

(OPEN ACCESS)

## The Effect of Selective Forest Management on Biomass Dynamics in a Mixed Hornbeam-Persian Ironwood Stand

Mahmoud Radaei<sup>\*1</sup>, Hashem Habashi<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D. in Silviculture and Forest Ecology, Management and Planning Organization, Sari, I.R. Iran. E-mail: [mah\\_radaei@yahoo.com](mailto:mah_radaei@yahoo.com)

2. Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran. E-mail: [habashi@gau.ac.ir](mailto:habashi@gau.ac.ir)

---

---

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 09.15.2025  
Revised: 11.17.2025  
Accepted: 12.22.2025

**Keywords:**  
Biomass,  
Deadwood,  
Litter,  
Selection system,  
Soil Organic Carbon

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Selective harvesting is widely recognized as an effective strategy in sustainable forest management because it helps conserve species diversity and maintain the ecological structure of forest stands. By selectively removing mature trees, this method minimizes stand disturbance while sustaining essential ecosystem functions. It also plays an important role in regulating forest biomass. The present study was conducted to evaluate the effects of selective forest management on biomass dynamics in a mixed hornbeam–Persian ironwood stand by comparing a harvested stand with an unmanaged control stand.

**Materials and Methods:** The study was carried out in two forest series within the Dr. Bahramnia Educational and Research Forest (Shast Kolateh). One series had been subjected to selective harvesting, while the other served as an unharvested control. Sampling was performed using a systematic random grid (300 × 400 m), resulting in 70 half-ha plots distributed across 24 parcels in both stands. Data were collected for live trees and deadwood, and five biomass components were measured or estimated: aboveground biomass, belowground biomass, deadwood biomass, litter biomass, and soil organic carbon. Aboveground biomass was estimated using allometric equations. Belowground biomass was determined through soil sampling and root separation. Litter biomass was calculated by weighing litterfall collected over a six-month period. Deadwood biomass was assessed based on species identification and decay class. Soil organic carbon was estimated from soil samples through analysis of organic matter content.

**Results:** Mean aboveground biomass was 62 t ha<sup>-1</sup> in the harvested stand and 54 t ha<sup>-1</sup> in the control stand, with no significant difference. Belowground biomass averaged 6.5 t ha<sup>-1</sup> in the harvested stand and 4.6 t ha<sup>-1</sup> in the control, also showing no significant difference. Deadwood biomass was 21 and 19 t ha<sup>-1</sup> in the harvested and control stands, respectively, without significant difference. Litter biomass was identical in both stands (1.2 t ha<sup>-1</sup>). Soil organic carbon biomass was 84 t ha<sup>-1</sup> in the harvested stand and 83 t ha<sup>-1</sup> in the control, again with no significant

---

difference. The only significant difference between stands was found in tree biomass, which was higher in the harvested stand.

**Conclusion:** Soil organic carbon was the largest biomass pool, averaging 84 t ha<sup>-1</sup> and accounting for approximately 57% of total biomass, followed by aboveground biomass (36 t ha<sup>-1</sup>, 25%). Among the five biomass components, only tree biomass showed a significant difference between stands, with higher values in the harvested stand. These findings suggest that selective harvesting, when applied with controlled intensity, can maintain or even enhance biomass stocks and may therefore be recommended as a sustainable management approach for natural forests.

---

Cite this article: Radaei, Mahmoud, Habashi, Hashem. 2026. The Effect of Selective Forest Management on Biomass Dynamics in a Mixed Hornbeam-Persian Ironwood Stand. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 32 (4), 47-66.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwfst.2026.24074.2127

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تأثیر برش‌گزینی بر تغییرات زیست‌توده در توده آمیخته ممرز

محمود ردایی<sup>۱\*</sup>، هاشم حبشی<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی مازندران، ساری، ایران. رایانامه: [mah\\_radaei@yahoo.com](mailto:mah_radaei@yahoo.com)
۲. دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [habashi@gau.ac.ir](mailto:habashi@gau.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> بهره‌برداری به شیوه برش‌تک‌گزینی یکی از رویکردهای مؤثر در مدیریت جنگل پایدار است که با هدف حفظ تنوع گونه‌ای و ساختار اکولوژیکی توده‌های جنگلی و برداشت انتخابی درختان بالغ و سالم، تلاش می‌کند تا آسیب‌های وارده به توده‌های جنگلی را به حداقل رسانده و عملکرد اکوسیستم را حفظ کند. این شیوه نقش قابل‌توجهی در تغییرات زیست‌توده جنگل‌ها دارد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر پرورش جنگل به شیوه برش‌تک‌گزینی بر تغییرات زیست‌توده ممرز آمیخته در توده جنگلی دخالت‌شده، انجام شد.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۴/۰۶/۲۴ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۴/۰۸/۲۶ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۱۰/۰۱	
<b>واژه‌های کلیدی:</b> تک‌گزینی، خشکه‌دار، زیست‌توده، کربن آلی خاک، لاشریزه	<b>مواد و روش‌ها:</b> پژوهش در سری اول (برداشت‌شده به شیوه برش‌تک‌گزینی) و سری دوم (کنترل و بدون برداشت) جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از شبکه تصادفی منظم به ابعاد ۳۰۰ در ۴۰۰ متر و تعداد ۷۰ قطعه‌نمونه نیم‌هکتاری در ۲۴ پارسل از دو توده برداشت‌شده و کنترل، صورت گرفت. داده‌های مربوط به درختان و خشکه‌دارها برداشت شد و پنج مؤلفه زیست‌توده شامل زیست‌توده روی‌زمینی، زیرزمینی، خشکه‌دار، لاشریزه و کربن آلی خاک اندازه‌گیری و محاسبه گردید. زیست‌توده روی‌زمینی براساس معادلات آلومتریک، زیست‌توده زیرزمینی با نمونه‌برداری خاک و جداسازی ریشه، زیست‌توده لاشریزه با توزین لاشریزی طی شش‌ماه، زیست‌توده خشکه‌دار با ارزیابی درجه پوسیدگی و نوع گونه و زیست‌توده کربن آلی خاک بر اساس نمونه‌برداری خاک و تعیین میزان ماده آلی محاسبه شد.
	<b>یافته‌ها:</b> میانگین زیست‌توده روی‌زمینی در توده برداشت‌شده ۶۲ تن در هکتار و در توده کنترل ۵۴ تن در هکتار بود که اختلاف معنی‌داری نداشت. زیست‌توده زیرزمینی به ترتیب ۵/۶ و ۶/۴ تن در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری نداشت. زیست‌توده خشکه‌دار در توده برداشت‌شده ۲۱

---

و در توده کنترل ۱۹ تن در هکتار بود و تفاوت معنی‌دار نداشت. زیست‌توده لاشریزه در هر دو توده برابر با ۱/۲ تن در هکتار بود و اختلاف معنی‌داری نداشت. زیست‌توده کربن آلی خاک در توده برداشت‌شده ۸۴ و در سری کنترل ۸۳ تن در هکتار بود و اختلاف معنی‌داری نداشت. زیست‌توده درختان در سری برداشت‌شده ۳۹ و در سری کنترل ۳۳ تن در هکتار محاسبه شد که در بین دو توده اختلاف معنی‌دار داشت.

**نتیجه‌گیری:** زیست‌توده کربن آلی خاک با میانگین ۸۴ تن در هکتار، سهم ۵۷ درصدی از کل زیست‌توده داشت و پس‌از آن زیست‌توده روی‌زمینی با ۶۲ تن در هکتار (۲۵ درصد) قرار داشت. در بین پنج مؤلفه زیست‌توده تنها زیست‌توده درختان در بین توده اختلاف معنی‌دار داشت که در توده برداشت‌شده بیش‌تر بود. بهره‌برداری به شیوه برش تک‌گزینی با شدت برداشت کنترل‌شده، می‌تواند منجر به افزایش یا حفظ زیست‌توده در منابع جنگلی شود و به‌عنوان روشی پایدار در مدیریت جنگل‌های طبیعی توصیه می‌گردد.

---

استناد: ردایی، محمود، حبشی، هاشم (۱۴۰۴). تأثیر برش گزینشی بر تغییرات زیست‌توده در توده آمیخته ممرز. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۲ (۴)، ۶۶-۴۷.

DOI: 10.22069/jwfst.2026.24074.2127



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

---

## مقدمه

مدیریت پایدار جنگل‌ها به‌عنوان رویکردی کلیدی در حفظ تعادل بین ابعاد اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی جنگل‌ها شناخته می‌شود و هدف آن تأمین استفاده مسئولانه از منابع جنگلی به گونه‌ای است که ساختار اکولوژیکی، تنوع گونه‌ای و عملکردهای اکوسیستم حفظ و ارتقا یابد. شیوه بهره‌برداری تک‌گزینی که با انتخاب دقیق و محدود درختان بالغ و سالم برای برداشت انجام می‌شود، مطابق با الگوهای طبیعی اکوسیستم از روندهای طبیعی تخریب در مقیاس کوچک است که ضمن حفظ زیست توده جنگلی، موجب کاهش آسیب‌های تخریبی و حفظ تنوع زیستی می‌شود (۱). این روش به‌ویژه در جنگل‌های هیرکانی و اکوسیستم‌های طبیعی اروپا و سایر مناطق با ساختار ناهمسال، توانسته است حفظ ساختار پیچیده جنگل و زادآوری طبیعی را تضمین کند (۲) و نقش مؤثری در مدیریت پایدار و حفظ ذخیره کربن ایفا نماید (۳).

