

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل های هیرکانی

فاطمه بخشی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، علی اصغر واحدی^۳ و مجتبی ایمانی راستابی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (Faterebakshi19.9@gmail.com)
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (Fallaha2007@yahoo.com)
۳- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (ali.vahedi60@gmail.com)
۴- دکتری، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (m_imani_m@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز درختان بادافتاده ممرز در جهت طولی (در راستای طول تنه درخت) و جهت شعاعی (از مغز به پوست) چوب تنه انجام شد. از این رو از ۱۰ درخت بادافتاده ممرز در طبقات قطری ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ و درجه پوسیدگی مختلف (درجه ۱، ۲ و ۳) دیسک کامل تهیه شد. دیسکها در فواصل ۵، ۳۵ و ۶۵ درصد از طول تنه تهیه شدند. قطعات نمونه با حجم ثابت ۲×۲×۲ سانتی متر مکعب به نسبت ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از شعاعی دیسکها تکه برداری شده و جرم حجمی پایه و رطوبت سبز آنها به دست آمد. نتایج نشان داد که رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز در طبقات قطری مختلف با احتساب درجات پوسیدگی تفاوت معنی دار دارد. بیشترین میانگین مقادیر جرم حجمی پایه در فاصله ۵ درصد در راستای طولی و ۹۰ درصد در راستای شعاعی چوب تنه به ترتیب با ۰/۵۹ و ۰/۶۰ گرم بر سانتی متر مکعب و بیشترین میانگین مقادیر رطوبت سبز در ۹۰ درصد در راستای شعاعی به مقدار ۰/۶۵ و فاصله ۵ درصد در راستای طولی به مقدار ۰/۶۶ مشاهده شد. نتایج همبستگی نشان داد جرم حجمی پایه، بیشترین مقدار همبستگی معنی داری را با قطر برابر سینه و کمترین مقدار همبستگی معنی داری را با رطوبت سبز دارد.

واژه های کلیدی: جرم حجمی پایه، درجه پوسیدگی، رطوبت سبز، زی توده، طبقات قطری.

یکی از رایج‌ترین روش‌های محاسبه زی‌توده و موجودی کربن درختان، استفاده از رابطه حجم تنه، ضریب کربن و جرم حجمی چوب است (Vahedi and Mattagi, 2014). جرم حجمی چوب درختان یکی از مهم‌ترین متغیرها برای بررسی مقادیر تولید زی‌توده، موجودی کربن و ترسیب کربن محسوب می‌شود (Henry et al., 2010). مقادیر جرم حجمی بین اجزای مختلف درخت مانند ریشه، ساقه و شاخه‌ها دارای تفاوت است (Henry et al., 2010). به دلیل این‌که تنه بیش از ۸۰ درصد زی‌توده درخت را دارد (Vahedi, 2014) با محاسبه جرم حجمی تنه می‌توان زی‌توده درخت را تخمین زد. البته در اغلب پژوهش‌ها، موجودی کربن و یا ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی از طریق مشخصه‌های خاک اندازه‌گیری شده است (vatani et al., 2021; Parsapour et al., 2021; Zarafshar et al., 2021).

جرم حجمی چوب در راستای شعاعی و طولی تنه طی سال‌های رویش متغیر است (Henry et al., 2010). درختان تندرشد در مقایسه با درختان کند رشد دارای جرم حجمی چوب کمتری هستند (Pretzsch et al., 2018). در پژوهشی اشاره شده است که به ازای دو تا پنج متر از طول تنه درختان بلوط بلندمازو تغییرات شعاعی جرم حجمی مشاهده شد، اما در راستای طولی تفاوتی وجود نداشت (Vahedi and Mattagi, 2014). در پژوهش دیگری نتیجه گرفته شد که جرم حجمی چوب درخت *Gmelina arborea* در راستای تغییرات طولی از محل کنده تا نصف ارتفاع کل دارای روند کاهشی است و به سمت انتهای تنه روند افزایشی دارد (Espinoza, 2004). همچنین بیان شد که جرم حجمی چوب در راستای طولی تنه با توجه به شکل درخت در قالب

ضریب شکل تنه دارای تفاوت معنی‌دار است (Navar, 2009). البته توجه به درجه پوسیدگی در تعیین زی‌توده درختان و بررسی اثر آن بر جرم حجمی درختان دارای اهمیت است. نرخ پوسیدگی برای درختان ممرز به مقدار ۰/۱۸۲ ثبت شده است (Alidadi, 2014). در پژوهش‌های مختلف مشخص شده است که جرم حجمی چوب راش در سال‌های مختلف تحت تأثیر معنی‌دار پوسیدگی تنه قرار می‌گیرد و رابطه معکوس بین درجه پوسیدگی و جرم حجمی چوب راش وجود دارد (Sefidi, 2016; Alidadi, 2014). الگوی خاصی برای تغییرات جرم حجمی تنه و کنده درخت در طول فرآیند پوسیدگی وجود دارد به این صورت که دامنه از دست دادن جرم حجمی با افزایش درجه پوسیدگی کاهش می‌یابد (Tobin et al., 2006). به طور کلی نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داد است که جرم حجمی چوب با افزایش درجات پوسیدگی کاهش می‌یابد (Tobin, 2006).

دقیق‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقادیر مختلف موجودی کربن در زی‌توده گیاهی، قطع و توزین است که این روش بسیار هزینه‌بردار، محدود به مقیاس خیلی کوچک و در ایران در حال حاضر به دلیل طرح تنفس قابل اجرا نیست. با توجه به این موضوع و به دلیل عدم قطع و اندازه‌گیری درختان سرپا روش‌های نیمه‌تخریبی و با دقت زیاد بهترین و ساده‌ترین جایگزین محسوب می‌شود. در پژوهش‌های مختلف استفاده از خشکه‌دار برای اندازه‌گیری مقادیر زی‌توده و موجودی کربن استفاده شده است (Sefidi, 2016; Alidadi, 2014; Tobin, 2006). این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات جرم حجمی پایه چوب در قسمت شعاعی و طولی تنه درختان افتاده ممرز انجام شد. استفاده از درختان افتاده با در نظر گرفتن درجه پوسیدگی آن‌ها می‌تواند برآورد دقیقی از زی‌توده را

