فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۶ شماره ۲، صفحه ۲۶۳– ۲۵۲، (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10022092/ijfpr.2018.116753

توسعه پایدار جنگل‌کاری با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

مریم نیک‌نژاد [۱*]، اصغر فلاح [۲] و سلیمان محمدی لیمائی [۳]

۱*– نویسنده مسئول، دکتری جنگل‌داری، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
پست الکترونیک: maryam612niknejad@yahoo.com
۲– دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳– دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی جنگل‌کاری بر اساس اصول توسعه پایدار در حوضه آبخیز دارابکلا استان مازندران بود. برای این منظور از مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای درنظر گرفتن اهداف چندگانه به‌طور هم‌زمان و همچنین از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌های مؤثر بر جنگل‌کاری با استفاده ازنظر کارشناسان استفاده شد. معیارها و شاخص‌های مورد نظر با توجه به منابع و بر اساس اصول توسعه پایدار تعیین شدند که عبارت بودند از معیارهای اقتصادی، محیط زیستی، تولیدی، حفاظت از تنوع زیستی، سلامت جنگل و وسعت جنگل که شامل شاخص‌های مختلف (ارزش خالص فعلی، موجودی کربن، رویش متوسط سالانه، زی‌توده تنه و رویه زمینی، تنوع قطری، پایداری توده و ارزیابی توان اکولوژیک) بودند. همچنین، گونه‌های پلت، شیردار، ون، گردو، بلندمازو، توسکای ییلاقی و کاج بروسیا که در منطقه مورد مطالعه، جنگل‌کاری شده بودند، برای این پژوهش انتخاب شدند. نتایج حل مدل آرمانی بر اساس معیارهای چندگانه نشان داد که سطح جنگل‌کاری پلت که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی توان اکولوژیک منطقه مورد مطالعه، ۵۹۰/۱۹۷ هکتار پیشنهاد شده بود، به صفر کاهش یافت. مساحت جنگل‌کاری ون با ۱۲۰/۱۷۱۹ هکتار افزایش از ۵۴۷/۰۴۶۸ به ۶۶۷/۲۱۸۷، شیردار با ۴۷۰/۰۲۴۵ هکتار افزایش از ۵۳۵/۹۶۸۵ به ۱۰۰۵/۹۹۳ و بلندمازو با ۸۹/۷۲۴۱ هکتار کاهش از ۴۱۶/۳۰۳۷ به ۳۲۶/۵۷۹۶ رسید. سطح جنگل‌کاری گردو، توسکای ییلاقی و کاج بروسیا بدون هیچ تغییری به‌ترتیب با ۵۳۵/۹۶۵۲، ۳۵۷/۸۱۹۷ و ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار پذیرفته شدند. درمجموع، سطحی معادل ۳۰۹۱/۰۱۵۳ هکتار در منطقه مورد مطالعه برای جنگل‌کاری با توجه به مدل برنامه‌ریزی آرمانی مورد نیاز بود.

واژه‌های کلیدی: اهداف چندگانه، توان اکولوژیک، حوضه آبخیز دارابکلا، شاخص، معیار.

مقدمه

کاهش سطح جنگل‌های طبیعی در نتیجه عامل‌های مختلف سبب اهمیت ویژه جنگل‌کاری با هدف توسعه سطح جنگل و تولید چوب شده است. برنامه‌ریزی جنگل در ابتدا با هدف تأمین چوب انجام می‌شد، اما طی دهه‌های اخیر بنا به ملاحظات اجتماعی و محیط زیستی، بقیه تولیدات و

Archive of SID
www.SID.ir

خدمات جنگل هم بسته به شرایط کشورها اهمیت زیادی یافته است. امروزه برنامه‌ریزی جنگل با نگاه جدی به مفهوم مدیریت پایدار جنگل انجام می شود، به این معنی که منابع و اراضی جنگلی باید طوری مدیریت شوند تا از دید اکولوژیک همیشه زنده و پایدار باشند و بتوانند نیازهای اجتماعی، اقتصادی، اکولوژیک و فرهنگی نسل‌های فعلی و آینده را پاسخ دهند. برای پاسخ‌گویی به این نیازهای متنوع و اغلب متضاد، استفاده از فن‌های علمی و کارا در برنامه‌ریزی جنگل اجتناب‌ناپذیر است تا استمرار خدمات آن‌ها در بلندمدت تضمین شود. مدل‌های ریاضی، مدل‌های شبیه‌سازی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) مهم‌ترین و مفیدترین روش‌ها و ابزار برای دست‌یابی به این مقصود هستند (Chi, 2000). در شرایطی که برای یک مسئله تصمیم‌گیری چندین هدف وجود دارد، ایجاد توازن (Trade-off) بین اهداف متضاد اهمیت پیدا می‌کند. برای این منظور، برای اولین بار، Charnes و Cooper (۱۹۶۱) تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی (Goal Programing) را برای کنترل این نوع شرایط و حل مشکل دست‌یابی هم‌زمان به چندین هدف مانند مدیریت چندمنظوره پیشنهاد کردند. این تکنیک که بر مبنای گسترش برنامه‌ریزی خطی انجام می‌شود، شامل حداقل کردن اختلاف بین راه حل و اهداف است. برنامه‌ریزی آرمانی به‌عنوان یک برنامه برای مدیریت جنگل با اهداف چندگانه معرفی شده است. این نوع برنامه‌ریزی، امکان تعیین راه‌حل‌های هم‌زمان برای یک سیستم چندگانه، ناسازگار و غیرقابل مقایسه را فراهم می‌کند (Hotvedt, 1983).