مطالعات جدید بیان می‌کنند که بهره‌برداری تک‌گزینی می‌تواند سبب افزایش یا حفظ زیست توده روی زمینی شود؛ چرا که ایجاد فضاهای باز کوچک در توده جنگلی امکان تجدیدحیات گونه‌های نورپسند و جوان را فراهم می‌آورد و روند رشد درختان باقی‌مانده را بهبود می‌بخشد. این شرایط به حفظ تراکم و حجم درختان سرپا کمک کرده و تأثیر مثبت بر کربن آلی خاک دارد که نسبت به برداشت کامل و تخریب سطح وسیع، اثرات زیست‌محیطی کم‌تری دارد (۴). بهره‌برداری انتخابی مطابق با الگوهای طبیعی اکوسیستم از فرایندهای طبیعی، از تخریب خاک جلوگیری می‌کند و در نتیجه به حفظ ذخیره کربن و بهبود پایداری اکوسیستم می‌انجامد (۵).

در سه دهه اخیر، شیوه برش تک‌گزینی اصلی‌ترین روش بهره‌برداری در جنگل‌های شمال کشور بوده

است و پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر آن بر ویژگی‌های ساختاری جنگل مانند قطر متوسط درختان، تعداد و حجم در هکتار، ارتفاع (۶) و درجه کیفی درختان (۷)، تراکم و تنوع گونه‌ای (۸) پرداخته‌اند. این مطالعات تأکید کرده‌اند که شیوه برش تک‌گزینی مطابق با الگوهای طبیعی اکوسیستم، راهکاری مناسب برای حفظ پایداری اکولوژیکی و اقتصادی جنگل‌ها به شمار می‌آید و آگاهی کامل از تغییرات ساختاری جنگل‌ها برای مدیریت بهتر و حفظ منابع طبیعی ضروری است (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳).

هیئت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوا (IPCC) پنج مؤلفه اصلی کربن در اکوسیستم زمینی را شامل زیست توده درختان، لاشریزه، زیست توده زیرزمینی (ریشه‌ها) و ماده آلی خاک معرفی می‌کند که بهره‌برداری به شیوه برش تک‌گزینی با حفظ ساختار و کاهش شدت برداشت توانسته است اثرات منفی بر این مؤلفه‌ها را به حداقل برساند و در بلندمدت موجب افزایش ذخیره کربن شود (۱۴ و ۱۵).

تأثیرات بهره‌برداری به شیوه برش تک‌گزینی بر زیست توده جنگل‌ها متفاوت است و عمدتاً به شدت برداشت و ویژگی‌های اکولوژیکی توده بستگی دارد. در جنگل‌های بهره‌برداری شده با این روش، زیست توده روی زمینی معمولاً بیش‌تر از توده‌های کنترل است، به‌عنوان نمونه در توده انجیلی- ممرز میانگین زیست توده کل در توده برداشت شده ۱۴۷ و در توده کنترل ۱۴۴ تن در هکتار بوده است که نشان‌دهنده افزایش حدود ۲ درصدی پس از برداشت است. این افزایش به دلیل کاهش تراکم درختان قطور و بهبود شرایط رشد درختان جوان و گونه‌های دیگر است که به افزایش زیست توده کمک می‌کند (۲). هم‌چنین این شیوه مطابق با الگوهای طبیعی اکوسیستم، تأثیر مثبت بر تنوع گونه‌ای و ساختار اکولوژیکی جنگل‌ها دارد که می‌تواند به حفظ یا

افزایش زیست‌توده در بلندمدت منجر شود (۱۶). ایجاد فضاهای باز کوچک در توده جنگلی، امکان رشد گونه‌های نورپسند و تجدید حیات درختان را فراهم می‌آورد که این امر به بهبود وضعیت زیست‌توده و پایداری اکوسیستم کمک می‌کند (۷). مدیریت تک‌گزینی به‌عنوان یک رویکرد نزدیک به طبیعت، نقش مهمی در حفظ ساختار اکولوژیکی، تنوع زیستی و عملکرد پایدار جنگل‌های هیرکانی دارد. اگرچه مطالعات متعددی به بررسی اثر این شیوه بر ویژگی‌های ساختاری جنگل پرداخته‌اند، شواهد مرتبط با تأثیر آن بر زیست‌توده، به‌ویژه در توده‌های آمیخته ممرز، محدود و پراکنده است؛ بنابراین، هدف این پژوهش بررسی اثر مدیریت تک‌گزینی بر تغییرات زیست‌توده در پنج مؤلفه اصلی شامل زیست‌توده روی‌زمینی، زیرزمینی، خشکه‌دار، لاشریزه و کربن آلی خاک در دو توده آمیخته ممرز (برداشت‌شده و کنترل) است. نتایج این مطالعه می‌تواند بینش‌های ارزشمندی در زمینه مدیریت پایدار جنگل‌ها و حفظ ذخایر کربن ارائه دهد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد بررسی:** منطقه مورد مطالعه در بخشی از سری‌های یک و دو طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) که طول جغرافیایی آن از  $26^{\circ} 21' 54''$  تا  $27^{\circ} 05' 57''$  شرقی و عرض جغرافیایی از  $36^{\circ} 27' 27''$  تا  $36^{\circ} 48' 6''$  شمالی امتداد دارد. این منطقه در حوزه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان قرار دارد. جهت عمومی دامنه شمال غربی بوده ارتفاع منطقه پژوهش بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ متری از سطح دریا متغیر است. این جنگل به دو سری تقسیم شده است، سری اول این جنگل که طرح

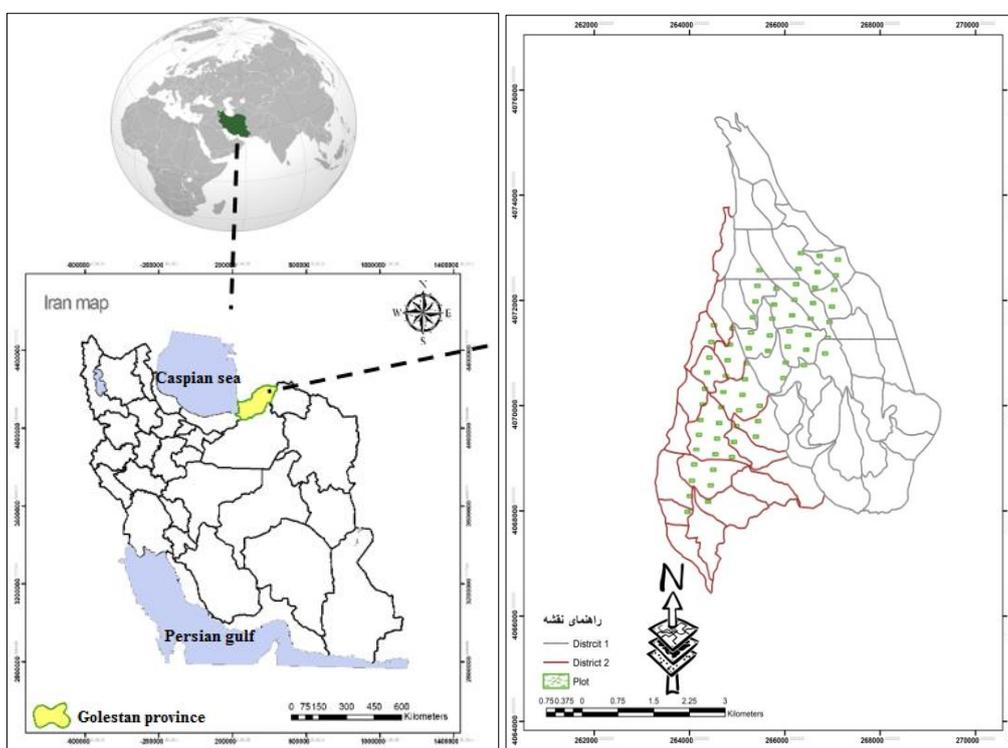
جنگلداری آن تهیه‌شده و طی سه دوره ده‌ساله به شیوه پناهی و تک‌گزینی اجرا و مدیریت شده است و سری دو جنگل شصت‌کلاته با متوسط ارتفاعی ۱۰۰۰ متر فاقد مشکلات اجتماعی-اقتصادی بوده و دخالت‌های انسانی مانند بهره‌برداری رسمی در قالب طرح‌های جنگلداری و مدیریت‌شده در آن وجود ندارد و تقریباً شبیه جنگل بکر است.

مساحت کل سری یک (توده برداشت‌شده) و سری دو (کنترل) به‌ترتیب ۱۷۱۴ و ۱۹۹۲ هکتار است. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرزه (براساس اطلاعات ۱۰ ساله ایستگاه کليما تولوژی هاشم‌آباد که در فاصله پنج کیلومتری شمال منطقه قرار دارد) دارای اقلیم مرطوب معتدل با میانگین بارندگی سالانه ۶۴۹ میلی‌متر است که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است. پوشش گیاهی غالب در منطقه تحقیق شامل انجیلی، ممرز، بلوط، افرا و توسکا است (۱۶).

