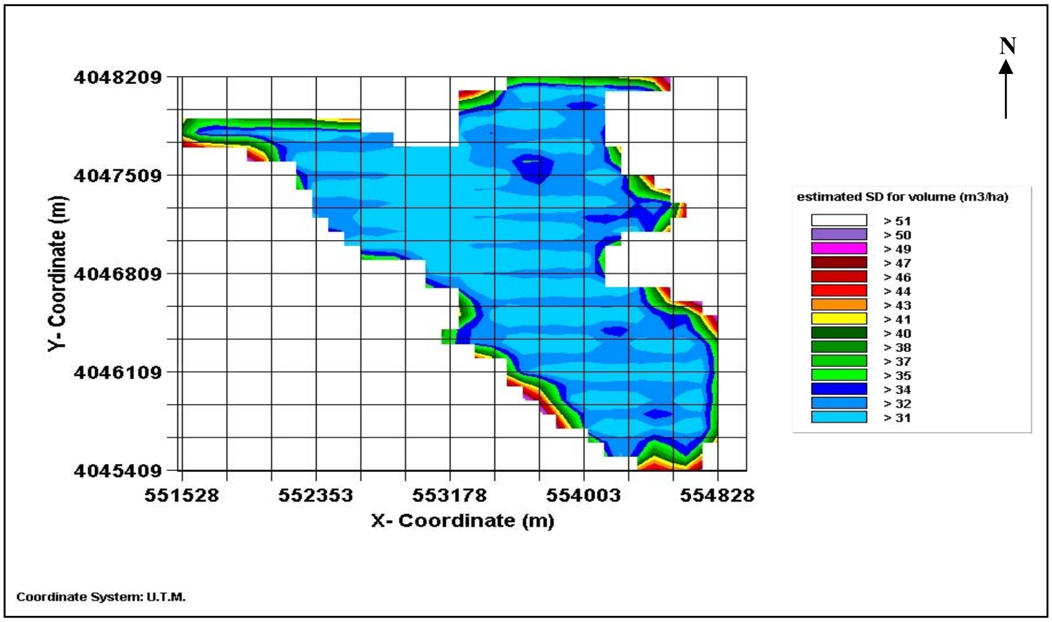
ج: كريجينگ

درون‌يابي كريجينگ به روش معمولي و با بلوك‌هاي۱۰۰*۱۰۰ متر (يك هكتار)، با استفاده از مدل كروي برازش‌شده انجام شد. شكل‌هاي ٤ و ٥ نقشه كريجينگ و نقشه انحراف معيار مربوط به آن را كه با نرم افزار Gs^+ 5.3b محاسبه شده، براي متغير موجودي حجمي نشان مي دهند:



شكل ٤ - نقشه برآورد كريجينگ براي متغير موجودي حجمي در منطقه مورد مطالعه

(مقياس۱:٤٤٥٠٠)



شكل ۵- نقشه انحراف معيار برآورد كريجينگ براي متغير موجودي حجمي در منطقه مورد مطالعه

(مقياس۱:٤٤٥٠٠)

د: ارزيابي برآوردها

ارزيابي اعتبار مدل و برآوردها با محاسبه آماره‌هاي ميانگين مطلق اشتباهات (MAE)[1]، ميانگين اريبي اشتباهات (MBE)[2] و واريانس اشتباه معيار (MSDR)[3] انجام شد (۱٤):

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}\left|\hat{z}(x) - z(x)\right|$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}\left[\hat{z}(x) - z(x)\right]$$

$$MSDR = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}\left[\frac{\hat{z}(x) - z(x)}{\sigma(x)}\right]^2$$

به طوري كه:

n: تعداد نمونه‌ها، $\hat{z}_{(x)}$: مقدار برآورد در نقطه x و $\sigma_{(x)}$: انحراف معيار كريجينگ در نقطه x (RMSE)[4] است:

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}\left[\hat{z}(x) - z(x)\right]^2}$$

مقادير MAE و MBE ميزان اريبي را نشان مي‌دهند و در حالت ايده آل بايد مساوي صفر باشند. مقادير منفي و يا مثبت قابل توجه آنها به ترتيب نشان‌دهنده برآورد بيشتر(over estimate) يا كمتر(under estimate) از مقادير واقعي‌اند.

مقدار MSDR نسبت بين واريانس تجربي و نظري را نشان مي‌دهد. اگر كريجينگ بر اساس مدل به‌كار رفته درست برآورد كرده باشد، اين آماره بايد مساوي عدد ۱ شود. در اين حالت واريانس كريجينگ با واريانس برآوردها برابر خواهد بود.

