Journal of Forest Ecosystems Research, 2025, 4(2): 38-49

Research Article

Effects of the shelterwood system on changes in aboveground biomass of trees in the beech forests

Ali Shahrdami [1], Hashem Habashi [1*], Ramin Rahmani [1], Fatemeh Rafiee [1]

Extended Abstract

Background and objectives: The Hyrcanian forests play a crucial role in carbon storage, soil and water conservation, and climate change mitigation. Previous studies on the silvicultural management of these forests have primarily focused on estimating stand volume and structural characteristics. However, the effects of different management regimes – particularly the shelterwood system – on aboveground biomass, a key indicator of carbon sequestration, remain unclear. The main objective of this study was to quantify and analyze the effects of shelterwood management treatments on tree quantitative characteristics and aboveground biomass in the beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests of Kelardasht, northern Iran.

Materials and methods: The research was conducted in Compartment 5 of the Kelardasht forest management plan. Five management treatments were selected: control, shelterwood, partial shelterwood, shelterwood with improvement cutting, and unmanaged (outside the management plan). In each treatment, five 0.5-hectare plots were randomly established. Diameter at breast height (DBH), total height, and stem height were measured, and tree volume was calculated. Aboveground biomass was estimated using tree volume, wood specific gravity, and FAO expansion factors. Data were analyzed using one-way ANOVA and independent t-tests.

Results: Results showed that mean diameter at breast height (DBH) and total height were significantly greater in unmanaged treatments (control and areas outside the management plan) compared to managed treatments. The control treatment exhibited the highest aboveground biomass at 613.58 t ha^{-1}, whereas the complete shelterwood treatment had the lowest at 272.56 t ha^{-1}, representing a 56% reduction relative to the control. The partial shelterwood and shelterwood with improvement cutting treatments had mean biomass values of 417.13 and 273.61 t ha^{-1}, respectively. These trends were consistent with structural indices such as stand volume and total height; even-aged stands resulting from complete shelterwood had lower biomass, while uneven-aged structures in partial shelterwood and control treatments demonstrated superior performance.

Conclusion: The findings suggest that the partial shelterwood method is a suitable option for the mid-elevation forests of Kelardasht, as it combines significant economic benefits with biomass levels closest to those of the control treatment, while preserving the advantages of uneven-aged forest structures. This study is the first to demonstrate that extending the shelterwood regeneration period can lead to the development of natural, uneven-aged stands exhibiting characteristics of sustainable forests.

Keywords: Aboveground biomass, Shelterwood, Partial shelterwood, Forest structure.

Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

*Corresponding Author, Email: habashi@gu.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer.4.2.38

ISSN: 2423-4427 (Online); 2423-4095 (Print)

Received: 13.10.2025, Accepted: 20.11.2025, Online Published: 07.02.2026

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

مقاله پژوهشی

تأثیر اجرای شیوه پناهی بر تغییرات زیست‌توده روی زمینی درختان جنگل راشستان

علی شهردمی[۱]، هاشم حبشی[۱*]، رامین رحمانی[۱]، فاطمه رفیعی[۱]

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: جنگل‌های هیرکانی نقش کلیدی در ذخیره کربن، حفاظت خاک و آب، و کاهش تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. پژوهش‌های موجود در خصوص پرورش این جنگل‌ها، عمدتاً به برآورد حجم و ویژگی‌های ساختاری توده‌ها محدود شده و تاثیر شیوه‌های مختلف مدیریت جنگل، به‌ویژه روش پناهی، بر زیست‌توده روی‌زمینی به عنوان مهمترین شاخص ترسیب کربن کماکان نامشخص است. هدف اصلی این پژوهش، کمّی‌سازی و تحلیل اثرات اجرای تیمارهای مدیریتی در شیوه پناهی بر ویژگی‌های کمّی درختان و زیست‌توده روی‌زمینی در جنگل‌های راشستان کلاردشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در بخش‌هایی از سری پنج طرح جنگلداری کلاردشت انجام شد. پنج تیمار مدیریتی شامل تیمار کنترل، پناهی کامل، پناهی ناکامل، پناهی همراه با عملیات پرورشی و تیمار بدون طرح جنگلداری انتخاب شدند. در هر تیمار، پنج قطعه نمونه نیم‌هکتاری به‌صورت تصادفی انتخاب شد و داده‌های قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه جمع‌آوری شد و حجم درختان محاسبه گردید. زیست‌توده روی‌زمینی بر اساس حجم درختان، وزن مخصوص چوب و ضرایب بسط FAO برآورد گردید. داده‌ها با آزمون‌های آنالیز واریانس یک‌طرفه و تی غیرجفتی تحلیل شدند.

یافته‌ها: میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع کل در تیمارهای مدیریت نشده (کنترل و بدون طرح جنگلداری) به‌طور معناداری بالاتر از تیمارهای مدیریت شده بود. تیمار کنترل بیشترین زیست‌توده را با میانگین ۶۱۳/۵۸ تن در هکتار داشت، در حالی که پناهی کامل کمترین مقدار را با ۲۷۲/۵۶ تن در هکتار نشان داد که گویای کاهش ۵۶٪ نسبت به تیمار کنترل است. تیمار پناهی ناکامل میانگین ۴۱۷/۱۳ تن در هکتار و پناهی همراه با عملیات پرورشی میانگین ۲۷۳/۶۱ تن در هکتار داشتند این الگوها با شاخص‌های ساختاری مانند حجم و ارتفاع کل همخوانی داشت؛ توده‌های یکنواخت حاصل از پناهی کامل زیست‌توده کمتری تولید کردند، در حالی که ساختار ناهمسال تیمار پناهی ناکامل و تیمار کنترل عملکرد بهتری داشتند.