اولین بهره‌برداری جنگل شصت‌کلاته در سال ۱۳۵۹ انجام شد و آخرین قطع درختان در جنگل شصت‌کلاته در سال ۱۳۹۶ انجام شد که مربوط به طرح تجدیدنظر دوم طرح جنگلداری در سری یک است. نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۷ به روش منظم با شروع تصادفی و با ابعاد شبکه  $400 \times 300$  متر انجام گرفت و در مجموع ۷۰ قطعه نمونه مستطیلی به مساحت نیم هکتار برداشت شد (شکل ۱). موقعیت مراکز تمامی قطعات نمونه با استفاده از دستگاه GPS تفاضلی با خطای کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر ثبت شد. اطلاعات همه درختان شامل نوع گونه، قطر برابرسینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه و شعاع تاج در هشت جهت جغرافیایی اندازه‌گیری شدند. زیست‌توده روی‌زمینی پس از اندازه‌گیری مشخصات آلومتری درختان، از طریق معادلات آلومتریک موجود برآورد شد (۱۷). زیست‌توده زیرزمینی با نمونه‌برداری از خاک به‌وسیله

درجه کیفی پوسیدگی و وزن مخصوص آن در محل قطعات نمونه برآورد گردید (۲۰). زیست توده کربن آلی خاک با نمونه برداری از عمق ۲۰ سانتی متری محل قطعات نمونه و بر اساس میزان ماده آلی خاک، درصد سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری محاسبه شد (۲۱). مقایسه مقادیر پنج مؤلفه زیست توده در دو توده برداشت شده و کنترل با استفاده از آزمون ناپارامتری من- ویتنی انجام گرفت.

استوانه قادی با سطح مقطع ۴۰ سانتی مترمربع و در عمق ۲۰ سانتی متر در محل قطعات نمونه برداشت گردید و با جداسازی ریشه‌ها به روش شستشو و توزین بعد از خشک کردن در آن تعیین شد (۱۸). زیست توده لاشریزه با نصب ۷۰ تله لاشریزه در محل قطعات نمونه طی شش ماه (شهریور تا بهمن) اندازه گیری و بعد از خشک کردن در آن توزین شد (۱۹). زیست توده خشکه دار از طریق اندازه گیری ابعاد،



شکل ۱- شبکه نمونه برداری در سری یک و دو جنگل شصت کلاته گرگان.

Figure 1. Sampling layout in district one and two - Shast-Kalate forest, Gorgan.

ریشه و زیست توده کربن آلی خاک بین توده برداشت شده و توده کنترل اختلاف معنی داری ندارد، اما بین زیست توده درختان دو توده اختلاف معنی دار مشاهده شد (جدول ۳).

مقدار زیست توده کل در سری برداشت شده ۱۵۱ تن در هکتار و در سری کنترل ۱۴۴ تن در هکتار به دست آمد. نتایج نشان داد که زیست توده کربن آلی خاک با میانگین ۸۴ تن در هکتار، سهم ۵۷ درصدی

نرمال بودن توزیع مشاهدات توسط آزمون شاپیرو- ویلک (shapiro-wilk Test) انجام شد. از طریق آزمون ناپارامتری من- ویتنی (Mann-Whitney U) معنی داری تفاوت دو گروه از داده‌ها بررسی شد.

### نتایج

با توجه به نتایج آزمون من- ویتنی مشخص شد که زیست توده لاشریزه، زیست توده خشکه دار، زیست توده

از کل زیست‌توده را دارا بود و پس‌از آن زیست‌توده روی‌زمینی با ۳۶ تن در هکتار معادل ۲۵ درصد از زیست‌توده کل را تشکیل داد. از میان پنج مؤلفه زیست‌توده، تنها زیست‌توده روی‌زمینی (درختان) بین توده برداشت‌شده و کنترل اختلاف معنی‌دار داشت که این مقدار در توده برداشت‌شده بیش‌تر بود.

جدول ۱- اطلاعات توصیفی زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) در منطقه مورد مطالعه.

**Table 1. Basic characteristics of control and harvested stands.**

ضریب تغییرات		انحراف معیار		میانگین		تعداد نمونه		عنوان
Coefficient of variation		Standard deviation		Mean		Sample size		
کنترل	برداشت‌شده	کنترل	برداشت‌شده	کنترل	برداشت‌شده	کنترل	برداشت‌شده	Title
Control	Harvested	Control	Harvested	Control	Harvested	Control	Harvested	
38.39	24.73	463.43	300.14	1206.9	1213.2	35	35	زیست‌توده لاشریزه Biomass in litterfall
76.15	98.08	75.14586	92.20788	19154.3	21195.2	35	35	زیست‌توده خشک‌دار Biomass in deadwood
030.35	77.31	730.18827	28.19614	45.53735	1.61738	35	35	زیست‌توده درختان Aboveground tree biomass
85.30	06.28	61.2116	57.2178	4.6859	3.7762	35	35	زیست‌توده زیرزمینی Belowground biomass
59.27	91.22	07.23026	96.19188	07.83449	83.83756	35	35	زیست‌توده کربن آلی خاک Soil organic carbon biomass

جدول ۲- جدول آزمون نرمال بودن متغیرها.

**Table 2. Table for testing the normality of variables.**

نرمال بودن	P-VALUE گروه کنترل	P-VALUE گروه برداشت‌شده	متغیر
Normal	Control	Harvested	Variable
خیر No	0.000	0.028	زیست‌توده لاشریزه Biomass in Litterfall
خیر No	0.0001	0.000	زیست‌توده خشک‌دار Biomass in deadwood
بله Yes	0.7218	0.1631	زیست‌توده درختان Aboveground Tree Biomass
خیر No	0.0057	0.2489	زیست‌توده روی‌زمینی Aboveground Biomass
خیر No	0.0137	0.3661	زیست‌توده زیرزمینی Belowground Biomass
خیر No	0.000	0.4694	زیست‌توده کربن آلی خاک Soil organic Carbon Biomass
خیر No	0.0000	0.2911	زیست‌توده کل Total Biomass

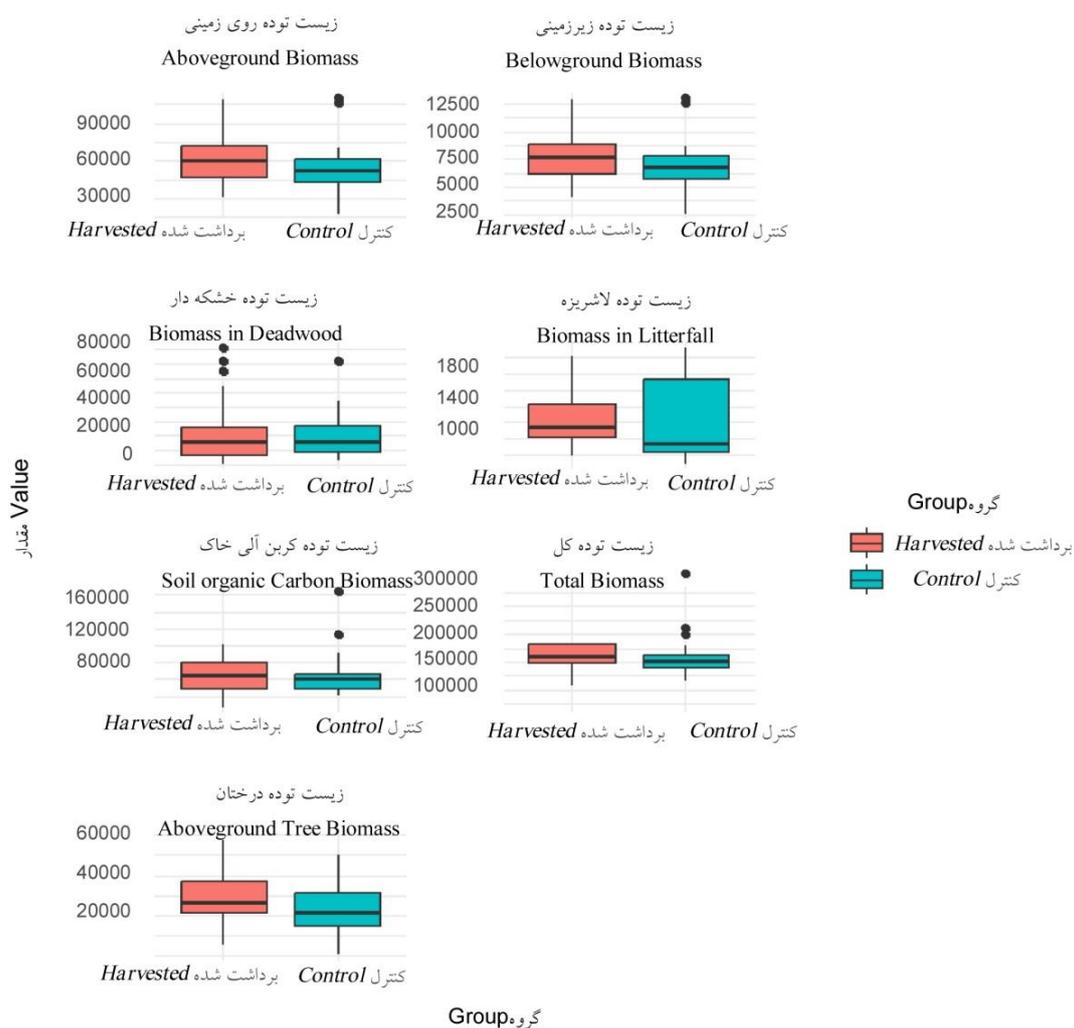
مطابق جدول ۲، متغیر زیست توده درختان از توزیع نرمال پیروی کرده و سایر متغیرها غیرنرمال بودند. بر این اساس، برای مقایسه تفاوت میانگین زیست توده درختان بین دو گروه برداشت شده و کنترل از آزمون تی و برای سایر متغیرهای زیست توده از آزمون ناپارامتری من-وینتی استفاده شد.

