

## تهیه نقشه خشکیدگی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) با استفاده از روش زمین آمار در دشت برم استان فارس

شهرام احمدی<sup>۱\*</sup>، قوام‌الدین زاهدی امیری<sup>۲</sup> و محمدرضا مروی مهاجر<sup>۲</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: shahmadi110@gmail.com

۲- استاد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۲

### چکیده

این پژوهش به منظور تهیه نقشه خشکیدگی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، تجزیه و تحلیل و تشریح پراکنش مکانی درختان و توده‌های خشکیده بلوط با استفاده از روش زمین‌آمار و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی خشکیدگی، احتمال و خطا در منطقه دشت برم استان فارس انجام شد. داده‌ها در قطعه‌نمونه‌هایی مستطیلی‌شکل به مساحت ۱۲۰۰ متر مربع (۳۰×۴۰ متر) براساس شبکه‌ای به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر با روش منظم - تصادفی جمع‌آوری شد. واریوگرام‌های تجربی ناهمسان‌گرد با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار رسم شد. نتایج ارزیابی متقابل نشان داد که روش کریجینگ معمولی با مدل کروی بهترین برازش را به داده‌ها داشت. نقشه خشکیدگی در طبقه‌های کمتر از ۱۰، ۱۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۶۰ و بیشتر از ۶۰ درصد ترسیم شد. بیشترین سطح به طبقه ۲۵ تا ۶۰ درصد با ۳۸۲۷ هکتار و کمترین سطح به طبقه کمتر از ۱۰ درصد با ۲۶۰ هکتار تعلق داشت. در نقشه احتمال خشکیدگی مشاهده شد که احتمال این‌که خشکیدگی بیشتر از ۶۰ درصد باشد، در بیشتر سطح در محدوده کمتر از ۲۵ درصد بود و سطح کمی از محدوده بین ۵۰ تا ۷۵ درصد واقع شده بود. پژوهش پیش‌رو نشان داد با استفاده از زمین‌آمار (کریجینگ) می‌توان تغییرات مکانی، خطای برآورد و احتمال پیش‌بینی خشکیدگی درختان بلوط زاگرس را در قالب نقشه ارایه داد و کانون‌های خشکیدگی (آفت و بیماری) را شناسایی کرد.

واژه‌های کلیدی: بلوط، تغییرات مکانی، خشکیدگی، زاگرس، زمین‌آمار.

### مقدمه

می‌تواند زمینه‌ساز دیگری باشد. اگرچه برخی عامل‌ها ممکن است در کوتاه‌مدت و به‌طور ناگهانی خسارت ایجاد کنند، اما برخی دیگر به تدریج و به‌طور نامحسوس باعث زوال جنگل می‌شوند. روش‌های گوناگونی برای ارزیابی خسارت و پایش جنگل وجود دارد. ارزیابی چشمی وضعیت تاج درختان یکی از روش‌های اساسی در پایش جنگل است. هدف از سنجش، ارزیابی وضعیت توده با معاینه حالت تاج درختان و سعی در تعیین دلیل آشفتنگی ایجادشده (اختلال

جنگل‌های زاگرس با حدود شش میلیون هکتار وسعت، ۴۰ درصد از کل جنگل‌های ایران را شامل می‌شوند. این جنگل‌ها بیشترین تأثیر را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی - اجتماعی کشور دارند (Saghe-Talebi et al., 2014). عامل‌های متعددی باعث خسارت به جنگل‌های زاگرس شده است که منشا آن طبیعی و یا دخالت انسان بوده است و در برخی مواقع هرکدام

(Jafarnia & Akbarinia, 2014; Rezai *et al.*, 2014). هیچ مطالعه‌ای درخصوص پراکنش مکانی خشکیدگی با استفاده از زمین‌آمار انجام نشده است. Fallah Shamsi و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، گسترش مکانی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) را در منطقه دشت برم بررسی و نقشه پهنه‌بندی خشکیدگی را تهیه کردند. درخصوص پراکنش مکانی خشکیدگی درختان جنگلی و همچنین پراکنش عامل‌های مؤثر بر خشکیدگی نیز مطالعات زیادی در جنگل‌های خارج از کشور انجام نشده است. الگوی مکانی مرگ و میر درختان و آلودگی به‌وسیله حشرات به‌ندرت بررسی شده است (Otto & Schreiber, 2001; Taylor & MacLean, 2007). به‌ویژه در زمینه زوال جنگل (Grodzki, 2005; Turčáni & Hlásny, 2007) که مطالعات بسیار محدود است. اگرچه زمین‌آمار درک ژرفی از توزیع مکانی بسیاری از موجودات می‌دهد، با این حال استفاده زیادی از آن برای کنترل آفت نشده است (Hlásny *et al.*, 2009). نقشه‌های درون‌یابی با استفاده از تکنیک‌های مختلف کریجینگ، اغلب برای توصیف سیستم‌های مختلف بیولوژیکی استفاده شده است (Rossi *et al.*, 1992; Legendre & Legendre, 1998).

Köhl و Gertner (۱۹۹۷) از زمین‌آمار برای ارزیابی خسارت وارده به جنگل‌های سوئیس استفاده کردند. از نظر آنها روش زمین‌آمار برای تشریح توزیع مکانی خسارت جنگل بسیار مناسب است. Negron و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر نوعی سوسک بر مرگ درخت دوگلاس را با استفاده از زمین‌آمار بررسی کردند. آنها توده جنگلی را درخصوص پتانسیل مرگ رتبه‌بندی کردند که نشان از توانایی بالقوه زمین‌آمار برای رتبه‌بندی این پتانسیل بود. Turčáni و Hlásny (۲۰۰۷) تراکم چهار گونه سوسک پوست‌خوار را بر نوئل در ۱۵ رویشگاه مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از زمین‌آمار، نقشه پراکنش گونه‌های سوسک را به‌دست آوردند. Hlásny و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که تجزیه و تحلیل زمین‌آمار فعالیت سوسک پوست‌خوار، به بهبود

رشد) در درخت است. این موضوع با تشخیص عامل‌های آسیب‌زننده که ممکن است طبیعی یا انسانی باشند، امکان‌پذیر است. ممکن است چندین عامل به‌طور هم‌زمان یا در زمان‌های متفاوت وجود داشته باشند. بعضی از این عامل‌ها آلودگی هوا، حمله آفات، بیماری قارچی، خشکسالی طولانی‌مدت، یا آسیب‌های فیزیکی به‌وسیله انسان یا جانوران هستند (Anonymous, 2006).