نتیجه‌گیری: نتاج نشان می‌دهد که شیوه پناهی ناکامل گزینه‌ای مناسب برای منطقه میانبند کلاردشت است، زیرا ضمن کسب سودآوری اقتصادی قابل ملاحظه، دارای زیست‌توده نزدیک‌ترین مقدار به تیمار کنترل هست؛ ضمن آنکه مزایای جنگل ناهمسال را به همراه دارد. نتایج این پژوهش برای نخستین بار اثبات نمود که با افزایش طول مدت در شیوه پناهی قادر به ایجاد توده های طبیعی منطبق بر برخی از شاخصه های جنگل پایدار در جنگل‌های راش کلاردشت هستیم که پیامدهای مهمی برای مشارکت در جذب کربن در این اکوسیستم ارزشمند ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زیست توده، شیوه پناهی، پناهی ناکامل، ساختار جنگل.

---

[۱]گروه جنگل شناسی و اکولوژی جنگل ، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[*]پست الکترونیکی نویسنده مسئول: habashi@gu.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer4.2.38

شاپا: ۴۴۲۷-۲۴۲۳ (برخط)؛ ۴۰۹۵-۲۴۲۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۹
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

مقدمه

جنگل‌ها متنوع‌ترین و از نظر زیست‌محیطی مهم‌ترین زیستگاه‌های زمینی هستند که حدود ۳۰ درصد از سطح خشکی کره زمین را پوشش می‌دهند. این اکوسیستم‌های حیاتی، خدمات ارزشمندی از جمله جذب کربن، حفاظت از خاک و آب، و در نتیجه کاهش تغییرات اقلیمی را فراهم می‌آورند (Dobrosavljević *et al*., 2025). از آنجایی که جنگل‌ها بخش عمده‌ای از تبادل کربن بین جو و بیوسفر خشکی را به خود اختصاص داده‌اند، پس از اقیانوس‌ها مهم‌ترین نقش را در چرخه کربن ایفا می‌کنند (Ameray *et al*., 2021). اکوسیستم‌های خشکی ۸۰ درصد زیست‌توده روی زمینی و ۴۰ درصد زیست‌توده زیرزمینی را تشکیل می‌دهند (Li *et al*., 2024).

زیست‌توده جنگلی یکی از مخازن طبیعی کربن است که توسط هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوا یا IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) به عنوان یک عامل مؤثر در کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری شناخته شده است، تمام گیاهان از طریق فتوسنتز، CO_2 را تثبیت کرده و کربن را در زیست‌توده خود ذخیره می‌کنند، و این بودجه کربنی را می‌توان از طریق مدیریت جنگل تقویت نمود (Castaño-Santamaría *et al*., 2013). مدیریت جنگل، به عنوان یک عامل کلیدی، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر پویایی و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی، از جمله میزان ذخیره‌سازی کربن و تولید زیست‌توده داشته باشد (Bouriaud *et al*., 2019). مدیریت جنگل شامل اشکال و شدت‌های مختلفی است که مجموعه‌ای از اقدامات متنوع را در برمی‌گیرد (Luyssaert *et al*., 2011). روش‌های متنوع مدیریت جنگل، از جمله انتخاب گونه‌های مناسب، تنک کردن و شیوه‌های برداشت چوب، می‌توانند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر میزان جذب و ذخیره کربن در جنگل‌ها اثر بگذارند. در این میان، شیوه‌های برداشت چوب از مهم‌ترین دخالت‌های مدیریتی در جنگل‌ها محسوب می‌شوند که می‌توانند ساختار، ترکیب و در نهایت، میزان زیست‌توده روی زمینی درختان را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند (Pussinen *et al*., 2008; Ranatunga *et al*., 2002).

یکی از شیوه‌های مهم برداشت چوب در جنگل‌های شمال کشور، شیوه پناهی است که به مدت حدود ۳۰ سال در جنگل‌های هیرکانی و به خصوص توده‌های راشستان انجام شد. این روش که با هدف تجدید حیات طبیعی و ایجاد ساختارهای همسال در جنگل‌ها اجرا شده بود، شامل برداشت تدریجی درختان بالغ در چند مرحله است تا شرایط مناسب برای استقرار و رشد نهال‌های جدید فراهم گردد. شیوه پناهی می‌تواند به دلیل تغییر در میزان تاج پوشش، نور دریافتی سطح زمین، رطوبت خاک و رقابت بین درختان، اثرات متفاوتی بر رشد و تجمع زیست‌توده درختان باقی‌مانده و همچنین استقرار و رشد نهال‌های جدید داشته باشد، این روش از یک سو با تسهیل تجدید حیات طبیعی، جوان‌سازی توده و افزایش تنوع گونه‌ای، پیامدهای مثبتی برای پایداری جنگل به همراه دارد، اما از سوی دیگر در صورت اجرای نادرست می‌تواند باعث کاهش رطوبت خاک، گسترش گونه‌های نورپسند رقیب و تضعیف ترکیب طبیعی توده گردد (Bradley *et al*., 2001; Pokhrel *et al*., 2024).

با وجود اهمیت شیوه‌های مدیریتی، درک دقیق تأثیر آن‌ها بر تغییرات زیست‌توده روی‌زمینی و ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های راش، به‌ویژه پس از دوره‌های استراحت جنگل، نیازمند بررسی‌های علمی و پژوهشی دقیق است. چنین بررسی‌هایی نقش مهمی در تعیین نظام‌های مناسب مدیریت جنگل پایدار ایفا می‌کنند. مطالعات پیشین در ایران نشان داده‌اند که شیوه های مدیریتی می‌تواند منجر به تغییرات معناداری در ساختار جنگل شود. برای مثال، بررسی‌های Hassanzad Navroodi و Seyedzadeh در سال (۲۰۱۳) نشان داد که در طول ۲۰ سال پس از اجرای پناهی، تغییرات معناداری به‌طور عمده منفی در قطر، سطح مقطع برابر متوسط، سطح مقطع در هکتار و درجه کیفی درختان رخ داده است؛ به‌طوری که حجم در هکتار کاهش یافته و ترکیب گونه‌ای از راش به توسکا تغییر کرده و تعداد درختان با درجه کیفی یک کاهش یافته است. همچنین، Vosoughian و Shojaei Shami در سال (۲۰۱۷) در مقایسه توده‌های پناهی و بهره‌برداری نشده، اختلاف معناداری در پارامترهای ساختاری نظیر قطر برابر سینه، ارتفاع تاج، سطح مقطع و حجم مشاهده کردند که در توده‌های بهره‌برداری‌نشده

