

## مدل‌سازی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز با استفاده از تحلیل لجستیک در جنگل پژوهشی خیرودکنار

علی‌اصغر واحدی\*<sup>۱</sup> و اصغر فلاح<sup>۲</sup>

۱- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (as.vahedi@areeo.ac.ir)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ساری، ایران. (fallaha2007@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

## چکیده

**مقدمه و هدف:** با توجه به اهمیت بوم‌شناختی خشک‌دارهای ریز در بوم‌سازگان‌های جنگلی، ضروری است که عوامل تأثیرگذار بر موجودی حجمی آنها با استفاده از الگوی مناسب تبیین شود. از طرفی در جنگل‌های هیرکانی که در گرادیان مختلف ارتفاعی آن انواع مختلفی از جوامع گیاهی به همراه تیپ‌های مختلف درختان دارای پراکنش گسترده‌ای هستند، انتظار می‌رود خشک‌دارهای ریز سهم قابل توجهی را داشته باشند. یکی از الگوهایی که برای مدیریت بهینه و کنترل انباشت آنها می‌تواند کارساز باشد مدل‌سازی‌های مبتنی بر تحلیل لجستیک است. هدف اصلی این پژوهش استفاده از تحلیل لجستیک رتبه‌ای برای تبیین اثرگذاری عوامل مزبور بر انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز در ارتباط با گرادیان ارتفاعی جنگل پژوهشی خیرودکنار است.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش در گرادیان ارتفاعی ۱۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا با استفاده از طرح قطعات نمونه خوشه‌ای انجام شد. تعداد سه قطعه‌نمونه دایره‌ای با شعاع ۷/۳۲ متر با زوایای آزمون صفر، ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه به شکل مثلث در قالب یک خوشه با فاصله ۳۶/۶ متر از یکدیگر پیاده شده و یک قطعه‌نمونه دیگر نیز با همان مساحت در مرکز این طراحی جانمایی شد. هر خوشه به صورت تصادفی با سه تکرار در مجموع به تعداد ۱۲ قطعه‌نمونه در یک گرادیان ارتفاع از سطح دریا با اختلاف ۱۵۰ متر پیاده شد. در مجموع به تعداد ۳۶ خوشه و ۱۴۴ قطعه‌نمونه در جنگل مورد پژوهش پیاده شد. سه طبقه قطری شامل ۲/۵-، ۱-، ۴/۵-، ۲/۵ و ۷/۵-۴/۵ سانتی‌متر برای خشک‌دارهای ریز در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری قطر خشک‌دارهای ریز یک ترانسکت خطی با آزمون ثابت ۱۵۰ درجه از مرکز هر قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل پیاده شده و طبقه قطری ۲/۵-۱ سانتی‌متر در فاصله ۶/۱-۴/۲۷ متر و دیگر طبقه‌های قطری در فاصله ۷/۳۲-۴/۲۷ متری برداشت شدند. بر روی هر ترانسکت قطر تمام خشک‌دارهای ریزی که محور مرکزی آنها منقطع با خط ترانسکت بود با کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد. علاوه بر آن نوع گونه و پوسیدگی یا عدم پوسیدگی خشک‌دارهای ریز همراه با جهت دامنه نیز ثبت شد. شایان ذکر است که در تمام گرادیان ارتفاعی

با توجه به تصادفی بودن پیاده‌سازی قطعات نمونه مزبور تغییرات طبقات مختلف شیب وجود نداشت و در کلیه موارد جمع‌آوری داده‌ها در طبقه شیب ۲۵ تا ۴۰ درصد انجام شد. بر مبنای آزمون اسپیرمن ضریب همبستگی اسپیرمن و مبتنی بر مقادیر آماره مربع کای و ابعاد جدول توافقی از ضریب همبستگی کرامر برای ارزیابی معنی‌داری شدت همبستگی بین متغیرها استفاده شد. در روند مدل‌سازی صرف‌نظر از روابط هم‌خطی بین متغیرهای عامل، تمام متغیرهای غیرهمبسته به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل مدنظر قرار گرفتند. متغیرهای اسمی و رتبه‌ای در قالب فاکتورهای با اثرات ثابت و متغیرهای کمی به‌عنوان متغیرهای جانبی در اجرای تحلیل لجستیک رتبه‌ای معرفی شدند. اعتبارسنجی هر مدل بر حسب متغیرهای مختلف با استفاده از شاخص برازش مدل (آماره لگاریتم درست‌نمایی و مربع کای) و ضرایب تبیین کاذب کاکس و نل، و نیجل کرک ارزیابی شد. برای بررسی معنی‌داری مدل و ضرایب محاسباتی آن از آزمون والد والد استفاده شد. برای نمایه‌سازی صحت‌سنجی مدل در رابطه با مقادیر برآوردی و مشاهدات از آزمون‌های پیرسون و انحراف استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد میانگین حجم خشک‌دارهای ریز در کلاسه‌های قطری اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۲/۱۴، ۶/۰۱ و ۱۶/۲۳ مترمکعب در هکتار بود. نتایج تحلیلی مدل‌سازی لجستیک نشان داد که گرادیان ارتفاعی بر مبنای آزمون لگاریتم درست‌نمایی ( $X^2 = ۰/۰۶$ ,  $P > ۰/۰۵$ ) و ضریب تبیین کاذب نیجل کرک ( $\text{Pseudo-R}^2 = ۰/۰۰۱$ ) دارای اثرات معنی‌دار بر تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز انواع طبقه‌های قطری نیست. با احتساب نتایج مربوط به ضرایب همبستگی اسپیرمن و کرامر نتایج حاکی از آن بود که گرادیان ارتفاعی با تیپ توده، جهت دامنه، گونه و پوسیدگی خشک‌دارهای ریز ارتباط معنی‌دار دارد. از طرفی، نتایج مبتنی بر ضریب همبستگی کرامر نشان داد که جهات دامنه با گونه‌های خشک‌دار و پوسیدگی آنها، توده درختان با درجه پوسیدگی و گونه خشک‌دارها و همچنین گونه‌های خشک‌دارها با درجه پوسیدگی آنها دارای ارتباط معنی‌داری نیست. با احتساب عدم هم‌خطی بین متغیرهای عامل نتایج نهایی مدل‌سازی نشان داد که فقط نوع گونه و پوسیدگی ریزچوب‌ها دارای اثرات معنی‌دار بر تغییرات انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه قطری اول است ( $X^2 = ۲۲/۶۱$ ,  $P < ۰/۰۵$ ;  $\text{Pseudo-R}^2 = ۰/۲۴$ ).

**نتیجه‌گیری کلی:** با توجه به معنی‌داری آماره والد گونه‌های ریزچوب به‌طور مستقیم با اثرات شبیه به هم و پوسیدگی آنها به‌طور وارونه بر متغیر پاسخ خشک‌دارهای طبقه اول قطری دارای اثرات معنی‌داری است. در صورتی که مقدار انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز در طبقات قطورتر تحت تأثیر عوامل معرفی شده نبود. از این‌رو، این احتمال وجود دارد که بسیاری از رخدادهای غیرمترقبه از جمله آشفته‌گی‌های طبیعی در مقیاس‌های مختلف و با شدت متفاوت به‌همراه ماهیت ذاتی جنگل‌شناسی از جمله مراحل تحولی می‌تواند مهم‌ترین عواملی باشد که در موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در طبقات قطورتر تأثیر داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** انباشت حجمی، خشک‌دارهای ریز، گرادیان ارتفاعی، مدل لجستیک رتبه‌ای

توده‌های آمیخته راش جنگل خیرودکنار در کل ۴/۴۲ درصد از کل انباشت خشک‌دارها (اعم از خشک‌دارهای قطور و ریز) گزارش داده و در این خصوص میانگین موجودی حجمی خشک‌دارهای مزبور را ۳/۱۵ مترمکعب در هکتار به دست آوردند.