وابستگی مکانی در تجزیه و تحلیل متغیرهای محیطی مربوط به موجوداتی که به‌صورت مکانی تغییر می‌کنند، بسیار مهم است، اما هنوز بسیاری از مقیاس‌های آماری قدیمی از آن چشم‌پوشی می‌کنند. یکی از ابزارهای آماری که بر مدل‌سازی وابستگی مکانی تمرکز می‌کند، زمین‌آمار است. زمین‌آمار، شاخه‌ای از آمار کاربردی است که بر کشف یا آشکارسازی، مدل‌سازی و برآورد الگوهای مکانی تمرکز می‌کند (Rossi *et al.*, 1992). روش‌های زمین‌آمار (Geostatistical methods) ابزار مناسبی برای مطالعه بیماری‌های اپیدمی هستند. با ترکیب نقشه پراکنش مکانی آسیب‌های وارده به جنگل و داده‌های مکانی مرتبط، زمینه مناسبی برای پژوهش‌های علت و معلولی بین خسارت وارده و عامل‌های تأثیرگذار به‌وجود می‌آید (Köhl & Gertner, 1997). پراکنش مکانی خسارت وارده به جنگل یکی از ویژگی‌های مهمی است که منعکس‌کننده نیروهای محیطی مؤثر بر پراکندگی و چرخه زندگی عامل‌های بیماری‌زا است (Ristanio & Gumperz, 2000). متغیرهای ناحیه‌ای تأیید می‌کنند که مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده در مکان یا زمان از الگویی پیروی می‌کنند که به‌وسیله تابع‌های ریاضی قابل توصیف نیست. در زمینه مکانی و زمانی، چنین وابستگی را خودهمبستگی (Autocorrelation) می‌گویند. وابستگی آماری، اطلاعات مفیدی را برای پیش‌بینی فراهم می‌کند (Babish, 2006).

در ایران، مطالعات اندکی درخصوص استفاده از زمین‌آمار در جنگل انجام شده است و فقط چند مطالعه به‌منظور برآورد برخی متغیرهای تراکم، تاج‌پوشش و موجودی انجام شده است (Akhavan *et al.*, 2012).

گسترش یافته، نیمه خشک معتدل است ( Anonymous, 2015). گونه درختی غالب منطقه، بلوط ایرانی است که در سال‌های اخیر به دلیل هجوم آفت سوسک چوبخوار و بیماری قارچی آسیب دیده است. روش پژوهش

برای نمونه برداری، از روش منظم- تصادفی استفاده شد. ۳۲۲ قطعه نمونه به شکل مستطیل به مساحت ۱۲۰۰ متر مربع (۳۰×۴۰ متر) و براساس شبکه‌ای به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر در جهت شمال جغرافیایی بر روی نقشه محدوده مورد مطالعه جانمایی شدند. دلیل انتخاب ابعاد قطعه نمونه، وضعیت تراکم درختان در این رویشگاه و اطمینان از وجود تعداد مناسب درخت در هر قطعه نمونه بود. قطعه‌نمونه‌هایی که در بردارنده کمتر از دو درخت بلوط بودند، در محاسبات وارد نشدند. در نتیجه، ۱۹۰ قطعه نمونه در تجزیه و تحلیل استفاده شد. به منظور جمع‌آوری داده‌ها، موقعیت قطعه‌نمونه‌ها در محیط ArcGIS 10.2 در محدوده مورد مطالعه ترسیم شد و موقعیت قطعه‌نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Google Earth در روی تصویر ماهواره‌ای منطقه جانمایی شد (شکل ۱). مختصات تمام قطعه‌نمونه‌ها، به منظور بازیابی در طبیعت، به دستگاه GPS گارمین مدل Etrex Vista HCX (خطای سه متر) انتقال یافت. ابعاد تمام قطعه‌نمونه‌ها نیز بر روی تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شد و تصاویر مزبور چاپ شدند (شکل ۱). با توجه به مختصات موجود در دستگاه GPS، موقعیت قطعه‌نمونه‌ها در طبیعت مشخص شد و با استفاده از تصاویر چاپ شده، محدوده قطعه‌نمونه‌ها به طور دقیق در زمین پیاده شد. این روش سه مزیت داشت: ۱- می‌توان از این قطعه‌نمونه‌ها به عنوان قطعه‌نمونه‌های دائمی به منظور پایش تغییرات در آینده استفاده کرد، ۲- با توجه به این که دستگاه GPS دستی، دارای خطا (سه متر) است و مختصات یک نقطه را به صورت متغیر نشان می‌دهد، با این روش می‌توان با استفاده از مختصات موجود در GPS تا نزدیکی محل قطعه‌نمونه حرکت کرد و با تصاویر چاپ شده و موقعیت درختان و عوارض، قطعه‌نمونه‌ها را به طور دقیق پیاده کرد، ۳- می‌توان قطعه‌نمونه‌هایی را که فاقد درخت هستند و یا در

کنترل آفت کمک می‌کند. Vieira و همکاران (۲۰۱۰) کریچینگ با مدل کروی را مناسب‌ترین مدل برای داده‌های خاک و گیاهان معرفی کردند.