در پژوهشی، Sedighkouhi (۲۰۱۲) به‌منظور مدیریت پایدار جنگل، امکان استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی برای تعیین مقدار بهینه موجودی سرپای گونه‌های درختی با توجه به مقدار کربن ذخیره‌شده را به‌تفکیک گونه درختی، حداقل تعداد پرسنل و ارزش خالص فعلی بررسی کرد. Amini (۲۰۱۳) رهیافت چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی را در بهینه‌سازی الگوی کشت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی زراعی در شرایط عدم قطعیت معرفی و کاربرد آن را در روستایی در شرق اصفهان بررسی کرد. نتایج نشان‌دهنده بهینه نبودن وضعیت موجود بهره‌برداری از منابع آب و خاک در این منطقه بود. Memarian و همکاران (۲۰۱۴) به تلفیق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی آرمانی وزنی برای بهینه‌سازی کاربری زمین در حوضه آبخیز Langat در ایالت Salangor مالزی پرداختند. آن‌ها بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، چهار جایگزین را برای بهینه‌سازی توسعه زمین معرفی کردند.

جنگل‌کاری در کشور ما در مناطق فاقد پوشش یا جنگل‌های کم‌بازده سال‌هاست که انجام می‌شود، اما این جنگل‌کاری‌ها فقط بر اساس تجربه شخصی بوده است. پژوهش‌هایی که تاکنون در این زمینه انجام شده بیشتر بر اساس ارزیابی توان اکولوژیک مناطق بوده و مطالعاتی نیز در خصوص سن بهره‌برداری اقتصادی جنگل‌کاری‌ها انجام شده است (Adibnejad, 2013; Mohammadi Limaei *et al*., 2013). تاکنون فقط یک پژوهش در ارتباط با اهداف چندمنظوره جنگل‌کاری در کشور توسط Ostad Hashemi (۲۰۱۳) انجام شده که در مطالعه مذکور با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله‌مراتبی و با درنظر گرفتن اهداف اکولوژیکی، اقتصادی و محیط زیستی، مناسب‌ترین ترکیب گونه‌ای با سطوح مشخص برای جنگل‌کاری‌های آستاراچای و لوندویل معرفی شد. در خارج از کشور، Giménez و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور مدیریت پایدار جنگل‌کاری‌ها اکالیپتوس در شمال غرب اسپانیا، یک شیوه مداوم و پایدار مدیریتی را با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی ارایه کردند. Diaz-Balteiro و Romero (۲۰۰۴) و نیز Bilbao-Terol و همکاران (۲۰۱۶) نیز به‌منظور پایداری برنامه‌های مدیریت جنگل، تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی را با درنظر گرفتن اهداف و شاخص‌های مختلف در اسپانیا استفاده کردند.

با توجه به کاهش سطح جنگل‌ها، تغییرات آب‌وهوایی و مسایل اقتصادی و اجتماعی موجود در مناطق جنگلی، لازم است که پژوهش‌های بیشتری در خصوص جنگل‌کاری بهینه با اهداف چندمنظوره انجام شود. از این‌رو، این پژوهش به بررسی توسعه پایدار جنگل‌کاری‌ها با درنظر گرفتن معیارها و شاخص‌های مختلف به‌طور هم‌زمان می‌پردازد و با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، مناسب‌ترین ترکیب گونه‌ای با سطوح

Archive of SID

www.SID.ir

مشخص را معرفی می‌کند، به‌طوری‌که بتوان به تمامی اهداف در یک زمان دست یافت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز دارابکلا واقع در جنوب شرقی شهرستان ساری است. این منطقه با مساحت ۱۳۴۰۹/۵۳ هکتار در محدوده جغرافیایی ″۸ ′۱۱ °۵۳ تا ″۳۳ ′۲۰ °۵۳ طول شرقی و ″۲۷ ′۲۸ °۳۶ تا ″۴۰ ′۳۸ °۳۶ عرض شمالی قرار داشته و با گونه‌های پلت، ون، شیردار، بلندمازو، توسکای ییلاقی، کاج بروسیا و گردو جنگل‌کاری شده است (Anonymous, 2007).

روش پژوهش

ابتدا معیارها و شاخص‌های مورد نظر برای جنگل‌کاری با استفاده از معیارهای مدیریت پایدار جنگل، برگرفته از فرآیند خاور نزدیک، بر اساس اصول توسعه پایدار و با توجه به منابع و به‌صورت مطالعات کتابخانه‌ای، مطابق جدول ۱ تعیین شدند (Fao, 2010; Seyd *et al*., 2014; Goleij *et al*., 2016).

جدول ۱- معیارها و شاخص‌های مورد نظر برای جنگل‌کاری در منطقه مورد مطالعه

معیار توسعه پایدار	شاخص‌های مورد استفاده
وسعت منابع جنگلی	ارزیابی توان اکولوژیک یا وسعت اختصاص‌یافته به هر گونه پس از تهیه نقشه توان اکولوژیک
عملکرد تولیدی منابع جنگلی	رویش متوسط سالانه، زی‌توده تنه، رویه زمینی
عملکردهای حفاظتی- محیط زیستی منابع جنگلی	ترسیب کربن، نقش جنگل در حفاظت خاک، کاهش و کنترل فرسایش و افزایش حاصلخیزی خاک
عملکردهای اقتصادی- اجتماعی	ارزش اقتصادی تولیدات چوبی، خدمات تفریحی تفرجی در جنگل، ایجاد اشتغال در نواحی روستایی و جنگلی
سلامتی و زنده‌مانی جنگل	ضریب قدکشیدگی