جدول ۳ نتايج ارزيابي برآوردها را براي متغير موجودي حجمي نشان مي‌دهد:

جدول ۳- نتايج ارزيابي برآوردها

σ (x) **(m^3/ha)**	**MSDR**	**MBE** **(m^3/ha)**	**MAE** **(m^3/ha)**
۱۹٤/۲٤	۷/۱۷	-۱/۱۹٦	۱٥٤/۹۱

با توجه به مقادير جدول ۳، مشاهده مي‌شود كه مقدار خطا و اريبي برآوردها (MBE و MAE) زياد است و نشان مي‌دهد كه كريجينگ نتوانسته بر اساس مدل برازش شده، به علت بالا بودن مقدار اثر قطعه اي و ضعيف بودن ساختار مكاني، برآورد صحيحي انجام دهد. به علاوه افزايش آماره MSDR از مقدار ايده آل خود (عدد ۱) نشان‌دهنده عدم تطابق واريانس كريجينگ با واريانس برآوردهاست.

شكل ٦ نيز مؤيد همين مطلب است:

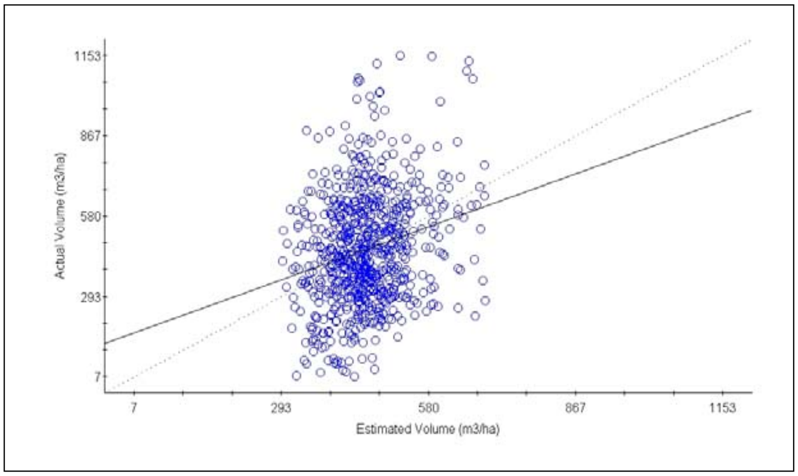
---

[1] ۱- Mean Absolute Error

[2] ۲- Mean Bias Error

[3] ۳- Mean Squared Standardized Deviation Ratio (Variance of standardized error)

[4] ۴- Root Mean Squared Error



شكل ۶- مقايسه بين مقادير اندازه‌گيري شده (محور عمودي) و برآورد شده (محور افقي) متغير موجودي حجمي

بحث و نتيجه گيري

زمين آمار، روشي وابسته به مدل است. در نتيجه كليه خروجي‌هاي زمين آمار در مرحله كريجينگ وابسته به ساختار واريوگرام و اجزاي آن است كه در اين ميان مشخصه اثر قطعه‌اي نقش مهمي دارد.

در مورد علت بروز اثر قطعه اي زياد در واريوگرام به‌دست آمده، بايد خاطر نشان كرد كه ساختار و وضعيت جنگل مورد بررسي به گونه‌اي بوده كه حد تغييرات در فواصل مورد بررسي بسيار زياد بوده، به طوري‌كه با روش زمين آمار همخواني نداشته است. زيرا زمين آمار بر اساس نظريه متغير ناحيه‌اي بنا شده است؛ نظريه‌اي كه اصل را بر تغييرات پيوسته مكاني متغيرها بنا مي‌نهد و اين واقعيتي است كه در جنگل هاي ناهمسال و كوهستاني شمال كشور كمتر اتفاق مي افتد و تغييرات بيشتر حالت تناوبي (Periodic) دارند.

اثر قطعه‌اي زياد شاخص داده‌هاي جنگلي است (٦)، زيرا در جنگل‌هاي دخالت شده نظير جنگل مورد بررسي، عمليات قطع و برش، جاده‌سازي و ساير دخالت هاي انساني و نيز عوامل طبيعي نظير طوفان و باد افتادگي درختان، آتش‌سوزي در جنگل و حمله آفات و امراض، انقطاعي را در روند تغييرات تدريجي متغيرهاي جنگل به‌وجود مي‌آورند كه آنها را مناسب مطالعات زمين آماري نمي‌سازد (۱۵). درحالي‌كه زمين آمار مناسب برآورد متغيرهايي است كه به‌طور پيوسته پراكنده شده باشند.