جنگل‌های بلوط دشت برم کازرون در قسمت جنوبی رویشگاه جنگلی زاگرس قرار دارد که در سال‌های اخیر گونه اصلی آن، بلوط ایرانی، به شدت آسیب دیده است و دچار خشکیدگی شده است. وجود آفت و بیماری (بیماری زغالی) به روشنی در درختان قابل مشاهده است و گمان می‌رود که عامل‌های نهایی خشکیدگی نیز همین عامل‌ها باشند. این وضعیت نگرانی‌های زیادی را به وجود آورده است. از آنجایی که تاکنون کارایی زمین‌آمار در تهیه نقشه و تحلیل خشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس بررسی نشده است، این پژوهش به منظور بررسی پراکنش مکانی خشکیدگی، شبیه‌سازی مقادیر در مکان‌های بدون داده در محدوده مورد مطالعه و تهیه نقشه احتمال خشکیدگی بلوط ایرانی انجام شد تا کارایی زمین‌آمار برای این منظور در رویشگاه مورد نظر ارزیابی شود. فرضیه اصلی پژوهش پیش‌رو این بود که روش زمین‌آمار برای تهیه نقشه و تشریح پراکنش مکانی خشکیدگی درختان در رویشگاه زاگرس مناسب است.

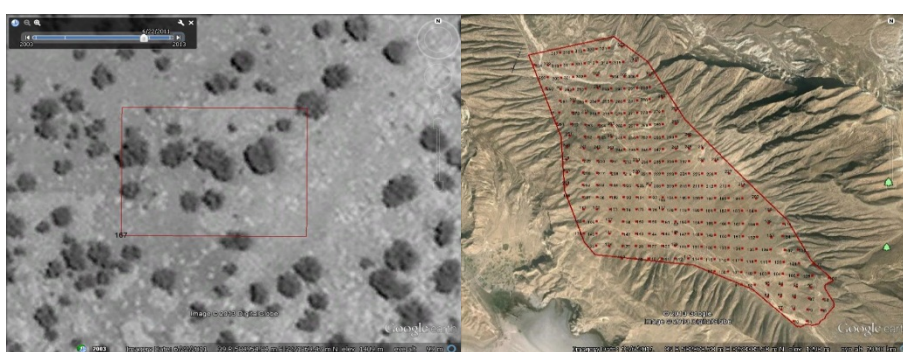
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در جنگل‌های بلوط دشت برم در شهرستان کازرون استان فارس و در ۱۱۰ کیلومتری (مسیر جاده) شیراز با وسعت ۶۰۱۳ هکتار انجام شد. منطقه مذکور بین عرض جغرافیایی  $29^{\circ} 32' 8/75''$  تا  $29^{\circ} 25' 36''$  شمالی و طول جغرافیایی  $51^{\circ} 47' 32/05''$  تا  $51^{\circ} 40' 40/86''$  شرقی قرار دارد. کمینه ارتفاع از سطح دریای اندازه‌گیری شده در قطعه‌نمونه‌ها ۱۱۸۴ متر و بیشینه آن ۱۵۹۵ متر بود. کمینه شیب اندازه‌گیری شده در قطعه‌نمونه‌ها صفر و بیشینه آن ۸۱ درصد بود. میانگین دما و بارندگی سالانه به ترتیب ۲۲/۸ سانتی‌گراد و ۳۷۱/۲ میلی‌متر است. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن

(Defoliation) درختان در پنج گروه کمتر از ۱۰، ۱۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۶۰، ۶۰ تا ۹۹ و ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی شده است که طبقه ۱۰۰ درصد درختان کامل خشکیدگی را شامل می‌شود. با توجه به این‌که خشکیدگی در بلوط‌های زاگرس در سرشاخه‌ها، شاخه‌ها و تنه درختان اتفاق افتاده بود و به‌روشنی قابل مشاهده بود، از خشکیدگی به‌جای برگ‌ریزی استفاده شد و طبقه درخت سالم نیز به طبقه‌بندی مذکور اضافه شد.

روستاها و مکان‌های صعب‌العبور قرار دارند، بدون مراجعه به عرصه، شناسایی و حذف کرد که باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود. در هر قطعه‌نمونه، گونه درختی و درختچه‌ای، فراوانی مطلق، خشکیدگی درخت، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب قطعه‌نمونه اندازه‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی خشکیدگی درخت از روش مورد استفاده در دستورالعمل شماره ۱۶۹۶/۸۷ اتحادیه اروپا (Lorenz *et al.*, 2001) استفاده شد. در این دستورالعمل برگ‌ریزی



شکل ۱- موقعیت قطعه‌نمونه‌ها در محدوده مورد مطالعه (راست) و محدوده یک قطعه‌نمونه (چپ)

تحلیل روند، ترسیم پراکنش مقادیر داده‌ها در محورهای X-Z و Y-Z است (Johnston *et al.*, 2001).  
واریوگرافی

با واریوگرام، ساختار همبستگی مکانی داده‌ها بررسی شد. برای محاسبه سمی‌واریوگرام که شدت همبستگی آماری را به‌عنوان یک تابع فاصله اندازه‌گیری می‌کند، از رابطه ۲ استفاده شد (Johnston *et al.*, 2001).

$$\gamma(s_i, s_j) = 1/2 \text{var}(Z(s_i) - Z(s_j)) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن:  $Z(s_i)$  و  $Z(s_j)$  مقادیر متغیر در دو موقعیت  $s_i$  و  $s_j$  هستند.

با تقسیم اثر قطعه‌ای به سقف، وابستگی مکانی با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد.

## تجزیه و تحلیل آماری

میانگین خشکیدگی درختان در هر قطعه‌نمونه از رابطه ۱ محاسبه شد (Klobucar & Pernar, 2012).

$$MD\% = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:  $f_i$  فراوانی درختان در طبقه خشکیدگی  $i$  و  $x_i$  مرکز طبقه در طبقه خشکیدگی  $i$  است.