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل‌های هیرکانی

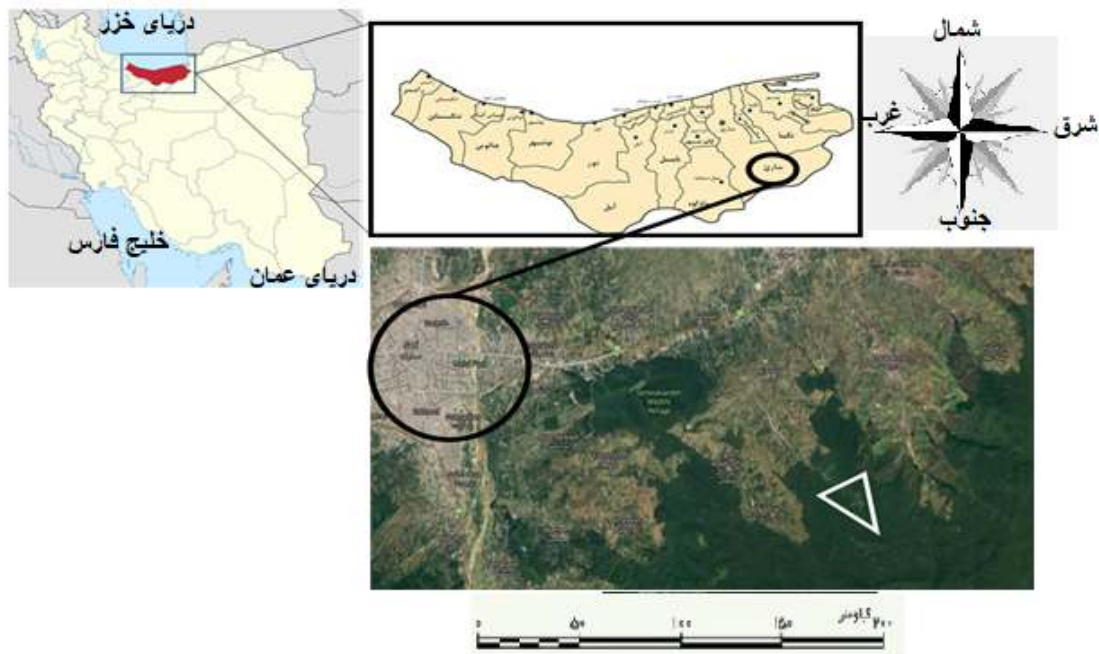
فراهم کند که اطلاعات به دست آمده برای مدیریت و حفاظت جنگل‌ها می‌تواند کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این بررسی در سری یک جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در دارابکلا از توابع شهرستان ساری در حوزه آبخیز ۷۴ جنگل‌های شمال ایران انجام شده است. این سری بین طول جغرافیایی $36^{\circ} 28'$ الی $36^{\circ} 33'$ و عرض جغرافیایی $52^{\circ} 31'$ الی $52^{\circ} 36'$ واقع شده و مساحت آن ۲۶۱۲ هکتار است. دامنه ارتفاعی آن ۱۸۰-۸۷۴ متر از سطح دریا است. جهت عمومی منطقه، شمالی و شمال غربی است. درجه حرارت در فصول مختلف سال متغیر

بوده و در روزهای گرم ماه‌های تیر و مرداد بیشینه مطلق درجه حرارت به ۲۸ درجه سانتی‌گراد و در روزهای سرد ماه‌های دی و بهمن به صفر تا ۳ درجه سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسد. به‌طور کلی میانگین بارندگی به‌میزان ۷۵۰-۷۰۰ میلی‌متر در سال برآورد شده که گاهی ریزش در ارتفاعات به‌صورت برف دیده می‌شود. منطقه دارای سنگ‌های مادر آهکی، مارنی همراه با ماسه سنگ آهکی است و بررسی زمین‌شناسی نیز حکایت از گسترش مارن‌ها به‌عنوان سنگ غالب منطقه دارد. همچنین نوع بافت خاک آن اغلب کمی سنگین (رسی-لومی) تا سنگین (سیلتی-رسی) است.



شکل ۱- نمای کلی از منطقه مورد بررسی

Figure 1. Overview of the study area

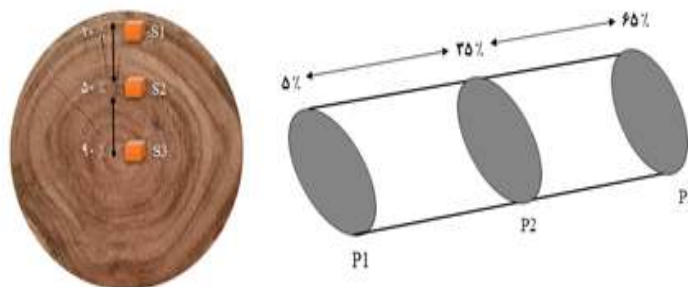
۲ و ۳ (Kimberley et al., 2019) در دامنه قطری ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتی‌متر انتخاب شدند. تمام ویژگی‌های زیست‌فیزیکی درختان اعم از طول و

روش پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها

برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در سطح جنگل ۱۰ درخت افتاده ممرز از کلاسه پوسیدگی با درجه ۱،

مربوط به قطر برابر سینه گونه مورد بررسی است (Machado et al., 2014). سپس برای بررسی جرم حجمی پایه چوب در جهت شعاعی از هر دیسک به ازای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از طول شعاع در جهت شعاعی از مغز چوب به سمت پوست (شکل ۲) - تکه برداری شد (Machado et al., 2014). نمونه‌های تکه برداری شده دارای ابعاد مشخص با حجم $2 \times 2 \times 2$ سانتی‌متر مکعب است (واحدی و متاجی، ۱۳۹۲؛ واحدی، ۱۳۹۳). پس از تهیه نمونه‌ها با کمک ترازو دیجیتالی وزن اولیه آن‌ها توزین و کلیه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و مجدد توزین شدند (Henry et al., 2010). قابل ذکر است که نمونه‌ها به نزدیک‌ترین چوب‌بری در فاصله ۱۰ کیلومتری جنگل منتقل و به ابعاد مشخص تهیه شدند و وزن تر آن‌ها در کوتاه‌ترین زمان اندازه‌گیری شد.

قطر برابر سینه آن‌ها برای برآورد دقیق حجم اندازه‌گیری شد. قابل ذکر است که در این پژوهش درختان افتاده از یک گرادیان ارتفاعی انتخاب شده تا اثر شرایط محیطی و رویشگاهی بر صفات مورد بررسی خنثی شود. پس از اندازه‌گیری شاخص‌های ذکر شده برای برآورد دقیق جرم حجمی پایه چوب، تنه را در راستای طولی و شعاعی مورد بررسی قرار دادیم. برای بررسی جرم حجمی پایه چوب در جهت طولی در راستای طول تنه، دیسک‌هایی با ابعاد ثابت به ضخامت دو سانتی‌متر (واحدی و متاجی، ۱۳۹۲؛ Henry et al., 2010) توسط ارموتوری برداشت شد. دیسک‌های مذکور به ازای ۵، ۳۵ و ۶۵ درصد از طول تنه (شکل ۲) برداشت شد (Machado et al., 2014). قابل ذکر است که دیسک‌های مربوط به ۵ درصد از طول تنه، به‌طور قراردادی معادل قطر برابر سینه درختان است در نتیجه دیسک‌های قسمت اولیه تنه



شکل ۲- محل تهیه دیسک و نمونه در راستای طولی و شعاعی چوب

Figure 2 - The location of the disk and the vertical and radial samples of wood

هنوز شاخه و برگ‌های سبز بر روی تاج درخت قابل مشاهده است، (۲): در این نوع پوسیدگی درون چوب مشخص است، در بیشتر موارد پوست درخت نیز موجود است و شاخه و برگ‌های سبز بر روی تاج باقی نمانده است، (۳): تمام یا قسمتی از درون چوب وجود دارد، پوست درخت پوسیده شده است و سرشاخه‌ها کنده شده‌اند، (۴): پوست درخت و

رطوبت سبز هر یک از نمونه‌ها از نسبت تفاوت وزن تر و وزن خشک به وزن خشک (Henry et al., 2010) به دست آمد. همچنین جرم حجمی هر یک از نمونه‌ها از نسبت وزن خشک به حجم تر محاسبه شد (Henry et al., 2010). برای تعیین درجه پوسیدگی از روش (Kimberley et al., 2019) با کلاس‌های (۱): درخت تازه افتاده، پوست و چوب درخت سالم است،

اثر برهم‌کنش سه گانه بین پایه درختی، جهت طولی و جهت شعاعی در رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب تفاوت معنی‌دار از خود نشان نداد.