خصوصيات خاك، تنوع گونه‌ها، توپوگرافي و وضعيت توده‌ها و نيز مديريت‌هاي اعمال‌شده تاكنون، سبب شده‌اند كه موجودي حجمي به‌صورت تصادفي در سطح اين جنگل پراكنده شود.

اريب شدن برآوردهاي كريجينگ نيز به ساختار ضعيف واريوگرام و بالا بودن مقدار اثر قطعه اي آن برمي گردد. پايين بودن مقدار ضريب همبستگي بين خوشه اي (p = ۰/۰۸) نيز در تأييد ضعيف بودن ساختار مكاني موجودي حجمي و تغييرپذيري شديد آن در فواصل كوتاه است. اين تغييرپذيري به گونه اي است كه هر نوع ناهمسانگردي را نيز در اين جنگل پوشش داده است. در نتيجه روش زمين آمار با ساختار ناهمگن جنگل ناهمسال و كوهستاني مورد بررسي همخواني نداشته است. بنابراين حداقل با اطمينان مي‌توان گفت كه با روش نمونه‌برداري به‌كار رفته، استفاده از روش زمين آمار براي بهبود دقت برآورد موجودي حجمي در اين جنگل مناسب نيست.

در مقايسه با نتايج ساير محققان، نتيجه اين تحقيق با نتيجه تحقيق Gunnarsson (۱۹۹۸) در جنگل‌هاي

پهن‌برگ و نيز نتيجه تحقيق (۲۰۰۳) Tuominen در جنگل‌هاي دخالت شده همخواني دارد. در عين حال، برخلاف نتايج تحقيقات (۱۹۷۳) Guibal، (۱۹۸۳) Jost و (۲۰۰۳) Nieschulze است كه از روش زمين آمار در جنگل‌هاي سوزني‌برگ و يا پهن‌برگ همگن و همسال با موفقيت استفاده كرده‌اند.

مطابق يك اصل كلي، وقتي سطح برآورد افزايش يابد، دقت برآورد نيز بيشتر مي‌شود (۱۲). بنابراين انتظار مي‌رود كه با افزايش سطح قطعات نمونه از ۷ آر به ۱۰ تا ۱۲ آر، ميزان اثر قطعه‌اي واريوگرام‌ها كاهش و دقت برآورد بهبود يابد. همچنين با طبقه‌بندي مناسب داده‌ها با استفاده از اطلاعات كمكي (عكس‌هاي هوايي و تصاوير ماهواره‌اي) شايد بتوان به نتايج مطلوب‌تري دست يافت.

زمين آمار و آمار كلاسيك به طور معمول در سطوح وسيع نتايج مشابهي دارند. ولي انتظار مي‌رود كه در سطوح محلي(local estimation يعني در حد دامنه تأثير) و با اهداف خاص (در مناطقي با ارزش اكولوژيكي ويژه) استفاده از روش زمين آمار نتايج بهتري در بر داشته باشد، به‌دليل اينكه در سطوح كوچك عوامل ايجاد انقطاع (نظير جاده‌سازي، بادافتادگي، قطع و برش) در روند تغييرات تدريجي متغيرهاي جنگل، كمتر اتفاق مي‌افتد. همچنين انتظار مي‌رود در جنگلكاري‌ها كه اغلب سطوح همگن‌تري را تشكيل مي‌دهند و تغييرات آنها بيشتر وابسته به خاك است تا عوامل ديگر، استفاده از روش زمين آمار نتيجه‌بخش باشد. در نهايت بايد اذعان كرد كه روش زمين آمار نسبت به آمار كلاسيك، پيچيده‌تر و استفاده از آن منوط به در اختيار بودن تعداد نمونه كافي است. بنابراين در انتخاب و استفاده از اين روش با توجه به متغير و محيط مورد بررسي بايد بررسي‌هاي همه‌جانبه‌اي صورت پذيرد.

سپاسگزاري

بدين وسيله از زحمات پروفسور P. Bachmann رئيس گروه آماربرداري جنگل دانشگاه پلي تكنيك زوريخ، سوئيس(ETHz) و همكارانشان كه امكان اجراي بخشي از اين تحقيق را در آن دانشگاه فراهم آوردند، صميمانه تشكر و قدرداني مي‌شود.