به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها، چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها بررسی شد و عدم تقارن (چولگی مثبت) که یکی از شکل‌های عمومی نرمال نبودن داده‌ها است، مشاهده شد. برای نرمال‌سازی داده‌ها از روش باکس-کاکس (Box-Cox) استفاده شد. با این تبدیل، تغییرات واریانس در محدوده کاهش می‌یابد و یکی از فرضیات ایستایی که تجزیه و تحلیل بر آن استوار است، محقق می‌شود (Webster & Oliver, 2000). روند کلی داده‌ها با ابزار تحلیل روند (Trend analysis)، بررسی شد. یکی از جنبه‌های مهم ابزار

$$\text{SDR} = \left( \frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) * 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن: SDR نسبت وابستگی مکانی،  $C_0$  اثر قطعه‌ای و  $C_1$  سقف جزئی هستند.

اگر وابستگی مکانی کوچک‌تر از ۲۵ باشد قوی، بین ۲۶ تا ۷۵ متوسط و بیشتر از ۷۵ ضعیف است (Vieira et al., 2010). به منظور تشخیص وابستگی مکانی، علاوه بر نسبت فوق از شاخص مورانز (Moran's I) نیز استفاده شد. شاخص مورانز همبستگی مکانی عارضه‌ها را براساس موقعیت مکانی و مقدار آن در جدول محاسبه می‌کند. درون‌یابی

برای درون‌یابی از هر دو گروه تکنیک قطعی (Deterministic) و زمین‌آمار (Geostatistic) استفاده شد. در تکنیک قطعی از تابع‌های ریاضی برای درون‌یابی استفاده می‌شود، اما تکنیک زمین‌آمار هم از روش ریاضی و هم از

روش آماری استفاده می‌کند که روش اخیر برای ایجاد سطح و ارزیابی عدم قطعیت پیش‌بینی به کار رفته است (Johnston et al., 2001). در پژوهش پیش‌رو از روش‌های مختلف زمین‌آمار برای درون‌یابی شامل معکوس فاصله (IDW)، توابع پایه شعاعی (RBF)، چندجمله‌ای موضعی (LP)، چندجمله‌ای سراسری (GP)، کریجینگ معمولی (OK) با مدل کروی و کریجینگ فراگیر (UK)، با حذف روند ثابت) استفاده شد.

#### ارزیابی نتایج

برای ارزیابی روش‌های درون‌یابی و مقایسه مدل‌ها، از روش ارزیابی متقابل (Cross validation) با دو معیار میانگین خطا (ME) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد (رابطه‌های ۴ و ۵).

$$\text{ME} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در ۹۵ درصد مواقع مقدار واقعی سطح باید در فاصله  $\pm 2$  برابر خطای استاندارد پیش‌بینی باشد. باید توجه داشت که در نقشه خطای استاندارد پیش‌بینی، محل‌های نزدیک به قطعه نمونه‌ها دارای خطای کمتری است (Johnston et al., 2001). برای تجزیه و تحلیل زمین‌آماري داده‌ها از افزونه Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ARCGIS 10.2 و برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS 22 استفاده شد.

#### نتایج

بعد از به دست آوردن میانگین خشکیدگی درختان در هر قطعه نمونه، به دلیل وجود میانگین صفر و به منظور امکان اجرای تبدیل داده‌ها، یک واحد به نتیجه اضافه شد. اطلاعات کمی متغیر مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. به منظور بررسی توزیع داده‌ها از چولگی و کشیدگی

برای ارزیابی عدم قطعیت، از خطای استاندارد استفاده شد. روش‌های کریجینگ، خطای استاندارد پیش‌بینی برآورد شده را محاسبه می‌کنند. در کنار محاسبه پیش‌بینی‌ها، تغییرپذیری پیش‌بینی مقادیر هم اندازه‌گیری شد. برای این منظور خطای استاندارد با RMSE مقایسه شد. در صورتی که این دو معیار به هم نزدیک باشند، می‌توان به طور صحیح، تغییرپذیری در پیش‌بینی را ارزیابی کرد. اگر میانگین خطای استاندارد بزرگ‌تر از RMSE باشد، تغییرپذیری پیش‌بینی، بیش برآورد شده است و برعکس (Johnston et al., 2001).

به منظور بررسی کیفیت پیش‌بینی از نقشه خطای استاندارد پیش‌بینی استفاده شد. خطای استاندارد پیش‌بینی، عدم قطعیت برای هر مکانی را کمی می‌کند. یک قاعده ساده این است که اگر داده‌ها به صورت نرمال توزیع شده باشند،

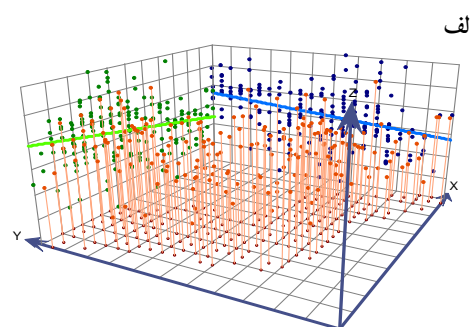
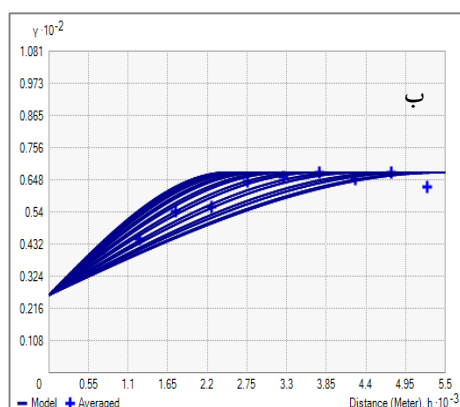
در هیستوگرام استفاده شد. داده‌ها دارای چولگی مثبت بودند که با انجام تبدیل باکس-کاکس (توان ۰/۶۸) توزیع داده‌ها به نرمال نزدیک شد.

