

Research Article

Effects of the shelterwood system on changes in aboveground biomass of trees in the beech forestsAli 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](https://doi.org/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

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 تأثیر شیوه‌های مختلف مدیریت جنگل، به‌ویژه روش پناهی، بر زیست‌توده روی‌زمینی به عنوان مهم‌ترین شاخص ترسیب کربن کماکان نامشخص است. هدف اصلی این پژوهش، کمی‌سازی و تحلیل اثرات اجرای تیمارهای مدیریتی در شیوه پناهی بر ویژگی‌های کمی 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: نتایج 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 توده‌های طبیعی منطبق بر برخی از شاخصه‌های جنگل پایدار در جنگل‌های راش کلاردشت هستیم که پیامدهای مهمی برای مشارکت در جذب کربن در این اکوسیستم ارزشمند ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زیست‌توده، شیوه پناهی، پناهی ناکامل، ساختار جنگل.

DOI: 10.21859/jfer4.2.38

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۹

تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

^۱گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

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

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 زیست توده درختان باقی مانده 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 زیست توده روی زمینی 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 شیوه‌های 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 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 بهره‌برداری نشده

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 زیست توده روی زمینی و ۴۰ درصد زیست توده زیرزمینی را تشکیل می‌دهند (Li et al., 2024).

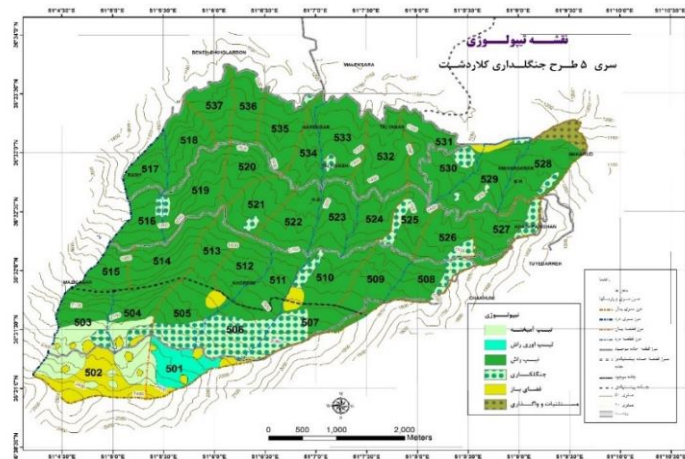
زیست توده جنگلی یکی از مخازن طبیعی کربن است که توسط هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوا یا IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) به عنوان یک عامل مؤثر در کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری شناخته شده است. تمام گیاهان از طریق فتوسنتز، CO₂ را تثبیت کرده و کربن را در زیست توده خود ذخیره می‌کنند، 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 زیست توده داشته باشد (Bouriaud et al., 2019). مدیریت جنگل شامل اشکال و شدت‌های مختلفی است که مجموعه‌ای از اقدامات متنوع را در برمی‌گیرد (Luysaert 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 زیست توده روی زمینی درختان را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند (Pussinen et al., 2008; Ranatunga et al., 2002).

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 $36^{\circ}30'52''$ تا $36^{\circ}34'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $51^{\circ}04'20''$ تا $51^{\circ}10'30''$ 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 (سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳) 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).

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 در نظر 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.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- The study area

طرح نمونه برداری

تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل (۱) تیمار کنترل که تحت مدیریت طرح جنگلداری قرار دارد اما به عنوان توده شاهد بوده و هیچ گونه 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) توده های خالص و همسال حاصل از اجرای برش های پناهی که پس از استقرار از طریق تجدید حیات طبیعی شکل گرفته اند و سپس تحت عملیات پرورشی تنک کردن/روشن کردن قرار گرفته اند (پناهی همراه با عملیات پرورشی) (SHT: Shelterwood with Thinning) و (۵) تیمار مدیریت نشده (بدون طرح جنگلداری) (NFP: NO Forestry Plan) است. جهت انجام پژوهش در هر تیمار، به صورت تصادفی ۵ قطعه نمونه مستطیلی شکل (در مجموع ۲۵ قطعه نمونه) در ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ متر (نیم هکتاری) در فواصل حداقل ۳۰۰ متری از هم مشخص و اطلاعات جغرافیایی مرکز قطعه نمونه توسط GPS ثبت شد.