نتایج آزمون مقایسه میانگین جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در جهت شعاعی و طولی در شکل ۳ آمده است. نتایج مقایسه میانگین تغییرات رطوبت و جرم حجمی پایه چوب نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب در جهت طولی به ترتیب مربوط به پنج درصد ابتدایی طول تنه و بخش انتهایی تنه است. کمترین و بیشترین جرم حجمی پایه چوب به ترتیب به مقدار ۰/۵۵ و ۰/۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جهت شعاعی مشاهده شد. بیشترین مقدار جرم حجمی پایه چوب تنه در ۵ درصد ابتدایی طول تنه و کمترین مقدار مربوط به ۶۵ درصد از طول تنه به ترتیب به مقدار ۰/۵۹ و ۰/۵۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شد. نتایج نشان داد که جرم حجمی پایه چوب از بن تنه به سمت نوک تنه کاهش یافت. همچنین جرم حجمی پایه چوب از مرکز جهت شعاعی به سمت پوست چوب روند افزایشی داشت.

نتایج رطوبت سبز نشان داد که بیشترین رطوبت سبز در جهت شعاعی به مقدار ۰/۶۵ در قسمت نزدیک به پوست (S1) و کمترین میانگین رطوبت سبز به مقدار ۰/۶۳ در بخش مغز چوب (S3) وجود داشت. روند تغییرات رطوبت سبز در جهت طولی نشان داد که بیشترین و کمترین رطوبت سبز چوب به ترتیب در ۵ درصد ابتدایی طول تنه (P1) به مقدار ۰/۶۶ و قسمت ۶۵ درصد از طول تنه (P3) به مقدار ۰/۶۲ وجود داشت. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت سبز از ابتدای تنه به سمت انتهایی تنه کاهش می‌یابد و روند آن از نزدیک به پوست به سمت نزدیک به مغز افزایشی است.

درون‌چوب به‌طور کامل پوسیده شده است و در بیشتر موارد شکل اصلی خود را از دست داده است البته به آسانی در مقابل ضربه به حالت پودری در می‌آیند و (۵): پوست درخت و درون‌چوب به‌طور کامل پوسیده شده و گاهی به‌طور کلی به هوموس تبدیل شده است همچنین پوشش علفی به‌طور کامل در آنجا مستقر شده است، استفاده شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (-Kolmogrov Smirnov) مورد بررسی قرار گرفت. همگن بودن واریانس داده‌ها به وسیله آزمون همگنی واریانس (Levene's Test) بررسی شد. برای مقایسه مقادیر مختلف جرم حجمی پایه چوب در راستای طولی و شعاعی در یک پایه و بین پایه‌ها از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش حداقل میانگین توکی استفاده شد. با استناد بر خروجی داده‌ها از آزمون همبستگی پیرسون برای ارتباط بین متغیرهای جرم حجمی پایه و رطوبت سبز با قطر و ارتفاع درخت و آزمون همبستگی اسپرمن برای تجزیه ارتباط بین متغیرهای درجه پوسیدگی و دیگر متغیرها استفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل آماری در نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و برای بررسی روابط برهم‌کنش متغیرها از نرم‌افزار GenStat استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس تغییرات طولی و شعاعی رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب تنه درختان ممرز در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد که تغییرات رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب بین پایه‌های درختی، طولی و شعاعی در سطح یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.001$). همچنین اثر برهم‌کنش دوگانه بین جهت طولی و جهت شعاعی و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تغییرات طولی و شعاعی رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز
Table 1. ANOVA results of vertical and radial changes in green moisture content and trunk basic density of hornbeam trees

| جرم حجمی پایه | | | رطوبت سبز | | | منبع تغییرات S.O. V |
|--|-------------------------|---------------------|--|-------------------------|---------------------|--|
| Basic density | | | Green moisture content | | | |
| آماره F و معنی داری F & p value | میانگین مربعات MS | درجه آزادی df | آماره F و معنی داری F & p value | میانگین مربعات MS | درجه آزادی df | |
| 51.32** | 0.0576 | 9 | 26.28** | 0.0025 | 9 | پایه‌های درختی Tree individuals |
| 9.06** | 0.0101 | 2 | 34.69** | 0.0337 | 2 | جهت طولی Vertical section |
| 52.41** | 0.0588 | 2 | 7.09** | 0.0068 | 2 | جهت شعاعی Radial section |
| 6.77** | 0.0076 | 18 | 12.63** | 0.0122 | 18 | پایه درختی × جهت طولی Tree individual × Radial section |
| 10.55** | 0.0118 | 18 | 0.39 ^{ns} | 0.0033 | 18 | پایه درختی × جهت شعاعی Tree individual × Vertical section |
| 0.44 ^{ns} | 0.0004 | 4 | 0.42 ^{ns} | 0.0039 | 4 | جهت طولی × جهت شعاعی Vertical section × Radial section |
| 0.56 ^{ns} | 0.0030 | 36 | 0.23 ^{ns} | 0.0018 | 36 | پایه درختی × جهت طولی × جهت شعاعی Vertical section × Radial section × Tree individual |
| - | 0.001 | 180 | - | 0.001 | 180 | خطا Error |
| - | 5.73 | - | - | 4.85 | - | ضریب تغییرات CV |

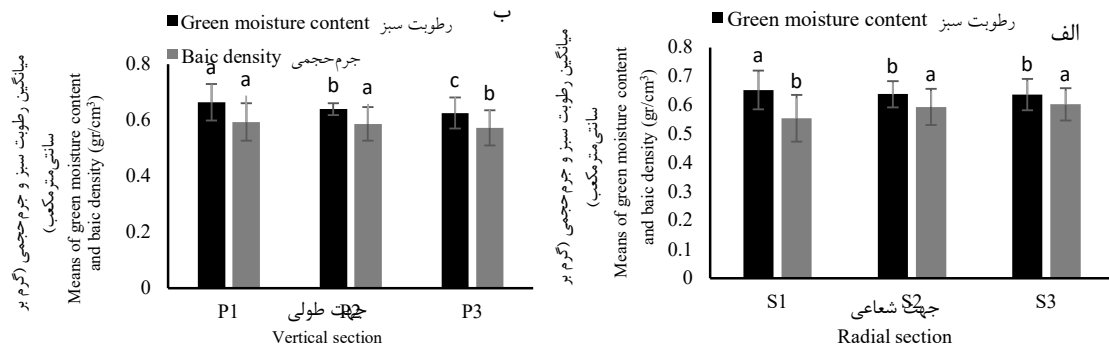
^{ns} تفاوت معنی دار وجود ندارد، * تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد و ** تفاوت معنی دار در سطح یک درصد