در گام بعد به ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه برای جنگل‌کاری پرداخته شد. برای این منظور نقشه‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی، مناطق بدون کاربری، تیپ پوشش‌گیاهی و تراکم پوشش گیاهی از اداره کل منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد و در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 رقومی و طبقه‌بندی شد. مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و لایه‌های شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا از آن تهیه شد. پس از تهیه نقشه‌ها، با توجه به نیاز اکولوژیکی گونه‌های مورد نظر، نقشه‌ها طبقه‌بندی شدند (Gezer, 1986; Palham Abbasi, 2009; Ostad Hashemi, 2013). نقشه تیپ خاک نیز بر اساس ویژگی خاک منطقه برای کاربری جنگل‌کاری به پنج طبقه، طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد، با استفاده از لایه‌های شیب، جهت، ارتفاع و خاک منطقه، نقشه مناطق مناسب برای جنگل‌کاری با هر گونه به‌صورت مجزا تهیه شد. سپس، به‌منظور تعیین مناطق مناسب جنگل‌کاری در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های مناطق بدون کاربری، تراکم و تیپ پوشش گیاهی و شیب منطقه با هم ادغام شده و با استفاده از تابع جستجوگر SQL، مناطقی که دارای کمترین تراکم پوشش گیاهی بودند یا اراضی که در نقشه مناطق بدون کاربری، بدون پوشش گیاهی (زمین‌های خالی) بودند یا مناطقی که

Archive of SID

www.SID.ir

در نقشه تیپ پوشش گیاهی پیشتر جنگل‌کاری شده بودند و یا جزء زمین‌های خالی موجود در جنگل بودند، به‌شرطی که تمامی مناطق فوق دارای شیب‌های کمتر از ۷۵ درصد باشند (Makhdoum, 2012)، مشخص شدند. در مرحله بعد، نقشه مناطق مناسب برای کاشت هر گونه در محدوده مناطق مناسب جنگل‌کاری در منطقه تهیه شد و مساحت این مناطق (وسعت اختصاص‌یافته به هر گونه) نیز به‌دست آمد.

به‌منظور محاسبه مقدار جذب کربن به ازای هر هکتار جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف، ابتدا توده‌های مورد نظر شناسایی و مشخصات آن‌ها ثبت شد. سپس با استفاده از GPS توده‌ها مساحی و سعی شد که توده‌های انتخاب‌شده از هر گونه، از نظر سنی (۱۵ تا ۲۰ سال) و فاصله کاشت (۲×۲ متر) مشابه باشند. در این منطقه از روش نمونه‌برداری منظم- تصادفی استفاده شد. در هر قطعه‌نمونه، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان اندازه‌گیری شد. سپس، رویه زمینی و حجم هر درخت محاسبه و در فرم آماربرداری ثبت شد. برای محاسبه زی‌توده تنه درخت بر حسب کیلوگرم، ابتدا حجم تنه درختان بر حسب متر مکعب به‌دست آمد و سپس با استفاده از جرم حجمی به وزن تبدیل شد. زی‌توده اجزای دیگر درختان شامل شاخه‌ها و برگ‌ها یا تاج درختان با استفاده از معادلات آلومتریک ذکر شده در پژوهش‌های مختلف (Parker *et al*., 1975; Yuste *et al*., 2005; Wang, 2006; De-Miguel *et al*., 2014; Daryaei & Sohrabi, 2016) برآورد شد. سپس، زی‌توده کل روی زمینی از مجموع زی‌توده تنه و تاج محاسبه شد. درنهایت، کربن موجود در زی‌توده کل که معادل ۵۰ درصد وزن خشک اجزای درخت درنظر گرفته شد، برآورد شد (Ostad Hashemi, 2013).

در مرحله بعد، برای محاسبه ارزش خالص فعلی به ازای هر هکتار جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف، ابتدا داده‌های قیمت چوب در کنار جاده جنگلی و هزینه‌های متغیر بهره‌برداری (هزینه قطع، تبدیل و حمل و نقل تا کنار جاده‌های جنگلی) برای یک دوره مشخص به‌دست آمد و از تفاضل این دو، قیمت چوب سرپا محاسبه شد. سپس، از شاخص قیمتی مصرف‌کننده (CPI) که توسط بانک مرکزی تعیین می‌شود، برای حذف تورم استفاده شد (CBI, 2016). در ادامه، با استفاده از رابطه ۱ قیمت خالص واقعی چوب (P) محاسبه شد.

$$P = \frac{P_n}{CPI_n} \times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق: P_n قیمت خالص چوب سرپا و CPI_n شاخص مصرف‌کننده در سال nام است.

محاسبه میانگین قیمت مورد انتظار با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ برای هر گونه تعیین شد (Mohammadi Limaei, 2006).

$$P_{(t+1)} = \alpha + \beta P_t + £ \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$P_{eq} = \frac{\alpha}{1-\beta} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن‌ها: P_{eq} میانگین قیمت مورد انتظار، P_t قیمت خالص واقعی در سال t و P_{t+1} قیمت خالص واقعی در سال t+۱ و آلفا (α) و بتا (β) ارزش پارامترهای مدل رگرسیونی هستند که پس از برآورد رگرسیون، مقدار آن‌ها محاسبه شد.

