

Research Article

Economic assessment of poplar cultivation under interest rate effects in a risky environment

Seyed Mojtaba Mojaverian ^{1*}, Foad Eshghi ², Kamal Ataie Solout ², Mahsa Taslimi ³ and Maria Shahnouri ⁴

1* - Corresponding author, Prof., Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mmojaverian@yahoo.com

2- Assistant Prof., Department of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Ph.D. of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Ph.D. Student of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 06.11.2024

Revised: 10.12.2024

Accepted: 22.12.2024

Abstract

Background and purpose: Although there is extensive research on economic evaluation, fewer studies focus on determining the optimal cutting age and efficiency of wood cultivation under uncertainty in tree growth periods and wood market conditions. This research aims to evaluate the economic viability of poplar wood cultivation under different risk scenarios.

Methodology: The data were obtained from Mohammadi Limaie *et al.* (2013), which involved research conducted over ten years on *Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall in seven plantations. The Faustmann model was applied, and the tree growth function was estimated using fuzzy regression across pessimistic, average, and optimistic scenarios. The cubic function form was selected for its close resemblance to biological growth and interpretability. Determining the most economical harvest time involved solving the Faustmann maximization problem under two management modes: one-time cultivation, which ignores the opportunity cost of subsequent cycles, and permanent cultivation, which accounts for opportunity costs after each harvest cycle. This study focused on optimizing wood cultivation over one rotation period. The net present value (NPV) criterion was used to select suitable species and determine optimal harvesting age, as it accounts for net profit over time more effectively than alternative criteria. Wood price forecasts were derived by decomposing price components into trend, cyclical, and irregular factors.

Results: Fuzzy regression estimates of poplar volume at different ages showed maximum volumes in the pessimistic, average, and optimistic scenarios as 129.3 m³/ha at 12 years, 197 m³/ha at 16 years, and 329.8 m³/ha at 20 years, respectively. Projected wood prices per cubic meter in 2045 under these scenarios were 82.7, 102, and 121 million Rials. At an 18% discount rate, the present values of per hectare poplar cultivation were 887 million Rials (year 9) under pessimistic conditions, 1,349 million Rials (year 9) under average conditions, and 2,194 million Rials (year 10) under optimistic conditions. Increasing the interest rate to approximately 50% (inflation level) reduced the optimal cutting age to five years across all scenarios.

Conclusion: Rising discount rates reduce both the optimal cutting age and the discounted

expected return. For example, at a 14% discount rate in the average scenario, the optimal cutting age is 11 years with a discounted yield of 2,019 million Rials per hectare; at 50%, the cutting age falls to five years with an expected discounted yield of 180 million Rials per hectare. Given the discrepancy between the investor's goal of maximizing income and society's goal of maximizing wood production, and the critical influence of interest rates on this gap, it is strongly recommended to offer low-interest loan facilities to industry investors.

Keywords: Faustmann model, fuzzy regression, interest rate, optimal cut-off age.

ارزیابی اقتصادی زراعت صنوبر تحت تأثیر نرخ بهره در محیط ریسکی

سید مجتبی مجاوریان^{۱*}، فؤاد عشقی^۲، کمال عطایی سلوط^۲، مهسا تسلیمی^۳ و ماریا شاهنوری^۴

^{۱*} - نویسنده مسئول، استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

پست الکترونیک: mmojaverian@yahoo.com

^۲ - استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۳ - دانش‌آموخته دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

^۴ - دانشجوی دکتری رشته اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: علی‌رغم پژوهش‌های متعددی که در زمینه ارزیابی اقتصادی انجام شده است، سن بهینه برش و بازدهی زراعت چوب تحت شرایط عدم حتمیت در رشد درخت و بازار چوب، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف کلی پژوهش پیش‌رو، ارزیابی اقتصادی زراعت چوب صنوبر در سناریوهای مختلف ریسکی است.

مواد و روش‌ها: منبع داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، نتایج مقاله Mohammadi Limaiei و همکاران (۲۰۱۳) است که سن بهره‌برداری اقتصادی را برای هفت کلن از صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall) تعیین کردند. در پژوهش پیش‌رو از مدل فاوستمن استفاده شد و تابع حجم چوب از طریق رگرسیون فازی در سه سناریوی بدبینانه، متوسط و خوش‌بینانه برآورد شد. از میان انواع فرم‌های تابع، فرم چندجمله‌ای درجه سوم به دلیل شباهت به عملکرد زیستی، نتایج قابل تفسیر بهتری ارائه می‌دهد. به همین دلیل در این پژوهش از همین فرم استفاده شد. تصمیم‌گیری در مورد مقرون‌به‌صرفه‌ترین زمان برای قطع درخت به معنای حل مشکل بیشینه‌سازی مدل فاوستمن است. زمان برش بهینه در این مدل برای دو حالت قابل حل است: کشت یک‌باره و کشت دائم. در کشت یک‌باره، هزینه فرصت دوره بعدی کشت وجود ندارد، درحالی‌که در کشت دائمی، پس از هر برداشت باید هزینه فرصت برای چرخه کاشت و نگهداری دوره بعدی در نظر گرفته شود. در این پژوهش، بهینه‌سازی زراعت چوب در یک دوره انجام گرفته است. برای مقایسه سودآوری اقتصادی از ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده شد. زیرا این معیار به انتخاب گونه مناسب و تعیین سن بهره‌برداری بهینه کمک می‌کند و بهتر از معیارهای دیگر قابل درک است. برای پیش‌بینی قیمت چوب از روش تحلیل قیمت استفاده شد. به این ترتیب، پیش‌بینی براساس تفکیک و ترکیب مؤلفه‌های روند، چرخه‌ای و تصادفی قیمت انجام گرفت.

نتایج: تخمین تابع حجمی چوب صنوبر در سن‌های مختلف با استفاده از رگرسیون فازی نشان داد که بیشترین حجم چوب در حالت بدبینانه برابر با ۱۲۹/۳ متر مکعب در هکتار در سن ۱۲ سالگی است. میانگین آن حدود ۱۹۷ متر مکعب در ۱۶ سالگی و در حالت خوش‌بینانه ۳۲۹/۸ متر مکعب چوب در سن ۲۰ سالگی تولید می‌شود. قیمت هر متر مکعب چوب صنوبر براساس تحلیل مؤلفه‌های نوسان‌های قیمت برای سال ۱۴۲۴ در سه شرایط بدبینانه، متوسط و خوش‌بینانه به ترتیب ۸۲/۷، ۱۰۲ و ۱۲۱ میلیون ریال پیش‌بینی شد. ارزش فعلی کشت صنوبر (با نرخ بهره ۱۸ درصد) در حالت بدبینانه ۸۸۷ میلیون ریال در هکتار است که در سال نهم محقق می‌شود. در حالت متوسط، بیشترین درآمد حاصل از کشت صنوبر در سال نهم و حدود ۱۳۴۹ میلیون ریال برآورد شد. در حالت خوش‌بینانه نیز بیشینه درآمد در سال دهم به دست می‌آید. به طوری‌که به ازای هر هکتار کشت صنوبر، درآمد حدود ۲۱۹۴ میلیون ریال حاصل می‌شود. با افزایش نرخ بهره به نرخ تورم (حدود ۵۰ درصد)، سن قطع بهینه در هر سه سناریو به پنج سال کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی: با افزایش نرخ تنزیل، سن بهینه قطع درخت و بازدهی انتظاری تنزیل شده کاهش می‌یابد. به طوری‌که در نرخ تنزیل ۱۴ درصد، سن بهینه قطع درخت در سناریوی متوسط ۱۱ سال و بازدهی انتظاری تنزیل شده ۲۰۱۹ میلیون ریال در هکتار بود، درحالی‌که در نرخ تنزیل ۵۰ درصد، سن بهینه قطع درخت، پنج سال و بازدهی انتظاری تنزیل شده ۱۸۰ میلیون ریال در هکتار برآورد شد. باتوجه‌به

نقش نرخ بهره در عدم انطباق هدف درآمد بیشینه که مورد توجه سرمایه‌گذار است و بیشینه چوب تولیدی که هدف جامعه است، پیشنهاد می‌شود که تسهیلات تکلیفی کم بهره در اختیار سرمایه‌گذاران این صنعت قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون فازی، روش فاوستمن، سن بهینه برش، نرخ بهره.