جدول ۳- جدول آزمون تفاوت دو گروه از داده‌ها.

Table 3. Table of test for the difference between two groups of data.

معنی داری (p-value < ۰/۰۵)	P-value	مقدار آماره Statistic value	آزمون استفاده شده Used test	متغیر Variable
No	0.3473	693	Mann-Whitney U	زیست توده لاشریزه Biomass in litterfall
No	0.7070	580	Mann-Whitney U	زیست توده خشکه دار Biomass in deadwood
Yes	0.0482	2.0115	T. test	زیست توده درختان Aboveground tree biomass
No	0.0864	759	Mann-Whitney U	زیست توده روی زمینی Aboveground biomass
No	0.0864	759	Mann-Whitney U	زیست توده زیرزمینی Belowground biomass
No	0.5413	665	Mann-Whitney U	زیست توده کربن آلی خاک Soil organic carbon biomass
No	0.0602	773	Mann-Whitney U	زیست توده کل Total biomass

مطابق جدول ۳، زیست توده درختان بین دو توده برداشت شده و کنترل تفاوت معنی داری دارد درحالی که سایر مؤلفه‌های زیست توده شامل زیست توده روی زمینی، زیرزمینی، خشکه دار و کربن آلی خاک در این دو توده تفاوت معنی داری نشان نمی دهند.

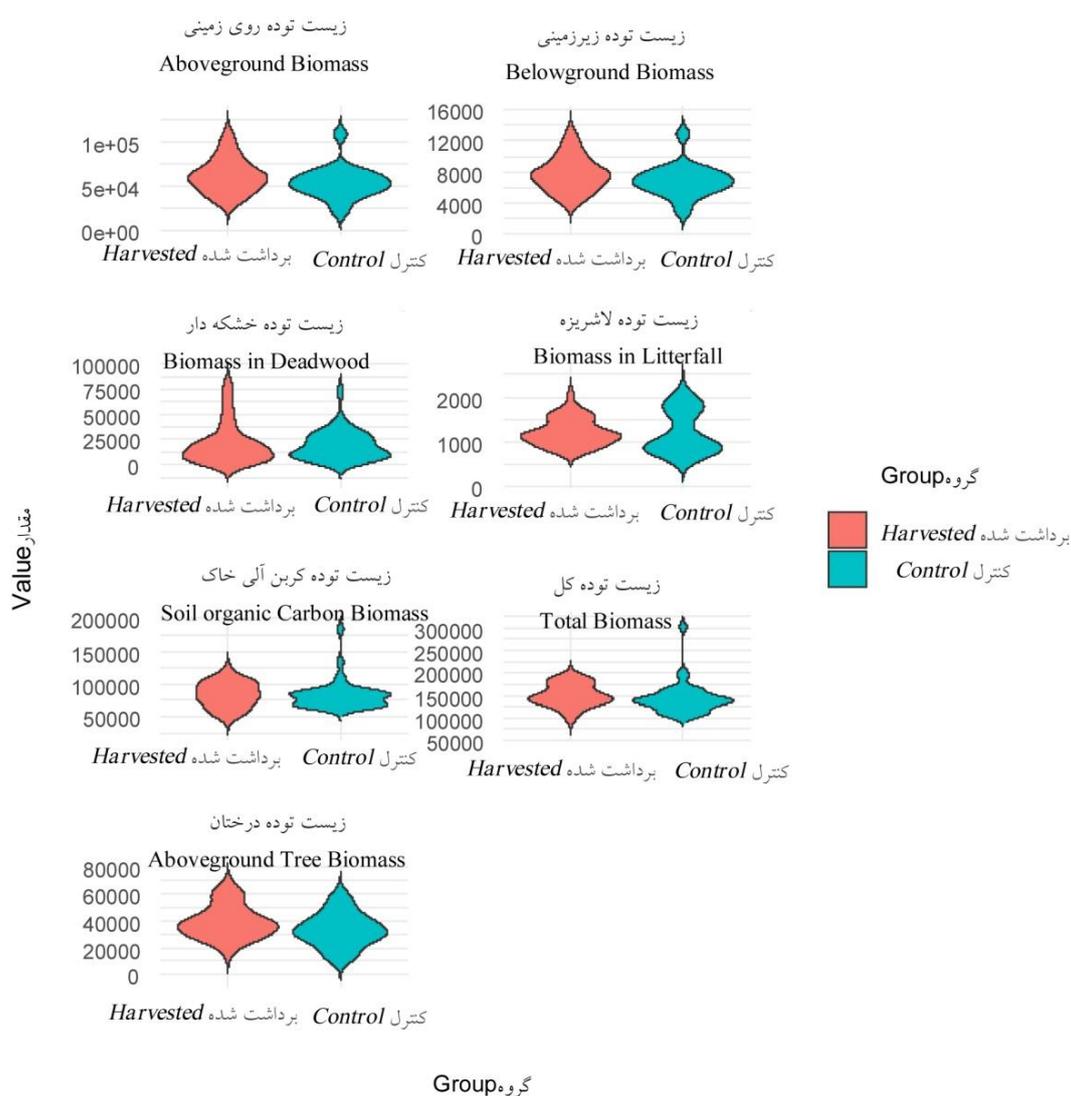


شکل ۲- نمودار جعبه‌ای پنج مؤلفه زیست‌توده در توده برداشت‌شده و توده کنترل.

Figure 2. Box plot of 5 biomass sources in harvested and control stands.

سایر منابع زیست‌توده (روی زمینی، زیرزمینی، خشکه‌دار و کربن آلی خاک) در هر دو توده تقریباً یکسان می‌باشد.

همچنین مطابق شکل‌های ۲ و ۳، الگوی توزیع داده‌ها در زیست‌توده درختان بین دو توده برداشت‌شده و کنترل متفاوت است، اما رفتار توزیع



شکل ۳- نمودار وایولین توزیع داده‌های پنج مؤلفه زیست توده در توده برداشت شده و توده کنترل.

Figure 3. Violin diagram of the distribution of data for the 5 biomass sources in harvested and control stands.

چالش‌های جدی مواجه کرده است، اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از شاخص‌های بوم‌شناختی که کمبود اطلاعات مربوط به آن به وضوح احساس می‌شود، توان تولید زیست توده است (۲۲).

مقدار زیست توده به عنوان متغیری مهم، مانند موجودی حجمی یا درصد تاج پوشش، در توده‌های جنگلی مطرح است. برآورد زیست توده و ذخیره کربن درختان و سایر پوشش‌های گیاهی علاوه بر اهمیت در موضوعات مرتبط با گرمایش زمین و تغییر اقلیم (۲۳)،

### بحث

امروزه استفاده از شاخص‌های بوم‌شناختی به منظور شناخت وضعیت بوم‌سازگان‌ها و پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در طول زمان، در کشورهای پیشرفته به صورت امری رایج تبدیل شده است. این موضوع برای کشور ما که از یک سو منابع طبیعی آن در معرض تخریب و ناپایداری ناشی از عوامل مختلف قرار دارند و از سوی دیگر فقدان اطلاعات پایه، برقراری سامانه‌های پایش منابع را با

گزارش شده بیش‌ترین رویش حجمی در کم‌ترین شدت برداشت در توده‌های آمیخته راش مشاهده شده است.