با توجه به اهمیت بوم‌شناختی خشک‌دارهای ریز در رابطه با تأثیرگذاری مستقیم بر چرخه عناصر غذایی، مقدار موجودی کربن و زیستگاه‌های خرد برای قارچ‌ها، خزه‌ها، گل‌سنگ‌ها و ریزموجودات (میکروارگانسیم‌ها) در بوم‌سازگان‌های جنگلی، عدم احتساب آنها در روند آماربرداری‌ها و پروسه‌های مدیریتی مختلف نقیصه‌ای است که باید مدنظر قرار گیرد. یکی از مهمترین دلایلی که خشک‌دارهای ریز در روند مختلف اجرای آماربرداری قرار نمی‌گیرند، عدم وجود یک روش استاندارد برای برآورد متغیرهای کمی و کیفی آنهاست (Korboulesky et al., 2021). یکی از بهترین، آسان‌ترین و رایج‌ترین روش برای آماربرداری و نمونه‌برداری خشک‌دارهای ریز استفاده از روش تقاطع خط ترانسکت (Line-intersect method) است (Marshall et al., 2000; Woodall et al., 2013; Korboulesky et al., 2021). در این روش قطر هر خشک‌دار ریز مبتنی بر احتمال متناسب با اندازه هر نمونه (خشک‌دار ریز) منقطع با خط ترانسکت دارای طول ثابت، اندازه‌گیری شده و به تبع آن مشخصه‌های مورد هدف نیز بر اساس روابط طراحی شده محاسبه می‌شود (Korboulesky et al., 2021). از آنجایی که در بسیاری از موارد، گستره پراکندگی خشک‌دارهای ریز در کف بوم‌سازگان‌های جنگلی بسیار وسیع است، ضروری است که عوامل تأثیرگذار بر موجودی حجمی آنها برای مدیریت بهینه و کنترل انباشت آنها تبیین شود. در واقع بر اساس تأثیرپذیری انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز مبتنی بر تغییرات عوامل مؤثر می‌توان

خشک‌دارهای ریز (FWD: Fine woody debris) اجزاء کوچک شاخه‌های اصلی و ریز شاخه‌های درختان در لابه‌لای لاشبرگ‌ها و پوشش علفی و بخش‌های کوچکی از چوب‌های افتاده درختان و درختچه‌ها بوده که در کف جنگل‌ها قابل مشاهده است (Korboulesky et al., 2021). در خصوص تفکیک خشک‌دارهای ریز نسبت به خشک‌دارهای قطور (CWD: Coarse woody debris) معیار استاندارد بین‌المللی و تعریف شده‌ای وجود ندارد. باین‌حال در بیشتر حیطه‌های پژوهشی و مدیریتی در زیست‌بوم‌های مختلف، چوب‌های افتاده تا قطر ۱۰-۷ سانتی‌متر جزء خشک‌دارهای کوچک محسوب می‌شود (Rondeux et al., 2012; Korboulesky et al., 2021). آنچه که قابل انتظار است سهم قابل توجه موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در جنگل‌های طبیعی است. طی گزارشی از آماربرداری‌های سالیانه جنگل‌های فرانسه نشان داده شد که خشک‌دارهای ریز به‌طور قابل توجهی بیش از ۴۰ درصد از موجودی حجمی کل خشک‌دارها (شامل خشک‌دارهای قطور) را به خود اختصاص می‌دهد (Teissier et al., 2009). به‌همین ترتیب در جنگل‌های هیرکانی که در گرادیان مختلف ارتفاعی آن انواع مختلفی از جوامع گیاهی به همراه تپ‌های مختلف درختان دارای پراکنش گسترده‌ای هستند، انتظار می‌رود خشک‌دارهای ریز سهم قابل توجهی را داشته باشد. در این راستا (Sefidi et al., 2014) در توده‌های آمیخته راش جنگل خیرودکنار برای خشک‌دارهای ریز گونه راش و ممرز با قطر کمتر از ۱۰ سانتی‌متر میانگین مقادیر موجودی حجمی را به ترتیب ۷/۱۷ و ۱/۷۷ مترمکعب در هکتار گزارش دادند. Moridi et al. (2016) نیز سهم انباشت خشک‌دارهای ریز را در

پژوهش ارزیابی تغییرات انباشت حجمی خشک‌داریهای ریز بر مبنای گرادیان ارتفاعی جنگل پژوهشی خیرودکنار نوشهر انجام شد. از این رو هدف اصلی این پژوهش استفاده از تحلیل لجستیک رتبه‌ای برای تبیین اثرگذاری عوامل مزبور بر انباشت حجمی خشک‌داریهای ریز در ارتباط با گرادیان ارتفاعی جنگل پژوهشی خیرودکنار است.

## مواد و روش‌ها

### عرصه پژوهش

این پژوهش در جنگل پژوهشی خیرودکنار نوشهر در استان مازندران انجام شد. جنگل خیرودکنار واقع در حوزه آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال در هفت کیلومتری شرق نوشهر بین  $27^{\circ} 36'$  تا  $40' 36^{\circ}$  عرض شمالی و  $32' 51^{\circ}$  تا  $43' 51^{\circ}$  طول شرقی واقع شده است. در جنگل مزبور از ارتفاع ۱۰۰ متر تا ۱۸۵۰ متر از سطح دریای آزاد پیاده‌سازی قطعات نمونه در بخش‌های پاتم، نمخانه و گرازین اجرا شد. عمده توده‌های مورد پژوهش در راستای مختلف گرادیان ارتفاع از سطح دریا تیپ‌های انجیلی - ممرز، ممرز آمیخته، ممرز خالص، افرایلت - توسکای قشلاقی، راش آمیخته و راش خالص بود. مساحت کل جنگل حدود ۸۰۰۰ هکتار است که رودخانه خیرودکنار زهکش اصلی این حوزه به حساب می‌آید. بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی نوشهر، بارندگی سالانه در منطقه خیرودکنار به طور میانگین ۱۳۰۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه نیز ۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد است (Sefidi and Marvie, 2010; Mohadjer, 2010).

### جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش اجرای عملیات میدانی بر مبنای پروتکل آماربرداری جنگل‌های ایالات متحده موسوم به برنامه تحلیل‌ها و آماربرداری‌های جنگل (FIA: Forest

الگوی مناسبی را در خصوص نحوه پراکندگی آن در جنگل‌های هیرکانی در اختیار دستگاه‌های اجرایی قرار داد. یکی از الگوهایی که در این زمینه می‌تواند کارساز باشد مدل‌سازی‌های مبتنی بر تحلیل لجستیک است.