مقدمه

در طول سال‌های متمادی در اثر بهره‌برداری از جنگل‌ها و اعمال مدیریت‌های متفاوت و در بعضی موارد به‌دور از آینده نگری، روزبه‌روز از سطح عرصه‌های جنگلی کاسته شد (Negahdar- Saber et al., 2005). آثار و شواهد نشان می‌دهند که در گذشته، قسمت عمده‌ای از ایران پوشیده از جنگل بود، اما امروزه نشانه‌هایی از آن‌ها باقی نمانده است (Mossadegh, 2011). باتوجه به جمعیت کشور، سهم هر ایرانی از جنگل حدود ۰/۲ هکتار است. این رقم باتوجه به سرانه جهانی جنگل با ۰/۸ درصد هکتار، نشانگر فقر و کمبود شدید کشور در سرانه جنگل به‌شمار می‌رود. عامل اصلی تخریب جنگل‌ها را می‌توان در تبدیل این عرصه‌ها و تغییر کاربری آن‌ها، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع که خود معلول رشد شتابان جمعیت و افزایش نیاز به چوب و فراورده‌های آن است و همچنین نیاز به منابع تولیدی و درآمدزا در طی دهه‌های اخیر جستجو کرد. عواقب ناشی از این دست‌اندازی‌های ناآگاهانه امروزه به‌صورت عرصه‌های تخریب‌یافته متجلی شده‌اند (Negahdar- Saber et al., 2005). جنگل‌زدایی و تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی به بوم‌سازگان‌های ساده به‌عنوان یک بحران جهانی مطرح است. این روند به‌خصوص در طی قرن بیستم در آسیا، روبه‌رشد و نگران‌کننده داشته است. به‌طوری‌که سطح قابل‌توجهی از زمین (بیشتر از نیمی از آن) به‌خصوص در اثر تغییر کاربری به زراعت تحت تأثیر قرار گرفته است (Bazgir et al., 2020).

جنگل‌کاری و زراعت چوب به‌منظور کمک به توده‌های طبیعی و جبران کمبود منابع چوبی، ایجاد فضای سبز و کاهش فشار بهره‌برداری بر عرصه‌های طبیعی و سرمایه‌گذاری اقتصادی صورت می‌گیرد (Negahdar- Saber et al., 2005; Ahmadloo et al., 2023). گونه‌های سوزنی‌برگ به

دلیل تولید زیاد چوب در واحد سطح مورد توجه هستند و اغلب کشورهای جهان، سطوح وسیعی را با این گونه‌ها برای تولید چوب و تأمین نیازهای مختلف جنگل‌کاری کرده‌اند (Nagaike, 2002; Jobidon, 2004). در ایران که گونه‌های درختی سوزنی‌برگ اندکی دارد، به‌اجبار همواره خمیر کاغذ و الیاف بلند سوزنی‌برگ از خارج وارد می‌شود. این واردات با خروج قابل‌ملاحظه‌ای ارز از کشور همراه است، بنابراین برای صرفه‌جویی در این زمینه باید به توسعه کشت گونه‌های تندرشد یا زراعت چوب در نقاط مختلف اقدام شود (Haidari et al., 2023). جنگل‌کاری با گونه‌های تندرشد از طریق ایجاد اشتغال به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، نقش مهمی در توسعه اقتصادی روستاها دارد. همچنین، حفظ جنگل به مدت طولانی‌تر برای تولید چوب، اثر مثبتی بر ترسیب کربن خواهد داشت (Abedi et al., 2023).

در زراعت چوب، برخلاف زراعت گیاهان، درآمد اصلی بعد از چند دوره به‌دست می‌آید و هر ساله قابل‌دستیابی نیست، بنابراین ریسک و زمان به‌شدت بر تصمیم‌گیری زارعان مؤثر است. از طرف دیگر، برخلاف باغ‌داری، درآمد اصلی زراعت چوب، محصولات آن نیستند، بلکه تنه درخت است (ماشین تولید، خود تولید است). یک گام منطقی در انتخاب گونه مناسب برای جنگل‌کاری، تعیین سن بهینه و برآورد میزان چوب تولیدی در آن سن است (Petit et al., 2004). امروزه سرمایه‌گذاران در بخش جنگل‌کاری به‌دنبال کاشت درختانی هستند که طول دوره بهره‌برداری کمتری داشته باشند. یکی از مهم‌ترین سؤال‌های کلیدی در جنگل‌داری، سن مناسب بهره‌برداری درختان یا دوره چرخش (دوره برداشت محصول آن جنگل) چقدر است؟ انتخاب سن بهره‌برداری یعنی اینکه تا چه مدت سرمایه‌گره‌خورده به محصول جنگل پیش از اینکه به پول نقد تبدیل شود را باید سرپا نگه داشت. به‌عبارتی دیگر،

انتخاب سن بهره‌برداری، مشخص‌کننده مقدار موجودی سرپای جنگل است که باید نگه داشته شود تا بتواند یک سطح مشخصی از تولید را حفظ کند (Mahdavi, 2012). تعیین دوره (سن) بهره‌برداری بهینه در جنگل‌کاری‌ها از نظر اقتصادی، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریتی محسوب می‌شود (González-Gómez et al., 2011). به‌طوری‌که برای رسیدن به مدیریت جنگل‌کاری، تعیین سن برداشت بهینه، امری لازم و ضروری است (Posavec et al., 2011). در این سن به‌طور معمول مجموع ارزش خالص فعلی هزینه‌ها و درآمدهای حاصل از فعالیت‌های مدیریتی (کاشت، آماده سازی رویشگاه، تنک کردن، هرس کردن و برداشت نهایی) از نظر اقتصادی بهینه است (Yoshimoto & Shoji, 1998). در تعیین زمان بهینه برش، عوامل متعددی نقش دارند. مهم‌ترین این عوامل، تابع رشد درخت و همه عوامل محیطی و مدیریتی مؤثر بر آن، قیمت چوب، ریسک محیط و بازار، هزینه‌های اولیه، نگهداری و برداشت، قیمت زمین به‌همراه سیاست‌های دولت - که بر متغیرهای بازار تأثیر می‌گذارد - هستند.

پژوهش‌های متعددی برای تعیین زمان اقتصادی برش درخت و ارزیابی اقتصادی زراعت چوب انجام گرفته است. ارزیابی سن بهره‌برداری اقتصادی صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall) در استان گیلان نشان داد که سن بهره‌برداری بهینه این گونه به‌ازای مقادیر مختلف سود بانکی و تراکم‌های مختلف جنگل‌کاری بین هشت تا ۲۵ سال تغییر می‌کند (Mohammadi Limaiei et al., 2013). بررسی نرخ بازدهی و سن بهره‌برداری بهینه صنوبرکاری به‌ازای سودهای مختلف بانکی در استان کردستان نشان داد که نرخ بازده سرمایه‌گذاری صنوبرکاری ۱۵/۷ درصد است (Saidi, 2013). بررسی بلوغ مالی صنوبر دلتوئیدس در استان کردستان با استفاده از مدل ارزش مورد انتظار زمین (فاوستم) نشان داد که سن چرخش بهینه صنوبر در ۱۲ سالگی اتفاق می‌افتد، درحالی‌که صنوبرکاران کردستانی، درختان صنوبر را در شش تا هفت سالگی قطع می‌کنند و سود بیشتر را نادیده می‌گیرند (Adeli et al., 2016).