در پژوهش حاضر بیش‌ترین زیست‌توده لاشریزه در توده برداشت‌شده با شدت برداشت متوسط مشاهده شد. این موضوع می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان تولید (۲۸)، نوع گونه‌ها، تغییرات ایجاد شده در تیمار توده، مقدار لاشبرگ ورودی و نرخ تجزیه باشد. هم‌چنین عواملی مانند شرایط فیزیکی محیط، حضور و فعالیت میکروب‌های خاک و جامعه فون و فلور به‌عنوان عوامل مهم مؤثر بر نرخ تجزیه لاشبرگ شناخته شده‌اند (۲۹). باید توجه داشت که مقادیر زیست‌توده لاشریزه در منابع مختلف به دو صورت گزارش شده است: نخست زیست‌توده تولید سالانه لاشریزه و دوم زیست‌توده تجمعی لاشریزه در کف جنگل که با عنوان زیست‌توده پوشش کف جنگل تجمعی<sup>۱</sup> آمده است. مقادیر زیست‌توده لاشریزه سالانه راش آمیخته جنگل شصت‌کلاته ۸۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، بلوط زاگرس میانی ۸۶۰ کیلوگرم در هکتار، داغداغان شهری سنندج ۱۲۶۲ کیلوگرم در هکتار، توده آمیخته هیرکانی دارابکلای ساری ۲۴۰۰، توده خالص ممرز ۲۱۰۰ و توده خالص راش ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (۳۰). با توجه به مقدار ۱۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست‌آمده برای توده ممرز آمیخته شصت‌کلاته، مشاهده می‌شود که لاشریزی سالانه آن کم‌تر از توده‌های راش و ممرز خالص و هم‌چنین آمیخته شصت‌کلاته و دارابکلای ساری است که این امر ناشی از میزان بیش‌تر بارش در توده‌های راش شصت‌کلاته و دارابکلای ساری می‌باشد اما مشابه مقادیر گزارش شده برای توده داغداغان شهری سنندج است. هم‌چنین باید توجه داشت که تولید لاشریزه تحت‌تأثیر آمیختگی گونه‌ها، تراکم، سن، قطر،

به‌عنوان شاخصی مهم برای تشخیص حاصلخیزی رویشگاه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۴).

گرچه اولین مطالعه برآورد زیست‌توده در جنگل‌ها در سال ۱۸۷۳ انجام شده است، اما براساس بررسی‌های صورت گرفته، اولین اندازه‌گیری زیست‌توده درختی توسط دانشمند آلمانی به نام ابرمایر (۱۸۷۶) انجام شد که شامل اندازه‌گیری برگ و سرشاخه‌های درختان جنگلی بود. با این حال، اخیراً اهمیت ارزیابی زیست‌توده جنگل به‌دلیل نقش آن در سنجش خدمات مرتبط با مصرف انرژی، بهره‌وری و وضعیت بوم‌سازگان افزایش یافته است (۲۵).

زیست‌توده لاشریزه در سری برداشت‌شده و سری کنترل هر دو ۱/۲ تن در هکتار گزارش شد. نتایج آزمون من-ویتی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در زیست‌توده لاشریزه بین توده برداشت‌شده و کنترل وجود ندارد. به‌طورکلی، تولید لاشریزه درختان متناسب با تولید ناخالص اولیه هر بوم‌سازگان است (۲۶). در این پژوهش مشخص گردید که در مجموع زیست‌توده لاشریزه در بین توده‌های برداشت‌شده و کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت اما افزایش شدت برداشت در سری برداشت‌شده موجب کاهش زیست‌توده لاشریزه می‌شود، اگرچه در کم‌ترین شدت برداشت، میزان زیست‌توده لاشریزه نسبت به توده کنترل تا ۱۱ درصد افزایش یافت (۲).

با وجود تفاوت‌های بوم‌شناختی، نیازهای رویشگاهی، سرعت رشد و دیرزیستی در میان گونه‌های درختی، مشاهده شد که در کمترین شدت برداشت بیش‌ترین میزان افزایش تولید ناخالص به‌واسطه افزایش تولید لاشریزه رخ می‌دهد. این امر ناشی از فرآیند جوان‌سازی توده در اثر برداشت کنترل‌شده و افزایش فتوسنتز به سبب باز شدن تاج‌پوشش است. به‌طوری‌که در پژوهش شماره (۲۷)

بادافتاده در سری تک‌گزینی ثبت شده است (۲). این موضوع عمدتاً به کاهش تراکم و باز شدن بیش‌تر تاج پوشش توده مربوط می‌شود که موجب آشفته‌گی و بروز بادافتادگی در توده تک‌گزینی شده است. در این مطالعه فراوانی خشکه‌دار با درجه پوسیدگی دو بیش‌ترین مقدار را داشت که قبلاً در پژوهشی در همین جنگل و در توده کنترل گزارش شده بود (۳۵). هم‌چنین، فراوانی خشکه‌دار جوان (با درجه پوسیدگی یک) در توده برداشت‌شده تک‌گزینی نسبت به توده کنترل بیش‌تر بود که این تفاوت را می‌توان از مدت‌زمان لازم برای پوسیدگی در دو توده دانست (۱۱). در توده کنترل راش همین منطقه نیز خشکه‌دار سرپا با درجه پوسیدگی یک و افتاده با درجه پوسیدگی دو بیش‌ترین فراوانی را داشتند (۳۷). لازم به ذکر است که اختلاف معنی‌داری بین فراوانی انواع درجه‌های پوسیدگی خشکه‌دار در دو توده مشاهده نشد.

مقادیر زیست‌توده خشکه‌دار در جنگل‌های معتدله مرمرز آمیخته در محدوده ۲۱-۱۹ تن در هکتار، جنگل‌های معتدله هیمالیا ۱۴/۹۴-۱/۵ تن در هکتار، جنگل‌های کارائیب ۴/۵۵ تا ۲۸/۱۱ تن در هکتار، جنگل‌های اوکراین ۸/۱ تا ۱۰/۷ تن در هکتار و در جنگل‌های احیاشده ۱۹/۸-۰/۵ تن در هکتار تعیین شده است (۳۰).

زیست‌توده درختان در سری برداشت‌شده ۳۹ و در سری کنترل ۳۳ تن در هکتار محاسبه شد. نتایج آزمون من- ویتنی نشان داد که زیست‌توده درختان بین توده برداشت‌شده و کنترل اختلاف معنی‌داری دارد. در این پژوهش تنها اختلاف معنی‌دار بین دو توده برداشت‌شده و کنترل در مؤلفه زیست‌توده روی‌زمینی مشاهده شد. رشد درختان در جنگل می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل درونی درخت و شرایط محیطی قرار گیرد که شامل ظرفیت تولیدی رویشگاه،

ارتفاع، سطح مقطع و ارتفاع از سطح دریا قرار دارد و با توجه به شرایط ناهمسانی و تنوع آمیختگی توده‌های مذکور، مقایسه میزان لاشریزه دشوار است. در خصوص زیست‌توده پوشش کف جنگل تجمعی، مقادیر بسیار بیش‌تری گزارش شده است، به‌عنوان مثال در توده بلوط جنگل‌های معتدله ۴۰ تن در هکتار، در توده کاج بین ۷/۱۲ تا ۱۱۰ تن در هکتار و در توده نوئل بین ۴/۱۷ تا ۸/۷۰ تن در هکتار گزارش شده است. البته در جنگل‌های استوایی مقادیر زیست‌توده پوشش کف جنگل تجمعی کم‌تر است، به‌طوری‌که در جنگل‌های همیشه‌سبز نیجریه ۳ تن در هکتار گزارش گردیده است (۳۰).

زیست‌توده خشکه‌دار در سری برداشت‌شده ۲۱ و در سری کنترل ۱۹ تن در هکتار اندازه‌گیری شد. نتایج آزمون من- ویتنی نشان داد که تفاوت معنی‌داری در زیست‌توده خشکه‌دار بین توده برداشت‌شده و کنترل وجود ندارد. خشکه‌دار به‌عنوان بخشی از درختان زیستگاهی نقش مهمی در حفظ تنوع‌زیستی ایفا می‌کند. خشکه‌دار در جنگل‌ها می‌تواند با تقویت چرخه‌های آب و کربن در مقابله با تغییرات اقلیمی نقش مؤثری ایفا کند (۳۱) و هم‌چنین نقش آن را در اکوسیستم‌های جنگلی برجسته می‌سازد که می‌تواند به بهبود مدیریت جنگل‌ها و حفظ تنوع زیستی کمک کند (۳۲). این بخش از جنگل شرایط مناسبی برای تجدیدحیات نهال‌ها فراهم کرده و مأمّن و لانه‌ای مناسب برای پرندگان، خزندگان، حشرات و قارچ‌ها محسوب می‌شود (۳۳، ۳۴). روند تغییرات زیست‌توده خشکه‌دار برخلاف زیست‌توده لاشریزه بود، به‌طوری‌که با افزایش شدت برداشت، زیست‌توده خشکه‌دار روند افزایشی داشت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین زیست‌توده خشکه‌دار در بیش‌ترین شدت بهره‌برداری مشاهده شد که این امر قابل‌انتظار است، زیرا در زمان جنگل‌گردشی و آماربرداری نیز بیش‌ترین درختان

اندازه‌گیری شد که بین این دو گروه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

مقادیر زیست‌توده ریشه در جنگل‌های معتدله هیرکانی (توده ممرز آمیخته) در محدوده ۴/۶-۵/۵ تن در هکتار، جنگل‌های معتدله (راش، افرا، ون و نارون) ۲/۴۱-۷/۴۳ تن در هکتار، جنگل‌های اروپا در توده‌های راش ۲/۰۶-۳/۸۹ تن در هکتار، جنگل‌های سوزنی‌برگ شمالی ۲ تن در هکتار، جنگل‌های استوایی ۱/۱۴ تن در هکتار و جنگل‌های مانگرو ۱/۵۸ تن در هکتار، گزارش شده است (۳۰).

