مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۳
ص ۱۷۲-۱۵۷
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2023.360214.1888

تخمین منحنی میانگین درجه دوم قطر خشک‌دارهای ریز در جنگل‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky) خیرودکنار نوشهر

علی‌اصغر واحدی[۱*]، اصغر فلاح[۲] و نسترن نظریانی[۳]

[۱] استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.
[۲] استاد، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
[۳] پژوهشگر پسادکتری، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱)

چکیده

مقدمه: خشک‌دارهای ریز (FWDs) کف بوم‌سازگان‌های جنگلی با تأثیر اساسی در چرخهٔ کربن اتمسفری و به‌عنوان یکی از مخازن اصلی کربن در ارزیابی اقتصاد سبز در ارتباط با ذخایر کربن سهم مهمی را به خود اختصاص می‌دهد. از این‌رو، برآورد هرچه دقیق‌تر موجودی کربن FWDs بسیار ضروری است. هدف پژوهش حاضر معرفی میانگین درجه دوم قطر (QMD) خشک‌دارهای مذکور به‌منظور افزایش دقت برآورد ذخایر کربن آنهاست.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به‌طور تصادفی چهار قطعه نمونهٔ ۲۰×۲۰ متر مربعی در سطح یک هکتار توده‌های خالص و آمیختهٔ راش (تیپ راش- ممرز) در جنگل خیرودکنار جانمایی شد. در راستای هر ضلع قطعه نمونهٔ مربعی به‌عنوان خط ترانسکت (در مجموع ۱۶ خط نمونه)، قطر محور مرکزی چوب‌های منقطع با خط نمونهٔ مزبور اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس سه طبقهٔ قطری مختلف (۷/۵- ۴/۵، ۴/۵- ۲/۵، ۲/۵-۱ سانتی‌متر) براساس توزیع فراوانی خشک‌دارها به‌صورت مجزا تفکیک شد. با روش تخمین منحنی مبتنی بر برازش مدل توانی توزیع فراوانی قطر خشک‌دارها، سطح زیر منحنی برای هر طبقهٔ قطری به‌منظور دستیابی به مقادیر QMD محاسبه شد. برای محاسبهٔ سطح زیر منحنی در توده‌های مزبور از شیب مدل لگاریتم خطی حاصل از تبدیل لگاریتمی تابع توانی برازش‌یافته در هر توده استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به روند وارونهٔ شیب برازش در تودهٔ خالص راش (b = -۱/۵۷) و تودهٔ آمیخته (b = -۲/۰۳)، نتایج حاکی از فراوانی بیشتر توزیع FWDs در طبقه‌های قطری مذکور در تودهٔ خالص راش بوده است. مقادیر QMD برای هر طبقهٔ قطری در هر یک از توده‌ها با اختلاف جزئی دارای مقدار عددی بیشتری نسبت به میانگین حسابی و میانهٔ توزیع فراوانی قطر بوده است. مقادیر آمارهٔ مزبور تودهٔ خالص راش در طبقه‌های قطری تعریف‌شده به‌ترتیب ۱/۶۳، ۳/۴۷ و ۵/۷۳ سانتی‌متر و در تودهٔ آمیختهٔ راش در طبقه‌های اول و دوم قطری به‌ترتیب ۱/۵۷ و ۳/۳۶ سانتی‌متر محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: این اختلاف جزئی است، اما بدیهی است که برآورد مقدار زی‌توده و موجودی کربن با استفاده از مقادیر QMD در روابط محاسباتی مبتنی بر خط ترانسکت (پارامتر حاصل‌ضرب تعداد خشک‌دارهای هر طبقهٔ قطری در مربع مقادیر QMD) دارای دقت بیشتری است و انتظار می‌رود که در مقیاس کلان (پارسل، سری و بخش) مقادیری بیشتری را نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: توزیع فراوانی قطر، خشک‌دارهای ریز (FWDs)، ذخایر کربن، راشستان‌های خیرودکنار، مدل توانی، میانگین درجه دوم قطر (QMD).

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۱۱۴۴۶۶۲۴۶۵
ایمیل: as.vahedi@areeo.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم‌ترین اجزای جنگل‌های شمال کشور که از جنبه‌های مختلف بوم‌شناختی، اجرای روش‌های مختلف جنگل‌شناسی و دیدگاه‌های مدیریتی به‌طور جدی به آن توجه نشده، خشک‌دارهای ریز زی‌توده‌های چوبی[1] (FWD) است که پراکندگی و انباشت آنها خود ناشی از پیامدهای مستمر زیستی و غیرزیستی است. چوب‌های افتادهٔ درختان یا بخش‌هایی از چوب‌های درختان افتاده[2] (Dw) با قطر حداکثر ۷/۵ سانتی‌متر، ریزچوب‌های افتاده یا خشک‌دارهای ریز (FWDs) محسوب می‌شوند (Harmon et al., 2007; Woodall et al., 2013). معیار تفکیک خشک‌دارهای بزرگ[3] (CWD) و FWDs اختلاف مبنای قطری مذکور به‌انضمام طول بیش از ۱/۵ متر برای خشک‌دارهای بزرگ است (Harmon et al., 2007). در بسیاری از پژوهش‌های اخیر دربارهٔ پراکندگی و انباشت FWDs در جنگل‌های طبیعی تأکید شده که انباشتگی آنها در توده‌های درختان در الگوهای مکانی و زمانی مختلف تأثیرات بسزایی در چرخهٔ عناصر غذایی، روند انتشار دی‌اکسید کربن، محتوای رطوبتی و حتی استقرار تجدید حیات جنگل و بسیاری دیگر از فرایندهای بوم‌شناسی و زیست‌شناسی جنگل دارد (Cosmo et al., 2013; Rocha et al., 2018; Bessaad et al., 2021). Sefidi et al. (2014) دربارهٔ اهمیت FWDs اذعان کردند که حوضچه‌های مذکور جایگاه خاصی در مدیریت بوم‌سامانه‌های جنگلی دارند و در پژوهش خود اظهار کردند که از نظر Assmann et al. (2007) روند کاهشی FWDs در جنگل‌های راش اروپا (*Fagus sylvatica* L.) از مهم‌ترین دلایل کاهش تنوع زیستی در این جنگل‌هاست.

صرف نظر از اهمیت بوم‌شناسی ریزچوب‌های یادشده، به گزارش کارگروه بین دول تغییرات اقلیم، FWDs کف جنگل‌ها به‌دلیل داشتن محتویات زیاد کربن و کارکردی اساسی دربارهٔ چرخهٔ کربن اتمسفری باید همراه با بقیهٔ حوضچه‌های اصلی در بوم‌سازگان‌های جنگلی یکی از مخازن اصلی کربن محسوب شود (IPCC, 2003). ازآنجا که ریزچوب‌های موجود در جنگل‌های هیرکانی دارای انباشت مختلفی بوده و در بسیاری از توده‌ها به‌طور یقین دارای تراکم و حجم قابل اغماضی است، انتظار می‌رود که در مقیاس وسیعی از سطح توده‌های درختان موجودی چشمگیری از کربن آلی را به خود اختصاص دهد. بنابراین با توجه به شاخص پایداری جنگل‌های طبیعی براساس تغییرات موجودی کربن و همچنین برمبنای استقبال نظام‌های مدیریتی از اقتصاد سبز پیش‌بینی می‌شود که FWDs برخلاف ظاهر ناچیز آنها به‌عنوان یکی از حوضچه‌های کربن به لحاظ بوم‌شناختی و حتی اقتصادی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشند. از این‌رو اولین گام برای مدیریت بهینه در این زمینه پایش هرچه دقیق‌تر تغییرات زی‌توده و موجودی کربن حوضچه‌های مزبور است.