برای محاسبه نرخ واقعی سود بانکی، تورم سال ۱۳۹۴ از نرخ سپرده‌گذاری و نیز از نرخ تسهیلات همان سال کم شد و متوسط این دو به‌عنوان نرخ سود بانکی واقعی درنظر گرفته شد (CBI, 2016). با تقسیم قطر هدف بر رویش قطری متوسط، سن بهینه بهره‌برداری محاسبه شد. رویش متوسط حجمی ($\overline{iv}$) مطابق رابطه ۴ و ارزش خالص فعلی مطابق رابطه ۵ محاسبه شد. در دو رابطه مذکور، P_{eq} میانگین قیمت مورد انتظار، g رویش متوسط حجمی، i نرخ واقعی سود بانکی و t سن بهینه بهره‌برداری اقتصادی است (Mohammadi Limaei, 2006).

$$\overline{iv} = \frac{\text{موجودی سرپا}}{\text{سن}} \qquad \text{رابطه (۴)}$$

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه (۵) $$NPV = \frac{P_{eq} \times \bar{g} \times t}{(1+i)^t - 1}$$

مقدار رویه زمینی از رابطه ۶ به‌دست آمد. مقدار زی‌توده تنه با توجه به مطالب ذکرشده در قسمت‌های پیشین، رویش متوسط سالانه مطابق با رابطه ۵ و ضریب پایداری توده (F_m) مطابق رابطه ۷ محاسبه شد.

رابطه (۶) $$G = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times n_i$$

رابطه (۷) $$F_m = \frac{\bar{h}}{\bar{d}} \times 100$$

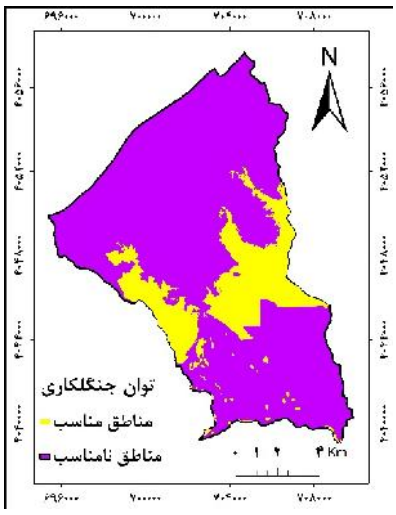
که در آن‌ها: $\bar{h}$ ارتفاع متوسط به متر و $\bar{d}$ متوسط قطر برابر سینه به سانتی‌متر است.

به‌منظور تعیین نیروی انسانی مورد نیاز برای جنگل‌کاری، با مراجعه به دو نهالستان چل‌مردی نکاچوب و ونمک بخش یک نکاچوب و داده‌های به‌دست‌آمده از صورت‌جلسه سازمان جنگل‌ها، عملیات مختلف جنگل‌کاری و مراقبتی به‌تفکیک آیتم و درنهایت مجموع تعداد روزهای کاری یک کارگر برای هر هکتار مشخص شد. به‌منظور وزن دهی به عامل‌های مؤثر (معیارها و شاخص‌ها) برای جنگل‌کاری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. برای این منظور، پرسش‌نامه‌ای شامل تمام معیارهای مؤثر برای جنگل‌کاری با گونه‌های مورد بررسی، تنظیم شد و اهمیت نسبی مشخصه‌ها توسط کارشناسان مربوط مقایسه شد. درنهایت، مدل برنامه‌ریزی آرمانی با استفاده از نرم‌افزار LINGO14 حل و نتایج آن تحلیل شد.

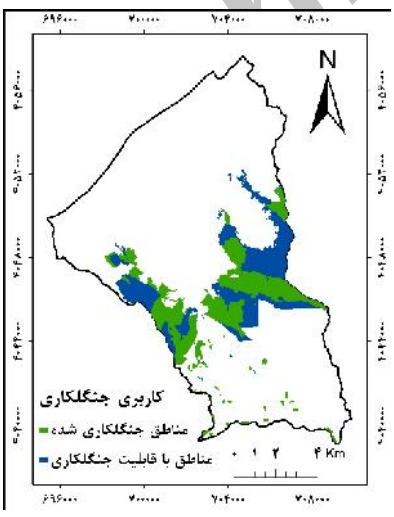
نتایج

به‌منظور تعیین مناطق مناسب جنگل‌کاری (شکل ۱) در منطقه، نقشه‌های مناطق بدون کاربری، تراکم و تیپ پوشش گیاهی و شیب با یکدیگر ادغام شد. شکل ۲ نقشه کاربری جنگل‌کاری را نشان می‌دهد که در آن، مناطق جنگل‌کاری‌شده و مناطق با قابلیت جنگل‌کاری را می‌توان مشاهده کرد.

نتایج به‌دست آمده از محاسبه موجودی کربن در جدول ۲ و ارزش خالص فعلی به ازای هر هکتار جنگل‌کاری در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۱- نقشه توان جنگل‌کاری