زیست‌توده کربن آلی خاک در سری برداشت‌شده ۸۴ و در سری کنترل ۸۳ تن در هکتار به دست آمد. نتایج آزمون تی غیرجفتی مشخص شد که ماده آلی خاک بین توده برداشت‌شده و کنترل اختلاف معنی‌داری ندارد. ماده آلی خاک که از تعادل بین ورودی کربن از لاشریزی و ته‌نشست اتمسفری با رهاسازی آن از طریق تجزیه به دست می‌آید (۴۱). نتایج این پژوهش نشان داد که شدت برداشت تغییرات معنی‌داری در زیست‌توده کربن آلی خاک ایجاد نکرد، هرچند روند تغییرات ماده آلی خاک با افزایش شدت برداشت افزایشی بود (۲). اگرچه در برخی پژوهش‌ها ثابت شده که برداشت بیش‌تر باعث کاهش معنی‌دار ماده آلی خاک می‌شود (۳۴، ۴۲). در تحقیق شماره (۳۵) که در جنگل‌های شصت‌کلا انجام شد، اختلاف ذخیره کربن آلی خاک بین تیمار کنترل و تیمارهای برداشت‌شده چشمگیر بود. میزان این اختلاف بستگی به فرصت ترمیم بوم‌سازگان پس از مدیریت داشت. تیماری که کم‌ترین فرصت ترمیم را داشت (تیمار ۳۱) بیش‌ترین اختلاف را با تیمار کنترل داشت (۲۷۶/۳۴ تن در هکتار در یک سال) که با نتایج پژوهش شماره (۳۶) مطابقت دارد. مدیریت داخل جنگل با باز کردن تاج جنگل، روند طبیعی و شرایط آب‌وهوایی (۴۳) و تجزیه بقایای آلی (۴۴) را

عمق خاک، پاسخ به متغیرهای اقلیمی و نوری (۳۶)، بادهای دائمی در جنگل، زوال جنگل، ظرفیت فتوسنتزی و سطح برگ درختان است (۳۷). لازم به ذکر است که نتایج برخی مطالعات خارج از کشور از جمله پژوهش‌های (۳۸، ۳۹) به دلیل تفاوت در روش‌ها، مجموعه داده‌ها و سناریوهای تحلیل‌شده، قابل‌مقایسه با نتایج این پژوهش نیستند.

زیست‌توده روی‌زمینی در سری برداشت‌شده ۶۲ و در سری کنترل ۵۴ تن در هکتار به دست آمد که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. با این حال، افزایش معنی‌دار زیست‌توده روی‌زمینی درختان در توده برداشت‌شده نسبت به توده کنترل با نتایج پژوهش شماره (۴۰) همخوانی دارد که در آن ویژگی‌های رویشی در توده‌های مدیریت‌شده بیش‌تر گزارش شده است. این موضوع به کاهش رقابت میان درختان در اثر برداشت و در نتیجه افزایش رویش درختان با قطرهای کم، متوسط و زیاد در توده برداشت‌شده نسبت به توده کنترل منجر شده است (۳۰).

بر اساس مطالعات انجام شده، زیست‌توده روی‌زمینی در جنگل‌های معتدله ممرز آمیخته ۵۴ تا ۶۲ تن در هکتار، در جنگل‌های راشستان خیرودکنار ۲۵/۳۵ تن در هکتار، جنگل‌های بلوط غرب ۲/۹ تن در هکتار، جنگل‌های شصت‌کلا ۶۷/۴ تا ۱۰۷/۵ تن در هکتار، جنگل ممرز خیرودکنار ۶/۹۲ تا ۷/۳۱۴ تن در هکتار، جنگل‌های دست‌کاشت گلستان (کاج بادامی، کاج بروسیا و زربین) ۴۳/۶ تن در هکتار، حاره‌ای مالزی ۲۰۵ تا ۲۴۲ تن در هکتار و درختان در جنگل‌های تانزان ۴۴/۲۲۸ تا ۵۴/۴۷۵ کیلوگرم در هکتار، گزارش شده است (۳۰).

زیست‌توده ریشه در سری برداشت‌شده ۵/۶ تن در هکتار و در سری کنترل ۶/۴ تن در هکتار

قرار می‌گیرند (۴۶). در این پژوهش روند تغییرات مؤلفه‌های زیست‌توده تحت‌تأثیر شدت برداشت متفاوت بود، زیست‌توده زیرزمینی و لاشریزه با افزایش شدت برداشت کاهش یافت، درحالی‌که زیست‌توده درختان، خشکه‌دار و ماده آلی خاک روند افزایشی داشتند. این موضوع باعث شده مجموع تغییرات مؤلفه‌ها یا زیست‌توده کل تحت‌تأثیر شدت برداشت، معنی‌دار نباشد که مشابه نتایج پژوهش شماره (۴۷) در جنگل راش رومانی است.

بررسی اثرات بلندمدت برداشت با سطوح مختلف (زیاد، متوسط و کم) در توزیع زیست‌توده جنگلی تحت سه برش زادآوری (قطع یکسره، پناهی و گروه‌گزینی) نشان داد که کل منابع مواد آلی در اکوسیستم‌ها در سطح برش‌ها مشابه بوده و هیچ تفاوتی بین تیمارهای بهره‌برداری برای تولید زیست‌توده روی زمینی، ۳۸ سال پس از برداشت مشاهده نشد (۴۸). در پژوهش شماره (۲۹) تأثیر شدت بهره‌برداری بر رویش حجمی درختان معنی‌دار بود و شدت متوسط (۱۳ مترمکعب در هکتار) به‌عنوان شدت برداشت مناسب معرفی شد. با توجه به اختلاف کم زیست‌توده کل در شدت برداشت متوسط و شباهت روند تغییرات آن با توده کنترل، این دو شدت برداشت می‌توانند مناسب باشند.

با این حال، مدیریت جنگل با برداشت شدید چوب، خطر کاهش بهره‌وری را در طول زمان افزایش می‌دهد، زیرا تأثیر منفی بر خواص خاک که منبع اصلی تأمین منابع برای رشد گیاه است، دارد. برداشت شدید معمولاً با افزایش تخلیه مواد مغذی از رویشگاه همراه است و فرآیندهایی مانند آبشویی، فرسایش و رشد پوشش گیاهی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۴۹). تحلیل تغییرات توده‌های بررسی‌شده تفاوت معنی‌داری در مؤلفه‌های زیست‌توده نشان نداد.

افزایش تولید چوب و زیست‌توده برای حرکت به سمت جامعه کم‌کربن و استفاده از منابع تجدیدپذیر

تحت‌تأثیر قرار داده و تعادل بوم‌سازگان را تغییر می‌دهد. هرچه از زمان دخالت در جنگل بیش‌تر بگذرد، توده به شرایط طبیعی اولیه نزدیک‌تر می‌شود. چرخش طولانی فرکانس اختلالات ناشی از عملیات جنگل‌داری را کاهش داده و خاک را قادر می‌سازد کربن بیشتری ذخیره کند. در این پژوهش، تیماری که یک سال از مدیریت آن گذشته بود بیش‌ترین تفاوت ذخیره ماده آلی را با تیمار کنترل داشت، درحالی‌که تیماری که ده سال از مدیریت آن گذشته بود تا حدی تغییرات بوم‌سازگان ناشی از دخالت را بازسازی کرد و حداقل تفاوت را تیمار شاهد داشت (۱۳۵/۱۶ تن در هکتار در سال)، هرچند هنوز اختلاف قابل‌توجهی وجود داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که شدت برداشت تغییرات معنی‌داری در ماده آلی خاک ایجاد نکرد، هرچند روند افزایش ماده آلی خاک با افزایش شدت برداشت مشاهده شد. این نتیجه با جمع‌بندی نتایج ۷۸ پژوهش دیگر همخوانی دارد که نشان می‌دهد برداشت درختان تغییرات معنی‌داری در ذخیره کربن آلی خاک ایجاد نمی‌کند (۴۵).

مقادیر زیست‌توده کربن آلی خاک در جنگل‌های معتدله ممرز آمیخته در محدوده ۸۴-۸۳ تن در هکتار، راشستان ۳۳/۲۶-۸۲/۴۷ تن در هکتار، جنگل‌های استوایی ۳۳/۴۷-۵۹/۷۷ تن در هکتار و در جنگل‌های هندوستان ۷۶/۸۶-۱۷۰/۴۶ تن در هکتار گزارش شده است (۳۰).

زیست‌توده کل در سری برداشت‌شده ۱۵۱ و در سری کنترل ۱۴۴ تن در هکتار به‌دست آمد. نتایج آزمون من-ویتنی نشان داد که زیست‌توده کل بین توده برداشت‌شده و کنترل اختلاف معنی‌داری ندارد و شدت برداشت نیز تغییر معنی‌داری بر زیست‌توده کل نداشته است.