جمع آوری داده ها

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. زیست توده درختان سرپا (AGB) بر اساس روش فائو تعیین شد (Pourazimi, 2016).

$$\text{AGB} = V \times \text{SG}_{\text{OD}} \times \text{BEF} \quad (1)$$

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 گونه ها از جدول موجود استفاده شد (Pourazimi, 2016). سپس با توجه به رابطه (۲) در رطوبت ۱۲ درصد (SG₁₂) حد تعادل تصحیح شد و وزن مخصوص خشک (SG_{OD}) (تن در مترمکعب) به دست آمد (Reyes et al., 1992).

$$\text{SG}_{\text{OD}} = \text{SG}_{12} \times 0.18 + 0.134 \quad (2)$$

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

$$\text{BEF} = \exp [3/2 \ln (V \times \text{SG}_{\text{OD}})]$$

تجزیه و تحلیل آماری

داده های جمع آوری شده در بانک نرم افزاری R (Core Team, 2023.03.1) ذخیره شدند. نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف بررسی شد و در مواردی که توزیع داده ها غیرنرمال بودند از طریق تبدیل جانسون، مشاهدات نرمال شدند. همگنی واریانس ها با استفاده از آزمون لون بررسی گردید. برای نمایش هم زمان توزیع چگالی احتمال و شاخص های آماری کلیدی نظیر میانه، دامنه بین چارکی از نمودارهای ویولین و باکس پلات استفاده شد. مقایسه میانگین در بین تیمارها با تحلیل واریانس یک طرفه Anova آزمون شد. مقایسه در توده مدیریت شده و مدیریت نشده با استفاده از روش تی غیرجفتی انجام شد.

نتایج

به منظور ارزیابی ساختار کمی گونه های درختی حاضر در جنگل راش کلاردشت، متغیرهایی نظیر قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه و حجم درختان به صورت جداگانه برای هر گونه محاسبه شد (جدول ۱). گونه راش به عنوان گونه غالب منطقه، دارای ساختاری نسبتاً یکنواخت است؛ به طوری که میانگین قطر برابر سینه آن ۲۳/۳۴ سانتی متر، ارتفاع کل

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 قابل توجه در میان گونه‌های همراه توده راش هستند.

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 سینه ۴۹/۰۴ 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

جدول ۱ - اطلاعات توصیفی درختان توده راش در منطقه پژوهش

Table 1- Descriptive statistics of beech tree stands in the study area

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

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

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

حجم در هکتار درختان (شکل ۲-f) در بین تیمار مدیریت نشده (کنترل و بدون طرح جنگلداری) و تیمار مدیریت شده اختلاف معناداری وجود دارد. به طوری که تیمار مدیریت نشده دارای بیشترین مقدار می باشد.