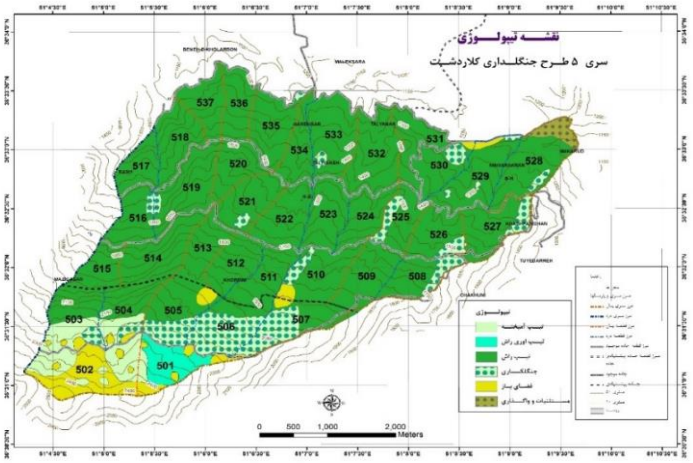
[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

بیشتر بوده است. در سطح جهانی، Dieler و همکاران در سال (۲۰۱۷) کاهش برخی ویژگی‌های ساختاری نظیر مقدار خشکه دار و تنوع اندازه درختان را در اثر مدیریت جنگل گزارش کردند، در حالی که Zhou و همکاران در سال (۲۰۱۳) نشان دادند که شیوه‌های مدیریت جنگل تأثیر غالب‌تری بر زیست‌توده جنگل نسبت به تغییرات آب و هوایی و غلظت دی‌اکسید کربن دارد. با توجه به نقش محوری شیوه‌های مدیریت جنگل، به ویژه شیوه پناهی، در تعیین ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی و اهمیت زیست‌توده به عنوان شاخصی کلیدی در ارزیابی پتانسیل کربن این اکوسیستم‌ها (Navar, 2009)، و با درنظر گرفتن اهمیت جنگل‌های هیرکانی به عنوان میراث جهانی یونسکو، این مطالعه برای نخستین بار به بررسی تأثیر اجرای شیوه پناهی بر زیست‌توده روی زمینی در توده‌های ارزشمند راشستان خالص منطقه کلاردشت می‌پردازد. هدف اصلی این پژوهش، کمی‌سازی و تحلیل اثرات اجرای این شیوه مدیریتی بر میزان زیست‌توده روی زمینی درختان در این اکوسیستم‌های ارزشمند است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بخش‌هایی از سری پنج طرح جنگلداری کلاردشت، واقع در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز (با امتداد شرقی-غربی در جنوب دریای خزر) انجام شد. موقعیت جغرافیایی این جنگل‌ها بین عرض‌های جغرافیایی ″۵۲′۳۰°۳۶ تا ′۳۴ °۳۶ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″ ۲۰′۰۴°۵۱ تا″۳۰′۱۰°۵۱ شرقی قرار دارد و مساحتی بالغ بر ۱۵۲۶ هکتار را پوشش می‌دهد. آب و هوای این منطقه دارای میانگین بارندگی سالیانه حدود ۶۵۰ میلی‌متر بوده و محدوده ارتفاعی آن از ۱۲۰۰ تا ۲۲۵۰ متر از سطح دریا متغیر است. شیب عمومی اراضی مورد مطالعه عمدتاً ملایم تا متوسط و جهت آن شمالی می‌باشد. طرح جنگلداری در این منطقه طی ۲۵ سال شیوه پناهی و دو دوره تجدیدنظر شده است، لذا با توجه به اطلاعات موجود در کتابچه اولیه و تجدیدنظر این منطقه برداشت درختان در سال ۵۰ تا ۷۵ انجام شده و لذا توده‌های همسال مستقر شده در نتیجه اجرای شیوه پناهی در هنگام نمونه‌برداری (سال۱۴۰۳-۱۴۰۲) دارای سن بالای ۳۰ سال هستند. همچنین در بخشی از این جنگل در سال ۸۴-۹۴ عملیات پرورشی انجام شد و طی آن تنک‌کردن انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- The study area

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

طرح نمونه‌برداری

تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل ۱) تیمارکنترل که تحت مدیریت طرح جنگلداری قرار دارد اما به عنوان توده شاهد بوده و هیچ‌گونه برداشت درختان در آن انجام نشده است CON=Control (harvesting tree without)، ۲) تیمار پناهی که بصورت کامل اجرا شده و طی ۲۵ سال تمامی درختان عرصه برداشت شده است (پناهی کامل) (SHS: Shelterwood System)، ۳) تیمار پناهی که برداشت درختان در آن کامل نشده است (پناهی با برداشت ناکامل) (SHI: Shelterwood with Incomplete harvesting all trees)، ۴) توده‌های خالص و همسال حاصل از اجرای برش‌های پناهی که پس از استقرار از طریق تجدید حیات طبیعی شکل گرفته‌اند و سپس تحت عملیات پرورشی تنک‌کردن/روشن‌کردن قرار گرفته‌اند (پناهی همراه با عملیات پرورشی) (SHT: Shelterwood with Thinning) و ۵) تیمار مدیریت‌نشده (بدون طرح جنگلداری) (NFP: NO Forestry Plan) است. جهت انجام پژوهش در هر تیمار، به‌صورت تصادفی ۵ قطعه‌نمونه مستطیلی شکل (در مجموع ۲۵ قطعه‌نمونه) در ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ متر (نیم هکتاری) در فواصل حداقل ۳۰۰ متری از هم مشخص و اطلاعات جغرافیایی مرکز قطعه‌نمونه توسط GPS، ثبت شد.