علت این رویداد به وجود ریسک در بازار صنوبر استان کردستان و عدم تمایل کشاورزان به ریسک‌پذیری بیشتر نسبت داده شد. بررسی سن بهره‌برداری بهینه اقتصادی کاج تدا (*Pinus taeda* L.) به‌ازای نرخ‌های مختلف سود بانکی در شمال ایران نشان داد که بهترین رابطه بین رویش حجمی و سن، یک مدل رویش چندجمله‌ای درجه سوم است (Adibnezhad & Mohammadi Limaiei, 2020). ارزیابی فاصله کاشت، الگوی کاشت و سن برداشت اقتصادی کلن‌های پرمحصول تبریزی (*Populus nigra* L.) در استان آذربایجان غربی با استفاده از از یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری به نام مدل زیستی-اقتصادی نشان داد که اجرای استاندارد اقتصادی کاشت و برداشت می‌تواند حجم تجاری چوب تولیدشده، قطر درخت متوسط و ارزش مورد انتظار زمین را به‌ترتیب ۵۶، ۴۶ و ۱۴۳ درصد افزایش دهد (Heshmatol Vaezin et al., 2020). نتایج تعیین سن بهره‌برداری در جنگل‌کاری‌های صنوبر دلتوئیدس در استان گیلان نشان داد که سن بهینه برداشت با توجه به ارزش خالص فعلی چوب از شش تا نه سال، با در نظر گرفتن ارزش خالص فعلی کربن از ۱۱ تا ۱۵ سال و براساس ارزش خالص فعلی چوب و کربن به‌طور توأم بین هفت تا ۱۰ سال است (Abedi et al., 2023). ارزیابی عوامل اجتماعی- اقتصادی مؤثر بر کشت صنوبر دلتوئیدس همراه با محصولات کشاورزی در هند نشان داد که افزودن کشت صنوبر در مزرعه به کاهش اندکی در تولید محصولات زراعی منجر می‌شود، اما به‌دلیل فروش محصول صنوبر همراه با محصول زراعی، درآمد کشاورزان افزایش می‌یابد (Pandey et al., 2020). مدل‌سازی اقتصادی مزارع صنوبر در دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت در مجارستان نشان داد که نقطه سربه‌سر تولید سالانه بین شش تا هشت تن در هکتار است (Schiberna et al., 2021). دوره بهره‌برداری صنوبرهای صنعتی برای تولید چوب‌های روکش باکیفیت نیز از ۱۲ تا ۲۵ سال گزارش شد. بررسی ترکیب تحلیل‌های هزینه فایده پولی، اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی تولید صنوبر در دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت در اسلوواکی نشان داد که ارزش خالص فعلی (NPV) برای کشت ذرت دانه‌ای،

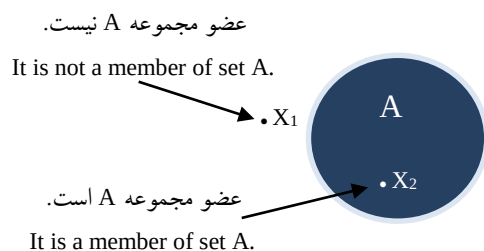
توسط پروفیسور لطفی زاده در دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. این مفهوم در بسیاری از زمینه‌های مختلف علوم به‌ویژه در مهندسی استفاده شد. این نظریه، شاخه‌ای از نظریه مجموعه‌ها است که برای نمایش اطلاعات و روابط نادقیق مفید است. زیرا نظریه فازی می‌تواند نوعی عدم قطعیت را نشان دهد (Yen & Langari, 1999). تفاوت اصلی بین رگرسیون کلاسیک و رگرسیون فازی در غیردقیق بودن داده‌ها یا مؤلفه‌ها است. مطابق شکل ۱، داده‌ها در حالت کلاسیک به‌طور قطع یا متعلق به مجموعه A هستند یا خیر، اما در حالت فازی نمی‌توان نظر قطعی داد.

چاودار زمستانه و صنوبر به‌ترتیب برابر با ۱۲۱۵۶، ۹۷۶۳ و ۲۲۱۰ یورو در هکتار است (Fürtner et al., 2022). با وجود پژوهش‌های مختلفی که به آن‌ها اشاره شد، شرایط ریسک در رشد درخت و بازار صنوبر، کمتر مورد توجه بوده است. هدف کلی پژوهش پیش‌رو، ارزیابی اقتصادی زراعت چوب صنوبر دلتوئیدس و نیز تعیین زمان بهینه قطع درخت در سناریوهای مختلف ریسکی است.

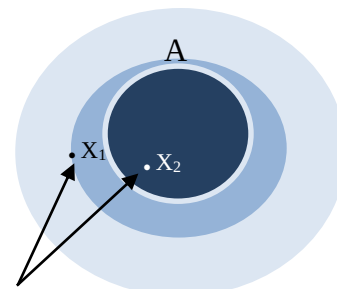
مواد و روش‌ها

رگرسیون فازی

مفهوم مجموعه‌های فازی و استدلال تقریبی برای اولین بار



b) Classic set ب) مجموعه کلاسیک



عنصری که دارای درجه عضویت بین صفر تا یک در A است.
An element that has membership degree between 0 and 1 in A.

a) Fuzzy set الف) مجموعه فازی

شکل ۱- نمایش مجموعه فازی و مجموعه کلاسیک (مأخذ: Lee, 2006)

Figure 1. Representation of fuzzy set and classical set (Source: Lee, 2006)

به‌طور تقریبی در سه گروه، روش‌های برنامه‌ریزی خطی (LP)، تکنیک‌های چندهدفه (MO) و روش‌های حداقل مربعات (LS) دسته‌بندی کرد. در پژوهش پیش‌رو از تکنیک حداقل مربعات استفاده می‌شود. شکل کلی این مدل به‌صورت رابطه (۱) است (Tanaka et al., 1989):

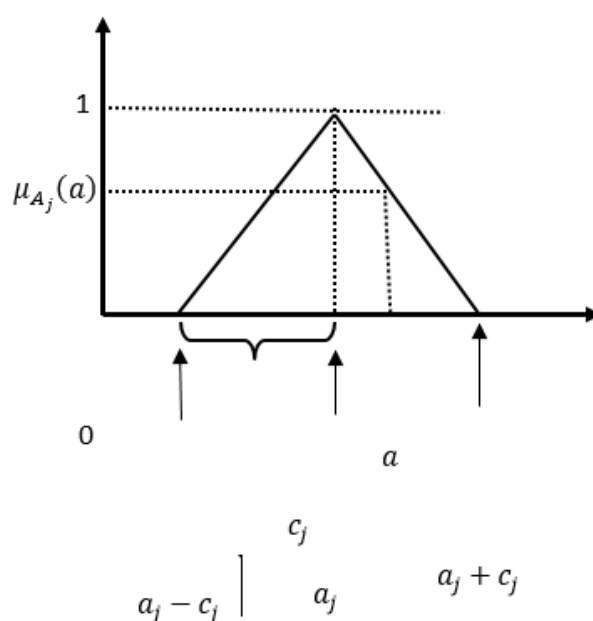
$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \dots + \tilde{A}_K X_K + \varepsilon$$

با توسعه نظریه مجموعه‌های فازی، کاربردهای موفقی از آن در حوزه‌های متنوعی همچون اعتبارسنجی، کنترل کیفیت، اقتصادسنجی و مهندسی گزارش شد. وجه مشترک این حوزه‌های مختلف، وجود داده‌ها و روابط غیردقیق و مبهم (فازی) است. در سال‌های اخیر، انواع مدل‌های رگرسیون فازی برای بازیابی تحلیل رگرسیون ساخته شده‌اند. این مدل‌ها را می‌توان

رابطه (۱)

باشند، TFN متقارن (STFN) است. اگر این طیف نابرابر باشد، به TFN نامتقارن (ATFN) شناخته می‌شود. در این مطالعه از STFN استفاده شده است (شکل ۲).
رابطه (۲)، تابع هدف برای برآورد مؤلفه‌های فازی در (STFN) را نشان می‌دهد.