^{ns} There is no significant difference, * significant difference at the 5% level and ** significant difference at the 1% level

قطری مورد بررسی در شکل ۴ آمده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت سبز در تنه درختانی با درجه پوسیدگی سه با میانگین ۶۵/۸۴ درصد و کمترین مقدار رطوبت سبز به مقدار ۶۰/۱۸ درصد در تنه درختان با درجه یک پوسیدگی مشاهده شد. همچنین بیشترین جرم حجمی پایه در کلاسه پوسیدگی یک به مقدار ۵۹/۵۴ درصد و کمترین در کلاسه یک به مقدار ۵۵/۷۵ درصد مشاهده شد.

نتایج آزمون تجزیه واریانس رطوبت سبز و جرم حجمی پایه در سه درجه پوسیدگی و سه کلاسه قطری پایه‌های درختی در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد که رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز در طبقات قطری مختلف و با درجه پوسیدگی‌های مختلف به احتمال ۹۹ درصد دارای تفاوت معنی دار است. ($P < 0.001$)

نتایج آزمون مقایسه میانگین جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در درجه‌های پوسیدگی مختلف و طبقات



شکل ۳- آزمون مقایسه میانگین رطوبت سبز و جرم حجمی پایه چوب در جهت شعاعی (الف) و جهت طولی (ب). حروف انگلیسی مشترک روی نمودار بیانگر عدم معنی داری است و حروف برای هر مشخصه جداگانه محاسبه شده است. P1، P2، P3 به ترتیب ۵، ۳۵ و ۶۵ درصد از طول تنه و S1، S2، S3 به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد از طول شعاع جهت شعاعی تنه. رطوبت سبز به صورت ضریب ارائه شده که برای درصد رطوبت سبز، ضریب در ۱۰۰ ضرب شود.

Figure 3. Comparison test of the average green moisture content and basic density of wood in the radial section (A) and vertical section (B). Common English letters on the chart indicate insignificance, and the letters are calculated for each feature separately. P1, p2 and p3 are 5, 35 and 65% of the trunk length, respectively, and s1, s2 and s3 are 10, 50 and 90% of the trunk cross-sectional radius, respectively. Green moisture content is presented as a coefficient that is multiplied by 100 for the percentage of moisture.

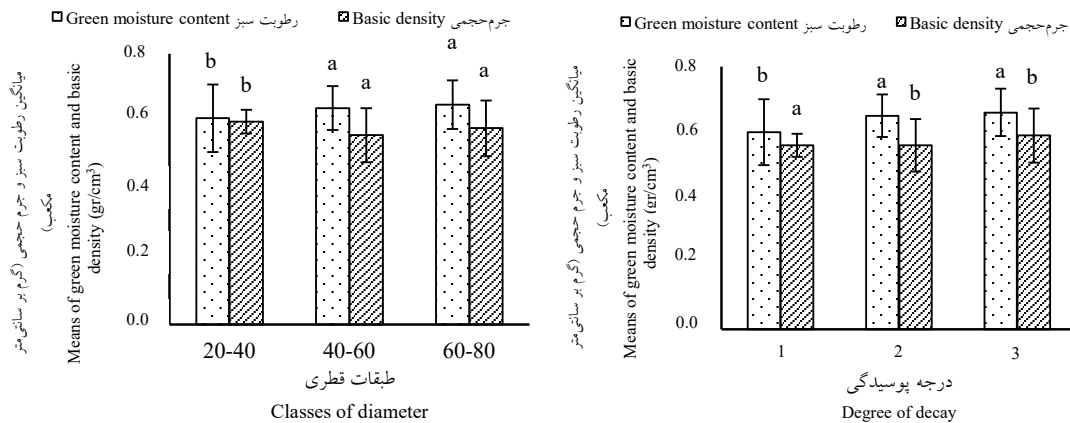
جدول ۴- تجزیه واریانس رطوبت سبز و جرم حجمی پایه در کلاسه‌های قطری و درجات پوسیدگی

Table 4. Analysis of variance of green moisture content and basic density in diameter classes and decay degrees

| منبع تغییرات S.O. V | جرم حجمی پایه Basic density | | رطوبت سبز Green moisture content | | F و معنی داری F & p value | درجه آزادی df | میانگین MS | |
|--|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------------|------------------|---------------|-----|
| | میانگین MS | درجه آزادی df | F و معنی داری F & p value | میانگین MS | | | | |
| کلاسه قطری Class of diameter خطا Error کل Total | 11.63** | 2 | 12.24** | 0.0717 | 5.03** | 2 | 0.1066 | |
| | 1.2244 | 267 | 0.7626 | 0.7712 | | | 0.0004 | 267 |
| | 1.3310 | 269 | 0.8543 | 0.8493 | | | 0.0030 | 269 |
| ضریب تغییرات = 8.43 CV | ضریب تغییرات = 11.58 | | ضریب تغییرات = 8.37 | | ضریب تغییرات = 5.73 | | CV | |
| درجه پوسیدگی Degree of decay خطا Error کل Total | 5.03** | 2 | 13.52** | 0.0780 | 0.0030 | 269 | 0.0118 | |
| | 0.0004 | 267 | 0.7712 | 0.7712 | | | 0.0004 | 267 |
| | 0.0030 | 269 | 0.8493 | 0.8493 | | | 0.0030 | 269 |
| ضریب تغییرات = 8.37 CV | ضریب تغییرات = 5.73 | | ضریب تغییرات = 8.37 | | ضریب تغییرات = 5.73 | | CV | |

** تفاوت معنی دار در سطح یک درصد

**Significant difference at the level of one percent



شکل ۴- مقایسه میانگین جرم‌حجمی پایه و رطوبت سبز چوب تنه در درجات مختلف پوسیدگی و طبقات قطری. رطوبت سبز به صورت ضریب ارائه شده که برای درصد رطوبت، ضریب در ۱۰۰ ضرب شود.

Figure 6. Comparison of average basic density and green moisture content of trunk wood in different degrees of decay and diameter classes. Green moisture content is presented as a coefficient that is multiplied by 100 for the percentage of moisture.