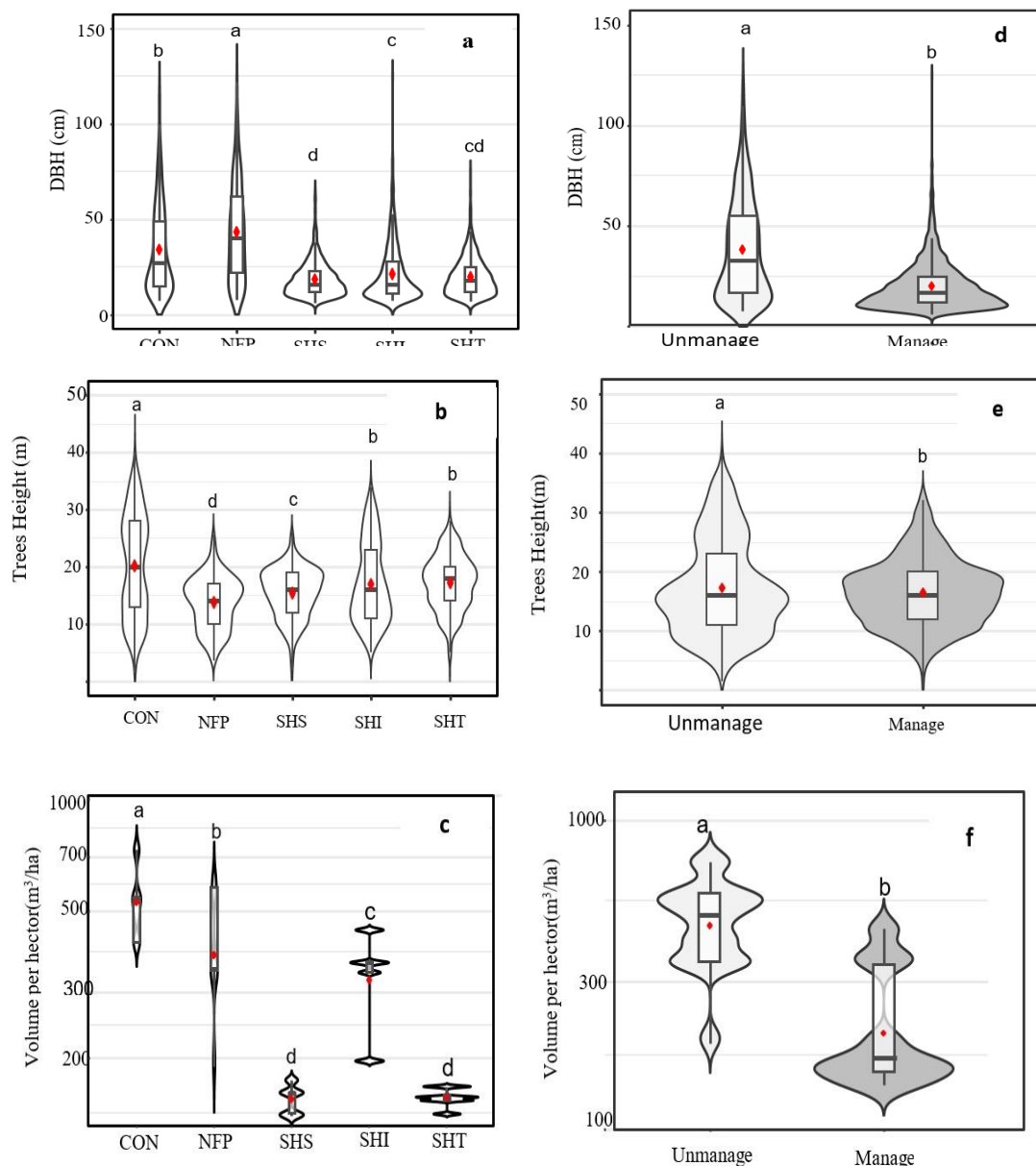
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که زیست توده روی زمینی درختان نیز به طور معناداری ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف مدیریت جنگل تفاوت دارد. تیمار کنترل بیشترین زیست توده را با میانگین ۶۱۳،۵۸ تن در هکتار نشان داد، در حالی که پناهی کامل کمترین مقدار را با ۲۷۲/۵۶ تن در هکتار داشت؛ این کاهش تقریباً ۵۶٪ نسبت به تیمار کنترل است و بیانگر اثر قابل توجه برداشت گسترده درختان بالغ بر ظرفیت ذخیره کربن جنگل است. تیمار پناهی ناکامل با میانگین ۴۱۷/۱۳ تن در هکتار، نشان دهنده اثر مثبت حفظ بخشی از درختان تنومند بر ساختار ناهمسال و عملکرد زیست توده است، و نزدیکترین مقدار به تیمار کنترل را ارائه می دهد. همچنین، تیمار پناهی همراه با عملیات پرورشی میانگین زیست توده ۲۷۳/۶۱ تن در هکتار را داشت که بیانگر اثر متعادل برداشت کنترل شده و عملیات پرورشی بر ظرفیت زیست توده است (شکل ۳-a).

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

مانند شیوه پناهی، به طور معنی داری میانگین قطر برابر سینه کمتر و توزیع های باریک تر دارد که نشان دهنده توده های جوان تر یا جمعیت های درختی یکنواخت تر است. همچنین نتایج مقایسه میانگین ارتفاع درختان در بین تیمارهای مختلف مدیریت جنگل اختلاف معناداری را نشان داد ($p < 0.05$) بطوری که تیمار کنترل، بیشترین (۲۰/۱۶) میانگین ارتفاع را دارا است و همچنین گستره وسیع تری از مقادیر ارتفاعی را در مقایسه با سایر تیمارها نشان می دهد (شکل ۲-b). این الگو بیانگر پراکندگی بیشتر داده ها و احتمال وجود درختانی با ارتفاع های متنوع در شرایط بدون مداخله مدیریتی است. در مقابل، تیمارهای بدون طرح جنگلداری با میانگین های ۱۳/۷۰ متر، کمترین مقادیر ارتفاع را نشان داد.