در همهٔ پژوهش‌های صورت‌گرفته تاکنون برای برآورد مقدار زی‌توده و مقادیر ذخایر کربن ریزچوب‌های کف جنگل تا قطر ۷/۵ سانتی‌متر و در برخی از مستندات تا قطر ۱۰ سانتی‌متر از پروتکل‌های مبتنی بر خط ترانسکت یا مبتنی بر قاب‌های مختلف در مقیاس سطح استفاده شده است (Harmon et al., 2007; Woodall & Liknes, 2008; Woodall & Monleon, 2010; Korboulewsky et al., 2021; Bessad et al., 2021;). به‌طور خلاصه در این روش مبتنی بر انقطاع خط ترانسکت پیاده‌شده با محور مرکزی FWDs کف جنگل و اندازه‌گیری فقط قطر آنها در قسمت مورد اشاره حجم (Van Wagner, 1968; Zobeiri, 2002) و به‌تبع آن مقدار ذخایر کربن آنها محاسبه می‌شود (Harmon et al., 2007; Woodall & Liknes, 2008). در برآورد مقادیر زی‌توده و موجودی کربن خشک‌دارهای مزبور قطر

1. Fine woody debris: Fwd
2. Dead wood: Dw
3. Coarse woody debris: CWD

اندازه‌گیری‌شده، متغیر اصلی و تعیین‌کننده محسوب می‌شود. از این‌رو صرف‌نظر از دقت در اندازه‌گیری آن در عملیات میدانی در روند تحلیلی نیز نحوهٔ درست کاربردی آن در برآورد واقعی‌تر موجودی ذخایر کربن مؤثر است. البته به‌طور بدیهی می‌توان انتظار داشت که با سنجش قطر اندازه‌گیری‌شده از بخش‌های مختلف چوب‌های تحت بررسی و استفاده از روابط ریاضی صِرف، مقادیر حجمی آنها را محاسبه و سپس با احتساب چگالی و ضریب کربن آنها مقادیر زی‌توده و ذخایر کربن را برآورد کرد. در این خصوص می‌توان به پژوهش‌های Sefidi et al. (2013, 2014) اشاره کرد که با استفاده از فرمول نیوتن از قطرهای ابتدایی، انتهایی و قطر میانی و با احتساب انواع و اقسام طولی چوب‌ها حجم FWDs را برآورد کردند. با استناد به تفاسیر یادشده، تحقیق حاضر در پی معرفی میانگین درجه دوم قطر[1] (QMD) منقطع محور مرکزی خشک‌دارها با خط ترانسکت در پروتکل استفاده‌شده در این پژوهش است. در واقع برمبنای نحوهٔ توزیع قطرهای مختلف FWDs کف جنگل‌های طبیعی و همچنین براساس ضریب زوایای مختلف موجود نسبت به انواع خط طولی چوب‌های مزبور، بهترین آماره برای معرفی توزیع قطری مختلف این نوع خشک‌دارها میانگین درجه دوم قطر یا همان QMD است (Woodall & Monleon, 2008). با استفاده از فراوانی چوب‌های شمارش‌شده در خط ترانسکت و برآورد سطح زیرمنحنی توزیع نمایه‌شدهٔ قطر FWDs می‌توان QMD آنها را محاسبه کرد (Woodall & Monleon, 2010). میانگین قطر درجه دوم آماره‌ای است که در دانش آمار چند قرن قدمت دارد و در دانش اندازه‌گیری دست‌کم از نیم قرن قبل در ایران کاربرد است. به‌طور معمول برای هر ویژگی (همانند قطر) که توزیع زنگوله‌ای برای آن متصور نباشد، به‌ویژه برای قطعات چوبی افتاده بستر جنگل استفاده از این آماره در مقایسه با میانگین حسابی دارای صحت و قطعیت پاسخگویی بیشتری است. میانگین درجه دوم قطر به روش سنتی همان ریشهٔ میانگین مربع قطر است که به‌طور معمول مقادیری مساوی یا بزرگ‌تر از میانگین حسابی را برای مجموعه‌ای از درختان متناسب با توزیعی که دارند نشان می‌دهد (Curtis & Marshall, 2000). البته با توجه به اینکه متغیر قطر پارامتر اصلی محاسبهٔ حجم درختان محسوب می‌شود، قطر درجه دوم می‌تواند در قالب ریشهٔ میانگین سطح مقطع نیز نمایه شود (Weiskittel et al., 2015). در این میان اگر قطر برحسب سانتی‌متر و سطح مقطع برحسب متر مربع مدنظر قرار گیرد، مخرج رابطهٔ مذکور ضریب ثابتی با مقدار عددی ۰/۰۰۰۰۷۸۵۴ خواهد بود (Curtis & Marshall, 2000). ناگفته نماند که آمارهٔ مربوط، متناسب با توزیع قطر توده‌های درختان به درختان قطور وزن‌دهی بیشتری نسبت به درختان کم‌قطر می‌دهد (Curtis & Marshall, 2000; Weiskittel et al., 2015). در صورتی که در رابطه با انباشت و توزیع خشک‌دارهای ریز بستر جنگل با توجه به فراوانی چوب‌های با ابعاد ریزتر و پیروی توزیع آنها از نمودار کاهشی نمی‌توان به محاسبهٔ میانگین قطر درجه دوم به روش‌های کلاسیک بسنده کرد. از این‌رو با استناد به پژوهش Woodall (2010) & Monleon در توزیع غیرنرمال به‌خصوص با توجه به ماهیت توزیع FWDs که منحنی آن کاهنده است، با محاسبهٔ سطح زیرمنحنی توزیع خشک‌دارها می‌توان بهترین آمارهٔ محاسباتی را برای محاسبهٔ میانگین قطر به‌منظور برآورد هرچه دقیق‌تر مقادیر زی‌توده و موجودی کربن زی‌توده‌های چوب معرفی کرد.

اولین بار Van Wagner (1968) اذعان کرد که توزیع فراوانی خشک‌دارهای ریز در بوم‌سازگان‌های طبیعی جنگل به‌عنوان تابعی از قطر از قاعدهٔ منحنی توانی تبعیت می‌کند، به‌طوری‌که می‌توان از روش تخمین منحنی با احتساب شیب تابع مذکور QMD انواع طبقه‌های قطری FWDs را به‌دست آورد (Woodall & Monleon, 2009). با توجه به اینکه

1. Quadratic mean diameter: QMD

آمیختگی گونه‌های مختلف درختان در نحوهٔ توزیع FWDs و به‌تبع آن بر مقادیر QMD آنها تأثیرات بارزی دارد (Woodall & Monleon, 2010)، پژوهش حاضر در یکی از جنگل‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky) شمال کشور در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش (تیپ راش- ممرز) انجام گرفت. در این خصوص برحسب ماهیت ترکیب گونه‌ای توده‌های بررسی‌شده می‌توان دریافت که آیا روند توزیع FWDs و مقادیر QMD اندازه‌گیری‌شده در توده‌های خالص یا آمیخته تفاوت بارزی دارد یا خیر؟ در واقع با اذعان به اینکه در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش ترکیب گونه‌ای متفاوت از FWDs کف جنگل وجود دارد، هدف پژوهش حاضر تبیین توزیع خشک‌دارهای مذکور در هر یک از توده‌های منتخب و احتساب شیب توزیع برازش‌یافته برمبنای فراوانی مطلق قطر خشک‌دارهای مذکور برای محاسبهٔ مقادیر QMDs آنها بوده است. در واقع پژوهش حاضر در پی معرفی منحنی میانگین قطر درجه دوم قطر خشک‌دارهای ریز در توده‌های تحت بررسی است. در نهایت هدف اصلی پژوهش حاضر استفاده از یک پروتکل آماری استاندارد برای محاسبه و معرفی QMD خشک‌دارهای کف جنگل به‌منظور برآورد و مقایسهٔ هرچه دقیق‌تر ذخایر کربن در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش است.