جدول ۱- خلاصه مشخصه‌های آماری متغیر درصد خشکیدگی

تعداد نمونه	دامنه	کمینه	بیشینه	میانگین	اشتباه معیار	انحراف معیار	واریانس
۱۹۰	۹۲/۶۶	۱	۹۳/۶۶	۳۷/۶۲	۱/۷۴	۲۴/۰۶	۵۷۸/۷۳

شکل ۲- الف، نمودار تحلیل روند را نشان می‌دهد. موقعیت پراکنش داده‌ها در دو جهت شمال و شرق ترسیم شد. داده‌ها هم در محور شمال (خط آبی) و هم در محور شرق (خط سبز)، روند خطی ضعیفی را نشان دادند. با ترسیم واریوگرام تجربی (شکل ۲- ب)، مشخص شد که این متغیر

دارای ساختار مکانی متوسط ( $SDR=۳۹/۵۳$ ) بود. نتیجه به‌دست‌آمده از محاسبه شاخص مورانز (شکل ۳- الف) نیز وابستگی مکانی را تأیید کرد. با بررسی واریوگرام، مشخص شد که ناهمسان‌گردی هندسی وجود داشته است که در برازش مدل‌ها مورد توجه قرار گرفت (شکل ۲- ب).



شکل ۲- نمودار تحلیل روند (الف) و سمی‌واریوگرام تجربی متغیر خشکیدگی و برازش مدل کروی با ناهمسان‌گردی هندسی (ب)

مقدار معیارهای مختلف به‌دست‌آمده از ارزیابی متقابل برای ارزیابی دقت روش‌های درونیابی، در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج ارزیابی متقابل، معیارهای میانگین

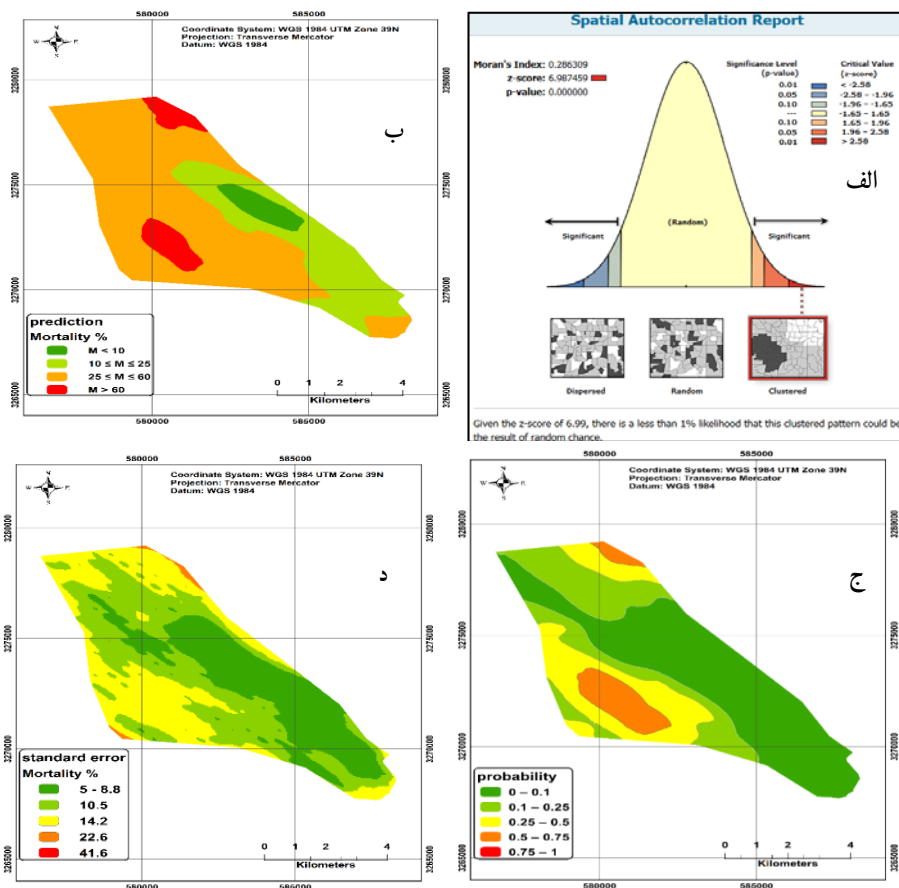
خطا و جذر میانگین مربعات خطا در روش کریجینگ معمولی (با مدل کروی) کمترین مقدار را داشتند و در نتیجه، این روش درونیابی از دقت بیشتری برخوردار بود.

جدول ۲- نتایج ارزیابی متقابل برای مدل‌های مختلف

روش درونیابی							معیار
UK	OK	RBF	GP	LP	IDW		
۲۰/۹۸	۲۰/۳۴	۲۰/۷۸	۲۰/۶۹	۲۰/۴۹	۲۰/۵۲	RMSE	
۴/۳۳	۰/۰۰۶۶	۰/۰۶	-۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۴۱	ME	

نقشه پیش‌بینی خشکیدگی با استفاده از روش کریجینگ معمولی با مدل کروی ایجاد شد (شکل ۳-ب). نقشه ایجاد شده در چهار دسته کمتر از ۱۰، ۱۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۶۰ و بیشتر از ۶۰ درصد طبقه‌بندی شد. به دلیل این که طبقات کامل سالم (خشکیدگی صفر) و کامل خشکیده (خشکیدگی صددرصد) در نقشه پیش‌بینی وجود نداشت، در طبقه‌بندی در نظر گرفته نشد. بیشترین سطح به طبقه ۲۵ تا ۶۰ درصد با ۳۸۲۷ هکتار مساحت و کمترین سطح به طبقه کمتر از ۱۰ درصد با ۲۶۰ هکتار مساحت اختصاص داشت. طبقات ۱۰ تا ۲۵ و بیشتر از ۶۰ درصد به ترتیب ۱۵۰۹ و ۴۱۶ هکتار

