

آماده انتشار

تأثیر برش گزینشی بر تغییرات زیست توده در توده آمیخته ممرز

محمود ردایی^{۱*}، هاشم حبشی^۲

^{۱*} نویسنده مسئول، دکتری جنگل شناسی و اکولوژی جنگل، سازمان مدیریت و برنامه ریزی مازندران، ساری، ایران.

^۲ دانشیار، گروه جنگل شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

. تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

نویسنده مسئول: Mah_Radaei@yahoo.com

علمی - پژوهشی

چکیده

سابقه و هدف: بهره برداری به شیوه برش تک گزینی یکی از رویکردهای مؤثر در مدیریت جنگل پایدار است که با هدف حفظ تنوع گونه ای و ساختار اکولوژیکی توده های جنگلی و برداشت انتخابی درختان بالغ و سالم، تلاش می کند تا آسیب های وارده به توده های جنگلی را به حداقل رسانده و عملکرد اکوسیستم را حفظ کند. این شیوه نقش قابل توجهی در تغییرات زیست توده جنگل ها دارد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر پرورش جنگل به شیوه برش تک گزینی بر تغییرات زیست توده ممرز آمیخته در توده جنگلی دخالت شده، انجام شد.

مواد و روش ها: پژوهش در سری اول (برداشت شده به شیوه برش تک گزینی) و سری دوم (کنترل و بدون برداشت) جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام نیا (شصت کلاته) انجام شد. نمونه برداری با استفاده از شبکه تصادفی منظم به ابعاد ۳۰۰ در ۴۰۰ متر و تعداد ۷۰ قطعه نمونه نیم هکتاری در ۲۴ پارسل از دو توده برداشت شده و کنترل، صورت گرفت. داده های مربوط به درختان و خشکه دارها برداشت شد و پنج مؤلفه زیست توده شامل زیست توده روی زمینی، زیرزمینی، خشکه دار، لاشریزه و کربن آلی خاک اندازه گیری و محاسبه گردید. زیست توده روی زمینی بر اساس معادلات آلومتریک، زیست توده زیرزمینی با نمونه برداری خاک و جداسازی ریشه، زیست توده لاشریزه با توزین لاشریزی طی شش ماه، زیست توده خشکه دار با ارزیابی درجه پوسیدگی و نوع گونه و زیست توده کربن آلی خاک بر اساس نمونه برداری خاک و تعیین میزان ماده آلی محاسبه شد.

یافته ها: میانگین زیست توده روی زمینی در توده برداشت شده ۶۲ تن در هکتار و در توده کنترل ۵۴ تن در هکتار بود که اختلاف معنی داری نداشت. زیست توده زیرزمینی به ترتیب ۵/۶ و ۶/۴ تن در هکتار بود که تفاوت معنی داری نداشت. زیست توده خشکه دار در توده برداشت شده ۲۱ و در توده کنترل ۱۹ تن در هکتار بود و تفاوت معنی دار نداشت. زیست توده لاشریزه در هر دو توده برابر با ۱/۲ تن در هکتار بود و اختلاف معنی داری نداشت. زیست توده کربن آلی خاک در توده برداشت شده ۸۴ و در سری کنترل ۸۳ تن در هکتار بود و اختلاف معنی داری نداشت. زیست توده درختان در سری برداشت شده ۳۹ و در سری کنترل ۳۳ تن در هکتار محاسبه شد که در بین دو توده اختلاف معنی دار داشت.