مواد و روش‌ها

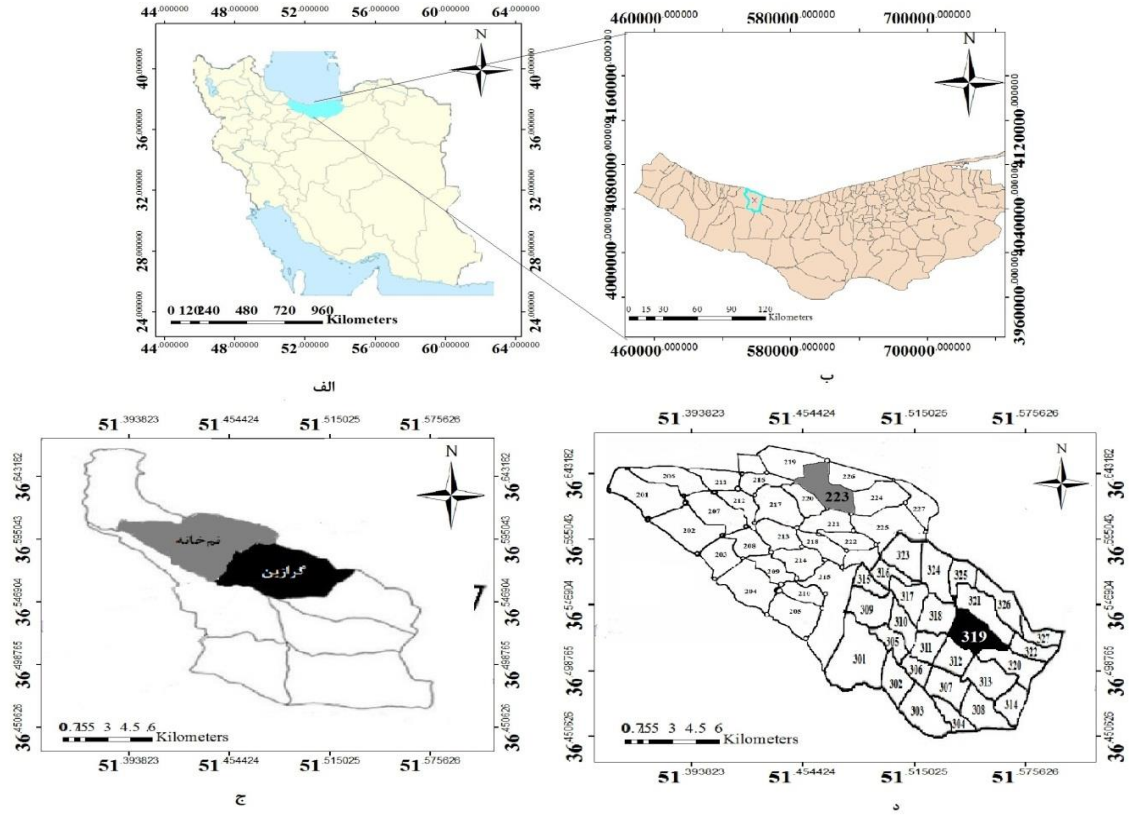
منطقهٔ پژوهش

پژوهش حاضر در جنگل آموزشی- پژوهشی خیرودکنار در پارسل ۲۲۳ سری نم‌خانه در سطح یک هکتار تودهٔ آمیخته راش با تیپ راش- ممرز و در پارسل ۳۱۹ سری گرازبن در سطح یک هکتار تودهٔ خالص راش انجام گرفت. جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ′۲۷ °۳۶ تا ′۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۲ °۵۱ تا ′۴۳ °۵۱ طول شرقی واقع شده است (Sefidi et al., 2013). جنگل خیرودکنار شامل هفت بخش است که سری نم‌خانه و سری گرازبن به‌ترتیب دومین و سومین بخش آن محسوب می‌شود. پارسل ۲۲۳ واقع در سری نم‌خانه دارای مساحت ۳۵/۶ هکتار بوده و تیپ تودهٔ درختان در آن اغلب راش- ممرز است. حداکثر ارتفاع از سطح دریا در قطعه مربوط ۱۱۳۵ متر و جهت‌های عمومی آن شمالی و جنوبی است. بیشتر شیب عمومی پارسل حداکثر تا ۳۰ درصد است که در برخی نقاط به ۶۰ درصد نیز می‌رسد. پارسل ۳۱۹ سری گرازبن با مساحت کلی حدود ۴۲/۷ هکتار اغلب دارای تیپ خالص راش بوده و حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۷۰ متر است. جهت‌های عمومی قطعهٔ مذکور شمالی و جنوبی و شیب آن در بیشتر مناطق حداکثر تا ۳۰ درصد است. موقعیت پارسل‌های توده‌ها در جنگل پژوهشی خیرودکنار نوشهر در شکل ۱ نشان داده شده است.

شیوهٔ اجرای پژوهش

در پژوهش حاضر چهار قطعه نمونه با ابعاد ۴۰۰ متر مربع (۲۰ متر × ۲۰ متر) به‌صورت کاملاً تصادفی در سطح یک هکتار تودهٔ خالص راش و همین تعداد قطعه نمونه با ابعاد مورد اشاره به‌صورت کاملاً تصادفی در سطح یک هکتار تودهٔ آمیخته راش با تیپ راش- ممرز جانمایی شد. اندازه‌گیری قطر خشک‌دارهای ریز کف جنگل مبتنی بر طول اضلاع هر قطعه‌نمونه انجام گرفت (Guo et al., 2006). در راستای ضلع هر قطعه نمونه در قالب یک ترانسکت خطی و در مجموع با محیط ۸۰ متر، قطر همهٔ خشک‌دارهای ریز که محور مرکزی آنها با خط ترانسکت منقطع بود اندازه‌گیری شد. در واقع اندازه‌گیری مربوط در راستای هر ضلع بین دو رأس قطعه نمونهٔ مربوط اندازه‌گیری شده و هر رأس نقطهٔ عطف بین خطوط ترانسکت (اضلاع) محسوب می‌شود، بدون اینکه هر خطِ ترانسکت خط دیگر را قطع کند. دربارهٔ اندازه‌گیری قطر خشک‌دارهای ریز در روش ترانسکت خطی در راستای اضلاع هر قطعه نمونه، همهٔ خشک‌دارهای مذکور که

در کف جنگل قرار داشتند مدنظر قرار گرفتند و چوب‌هایی که به حالت مایل یا عمودی نسبت به کف جنگل استقرار داشتند از روند آماربرداری و اندازه‌گیری حذف شدند (Van Wagner, 1968; Zobeiri, 2002). با استناد به ماهیت روش استفاده‌شده در پژوهش حاضر، طول همهٔ خشک‌دارهای مذکور در عرصه اندازه‌گیری نشد (Van Wagner, 1968; Zobeiri, 2002). در پژوهش پیش رو سه طبقهٔ قطری شامل ۲/۵-۱، ۴/۵- ۲/۵، ۷/۵- ۴/۵ سانتی‌متر برای خرده‌چوب‌های کف جنگل در نظر گرفته شد (Harmon et al., 2007). خشک‌دارهای با قطر کمتر از یک سانتی‌متر (di < ۱) اجزای لاشبرگی و خشک‌دارهای قطورتر از ۷/۵ < di سانتی‌متر جزء خشک‌دارهای بزرگ جنگل (CWDs) محسوب شد (Harmon et al., 2007). شایان ذکر است که در روش استفاده‌شده همهٔ خشک‌دارهای چندشاخه‌ای که یک یا چند بخش از شاخهٔ آنها خط ترانسکت را قطع کرده بود، ولی محور مرکزی آن با خط نمونه متقاطع نبود در روند عملیات میدانی اندازه‌گیری نشدند (Zobeiri, 2002).



شکل ۱- موقعیت پارسل‌های ۲۲۳ و ۳۱۹ به‌ترتیب در سری نم‌خانه و گرازبن جنگل پژوهشی خیرودکنار نوشهر- استان مازندران

Figure 1. The location of parcels 223 and 319, respectively, in the Nemkhaneh and Gorazbon district of Kheiroodkenar research forest, Nowshahr, Mazandaran province

روش تحلیل

پس از برازش توزیع داده‌ها برمبنای تابع چگالی از آزمون مربع کای، آندرسون دارلینگ و کولموگروف- اسمیرنوف برای رتبه‌بندی توزیع داده‌ها استفاده شد. از نمودار چندک– چندک نیز برای تعیین میزان انحراف توزیع داده‌ها نسبت به برازش بهینه استفاده شد. از آزمون t مستقل برای مقایسهٔ تغییرات میانگین مقادیر قطر خشک‌دارهای ریز بین توده‌های آمیخته و خالص راش در جنگل یادشده استفاده شد. از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف دونمونه‌ای برای مقایسهٔ

هم‌قوارگی توزیع مقادیر قطر خشک‌دارهای ریز بین توده‌های خالص و آمیختهٔ راش استفاده شد. برای برازش بین توزیع داده‌های قطر خشک‌دارهای ریز در هر توده و فراوانی قطر در هر طبقهٔ قطری از تابع توانی طبق قاعده اشاره شده در رابطه ۱ استفاده شد (Van Wagner, 1968; Woodall & Monleon, 2010).