تنه درختان ممرز آمده است. نتایج آزمون‌های مقایسه میانگین به روش توکی نشان داد که بین کلیه مقادیر میانگین جرم حجمی و رطوبت سبز تحت تأثیر طبقات قطری و درجه پوسیدگی مختلف اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

در جدول ۷ میانگین رطوبت سبز در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز در درجات پوسیدگی و طبقات قطری مختلف مورد بررسی آمده است. نتایج نشان داد که اختلاف طبقات قطری و درجات پوسیدگی اثر معنی‌داری بر رطوبت سبز در راستای شعاعی نداشته است. در راستای طولی تنه تفاوت معنی‌داری بین رطوبت سبز در راستای طولی تنه درختان ممرز در درجات مختلف پوسیدگی مشاهده شد. به طوری که بیشترین و کمترین میانگین رطوبت سبز به ترتیب در فاصله پنج درصد (قطر برابر سینه) و در فاصله ۶۵ درصد از سطح زمین به مقدار ۰/۶۷ و ۰/۶۲ مشاهده شد. اما با تغییر طبقه قطری، اختلاف معنی‌دار بین رطوبت سبز در راستای طولی تنه مشاهده نشد.

آزمون مقایسه میانگین‌های جرم‌حجمی پایه در طبقات قطری نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار در کلاسه‌های ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب با ۶۰/۹۵ و ۵۶/۱۲ درصد مشاهده شد. همچنین در طبقات قطری ۶۰-۸۰ سانتی‌متر میانگین جرم‌حجمی پایه برابر با ۵۸/۹۴ درصد مشاهده شد. بیشترین و کمترین رطوبت سبز در کلاسه قطری ۶۰-۸۰ سانتی‌متری و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری به ترتیب با ۶۵/۸۳ و ۶۱/۸۳ درصد مشاهده شد.

با توجه به جدول ۵، نتایج تجزیه و تحلیل واریانس یکطرفه با توجه به تغییرات رطوبت سبز و جرم‌حجمی پایه نشان داد که جرم‌حجمی پایه در راستای طولی و شعاعی در طبقات قطری مورد بررسی دارای تفاوت معنی‌دار نیستند ($P > 0.05$). البته رطوبت سبز در جهت طولی با تغییر درجه پوسیدگی، تفاوت معنی‌دار نشان داد ($P > 0.05$) اما در شعاعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۶ کمترین و بیشترین مقدار فراوانی و میانگین جرم‌حجمی پایه در راستای طولی و شعاعی

روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی تنه درختان ممرز (*Carpinus betulus* L.) در جنگل‌های هیرکانی

جدول ۵- تجزیه و تحلیل واریانس تغییرات شعاعی و طولی جرم حجمی پایه و رطوبت سبز با توجه به درجات پوسیدگی و طبقات قطری

Table 5. ANOVA of radial and vertical changes in basic density and green moisture content with respect to decay degrees and diameter classes

| درجه پوسیدگی Degree of decay | | طبقات قطری Class of diameter | | منبع تغییرات S.O. V |
|--|----------------------|--|----------------------|---|
| آماره F و سطح معنی داری F & p value | میانگین مربعات MS | آماره F و سطح معنی داری F & p value | میانگین مربعات MS | |
| 1.02 ^{ns} | 0.003 | 0.64 ^{ns} | 0.001 | جرم حجمی پایه Basic density |
| 1.58 ^{ns} | 0.004 | 0.73 ^{ns} | 0.001 | جرم حجمی پایه در جهت طولی Basic density in vertical section |
| 2.59* | 0.004 | 2.14 ^{ns} | 0.003 | جرم حجمی پایه در جهت شعاعی Basic density in radial section |
| 1.64 ^{ns} | 0.001 | 1.53 ^{ns} | 0.003 | رطوبت سبز Green moisture content |
| | | | | رطوبت سبز در جهت طولی Green moisture content in vertical section |
| | | | | رطوبت سبز در جهت شعاعی Green moisture content in radial section |

ns و * به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح پنج درصد.

^{ns} There is no significant difference, * significant difference at the 5% level and ** significant difference at the 1% level

جدول ۶- میانگین (± اشتباه معیار) جرم حجمی پایه در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز

Table 6. Mean (± standard error) basic density in the radial and vertical directions of hornbeam tree trunks

| درجه پوسیدگی Degree of decay | | | طبقات قطری Class of diameter | | | متغیر |
|---------------------------------|---------------|--------------|---------------------------------|---------------|--------------|--|
| میانگین Mean | بیشینه Max | کمینه Min | میانگین Mean | بیشینه Max | کمینه Min | |
| 0.55 ^a ± 0.03 | 0.63 | 0.36 | 0.58 ^a ± 0.02 | 0.63 | 0.51 | راستای شعاعی vertical section |
| 0.60 ^a ± 0.09 | 0.66 | 0.47 | 0.57 ^a ± 0.07 | 0.63 | 0.51 | جرم حجمی پایه در فاصله ۱۰ درصد Basic density in 10% of radial section |
| 0.60 ^a ± 0.03 | 0.64 | 0.56 | 0.57 ^a ± 0.01 | 0.63 | 0.41 | جرم حجمی پایه در فاصله ۵۰ درصد Basic density in 50% of radial section |
| | | | | | | جرم حجمی پایه در فاصله ۹۰ درصد Basic density in 90% of radial section |

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد است.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level.

ادامه جدول ۶.

Continued table 6.

| درجه پوسیدگی | | | طبقات قطری | | | متغیر |
|--------------------------|--------|-------|--------------------------|--------|-------|--|
| Degree of decay | | | Class of diameter | | | |
| میانگین | بیشینه | کمینه | میانگین | بیشینه | کمینه | |
| Mean | Max | Min | Mean | Max | Min | |
| | | | | | | راستای طولی vertical section |
| 0.59 ^a ± 0.04 | 0.66 | 0.47 | 0.61 ^a ± 0.04 | 0.66 | 0.56 | جرم حجمی پایه در فاصله ۵ درصد Basic density in 5% of vertical section |
| 0.58 ^a ± 0.07 | 0.66 | 0.45 | 0.59 ^a ± 0.03 | 0.66 | 0.56 | جرم حجمی پایه در فاصله ۳۵ درصد Basic density in 35% of vertical section |
| 0.57 ^a ± 0.04 | 0.63 | 0.47 | 0.59 ^a ± 0.04 | 0.63 | 0.56 | جرم حجمی پایه در فاصله ۶۵ درصد Basic density in 65% of vertical section |

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level.