نتیجه گیری: زیست توده کربن آلی خاک با میانگین ۸۴ تن در هکتار، سهم ۵۷ درصدی از کل زیست توده داشت و پس از آن زیست توده روی زمینی با ۶۲ تن در هکتار (۲۵ درصد) قرار داشت. در بین پنج مؤلفه زیست توده تنها زیست توده درختان در بین توده اختلاف معنی دار داشت که در توده برداشت شده بیشتر بود. بهره برداری به شیوه برش تک گزینی با شدت برداشت کنترل

شده، می‌تواند منجر به افزایش یا حفظ زیست‌توده در منابع جنگلی شود و به‌عنوان روشی پایدار در مدیریت جنگل‌های طبیعی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تک‌گزینی، خشکه‌دار، زیست‌توده، کربن آلی خاک، لاشریزه

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 زیست‌توده 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 زیست‌توده روی زمینی شود؛ چرا که ایجاد فضاهای باز کوچک در توده جنگلی امکان تجدید حیات 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 تحقیقات 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 زیست‌توده درختان، لاشریزه، زیست‌توده 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، ۱۵].

تأثیرات بهره‌برداری به شیوه برش تک‌گزینی بر زیست‌توده جنگل‌ها متفاوت است و عمدتاً به‌شدت برداشت و ویژگی‌های اکولوژیکی توده بستگی دارد. در جنگل‌های بهره‌برداری شده با این روش، زیست‌توده روی زمینی معمولاً بیشتر از توده‌های کنترل است، به‌عنوان نمونه در توده انجیلی-ممرز میانگین زیست‌توده کل در توده برداشت‌شده 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 زیست‌توده 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 زیست‌توده روی‌زمینی، زیرزمینی، خشک‌دار، 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

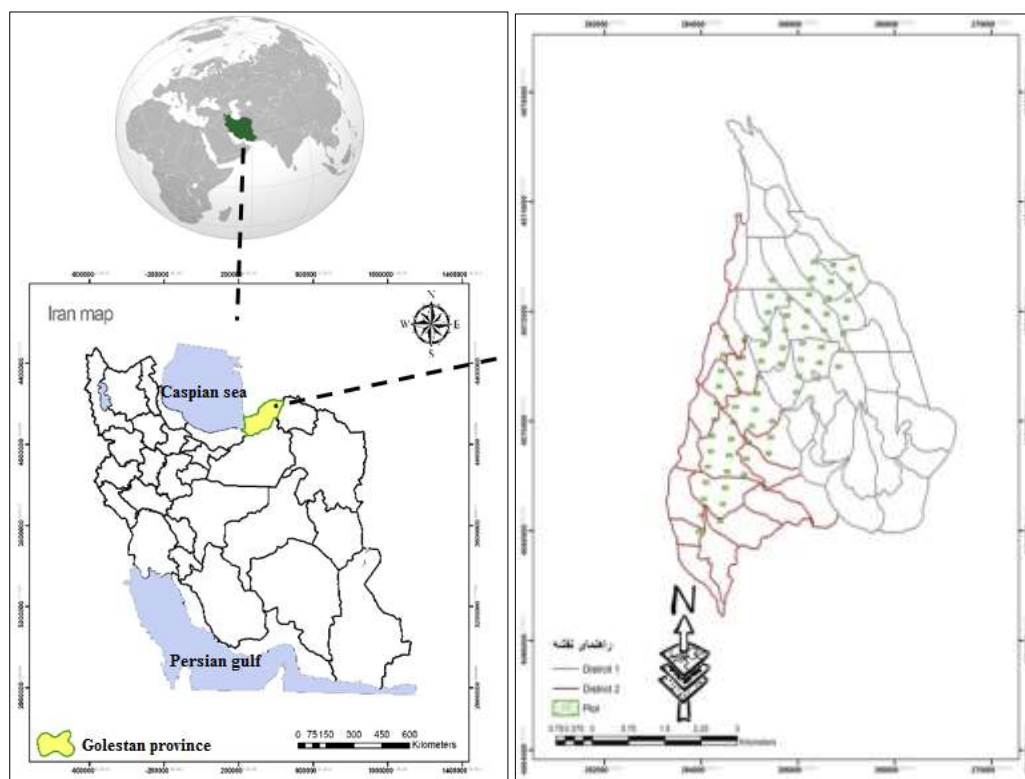
منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه در بخشی از سری های یک و دو طرح جنگلداری دکتر بهرام نیا (شصت کلاته) که طول جغرافیایی آن از ۲۶° ۲۱' ۵۴° تا ۲۴' ۵۷° ۵۴° شرقی و عرض جغرافیایی از ۲۷' ۲۳° ۳۶° تا ۶' ۴۸' ۳۶° 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 تهیه شده و طی سه دوره ده ساله به شیوه پناهی و تک‌گزینی اجرا و مدیریت شده است و سری دو جنگل شصت کلاته با متوسط ارتفاعی ۱۰۰۰ متر فاقد مشکلات اجتماعی-اقتصادی بوده و دخالت‌های انسانی نظیر بهره‌برداری رسمی در قالب طرح‌های جنگلداری و مدیریت شده در آن وجود ندارد و تقریباً شبیه جنگل بکر است.