رابطهٔ ۱

$$Y = ax^b \rightarrow \ln(Y) = \ln a + b\ln(x) \rightarrow$$
$$\mathrm{Exp}(\ln Y) \times CF = ax^b$$
$$CF = \exp\left(\frac{SEE^2}{2}\right) \rightarrow CF > 1$$

Y فراوانی و x توزیع مقادیر قطر خشک‌دارهای ریز و a و b پارامترهای محاسباتی به‌ترتیب ضریب ثابت و شیب مدل معرفی می‌شوند. پارامتر CF مقدار ضریب تصحیح و SEE مقادیر اشتباه معیار تخمین محسوب می‌شود. در ادامه برای محاسبهٔ QMD با حداکثر دقت، سطح زیر منحنی تابع توانی مزبور محاسبه شد. در واقع با استفاده از شیب مدل مزبور (b) و حد پایین (x_1) و حد بالای (x_2) طبقهٔ قطری تعریف‌شده در پژوهش حاضر سطح زیر منحنی برای هر طبقهٔ قطری FWDs برای معرفی QMD به‌صورت رابطه ۲ محاسبه شده است (Woodall & Monleon, 2010).

رابطهٔ ۲

$$(QMD)^2 = \frac{\int_{x_1}^{x_2} ax^{b+2} d_x}{\int_{x_1}^{x_2} ax^b d_x} = \frac{(b+1)\left(x_2^{b+3} - x_1^{b+3}\right)}{(b+3)\left(x_2^{b+1} - x_1^{b+1}\right)}$$

روش تحلیل

تحلیل همهٔ داده‌ها در محیط نرم‌افزار $SPSS_{23}$ و Easyfit انجام گرفت.

نتایج

همهٔ ویژگی‌های طبقه‌های قطری مختلف FWDs در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در تودهٔ آمیختهٔ راش در مجموع چهار قطعه نمونه جانمایی شده، FWDs با طبقهٔ قطری ۷/۵ – ۴/۵ سانتی‌متر دارای انباشت چندانی نبوده است (جدول ۱). در تودهٔ خالص راش در اولین طبقهٔ قطری ۳ درصد آمیختگی خشک‌دارها مربوط به گونهٔ افراپلت و در تودهٔ آمیختهٔ راش ۲۵ درصد آمیختگی خشک‌دارها مربوط به بقیهٔ گونه‌ها بوده که اغلب شامل افراپلت، ممرز و توسکای ییلاقی است (جدول ۱). به همین ترتیب با افزایش طبقهٔ قطری درصد آمیختگی FWDs درختان راش با بقیهٔ گونه‌ها افزایش یافته، به‌طوری که در تودهٔ خالص راش آمیختگی ریزچوب‌های بقیهٔ گونه‌ها با ریزچوب‌های چوب راش آن هم در قطورترین طبقه به ۳۳ درصد رسیده بود (جدول ۱). نتایج مربوط به کمینه، بیشینه، میانگین و میانهٔ قطر FWDs توده‌های مختلف در طبقه‌های مختلف قطری در جدول ۱ مشهود است.

نتایج حاصل از آزمون‌های مربع کای، آندرسون دارلینگ و کولموگرف-اسمیرنوف نشان داد که در تودهٔ خالص راش توزیع پاریتو تعمیم‌یافته (Gen.Pareto) برمبنای احتمال تابع چگالی دارای بهترین (نکویی) برازش بوده است. با توجه به انواع آماره‌های آزمون‌های مزبور، جدول ۲ نتایج آزمون نکویی برازش هر یک از توزیع‌ها را برمبنای آزمون کولموگرف- اسمیرنوف نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان داد، تابع توانی چگالی احتمال برحسب آزمون کولموگرف- اسمیرنوف از بین همهٔ توابع دارای رتبهٔ ۴۲ بوده و برمبنای آمارهٔ به‌دست‌آمده دارای اختلاف معنی‌داری با توزیع احتمال واقعی نبوده است (جدول ۲). نتایج آزمون نکویی برازش کولموگروف- اسمیرنوف مربوط به تودهٔ راش آمیخته نشان داد که توابع مختلفی از جمله بتا، لگاریتم لجستیک و گاما دارای بهترین برازش هستند و جالب توجه این است که توزیع پاریتو تعمیم‌یافته در این نتایج دارای رتبهٔ ۷ بود (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده، در همهٔ موارد هر یک از توابع چگالی احتمال معنی‌دار بود، ولی تابع چگالی احتمال توانی با رتبهٔ ۵۴ معنی‌دار نبود.

جدول ۱- ویژگی‌های طبقه‌های مختلف قطر خشک‌دارهای ریز در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش

Table 1. Characteristics of different diameter classes of Fine woody debris in pure and mixed beech stands

	تودهٔ خالص راش Pure beech stand			تودهٔ آمیخته راش Mixed beech stand		
	طبقهٔ اول First class	طبقهٔ دوم Second class	طبقهٔ سوم Third class	طبقهٔ اول First class	طبقهٔ دوم Second class	طبقهٔ سوم Third class
کمینه Minimum	1	2.8	4.7	1	2	-
بیشینه Maximum	2.3	4.3	7.5	2	4.2	-
میانگین (±) اشتباه معیار Standard error (±)Average	1.45±0.05	3.17±0.11	5.33±0.43	1.38±0.06	2.71±0.13	-
میانه Median	1.53	3	5.22	1.5	2.5	
درصد ضریب تغییرات Correction Variation (%)	32	19	21	27	21	-
درصد آمیختگی Austausch%	3.2	14	33	25	18	-

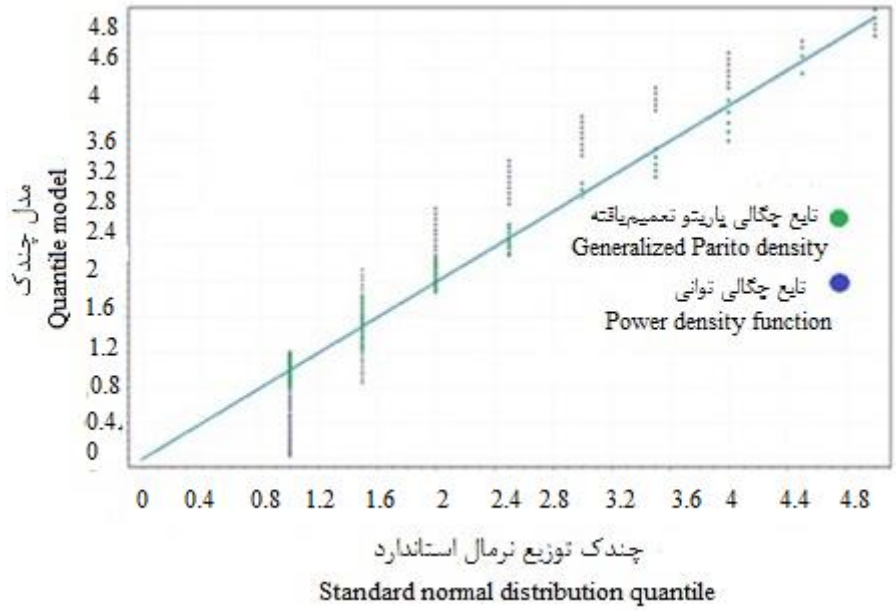
جدول ۲- نتیجهٔ تحلیل آزمون نکویی برازش کولموگروف- اسمیرنوف برای توابع مختلف چگالی احتمال دربارهٔ توزیع قطر خشک‌دارهای ریز توده‌های بررسی‌شده

Table 2. The result of the Kolomograf-Smirnov goodness of fit test analysis for different Probability Distribution Functions in relation to the diameter distribution of fine woody debris of the studied stands

	تابع چگالی احتمال Probability Distribution Function	آزمون کولموگروف- اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov test		
		آماره Statistic	معنی‌داری Significance	رتبه Rank
توده راش خالص Pure beech stand	پاریتو تعمیم‌یافته Generalized Parito	0.123	**	1
	توانی Power function	0.683	ns	42
	بتا Beta	0.157	**	1
توده راش آمیخته Mixed beech stand	لگ –لجستیک Log-Logistic	0.158	**	2
	گاما Gamma	0.162	**	3
	پاریتو تعمیم‌یافته Generalized Parito	0.173	**	7
	توانی Power function	0.662	ns	54