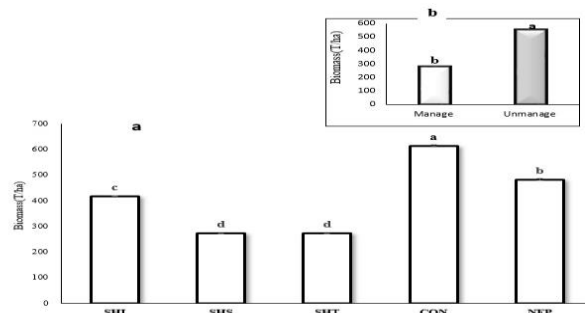
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که حجم در هکتار بین تیمارهای مدیریتی جنگل اختلاف معناداری ($p < 0.05$) دارد، بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها، تیمار کنترل بالاترین میانگین حجم در هکتار را دارا است و همچنین گستره وسیع تری از مقادیر حجمی را در مقایسه با سایر تیمارها نشان می دهد (شکل ۲-c). این الگو بیانگر پراکندگی بیشتر داده ها و احتمال وجود درختانی با حجم های 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



شکل ۲- توزیع و مقایسه میانگین قطر برابر سینه (a)، ارتفاع (b) و حجم در هکتار (c) در تیمارهای مختلف مدیریت جنگل (تیمار کنترل 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 مدیریت شده و مدیریت نشده (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).



شکل ۳- مقایسه میانگین زیست توده درختان بین تیمارهای مختلف مدیریتی جنگل (تیمار کنترل CON، پناهی کامل SHS، پناهی با برداشت ناکامل SHI، پناهی همراه با عملیات پرورشی SHT، تیمار مدیریت نشده NFP) (a). مقایسه میانگین زیست توده درختان در تیمار مدیریت شده و مدیریت نشده (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).

مطالعه مطابقت دارد، که میانگین زیست توده (۲۷۲/۵۶ تن در هکتار) و حجم متوسط درختی (۰/۲۹ مترمکعب) در پایین ترین سطح میان سه تیمار قرار گرفت. همچنین، قطر برابر سینه و ارتفاع کل نسبتاً پایین بود. این الگو نشان می دهد که برداشت متمرکز درختان مسن، باعث ایجاد توده های یکنواخت تر و کاهش تنوع ساختاری شده است.

تیمار پناهی ناکامل نتایج کاملاً متفاوتی را نشان داد. میانگین زیست توده در این تیمار (۴۱۷/۱۳ تن در هکتار) بیش از دو برابر تیمار پناهی کامل بود. همچنین قطر برابر سینه (۲۱/۳۵ سانتی متر)، ارتفاع کل (۱۶/۹۷ متر) و حجم متوسط درختی (۰/۶۳ مترمکعب) بالاترین مقادیر را در میان تیمارهای پناهی به خود اختصاص داد. این یافته ها بیانگر آن است که پناهی ناکامل ضمن برداشت انتخابی و کنترل شده، بخشی از درختان تنومند و مادری را در توده باقی می گذارد که این امر منجر به ایجاد ساختاری ناهمسال، متنوع و از نظر اکولوژیکی پایدارتر می شود. نتایج این پژوهش با نتایج Terise و همکاران در سال (۲۰۲۵) درباره پناهی نامنظم که ایجاد توده های چندسنی و افزایش پیچیدگی ساختاری را گزارش کرده اند، همخوانی دارد.

همان طور Duncker و همکاران در سال (۲۰۱۲) بیان کردند که بهره برداری جنگلی بسته به شدت

بحث

این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر شیوه های مختلف مدیریت جنگل، به ویژه روش پناهی، بر زیست توده روی زمینی در راشستان های کلاردشت انجام شد. بر اساس اطلاعات موجود، این مطالعه یکی از نخستین پژوهش ها در این زمینه در شمال ایران به شمار می رود. یافته های پژوهش نشان داد که دامنه زیست توده کل در توده های بررسی شده بین ۲۷۲ تا ۶۱۳ تن در هکتار، با میانگین ۳۳۷ تن در هکتار بود. یافته های پژوهش حاضر به وضوح نشان داد که شیوه های مختلف اجرای پناهی اثرات ناهمگونی بر ساختار کمی و زیست توده، توده های 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 روش ها پیامدهای متفاوتی بر ویژگی های کلیدی از جمله قطر برابر سینه، ارتفاع کل، حجم درختی و زیست توده بر جای می گذارند. در شیوه پناهی کامل، کاهش ناهمگنی عمودی و سنی جنگل مشاهده می شود 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 یافته ها با نتایج تیمار پناهی کامل در این

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 بهره‌برداری 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.

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).

- 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>

- 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](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>