مساحت کل سری یک (توده برداشت شده) و سری دو (کنترل) به ترتیب ۱۷۱۴ و ۱۹۹۲ هکتار است. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه (بر اساس اطلاعات ۱۰ ساله ایستگاه کليماتولوژی 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 شصت کلاته در سال ۱۳۵۹ انجام شد و آخرین قطع درختان در جنگل شصت کلاته 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 ۴۰۰ × ۳۰۰ 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 کلیه درختان شامل نوع گونه، قطر برابر سینه، 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 به وسیله استوانه قدی با سطح مقطع ۴۰ سانتی‌متر مربع و در عمق ۲۰ سانتی‌متر در محل قطعات نمونه برداشت گردید و با جداسازی ریشه‌ها به روش شستشو و توزین بعد از خشک کردن در آون تعیین شد [۱۸]. زیست‌توده لاشریزه با نصب ۷۰ تله لاشریزه در محل قطعات نمونه طی شش ماه (شهریور تا بهمن) اندازه‌گیری و بعد از خشک کردن در آون توزین شد [۱۹]. زیست‌توده خشکه‌دار از طریق اندازه‌گیری ابعاد، درجه کیفی پوسیدگی و وزن مخصوص آن در محل قطعات نمونه برآورد

گردید [۲۰]. زیست‌توده کربن آلی خاک با نمونه‌برداری از عمق ۲۰ سانتی‌متری محل قطعات نمونه و بر اساس میزان ماده آلی خاک، درصد سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری محاسبه شد [۲۱]. مقایسه مقادیر پنج مؤلفه زیست‌توده در دو توده برداشت‌شده و کنترل با استفاده از آزمون ناپارامتری من – ویتنی انجام گرفت.



شکل ۱- شبکه نمونه‌برداری در سری یک و دو جنگل شصت کلاته گرگان

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

نرمال بودن توزیع مشاهدات توسط آزمون شاپیرو – ویلک (shapiro-wilk Test) انجام شد. از طریق آزمون ناپارامتری من – ویتنی (Mann-Whitney U) معنی‌داری 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 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 از کل زیست توده را دارا بود و پس از آن زیست توده روی زمینی با ۳۶ تن در هکتار معادل ۲۵ درصد از زیست توده کل را تشکیل داد. از میان پنج مؤلفه زیست توده، تنها زیست توده روی زمینی (درختان) بین توده برداشت شده و کنترل اختلاف معنی دار داشت که این مقدار در توده برداشت شده بیشتر بود.