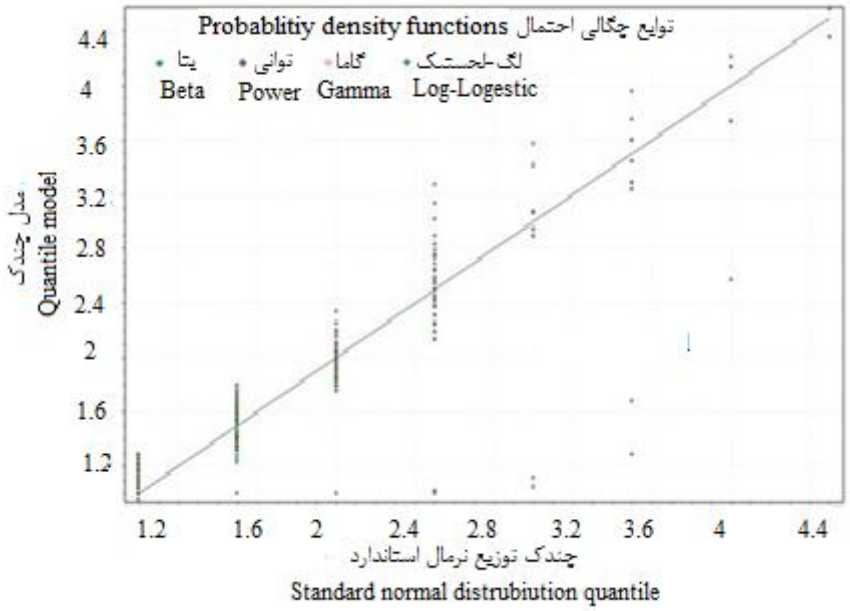
شکل ۲ نمودار چندک – چندک مربوط به تطابق یا انحراف مقادیر توابع چگالی احتمال پاریتو تعمیم‌یافته و توانی را برحسب مشاهدات موجود (مقادیر قطر خشک‌دارهای ریز) نسبت به خط برازش پایه (منحنی پایهٔ نرمال) در تودهٔ خالص راش نشان می‌دهد. مدل چندک در واقع همان مقادیر قابل انتظار برحسب مشاهدات است. در شکل ۲ نشان داده شده که تابع چگالی احتمال توانی دارای هم‌توزیعی با تابع پاریتو تعمیم‌یافته است و نسبت به منحنی پایه (نرمال) تطابق بیشتری دارد.

شکل ۳ نمودار چندک- چندک توزیع‌های بهینه را برحسب آزمون‌های نکویی برازش در تودهٔ آمیختهٔ راش نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که توابع بهینهٔ چگالی احتمال نسبت به برازش پایهٔ نرمال تطابق بیشتری دارند. آنچه در شکل ۳ مشهود است، میزان تطابق مقادیر قابل انتظار هر یک از توابع چگالی احتمال منتخب در مدل چندک برحسب مشاهدات موجود و میزان انحراف یا تطابق آن با خط برازش پایه یا منحنی نرمال پایه است.



شکل ۲- نمودار چندک- چندک توزیع قطر خشک‌دارهای ریز در تودهٔ خالص راش

Figure 2. A quantile-quantile plot of diameter distribution of fine woody debris in the pure beech stand



شکل ۳- نمودار چندک- چندک توزیع قطر خشک‌دارهای ریز در تودهٔ آمیختهٔ راش

Figure 3. A quantile-quantile plot of diameter distribution of fine woody debris in the mixed beech stand

نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف دونمونه‌ای برای مقایسهٔ توزیع یا هم‌قوارگی مقادیر قطر بین توده‌های خالص و آمیختهٔ راش نشان داد که در این رابطه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (Sig =۰/۳۲۵؛ Kolmogorov-Smirnov Z =۰/۱۲۳). همچنین نتایج موجود در جدول ۳ حاکی از آن است که میانگین توزیع قطری طبقهٔ اول و طبقهٔ دوم FWDs بین توده‌های آمیخته و خالص راش دارای اختلاف معنی‌داری نیست (P >۰/۰۵). با توجه به اینکه قطورترین FWDs (طبقهٔ سوم) در تودهٔ آمیختهٔ راش دارای انباشت چندانی نبود، نتایج آزمون t مستقل با احتساب همهٔ طبقه‌های قطری FWDs نشان داد که بین تودهٔ خالص و آمیخته راش اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P <۰/۰۵).

با احتساب رابطهٔ توانی بین متغیر فراوانی و قطر FWDs شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب برازش مدل توانی توده‌های خالص و آمیختهٔ راش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده می‌شود در تودهٔ آمیختهٔ راش دامنهٔ طبقهٔ قطری خشک‌دارها و به‌تبع آن فراوانی آنها نسبت به خشک‌دارهای تودهٔ خالص راش کمتر است.

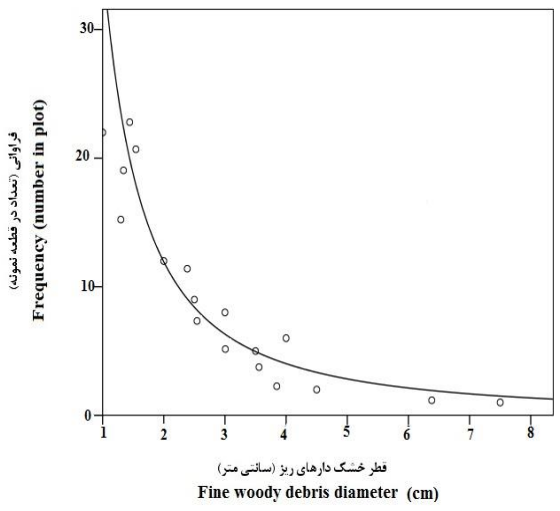
جدول ۳- نتایج آزمون t مستقل دربارهٔ تغییرات ابعاد قطری خشک‌دارهای ریز بین توده‌های خالص و آمیختهٔ راش

Table 3. Independent t-test results regarding the changes in the diameter dimensions of fine woody debris between the pure and mixed beech stands

	میانگین (±) اشتباه معیار Average(±) Standard error	حدود اطمینان در سطح ۹۵٪ Confidence limits at the 95% level	مقدار t t value
طبقهٔ اول First class	0.19 ±0.08	0.0007 -0. 204	3.07 ns
طبقهٔ دوم Second class	0.31 ± 0.12	0.004 -0. 265	3.41 ns
طبقهٔ سوم Third class	-	-	-
توزیع کل Total distribution	0.34 ± 0.17	0.002 -0.683	1.98*

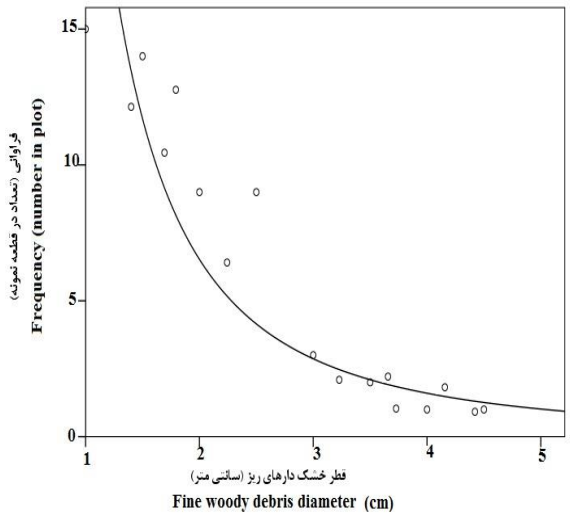
P < ۰/۰۵ :* ؛ P > ۰/۰۵ :ns

P < 0.05 :* ؛ P > 0.05:ns



شکل ۴- برازش غیرخطی توزیع فراوانی قطر خشک‌دارهای ریز در تودهٔ خالص راش

Figure 4. Non-linear fitting of Fine woody debris diameter abundance distribution in pure beech stand



شکل ۵- برازش غیرخطی توزیع فراوانی قطر خشک‌دارهای ریز در تودهٔ آمیخته راش

Figure 5. Non-linear fitting of Fine woody debris diameter abundance distribution in mixed beech stand

نتایج حاصل از برازش مدل توانی توده‌های خالص و آمیخته راش در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود ضریب تبیین تعدیل‌یافته برای توجیه واریانس مدل‌های توانی در توده‌های مذکور بیش از ۸۰ درصد است و میانگین مربعات خطا و اشتباه معیار تخمین نیز مقادیر زیادی را به لحاظ قطعیت برازش نشان می‌دهد. افزون‌بر آن نتایج نشان داد که پارامترهای شیب در هر یک از برازش‌های صورت‌گرفته برحسب مقادیر آمارهٔ t معنی‌دارند و بدین ترتیب دارای اعتبار محاسباتی هستند.