که در آن $\tilde{Y}$ خروجی فازی است. $\tilde{A}_j$ ضریب‌های (مؤلفه‌های) فازی و X_n یک بردار ورودی غیرفازی n بعدی است. برای مؤلفه‌های فازی، اعداد فازی مثلثی (TFN) در نظر گرفته شد. در نتیجه، ضریب‌ها دارای یک تابع عضویت (MF) هستند. ویژگی مهم TFN میزان گستره چپ و راست میانگین (محتمل‌ترین حالت) است. هنگامی که دو گستره برابر



شکل ۲- مؤلفه‌های فازی متقارن

Figure 2. Symmetric fuzzy parameters (STFN)

که در آن، a_j حالت و c_j گستره است (شکل ۲). برآورد مؤلفه‌ها به صورت رابطه (۳) انجام می‌گیرد:

$$\mu_{A_j}(a) = \max \left\{ 1 - \frac{a - a_j}{c_j}, 0 \right\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\tilde{A}_j = (a_j, c_j)_L = \{ \tilde{A}_j : a_j - c_j < \tilde{A}_j \leq a_j + c_j \}_L, \quad j = 0, 1, 2, \dots, K \quad \text{رابطه (۳)}$$

که فقط مؤلفه‌های رشد درخت فازی هستند، رابطه (۴) به صورت زیر بیان می‌شود

علاوه بر مؤلفه‌ها، ورودی‌ها (x_i) هم می‌توانند فازی باشند، اما در پژوهش پیش‌رو فقط مؤلفه‌های رشد درخت به صورت فازی در نظر گرفته شده است. با محدود کردن بحث به حالتی

$$\tilde{Y}_i = \tilde{A}_0 + \sum_{j=1}^K \tilde{A}_j x_{ij} = (a_0 c_0)_L + \sum_{j=1}^K (a_j, c_j)_L x_{ij} \quad \text{رابطه (۴)}$$

مدل فاوستمن

در نظر گرفتن جنگل به عنوان سرمایه و استفاده از نظریه های بهینه سازی سرمایه، اولین بار در سال ۱۸۴۹ توسط مارتین فاوستمن ارائه شد. یکی از ویژگی های سرمایه جنگل که آن را از سرمایه فیزیکی جدا می کند، این است که ماشین تولید و تولید، یکی است. محصول اصلی درخت، چوب است که در اثر رویش درخت به دست می آید و چوب چیزی جز پیکره درخت نیست، بنابراین علاوه بر هزینه های کاشت و نگهداری، هزینه فرصت ازدست رفته آینده به واسطه قطع درخت در زمان حال برش در تصمیم گیری مؤثر است. از طرف

دیگر، تولید چوب توسط درخت باتوجه به تابع رشد زیستی آن و در طول زمان ممکن است. تابع رشد درخت، تحت تأثیر خصوصیات زیستی و شرایط محیطی است که می توان با سرمایه گذاری و مطلوب کردن شرایط، سرعت آن را بهبود داد. تصمیم گیری در مورد اقتصادی ترین زمان قطع کردن درخت، به معنای حل مسئله بهینه سازی مدل فاوستمن است و این مسئله توسط برتیل اوهلین در سال ۱۹۲۱ حل شد تا به قضیه فاوستمن-اوهلین تبدیل شود (رابطه ۵) (Erickson et al., 1999).

$$Y_T = f(T, W_0, W_1, W_2 \dots W_T; X_0, X_1, X_2 \dots X_T) \quad \text{رابطه (۵)}$$

حالت یک دوره ای در نظر گرفته شد. اما الگوی این مقاله به سادگی برای چرخه های دائمی کاشت، نگهداری و برداشت قابل تعمیم است.

در تابع تولید درخت فوق، با ثابت گرفتن متغیرهای W و X حجم چوب فقط تابعی از عمر آن در نظر گرفته می شود. متغیرهای فوق از طریق منطق فازی و رگرسیون فازی برای بدترین و بهترین حالت تجربه شده (تابع عضویت مثلثی) در نظر گرفته شدند. باتوجه به تابع تولید، ارزش حال انتظاری درآمد به صورت رابطه (۶) از تنزیل حاصل ضرب قیمت پیش بینی شده در حجم چوب به دست می آید.

که در آن Y_T حجم چوب درخت در زمان T ، سن درخت، W_T ($t=1,2,\dots, T$) عوامل محیطی مانند بارندگی و دما در دوره زیست درخت هستند. همچنین، X_T ($t=1, 2,\dots, T$) بیانگر متغیرهای مدیریتی مانند هرس و همه مراقبت های زارع در دوره زیست درخت است. زمان بهینه برش در این مدل برای دو حالت یک دوره ای و پایدار، قابل حل است. در حالت یک دوره ای، هزینه فرصت چرخه بعدی کشت در نظر گرفته نمی شود. در حالت پایدار، زراعت دائمی است و بعد از هر برداشت، چرخه کاشت و نگهداری دوره بعد اتفاق می افتد. در پژوهش پیش رو به دلیل خطای تجمعی پیش بینی که در پیش بینی های طولانی به صورت تراکمی افزایش می یابد، فقط

$$PR = E_0(P_T)Y_T e^{-rT} = E_0(P_T)f(T)e^{-rT} \quad \text{رابطه (۶)}$$

بانکی تا نرخ تورم باشد. شرط بهینه سازی تابع فوق در رابطه (۷) آمده است:

که در آن PR ارزش فعلی درآمد حاصل از فروش چوب، r نرخ تنزیل یا هزینه فرصت سرمایه و $E_0(P_T)$ پیش بینی فعلی برای قیمت در زمان T است. r می تواند بین نرخ بهره

$$\frac{\partial PR_T}{\partial T} = E_0(P_T)Y'_T e^{-rT} - rE_0(P_T)Y_T e^{-rT} = 0 \rightarrow E_0(P_T)Y'_T = rE_0(P_T)Y_T \rightarrow \frac{Y'_T}{Y_T} = r \quad \text{رابطه (۷)}$$

تولیدی می‌کند. در این صورت اگر از آینده اطمینان کامل داشت و فقط هدف اقتصادی واحد تولیدی بدون در نظر گرفتن هدف‌های سیاسی و اجتماعی، سود بیشینه باشد، به نظر می‌رسد که تنها ضابطه صحیح، بیشینه ارزش خالص فعلی است. زیرا اقتصادی بودن هر عمل به وسیله سودی که از آن به دست می‌آید، اندازه‌گیری می‌شود. این سود، زمانی بیشینه است که سود فعلی بیشینه باشد، بنابراین عدم اطمینان می‌تواند ضرورت بررسی و انتخاب راهکارهای جایگزین را برای سرمایه‌گذار ایجاد کند (Saeed, 2015).