جدول ۱- اطلاعات توصیفی زیست توده (کیلوگرم در هکتار) در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Basic characteristics of control and harvested stands

جدول ۲- جدول آزمون نرمال بودن متغیرها

Table 2. Table for testing the normality of variables

ضریب تغییرات Coefficient of variation		انحراف معیار Standard deviation		میانگین Mean		تعداد نمونه Sample size		عنوان Title
کنترل Control	برداشت شده Harvested	کنترل Control	برداشت شده Harvested	کنترل Control	برداشت شده Harvested	کنترل Control	برداشت شده Harvested	
38.39	24.73	463.43	300.14	1206.9	1213.2	35	35	زیست توده لاشریزه Biomass in Litterfall
76.15	98.08	75.14586	92.20788	19154.3	21195.2	35	35	زیست توده خشک‌دار Biomass in deadwood
030.35	77.31	730.18827	28.19614	45.53735	1.61738	35	35	زیست توده درختان Aboveground Tree Biomass
85.30	06.28	61.2116	57.2178	4.6859	3.7762	35	35	زیست توده زیرزمینی Belowground Biomass
59.27	91.22	07.23026	96.19188	07.83449	83.83756	35	35	زیست توده کربن آلی خاک Soil organic Carbon Biomass
		نرمال بودن Normal	P-VALUE گروه کنترل	P-VALUE گروه برداشت شده		متغیر Variable		

خیر No	0.000	0.028	زیست توده لاشریزه Biomass in Litterfall
خیر No	0.0001	0.000	زیست توده خشک‌ه‌دار Biomass in deadwood
بله Yes	0.7218	0.1631	زیست توده درختان Aboveground Tree Biomass
خیر No	0.0057	0.2489	زیست توده روی زمینی Aboveground Biomass
خیر No	0.0137	0.3661	زیست توده زیرزمینی Belowground Biomass
خیر No	0.000	0.4694	زیست توده کربن آلی خاک Soil organic Carbon Biomass
خیر No	0.0000	0.2911	زیست توده کل Total Biomass

مطابق جدول ۲، متغیر زیست توده درختان از توزیع نرمال تبعیت 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-ویتنی استفاده شد.

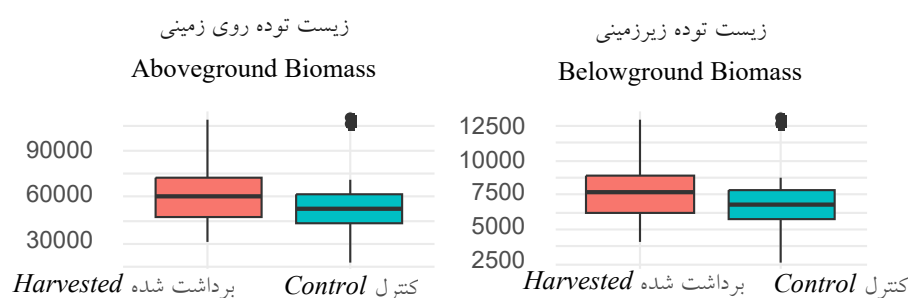
جدول ۳- جدول آزمون تفاوت دو گروه از داده‌ها

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

متغیر Variable	آزمون استفاده شده Used test	مقدار آماره Statistic value	P-VALUE	معنی داری (P-) VALU<0.05
-------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------	-----------------------------

No	0.3473	693	Mann-Whitney U	زیست توده لاشریزه Biomass in Litterfall
No	0.7070	580	Mann-Whitney U	زیست توده خشک‌دار 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، خشک‌دار و کربن آلی خاک در این دو توده تفاوت معنی داری نشان نمی‌دهند.