جدول ۷- میانگین (± اشتباه معیار) رطوبت سبز در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز

Table 7. Mean (± standard error) green moisture content in radial and vertical direction of hornbeam tree trunks

| درجه پوسیدگی | | | طبقات قطری | | | متغیر |
|--------------------------|--------|-------|--------------------------|--------|-------|---|
| Degree of decay | | | Class of diameter | | | |
| میانگین | بیشینه | کمینه | میانگین | بیشینه | کمینه | |
| Mean | Max | Min | Mean | Max | Min | |
| | | | | | | راستای شعاعی vertical section |
| 0.66 ^a ± 0.04 | 0.73 | 0.60 | 0.66 ^a ± 0.04 | 0.73 | 0.60 | جرم حجمی پایه در فاصله ۱۰ درصد Moisture in 10% of radial section |
| 0.64 ^a ± 0.02 | 0.67 | 0.60 | 0.65 ^a ± 0.05 | 0.75 | 0.59 | جرم حجمی پایه در فاصله ۵۰ درصد Moisture in 50% of radial section |
| 0.64 ^a ± 0.03 | 0.68 | 0.58 | 0.64 ^a ± 0.05 | 0.72 | 0.57 | جرم حجمی پایه در فاصله ۹۰ درصد Moisture in 90% of radial section |
| | | | | | | راستای طولی vertical section |
| 0.67 ^a ± 0.05 | 0.76 | 0.62 | 0.66 ^a ± 0.06 | 0.76 | 0.60 | جرم حجمی پایه در فاصله ۵ درصد Moisture in 5% of vertical section |
| 0.64 ^a ± 0.02 | 0.67 | 0.60 | 0.64 ^a ± 0.03 | 0.67 | 0.57 | جرم حجمی پایه در فاصله ۳۵ درصد Moisture in 35% of vertical section |
| 0.62 ^a ± 0.04 | 0.72 | 0.57 | 0.63 ^a ± 0.03 | 0.72 | 0.57 | جرم حجمی پایه در فاصله ۶۵ درصد Moisture in 65% of vertical section |

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Similar letters in each column indicate no significant difference at the 5% level.

نتایج همبستگی بین قطر برابر سینه، طول درخت، رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز در جدول ۸ آمده است. نتایج نشان داد که بین تغییرات جرم حجمی پایه در راستای شعاعی و طولی نسبت به متغیرهای قطر برابر سینه و طول درخت همبستگی معنی داری وجود ندارد. البته همبستگی منفی و معنی داری در سطح معنی داری پنج درصد ($P < 0.05$) بین جرم حجمی پایه در راستای طولی و شعاعی به ترتیب با ضرایب $r = -0.866^*$ و $r = -0.866^*$ با درجه پوسیدگی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بین طول درخت و قطر برابر سینه و رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی همبستگی معنی داری وجود ندارد ($P < 0.05$). اما همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد ($P < 0.01$) بین رطوبت سبز در راستای طولی و شعاعی به ترتیب با ضرایب $r = -0.9467^*$ و $r = -0.9045^*$ با درجه پوسیدگی مشاهده شد.

جدول ۸- همبستگی پیرسون و اسپیرمن بین رطوبت سبز و جرم حجمی پایه تنه درختان ممرز و متغیرهای مورد بررسی
Table 8. Pearson and Spearman correlation between green moisture content and trunk basic density of hornbeam trees and studied variables

| همبستگی اسپیرمن | | همبستگی پیرسون | | |
|----------------------|--|-----------------------|-----------------------|--|
| Spearman correlation | | Pearson correlation | | |
| درجات پوسیدگی | | طول درخت | قطر برابر سینه | |
| Degrees of decay | | Length of tree | DBH | |
| -0.866* | | 0.3137 ^{ns} | 0.1455 ^{ns} | جرم حجمی پایه در جهت شعاعی Radial basic density |
| -0.866* | | 0.2241 ^{ns} | 0.4765 ^{ns} | جرم حجمی پایه در جهت طولی Vertical basic density |
| 0.9045** | | -0.5618 ^{ns} | -0.4138 ^{ns} | رطوبت سبز در جهت شعاعی Radial green moisture content |
| 0.9467** | | -0.4365 ^{ns} | -0.4131 ^{ns} | رطوبت سبز در جهت طولی Vertical green moisture content |

^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح پنج و یک درصد.

^{ns} There is no significant difference, * significant difference at the 5% level and ** significant difference at the 1% level

بحث

ترسیب کربن و بررسی عملکرد کیفیت چوب درختان پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است. برخی پژوهش‌ها تغییرات جرم حجمی در راستای طولی و شعاعی تنه را معنی دار دانستند (Navar, 2009) و برخی پژوهش‌ها عدم معنی داری جرم حجمی در راستای طولی و شعاعی تنه را نتیجه گرفتند (Rassam and Doosthoseini, 2002; Epinoza, 2004). در پژوهش حاضر تفاوت معنی داری در سطح یک درصد ($P < 0.001$) بین پایه‌های درختی ممرز مشاهده شد که این مسئله قابل بحث است. جرم حجمی چوب تحت

تغییرات جرم حجمی چوب درختان از پایین به سمت بالا و یا از مغز به سمت پوست می‌تواند بر یکنواختی کیفیت چوب درختان تجاری مانند راش و ممرز تأثیر بگذارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که همان‌طور انتظار می‌رفت، تغییرات رطوبت سبز چوب و جرم حجمی پایه تنه در راستای شعاعی و طولی تنه درختان ممرز دارای تغییرات معنی دار است. در ارتباط با روند تغییرات شعاعی و طولی جرم حجمی پایه با اهداف مختلف مانند اندازه‌گیری زی‌توده، اندازه‌گیری

گونه مختلف در مناطق استوایی و نیمه استوایی، گزارش شده است که در تعداد زیادی از گونه‌ها هر دو جنگل، جرم‌حجمی به‌طور قابل توجهی به‌سمت پوست افزایش می‌یابد و در تعداد زیادی از گونه‌ها جرم‌حجمی کاهش می‌یابد که در این الگو روند مورد توافقی وجود ندارد (Heitz et al., 2013). البته در پژوهشی روند تغییرات جرم‌حجمی جهت شعاعی چوب تنه درختان بلوط را به‌صورت سینوسی گزارش کردند (Vahedi and Mattagi, 2014). علت اصلی اختلاف ابعادی چوب بین مغز و پوست چوب را به دلیل وجود حجم جوان چوب در ناحیه نزدیک به مغز و حجم بالغ چوب در ناحیه نزدیک به پوست بیان شده است (Hassanpoor et al., 2020). افزایش جرم‌حجمی و ابعاد الیاف در محور شعاعی درخت می‌تواند در نتیجه وجود مقدار زیاد چوب جوان در محدوده مغز و در مراحل اولیه رشد درخت باشد.

در این پژوهش نتایج حاصل از اندازه‌گیری رطوبت سبز تنه نشان داد که تغییرات رطوبت سبز در راستای شعاعی روند افزایشی داشته و از مغز به‌سمت پوست به رطوبت سبز افزوده شده است. همچنین در بررسی تغییرات رطوبت سبز در راستای طولی، مقدار رطوبت سبز در قسمت پایین تنه کمتر از قسمت بالا بوده است. در پژوهشی میانگین رطوبت چوب در محور شعاعی تقریباً یکنواخت و در قسمت ابتدا میانی و انتهای تنه به ترتیب ۴۵ تا ۵۷، ۴۷ تا ۶۶ و ۶۰ تا ۷۰ درصد گزارش شد و مقدار رطوبت در محور طولی از پایین تنه به سمت بالا روند افزایشی داشت (Rassam and Doosthoseini, 2002). در پهن‌برگان اختلاف رطوبت درون چوب و برون چوب چندان بارز نیست (Panshin and Zeeuw, 1980). معمولاً جرم ویژه در چوب پهن‌برگان پراکنده آوند در محور شعاعی تغییرات کمی دارد (Panshin and Zeeuw, 1980).