برای محاسبهٔ QMD به‌عنوان هدف پژوهشی حاضر از شیب‌های به‌دست‌آمده از برازش مدل توانی و تبدیل لگاریتمی آن به‌صورت خطی (جدول ۴) استفاده شده است. نتایج محاسبهٔ QMD برای هر یک از طبقه‌های قطری در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴- پارامترهای محاسباتی تابع توانی برحسب قطرهای خشک‌دار ریزتوده‌های خالص و آمیختهٔ راش

Table 4. Computational parameters of the power function according to the diameters of fine woody debris in pure and mixed beech stands

	ضریب ثابت Fixed coefficient	شیب مدل Slope of the model	آمارهٔ t Statistic of t	ضریب تبیین تعدیل‌یافته Adjusted coefficient of explanation	میانگین مربعات باقی‌مانده‌ها Mean square of the residuals	اشتباه معیار تخمین Estimation criterion error
تابع توانی- تودهٔ خالص راش Power function- Pure beech stand	35.46	-1.57	-7.63**	0.86	0.138	0.37
تابع توانی- تودهٔ آمیختهٔ راش Power function- Mixed beech stand	26.64	-2.03	-5.82**	0.82	0.224	0.47

**: $P < ۰/۰۱$

جدول ۵- مقادیر میانگین درجه دوم قطر خشک‌دارهای ریز در طبقه‌های مختلف قطری در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش

Table 5. Values of Quadratic Mean Diameter of fine woody debris in different diameter classes in pure and mixed beech stand

میانگین درجه دوم قطر Quadratic Mean Diameter	تودهٔ خالص راش Pure Stand of Beech			تودهٔ آمیختهٔ راش Mixed Stand of Beech		
	طبقهٔ اول First class	طبقهٔ دوم Second class	طبقهٔ سوم Third class	طبقهٔ اول First class	طبقهٔ دوم Second class	طبقهٔ سوم Third class
	1.63	3.47	5.73	1.57	3.36	-

بحث

نتایج پژوهش نشان داد که برمبنای آزمون‌های نکویی برازش توزیع پاریتو تعمیم‌یافته در تودهٔ خالص راش و توزیع بتا در تودهٔ آمیخته (راش- ممرز) بهترین توزیع برای احتمال تابع چگالی برحسب قطر FWDs محسوب شدند. البته در تودهٔ آمیخته راش توزیع پاریتو تعمیم‌یافته دارای رتبه چشمگیری بود که نشان می‌دهد توزیع مزبور می‌تواند یکی از برازش‌های بهینه برای تابع چگالی قطر FWDs معرفی شود. نتایج حاصل مبین این است که تابع توانی نسبت به بقیهٔ توزیع‌های برازش‌یافته دارای انحراف زیادی نسبت به نکویی برازش بوده است (شکل‌های ۱ و ۲). از این‌رو

می‌توان نتیجه گرفت که برای خشک‌دارهای توده‌های یادشده در جنگل خیرودکنار مبتنی بر نحوهٔ توزیع آنها توزیع پاریتو تعمیم‌یافته به‌صورت مشترک و توزیع بتا، لگاریتم-لجستیک و گاما برای تودهٔ آمیخته راش دارای بهترین برازش است. در این میان با استناد به پژوهش Van Wagner (1968) و تأکید Monleon & Woodall (2010) مبنی بر اینکه در جنگل‌های طبیعی توزیع فراوانی FWDs برحسب مدل توانی تابع قطر خشک‌دارهای ریز هستند، مدل توانی به‌عنوان مدل پایهٔ آلومتریک برای تخمین منحنی قطر FWDs ارزیابی محاسباتی شد و برازش یافت. Vahedi (2016) در مدل‌سازی زی‌تودهٔ روی زمینی درختان تأکید کرد که مدل توانی به‌صورت مطلق یک معادلهٔ پایه برای همهٔ پژوهش‌های زیست‌شناسی (بیولوژی) معرفی شده و دارای بهترین برازش محاسباتی برای روند پویایی (دینامیک) پدیده‌های زیستی است. برای مثال Veraverbeke & Delcourt (2022) مدل توانی را معادلهٔ پایه برای مدل‌سازی زی‌توده و ذخایر کربن FWDs و CWDs جنگل‌های طبیعی معرفی کردند. افزون‌بر این موارد ازآنجا که Woodall &Monleon (2010) و (2009) تأکید کردند که در بسیاری از موارد قطر میانی یا همان نشان طبقهٔ قطری به‌عنوان میانگین طبقهٔ قطری نمایه می‌شود یا در برخی دیگر از موارد ازآنجا که توزیع خشک‌دارها با ابعاد قطری مختلف به‌صورت منحنی کاهنده است و در نتیجه میانهٔ توزیع داده‌ها در هر طبقهٔ قطری، میانگین آن طبقه معرفی می‌شود، میانگین‌های معرفی‌شده در روابط محاسباتی از جمله محاسبات زی‌توده و ذخایر کربن خشک‌دارها به خطای محاسباتی زیادی منجر خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت چون توزیع خشک‌دارهای جنگل با ابعاد قطری مختلف یکنواخت نیست و به‌طور بدیهی و معمول، خشک‌دارهای قطورتر دارای فراوانی کمتری هستند، میانگین درجه دوم قطر FWDs برای هر طبقهٔ قطری به‌جای میانگین حسابی یا میانهٔ هر طبقه را می‌توان بهترین جایگزین هر نوع محاسبهٔ پارامتری محسوب کرد (Woodall & Monleon, 2010).

ازآنجا که برای محاسبهٔ QMD تخمین سطح زیر منحنی توزیع فراوانی قطر خشک‌دارها اهمیت بسیار زیادی دارد (Woodall & Monleon, 2010)، تعیین پارامتر محاسباتی شیب منحنی باید بسیار دقت زیاد باشد. در پژوهش حاضر در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش به‌ترتیب قطرِ ۱۷۷ و ۱۱۸ نمونه ریزچوب اندازه‌گیری شد و منحنی‌های توانی مبتنی بر فراوانی مطلق چوب‌های مزبور و مشاهدات در توده‌های مذکور برازش یافت. نتایج برازش مدل توانی مطابق شکل‌های ۳ و ۴ نشان داد که فرضیهٔ Van Wagner (1968) برای انتخاب مدل توانی به‌عنوان تابع بهینه به‌منظور برازش فراوانی مطلق قطر FWDs کاملاً صدق می‌کند. مبتنی بر شکل‌های مزبور فراوانی FWDs در طبقه‌های قطری کمتر به‌مراتب بیشتر از خشک‌دارهای قطورتر است، به‌طوری‌که روند تغییرات ابعاد FWDs از منحنی کاهنده پیروی کرده است. در پژوهش حاضر با تبدیل لگاریتمی مدل توانی و تبیین پارامترهای مدل خطی به‌دست‌آمده مطابق با مستنداتی که در این زمینه ادلهٔ فراوانی ارائه داده‌اند (Van Wagner, 1968; Woodall & Monleon, 2010; Vahedi, 2016) شیب منحنی برای توده‌های خالص و آمیختهٔ راش به‌ترتیب ۱/۵۷- و ۲/۰۳- به‌دست آمده است (جدول ۲). در این خصوص (2010) و Woodall & Monleon (2009) تأکید کردند که شیب‌های به‌دست‌آمده و مقادیر QMD مربوط به هر طبقهٔ قطری خشک‌دارها مختص هر توده[1] و هر رویشگاه[2] است و به بقیهٔ گونه‌ها، توده‌ها و رویشگاه‌ها تعمیم‌پذیر نیست. دیگر نکتهٔ شایان توجه در پژوهش حاضر، مقدار کمتر قدر مطلق شیب منحنی تودهٔ خالص راش نسبت به قدر مطلق مقدار عددی شیب تودهٔ آمیخته راش است. در واقع نکتهٔ