یکی از مهمترین برتری تحلیل‌های لجستیک نسبت به دیگر تحلیل‌های رگرسیون این است که علاوه بر مدنظر قرار دادن روابط خطی بین متغیرهای مستقل و پاسخ برای حل مشکلات طبقه‌بندی متغیرهای مذکور به کار می‌رود (Masrouri et al., 2015; Poorbabaei et al., 2022). در حقیقت مدل‌سازی‌های لجستیک جزء تحلیل‌های پارامتریک محسوب شده و روابط پیچیده بین متغیرهای مستقل و پاسخ از اعتبار محاسباتی آن نمی‌کاهد. باید اذعان نمود که استفاده از تحلیل‌های سنتی رگرسیون مانند استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر تخمین منحنی (Curve estimation) و تحلیل‌های لجستیک بر خلاف تحلیل‌های پیشرفته همانند یادگیری ماشین ضرورتی بر حجم نمونه زیاد نداشته و بر مبنای متغیرهای ورودی محدود، نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد. از این رو در خصوص تفصیل ارتباط متغیرهای هدف و عوامل توصیفی که باقی‌مانده‌های برازش آنها از منحنی نرمال پیروی نکرده و بر مبنای سیستم دودویی یا ترتیبی قابلیت رتبه‌بندی دارند، می‌توان از تحلیل‌های لجستیک استفاده کرد.

عوامل پیچیده بوم‌شناختی و جنگل‌شناسی می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر تغییرات انباشت حجمی خشک‌داریهای ریز داشته باشد. بر مبنای تغییرات ارتفاع از سطح دریا و روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مرتبط با آن توزیع گونه‌های درختان به خصوص گونه‌های اقلیمی، تیپ توده‌ها و روند پوسیدگی خشک‌داریها تحت تأثیر قرار گرفته و همین امر به نوبه خود می‌تواند در پراکندگی انباشت حجمی خشک‌داریهای ریز در جنگل‌های هیرکانی عامل اصلی محسوب شود. بدین منوال در این

ارزیابی خشک‌دارهای ریز مبتنی بر خط ترانسکت، طول کلیه خشک‌دارهای مذکور در عرصه اندازه‌گیری نشد (Van Wagner, 1998; Zobeiri, 2003; Woodall et al., 2013; Delcourt and Veraverbeke, 2022). شایان ذکر است که در تمام گرادیان ارتفاعی با توجه به تصادفی بودن پیاده‌سازی قطعات نمونه مزبور تغییرات طبقات مختلف شیب وجود نداشت و در تمام موارد جمع‌آوری داده‌ها در طبقه شیب ۲۵ تا ۴۰ درصد انجام شد.

#### تحلیل داده‌ها

##### محاسبه حجم خشک‌دارهای ریز

با توجه به طراحی قطعات نمونه و آماربرداری وابسته به خط‌نمونه از رابطه زیر برای محاسبه مقادیر حجم خشک‌دارهای ریز استفاده شد (Woodall and Williams, 2005).

$$V = (kfac) \times \left(\frac{\pi^2}{8 \times L}\right) \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱، پارامتر  $V$  به‌عنوان مقدار حجم بر حسب مترمکعب در واحد سطح،  $K$  و  $f$  ضرایب ثابت برای تبدیل واحد متریک حجم و تبدیل واحد سطح در هکتار ( $f \approx 10000$ )،  $a$  ضریب تصحیح زاویه خشک‌دارهای ریز با امتداد غیرافقی،  $C$  فاکتور تصحیح شیب ترانسکت،  $L$  طول خط ترانسکت برای اندازه‌گیری خشک‌دارهای ریز در طبقه‌های مختلف قطری و  $d_i$  قطر منقطع خشک‌دار ریز با خط ترانسکت در هر طبقه قطری است. برای ضریب ثابت  $K$  مقدار عددی  $1/234$  در نظر گرفته شد (Woodall and Williams, 2005). با توجه به این‌که خشک‌دارهای ریز کف جنگل در برخی موارد نسبت به راستای طولی دارای زوایای متعددی است، از این‌رو ضریب تصحیح زاویه چوب‌های منقطع با خط ترانسکت از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

(Inventory and Analyses) انجام شد. مطابق با این روش، تعداد سه قطعه‌نمونه دایره‌ای با شعاع  $7/32$  متر با زوایای آزیموت ۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه به شکل مثلث در قالب یک خوشه با فاصله  $36/6$  متر از یکدیگر پیاده شده و یک قطعه‌نمونه دیگر نیز با همان مساحت در مرکز این طراحی جانمایی شد (Woodall and Williams, 2005; Harmon et al., 2007; Woodall et al., 2013). هر خوشه به‌صورت تصادفی با سه تکرار در مجموع به تعداد ۱۲ قطعه‌نمونه در یک گرادیان ارتفاع از سطح دریا پیاده شد. در این پژوهش پیاده‌سازی قطعات نمونه به‌طور تصادفی از دامنه ۱۰۰ تا ۱۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا با اختلاف ۱۵۰ متر انجام شد. در مجموع به تعداد ۳۶ خوشه و ۱۴۴ قطعه‌نمونه در جنگل مورد پژوهش پیاده شد. سه طبقه قطری شامل ۲/۵-۱، ۴/۵-۲/۵ و ۷/۵-۴/۵ سانتی‌متر برای خشک‌دارهای ریز در نظر گرفته شد (Woodall and Williams, 2005; Harmon et al., 2007; Woodall and Liknes, 2008). طبقه قطری کمتر از یک سانتی‌متر ( $d_i < 1$ ) به عنوان اجزاء لاشبرگی و بیشتر از  $7/5$  سانتی‌متر ( $d_i < 7/5$ ) جزء خشک‌دارهای قطور (CWD) محسوب می‌شود (Harmon et al., 2007). برای اندازه‌گیری قطر خشک‌دارهای ریز یک ترانسکت خطی با آزیموت ثابت ۱۵۰ درجه از مرکز هر قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل پیاده شده و طبقه قطری  $2/5-1$  سانتی‌متر در فاصله  $6/1-4/27$  متر و دیگر طبقه‌های قطری در فاصله  $7/32-4/27$  متری برداشت شدند (Woodall and Liknes, 2008; Woodall et al., 2013). بر روی هر ترانسکت قطر کلیه خشک‌دارهای ریزی که محور مرکزی آنها منقطع با خط ترانسکت بود با کولیس اندازه‌گیری و ثبت شد. علاوه بر آن نوع گونه و پوسیدگی یا عدم پوسیدگی خشک‌دارهای ریز همراه با جهت دامنه نیز ثبت شد. با استناد به ماهیت روش

$$a = \frac{1}{\cos(h)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه بالا،  $a$  ضریب تصحیح زاویه و  $h$  زاویه خشک‌دار نسبت به طول افقی محسوب می‌شود. عامل تصحیح شیب (C) نیز از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

$$C = \sqrt{1 + (\%slope/100)^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

#### تحلیل‌های لجستیک رتبه‌ای

پیش از اجرای روند مدل‌سازی مقادیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز، هم‌خطی بین متغیرهای ورودی بر مبنای آزمون‌های همبستگی مستقل ارزیابی شد. با توجه به ماهیت توزیع متغیرهای ورودی از آزمون همبستگی اسپیرمن و آزمون مربع کای برای تبیین همبستگی بین متغیرها استفاده شد. بر مبنای آزمون اسپیرمن ضریب همبستگی اسپیرمن و مبتنی بر مقادیر آماره مربع کای و ابعاد جدول توافقی از ضریب همبستگی کرامر (Cramer's V) برای ارزیابی معنی‌داری شدت همبستگی بین متغیرها استفاده شد. در روند مدل‌سازی صرف‌نظر از روابط هم‌خطی بین متغیرهای عامل، تمام متغیرهای غیرهمبسته به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل مدنظر قرار گرفتند. متغیرهای اسمی و رتبه‌ای در قالب فاکتورهای با اثرات ثابت و متغیرهای کمی به‌عنوان متغیرهای جانبی (Covariate) در اجرای تحلیل لجستیک رتبه‌ای معرفی شدند (Fagerland et al., 2017; Lelisho et al., 2022). برای اجرای تحلیل لجستیک رتبه‌ای مشاهدات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز بر مبنای فراوانی به‌ترتیب در طبقه اول قطری ۱/۵ - ۰/۸، ۳ - ۱/۵ و ۵ - ۳ مترمکعب در هکتار؛ در طبقه دوم قطری به سه طبقه ۴/۵ - ۳، ۶ - ۴/۵ و ۸ - ۶ مترمکعب در هکتار و در طبقه سوم قطری