داده‌های پژوهش

داده‌های این پژوهش از طریق پیش‌بینی الگوهای برآوردشده از مقاله Mohammadi Limaiei و همکاران (۲۰۱۳) به دست آمد. در پژوهش مذکور، داده‌های طرح‌های تحقیقاتی انجام‌شده بر روی هفت کلن صنوبر گونه دلتوئیدس طی یک دوره ۱۰ ساله استفاده شده بود. در پژوهش پیش‌رو از نتایج برآورد الگو برای کلن‌های مختلف، سه داده رویش در کمترین، بیشترین و میانگین برای تخمین رگرسیون فازی به کار برده شد. برای پیش‌بینی قیمت چوب، روش تجزیه قیمت (اجزای روند، سیکلی و تصادفی) استفاده شد و افق زمانی پیش‌بینی تا سال ۱۴۲۴ در نظر گرفته شد.

نتایج

در جدول ۱ نتایج تخمین رگرسیون فازی با استفاده از داده‌های مستخرج از مقاله Mohammadi Limaiei و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است. در سطر اول جدول ۱، مدل برای کمترین داده‌ها و در سطر آخر، مدل براساس بیشترین داده‌ها برازش شده است. در سطر میانی نیز بر مبنای داده‌های متوسط تنظیم شده است. این داده‌ها با فرض توزیع نرمال فراوانی داده‌های حجم چوب در سن‌های مختلف، بیانگر میانه و مد (محتمل‌ترین حالت) نیز هستند.

تعادل فوق تحت چند فرض ساده‌کننده، زمان بهینه برش را نشان می‌دهد: الف) همه هزینه‌های اولیه از جمله هزینه فرصت زمین، آماده‌سازی و خرید نهال گرفته نمی‌شود. البته در الگوی یک‌دوره‌ای، این هزینه‌ها تأثیری بر زمان بهینه ندارند، بنابراین وارد کردن یا نکردن هزینه‌های اولیه فقط بر مقدار سود اثرگذار است؛ نه سن بهینه برش. ب) هزینه نگهداری در نظر گرفته نشده است. ج) هزینه برداشت با فرض فروش در مزرعه حذف شده است. با توجه به این موارد، رابطه (۷) بهترین زمان برای برداشت چوب را نشان خواهد داد. در رابطه فوق، سمت چپ نشانگر درصد رشد درخت (رشد سرمایه سرپا به صورت فیزیکی) و سمت راست بیانگر نرخ فرصت سرمایه‌های دیگر است. در مدل فاوستمن بر فرم تبعی تابع تأکید نشده است، بنابراین پژوهشگر می‌تواند براساس آمارها و معیارهای تصریح یک مدل خوب، فرم تبعی را انتخاب کند. منظور از فرم تبعی، تصریح یک تابع است. به عنوان مثال، اگر Y تابعی از X باشد، فرم تبعی آن می‌تواند خطی، درجه دوم، درجه سوم یا نمایی باشد. در بین انواع فرم‌های تبعی مدل فاوستمن، فرم درجه سه به دلیل مشابهت با تابع زیستی، نتایج قابل تفسیر بهتری را فراهم می‌کند. در این پژوهش نیز از همین فرم استفاده شد.

معیارهای ارزیابی اقتصادی

معیارهای مختلفی برای تعیین زمان مناسب بهره‌برداری وجود دارد. در این میان می‌توان به معیارهای بیشینه تولید کل، بیشینه تولید کل سالانه و سود خالص فعلی اشاره کرد. معیار سود خالص فعلی نسبت به معیارهای دیگر برای انتخاب گونه مناسب و تعیین سن بهره‌برداری بهینه صنوبر، بهتر است. این معیار مبتنی بر محاسبه سود خالص فعلی شده در یک دوره زمانی است (Ranjbar et al., 2009). هدف از اداره اقتصادی جنگل‌ها، آن است که از بین راه‌های مختلف رسیدن به یک هدف، آن راهی انتخاب شود که بیشینه سود را نصیب واحد

جدول ۱- نتایج تخمین رگرسیون فازی

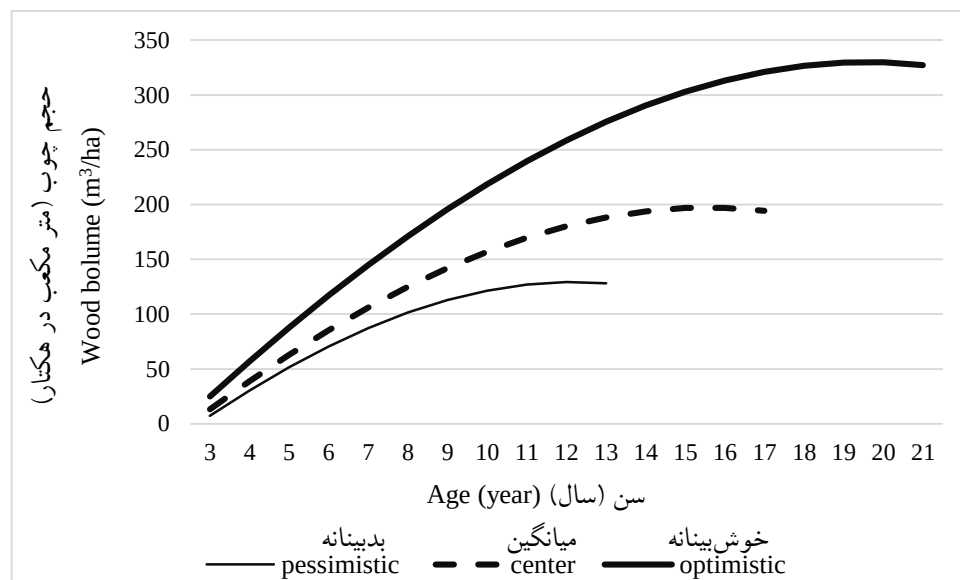
Table 1. Fuzzy regression estimation results

Function	Equation	Age of maximum volume of wood
Lower boundary of the model support interval	$-73.09 + 28.99 \times T - 0.66 \times T^2 - 0.03 \times T^3$	12
Central tendency of the fuzzy regression model	$-71.2 + 29.87 \times T - 0.517 \times T^2 - 0.02 \times T^3$	15
Upper boundary of the model support interval	$-78.36 + 36.05 \times T - 0.49 \times T^2 - 0.01 \times T^3$	19

T denotes the age of the trees (in years), and the dependent variable is the timber volume (m³/ha).

۱۲۹/۳ متر مکعب در ۱۲ سالگی، در حالت میانگین حدود
۱۹۷ متر مکعب در ۱۶ سالگی و در حالت خوش‌بینانه
۳۲۹/۷ متر مکعب در ۲۰ سالگی به دست می‌آید.