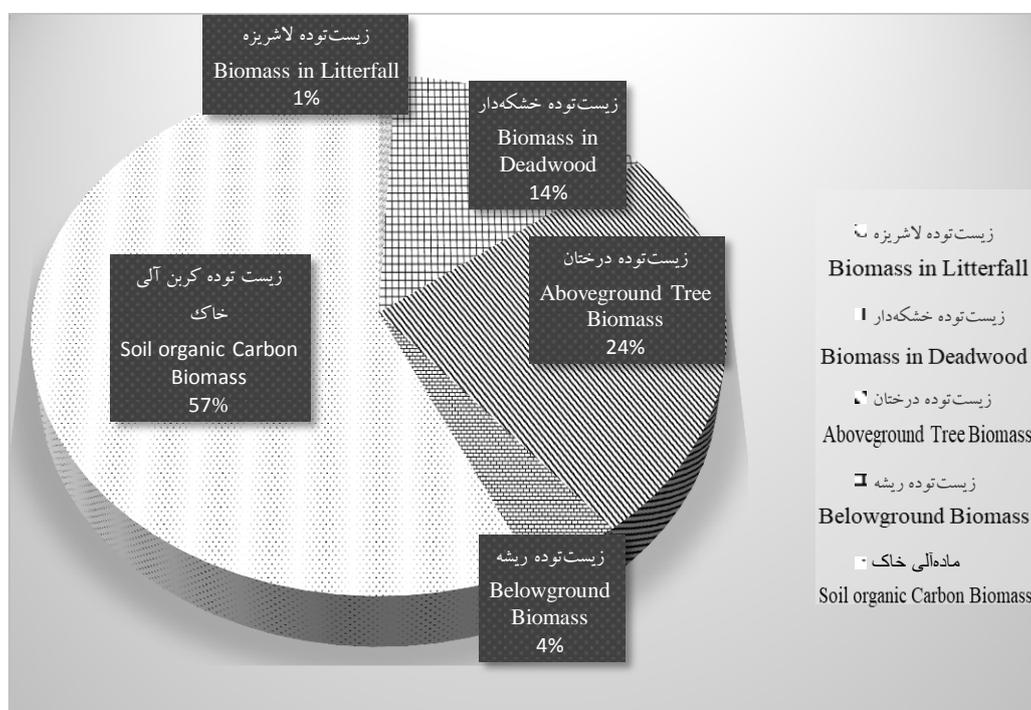
باید توجه داشت که زیست‌توده و مؤلفه‌های آن در توده‌های مختلف، بسته به نوع تغییرات، شدت برداشت و شدت حریق، به‌طور متفاوت تحت‌تأثیر

رویش سالانه باشد، منجر به ذخیره کم‌تر کربن در بوم‌سازگان خواهد شد، درحالی‌که جنگل‌های کهن زیست<sup>۱</sup> با خشکه‌دار و درختان بالغ قطور، کربن بیش‌تری ذخیره می‌کنند (۵۶، ۵۷). به‌طورکلی مرور منابع نشان می‌دهد که عدم مدیریت جنگل به‌هیچ‌وجه شرایط مناسبی برای افزایش ذخیره کربن و تولید زیست‌توده بیش‌تر فراهم نمی‌کند.

**سهم پنج مؤلفه زیست‌توده در جنگل‌های ممرز آمیخته:** زیست‌توده کربن آلی خاک بیش‌ترین سهم را در میان اجزای زیست‌توده دارا بود و کم‌ترین نسبت به زیست‌توده لاشریزه اختصاص داشت. این موضوع، ارزش و اهمیت خاک را در ذخیره‌سازی کربن در بوم‌سازگان جنگل‌های پهن‌برگ معتدله ممرز آمیخته به‌خوبی نشان می‌دهد. اگرچه زیست‌توده لاشریزه کم‌ترین مقدار را دارد، اما ارزش و اهمیت آن در حفظ حاصلخیزی خاک به‌مراتب بیش‌تر از سایر اجزا است.

به‌جای منابع فسیلی، برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی ضروری است (۵۰). درعین‌حال سایر خدمات اکوسیستم از جمله تنوع زیستی جنگل باید حفظ شوند (۵۱). در جنگل‌های معتدله دنیا بیش‌ترین تولید زیست‌توده در مدیریت‌های فشرده جنگل‌کاری‌های تک‌کشتی حاصل می‌شود (۵۲)، اما مقدار محصولات در دوره‌های بعدی برداشت که معمولاً کم‌تر از ۵۰ سال است کاهش می‌یابد (۵۳، ۵۴). به همین دلیل، بسیاری از کشورهای اروپایی تمایل دارند از شیوه‌های پرورش جنگل نزدیک به شرایط طبیعی و با شدت برداشت کم‌تر استفاده کنند تا ریسک اثرات منفی و احتمالی را کاهش دهند. در این شیوه‌ها می‌توان با مدیریت مازاد محصولات چوبی حاصل از تنک کردن، زیست‌توده بیش‌تری در مجموع تولید کرد (۵۵).

قدرت تولید رویشگاه عاملی مهم در تعیین شدت برداشت و دوره‌های چرخش شیوه‌های مدیریت جنگل است، اگر طول دوره چرخش کم‌تر از میانگین



شکل ۴- سهم پنج مؤلفه زیست‌توده در جنگل‌های ممرز آمیخته.

Figure 4. Contribution of five biomass components in mixed hornbeam forests.

مورد مطالعه به جنگل‌های مختلف و اکوسیستم‌های متنوع و همچنین پایش طولانی‌مدت و تکرار نمونه‌گیری در فصول و سال‌های مختلف، باعث افزایش قابلیت تعمیم نتایج گردد. هم‌چنین با استفاده هم‌زمان از روش‌های کمی و کیفی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور و ... بتوان دقت برآورد زیست‌توده و کربن را بالا برد.

شکل ۴ نشان می‌دهد که بوم‌سازگان جنگل ممزر آمیخته در مقایسه با سایر بوم‌سازگان و تیپ‌های جنگلی چگونه در بین اجزای مختلف، زیست‌توده را ذخیره می‌کند که این موضوع به دو دلیل اثبات صحت این پژوهش و توجه به بخش‌های موردنظر در هنگام مدیریت جنگل، مهم ارزیابی می‌شود.

از این رو پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، افزایش تعداد قطعات نمونه‌برداری و گسترش مناطق

### منابع

- Smith, J., Anderson, P., & Lee, K. (2018). Sustainable forest management through selective harvesting: balancing ecological and economic objectives. *Forest Ecology and Management*. 423, 1-12.
- Radaei, M., Habashi, H., Rahmani, R., Shataee, Sh., & Sohrabi, H. (2021). The Effect of harvesting intensity in single-tree selection on biomass of hornbeam - Persian ironwood stand. *J. of Forest Research and Development*. 7(3), 359-373. [In Persian]
- Radaei, M., & Habashi, H. (2022). The effect of harvesting intensity in the single tree selection system on mixed Hornbeam stand characteristics. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 29(2), 137-152. [In Persian]
- Eshaghi Rad, J., Seyyedi, N., & Hasanzad Navrodi, I. (2009). Effect of single selection method on woody species diversity (case study: Janbe sara district-Guilan). *Iranian Journal of Forest*. 1(4), 277-285. [In Persian]
- Johnson, M., & Brown, R. (2020). Effects of selective logging on soil organic carbon and biomass in mixed forests. *Journal of Environmental Management*. 256, 109-126.
- Shariatnezhad, Sh. (2001). Comparison of peer-to-peer and non-peer forestry techniques in Golband - Noshahr forests. *Iranian J. of Natural Resources*. 54(2), 131-142. [In Persian]
- Hasanzad Navroodi, I., & Seyedzadeh, H. (2013). Effects of shelter wood method on some important forest stands features in Shafarood District Nine of Guilan. *J. of Iranian Forests Ecology*. 1(2), 41-55. [In Persian]
- Pourbabaei, H., & Ranjavar, A. (2008). The effect of gradual-refuge approach on plant species diversity in Eastern beech forests. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 16(1), 61-73. [In Persian]
- Moridi, M., Sefidi, K., & Etemad, V. (2015). Stand characteristics of mixed oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the stem exclusion phase, Northern Iran. *European J. of Forest Research*. 134(4), 693-703. [In Persian]
- Kakavand, M., Marvie Mohadjer, M. R., Sagheb Talebi, Kh., & Sefisi, K. (2015). Structural diversity of mixed beech stands in the middle stage of succession (case study: Gorazbon, Kheyrood forest, Nowshahr). *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 22(3), 411-422. [In Persian]
- Sefidi, K., Esfandiary Darabad, F., & Azaryan, M. (2016). Effect of topography on tree species composition and volume of coarse woody debris in an Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) old growth forests, Northern Iran. *J. of Forest-Biogeosciences and Forestry*. 9, 658-665. [In Persian]
- Baral, S., Neumann, M., Prasad josi, KH., Basenyat, B., & Vacik, H. (2025). Exploring the implications of selective harvesting for forest dynamics: A longitudinal analysis of Sal dominated