به سه طبقه ۱۴ - ۱۰، ۱۸ - ۱۴ و ۱۸ > مترمکعب در هکتار تفکیک شدند. پس از انجام تحلیل مزبور، اعتبارسنجی هر مدل حسب متغیرهای مختلف با استفاده از شاخص برازش مدل (آماره لگاریتم درست‌نمایی و مربع کای) و ضرایب تبیین کاذب کاکس و نل (Cox & Snell) و نیجل‌کرک (Nagelkerke) ارزیابی شد (Agresti, 2010). برای بررسی معنی‌داری مدل و ضرایب محاسباتی آن از آزمون والد استفاده شد (Shadmani et al., 2020). برای نمایه‌سازی صحت‌سنجی مدل در رابطه با مقادیر برآوردی و مشاهدات از آزمون‌های پیرسون و انحراف استفاده شد (Fagerland et al., 2017).

#### نتایج

جدول ۱ آماره‌های مختلف مقادیر موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در طبقه‌های مختلف قطری را در جنگل خیرودکنار نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد میانگین حجم خشک‌دارهای ریز در طبقه اول، دوم و سوم قطری به‌ترتیب ۲/۱۴، ۶/۰۱ و ۱۶/۲۳ مترمکعب در هکتار است (جدول ۱). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ضریب تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در طبقه قطری سوم نسبت به دیگر طبقه‌های قطری کمتر است (جدول ۱).

نتایج آزمون همبستگی مربع کای (مبتنی بر ابعاد جدول توافقی و در آخر براساس ضریب همبستگی کرامر) بین تمام متغیرهای منتخب برای ورود به مدل لجستیک ترتیبی در جدول ذیل نشان داده می‌شود (جدول ۲).

جدول ۱- مشخصه‌های موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه‌های مختلف قطری در جنگل خیرودکنار

Table 1. Fine Woody Debris Volume stock attributes for different diameter classes in Kheiroudkenar forest

طبقه سوم Third Class	طبقه دوم Second Class	طبقه اول First Class	
10.11	3.12	0.83	کمینه مقدار حجم (مترمکعب در هکتار) Min. Volume (m <sup>3</sup> /ha)
35.73	22.27	4.81	بیشینه مقدار حجم (مترمکعب در هکتار) Max. Volume (m <sup>3</sup> /ha)
16.23	6.01	2.14	میانگین حجم (مترمکعب در هکتار) Mean Volume (m <sup>3</sup> /ha)
1.14	0.41	0.11	اشتباه معیار (مترمکعب در هکتار) Std. Error (m <sup>3</sup> /ha)
38	55	53	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
7.02	6.83	5.14	دقت برآورد (درصد) E (%)

جدول ۲- نتایج جدول توافقی حاصل از آزمون مربع کای در رابطه با همبستگی بین متغیرهای ورودی تمام مدل‌های تخمینی

Table 2. The results of Contingency Table obtained from the chi-square test in relation to the correlations of the input variables of all estimated models

نسبت احتمال Likelihood ratio	آماره مربع کای Chi-square	
312.22**	618.24**	ارتفاع از سطح دریا × جهت Altitude × Aspect
334.21**	582.66**	ارتفاع از سطح دریا × توده Altitude × Stand
181.49 <sup>ns</sup>	299.11**	ارتفاع از سطح دریا × گونه Altitude × Species
192.82**	221.93**	جهت × توده Aspect × stand
57.98 <sup>ns</sup>	60.94 <sup>ns</sup>	جهت × گونه Aspect × species
8.41 <sup>ns</sup>	6.32 <sup>ns</sup>	جهت × پوسیدگی Aspect × decay
116.86**	139.56**	توده درختان × گونه Stand × species
15.64*	13.26 <sup>ns</sup>	توده × پوسیدگی Stand × decay
17.11*	16.05 <sup>ns</sup>	گونه × پوسیدگی Species × decay

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , ns:  $P > 0.05$

کرامر بر مبنای ماهیت داده‌ها به صورت مطلق نشان می‌شود (جدول ۳). مطابق جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد که جهت دامنه با گونه‌های خشک‌دار و پوسیدگی آنها، توده درختان با درجه پوسیدگی و گونه خشک‌دارها و همچنین گونه‌های خشک‌دارها با درجه پوسیدگی آنها دارای ارتباط معنی‌داری نیست ( $P>0.05$ ).

در جدول ۳ معنی‌داری و عدم معنی‌داری ضرایب عددی مطلق کرامر بین متغیرهای ورودی مدل لجستیک نشان داده می‌شود. ضریب عددی پیرنگ در جدول ۳ بیانگر معنی‌داری ضریب همبستگی اسپیرمن بین گرادیان ارتفاع از سطح دریا و درجه پوسیدگی خشک‌دارهای ریز جنگل مورد پژوهش است ( $P<0.01$ ). در دیگر موارد شدت ضریب همبستگی

جدول ۳- مقادیر ضرایب همبستگی کرامر و اسپیرمن بین متغیرهای ورودی تمام مدل‌های تخمینی

Table 3. Cramer's V and Spearman correlation coefficients between the input variables of all estimated models

درجه پوسیدگی Decay	گونه درختان Species	توده درختان Stand	جهت Aspect	ارتفاع از سطح دریا Altitude	
-0.31**	0.61**	0.95**	0.98**	-	ارتفاع از سطح دریا Altitude
0.26 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.58**	-	تکراری Repetitive	جهت Aspect
0.38 <sup>ns</sup>	0.46**	-	تکراری Repetitive	تکراری Repetitive	توده درختان Stand
0.42 <sup>ns</sup>	-	تکراری Repetitive	تکراری Repetitive	تکراری Repetitive	گونه درختان Species
-	تکراری Repetitive	تکراری Repetitive	تکراری Repetitive	تکراری Repetitive	درجه پوسیدگی Decay

\*\* $P<0.01$ , ns:  $P>0.05$ .


خشک‌دار ریز طبقه اول قطری بین ۱/۵ تا ۰/۸ مترمکعب در هکتار، پارامتر تخمینی حد آستانه در دامنه بین ۱۷/۸ و ۱۹/۸ مربوط به موجودی حجمی خشک‌دار ریز طبقه اول قطری بین ۳-۱/۵ مترمکعب در هکتار و پارامتر تخمینی حد آستانه بیش از ۱۹/۸ مربوط به موجودی حجمی خشک‌دار ریز طبقه اول قطری بین ۳-۵ متر مکعب در هکتار است. به همین ترتیب ضریب رگرسیون گونه‌های مختلف خشک‌دار در دامنه عددی تقریباً مشابه هم بوده و آماره والد برای همه آنها معنی‌دار است (جدول ۵). مبتنی بر آماره والد، نتایج نشان داد که بین ضریب عددی رگرسیون متغیر عامل پوسیدگی و موجودی حجمی به صورت معنی‌داری رابطه معکوس وجود دارد (جدول ۵).