جمع‌آوری داده‌ها

درون قطعه نمونه نیم هکتاری، نوع گونه تعیین و پارامترهای قطر برابر سینه، ارتفاع کل و ارتفاع تنه، به همراه برخی متغیرهای محیطی در محل مرکز قطعات نمونه برداشت گردید. زیست‌توده درختان سرپا (AGB) بر اساس روش فائو تعیین شد (Pourazimi, 2016).

$$AGB = V \times SG_{OD} \times BEF \qquad \text{رابطه (۱)}$$

حجم درخت (V) (مترمکعب در هکتار) از جدول حجم دو عامله جنگل محلی با توجه به ارتفاع و قطر برابرسینه تعیین شد. وزن مخصوص چوب گونه‌ها از جداول موجود استفاده شد (Pourazimi, 2016). سپس با توجه به رابطه (۲) در رطوبت ۱۲ درصد (SG_{12}) حد تعادل تصحیح شد و وزن مخصوص خشک (SG_{OD}) (تن در مترمکعب) به‌دست آمد (Reyes *et al.*, 1992).

$$SG_{OD} = SG_{12} \times ۰/۸ + ۰/۰۱۳۴ \qquad \text{رابطه (۲)}$$

ضریب بسط زیست‌توده (BEF) نیز بر اساس رابطه (۳) تعیین شد (Brown & Lugo, 1992).

رابطه (۳)

$$BEF = \exp [۳/۲۱۳ - ۰/۵ \ln (V \times SG_{OD})]$$

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های جمع‌آوری‌شده در بانک نرم‌افزاری R (R Core Team, 2023.03.1) ذخیره شدند. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف بررسی شد و در مواردی که توزیع داده‌ها غیرنرمال بودند از طریق تبدیل جانسون، مشاهدات نرمال شدند. همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی گردید. برای نمایش هم‌زمان توزیع چگالی احتمال و شاخص‌های آماری کلیدی نظیر میانه، دامنه بین چارکی از نمودارهای ویولین و باکس پلات استفاده شد. مقایسه میانگین در بین تیمارها با تحلیل واریانس یک‌طرفه Anova آزمون شد. مقایسه در توده مدیریت شده و مدیریت‌نشده با استفاده از روش تی غیرجفتی انجام شد.

نتایج

به‌منظور ارزیابی ساختار کمی گونه‌های درختی حاضر در جنگل راش کلاردشت، متغیرهایی نظیر قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه و حجم درختان به‌صورت جداگانه برای هر گونه محاسبه شد (جدول ۱). گونه راش به‌عنوان گونه غالب منطقه، دارای ساختاری نسبتاً یکنواخت است؛ به‌طوری که میانگین قطر برابر سینه آن ۲۳/۳۴ سانتی‌متر، ارتفاع کل

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

۱۶/۰۷ متر، ارتفاع تنه ۹/۵۱ متر و حجم هر اصله درخت ۰/۷۰ مترمکعب برآورد شده است. در میان گونه‌های همراه، گونه پلت با بیشترین میانگین حجم چوب سرپا (۳/۸۶ مترمکعب) و قطر برابر سینه نسبتاً بالا (۴۲/۵۲ سانتی‌متر) از درختان تنومند منطقه محسوب می‌شود.

همچنین، گونه توسکا با قطر برابر سینه۴۹/۰۴ سانتی‌متر، ارتفاع کل ۲۴/۱۲ متر و حجم ۳/۱۷ مترمکعب، پس از پلت در رتبه دوم بیشترین حجم سرپا قرار دارد. گونه بلندمازو نیز دارای بیشترین میزان پراکنش در داده‌هاست که با انحراف معیار بالا در قطر برابر سینه و ارتفاع کل مشهود است. این امر حاکی از تنوع ساختاری زیاد بین نمونه‌های این گونه می‌باشد. گونه‌های شیردار و ملج دارای مقادیر نسبتاً پایین‌تری در پارامترهای مورد بررسی هستند. در نهایت، گروه سایر گونه‌ها با میانگین قطر برابر سینه ۳۲/۸۳ سانتی‌متر و حجم ۱/۹۳ مترمکعب، در رده متوسط قرار دارند. این داده‌ها بیانگر تنوع ساختاری قابل‌توجه در میان گونه‌های همراه توده راش هستند.

جدول ۱ – اطلاعات توصیفی درختان توده راش در منطقه پژوهش

Table1- Descriptive statistics of beech tree stands in the study area

گونه Species	قطر برابر سینه (سانتیمتر) DBH (cm)	ارتفاع کل (متر) Total height (m)	ارتفاع تنه (متر) Trunk height (m)	حجم (مترمکعب) Volume (m^3)
راش *Fagus orientalis*	23.34 ± 0.27	16.07 ±0/10	9.51 ±0.18	0.70 ± 0.02
ممرز *Crpinus betulus*	26.21 ± 4.41	11.73 ±1.00	2.54 ±3.10	0.75 ± 0.25
پلت *Acer velutinum*	42.52 ± 8.67	18.46 ±1.80	11.22 ±0.96	3.86 ± 1.72
شیردار *Acer cappadocicum*	14.58 ± 1.14	16.00 ± 1.33	11.85 ±1.08	0.15 ± 0.03
بلندمازو *Quercus castaneifoliq*	26.50 ±16.50	10.63 ±5.13	10.63 ± 5.13	0.58 ±0.56
توسکا *Alnus subcordata*	49.04 ±4.03	24.12 ±0.95	15.07 ±0.72	3.17 ±0.5
ملج *Ulmus glabra Huds*	17.05 ±1.04	16.78 ± 0.75	11.50 ±0.59	0.25 ± 0.04
سایر گونه‌ها Other species	32.83 ± 4.69	17.82 ± 1.68	10.00 ±0.97	1.93 ± 0.59

برای نمایش هم‌زمان توزیع چگالی احتمال و شاخص‌های آماری کلیدی نظیر میانه، دامنه بین چارکی و میانگین قطر برابر سینه، از نمودارهای ویولین و باکس پلات استفاده شد (شکل ۲- a). نتایج مقایسه میانگین قطر برابر سینه درختان در بین تیمارهای مدیریت جنگل اختلاف معناداری را نشان داد؛ به نحوی که تیمار بدون طرح جنگلداری بیشترین میانگین (۴۳/۶) را داراست.