منابع

۱- بي نام، ۱۳۷٤. دومين طرح تجديد نظر بخش نم‌خانه، جنگل خيرودكنار نوشهر، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ۲۰٦ص.

۲- حسني پاك، علي‌اصغر، ۱۳۷۷. زمين آمار (ژئو استاتيستيك)، انتشارات دانشگاه تهران، ش ۲۳۸۹، تهران،۳۱٤ ص.

۳- زاهدي‌اميري، قوام‌الدين، ۱۳۷۰. تعيين رويش جنگل به تفكيك گونه‌ها در بخش نم‌خانه جنگل خيرودكنار. پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۰ ص.

٤- زبيري، محمود، ۱۳۷۳. آماربرداري در جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ش ۲۲۳۸، تهران، ٤۰۱ ص.

5- Gunnarsson, F., S. Holm, P. Holmgren & T. Thuresson. 1998. On the potential of kriging for forest management planning. Scan. J. For. Res. 13: 237- 245.

6- Jost, A., 1993. Geostatistische analyse des Stichprobenfehlers systematischer Stichproben, Ph.D. thesis, university of Freiburg in Breisgau, 90 pp.

7- Krige, D. G., 1951. A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand. Master's thesis, University of Witwatersrand, 190 pp.

8- Mandallaz, D., 1993. Geostatistical methods for double sampling schemes: application to combined forest inventory. Technical report, ETH Zürich, chair of forest inventory and planning, 133pp.

9- Mandallaz, D., 1997. The anticipated variance: a tool for the optimization of forest inventories. Technical report, ETH Zürich, chair of forest inventory and planning, 73pp.

10- Mandallaz, D., 2000. Estimation of the spatial covariance in universal kriging: Application to forest inventory. Environmental and ecological statistics, 7: 263-284.

11- Nieschuleze, J., 2003. Regionalization of variables of sample based forest inventories at the district level. Ph.D. thesis, Georg- August University, Goettingen, Faculty of forest science and forest ecology. 119 pp.

12-Tuominen, S., S. Fish & S. Poso. 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories,and geostatistical interpolation in multi-source forest inventory. Can. J. For. Res. 33: 624-634.

13- Van Meirvenne, M., 1991. Characterization of soil spatial variation using geostatistics. Ph.D. thesis, university of Gent, Belgium, academic press, 168 pp.

14- Wackernagel, H., 2002. Multivariate geostatistics, Springer press, 387 pp.

15- Wallerman, J., S. Joyce, C. P. Vencatasawmy & H. Olsson. 2002. Prediction of forest stem volume using kriging adapted to detected edges. Can. J. For. Res. 32: 509- 518.

16- Webster, R. & M.A. Oliver, 2000. Geostatistics for environmental scientists, Wiley press, 271 pp.

17- Zahedi Amiri, Gh. 1998. Relation between ground vegetation and soil characteristic in a mixed hardwood stand, Ph.D. thesis, university of Gent, Belgium, academic press, 319 pp.

Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran

R. Akhavan[1] **M. Zobeiri**[2] **Gh. Zahedi Amiri**[3] **M. Namiranian**[3] **D. Mandallaz**[4]

Abstract

In order to investigate on the spatial structure and estimation of forest growing stock in the Caspian region using geostatistical approach, this study was carried out in the Educational and Research Forest Station of Tehran University, Kheyroodkenar- Noshahr. Field sampling was performed, based on a 150m by 200m systematic rectangular grids. Since geostatistical techniques basically, rely on good estimates of spatial auto-correlation, particularly at short distances, four sample plots were taken 50m away, from central sample plots in the W-E and N-S directions. Each sample plot contained two concentric circles with areas of $300m^2$ and $700m^2$. Overall, 721 sample plots were inventoried in total area of 502 hectares. Then experimental variogram was calculated and plotted using the geo-referenced inventoried sample plots. The variogram revealed more than 80% Nugget effect, implying weak spatial auto- correlation between samples, even in 50m distances. Estimation was performed by ordinary block (100×100 m) Kriging using spherical model. Cross- validation results indicated that all the estimations are biased because of the large Nugget effect in the experimental variogram. Therefore, Kriging couldn't make a precise estimation due to large variability in short distances and the weak spatial structure of forest growing stock in this heterogeneous and uneven-aged forest.

Keywords: Geostatistics, Growing stock, Kriging, Spatial structure, Variogram.

1- Ph.D. Scholar in Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, E- mail: akhavan@rifr-ac.ir
2- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
3-Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
4-Associate Professor, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich (ETHz)