در جدول ۴ معیارهای اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل لجستیک رتبه‌ای در رابطه با برآورد تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه اول قطری نشان داده می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از متغیرهای ورودی غیرهمبسته نشان داد که نکویی برآزش بر مبنای آزمون پیرسون و انحراف وجود دارد (جدول ۴). بر مبنای آزمون لگاریتم درست‌نمایی و معنی‌داری آماره مربع کای در رابطه با مدل‌سازی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز ( $P<0.05$ ) نتایج نشان داد که گونه و پوسیدگی خشک‌دارهای ریز دارای اثرات معنی‌داری بر تغییرات متغیر پاسخ است. با احتساب جدول ۵ پارامتر تخمینی حد آستانه در دامنه کمتر از ۱۷/۸ مربوط به موجودی حجمی



جدول ۴- شاخص‌های اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های تخمینی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه اول قطری

Table 4. Validation and accuracy indices of the estimation models for the first diameter class fine woody debris volume stock

آزمون نکویی برازش Test of goodness of fit		ضریب تبیین کاذب Pseudo R-square		شاخص برازش مدل Model fitting information		متغیرهای ورودی Inputs	شماره مدل No. Model
انحراف Devience	پیرسون Pearson	نیگل کرک Nagelkerke	کاکس و نل Cox & Snell	مربع کای $\chi^2$	لگاریتم درست نمایی -2 log-likelihood		
مربع کای $\chi^2$	مربع کای $\chi^2$						
55.57 <sup>ns</sup>	47.38 <sup>ns</sup>	0.001	0.002	0.06 <sup>ns</sup>	106.14	جهت، گونه،	
67.43 <sup>ns</sup>	71.42 <sup>ns</sup>	0.26	0.23	24.51 <sup>ns</sup>	105.38	پوسیدگی Aspect, species, decay	2
21.47 <sup>ns</sup>	18.34 <sup>ns</sup>	0.21	0.18	18.87 <sup>ns</sup>	60.13	توده، پوسیدگی Stand, decay	3
17.53 <sup>ns</sup>	15.11 <sup>ns</sup>	0.24	0.21	<b>22.61*</b>	49.27	گونه، پوسیدگی Species, decay	4 

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , ns:  $P > 0.05$

جدول ۵- پارامترهای محاسباتی مدل بهینه (مدل ۴) موجودی حجمی خشک‌دار ریز طبقه اول قطری در جنگل خیرودکنار

Table 5. The calculation parameters of the optimum model (model 4) for the first diameter class fine woody debris volume stock in Kheiroudkenar forest

Sig.	آماره والد Wald	اشتباه معیار Std. Error	پارامتر تخمین Estimate		
0.000	123.92	1.61	17.83	حد آستانه	موجودی حجمی
0.000	160.66	1.54	19.81	Threshold	Volume stock
0.000	151.72	1.57	19.39	ممرز Hornbeam	گونه‌های خشک‌دارهای ریز Fine woody debris species
0.000	117.51	1.77	19.19	انجیلی Ironwood	
0.000	170.48	1.56	20.43	راش Beech	
0.000	140.88	1.68	20.07	توسکا Alder	
0.000	123.73	1.76	19.58	پلت Maple	
0.000	75.17	2.41	20.92	نمدار Linden	
0.000	107.03	2.02	20.93	شمشاد Box	

ادامه جدول ۵.

Continued table 5.

Sig.	آماره والد Wald	اشتباه معیار Std. Error	پارامتر تخمین Estimate		
0.000	107.03	2.02	20.93	شمشاد Box	
0.000	94.28	1.97	19.14	شیردار Cappadocian maple	گونه‌های خشک‌دارهای ریز
-	-	0.000	21.36	بلندمازو Oak	Fine woody debris species
-	-	-	0 <sup>a</sup>	ولیک Hawthorn	
0.000	14.02	0.55	-2.09	سالم Healty	درجه پوسیدگی
-	-	-	0 <sup>a</sup>	پوسیده Decayed	Decay degree

لجستیک رتبه‌ای بر اساس تمام متغیرهای ورودی غیرهمبسته، نتایج نشان داد که مربع کای معنی‌دار نبوده و بدین ترتیب متغیرهای عامل معرفی شده دارای تأثیرهای معنی‌داری بر تغییرات موجودی حجمی خشک‌دار طبقه دوم قطری در جنگل مورد پژوهش نیست (جدول ۶).

در جدول ۶ معیارهای اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل لجستیک رتبه‌ای در رابطه با برآورد تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه دوم قطری نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از متغیرهای ورودی غیرهمبسته بر مبنای آزمون پیرسون و انحراف نشان داد که نکویی‌برازش وجود دارد. بر مبنای معیارهای اعتبارسنجی برازش تابع

جدول ۶- شاخص‌های اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های تخمینی موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه دوم قطری  
Table 6. Validation and accuracy indices of the estimation models for the second diameter class fine woody debris volume stock

آزمون نکویی‌برازش Test of goodness of fit		ضریب تبیین کاذب Pseudo R-square		شاخص برازش مدل Model fitting information			
انحراف Devience	پیرسون Pearson						
مربع کای $X^2$	مربع کای $X^2$	نیگل کرک Nagelkerke	کاکس و نل Cox & Snell	مربع کای $X^2$	لگاریتم درست‌نمایی -2 log-likelihood	متغیرهای ورودی Inputs	شماره مدل Model No.
89.45 <sup>ns</sup>	83.12 <sup>ns</sup>	0.01	0.01	0.68 <sup>ns</sup>	124.15	ارتفاع از سطح دریا Altitude	5

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , ns:  $P > 0.05$

ادامه جدول ۶.

Continued table 6.

آزمون نکویی برازش Test of goodness of fit		ضریب تبیین کاذب Pseudo R-square		شاخص برازش مدل Model fitting information			
انحراف Devience	پیرسون Pearson						
مربع کای $X^2$	مربع کای $X^2$	نیجل کرک Nagelkerke	کاکس و نل Cox & Snell	مربع کای $X^2$	لگاریتم درست نمایی -2 log-likelihood	متغیرهای ورودی Inputs	شماره مدل Model No.
70.13 <sup>ns</sup>	69.83 <sup>ns</sup>	0.27	0.25	18.83 <sup>ns</sup>	102.77	جهت، گونه، پوسیدگی Aspect, species, decay	6
28.36 <sup>ns</sup>	25.25 <sup>ns</sup>	0.24	0.22	16.57 <sup>ns</sup>	63.97	توده، پوسیدگی Stand, decay	7
29.66 <sup>ns</sup>	27.21 <sup>ns</sup>	0.16	0.15	11.04 <sup>ns</sup>	60.03	گونه، پوسیدگی Species, decay	8

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , ns:  $P > 0.05$

بدین ترتیب متغیرهای عامل معرفی شده دارای تأثیرهای معنی‌داری بر تغییرات موجودی حجمی خشک‌دار طبقه سوم قطری در جنگل مورد پژوهش نیست.

مطابق جدول ۷ نتایج اعتبارسنجی برازش تابع لجستیک رتبه‌ای موجودی حجمی خشک‌دانه‌های ریز طبقه سوم قطری نیز بر اساس تمام متغیرهای ورودی غیرهمبسته نشان داد که مربع کای معنی‌دار نبوده و

جدول ۷- شاخص‌های اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های تخمینی موجودی حجمی خشک‌دانه‌های ریز طبقه سوم قطری  
Table 7. Validation and accuracy indices of the estimation models for the third diameter class fine woody debris volume stock

آزمون نکویی برازش Test of goodness of fit		ضریب تبیین کاذب Pseudo R-square		شاخص برازش مدل Model fitting information			
انحراف Devience	پیرسون Pearson						
مربع کای $X^2$	مربع کای $X^2$	نیجل کرک Nagelkerke	کاکس و نل Cox & Snell	مربع کای $X^2$	لگاریتم درست نمایی -2 log-likelihood	متغیرهای ورودی Inputs	شماره مدل No. Model
41.89 <sup>ns</sup>	39.04 <sup>ns</sup>	0.006	0.001	0.001 <sup>ns</sup>	50.44	ارتفاع از سطح دریا Altitude	9

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , ns:  $P > 0.05$

ادامه جدول ۷.