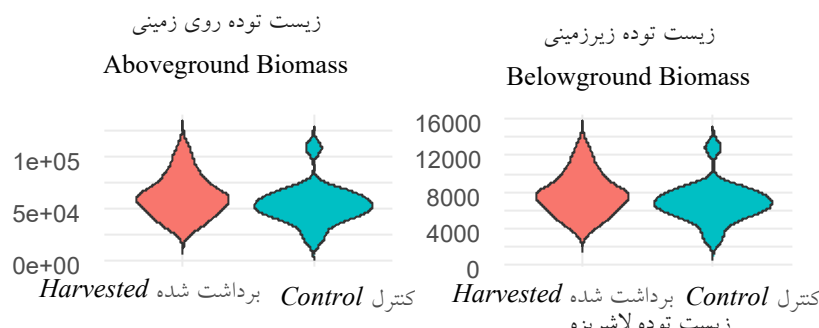


شکل ۱- نمودار جعبه‌ای پنج مؤلفه زیست‌توده در توده برداشت‌شده و توده کنترل

Figure 1. Box plot of 5 biomass sources in harvested and control stands

همچنین مطابق شکل ۱ و ۲، الگوی توزیع داده‌ها در زیست‌توده درختان بین دو توده برداشت‌شده و کنترل متفاوت است، اما

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



زیست توده خشکه دار
Biomass in Deadwood

زیست توده کربن آلی خاک
Soil organic Carbon Biomass

زیست توده درختان
Aboveground Tree Biomass

شکل ۲- نمودار وایولین توزیع داده‌های پنج مؤلفه زیست‌توده در توده برداشت‌شده و توده کنترل

Figure 2 - Violin diagram of the distribution of data for the 5 biomass sources in harvested and control stands

بحث

امروزه استفاده از شاخص‌های بوم‌شناختی به‌منظور شناخت وضعیت بوم‌سازگان‌ها و پایش و ارزیابی تغییرات ایجادشده در طول زمان، در کشورهای پیشرفته به‌صورت امری رایج تبدیل شده است. این موضوع برای کشور ما که از یک‌سو 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 چالش‌های جدی مواجه کرده است، اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از شاخص‌های بوم‌شناختی که کمبود اطلاعات مربوط به آن به‌وضوح احساس می‌شود، توان تولید زیست‌توده است [۲۲].

مقدار زیست‌توده به‌عنوان متغیری مهم، مانند موجودی حجمی یا درصد تاج پوشش، در توده‌های جنگلی مطرح است. برآورد زیست‌توده و ذخیره کربن درختان و سایر پوشش‌های گیاهی علاوه بر اهمیت در موضوعات مرتبط با گرمایش زمین و تغییر اقلیم [۲۳]، 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 بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، اولین اندازه‌گیری زیست‌توده درختی توسط دانشمند آلمانی به نام ابرامیر (۱۸۷۶) انجام شد که شامل اندازه‌گیری برگ و سرشاخه‌های درختان جنگلی بود. با این حال، اخیراً اهمیت ارزیابی زیست‌توده جنگل به دلیل 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. به‌طور کلی، 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 دیرزستی 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 تاج پوشش است. به‌طوری‌که در پژوهش شماره [۲۷] 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^۱ 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، در 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 تحت تأثیر آمیختگی گونه‌ها، تراکم، سن، قطر، ارتفاع، سطح مقطع و ارتفاع از سطح دریا قرار دارد و با توجه به شرایط ناهمسانی و تنوع آمیختگی توده‌های مذکور، مقایسه میزان لاشریزی 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-ویننی 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 تجدید حیات نهال‌ها فراهم کرده و مأمّن و لانه‌ای مناسب برای پرندگان، خزندگان، حشرات و قارچ‌ها محسوب می‌شود [۳۳، ۳۴]. روند تغییرات زیست‌توده خشکه‌دار