شکل ۲- نقشه کاربری جنگل‌کاری

www.SID.ir

جدول ۲- موجودی کربن گونه‌های مختلف مورد مطالعه

گونه	میانگین حجم (متر مکعب/ هکتار)	جرم حجمی	وزن تنه (کیلوگرم/ هکتار)	وزن تاج (کیلوگرم/ هکتار)	زی‌توده کل روی زمینی (کیلوگرم/ هکتار)	موجودی کربن (تن/ هکتار)
پلت	۹۹/۲۵	۴۸۰	۴۷۶۴۰	۲۷۲۳۶	۷۴۸۷۶	۳۷/۴۳۸
توسکای ییلاقی	۱۲۰/۱	۴۱۰	۴۹۲۴۱	۲۳۰۲۰	۷۲۲۶۱	۳۶/۱۳۰
بلندمازو	۱۰۸/۸	۶۴۰	۶۹۶۳۲	۴۲۹۱۰	۱۱۲۵۴۲	۵۶/۲۷۱
گردو	۸۵/۵	۵۳۰	۴۵۳۱۵	۲۳۶۷۵/۳۲	۶۸۹۹۰/۳۲	۳۴/۴۹۵
کاج بروسیا	۱۱۵/۸۵	۴۳۰	۴۹۸۱۵/۵	۱۷۵۰۰	۶۷۳۱۵/۵	۳۳/۶۵۸
شیردار	۱۲۰/۵	۴۸۰	۵۷۸۴۰	۲۳۱۳۹/۰۱	۸۰۹۷۹/۰۱	۴۰/۴۸۹
ون	۹۲	۵۹۰	۵۴۲۸۰	۱۸۷۸۲	۷۳۰۶۲	۳۶/۵۳۱

جدول ۳- محاسبه ارزش خالص فعلی چوب به‌ازای هر هکتار جنگل‌کاری

گونه	رویش حجمی متوسط سالانه (متر مکعب/ هکتار)	میانگین قیمت مورد انتظار (ده هزار ریال)	سن بهره‌برداری (سال)	ارزش خالص فعلی چوب هر هکتار جنگل‌کاری (ده هزار ریال)
پلت	۶/۶	۲۲۳/۰۲	۶۴	۱۱۸۲/۹۳
ون	۶/۱	۲۲۹/۳۸	۵۴	۱۹۰۷/۵۵
شیردار	۸	۲۲۳/۰۲	۳۴	۶۵۲۲/۶۵
بلندمازو	۵/۴	۱۳۰/۱۸۳	۶۶	۵۰۷/۱۲
گردو	۵/۷	۲۲۹/۳۸	۲۵	۷۱۷۴/۹۳
توسکای ییلاقی	۶	۱۸۲/۲۲۸	۵۸	۱۲۰۹/۵۱
کاج بروسیا	۵/۸	۱۰۴/۴۳	۳۱	۲۵۴۲/۷۲

نتایج به‌دست آمده از نیروی انسانی مورد نیاز، تولید و سلامتی و زنده‌مانی جنگل به ازای هر هکتار جنگل‌کاری در جدول ۴ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- نتایج به‌دست آمده از نیروی انسانی مورد نیاز، تولید، سلامت و زنده‌مانی جنگل به ازای هر هکتار جنگل‌کاری با گونه‌های مورد نظر

گونه	تعداد روزهای کاری یک کارگر در طول پنج سال	رویه زمینی (متر مربع/ هکتار)	زی‌توده تنه (کیلوگرم/ هکتار)	رویش متوسط سالانه (متر مکعب/ هکتار)	ضریب قدکشیدگی
پلت	۱۷۹	۱/۲۸	۴۷۶۴۰	۶/۶	۷۶/۴۵
توسکای ییلاقی	۱۷۹	۱/۵۵	۴۹۲۴۱	۶	۷۶/۱۰
بلندمازو	۱۷۹	۱/۲۳	۶۹۶۳۲	۵/۴	۶۰/۰۸
گردو	۱۵۰	۰/۹۰	۴۵۳۱۵	۵/۷	۶۸/۴۲
کاج بروسیا	۱۶۳	۱/۳	۴۹۸۱۵/۵	۵/۸	۷۲/۶۷
شیردار	۱۷۹	۱/۵	۵۷۸۴۰	۸	۷۶/۸۶
ون	۱۷۹	۱/۲۶	۵۴۲۸۰	۶/۱	۷۶/۳۶

این پژوهش به تعیین سطح جنگل‌کاری بهینه پرداخت که می‌توان مدل برنامه‌ریزی آرمانی را به‌صورت زیر بیان کرد:

محدودیت‌ها:

x1+x2+x3+d1n-d1p+d2n-d2p+d3n-d3p=1673.212

x4+d4n-d4p=535.9652

x5+d5n-d5p=416.3037

x6+d6n-d6p=357.8197

x7+d7n-d7p=197.4391

بر اساس برآورد مدل (رابطه ۸)، مجموع مساحت جنگل‌کاری پلت، ون و شیردار ۱۶۳۷/۲۱۲ هکتار به‌دست آمد. مساحت جنگل‌کاری گردو، بلندمازو، توسکای ییلاقی و کاج بروسیا نیز به‌ترتیب ۵۳۵/۹۶۵۲، ۴۱۶/۳۰۳۷، ۳۵۷/۸۱۹۷ و ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار بود.

$$0.063X_1+0.067X_2+0.75X_3+0.064X_4+0.135X_5+0.101X_6+0.170X_7+d_8^- - d_8^+=275.012$$
$$2.004X_1+3.487X_2+12.170X_3+13.387X_4+1.218X_5+3.380X_6+12.878X_7+d_9^- - d_9^+=21396.96$$
$$0.303\ X_1+0.327X_2+0.334X_3+0.280X_4+430X_5+0.500X_6+0.825X_7+d_{10}^- - d_{10}^+=1208$$
$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+d_{11}^- - d_{11}^+=3180.74$$
$$0.011X_1+0.011X_2+0.015X_3+0.011X_4+0.013X_5+0.017X_6+0.029X_7+d_{12}^- - d_{12}^+=43.60$$
$$80.719X_1+99.224X_2+107.917X_3+84.548X_4+167.262X_5+137.614X_6+252.308X_7+d_{13}^- - d_{13}^+=373763.5$$
$$0.002\ X_1+0.002X_2+0.003X_3+0.002X_4+0.003X_5+0.004X_6+0.006X_7+d_{14}^- - d_{14}^+=9.02$$
$$0.129X_1+0.139X_2+0.143X_3+0.128X_4+0.144X_5+0.213X_6+0.368X_7+d_{15}^- + d_{15}^+=506.94$$
$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, d_{1\cdots15}^+, d_{1\cdots15}^- \geq 0$$ رابطه (۸)