1. Stand/species-specific
2. Site-specific

واضح و مبرهن این است که در تودهٔ آمیختهٔ راش افزون‌بر درصد بیشتر آمیختگی گونه‌ای FWDs در طبقهٔ قطری زیادتر، انباشت چشمگیری از خشک‌دارها مشاهده نشده است. در واقع با توجه به روند وارونهٔ شیب برازش در تودهٔ آمیختهٔ راش، هم فراوانی کل توزیع قطر FWDs در تودهٔ آمیخته راش به نسبت کمتر از تودهٔ خالص راش بوده است و هم فراوانی طبقهٔ قطری اول و طبقهٔ قطری میانی قطر FWDs در تودهٔ آمیختهٔ راش به‌طور متناظر از فراوانی قطرهای طبقهٔ اول و دوم در تودهٔ خالص راش کمتر بوده است. این بدان معناست که برخلاف تصور در تودهٔ خالص راش با توجه به آمیختگی گونه‌ای کمتر، FWDs دارای انباشت بیشتری است که دلیل آن، ویژگی‌های فیزیولوژی درختان راش، تراکم بیشتر تاج‌پوشش توده‌های خالص راش و عدم دریافت نور و هرس طبیعی شاخه‌های جانبی و شاخه‌های ریز و همچنین ماندگاری بیشتر انباشت خشک‌دارهای راش به‌دلیل افزایش نسبت C/N و دیرتر تجزیه شدن آنهاست. در این زمینه نتایج آزمون t مستقل نیز نشان داد که بین طبقه‌های قطری متناظر در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش اختلاف واریانس معنی‌داری وجود ندارد. در واقع دامنهٔ اختلاف طبقه‌های قطری تعریف‌شده در توده‌های بررسی‌شده همگن است. البته با احتساب انباشته نشدن طبقهٔ قطور خشک‌دارها در تودهٔ آمیختهٔ راش، قابل انتظار بوده است که بین توزیع کل قطر در توده‌های مزبور اختلاف معنی‌دار وجود داشته باشد.

دستاورد اصلی پژوهش حاضر محاسبهٔ مقادیر QMD برای طبقه‌های مختلف قطر FWDs در توده‌های آمیخته و خالص راش در جنگل بررسی‌شده بوده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده و با استناد به جدول‌های ۱ و ۴، همان‌طور که مشهود است مقادیر QMD نسبت به مقادیر میانه و میانگین حسابی قطر خشک‌دارها در طبقه‌های قطری مختلف و در هر دو تودهٔ مورد پژوهش متفاوت بوده است. نتایج جالب توجه این بوده که مقادیر QMD به‌دست‌آمده برمبنای تخمین سطح منحنی برازش‌یافته نسبت به مقادیر میانگین حسابی و میانه عدد بیشتری را نشان داده است. طبق نتایج مشهود است که اختلاف مقدار عددی QMD در طبقهٔ دوم قطری در تودهٔ آمیخته راش زیاد بوده، ولی اختلاف‌های موجود در رابطه با بقیهٔ طبقه‌های قطری چه در تودهٔ خالص راش و چه در تودهٔ آمیختهٔ راش جزئی بوده است. از این‌رو اولین پرسشی که احتمال دارد در این زمینه مطرح شود این است که با توجه به اختلاف جزئی بین مقادیر QMD و دیگر میانگین‌های مقایسه‌شده، محاسبهٔ مقادیر آن برای هر طبقهٔ قطری چه لزومی دارد؟ باید متذکر شد که هدف اصلی محاسبهٔ مقادیر QMD خشک‌دارهای ریز کف جنگل، برآورد نهاده‌های بوم‌شناسی (Ecological Function) آنها آن‌هم با دقت هرچه بیشتر و کمترین عدم قطعیت است. یکی از این نهاده‌های بوم‌شناختی مقادیر موجودی کربن است که برآورد آن با دقت هرچه بیشتر بسیار حائز اهمیت است. با استناد به پژوهش Harmon et al. (2007) و همچنین Woodall & Liknes (2008) و با استناد به پروتکل ارائه‌شده در مستند Monleon (2009) & Woodall برای محاسبهٔ موجودی کربن خشک‌دارهای کف جنگل برمبنای روابط مبتنی بر ترانسکت، حاصل‌ضرب تعداد خشک‌دارها در هر طبقهٔ قطری (n_i) و مربع میانگین قطر (di^2) در همان طبقهٔ قطری، پارامتر محاسباتی تعیین‌کننده شناخته شده است. با این تفاسیر با محاسبه‌ای ساده و با احتساب پارامترهای محاسباتی دیگر در روابط معرفی‌شده در مستندات مذکور می‌توان دریافت که اختلاف جزئی مقادیر QMD با بقیهٔ میانگین‌ها، به اختلاف چندصد کیلوگرم تا چند تن موجودی کربن در هر هکتار و به‌تبع آن اختلاف چند ده تن ذخایر کربن در سطح یک پارسل یا چندصد تن از مقادیر موجودی کربن در سطح یک سری منجر خواهد شد. در بسیاری از مستندات بین‌المللی تأکید می‌شود که FWDs جنگل برخلاف ظاهر ناچیز آنها باید در مدیریت

جنگل‌شناسی و پروژه‌های کلان بوم‌شناسی به‌دلیل اهمیت بسیار زیاد آنها در حبس مقادیر کربن، جابه‌جایی کربن در لایه‌های معدنی و نقش مهم آنها در چرخهٔ کربن، افزایش مواد مغذی در بوم‌سازگان‌ها و برجستگی آنها در ارزیابی اقتصاد سبز مدنظر قرار گیرند (IPCC, 2003; Bessad et al., 2021; Korboulewsky et al., 2021; Lasota et al., 2022). بنابراین ضروری است که در برآورد ذخایر کربن این اجزای مهم و کاربردی بوم‌سازگان‌های طبیعی جنگل دقت لازم مبذول شود. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که با احتساب مقادیر QMD نه‌تنها مقادیر ذخایر کربن خشک‌دارهای کف جنگل با دقت و قطعیت بیشتری محاسبه می‌شود، بلکه جالب توجه است که استفاده از مقادیر مذکور، به برآورد خیلی بیشتر ذخایر کربن خشک‌دارهای مذکور در جنگل مورد پژوهش خواهد انجامید.

نتیجه‌گیری

دستاورد حاضر نشان داد که مبتنی بر آزمون‌های نکویی برازش، توزیع پاریتو تعمیم‌یافته و توزیع بتا در رابطه با تابع چگالی احتمال قطر FWDs به‌ترتیب در توده‌های خالص و آمیختهٔ راش دارای برازش بهینه نسبت به بقیهٔ توزیع‌های آماری بوده‌اند. جالب توجه این است که در تودهٔ آمیختهٔ راش، برازش توزیع توانی نسبت به توزیع بتا و بقیهٔ رتبه‌های دیگر توزیع‌های معرفی‌شده دارای انحراف زیادی نسبت به برازش بهینه بوده است. با این‌حال مبتنی بر برازش توزیع فراوانی مطلق قطر براساس مدل توانی، نتایج پژوهش حاضر نیز برمبنای مقادیر توجیه واریانس و اشتباه معیار تخمین حاصل از تجزیهٔ واریانس مدل نشان داد که فراوانی مطلق تابعی از قطرهای اندازه‌گیری‌شدهٔ FWDs جنگل یادشده بوده است. برمبنای تبدیل لگاریتمی مدل توانی برازش‌یافته در هر توده، نتایج حاکی از آن بوده است که پارامتر شیب مدل برازش‌یافته در تودهٔ خالص راش بیش از شیب مدل در تودهٔ آمیخته راش بوده است که نشان می‌دهد فراوانی FWDs در تودهٔ خالص راش افزون‌بر توزیع کل در طبقه‌های پایینی و میانی قطر نسبت به طبقه‌های متناظر قطر در تودهٔ آمیخته راش بیشتر بوده است. نتایج حاصل از انتگرال‌گیری و محاسبهٔ سطح زیر منحنی برازش‌یافته برای هر طبقهٔ قطری نشان داد که مقادیر QMD نسبت به بقیهٔ میانگین‌های قطر دارای مقدار عددی بیشتری است و در برآورد ذخایر کربن افزون‌بر افزایش و قطعیت دقت، سبب افزایش برآوردی موجودی کربن خشک‌دارهای مزبور در توده‌ها خواهد شد. باید تأکید کرد که مقادیر QMD به‌دست‌آمده مختص تودهٔ خالص راش و تودهٔ آمیخته با تیپ راش- ممرز در جنگل خیرودکنار است و نتایج آن به دیگر رویشگاه‌ها و توده‌های درختان با ترکیب گونه‌ای مختلف تعمیم‌پذیر نیست. از این‌رو با این نوع پژوهش در دیگر توده‌های آمیختهٔ راش با تیپ‌ها و آمیختگی‌های مختلف و به‌نسبت با تکرار مناسب در بقیهٔ رویشگاه‌های راشستان‌های شمال کشور می‌توان به نتایج جامعی در این زمینه دست یافت.