- community forests. *Trees, Forests and People*. 20, 1-10.
13. Arcanjo, F. A., Barufi, G. M., & Torezan, J. M. D. (2023). Selective logging that occurred decades ago is still impacting aboveground biomass and tree assemblage structure in Brazilian semi-deciduous seasonal Atlantic forest fragments. *Forest Ecology and Management*. 535, 1-25.
  14. Tsui, O. W., Coops, N. C., Wulder, M. A., & Marshall, P. L. (2013). Intergrating airborne LiDAR and space-borne radar via multivariate kriging to estimate aboveground biomass. *Remote Sensing of Environment*. 139, 340-352.
  15. Kaiser, I. M., Aatif, H., & Ajeet, K. N. (2014). An overview of biomass estimation methods. *Research Journal of Social Science and Management*. 10, 42-57.
  16. Seyd, S. Z., Moayeri, M. H., & Mohammadi, J. (2015). Comparison of tree species diversity in the beech managed (selection cutting) and unmanaged stands (case study: Shastkalateh forest- Gorgan). *J. of Plant Research*. 4(28), 784-793. [In Persian]
  17. Pourazimi, M. (2016). Estimation and comparison of forest land carbon storage in unmanaged and managed stands of Dr. Bahramnia forestry plan using LIDAR, radar and aerial digital camera data. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Thesis, 177p. [In Persian]
  18. Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. 111(1), 1-11.
  19. Barzegar, A. S. (2010). Comparison of the effect of canopy structure on precipitation evaporation in young and Elderly Oak, M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 60p. [In Persian]
  20. Rahanjam, S., Marvi Mohajer, M. R., Zobieri, M., & Sefidi, K. (2017). Quantitative and qualitative study of droughts in the natural masses of Hyrcanian forests (Case study: Grazeban series of Kheirood forest, Nowshahr). *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 25(4), 666-656. [In Persian]
  21. Pearson, T. R. (2007). Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon. US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. Vol. 18.
  22. Adl, H. R. (2007). Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 4(15), 417-426. [In Persian]
  23. Abugre, S., Oti-Boateng, C., & Yeboah, M. F. (2011). Litter fall and decomposition trend of *atrophacurcas* L. leaves mulches under two environmental conditions. *Agriculture and Biological J. of North America*. 2(3), 462-470.
  24. Navár, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of Northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*. 257, 427-434.
  25. Kunze M. (1873). Lehrbuch der Holzmesskunst. In: Zweiter Band, Wiegandt und Hempel, Berlin.
  26. Kengi, O., Yukio, Y., Toru, M., Daisuke, H., Yukihiko, C., & Shigeta, M. (2013). Estimating forest biomass using allometric model in a cool-temperate *Fagus crenata* forest in the Appi Highlands, Iwate, Japan. *Bulletin of FFPRI*. 12(3), 125-141.
  27. Karamdost Marian, B., Bonyad, A., & Tavankar, F. (2019). Effect of harvest intensity on volume growth of mixed beech stands in Asalem Nav forests. *J. of Forest Research and Development*. 4(4), 534-547. [In Persian]
  28. Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen K., & Eerikainen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European J. of Forest Research*. 134, 415-431.
  29. Pretzsch, H. (2005). Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies*

- (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long-term experimental plots. *European J. of Forest Research*. 124(3), 193-205.
30. Radaei, M. (2021). Evaluation of biomass and carbon stock variation in relation with environmental variables and soil characteristics in mixed Hornbeam stands in Dr. Bahramnia Educational Forest. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of PhD in in Natural Resources Engineering – Forest Ecology and Silviculture.
31. Julich, S., azeknova, A., Wordell-Dietrich, P., Schäfferling, R., koller, A., Knisel, B., Ptrick, P., Fontenla-Razzetto, G., Zeh, L., Heinz Feger, K., von Oheimb, G., & Kalbitz, K. (2025). Theoretical and methodological framework for monitoring feedback mechanisms among soil moisture dynamics, soil organic matter and deadwood in forests. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 4, 188.
32. Iranmanesh, Y., & Parsapour, M. K. (2025). Biomass and carbon stock in deadwood, litter, and soil of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) stands in Lordegan County, Iran. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 32(4), 373-389. [In Persian]
33. Sagheb-Talebi, Kh., Parhizkar, P., Hassani, M., Pourhashemi, M., Mirkazemi, S. Z., Karimidoost, A., Maghsoudlou, M. K., Ghorbani, H., Mortazavi, M., Seyedi, M., & Rafiee, F. (2021). Structure of intact mixed broad-leaved stands in Hyrcanian Forests (case study: Loveh, Golestan province). *Forest and Wood Products*. 73(4), 349-453. [In Persian]
34. Rafiei Jahed, R., Kavousi, M. R., Farashiani, M. E., Sagheb-Talebi, K., Babanezhad, M., Courbaud, B., Wirtz, R., Müller, J., & Larrieu, L. (2020). A comparison of the formation rates and composition of tree-related microhabitats in beech-dominated primeval Carpathian and Hyrcanian forests. *Forests*. 11(2), 144. [In Persian]
35. Amiri, M., Rahmani, R., Sagheb-Talebi, K., & Habashi, H. (2015). Structural characteristics of dead Wood in a natural untouched of *Fagus orientalis* Lipsky mixed stand forest (Case Study: Shastklateh Forest, Gorgan, Iran). *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 22(1), 185-205. [In Persian]
36. Matala, J., Kärkkäinen, L., Härkönen, K., Kellomäki, S., & Nuutinen, T. (2009). Carbon sequestration in the growing stock of trees in Finland under different cutting and climate scenarios. *European J. of Forest Research*. 128(5), 493-504.
37. Amini, M., Sagheb Talebi, Kh., Khoronkeh, S., & Amini, R. (2009). Investigation of forestry characteristics in mixed beech-hornbeam stands, Zalemrood, Mazandran. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 18(1), 21-34. [In Persian]
38. Matala, J., Kärkkäinen, L., Härkönen, K., Kellomäki, S., & Nuutinen, T. (2009). Carbon sequestration in the growing stock of trees in Finland under different cutting and climate scenarios. *European J. of Forest Research*. 128(5), 493-504.
39. Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Lehtonen K., & Eerikainen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European J. of Forest Research*. 134, 415-431.
40. Mohammadi, J., Shatayee, Sh., & Namirani, M. (2014). Comparison of quantitative and qualitative characteristics of structure and composition of natural and managed stands. Shast Kalate forest, Gorgan. *J. of Wood and Forest Science and Technology Research*. 21(21), 1-11. [In Persian]
41. Jandl R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D. W., Minkkinen, K., & Byrne, K. A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*. 137, 253-268.

42. Zhou, X., Zhou, Y., Zhou, Ch., Wu, Zh., Zheng, L., Hu, X., Chen, H., & Gan, J. (2015). Effects of cutting intensity on soil physical and chemical properties in a mixed natural forest in Southeastern China. *Forests*. 6, 4495-4509.
43. Jhonson, K., Scatena, F., & Pan, Y. (2010). Short -and long-term responses of total soil organic carbon to harvesting in a northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*. 259, 1262-1267.
44. Ritter, E. (2005). Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gap sin a Danish beech (*Fagussylvitica*) forest. *Soil Biology and Biochemsitry*. 37, 1237-1247.
45. Nave, L., Vance, E., Swanston, Ch., & Curtis, P. (2010). Harvest impact on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management*. 259, 857-866.
46. Kauffman, J. B., Ellsworth, L. M., Bell, D. M., Acker, S., & Kertis, J. (2019). Forest structure and biomass reflects the variable effects of fire and land use 15 and 29 years following fire in the western Cascades, Oregon. *Forest Ecology and Management*. 453, 117570.
47. Bouriaud, O., Don, A., Janssens, I. A., Marin, G., & Schulze, E. D. (2019). Effects of forest management on biomass stocks in Romanian beech forests. *Forest Ecosystem*. 6(19), 1-19.
48. Woongsoon, J., Christopher, R. K., & Deborah, S. P. D. (2015). Long-term effects on distribution of forest biomass following different harvesting levels in the Northern Rocky Mountains. *Forest Ecology and Management*. 358, 281-290.
49. DeBruler, D. G., Schoenholtz, S. H., Slesak, R. A., Strahm, B. D., & Timothy, B. (2019). Harrington. Soil phosphorus fractions vary with harvest intensity and vegetation control at two contrasting Douglas-fir sites in the Pacific Northwest. *Geoderma*. 350, 73-83.
50. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2011). Bioenergy and food security criteria and indicators (BEFSCI) project - A compilation of bioenergy sustainability initiatives, Rome, 65p.
51. Heinonen, T., Pukkala, T., Mehtälö, L., Asikainen, A., Kangas, J., & Peltola, H. (2017). Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics*. 80, 80-98.
52. Mason, B., & Perks, M. P. (2011). Sitka spruce (*Picea sitchensis*) forests in Atlantic Europe: changes in forest management and possible consequences for carbon sequestration. *Scand. J. of Forest Research*. 26(11), 72-81.
53. Walmsley, J. D., Jones, D. L., Reynolds, B., Price, M. H., & Healey, J. R. (2009). Whole tree harvesting can reduce second rotation forest productivity. *Forest Ecology and Management*. 257(3), 1104-1111.
54. Wall, A. (2012). Risk analysis of effects of whole-tree harvesting on site productivity. *Forest Ecology and Management*. 282, 175-184.
55. Duncker, P. S., Barreiro, S. M., Hengeveld, G. M., Lind, T., Mason, W. L., & Ambrozy, S. (2012). A classification of forest management approaches: a new conceptual framework and its applicability to European Forestry. *Ecological Societies*. 17(4), 51.
56. Fortin, M., Ningre, F., Robert, N., & Mothe, F. (2012). Quantifying the impact of forest management on the carbon balance of the forest-wood product chain: A case study applied to even-aged oak stands in France. *Forest Ecology and Management*. 279, 176-188.
57. Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., et al. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: a systematic review. *Ecosystem Services*. 9, 191-203.