¹ The Forest floor accumulation

برخلاف زیست توده لاشریزه بود، به طوری که با افزایش شدت برداشت، زیست توده خشکه دار روند افزایشی داشت. نتایج نشان داد که بیشترین زیست توده خشکه دار در بیشترین شدت بهره برداری مشاهده شد که این امر قابل انتظار است، زیرا در زمان جنگل گردشی و آماربرداری نیز بیشترین درختان بادافتاده در سری تک گزینی ثبت شده است [۲]. این موضوع عمدتاً به کاهش تراکم و باز شدن بیشتر تاج پوشش توده مربوط می شود که موجب آشفته گی و بروز بادافتادگی در توده تک گزینی شده است. در این مطالعه فراوانی خشکه دار 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 خشکه دار جوان (با درجه پوسیدگی یک) در توده برداشت شده تک گزینی نسبت به توده کنترل بیشتر بود که این تفاوت را می توان از مدت زمان لازم برای پوسیدگی در دو توده دانست [۱۱]. در توده کنترل راش همین منطقه نیز خشکه دار سرپا با درجه پوسیدگی یک و افتاده با درجه پوسیدگی دو بیشترین فراوانی را داشتند [۳۷]. لازم به ذکر است که اختلاف معنی داری بین فراوانی انواع درجه های پوسیدگی خشکه دار در دو توده مشاهده نشد.

مقادیر زیست توده خشکه دار در جنگل های معتدله ممرز آمیخته در محدوده ۲۱-۱۹ تن در هکتار، جنگل های معتدله هیمالیا ۱۴/۹۴-۱/۵ تن در هکتار، جنگل های کارائیب ۴/۵۵ تا ۲۸/۱۱ تن در هکتار، جنگل های اوکراین ۸/۱ تا ۱۰/۷ تن در هکتار و در جنگل های احیاشده ۸/۱۹-۰/۵ تن در هکتار تعیین شده است [۳۰].

زیست توده درختان در سری برداشت شده ۳۹ و در سری کنترل ۳۳ تن در هکتار محاسبه شد. نتایج آزمون من-ویتنی نشان داد که زیست توده درختان بین توده برداشت شده و کنترل اختلاف معنی داری دارد. در این پژوهش تنها اختلاف معنی دار بین دو توده برداشت شده و کنترل در مؤلفه زیست توده روی زمینی مشاهده شد. رشد درختان در جنگل می تواند تحت تأثیر عوامل درونی درخت و شرایط محیطی قرار گیرد که شامل ظرفیت تولیدی رویشگاه، 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 پژوهش های [۳۸، ۳۹] به دلیل تفاوت در روش ها، مجموعه داده ها و سناریوهای تحلیل شده، قابل مقایسه با نتایج این تحقیق نیستند.

زیست توده روی زمینی در سری برداشت شده ۶۲ و در سری کنترل ۵۴ تن در هکتار به دست آمد که تفاوت معنی داری بین آن ها مشاهده نشد. با این حال، افزایش معنی دار زیست توده روی زمینی درختان در توده برداشت شده 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 روی زمینی 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 شصت‌کلاته 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 تانزانی 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 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) ۷/۴۳ - ۲/۴۱ 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 [۴۲، ۳۴]. 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 تحت تأثیر قرار داده و تعادل بوم‌سازگان را تغییر می‌دهد. هر چه 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 تحقیق، تیماری که یک سال از مدیریت آن گذشته بود بیشترین تفاوت ذخیره ماده آلی را با تیمار کنترل داشت، در حالی که 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 ممیز آمیخته در محدوده ۸۳-۸۴ 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 به دست 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 تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۴۶]. در این تحقیق روند تغییرات مؤلفه‌های زیست‌توده تحت تأثیر شدت برداشت متفاوت بود، زیست‌توده زیرزمینی و لاشریزه با افزایش شدت برداشت کاهش یافت، در حالی که زیست‌توده درختان، خشکه‌دار و ماده آلی خاک روند افزایشی داشتند. این موضوع باعث شده مجموع تغییرات مؤلفه‌ها یا زیست‌توده کل تحت تأثیر 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 تحت تأثیر 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 به‌جای منابع فسیلی، برای کاهش تغییرات آب‌وهوایی ضروری است [۵۰]. در عین حال 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].