پس از محاسبه وزن‌ها بر اساس نظرات کارشناسان، مدل‌سازی تابع هدف به‌صورت رابطه ۹ تعریف شد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\text{Min} \quad Z = 0{\cdot}191\, d_1^+ + 0{\cdot}1275\, d_2^+ + 0{\cdot}1022\, d_3^+ + 0{\cdot}121\, d_4^+ + 0{\cdot}2311\, d_5^+ + 0{\cdot}1837\, d_6^+ + 0{\cdot}0434\, d_7^+ + 0{\cdot}08883\, d_8^- + 0{\cdot}0174\, d_9^- + 0{\cdot}0922\, d_{10}^- + 0{\cdot}0771\, d_{11}^+ + 0{\cdot}0502\, d_{12}^- + 0{\cdot}0627\, d_{13}^- + 0{\cdot}0125\, d_{14}^- + 0{\cdot}1697\, d_{15}^+$$

رابطه (۹)

منظور از X1، X_2، X_3، X_4، X_5، X_6 و X_7 به‌ترتیب سطح جنگل‌کاری با پلت، ون، شیردار، گردو، بلندمازو، توسکای ییلاقی و کاج بروسیا است. همچنین، d^+, d^- انحرافات مثبت و منفی از هدف و W وزن‌های انحرافات هستند.

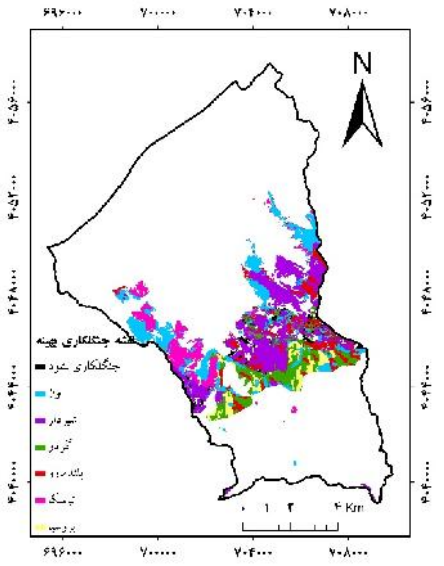
ضرایب معادلات کربن، ارزش خالص فعلی، نیروی کار و سایر شاخص‌ها از تقسیم مقدار کربن ذخیره‌شده در هکتار هر گونه، مقدار ارزش خالص فعلی در هکتار هر گونه، تعداد نیروی کار لازم در هکتار هر گونه و سایر شاخص‌ها بر مساحت پیش‌بینی‌شده با قابلیت جنگل‌کاری برای هر گونه محاسبه شدند.

نتایج به‌دست آمده از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار LINGO

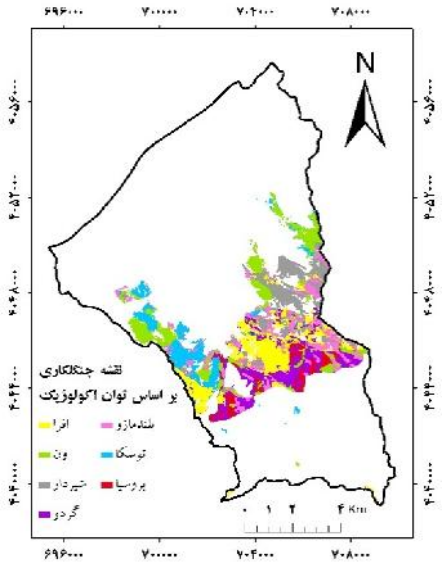
نتیجه حل مدل در نرم‌افزار LINGO نشان داد که با توجه به محدودیت‌های مدل، مساحت جنگل‌کاری پلت با ۵۹۰/۱۹۷ هکتار کاهش به صفر، ون با ۱۲۰/۱۷۱۹ هکتار افزایش از ۵۴۷/۰۴۶۸ به ۶۶۷/۲۱۸۷، شیردار با ۴۷۰/۰۲۴۵ هکتار افزایش از ۵۳۵/۹۶۸۵ به ۱۰۰۵/۹۹۳، بلندمازو با ۸۹/۷۲۴۱ هکتار کاهش از ۴۱۶/۳۰۳۷ به ۳۲۶/۵۷۹۶ رسید و گردو، توسکای ییلاقی و کاج بروسیا بدون هیچ‌تغییری به‌ترتیب با مقادیر ۵۳۵/۹۶۵۲، ۳۵۷/۸۱۹۷، ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار پذیرفته شدند. بر اساس این نتایج، در مجموع سطحی معادل ۳۰۹۱/۰۱۵۳ هکتار باید جنگل‌کاری شود.

نقشه جنگل‌کاری بهینه

نقشه جنگل‌کاری بهینه (شکل ۳)، مساحت مناسب برای جنگل‌کاری با هر گونه بر اساس اهداف چندگانه و مدل برنامه‌ریزی آرمانی را نشان می‌دهد. همچنین، نقشه جنگل‌کاری بر اساس توان اکولوژیک (شکل ۴) نشان‌دهنده مساحت مناسب برای جنگل‌کاری با هر گونه فقط بر اساس توان اکولوژیک است.