Continued table 7.

آزمون نکویی برازش		ضریب تبیین کاذب		شاخص برازش مدل			شماره
Test of goodness of fit		Pseudo R-square		Model fitting information			مدل
انحراف	پیرسون			مربع کای	لگاریتم درست	متغیرهای	
Deviance	Pearson			$X^2$	نمایی	ورودی	No.
		نیجل کرک	کاکس و نل		-2 log-likelihood	Inputs	Model
مربع کای	مربع کای	Nagelkerke	Cox & Snell				
$X^2$	$X^2$						
30.05 <sup>ns</sup>	30.93 <sup>ns</sup>	0.45	0.39	14.61 <sup>ns</sup>	36.41	جهت، گونه، پوسیدگی	10
26.43 <sup>ns</sup>	27.42 <sup>ns</sup>	0.41	0.35	12.54 <sup>ns</sup>	34.68	توده، پوسیدگی	11
9.91 <sup>ns</sup>	8.73 <sup>ns</sup>	0.28	0.25	8.31 <sup>ns</sup>	21.81	گونه، پوسیدگی	12
						Species, decay	

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , ns:  $P > 0.05$ 

بهرکانی معنی دار بوده این است که جوامع گیاهی و به تبع آن ترکیب گونه‌ای تیپ‌های مختلف درختان در گرادیان ارتفاعی مختلف دارای تفاوت‌های معنی‌داری است. از طرفی تغییرات پارامترهای اقلیمی به خصوص گرادیان دمایی نیز در راستای تغییرات ارتفاع از سطح دریا در جنگل‌های بهیرکانی کاملاً مشهود است (Marvi Mohadjer, 2005). از این رو، انتظار می‌رود مقدار رطوبت و درجه حرارت در ارتفاعات مختلف دارای تفاوت زیادی بوده که منجر به تغییرات معنی‌داری در روند پوسیدگی خشک‌دارهای کف جنگل می‌شود. در این خصوص (Bardelli et al. 2017) و (Gómez-Brandón et al. 2017) در پژوهش‌های خود نشان دادند که تغییرات درجه حرارت به‌انضمام مقدار رطوبت کافی موجب افزایش فعالیت ریزموجودات و فعالیت تنفس میکروبی شده و همین امر منجر به افزایش نرخ

بهرکانی معنی دار بوده این است که جوامع گیاهی و به تبع آن ترکیب گونه‌ای تیپ‌های مختلف درختان در گرادیان ارتفاعی مختلف دارای تفاوت‌های معنی‌داری است. از طرفی تغییرات پارامترهای اقلیمی به خصوص گرادیان دمایی نیز در راستای تغییرات ارتفاع از سطح دریا در جنگل‌های کف جنگل می‌شود. در این خصوص (Bardelli et al. 2017) و (Gómez-Brandón et al. 2017) در پژوهش‌های خود نشان دادند که تغییرات درجه حرارت به‌انضمام مقدار رطوبت کافی موجب افزایش فعالیت ریزموجودات و فعالیت تنفس میکروبی شده و همین امر منجر به افزایش نرخ

بودند در مدل لجستیک با ترکیب‌های مختلف وارد شدند (Bihamta and Zare Chahouki, 2010). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و به‌شرط معنی‌داری آماره مربع کای حاصل از آزمون لگاریتم درست‌نمایی فقط نوع گونه‌ای خشک‌دارها و درجه پوسیدگی (سالم یا پوسیده) بر احتمال تغییرات انباشت حجمی خشک‌دارهای ریز طبقه اول قطری دارای اثر معنی‌داری بود. این بدین معناست که دیگر متغیرهای توصیفی معرفی‌شده چه به‌صورت تک‌عامله یا چندعامله دارای اثرات معنی‌داری بر احتمال تغییرات موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز بستر جنگل در انواع طبقه‌های مختلف قطری نیست. در واقع برونداد اصلی این پژوهش نشان داد که پراکندگی حجمی خشک‌دارهای ریز در طبقه‌های قطری مختلف نه‌تنها به عوامل فیزیوگرافی زمین مانند گرادیان ارتفاعی و جهت دامنه وابسته نیست بلکه تغییرات تیپ توده‌های درختان، نوع گونه‌ای خشک‌دارها و سلامت یا پوسیدگی آنها نیز تأثیر معنی‌داری بر انباشت حجمی آنها ندارد. البته آنچه که بدیهی است فراوانی زیاد خشک‌دارهای ریز طبقه اول قطری نسبت به دیگر طبقه‌های قطری در بوم‌سازگان‌های جنگلی است (Woodall et al., 2013). در این پژوهش نیز بر مبنای داده‌های دریافتی، فراوانی خشک‌دارهای ریز طبقه اول قطری نسبت به دیگر طبقه‌های قطری بیشتر بود. بنابراین می‌توان عنوان کرد که اگرچه میانگین موجودی حجمی خشک‌دارهای طبقه قطری مزبور نسبت به موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز در طبقه‌های قطری دوم و سوم کمتر بود ولی مجموع موجودی حجمی خشک‌دارهای ریز می‌تواند کمینه مقدار عددی برابر یا نزدیک به تقریب با طبقه‌های قطری بیشتر را داشته باشد. در حقیقت بر اساس فراوانی زیادتر خشک‌دارهای ریز در طبقه قطری اول اثرات گونه‌ای و پوسیدگی بر انباشت حجمی آنها در جنگل

پوسیدگی خشک‌دارها می‌شود. بر مبنای این تفسیر انتظار می‌رود که گرادیان ارتفاعی در ارتباط مستقیم با خشکیدگی انواع خشک‌دارهای کف جنگل شامل خشک‌دارهای ریز و قطور باشد. برونداد آزمون‌های همبستگی در این پژوهش بر مبنای ضرایب همبستگی ناپارامتریک نیز این موضوع را تأیید می‌نماید. در واقع نتایج نشان داد که گرادیان ارتفاعی همبستگی معنی‌دار و وارونه با پوسیدگی خشک‌دارهای ریز پراکنده در جنگل‌های خیرودکنار دارد. از طرفی خروجی‌های حاصل از آزمون‌های همبستگی حاکی از آن بود که تغییرات گونه‌ای خشک‌دارهای ریز کف جنگل پیرو تغییرات ترکیب گونه‌ای در تیپ‌های مختلف درختان با تغییرات گرادیان ارتفاعی دارای ارتباط معنی‌داری است. بر این اساس علاوه بر متغیر گرادیان ارتفاعی، دیگر عوامل توصیفی مانند تیپ توده‌های درختان، انواع گونه خشک‌دارهای ریز کف جنگل و پوسیدگی آنها به‌عنوان متغیرهای ورودی در مدل‌های لجستیک مدنظر قرار گرفتند. با توجه به اینکه جهت دامنه نیز در راستای تغییرات ارتفاع از سطح دریا به‌طور معنی‌داری دارای تغییرات زیادی بود به‌همین دلیل جهت دامنه نیز همراه با دیگر عوامل توصیفی مذکور به‌عنوان یکی از متغیرهای ورودی در مدل‌سازی معرفی شد. یکی از مهمترین محدودیت‌ها در تحلیل‌های رگرسیون تعداد ورودی متغیرهای توصیفی در مدل‌ها به‌دلیل احتمال رابطه هم‌خطی بین متغیرهای مزبور است (Bihamta and Zare Chahouki, 2010). به‌همین دلیل با احتساب نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های همبستگی، متغیرهای توصیفی که با یکدیگر دارای همبستگی معنی‌داری بودند در قالب متغیرهای ورودی در مدل لجستیک رتبه‌ای معرفی نشدند. به‌عبارت واضح‌تر برای اجتناب از هم‌خطی و افزایش فاکتور تورم واریانس (VIF) تمام متغیرهای عاملی که دارای عدم همبستگی معنی‌دار