در شکل ۳، تابع حجم چوب صنوبر در سن‌های مختلف
با استفاده از رگرسیون فازی در سه حالت بدبینانه، خوش
بینانه و میانگین آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود،
بیشترین حجم چوب در هکتار در حالت بدبینانه برابر با

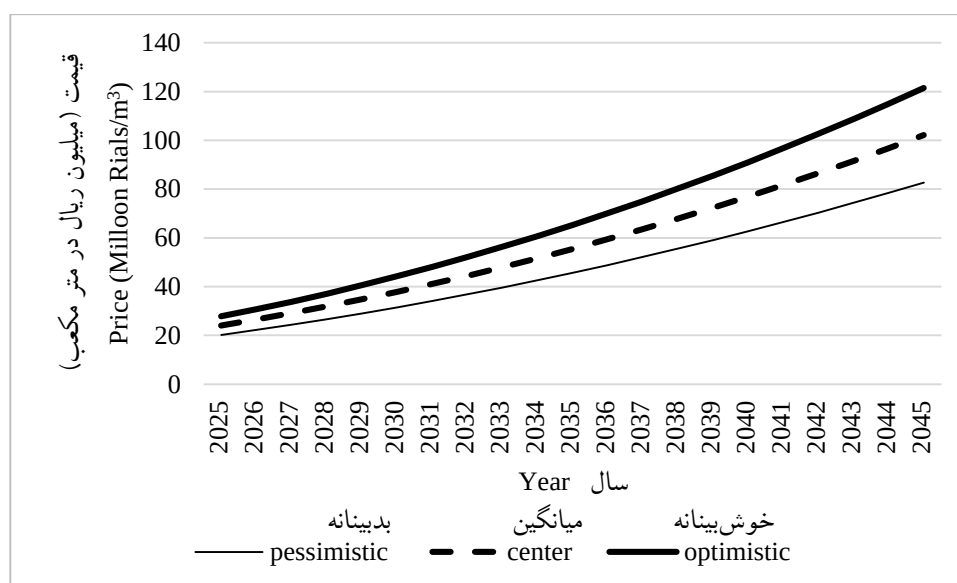


شکل ۳- تابع رشد صنوبر با استفاده از رگرسیون فازی در سه حالت بدبینانه، خوش‌بینانه و میانگین

Figure 3. Poplar growth function using fuzzy regression in three pessimistic, optimistic and average states

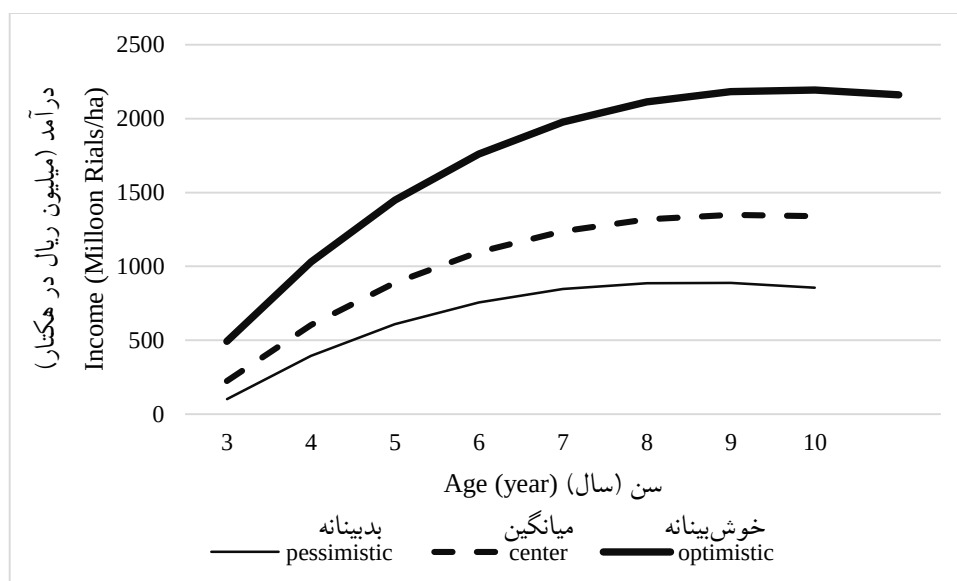
های آینده انجام گرفت. پیش‌بینی قیمت براساس تجزیه اجزا
در سه حالت بدبینانه، میانگین و خوش‌بینانه به‌ازای هر متر
مکعب چوب سرپا در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که
مشاهده می‌شود، در حالت بدبینانه، قیمت چوب صنوبر در
سال ۱۴۰۴ از حدود ۲۰۲۵۰ هزار ریال به ۸۲۷۲۵ هزار ریال
در سال ۱۴۲۴ خواهد رسید. در همین دوره زمانی پیش‌بینی
می‌شود که میانگین قیمت از ۲۴۰۴۴ به ۱۰۲۱۲۹ هزار ریال
برسد. در حالت خوش‌بینانه نیز قیمت در سال ۱۴۰۴ از
۲۷۸۴۰ به ۱۲۱۵۳۲ هزار ریال در سال ۱۴۲۴ خواهد رسید.

یکی از متغیرهای تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری زمان برش،
قیمت چوب است. در بازار چوب، قیمت به‌شدت در حال
نوسان است. این نوسان هم در طول سال و هم بین سال‌های
مختلف اتفاق می‌افتد. با توجه به داده‌های پژوهش (سالانه) در
اینجا از نوسان‌های طول سال که ماهیت فصلی دارند، صرف
نظر شد. فقط نوسان‌های سیکلی و روند در طول سال‌های
۱۳۶۹ تا ۱۴۰۱ از نوسان‌های کل قیمت در دوره مزبور جدا
و تغییرات تصادفی پیش‌بینی شد. در نهایت، با افزودن تغییرات
روند و سیکلی به نوسان‌های تصادفی، پیش‌بینی برای سال



شکل ۴- پیش‌بینی قیمت چوب صنوبر در مزرعه براساس تجزیه اجزا در سه حالت بدبینانه، خوش‌بینانه و میانگین

Figure 4. Forecasting the price of poplar wood at the farm based on component analysis in three states: pessimistic, optimistic and average



شکل ۵- ارزش فعلی (تنزیل شده با نرخ ۱۸ درصد) درآمد زراعت صنوبر در سه حالت بدبینانه، خوش‌بینانه و میانگین

Figure 5. Current value (discounted at 18%) of the income of poplar cultivation in three pessimistic, optimistic and average situations

حجم و کمترین قیمت به دست آمد. این حالت بدترین اتفاق ممکن برای تولیدکننده است. در کرانه مقابل، بهترین اتفاق برای زارع، زمانی است که بیشترین حجم چوب را با بیشترین قیمت دریافت کند. حالت سوم بین این دو کرانه قرار خواهد

پس از برآورد قیمت و حجم چوب می‌توان درآمد هر هکتار زراعت صنوبر را پیش‌بینی کرد. با توجه به پیش‌بینی‌های قیمت و حجم چوب در این مرحله نیز سه برآورد انجام می‌گیرد. کرانه پایین یا کمترین بازده از حاصل ضرب کمترین

گرفت که با فرض نرمال بودن احتمالات، همان میانگین دو کرانه خواهد بود. از آنجاکه برای سرمایه‌گذار، بیشینه ارزش فعلی بازدهی اهمیت دارد، لازم است که ارزش فعلی آن به‌دست آید. محاسبه ارزش فعلی به‌شدت تحت تأثیر نرخ بهره (هزینه فرصت سرمایه‌گذار) قرار دارد. در اولین سناریو (حالت پایه) از نرخ ۱۸ درصد که نرخ بهره متداول برای تسهیلات کشاورزی است، استفاده شد. ارزش فعلی تنزیل شده (با نرخ ۱۸ درصد) برای زراعت صنوبر در سه حالت بدبینانه، خوش‌بینانه و میانگین در شکل ۵ ارائه شده است. در حالت بدبینانه، بیشترین درآمد زراعت صنوبر حدود ۸۸۷ میلیون ریال به‌ازای هر هکتار در سال نهم به‌دست می‌آید. در حالت میانگین، بیشینه درآمد نیز در سال نهم و برابر با ۱۳۴۹ میلیون ریال در هکتار است. در حالت خوش‌بینانه نیز این رقم برابر با ۲۱۹۴ میلیون ریال به‌ازای هر هکتار در سال دهم پیش‌بینی شد.