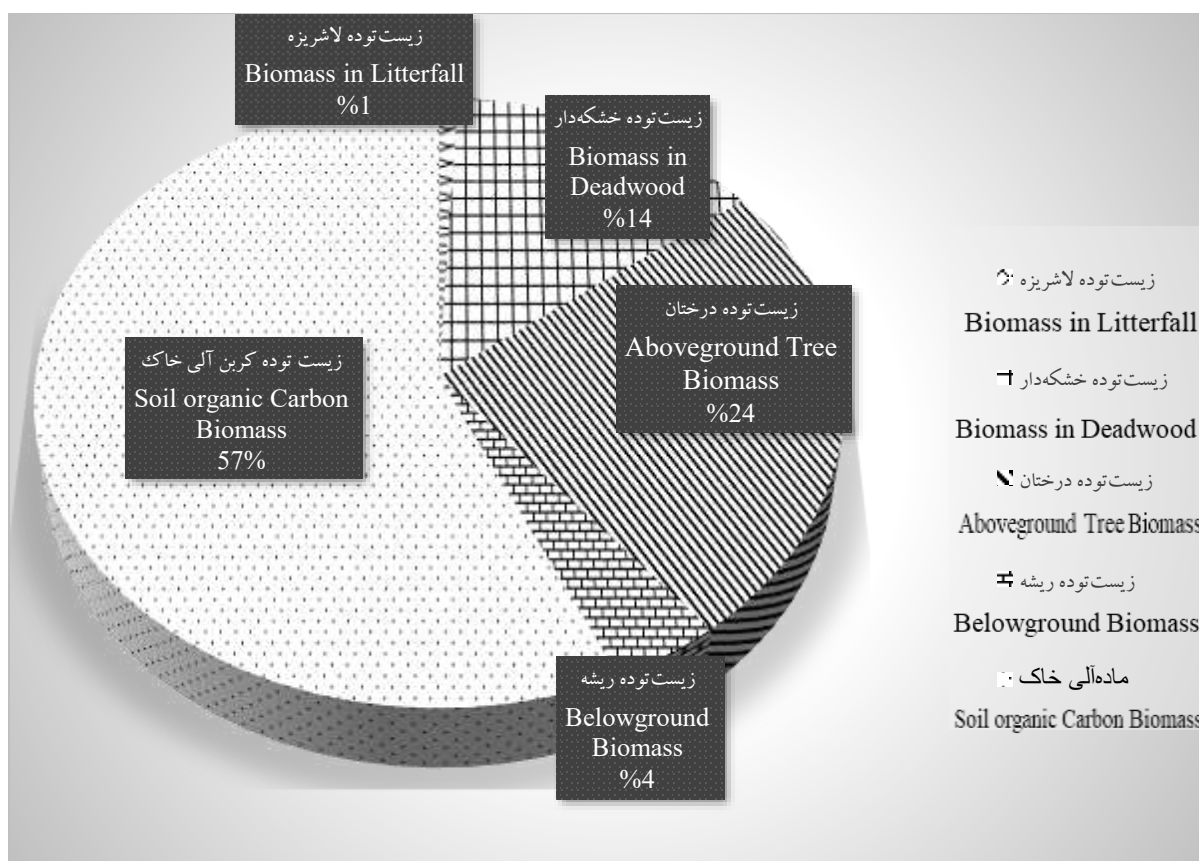
قدرت تولید رویشگاه عاملی مهم در تعیین شدت برداشت و دوره‌های چرخش شیوه‌های مدیریت جنگل است، اگر طول دوره چرخش کمتر از میانگین رویش سالانه باشد، منجر به ذخیره کمتر کربن در بوم‌سازگان خواهد شد، درحالی‌که جنگل‌های کهن زیست^۲ با خشکه‌دار و درختان بالغ قطور، کربن بیشتری ذخیره می‌کنند [۵۶، ۵۷]. به‌طور کلی مرور منابع نشان می‌دهد که عدم

² Old Growth

مدیریت جنگل به هیچ وجه شرایط مناسبی برای افزایش ذخیره کربن و تولید زیست توده بیشتر فراهم نمی کند.