تأثیر عوامل مختلفی مانند ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب زمین و شرایط اداکیکی (Dosthoseini and Parsapajouh, 1996)، ژنوتیپ، سرعت رشد و سن کامبیوم قرار دارد (Panshin and Zeeuw, 1980). باتوجه به اینکه پایه‌های درختی از یک طبقه ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت جغرافیایی و حتی خاکی انتخاب شدند تا اثرهای محیطی تا حد امکان خنثی شود اما این سطح از معنی‌داری می‌تواند به سرشت گونه‌ای ممرز مرتبط باشد.

در این پژوهش، جرم‌حجمی پایه در راستای طولی از ابتدا به سمت انتهای تنه روند کاهشی را نشان داده است. روند تغییرات جرم‌حجمی پایه چوب در تمامی درختان یکسان نیست و از تابع ثابتی پیروی نمی‌کند. نتایج پژوهش‌های مختلف در ارتباط با روند تغییرات جرم‌حجمی پایه چوب در تنه بسیار متنوع است و سه دسته نتیجه‌گیری در این باره وجود دارد. دسته اول معتقدند که جرم‌حجمی چوب تنه از قسمت ابتدایی تنه به سمت تاج روند کاهشی دارد (Kord, 2010) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. دسته دوم نتیجه‌گیری کردند که جرم‌حجمی از کنده به سمت نیمی از ارتفاع کل کاهش یافته و سپس به سمت بالای تنه روند افزایشی داشته است (Epinoza, 2004).

نتایج پژوهش نشان داد که جرم‌حجمی پایه چوب از مغز چوب به سمت پوست روند کاهشی دارد. در پژوهش‌های زیادی روند تغییرات جرم‌حجمی در محور شعاعی درخت را کاهشی بیان کردند (Kord, 2010; Henry et al., 2010). این الگو با الگوی ارائه شده توسط Epizona (2004) هم‌خوانی ندارد و روند تغییرات جرم‌حجمی از مغز به سمت پوست را افزایشی گزارش داد. همچنین در بررسی تغییرات جرم‌حجمی چوب در جهت شعاعی ۳۰۰

بالا افزایشی بود. به عبارت دیگر با افزایش قطر درختان ضریب رطوبت سبز نیز افزایش یافت. نتایج همبستگی وجود رابطه معکوس بین قطر و جرم حجمی پایه چوب تنه درختان ممرز را نشان داد (جدول ۸). با افزایش قطر درختان جرم حجمی ویژه درخت کاهش پیدا می‌کند (Pape, 1999). این موضوع نشان می‌دهد که رشد بیشتر درخت منجر به کاهش جرم حجمی خواهد شد که در پژوهش گذشته به آن اشاره شد (Johansson, 1993). یکی از دلایل تفاوت جرم حجمی پایه در طبقات قطری مختلف را می‌توان به اختلاف در عرض حلقه سالپانه بیان کرد. نتایج همبستگی نشان داد که انتظار است با افزایش قطر برابرسینه درختان جرم حجمی پایه و رطوبت سبز چوب تنه درختان ممرز کاهش پیدا کند، زیرا همبستگی منفی بین جرم حجمی پایه و قطر برابر سینه و رطوبت مشاهده شد (جدول ۸). همبستگی منفی بین عرض حلقه و جرم حجمی در پژوهش گذشته گزارش شد (Madsen et al., 1978).

به طور کلی روند تغییرات جرم حجمی پایه و رطوبت سبز درخت ممرز نشان داد که در بین پایه‌های مختلف درختی و در راستای طولی و شعاعی چوب تنه تفاوت معنی‌دار وجود دارد. روند تغییرات جرم حجمی در راستای طولی از پایین به بالا و در راستای شعاعی از مغز به پوست روند کاهشی داشت. مقدار رطوبت سبز نیز در راستای طولی از پایین به بالا و از پوست به مغز روند افزایشی داشت. به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش قطر، افزایش طول و افزایش رطوبت سبز تنه درختان ممرز جرم حجمی پایه کاهش می‌یابد.

شاید بتوان گفت که به دلیل جوان‌تر بودن چوب در قسمت بالای تنه به دلیل رشد طولی درختان از شاخه انتهایی، انتظار رطوبت بیشتر در این قسمت وجود داشته باشد.

نتایج جرم حجمی پایه و رطوبت سبز پایه‌های درختی در درجات مختلف پوسیدگی نشان داد که هرچه مقدار پوسیدگی بیشتر شده است رطوبت سبز روند افزایشی و جرم حجمی پایه روند کاهشی داشته است (شکل ۴). با افزایش درجه پوسیدگی چوب، بافت چوب دچار تغییراتی از نظر فیزیکی مانند ایجاد خلل و فرج ریز و درشت خواهد شد که سبب افزایش رطوبت چوب می‌شود (Ebrahimi et al., 2015). در پژوهش‌های مختلف نیز نتایج مشابه در ارتباط با رابطه معکوس بین افزایش درجه پوسیدگی و کاهش جرم حجمی گزارش شد (Sefidi, 2016; Alidadi, 2014). نتایج جرم حجمی پایه و رطوبت سبز پایه‌های درختی در درجات مختلف پوسیدگی نشان داد که هرچه مقدار پوسیدگی بیشتر شده است رطوبت سبز و جرم حجمی پایه روند کاهشی داشت. دلیل این موضوع را می‌توان به تخریب فیزیکی چوب به ویژه سلولز در اثر پوسیدگی مرتبط دانست که با افزایش مقدار پوسیدگی چوب، خلل و فرج در ساختمان چوب ایجاد می‌شود که سبب کاهش مقدار جرم حجمی چوب خواهد شد (Ebrahimi et al., 2015).