شکل ۳- نقشه جنگل‌کاری بهینه



شکل ۴- نقشه جنگل‌کاری بر اساس توان اکولوژیک

Archive of SID

www.SID.ir

بحث

نتایج ارزیابی توان اکولوژیک منطقه با استفاده از مدل اکولوژیکی مخدوم نشان داد که حدود ۳۱۸۰/۷۴ هکتار از منطقه قابلیت جنگل‌کاری دارد و پلت، ون و شیردار به‌ترتیب با ۵۹۰/۱۹۷، ۵۴۷/۰۴۶۸ و ۵۳۵/۹۶۸۵ هکتار مساحت، بیشترین سازگاری را با منطقه مورد مطالعه دارند. پس از آن، مساحت قابل جنگل‌کاری برای گردو، بلندمازو، توسکای ییلاقی و کاج بروسیا به‌ترتیب ۵۳۵/۹۶۵۲، ۴۱۶/۳۰۳۷، ۳۵۷/۸۱۹۷ و ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار به‌دست آمد. بررسی موجودی کربن به ازای هر هکتار جنگل‌کاری نشان داد که بلندمازو با ۵۶/۲۷۱ تن بیشترین موجودی کربن در هکتار را داشت. پس از آن به‌ترتیب شیردار، پلت، ون، توسکای ییلاقی، کاج بروسیا و گردو قرار داشتند. متوسط رویش حجمی بلندمازو ۵/۴۴ متر مکعب در هکتار بود و موجودی کربن آن ۵۶/۲۷۱ تن در هکتار به‌دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده این است که با وجود متوسط رویش حجمی کم این گونه، از قابلیت ذخیره کربن قابل توجهی برخوردار است. این امر می‌تواند ناشی از چگالی بیشتر چوب بلندمازو نسبت به گونه‌های دیگر باشد.

نتایج اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی نشان داد که بلندمازو، پلت و توسکای ییلاقی در اولویت اول تا سوم جای گرفتند. برتری این گونه‌ها را می‌توان به این صورت توجیه کرد که این گونه‌ها بومی منطقه بوده و با شرایط حاکم بر منطقه در طولانی‌مدت سازگار شده‌اند. این یافته‌ها با نتایج Alvaninejad (۲۰۱۰) که در انتخاب گونه‌های جنگلی بر اساس توان اکولوژیک در جنگل‌های زاگرس بیان کرد که گونه‌های بومی منطقه در اولویت هستند، هم‌خوانی دارد.

نتایج به‌دست آمده از ارزش خالص فعلی چوب به ازای هر هکتار جنگل‌کاری نشان داد که گردو با ۷۱۷۴/۹۳ ده هزار ریال در هکتار بیشترین مقدار را داشت و پس از آن به‌ترتیب شیردار، کاج بروسیا، ون، توسکای ییلاقی، پلت و بلندمازو قرار داشتند. نتایج مربوط به تولید به ازای هر هکتار جنگل‌کاری با گونه‌های مورد نظر حاکی از آن بود که از نظر شاخص رویه زمینی ، توسکای ییلاقی و شیردار به‌ترتیب با ۱/۵ و ۱/۵۵ متر مربع در هکتار، بیشترین و گردو کمترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند. این نتایج با یافته‌های Zabihi و همکاران (۲۰۰۷) در چمستان مازندران که بیان کردند رویه زمینی گردو از گونه‌های جنگل‌کاری‌شده دیگر کمتر است، مطابقت دارد. برای شاخص زی‌توده تنه، بلندمازو با ۶۹۶۳۲ کیلوگرم در هکتار، بیشترین و گردو با ۴۵۳۱۵ کیلوگرم در هکتار، کمترین مقدار را داشتند. بیشترین و کمترین رویش متوسط سالانه به‌ترتیب متعلق به شیردار با هشت متر مکعب در هکتار و بلندمازو با ۵/۴ متر مکعب در هکتار بود. بر اساس بررسی Gorji Bahri و همکاران (۲۰۰۹)، پس از سه بار عملیات تنک کردن در توده دست‌کاشت توسکای ییلاقی با فاصله کاشت ۲×۲ متر در منطقه نوشهر، متوسط حجم در هکتار توده از ۱۶۳/۷ متر مکعب به ۲۹۷/۲ متر مکعب افزایش یافت. بنابراین، می‌توان گفت که عدم انجام عملیات پرورشی به‌ویژه تنک کردن یکی از دلایل اصلی کم بودن رویش سالانه گونه‌ها بود. نتایج بررسی ضریب قدکشیدگی در گونه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده این بود که همه گونه‌ها از شرایط پایداری برخوردار بودند (ضریب قدکشیدگی کمتر از ۸۰)، اما بلندمازو با ۶۰/۰۸ و پس از آن، گردو با ۶۸/۴۲، کمترین ضریب قدکشیدگی را به‌خود اختصاص دادند. در مطالعه Zabihi و همکاران (۲۰۰۷)، بلندمازو و گردو نسبت به گونه‌های کاشته‌شده دیگر، ضریب قدکشیدگی مناسب‌تری داشتند.