این تیمار همچنین گستره وسیع‌تری از اندازه درختان را نسبت به سایر تیمارها نشان داد که بیانگر ناهمگنی ساختاری بیشتر و پویایی طبیعی اکوسیستم در غیاب مداخله مدیریتی است. در مقابل، در تیماری

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

مانند شیوه پناهی، به‌طور معنی‌داری میانگین قطر برابرسینه کمتر و توزیع‌های باریک‌تر دارد که نشان‌دهنده توده‌های جوان‌تر یا جمعیت‌های درختی یکنواخت‌تر است. همچنین نتایج مقایسه میانگین ارتفاع درختان در بین تیمارهای مختلف مدیریت جنگل اختلاف معناداری را نشان داد ($p<۰/۰۵$) بطوری که تیمارکنترل، بیشترین (۲۰/۱۶) میانگین ارتفاع را دارا است و همچنین گستره وسیع‌تری از مقادیر ارتفاعی را در مقایسه با سایر تیمارها نشان می‌دهد (شکل ۲- b). این الگو بیانگر پراکندگی بیشتر داده‌ها و احتمال وجود درختانی با ارتفاع‌های متنوع در شرایط بدون مداخله مدیریتی است. در مقابل، تیمارهای بدون طرح جنگلداری با میانگین‌های ۱۳/۷۰ متر، کمترین مقادیر ارتفاع را نشان داد.

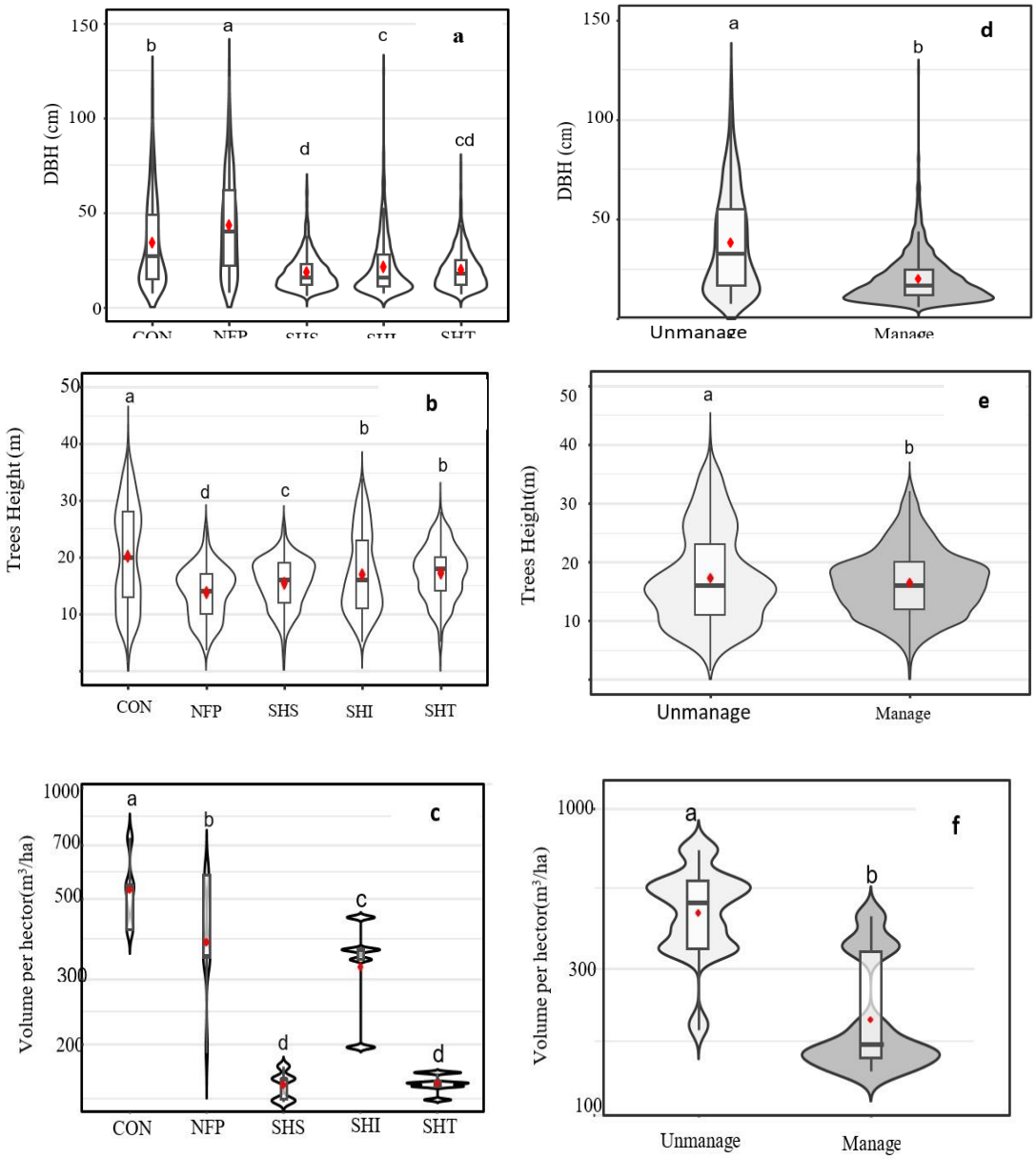
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که حجم در هکتار بین تیمارهای مدیریتی جنگل اختلاف معناداری ($p<۰/۰۵$) دارد، بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تیمار کنترل بالاترین میانگین حجم در هکتار را دارا است و همچنین گستره وسیع‌تری از مقادیر حجمی را در مقایسه با سایر تیمارها نشان می‌دهد (شکل ۲ _c) . این الگو بیانگر پراکندگی بیشتر داده‌ها و احتمال وجود درختانی با حجم‌های متنوع در شرایط بدون مداخله مدیریتی است. تیمار بدون طرح جنگلداری نیز میانگین حجم در هکتار بالایی را نشان داد اما نسبت به تیمار کنترل میانگین حجم کمتری دارد.