سهم پنج مؤلفه زیست توده در جنگل های ممرز آمیخته

زیست توده کربن آلی خاک بیشترین سهم را در میان اجزای زیست توده دارا بود و کمترین نسبت به زیست توده لاشریزه اختصاص داشت. این موضوع، ارزش و اهمیت خاک را در ذخیره سازی کربن در بوم سازگان جنگل های پهن برگ معتدله ممرز آمیخته به خوبی نشان می دهد. اگرچه زیست توده لاشریزه کمترین مقدار را دارد، اما ارزش و اهمیت آن در حفظ حاصلخیزی خاک به مراتب بیشتر از سایر اجزا است.



شکل ۳- سهم پنج مؤلفه زیست توده در جنگل های ممرز آمیخته

Figure 3. Contribution of five biomass components in mixed hornbeam forests

شکل ۳ نشان می دهد که بوم سازگان جنگل ممرز آمیخته در مقایسه با سایر بوم سازگان و تیپ های جنگلی چگونه در بین اجزای مختلف، زیست توده را ذخیره می کند که این موضوع به دو دلیل اثبات صحت این پژوهش و توجه به بخش های موردنظر در هنگام مدیریت جنگل، مهم ارزیابی می شود.

از این رو پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، افزایش تعداد قطعات نمونه‌برداری و گسترش مناطق 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 نظیر سنجش از دور و ... بتوان دقت برآورد زیست‌توده و کربن را بالا برد.

منابع

1. 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.
2. Radaei, M., Habashi, H., Rahmani, R., Shataee, Sh and 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)
3. Radaei, M., and 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)
4. Eshaghi Rad, J., Seyyedi, N., and Hasanazad 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)
5. 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.
6. 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)
7. Hassanazad Navroodi, I., and 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)
8. Pourbabaei, H., and 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)
9. Moridi, M., Sefidi, K., and 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)
10. Kakavand, M., Marvie Mohadjer, M.R., Sagheb Talebi, Kh. and 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)
11. Sefidi, K., Esfandiary Darabad, F., and 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)

12. Baral, S., Neumann, M., Prasad josi, KH., Basenyat, B., and 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., and 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., and Marshall, P.L., 2013. Integrating 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., and 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., and 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., and 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., and 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., and 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., and 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., and 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., Pöck, P., Fontenla-Razzetto, G., Zeh, L., Heinz Feger, K., von Oheimb, G., and 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., and 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., and Rafiei, 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., and 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., and Habashi, H. 2015. Structural characteristics of dead wood in a natural untouched of *Fagus orientalis* Lipsky mixed stand forest (Case Study: Shastklath 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., and 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., and Namiranian, 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., Minkinen, 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. Johnson, K., Scatena, F., and 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., and 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., R.K. Christopher & S.P.D. Deborah, 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., Mehtälä, 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., and 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., and 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., and 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., and 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.

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

M. Radaei^{1*}, H. Habashi²

^{1*} - Corresponding author, Ph.D. Student of Silvicultural and Forest Ecology, Management and Planning Organization, Sari, I.R. Iran.

² - Associate Professor, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

Received: 15/09/2025 Accepted: 22/12/2025

*Corresponding author: Mah_Radaei@yahoo.com

Abstract

Background and Objective:

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⁻¹ in the harvested stand and 54 t ha⁻¹ in the control stand, with no significant difference. Belowground biomass averaged 6.5 t ha⁻¹ in the harvested stand and 4.6 t ha⁻¹ in the control, also showing no significant difference. Deadwood biomass was 21 and 19 t ha⁻¹ in the harvested and control stands, respectively, without significant difference. Litter biomass was identical in both stands (1.2 t ha⁻¹). Soil organic carbon biomass was 84 t ha⁻¹ in the harvested stand and 83 t ha⁻¹ 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^{-1} and accounting for approximately 57% of total biomass, followed by aboveground biomass (36 t ha^{-1} , 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.

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