نرخ تنزیل از نظر نظری لزوماً برابر با نرخ بهره بانکی نیست. بلکه مقدار نرخ تنزیل به بیشترین بازدهی فرد در استفاده از فرصت‌های غیرزراعت چوب برمی‌گردد. در این بحث، نرخ تنزیل می‌تواند بیشترین نرخ بهره سپرده بلندمدت، میانگین بازدهی بازار سرمایه، نرخ تورم (برای فرصت‌های بورس‌بازی و دلالتی) و یا فرصت‌های دیگر و نرخ تنزیل مرتبط با آن فرصت باشد. به همین علت، برآورد بیشینه ارزش

فعلی درآمد زراعت چوب با نرخ‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول، بهترین زمان برش درختان صنوبر دلتوئیدس در نرخ‌های مختلف تنزیل و تحت حالت‌های مختلف (بدبینانه، خوش‌بینانه و میانگین) پیش‌بینی شد. طبق تئوری، در حالت بدبینانه با افزایش نرخ تنزیل، سن بهینه قطع درخت و بازدهی انتظاری تنزیل شده کاهش می‌یابد. به طوری‌که در نرخ تنزیل ۱۴ درصد، سن بهینه قطع درخت ۱۰ سال و بازدهی انتظاری تنزیل شده ۱۲۷۷ میلیون ریال در هکتار برآورد شد، درحالی‌که در نرخ تنزیل ۵۰ درصد، سن بهینه قطع درخت، پنج سال و بازدهی انتظاری تنزیل شده ۱۲۳ میلیون ریال در هکتار به‌دست آمد. در حالت میانگین نیز طبق تئوری با افزایش نرخ تنزیل، سن بهینه قطع درخت و بازدهی انتظاری تنزیل شده کاهش می‌یابد. به طوری‌که در نرخ تنزیل ۱۴ درصد، سن بهینه قطع درخت ۱۱ سال و بازدهی انتظاری تنزیل شده ۲۰۱۹ میلیون ریال در هکتار است، اما در نرخ تنزیل ۵۰ درصد، سن بهینه قطع درخت، پنج سال و بازدهی انتظاری تنزیل شده حدود ۱۸۰ میلیون ریال در هکتار برآورد شد. در حالت خوش‌بینانه در نرخ تنزیل ۱۴ درصد، بیشترین بازدهی انتظاری معادل ۳۳۷۷ میلیون ریال در هکتار و سن بهینه قطع درخت ۱۲ سال به‌دست آمد. در نرخ تنزیل ۵۰ درصد نیز بازدهی انتظاری حدود ۲۹۳ میلیون ریال در هکتار و سن قطع بهینه درخت پنج سال برآورد شد.

جدول ۲- بهترین زمان برش درخت صنوبر تحت نرخ‌های مختلف بهره و حالت‌های سه‌گانه

Table 2. Best cutting time of poplar tree under different interest rates and triple modes

Interest Rate	Pessimistic state		Average state		Optimistic state	
	Optimal age	Discounted expected return (thousand Rials/ha)	Optimal age	Discounted expected return (thousand Rials/ha)	Optimal age	Discounted expected return (thousand Rials/ha)
14%	10	1277484.308	11	2019357.939	12	3377005.884
18%	9	887089.131	9	1348986.037	10	2194116.619
24%	7	555770.5	8	815215.705	8	1308094.52
30%	6	368368.613	6	534404.242	6	856718.521
40%	5	202921.474	5	296229.125	5	482351.270
50%	5	123078.095	5	179672.046	5	292560.834

و تصمیم‌گیری در چنین شرایطی، ماهیت ریسک‌پذیر پیدا می‌کند. براین‌اساس، پژوهش پیش‌رو با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تابع رشد درختان و نوسان‌های قیمتی به ارزیابی بازدهی اقتصادی زراعت چوب پرداخته است. با بهره‌گیری از مدل تعادل فاولستمن، استفاده از تابع درجه سوم حجم چوب (Mohammadi Limaiei et al., 2013; Saidi, 2013; Adibnezhad & Mohammadi Limaiei, 2020)، پیش‌بینی قیمت براساس تحلیل نوسان‌ها و به‌کارگیری معیار ارزش خالص فعلی، بهترین زمان برش درخت و ارزش فعلی بازدهی آن در سه سناریو بدبینانه، محتمل‌ترین حالت و خوش‌بینانه برآورد شد. نتایج نشان داد که با نرخ تنزیل ۱۸ درصد، بهترین زمان برش بین نه تا ۱۰ سال و ارزش فعلی بازدهی انتظاری بین ۸۸۷ میلیون ریال تا ۲۱۹۴ میلیون ریال به‌ازای هر هکتار صنوبرکاری است. سن بهینه برش در این پژوهش به نتایج گزارش‌شده توسط Adeli و همکاران (۲۰۱۶) در استان کردستان و Heshmatol Vaezin و همکاران (۲۰۲۰) در استان آذربایجان غربی نزدیک است. به‌طورکلی می‌توان انتظار داشت که کشاورزان با تأخیر در قطع درختان، منافع بیشتری دریافت کنند.

باتوجه به نرخ تورم در ایران، نرخ بهره ۱۸ درصد نمی‌تواند نرخ بهره واقعی و گویای هزینه فرصت سرمایه باشد. از آنجاکه تغییرات نرخ بهره به‌شدت بر زمان برش و بازدهی انتظاری تأثیر می‌گذارد، برآوردهای این پژوهش در نرخ‌های بهره بیشتر تا ۵۰ درصد تکرار شد. افزایش نرخ بهره موجب کاهش زمان اقتصادی برش درختان در هر سه سناریو تا پنج سال شد که با نتایج گزارش‌شده توسط Mohammadi Limaiei و همکاران (۲۰۱۳)، Saidi (۲۰۱۳) و Adibnezhad و Mohammadi Limaiei (۲۰۲۰) هم‌خوانی دارد. هدف اصلی سرمایه‌گذار، دستیابی به بیشترین ارزش فعلی درآمد انتظاری حاصل از فعالیت اقتصادی مورد نظر است و زمان‌های بهینه برداشت نیز بر همین اساس تعیین شده‌اند، اما هدف اجتماعی، بر بیشینه‌سازی حجم تولید چوب به‌منظور تأمین مواد اولیه صنایع وابسته متمرکز است، بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد که نرخ بهره ۱۸ درصد برای تسهیلات مرتبط با زراعت چوب

به‌طورکلی، برآوردهای ارائه‌شده در جدول ۲ با انتظارات نظری همخوانی دارد. به‌نحوی که در هر سه سناریو، افزایش نرخ بهره که می‌تواند ناشی از فشار تورمی باشد، موجب کاهش در بازدهی و انگیزه سرمایه‌گذاری می‌شود و در عین حال، زمان نگهداری درخت را کاهش می‌دهد. پیامد اخیر به‌نوبه‌خود سبب شکاف بیشتر بین منافع اجتماعی (بیشینه حجم چوب) و منافع فردی (بیشینه درآمد انتظاری) می‌شود.