سپاسگزاری

نسخهٔ حاضر بخشی از دستاوردهای طرح پژوهشی مصوب با شمارهٔ طرح ۴۰۰۰۹۷۴ است که با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری انجام گرفت. از حمایت‌های صندوق در این زمینه سپاسگزاری می‌شود. همچنین از سرپرست محترم جنگل پژوهشی خیرودکنار و جناب آقای مهندس قمی برای هماهنگی و اجرای عملیات میدانی قدردانی می‌شود.

References

Assmann, T., Drees, C., Schröder, E., & Ssymank, A. (2007). Mythos Artenarmut Biodiversita¨t von Buchenwa¨ldern. *Naturforsch Landsch, 82*(9/10), 401–406.

Bessad, A., Bilger, I., & Korboulewsky, N. (2021). Assessing Biomass Removal and Woody Debris in Whole-Tree Harvesting System: Are the Recommended Levels of Residues Ensured?. *Forests*, *12*(6), p807. https://doi.org/10.3390/f12060807.

Cosmo, D.V., & Hyland, M. (2013). Carbon tax scenarios and their effects on the Irish energy sector. *Energy Policy, 59*, 404-414. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.055.

Curtis, R.O., & Marshall, D. (2000). Why quadratic mean diameter?. *Western Journal of Applied Forestry*, *15*(3), 137-139. https://doi.org/10.1093/wjaf/15.3.137.

Delcourt, C.J.F., & Veraverbeke, S. (2022). Allometric equations and wood density parameters for estimating aboveground and woody debris biomass in Cajander larch (Larix cajanderi) forests of Northeast Siberia. *Biogeosciences*, *6*, 1-29. https://doi.org/10.5194/bg-19-4499-2022.

Guo, L.B., Beck, E., & Gifford, R.M. (2006). Woody debris in a 16-year old Pinus radiata plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover. *Forest Ecology and management*, *228*(1-3), 145-151. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.043.

Harmon, M.E., Woodall, C.W., Fasth, B., & Sexton, J. (2007). *Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis*. Northern Research Station, *84*, 29.

IPCC, (2003). *Good practice guidance for land use, land use change and forestry*. Institute for Global Institute for Global Environmental Strategies, Hayama. <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf>

Lasota, J., Piaszczyk, W., & Blonska, E. (2022). Fine woody debris as a biogen reservoir in forest ecosystems. *Acta Oecologica*, *1*(115), 103822. https://doi.org/10.1016/j.actao.2022.103822.

Korboulewsky, N., Bilger, I., & Bessad, A. (2021). How to Evaluate Downed Fine Woody Debris ncluding Logging Residues?. *Forests*, *12*(7), 1-20. https://doi.org/10.3390/f12070881.

Rocha, J.H.T., Gonçalves, J.L.d.M., Brandani, C.B., Ferraz, A.d.V., Franci, A.F., Marques, E.R.G., Arthur Junior, J.C., & Hubner, A. (2018). Forest residue removal decreases soil quality and affects wood productivity even with high rates of fertilizer application. *Forest Ecology and management*, *430*, 188–195. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.010.

Sefidi, K., Marviemohajer, M.R., Modandle, R., & Copenheaver, C.A. (2013). Coarse and Fine Woody Debris in Mature Oriental Beech (Fagus orientalis Lipsky) forests of Northern Iran. *Natural Areas Journal*, *33*(3), 248- 255. https://doi.org/10.3375/043.033.0303.

Sefidi, K., Marviemohajer, M.R., & Etemad, V. (2014). Coarse and fine woody debris accumulation in mixed beech stands, Case study Gorazbon forests. *Journal of Forest Sustainable development*, *1*(2), 137-149. (In Persian)

Vahedi, A.A. (2016). Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy*, *88*, 66-76. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.020.

Van Wagner, C.E. (1968). The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, *14*(1), 20-26. https://doi.org/10.1093/forestscience/14.1.20.

Weiskittel, A.R., Hann, D.W., Kershaw Jr, J.A., & Vanclay, J.K. (2015). Forest growth and yield modeling. John Wiley & Sons (R. Akhavan & M. Namiranian, Trans.). Redlands: ESRI Press.

Woodall, C.W., & Liknes, G.C. (2008). Relationships between forest fine and coarse woody debris carbon stocks across latitudinal gradients in the United States as an indicator of climate change effects. *Ecological Indicators*, *8*(5), 686- 690. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.11.002.

Woodall, C.W., & Monleon V.J. (2009). Estimating the Quadratic Mean Diameter of Fine Woody Debris for Forest Type Groups of the United States. *In:McRoberts, R.E., et al. (Eds.), Proceedings of the Eighth Annual Forest Inventory and Analysis Symposium, October 16–19, 2006; Monterey, CA. Gen. Tech. Rep. WO-79. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, Forest Service*, 185–190.

Woodall, C.W., & Monleon, V.J. (2010). Estimating the quadratic mean diameters of fine woody debris in forests of the United States. *Forest Ecology and Management*, *260*(6), 1088–1093. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.036.

Woodall, C.W., Walters, B.F., Oswalt, S.N., Domke, G.M., Toney, C., & Gray, A.N. (2013). Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. *Forest Ecology and Management*, *305*, 48–59. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.030.

Zobeiri, M. (2002). *Forest Biometry*. Tehran University Press 2561, 411 pp. (In Persian)

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 2, Summer 2024
pp. 157-172
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2023.360214.1888

Graphical Estimation of the Quadratic Mean Diameter for fine Woody Debris in the Hyrcanian Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests of Kheiroodkenar, Nowshahr

A.A. Vahedi[1*], A. Fallah[2], and N. Nazariani[3]

[1]Assistant Prof., Natural resources Research Dept. Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran
[2] Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[3] Postdoctoral Researcher of Forestry, Dept. of Forestry, Faculty of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

(Received: 06 September 2022; Accepted: 20 February 2023)

Abstract

Introduction: Fine woody debris (FWDs) is considered as one of the prominent carbon sinks in forest ecosystems because of having chief roles for carbon cycle and green economy in association with their contribution for carbon sequestration. Therefore, estimating the FWDs carbon stock with high accuracy and certainty is essential in management. The goal of this study was to use quadratic mean diameter (QMD) of the FWDs in order to increase accuracy of their carbon storage estimation.

Material and Methods: The plots with areas of 20 × 20 m^2 were randomly located within one hectare of pure beech and mixed beech (Beech-hornbeam) stands in the Hyrcanian forests in Kheiroodkenar, Nowshahr. In line with the sides of square plots that were considered as transects (16 transects in total), the diameter of woody debris intersecting the transects was measured. Three diameter classes (including 1-2.5, 2.5-4.5, 4.5 -7.5 cm) were separated on the basis of diameter distribution in the stands. Using graphical estimation based on fitting power function of FWD diameter distribution, area under curve of each class was calculated to obtain QMD. The slope of linear logarithm model was used to calculate the area under curve of the stands that was obtained from logarithmic conversion of fitted power function.

Results: Considering the negative fitting slope in pure beech stands (b=-1.57) and mixed stands (b=-2.03), the results indicated higher frequency of FWD distribution within the diameter classes in pure beech stands. QMD values of each diameter class in each stand had higher values with no significant differences compared to arithmetic mean and median of diameter distribution. The values were 1.63, 3.47 and 5.73 cm in the predefined classes, respectively, in pure beech stand and were 1.57 and 3.36 cm in the first and second classes, respectively, in the mixed stand.

Conclusion: Although the difference was not significant, it is evident that the estimation of biomass and carbon stock using QMD values in computational relationships based on line transect (parameter obtained by multiplication of number of FWDs in each diameter class and square of QMDs) had higher precision and it is expected that in in large scales (compartment, district, division) show higher values.

Keywords: Carbon storage, Diameter distribution, Fine woody debris (FWDs), Kheiroodkenar beech forests, Power function, Quadratic mean diameter (QMD).

[*]Corresponding author Tel: +98 1144662465 Email: as.vahedi@areeo.ac.ir