نتایج حاصل از آزمون تی مستقل نشان داد که قطر برابر سینه (شکل ۲-d) ، ارتفاع (شکل ۲-e) و حجم در هکتار درختان (شکل ۲- f) در بین تیمار مدیریت نشده (کنترل و بدون طرح جنگلداری) و تیمار مدیریت‌شده اختلاف معناداری وجود دارد. به‌طوری که تیمار مدیریت‌نشده دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که زیست‌توده روی‌زمینی درختان نیز به‌طور معناداری ($p<۰/۰۵$) بین تیمارهای مختلف مدیریت جنگل تفاوت دارد. تیمار کنترل بیشترین زیست‌توده را با میانگین ۶۱۳٫۵۸ تن در هکتار نشان داد، در حالی که پناهی کامل کمترین مقدار را با ۲۷۲/۵۶ تن در هکتار داشت؛ این کاهش تقریباً ۵۶٪ نسبت به تیمار کنترل است و بیانگر اثر قابل‌توجه برداشت گسترده درختان بالغ بر ظرفیت ذخیره کربن جنگل است. تیمار پناهی ناکامل با میانگین۴۱۷/۱۳ تن در هکتار، نشان‌دهنده اثر مثبت حفظ بخشی از درختان تنومند بر ساختار ناهمسال و عملکرد زیست‌توده است، و نزدیک‌ترین مقدار به تیمار کنترل را ارائه می‌دهد. همچنین، تیمار پناهی همراه با عملیات پرورشی میانگین زیست‌توده ۲۷۳/۶۱ تن در هکتار را داشت که بیانگر اثر متعادل برداشت کنترل‌شده و عملیات پرورشی بر ظرفیت زیست‌توده است (شکل ۳ _ a).

نتایج حاصل از آزمون تی مستقل نیز نشان داد که در سطح احتمال ۹۵ درصد زیست‌توده درختان در تیمار مدیریت نشده (کنترل و بدون طرح جنگلداری) نسبت به تیمار مدیریت بیشتر است (شکل ۳ _ b)

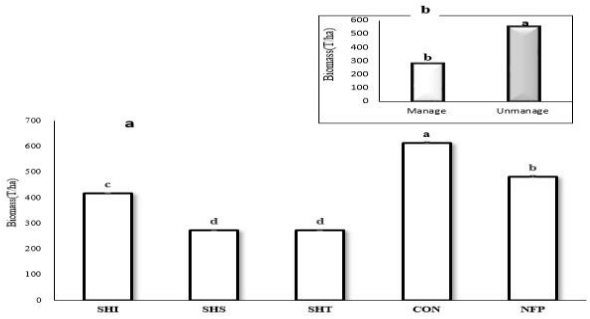
[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]



شکل ۲- توزیع و مقایسه میانگین قطر برابر سینه (a)، ارتفاع (b) و حجم در هکتار (c) در تیمارهای مختلف مدیریت جنگل (تیمارکنترل CON، پناهی کامل SHS، پناهی با برداشت ناکامل SHI، پناهی همراه با عملیات پرورشی SHT، تیمار مدیریت نشده NFP) و مقایسه میانگین قطر برابر سینه (d)، ارتفاع (e) و حجم در هکتار (f) در تیمار مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده (نقاط قرمز نشان دهنده مقدار میانگین در نمودار می‌باشند با استفاده از نمودار ویولین و تحلیل آماری تفاوت میانگین).

Figure 2- Distribution and comparison of mean DBH (a), tree height (b), and stand volume per hectare (c) under different forest management treatments (Control (CON), Shelterwood System (SHS), Shelterwood with Incomplete harvesting all trees (SHI), Shelterwood with Thinning (SHT), NO Forestry Plan (NFP) and Comparison of mean DBH (d), height (e), and stand volume per hectare (f) between manage and unmanage stands (Red dots indicate the mean values in the chart) using violin plots and statistical analysis of mean differences).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]



شکل ۳- مقایسه میانگین زیست‌توده درختان بین تیمارهای مختلف مدیریتی جنگل(تیمارکنترل CON، پناهی کامل SHS، پناهی با برداشت ناکامل SHI، پناهی همراه با عملیات پرورشی SHT، تیمار مدیریت‌نشده NFP) (a).
مقایسه میانگین زیست توده درختان در تیمار مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده (b).

Figure 3- Comparison of mean tree biomass among different forest management treatments (Control (CON), Shelterwood System (SHS), Shelterwood with Incomplete harvesting all trees (SHI), Shelterwood with Thinning (SHT), NO Forestry Plan (NFP) (a).
Comparison of mean tree biomass between manage and unmanage treatments (b).

بحث

این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر شیوه‌های مختلف مدیریت جنگل، به‌ویژه روش پناهی، بر زیست‌توده‌ی روی‌زمینی در راشستان‌های کلاردشت انجام شد. بر اساس اطلاعات موجود، این مطالعه یکی از نخستین پژوهش‌ها در این زمینه در شمال ایران به‌شمار می‌رود. یافته‌های پژوهش نشان داد که دامنه زیست‌توده کل در توده‌های بررسی‌شده بین ۲۷۲ تا ۶۱۳ تن در هکتار، با میانگین ۳۳۷ تن در هکتار بود.

یافته‌های پژوهش حاضر به‌وضوح نشان داد که شیوه‌های مختلف اجرای پناهی اثرات ناهمگونی بر ساختار کمی و زیست‌توده، توده‌های جنگلی در سری پنج کلاردشت دارند. بررسی سه تیمار، پناهی کامل، پناهی ناکامل و پناهی همراه با عملیات پرورشی آشکار ساخت که هر یک از این روش‌ها پیامدهای متفاوتی بر ویژگی‌های کلیدی از جمله قطر برابر سینه، ارتفاع کل، حجم درختی و زیست‌توده بر جای می‌گذارند. در شیوه پناهی کامل، کاهش ناهمگنی عمودی و سنی جنگل مشاهده می‌شود و تمرکز اصلی بر تولید چوب است، در حالی که برخی خدمات اکوسیستمی و تنوع زیستی ممکن است تحت تأثیر قرار گیرند (Raymond and Bédard, 2017, Mason *et al*., 2022). این یافته‌ها با نتایج تیمار پناهی کامل در این مطالعه مطابقت دارد، که میانگین زیست‌توده (۲۷۲/۵۶ تن در هکتار) و حجم متوسط درختی (۰/۲۹ مترمکعب) در پایین‌ترین سطح میان سه تیمار قرار گرفت. همچنین، قطر برابر سینه و و ارتفاع کل نسبتاً پایین بود. این الگو نشان می‌دهد که برداشت متمرکز درختان مسن، باعث ایجاد توده‌های یکنواخت‌تر و کاهش تنوع ساختاری شده است.