بحث

با وجود جایگزینی انرژی فسیلی به‌جای هیزم، کاهش مصرف کاغذ با جایگزینی اتوماسیون و نیز کاهش مصرف چوب در مبلمان و مصالح ساختمانی، میزان برداشت از چوب‌های جنگلی همچنان فراتر از ظرفیت بازتولید آن‌ها بوده است و تهدید جدی جنگل‌زدایی را به‌همراه دارد. در ایران علی‌رغم واردات میلیون‌ها دلار چوب، سالانه حجم زیادی از درختان جنگلی قطع و برداشت می‌شود. حفاظت پایدار از جنگل‌ها، مستلزم اجرای دقیق و سخت‌گیرانه قوانین و مقررات مرتبط، همراه با توسعه زراعت چوب به‌عنوان راهکاری برای تأمین بخشی از تقاضای بازار است. جنگل‌کاری و زراعت چوب، به‌طور عمده به‌منظور کمک به توده‌های طبیعی و جبران کمبود منابع چوبی، ایجاد فضای سبز، کاهش فشار بهره‌برداری بر عرصه‌های طبیعی و سرمایه‌گذاری اقتصادی انجام می‌گیرد. زراعت چوب از نظر ویژگی‌های مدیریتی، تفاوت‌هایی اساسی با فعالیت‌های زراعی و باغداری دارد. از یک‌سو، به دلیل ماهیت چندساله این فعالیت، امکان لغو یا تغییر تصمیم‌گیری در هر سال امکان‌پذیر نیست، بنابراین از این نظر با مدیریت مزرعه متفاوت است و به باغداری، شباهت بیشتری دارد. از سوی دیگر، برخلاف باغداری که درآمد آن به‌طور مستمر و سالانه حاصل می‌شود، درآمد اصلی زراعت چوب فقط در زمان برداشت درختان تحقق می‌یابد.

یکی از تصمیم‌های راهبردی در زراعت چوب، تعیین زمان بهینه برداشت است که به عواملی مانند نرخ رشد درختان، قیمت چوب، نرخ بهره و هزینه‌های تولید وابسته است. پیش‌بینی دقیق این متغیرها همواره با عدم قطعیت همراه است

طرح زراعت صنوبر با هدف ارتقا بهره‌وری اراضی» با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گرفت. بدین وسیله پژوهشگران، مراتب قدردانی و سپاس خود را از این حمایت ابراز می‌دارند.

تعیین شود. در این نرخ، شکاف بین منافع فردی و اجتماعی به حداقل می‌رسد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرحی با عنوان «ارزیابی اقتصادی

References

- Abedi, T., Maskani, H.R., Abedi, R. and Bakhshandeh, B., 2023. Rotation age of *Populus deltoides* Marshall. based on optimizing net present value of timber and carbon sequestration at the finite series of identical in Guilan. Iranian Journal of Forest, 15(1): 107-124 (In Persian with English summary).
- Adeli, K., Saeedi, S.S., Namdari, S., Mohammadi Samani, K. and Yosefi, B., 2016. Financial maturity of *Populus deltoides* Marsh. (Case study: Shalysheh village, Kurdistan province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(4): 601-611 (In Persian with English summary).
- Adibnezhad, M. and Mohammadi Limaie, S., 2020. Determining the economically optimal harvesting age of loblolly pine (*Pinus taeda*) in Guilan Province. Journal of Environmental Science and Technology, 22(3): 229-239 (In Persian with English summary).
- Ahmadloo, F., Dehghan, R., Salehi, A. and Eskandari, S., 2023. Surveying and study on the biometric variables of poplar plantations in Guilan province. Iranian Journal of Forest, 15(2): 195-210 (In Persian with English summary).
- Bazgir, M., Hydari, M., Zeynali, N. and Kohzadean, M., 2020. Effect of land use change from forest to agriculture and abundance of agriculture on soil physical and chemical properties in Zagros forest ecosystem. Journal of Environmental Science and Technology, 22(1): 201-214 (In Persian with English summary).
- Erickson, J.D., Chapman, D., Fahey, T.J. and Christ, M.J., 1999. Non-renewability in forest rotations: Implications for economic and ecosystem sustainability. Ecological Economics, 31(1): 91-106.
- Fürtnner, D., Perdomo Echenique, E.A., Hörtenhuber, S.J., Schwarzbauer, P. and Hesser, F., 2022. Beyond monetary cost-benefit analyses: combining economic, environmental and social analyses of short rotation coppice poplar production in Slovakia. Forests, 13(2): 349.
- González-Gómez, M., Giráldez, M.S.O. and Álvarez-Díaz, M., 2011. Explaining wood stock increases in times of decreasing profitability: A statistical analysis. Forest Policy and Economics, 13(3): 176-183.
- Haidari, M., Jaafari, A., Calagari, M., Pourhashemi, M. and Yousefi, B., 2023. Overcoming challenges and formulating management strategies for wood farming development in Kurdistan Province, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 31(3): 169-185 (In Persian with English summary).
- Heshmatol Vaezin, S.M., Khezriyan, B., Namiranian, M., Hajjarian, M., Janat Babaii, M. and Shaykhanloo Milan, F., 2020. Determining the economically optimal planting interval, planting pattern and rotation age for high-yielding black poplar (*Populus nigra* L.) clones in West Azerbaijan province, Iran. Iranian Journal of Forest, 12(2): 233-256. (In Persian with English summary).
- Jobidon, R., Cyr, G. and Thiffault, N., 2004. Plant species diversity and composition along an experimental gradient of northern hardwood abundance in *Picea mariana* plantations. Forest Ecology and Management, 198(1-3): 209-221.
- Lee, D., 2006. A generalized approach for analyzing transportation user perception using Fuzzy sets. Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, the Pennsylvania State University, State College, Pennsylvania, USA, 273p.
- Mahdavi, A., 2012. Introduction to Forest Economy (Translation). Ilam University Publications, Ilam, Iran (In Persian).
- Mohammadi Limaie, S., Bahramabadi, Z., Rostami Shahraje, T., Adibnejad, M. and Mousavi Koupar, S.A., 2013. Determination of economically optimal rotation age of (*Populus deltoides*) in Guilan Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(1): 63-75 (In Persian with English summary).
- Mossadegh, A., 2011. Silviculture. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 496p (In Persian).
- Nagaike, T., 2002. Differences in plant species diversity between conifer (*Larix kaempferi*) plantations and broad-leaved (*Quercus crispula*) secondary forests in central Japan. Forest Ecology and Management, 168(1-3): 111-123.

- Negahdar- Saber, M.R., Hamzehpour, M. and Joukar, L., 2005. Survival and growth of 10 broadleaved and needleleaved tree species in Fars Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 13(1): 32-17 (In Persian with English summary).
- Pandey, A., Sinha, P.R. and Dhawan, V.K., 2020. Socio-economic study of poplar (*Populus deltoides*) based agroforestry model in Vaishali district of Bihar. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(1): 1739-1741.
- Petit, B. and Montagnini, F., 2004. Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. Forest Ecology and Management, 199(2-3): 243-257.
- Posavec, S., Beljan, K., Krajter, S. and Peršun, D., 2011. Calculation of economic rotation period for even-aged stand in Croatia. South-east European Forestry, 2(2): 109-113.
- Ranjbar, R., Darabi, S. and Kalantari, H., 2009. Determining the most suitable poplar colony and the length of the optimal exploitation period according to economic principles. Proceedings of the Third National Forest Conference. Karaj, Iran, 12 May 2009: 7p (In Persian).
- Saeed, A., 2015. Fundamentals of Practical Economics in Forest Management. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 342p (In Persian with English summary).
- Saidi, S.S., 2013. Economic analysis of poplar wood production in Kurdistan province. M.Sc. thesis, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran, 158p (In Persian with English summary).
- Schiberna, E., Borovics, A. and Benke, A., 2021. Economic modelling of poplar short rotation coppice plantations in Hungary. Forests, 12(5): 623.
- Tanaka, H., Hayashi, I. and Watada, J., 1989. Possibilistic linear regression analysis for fuzzy data. European Journal of Operational Research, 40(3): 389-396.
- Yen, J. and Langari, R., 1999. Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 548p.
- Yoshimoto, A. and Shoji, I., 1998. Searching for an optimal rotation age for forest stand management under stochastic log prices. European Journal of Operational Research, 105(1): 100-112.