آزمون مقایسه میانگین‌های جرم حجمی پایه در طبقات قطری نشان داد که روند در طبقات قطری به طور خطی کاهشی یا افزایشی نیست. این روند به این صورت بود که در طبقات قطری ۲۰-۴۰ سانتی‌متری بیشترین مقدار را داشت و در طبقه قطری ۴۰-۶۰ سانتی‌متری کاهش یافت و دوباره در طبقه قطری ۶۰-۸۰ سانتی‌متری افزایش یافته است. روند رطوبت سبز در طبقات قطری از طبقات پایین به سمت

قرقبان جنگل‌های پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، برای هماهنگی‌های لازم به‌منظور تهیه نمونه‌ها در جنگل کمال تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

بدین‌وسیله از آقای مهندس کی‌پور رییس وقت اداره منابع طبیعی میاندرد، مهندس جابر احمدی سرپرست اداره منابع طبیعی واحد داربکلا و جنگلبان رضا بابویه،

References

- Alidadi, F.; Marvie Mohadjer, M.R.; Etemad V.; Sefidi K., Decay dynamics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and hornbeam (*Carpinus betulus* L.) deadwood in mixed beech stands. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, *22* (4), 624-635. (In Persian).
- Dosthoseini, K.; Parsapajouh, D., Changes in physical properties and fiber length of hornbeam species in the radial and longitudinal axes of the tree. *Journal of the Iranian Natural Resource* **1996**, *50*, 69-70. (In Persian)
- Ebrahimi, Gh.; Karimi, F.; Taheri, F.; Rostampour, A., Wood structure and properties. University of Tehran Press **2015**, 488p (In Persian).
- Espinoza, J. A., Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. *New Forests* **2004**, *28* (2), 309-317.
- Hassanpoor tichi, A.; Divkolae, M. R.; Khatiri, A.; Alizadeh, R., Investigation of Changing Trends in Morphological & Anatomical Characteristics of *fraxinus excelsior* in Stem Radial Axis (Case Study: Mazandaran Province). *Quarterly Research Journal of Technical and Vocational University* **2020**, *17* (2), 81-91. (In Persian)
- Henry, M.; Besnard, A.; Asante, W.; Eshun, J.; Adu-Bredu, S.; Valentini, R.; Bernoux, M.; Saint-André, L., Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management* **2010**, *260* (8), 1375-1388.
- Kimberley, M. O.; Beets, P. N.; Paul, T. S., Comparison of measured and modelled change in coarse woody debris carbon stocks in New Zealand's natural forest. *Forest Ecology and Management* **2019**, *434*, 18-28.
- Kord, B.; Kialashaki, A.; Kord, B., The within-tree variation in wood density and shrinkage, and their relationship in *Populus euramericana*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **2010**, *34* (2), 121-126.
- Machado, J. S.; Louzada, J. L.; Santos, A. J.; Nunes, L.; Anjos, O.; Rodrigues, J.; Simões, R. M.; Pereira, H., Variation of wood density and mechanical properties of blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.). *Materials & Design (1980-2015)* **2014**, *56*, 975-980.
- Madsen, T.; Moltesen, P.; Olesen, P., The influence of thinning degree on basic density, production of dry matter, branch thickness and number of branches of Norway spruce [Denmark]. *Forstlige Forsoegsvaesen i Danmark* **1978**.
- Mohammadi, M.; Vatankhah, Gh.; Enayati, Gh., Morphology of injuries and type of fungal damage to wood. *Journal of Plant Diseases* **2009**, *5* (3), 76-81. (In Prsian)
- Návar, J., Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest ecology and Management* **2009**, *257* (2), 427-434.
- Panshin, A.J.; De Zeeuw, C., Textbook of wood technology. 4th edition, New York: MC, *Graw Hill Inc* **1980**, 722 pp.
- Pape, R., Influence of thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* **1999**, *14* (1), 27-37.
- Parsapour, M.K.; Kooch, Y.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J., Quantitative evaluation of soil carbon and nitrogen dynamics under oak and alder afforestations. *Journal of Forest Research and Development* **2021**, *7* (2), 235-248. (In Persian).
- Pretzsch, H.; Biber, P.; Schütze, G.; Kemmerer, J.; Uhl, E., Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management* **2018**, *429*, 589-616.
- Rassam, Gh.; Doosthoseini, K., Variations of the physical and anatomical properties of *Fagus orientalis* (wood & bark) in Sihkal forest. *Iranian Journal of Natural Resources* **2002**, *55* (2), 189-201. (In Prsian)
- Sefidi, Q.; Efandiari, F.; Sharari, M., Determine the rate of decay of dead trees of oriental

- beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Asalem forests. *Environmental* **2016**, 42 (3), 551-563. (In Prsian)
- Tobin, B. Carbon sequestration in Sitka spruce in Ireland. University College Dublin, 2006.
- Vahedi, A.A., Optimal allometric biomass equations for Hornbeam (*Carpinus betulus* L.) boles within the Hyrcanian forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 22 (2), 225-236. (In Prsian)
- Vahedi, A.A.; Mattagi, A., Amount of carbon sequestration distribution associated with oak tree's (*Quercus castaneifolia* C.A. May) bole in relation to physiographical units of Hyrcanian natural forests of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 21 (4), 716-728. (In Prsian)
- Vatani, L.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J.; Raeini Sarjaz, M.; Shamsi, S. S., Soil physico-chemical properties 20 years after plantation in the Iranian northern forests (Emphasizing on carbon and nitrogen stocks in plantation with broadleaved and coniferous species). *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7 (1), 93-105. (In Persian).
- Zarafshar, M.; Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M.; Bordbar, S.K.; Negahdarsaber, M.; Rousta, M.J.; Enayati, K.; Abbasi, A., The impact of wild pear (*Pyrus syriaca* and *P. globra*) stand management on carbon torage of soil and litters and some soil characteristics (case study: Dehkohne forest of Sepidan, Fars Province). *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7 (2), 313-325. (In Persian).

Trend of changes in basic density and green moisture content in the vertical and radial direction of hornbeam tree trunks (*Carpinus betulus* L.) in Hyrcanian forests

F. Bakhshi^{*1}, A. Fallah², A. A. Vahedi³ and M. Imani Rastabi⁴

1- M.Sc. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (faterebakhshi19.9@gmail.com)

2- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (fallaha2007@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran. (Ali.Vahedi60@gmail.com)

4- Ph.D, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (M_imani_M@yahoo.com)

Received: 05.07.2021 Accepted: 06.11.2021

Abstract

The aim of this study was to investigate the trend of changes in basic density and green moisture content of hornbeam trees in the vertical and radial direction of trunk wood. Therefore, a complete disk was prepared from 10 fallen trees in 20-40, 40-60 and 60-80 diameter classes and different decay degrees (grades 1, 2 and 3). The disks were prepared at intervals of 5, 35 and 65% of the vertical sections of the trunk. Then, the sample pieces with a fixed volume of $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ were fragmented at a ratio of 10, 50 and 90% of the radial sections of the disks and were obtained their basic density and green moisture content. The results showed that the green moisture content and trunk basic density of hornbeam trees in different diameter classes with the degree of decay had a significant difference with a probability of 99% ($P < 0.001$). The highest mean basic density values were observed in the distance of 5% in the vertical direction and 90% in the radial direction of the trunk wood with 0.59 and 0.60 g / cm^3 , respectively. The highest mean values of green moisture content were observed in 90% in the radial direction of 0.65 and the distance of 5% in the vertical direction of 0.66. Of course, green moisture content in vertical sections showed a significant difference with changing the degree of decay ($P > 0.05$), but no significant difference was observed in radial sections. The results of correlation showed that basic density has the highest significance correlation with diameter equal to the breast and the lowest significance correlation with the coefficient of moisture.

Keywords: Basic density, Degree of decay, Green moisture content, Biomass, Diameter classes.

* Corresponding author

Tel: +989119139215