مساحت داشتند. در شکل ۳-ج نقشه احتمال بیشتر از ۶۰ درصد خشکیدگی مشاهده می‌شود. این نقشه پیش‌بینی می‌کند که چند درصد احتمال وجود دارد که خشکیدگی از ۶۰ درصد فراتر رود. شکل ۳-د نقشه خطای استاندارد را نشان می‌دهد که طبقه‌بندی این نقشه براساس فواصل هندسی است. در این الگوریتم، فواصل هندسی با به حداقل رساندن مجموع مربعات تعداد عناصر در هر طبقه ایجاد می‌شود. جدول ۳ مشخصات واریوگرامی که با استفاده از روش کریجینگ و مدل کروی برای ترسیم نقشه پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته بود را نشان می‌دهد.



شکل ۳- گزارش همبستگی مکانی شاخص مورانز (الف)؛ نقشه پیش‌بینی خشکیدگی (ب)؛ نقشه احتمال خشکیدگی بیشتر از ۶۰ درصد (ج) و نقشه خطای استاندارد (د) در محدوده مورد مطالعه

جدول ۳- مشخصات واریوگرام با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل کروی

وضعیت	دامنه	دامنه	زاویه	همبستگی	سقف	اثر	نوع مدل	روش
همسایگی	کوچک	بزرگ	ناهمسان‌گردی	مکانی	جزیی	قطعه‌ای	کروی	کریجینگ معمولی (OK)
Smoothing	۲۳۰۰	۵۵۰۰	۱۲۷	۳۹/۵۳	۴۰/۰۳	۲۶/۱۷		

### بحث

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که داده‌های خشکیدگی دارای چولگی هستند، با این حال با استفاده از روش تبدیل باکس-کاکس و با توان  $0/68$  تا حدود زیادی توزیع داده‌ها به منحنی نرمال نزدیک شد. با رسم واریوگرام مشخص شد که متغیر خشکیدگی، ساختار مکانی قابل قبولی ( $SDR=39/53$ ) را نشان داده است. اثر قطعه‌ای در عمل مساوی با صفر نمی‌شود و وجود آن در مدل (جدول ۳) ممکن است به دلیل خطای اندازه‌گیری یا ابعاد شبکه نمونه‌برداری یا هردو باشد. عدم وجود ساختار مکانی بسیار قوی در متغیر خشکیدگی، ممکن است به دلیل عدم همبستگی این متغیر به یک یا تعداد معدودی متغیر مستقل باشد و شاید بتوان گفت که عامل‌های متعددی بر خشکیدگی تأثیرگذار هستند و برهم‌کنش آنها نیز تأثیرهای متفاوتی بر خشکیدگی دارد و بعضی از این متغیرها یا برهم‌کنش آنها ناحیه‌ای نیستند.

بررسی روند نشان داد که از جنوب به شمال خشکیدگی با شیب خیلی کم افزایش یافت و روند شدید دیده نشد. در جهت شرق، شیب خط برازش یافته کمی بیشتر بود و از غرب به شرق روند کاهشی مشاهده شد که ممکن است دلیل آن افزایش تدریجی ارتفاع و تغییر وضعیت خاک باشد. با این‌که روند قوی و شدیدی مشاهده نشد، اما روش کریجینگ فراگیر با حذف روند، برای درون‌یابی داده‌ها استفاده شد که در مقایسه با کریجینگ معمولی دقت کمتری داشت.

در اعتبارسنجی نقشه‌های ایجادشده، درون‌یابی خشکیدگی با روش کریجینگ معمولی، دارای میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطای کمتری نسبت به روش‌های دیگر درون‌یابی بود که با نتایج Vieira و همکاران (۲۰۱۰)

که کریجینگ با مدل کروی را مناسب‌ترین مدل برای داده‌های خاک و گیاهان معرفی کردند، هم‌خوانی دارد. در این روش، ناهمسان‌گردی مشاهده شد که دلیل آن ممکن است ناهمگنی محدوده مورد مطالعه (ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، کاربری اراضی و غیره) یا عامل‌های زنده تأثیرگذار مانند آفت و بیماری یا تمام این عامل‌ها باشد. به دلیل وجود ناهمسان‌گردی، دو دامنه تأثیر بزرگ و کوچک وجود داشت. دامنه تأثیر بزرگ  $5500$  متر و دامنه تأثیر کوچک  $2300$  متر بود. دامنه تأثیر بزرگ در جهت شمال غرب- جنوب شرق قرار داشت که به‌ویژه تغییرات ارتفاع و مقدار شیب تدریجی بود و خشکیدگی نیز با روند ملایمی کم می‌شد و در فاصله بیشتری به ثبات می‌رسید. در نتیجه دامنه وابستگی مکانی بیشتر و واریانس همگن‌تر بود، اما در جهت جنوب غرب- شمال شرق دامنه تأثیر کوچک‌تر بود و حاکی از این بود که در این جهت، تغییرات عامل‌های تأثیرگذار و در نتیجه تغییرات خشکیدگی بیشتر بود و نمودار در فاصله کمتری به ثبات می‌رسید. دامنه وابستگی مکانی کوتاه‌تر و واریانس نسبت به جهت دیگر ناهمگن‌تر بود. براساس پژوهش Köhl و Gertner (۱۹۹۷) دامنه نشانه‌ای از مقیاس الگوی مکانی یا اندازه لکه‌های متغیر با توجه به اندازه گام‌ها است، بنابراین لکه‌های خشکیدگی در جهت دامنه بزرگ، بزرگ‌تر و در جهت دامنه کوچک، کوچک‌تر است. با توجه به این موضوع، می‌توان ابعاد شبکه آماربرداری را براساس تغییرات واریانس طراحی کرد و ابعاد شبکه را در جهت دامنه تأثیر بزرگ‌تر، بیشتر و در جهت دامنه کوچک‌تر، کمتر در نظر گرفت.