که برای کنترل بهینه انباشت حجمی خشک‌داریهای مزبور در جنگل مورد پژوهش، عوامل توصیفی معرفی شده در مدل‌های تحلیلی لجستیک نمی‌تواند برای روند مدیریتی و اجرایی مدنظر قرار گیرد. بسیاری از رخدادهای غیرمترقبه مانند آشفستگی‌های طبیعی در مقیاس‌های مختلف و با شدت متفاوت می‌تواند مهمترین عواملی باشد که در این زمینه تأثیر بسزایی داشته باشد. اگرچه ماهیت ذاتی ویژگی‌های جنگل‌شناسی مانند مراحل مختلف تحولی توده‌های درختان و روابط پیچیده بوم‌شناسی مانند رقابت بین گونه‌ای یا درون‌گونه‌ای درختان نیز می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر موجودی حجمی خشک‌داریهای ریز داشته باشد. همچنین هجوم مؤثر یا غیرمؤثر آفات و ظهور برخی بیماری‌ها نیز در روند فیزیولوژی درختان و پوشش خشبی اثرات جانبی و یا مستقیم داشته و همین امر در ریزش چوب‌های درختان و افزایش موجودی حجمی جنگل‌های طبیعی تأثیرگذار است.

#### سیاسگزاری

این پژوهش بخشی از دستاورد پروژه مشترک بین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با کد مصوب ۰۱۰۹۴۳-۲۱۳-۰۹۵۱-۶۰-۳ است. بدین-وسیله از کلیه دست‌اندرکاران اجرای این پروژه قدردانی می‌شود.

#### References

- Agresti, A., *Analysis of ordinal categorical data*. 1th ed.; Hoboken, N.J.: Wiley **2010**, ISBN 978-0470082898. p 424.
- Bardelli, T.; Gómez-Brandón, M.; Ascher-Jenull, J.; Fornasier, F.; Arfaioli, P.; Francioli, D.; Egli, M.; Sartori, G.; Insam, H.; Pietramellara, G., Effects of slope exposure on soil physico-chemical and microbiological

مورد پژوهش تأثیر معنی‌داری داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پارامترهای تخمین گونه‌های خشک‌داریهای ریز طبقه اول قطری می‌توان اذعان نمود که انواع گونه‌های مختلف اثراتی نزدیک به هم بر انباشت حجمی خشک‌داریهای ریز در طبقه قطری اول داشت. از آنجایی‌که خشک‌دار ریز بلندمازو در طبقه قطری اول فراوانی قابل توجهی نداشته، از این‌رو اثر گونه‌ای آن بر مبنای آماره والد بی‌اثر بوده و در روند انباشت حجمی خشک‌داریهای ریز طبقه قطری مزبور نقش بسزایی را نداشت. به‌همین ترتیب نتایج جالب توجه در خصوص اثر پوسیدگی خشک‌داریهای ریز طبقه قطری اول در جنگل مورد پژوهش این بود که انباشت حجمی با مقادیر عددی بیشتر یعنی بیش از تخمین حد آستانه ۱۹/۸ و بیش از ۳ مترمکعب در هکتار مربوط به خشک‌داریهای ریز پوسیده بود. این بدین معنی است که حداکثر موجودی حجمی خشک‌داریهای ریز طبقه قطری اول مربوط به حضور و فراوانی خشک‌داریهای ریز پوسیده در طبقه قطری مذکور است.

#### نتیجه‌گیری کلی

بر خلاف انتظار، تیپ توده، ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه تأثیر معنی‌داری بر پراکندگی حجمی خشک‌داریهای ریز طبقه‌های مختلف قطری نداشت. جالب توجه بود که پوسیدگی و نوع گونه خشک‌داریهای ریز نیز به جز در طبقه قطری اول تأثیر معنی‌داری بر تغییرات انباشت حجمی خشک‌داریها در طبقه‌های قطورتر نداشت. بنابراین می‌توان اذعان نمود

properties along an altitudinal climosequence in the Italian Alps. *Science of the Total Environment* **2017**, 1(575), 1041-55.

- Bihamta, M.R.; Zare Chahouki, M.A., Principles of statistics for the natural resources science. *University of Tehran Press* **2010**, Tehran, Iran, pp. 320. (In Persian).
- Delcourt, C.J.F.; Veraverbeke, S., Allometric equations and wood density parameters for