تیمار پناهی ناکامل نتایج کاملاً متفاوتی را نشان داد. میانگین زیست‌توده در این تیمار (۴۱۷/۱۳ تن در هکتار) بیش از دو برابر تیمار پناهی کامل بود. همچنین قطر برابر سینه (۲۱/۳۵ سانتی‌متر)، ارتفاع کل (۱۶/۹۷ متر) و حجم متوسط درختی (۰/۶۳ مترمکعب) بالاترین مقادیر را در میان تیمارهای پناهی به خود اختصاص داد. این یافته‌ها بیانگر آن است که پناهی ناکامل ضمن برداشت انتخابی و کنترل‌شده، بخشی از درختان تنومند و مادری را در توده باقی می‌گذارد که این امر منجر به ایجاد ساختاری ناهمسال، متنوع و از نظر اکولوژیکی پایدارتر می‌شود. نتایج این پژوهش با نتایج Trerise و همکاران در سال (۲۰۲۵) درباره پناهی نامنظم که ایجاد توده‌های چندسنی و افزایش پیچیدگی ساختاری را گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد.

همان‌طور Duncker و همکاران در سال (۲۰۱۲) بیان کردند که بهره‌برداری جنگلی بسته به شدت

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

مداخله، دامنه گسترده‌ای از تغییرات در ساختار و ترکیب گونه‌ای توده‌ها ایجاد می‌کند. این موضوع در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد؛ تیمار کنترل دارای بالاترین میانگین در پارامترهایی چون قطر برابر سینه، ارتفاع و حجم بود.

با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که چنین تأثیراتی لزوماً پایدار نیستند، چنانچه Bouriaud و همکاران در سال (۲۰۱۹) در بررسی جنگل‌های راش رومانی دریافتند که در برخی تیمارهای بهره‌برداری به روش پناهی، میزان زیست‌توده با گذشت ۱۰۰ سال از مقادیر موجود در توده‌های تحت حفاظت فراتر رفته است. آن‌ها نشان دادند که برداشت هدفمند درختان قطورتر از ۹۰ سانتی‌متر، به شکل محسوسی باعث تحریک رشد درختان میانی در طبقات قطری ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر شد. ، اما به طور کلی، نوع مدیریت جنگل، علی‌رغم تأثیرات موقت بر تراکم و ساختار توده، تأثیر معناداری بر ذخایر زیست‌توده زنده در طول یک چرخه تولید نداشت.

با این وجود، نتایج پژوهش حاضر با مطالعاتی که افزایش زیست‌توده در توده‌های تحت مدیریت را گزارش کرده‌اند، تفاوت آشکاری نشان می‌دهد. در این مطالعه، تیمارهای مدیریتی از نوع پناهی، به‌ویژه در بازه زمانی کوتاه‌مدت، با کاهش معنادار زیست‌توده نسبت به تیمار کنترل همراه بودند. به‌نظر می‌رسد کاهش پوشش سایه‌انداز و تغییر در الگوهای رقابت نوری و فضایی از عوامل اصلی این افت عملکرد اکوسیستم در کوتاه‌مدت باشند (Naudts *et al.*, 2016). این الگو تنها به زیست‌توده محدود نمی‌شود؛ بلکه پژوهش‌های مرتبط نشان داده است که روش‌های پناهی نامنظم می‌توانند ذخیره کربن آلی خاک و شاخص کیفیت خاک را نیز در مقایسه با عرصه‌های مدیریت‌نشده کاهش دهند. بنابراین، اثرات منفی کوتاه‌مدت مداخلات مدیریتی به‌طور همزمان در مؤلفه‌های روی‌زمینی و زیرسطحی قابل مشاهده است، به‌گونه‌ای که عملکرد اکوسیستم در هر دو بعد دچار افت می‌شود (Poudel *et al.*, 2024).

این نتیجه با مشاهدات Pretzsch و همکاران (۲۰۱۴) هم‌راستا است؛ آنان معتقدند که در غیاب مداخلات مدیریتی، ناهمگنی ساختاری توده، اعم از تنوع قطری و سنی افزایش می‌یابد و این ناهمگنی می‌تواند منجر به حفظ یا حتی افزایش زیست‌توده در واحد سطح شود. Naudts و همکاران در سال (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که بهره‌برداری جنگلی، به‌ویژه از طریق حذف درختان بالغ، می‌تواند تأثیرات منفی بر توده‌های باقی‌مانده بر جای گذارد. همچنین Rezaei و همکاران در سال (۲۰۱۷) گزارش کردند که میانگین موجودی رویه زمینی در توده‌های بهره-برداری شده به شیوه پناهی در دانگ زادآوری سری جورجاده جنگل سنگده ساری به‌طور معناداری کمتر از توده‌ای کنترل بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نشان داد که نحوه مداخله مدیریتی، اثرگذاری قابل‌توجهی بر ساختار و زیست‌توده جنگل دارد و انتخاب نوع روش مدیریتی می‌تواند نتایج اکولوژیک متفاوتی به‌همراه داشته باشد (Bouriaud *et al.*, 2019). با توجه به نتایج کسب شده، تیمار پناهی ناکامل به عنوان تیمار مناسب منطقه توصیه می‌شود. این تیمار علاوه بر سودآوری مناسب توانسته است که نزدیکترین عملکرد را با جنگل شاهد (تیمار کنترل) داشته باشد. لذا تمامی مزایای جنگل ناهمسال و جذب حداکثری کربن و ترسیب آن را به‌دست خواهیم آورد. برای کسب حداکثر قطعیت، نیاز است تا در پژوهش‌های آتی به بررسی اقتصادی و اثرات بلندمدت این شیوه‌ها، به‌ویژه بر چرخه کربن و خدمات اکوسیستمی نیز پرداخته شود.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

منابع

Ameray, A., Bergeron, Y., Valeria, O., Montoro Girona, M. & Cavard, X. 2021. Forest carbon management: A review of silvicultural practices and management strategies across boreal, temperate and tropical forests. *Current Forestry Reports*, 7(4): 245-266. https://doi.org/10.1007/s40725-021-00151-w

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 Ecosystems*, 6(1): 19 https://doi.org/10.1186/s40663-019-0180-4

radley, R.L., Titus, B.D. & Hogg, K. 2001. Does shelterwood harvesting have less impact on forest floor nutrient availability and microbial properties than clearcutting? Biology and fertility of soils, 34(3): 162-169. https://doi.org/10.1007/s003740100389

Brown, S.A.N.D.R.A. & Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia. Caracas*, 17(1): 8-18.