شکل ۳- ب که نقشه پیش‌بینی خشکیدگی در طبقه‌های تعریف‌شده را نشان می‌دهد، راهنمای بسیار خوبی برای مدیریت برش‌های بهداشتی و اصلاحی در جنگل است و



گسترش آن وجود دارد. با استفاده از این نقشه می‌توان اولویت انجام عملیات بهداشتی و اصلاحی و همچنین برنامه مبارزه با آفت و بیماری را تنظیم کرد.

با مقایسه میانگین خطای استاندارد و جذر میانگین مربعات خطا در جدول ۲ مشاهده می‌شود که مقادیر آنها به هم نزدیک بوده است، بنابراین می‌توان به طور صحیح، تغییرپذیری در پیش‌بینی را ارزیابی کرد. نقشه خطای استاندارد (شکل ۳-د)، عدم قطعیت در تمام سطوح پیش‌بینی خشکیدگی را مشخص کرده است و در واقع هر نقطه از جنگل که خشکیدگی برآورد شده است، خطای آن نیز برآورد شده است. در مناطقی که میزان خطا زیاد است می‌توان با برداشت قطعات نمونه اضافی میزان خطای برآورد را کاهش داد.

پژوهش پیش‌رو نشان داد که با استفاده از زمین‌آمار (کریجینگ) می‌توان تغییرات مکانی خشکیدگی درختان را در قالب نقشه ارایه کرد و کانون‌های خشکیدگی (آفت و بیماری) را شناسایی کرد و علاوه بر آن نقشه‌های خطای برآورد و احتمال را به منظور مدیریت خشکیدگی درختان و آفت و بیماری ترسیم کرد. نتایج این پژوهش با نتایج بررسی Köhl و Gertner (۱۹۹۷) که روش زمین‌آمار را مناسب تشریح توزیع مکانی خسارت جنگل دانستند، هم‌خوانی دارد. Negron و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهش خود به توانایی بالقوه زمین‌آمار برای رتبه‌بندی مرگ درختان در توده جنگلی پی بردند که نتایج این پژوهش با نتایج آنها مطابقت دارد. نتایج پژوهش پیش‌رو می‌تواند در مناطق مختلف زاگرس که دچار خشکیدگی شده‌اند، به کار رود و ارتباط خشکیدگی با عامل‌های مختلف بررسی شود. پیشنهاد می‌شود قطعه‌نمونه‌های دائمی در مناطق مختلف رویشگاه جنگلی زاگرس در نظر گرفته شود و هر سال با پایش وضعیت جنگل، ارتباط تغییرات جنگل با عامل‌های محیطی و زنده (آفات و بیماری‌ها) بررسی شود.

همان‌طور که Köhl و Gertner (۱۹۹۷) و Negron و همکاران (۲۰۰۱) اشاره کرده‌اند، در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل آسیب‌دیده و همچنین درک اکولوژی آفات و بیماری راهنمای بسیار خوبی است. در این نقشه، مناطق بحرانی (خشکیدگی زیاد) و وسعت آن مشخص شده است و اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی را به کارشناسان ارایه می‌دهد. این مناطق بحرانی که بیشترین خشکیدگی را دارند، کانون تجمع آفت و بیماری هستند و براساس پژوهش Turčáni و Hlásny (۲۰۰۷)، نقشه پراکنش ایجاد شده می‌تواند برای حفاظت جنگل و کنترل آفت و بیماری به کار رود. این نقشه، لایه اطلاعاتی مفیدی است که می‌توان با در دست داشتن آن در کنار لایه‌های اطلاعاتی دیگر، ارتباط بین خشکیدگی درختان و عامل‌های تأثیرگذار دیگر را بررسی کرد و طبق نظر Köhl و Gertner (۱۹۹۷) زمینه مناسبی را برای پژوهش‌های علت و معلولی بین خسارت وارده و عامل‌های تأثیرگذار و همچنین شناسایی کانون‌های آفت و بیماری به عنوان علل نهایی خشکیدگی، شرایط زیست و احتمال طغیان آنها در شرایط مشابه فراهم کرد. Biondi و همکاران (۱۹۹۴) در پژوهش خود بیان کردند که مشخص کردن مناطق همگن در اکوسیستم‌های جنگلی به انتخاب روش نمونه‌برداری مناسب و کاربرد ابزار جنگل‌شناسی کمک می‌کند. در نقشه طبقه‌بندی شده (شکل ۳-ب)، نیز مناطق همگن از نظر خشکیدگی مشخص شده است و در راستای نتیجه پژوهش مذکور، می‌توان از آن استفاده کرد.