- estimating aboveground and woody debris biomass in Cajander larch (*Larix cajanderi*) forests of northeast Siberia. *Biogeosciences* **2022**, *19* (18), 4499–4520.
- Fagerland, M.W., How to test for goodness of fit in ordinal logistic regression models. *The Stata Journal* **2022**, *17*(3), 668-686.
- Gómez-Brandón, M.; Ascher-Jenull, J.; Bardelli, T.; Fornasier, F.; Fravolini, G.; Arfaioli, P.; Ceccherini, M.T.; Pietramellara, G.; Lamorski, K.; Slawiński, C.; Bertoldi, D.; Egli, M.; Cherubini, P., Physicochemical and microbiological evidence of exposure effects on *Picea abies* – coarse woody debris at different stages of decay. *Forest Ecology and Management* **2017**, *391*, 376–389.
- Harmon, M.E.; Woodall, C.W.; Fasth, B.; Sexton, J., Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis. *Northern Research Station* **2007**, *84*, pp 29.
- Korboulewsky, N.; Bilger, I.; Bessad, A., How to Evaluate Downed Fine Woody Debris ncluding Logging Residues?. *Forests* **2021**, *12* (7), 1-20.
- Lelisho, M.E.; Wogi, A.A.; Tareke, S.A., Ordinal Logistic Regression Analysis in Determining Factors Associated with Socioeconomic Status of Household in Tepi Town, Southwest Ethiopia. *The Scientific World Journal* **2022**, *1*(1), 1- 9. <https://doi.org/10.1155/2022/2415692>.
- Marshall, P.L.; Davis, G.; LeMay, V.M. Using Line Intersect Sampling for Coarse Woody Debris; Technical Report. *Forest Research B.C.: Nanaimo, BC, Canada*, **2000**; pp. 34.
- Marvie-Mohadjer, M.R., Silviculture and forest tending. *University of Tehran Press* **2005**, Tehran, Iran, pp. 378. (In Persian).
- Masrouri, E.; Shataei, S.H.; Moayeri, M.H.; Soosani, J.; Bagheri, R., Modeling of forest degradation extend using using physiographic and socio-economic variables (case study: a part of kaka-reza district in Khoram-Abad). *Ecology of Iranian Forests* **2015**, *3* (5), 20-30. (In Persian)
- Moridi, M.; Malakshahi, M.; Etemad, V.; Sefidi, K., Accumulation of fine woody debris in the stem exclusion phase in mixed beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands. *Forest Research and Development* **2016**, *1* (4), 351-361 (In Persian).
- Poorbabaei, H.; Poorrostam, A.; Salehi, A., Modeling the Degradation of Hyrcanian Forests Using Logistic Regression Method (Case Study: Shenrood Forests, Guilan). *Iranian Journal of Applied Ecology* **2022**, *11* (3), 37-46 (In Persian).
- Rondeux, J.; Bertini, R.; Bastrup-Birk, A.; Corona, P.; Latte, N.; McRoberts, R.E.; Ståhl, G.; Winter, S.; Chirici, G., Assessing Deadwood Using Harmonized National Forest Inventory Data. *Forest Science* **2012**, *58* (3), 269–283.
- Sefidi, K.; Marviemohajer, M.R.; Etemad, V., Coarse and fine woody debris accumulation in mixed beech stands, Case study Gorazbon forests. *Journal of Forest Sustainable development* **2014**, *1*(2), 137-149 (In Persian).
- Sefidi, K.; Mohadjer, M. M., Characteristics of coarse woody debris in successional stages of natural beech (*Fagus orientalis*) forests of Northern Iran. *Journal of forest Science* **2010**, *56*(1), 7-17.
- Shadmani, S.; Ghodskhah daryaei, M.; Ghajar, I.; Heidari Safari Koichi, A., Modeling the Forest Degradation Degrees of Masal Watershed NO: 12 in Guilan Province, Using Logistic Regression. *Journal of Natural Environment* **2020**, *73* (1), 49-61 (In Persian).
- Teissier Du Cros, R.; Lopez, S., Preliminary study on the assessment of deadwood volume by the French national forest inventory. *Annals of Forest Science* **2009**, *66*, 302.
- Van Wagner, CE., The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* **1968**, *14*(1), 20-26.
- Woodall, C.; Williams, M.S., Sampling Protocol Estimation, and Analysis Procedures for the Down Woody Materials Indicator of the FIA Progam. *North Central Research Station Forest Service U.S. Department of Agriculture* **2005**, pp. 47.
- Woodall, C.W.; Walters, B.F.; Oswalt, S.N.; Domke, G.M.; Toney, C.; Gray, A.N., Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. *Forest Ecology and Management* **2013**, *305*, 48–59.
- Woodall, CW.; Liknes, GC., Climatic regions as an indicator of forest coarse and fine woody debris carbon stocks in the United States. *Carbon balance and Management* **2008**, *3* (5), 1-8.
- Zobeiri, M., Forest Biometry. *Tehran University Press* **2002**, *2561*, 411 pp (In Persian).



## Modeling fine woody debris volume stock using logistic analyses in the Hyrcanian Kheiroudkenar research forest

Ali Asghar Vahedi\*<sup>1</sup> and Asghar Fallah

1- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran. (as.vahedi@areeo.ac.ir)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Sari, I. R. Iran. (fallaha2007@yahoo.com)

Received: 02 July 2023

Accepted: 02 September 2023

### Abstract

**Background and objectives:** Due to ecological and biological importance of fine woody debris (FWDs) in forest ecosystems, it is essential to be clarified influencing factors on the FWDs volume stock through appropriate model. One of the models can be decisively efficient for optimal management and control of the FWDs volume stock is the ordinal logistic model. It is expected that the FWDs have a significant contribution in the Hyrcanian forests where different types of plant communities and trees are widely distributed across altitude gradients. Thus, the aim of this research is to use rank logistic analysis to examine the impact of various factors on the volume accumulation of the FWDs in relation to the altitude gradient of the Khairudkenar research forest.

**Methodology:** The current study was conducted in the Kheiroud forest using the cluster sample plots implemented along the altitude (100- 1800 m). A total of 12 samples were arranged in an altitude gradient from sea level. These samples consisted of three circular plots, each with a radius of 7.32 meters. The circular plots were positioned in the form of a triangle, with azimuth angles of 0, 120, and 240 degrees. Additionally, another sample with the same area was placed at the center of this design. The distance between each of the circular plots in the cluster was 36.6 meters. In this study, the placement of sample plots was conducted randomly within the specified altitude range, with an interval of 150 meters. A total of 36 clusters were established, comprising 144 samples, within the research forest. These samples were categorized into three diameter classes for the FWDs: 1-2.5 cm, 2.5-4.5 cm, and 4.5-7.5 cm. To measure the diameter of these small dry trees, a linear transect was executed from the center of each circular sample plot. The transect had a fixed azimuth of 150 degrees. Specifically: The diameter layer within the range of 1-2.5 cm was measured at a distance of 4.27-1.6 meters, and For other diameter layers, the measurements were taken at distances ranging from 7.32 to 7 meters. Ultimately, a total of 4.27 meters were harvested during this investigation. During the evaluation process, a transect line was used to measure the FWDs diameter whose central axis was obstructed by the line. Additionally, the type of species, the decay or lack of decay of the FWDs were also recorded. However, the length of these FWDs was not measured in the field due to the evaluation method used. In the analysis, we employed Spearman's test and calculated Spearman's correlation coefficient. Additionally, we utilized Chi-square statistics and the dimensions of the consensus table to evaluate the significance of correlation intensity between variables. To model this relationship, we included all uncorrelated variables as input variables, irrespective of any co-linear relationships among the factor variables. Nominal and rank variables were introduced as factors with fixed effects, while quantitative variables served as side variables during the implementation of rank logistic analysis. To validate each model, we assessed various variables using the model fit index. Additionally, we considered the pseudo-explanation coefficients. The significance of the model and its calculation coefficients was examined using the Wald statistic. Furthermore, we evaluated the model's accuracy in relation to estimated values and observations using Pearson and standard deviation tests.

**Results:** The research findings indicated that the average volume of the FWDs per hectare in the studied forest was 2.14, 6.01, and 16.23 cubic meters for the first, second, and third diameter classes,

---

\* Corresponding author

Tel: +981133136584



respectively. The results of logistic analyses based on the log-likelihood test ( $X^2 = 0.06$ ;  $P > 0.05$ ) and pseudo-R<sup>2</sup> (Pseudo-R<sup>2</sup> = 0.001) showed that the altitude gradient has no significant effect on the volume accumulations of the FWDs in different diameter classes. According to the Cramer's V and Spearman correlation tests, the results demonstrated that altitude gradient significantly correlated with the stand types, aspect, species and decay of the FWDs in the study forest. Moreover, the results obtained using Kramer's correlation coefficient to eliminate the effects of collinearity between input variables indicated that there is no significant relationship between the aspects and the species, and decay classes. Also, there were no significant correlations between the stand type and decay, and the FWDs species. Taking into account the non-collinearity and variance inflation factor (VIF), the final results of modeling showed that the FWDs species and decay have only significant effects on variations of the first diameter class of FWDs volume stock (Pseudo-R<sup>2</sup> = 0.24;  $P < 0.05$ ;  $X^2 = 22.61$ ).

**Conclusion:** On the basis of the Wald test, effects of the FWDs species were similarly significant, and the FWDs decay was inversely significant in association with the FWDs first diameter class response ( $P < 0.01$ ). It appears that the amount of volume accumulation of the FWDs in thicker diameters was not affected by the factors that were introduced. This implies that many unforeseen events, such as natural disturbances of varying scales and intensity, as well as the inherent nature of forestry - including developmental stages - may be the foremost factors that significantly impact the volume inventory of the FWDs in the thicker diameters.

**Keywords:** Altitude gradient, Fine woody debris, Ordinal logistic model, Volume accumulation.