Castaño-Santamaría, J., Barrio-Anta, M. & Álvarez-Álvarez, P. 2013. Potential above ground biomass production and total tree carbon sequestration in the major forest species in NW Spain. *International Forestry Review*, 15(3): 273-289. https://doi.org/10.1505/146554813807700083

Castaño-Santamaría, J., Uhl, E., Biber, P., Müller, J., Rötzer, T. & Pretzsch, H., 2017. Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. *European Journal of Forest Research*, 136(4): 739-766. https://doi.org/10.1007/s10342-017-1056-1

Dobrosavljević, J., Kanjevac, B. & Marković, Č. 2025. Microclimate Shifts and Leaf Miner Community Responses to Shelterwood Regeneration in Sessile Oak Forests. *Forests*, 16(5):739.
https://doi.org/10.3390/f16050739

Duncker, P.S., Barreiro, S.M., Hengeveld, G.M., Lind, T., Mason, W.L., Ambrozy, S. & Spiecker, H. 2012. Classification of forest management approaches: a new conceptual framework and its applicability to European forestry. *Ecology and Society*, 17(4) https://doi.org/10.5751/ES-05262-170451

Hassanzad Navroodi, I. & Seyedzadeh, H. 2013. Effects of shelterwood method on some important forest stands features in Shafarood district nine of Guilan. *Iranian Forests Ecology*, 1(2):.41-56. [In Persian]

Li, P., Liu, X., Wang, C., Lu, Y., Luo, L., Tao, L., Xiao, T. & Liu, Y. 2024. The carbon storage of reforestation plantings on degraded lands of the red soil region, Jiangxi province, China. *Forests*, 15(2): 320. https://doi.org/10.3390/f15020320

Luyssaert, S., Hessenmöller, D., von Lüpke, N., Kaiser, S. & Schulze, E.D. 2011. Quantifying land use and disturbance intensity in forestry, based on the self-thinning relationship. *Ecological Applications*, 21(8): 3272-3284. https://doi.org/10.1890/10-2395.1

Mason, W.L., Diaci, J., Carvalho, J. & Valkonen, S. 2022. Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. Forestry: An *International Journal of Forest Research*, 95(1): 1-12. https://doi.org/10.1093/forestry/cpab038

Naudts, K., Chen, Y., McGrath, M.J., Ryder, J., Valade, A., Otto, J. & Luyssaert, S. 2016. Europe's forest management did not mitigate climate warming. *Science*, 351(6273): 597-600. https://doi.org/10.1126/science.aad7270

Navar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest ecology and Management*, 257(2): 427-434. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]

Pokhrel, N., Timilsina, S., Awasthi, N., Adhikari, A., Adhikari, B., Ayer, S. & Bhatta, K.P. 2024. Implications of irregular shelterwood system on regeneration and species diversity of Sal (*Shorea robusta* Gaertn. f.) forest in Nepal. *Heliyon*, 10(1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23156

Poudel, A., Ayer, S., Joshi, R., Gautam, J., Timilsina, S., Khadka, K., Bhatta, K.P. & Maharjan, M. 2024. Effect of the irregular shelterwood system on soil organic carbon stock and soil quality of *Shorea robusta* Gaertn. f. forest in Nepal. *Heliyon*, 10(15). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35441

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*, 177 p. [In Persian]

Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G. & Bielak, K. 2014. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. *Forest Ecology and Management*, 316: 65-77. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.050

Pussinen, A., Karjalainen, T., Mäkipää, R., Valsta, L. & Kellomäki, S. 2002. Forest carbon sequestration and harvests in Scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. *Forest Ecology and management*, 158(1-3): 103-115.
https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00675-7

Ranatunga, K., Keenan, R.J., Wullschleger, S.D., Post, W.M. & Tharp, M.L. 2008. Effects of harvest management practices on forest biomass and soil carbon in eucalypt forests in New South Wales, Australia: Simulations with the forest succession model LINKAGES. *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2407-2415.
https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.002

Raymond, P. & Bédard, S. 2017. The irregular shelterwood system as an alternative to clearcutting to achieve compositional and structural objectives in temperate mixedwood stands. *Forest Ecology and Management*, 398: 91-100.
https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.042

Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. & Lugo, A.E. 1992. Wood densities of tropical tree species. USDA Forest Service, General Technical Report SO-88, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA. 32p.
https://doi.org/10.2737/SO-GTR-088

Rezaei Sangdehi, S.M.M., Moslemi, S.M. & Tafazoli, M. 2017. Comparing the forest quantitative and qualitative characteristics following a period of forestry plan implementation (Case study: Watershed 65, Jojadeh zone of Farim Company, Mazandaran province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(4): 723-713. [In Persian]

Trerise, B., Keeton, W.S., Sousa-Silva, R. & Searle, E.B. 2025. The irregular shelterwood silviculture system and managing for stand complexity from a North American perspective. *Forest Ecology and Management*, 585: 122667. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122667

Vosoughian, A. & Shojaei Shimi, A. 2017. Structure and regeneration of forest trees in harvested and unharvested stands (Case study: Darabkola Forest, Sari). *Iranian Journal of Natural Ecosystems*, 7 (4): 69-82. [In Persian]

Zhou, L., Wang, S., Kindermann, G., Yu, G., Huang, M., Mickler, R., Kraxner, F., Shi, H. & Gong, Y. 2013. Carbon dynamics in woody biomass of forest ecosystem in China with forest management practices under future climate change and rising CO2 concentration. *Chinese Geographical Science*, 23(5): 519-536. https://doi.org/10.1007/s11769-013-0622-9

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-11]