همان‌طور که در شکل ۳-ج مشاهده می‌شود احتمال این‌که میزان خشکیدگی بیشتر از ۶۰ درصد باشد، در بیشتر سطح در محدوده کمتر از ۲۵ درصد بود و در سطح کوچکی از محدوده بین ۵۰ تا ۷۵ درصد واقع شده بود. در این نقشه با انتخاب حد بحرانی (۶۰ درصد خشکیدگی)، سطوح احتمال گذر از این حد مشخص شده است و امکان برنامه‌ریزی برای سطوح مختلف احتمال خشکیدگی، قبل از

## References

- Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Zenner, E.K. and Safavimanesh, F., 2012. Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research*, 131(5): 1355-1366.
- Anonymous, 2006. Sub-Manual on Forest Vegetation Monitoring in EANET. Network Center for EANET, Acid Deposition and Oxidant Research Center, Japan, 128p.
- Anonymous, 2015. Fars Meteorological Bureau Online Data. Available at: <http://www.farsmet.ir/Default.aspx>
- Babish, G., 2006. *Geostatistics without Tears: A Practical Guide to Surface Interpolation, Geostatistics, Variograms and Kriging*. Environment Canada, Gatineau, Quebec, 117p.
- Biondi, F., Myers, D.E. and Avery, C.C., 1994. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: 1354-1368.
- Fallah Shamsi, S.R., Erfanifard, S.Y., Negahban, M., Ahmadi, SH., Solaymani, H., Moeinodin, M. and Ranjbar, E., 2012. Detecting distribution pattern of Core-borer beetle in Persian oak forest (*Quercus brantii*), Case study: Dasht-e-Barm, Fars, Shiraz. *Proceedings of National Conference of Zagros Forests (Challenges, Opportunities and Threats)*. Shiraz, 24-25 May. 2012: 18-27 (In Persian).
- Grodzki, W., 2005. GIS, spatial ecology and research on forest protection: 7-14. In: Grodzki, W. (Ed.). *GIS and Databases in the Forest Protection in Central Europe*. Forest Research Institute, Warszawa, 93p.
- Hlásny, T., Vizi, L., Turčáni, M., Koren, M., Kulla, L. and Sitkova, Z., 2009. Geostatistical simulation of bark beetle infestation for forest protection purposes. *Journal of Forest Science*, 55(11): 518-525.
- Jafarnia, SH. and Akbarinia, M., 2014. Investigation of spatial distribution of soil and water properties by use of Geostatistical in Mangrove forest of Qeshm Island. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22: 673-686 (In Persian).
- Johnston, K., Sakala, M. and Wrightsell, J., 2001. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI Press, Place Redlands, Canada, 300p.
- Klobucar, D. and Pernar, R., 2012. Geostatistical approach to spatial analysis of forest damage. *Periodicum Biologorum*, 114(1): 103-110.
- Köhl, M. and Gertner, G., 1997. Geostatistics in evaluating forest damage surveys: considerations on methods for describing spatial distributions. *Forest Ecology and Management*, 95: 131-140.
- Legendre, P. and Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, London, 853p.
- Lorenz, M., Seidling, W., Mues, V., Becher, G. and Fischer, R., 2001. Forest condition in Europe results of the 2000 large-scale survey. Geneva: Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH). UN/ECE and EC, 103p.
- Negron, J.F., Anhold, J.A. and Munson, A.S., 2001. Within-stand spatial distribution of tree mortality caused by the Douglas fir beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*, 30(2): 215-224.
- Otto, L.F. and Schreiber, J., 2001. Spatial patterns of the distribution of trees infected by *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) in the National Park "Sächsische Schweiz" from 1996 to 2000. *Journal of Forest Science (Special Issue 2)*, 47: 139-142.
- Rezaie, E., Akhavan, R., Soosani, J. and Pourhashemi, M., 2014. Efficiency of Kriging for estimation and mapping of crown cover and density of Zagros oak forests (Case study: Dadabad region, Khorramabad). *Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources)*, 67(3): 359-370.
- Ristaino, J.B. and Gumpertz, M.L., 2000. New frontiers in the study of dispersal and spatial analysis of epidemics caused by species in the genus *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology*, 38: 541-576.
- Rossi, R.E., Mulla, D.J., Journel, A.G. and Franz, E.H., 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62: 277-314.
- Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future*. Springer, 152p.

- Taylor, S.L. and MacLean, D.A., 2007. Spatiotemporal patterns of mortality in declining balsam fir and spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 253: 188-201.
- Turčáni, M. and Hlásny, T., 2007. Spatial distribution of four spruce bark beetles in northwestern Slovakia. *Journal of Forest Science (Special Issue)*, 53: 45-52.
- Vieira, S.R., Pierre, L.H., Grego, C.R., Siqueira, G.M. and Dafonte, J.D., 2010. A Geostatistical analysis of Rubber tree growth characteristics and soil physical attributes: 255-264. In: Atkinson, P.M. and Lloyd, C.D. (Eds.). *GeoENV VII - Geostatistics for Environmental Applications*. Springer, Amsterdam, 419p.
- Webster, R. and Oliver, M.A., 2000. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Wiley Press, USA, 271p.

## Mapping Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) mortality using geostatistical methods in Dasht-e Barm, Fars province

Sh. Ahmadi<sup>1\*</sup>, Gh. Zahedi Amiri<sup>2</sup> and M.R. Marvie Mohadjer<sup>2</sup>

1\*- Corresponding author, Ph.D. Student Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran  
E-mail: shahmadi110@gmail.com

2- Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 27.09.2015

Accepted: 12.01.2016

### Abstract

This research was conducted to study the spatial distribution of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) mortality using geostatistical prediction and mapping approaches in Dasht-e Barm, Fars province. Field sampling was performed based on a 500m×500m systematic random grid and 1200 m<sup>2</sup> rectangular forest plots. Different geostatistical methods were used for plotting anisotropic empirical semivariogram and surface creation. Results of cross validation showed that ordinary kriging with spherical model achieved superior results. The models were used for wall-to-wall prediction maps with four classes, including <10%, 10-25%, 25-60% and >60% mortality. The 25-60% mortality class occupied the largest area (3827 ha), whereas the <10% class covered the smallest portion of the study area (260 ha). In addition, the probability of mortality was spatially mapped, in which the probability of > 60% tree mortality across the entire study site was shown to be less than 25%. This research concluded that Geostatistical kriging methods could be applied to predict and map missing tree mortality values in forest stands. Our analysis suggests that these methods can be used to generate prediction and probability maps in Zagros oak stands for overarching goals such as forest mortality, pest and disease managements.

**Keywords:** Geostatistic, mortality, oak, spatial variation, Zagros.