نتایج مربوط به نیروی انسانی مورد نیاز به ازای هر هکتار جنگل‌کاری نشان‌دهنده آن بود که از نظر تعداد روز کاری برای هر کارگر، بین گونه‌های مختلف اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود نداشت. فقط بروسیا به‌دلیل اینکه معمولاً نهال‌های آن به‌صورت گلدانی بوده و ریشه کوچک‌تری دارند و گردو به این علت که با فاصله بیشتری کاشته می‌شود، به تعداد روز کاری کمتر و در نتیجه نیروی انسانی

Archive of SID

www.SID.ir

کمتری نیازمند بودند. این نتایج با یافته‌های Mohammadi و Mohammadi Limaei (۲۰۱۴) هم‌خوانی دارد. از نظر نقش گونه‌ها در حفاظت خاک، کاهش و کنترل فرسایش و افزایش حاصلخیزی خاک مطابق نظر کارشناسان، بلندمازو مناسب‌تر بود و پس از آن توسکای ییلاقی و پلت قرار گرفتند. همچنین، کاج بروسیا نامناسب‌ترین گونه معرفی شد. این نتایج با یافته‌های Samadzadeh و همکاران (۲۰۱۷) که در مطالعه خود در شهرستان نور بیان کردند که بلندمازو و پلت با افزایش حاصلخیزی خاک نقش بیشتری در حفاظت خاک دارند، هم‌خوانی دارد. از نظر خدمات تفریحی تفرجی در جنگل، مطابق نظر کارشناسان، شیردار مناسب‌تر بود و پس از آن، ون و پلت قرار گرفتند.

درنهایت، نتایج به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای دست‌یابی به جواب مطلوب نشان داد که شیردار با ۱۰۰۵/۹۹۳ هکتار بیشترین مساحت را به‌خود اختصاص داد و پس از آن به‌ترتیب ون، گردو، توسکای ییلاقی، بلندمازو، کاج بروسیا و پلت به‌ترتیب با ۶۶۷/۲۱۸۷، ۵۳۵/۹۶۵۲، ۳۵۷/۸۱۹۷، ۳۲۶/۵۷۹۶، ۱۹۷/۴۳۹۱ و صفر هکتار قرار گرفتند. با توجه به اینکه پلت، ون و شیردار نیازهای اکولوژیک به‌نسبت مشابهی دارند و با توجه به اینکه پلت سود خالص فعلی کمی را به‌خود اختصاص داد و دو گونه شیردار و ون از نظر موجودی کربن و سود خالص فعلی و همچنین اهداف دیگر در مجموع از شرایط به‌نسبت بهتری در مقایسه با پلت برخوردار بودند، بنابراین مدل برنامه‌ریزی آرمانی، مساحت مربوط به پلت را صفر در نظر گرفت و در عوض، مساحت مربوط به این گونه را به شیردار و ون اختصاص داد، به‌طوری‌که مساحت مورد نظر برای این دو گونه افزایش یافتند. همچنین، مساحت بلندمازو ۸۹/۷۲۴۱ هکتار کاهش یافت و مساحت گونه‌های دیگر بدون تغییر باقی ماندند.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی با نتایج به‌دست آمده از مدل اکولوژیکی دکتر مخدوم می‌توان گفت که با استفاده از مدل تلفیقی، مساحت‌های پیشنهادی برای کاشت گونه‌های مختلف، منطقی‌تر به‌نظر می‌رسند، زیرا مدل مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو، مساحت گونه‌هایی مانند پلت که ارزش خالص فعلی کمتری نسبت به گونه‌های دیگر داشت را صفر درنظر گرفت و یا مساحت بلندمازو که کمترین ارزش خالص فعلی و کمترین رویش متوسط سالانه را داشت، کاهش داد. همچنین، این مدل حداکثر مساحت قابل کشت را به گونه‌هایی مانند شیردار با تولید کربن در هکتار زیاد، ارزش خالص فعلی و رویه زمینی بیشتر و بیشترین رویش متوسط سالانه اختصاص داد. این نتایج با یافته‌های Samghabadi و همکاران (۲۰۰۴)، Ostad Hashemi (۲۰۱۳)، Diaz-Balteiro و Romero (۲۰۰۴) هم‌خوانی دارند.

References

- Adibnejad, M., 2013. Determination of economically optimal rotation age of *Pinus taeda* in Guilan Province. M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, 58p (In Persian).
- Alvaninejad, S., 2010. Study of progeny testing scheme and the annual use of oak trees in natural forests of Zagros. Research Project, Yasouj University, Yasouj, 72p (In Persian).
- Amini, A., 2013. Planning and optimal allocation of agricultural production resources under uncertainty; application of multi-objective fuzzy goal programming approach. Geography and Environmental Planning Journal, 51(3): 107-128 (In Persian).
- Anonymous, 2007. Forest Management Plan, Darabkola Watershed, District no. 2. Department of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran Province, Sari, Iran 128p (In Persian).
- Bilbao-Terol, A., Jiménez, M. and Arenas-Parra, M., 2016. A group decision making model based on goal programming with fuzzy hierarchy: an application to regional forest planning. Annals of Operations Research, 245(1-2): 137-162.
- CBI (Central Bank of Iran), 2016. Index of prices for goods and services consumed in urban areas of Iran. Tehran, www.cbi.ir (In Persian).
- Charnes, A. and Cooper, W.W., 1961. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. John Wiley and Sons, New York, 467p.
- Chi, H., 2000. Computer simulation models for sustainability. International Journal of Sustainability in Higher Education, 1(2): 154-167.
- Daryaei, A. and Sohrabi, H., 2016. Additive biomass equations for small diameter trees of temperate

Archive of SID

www.SID.ir

Ph.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, 21p.
- Mohammadi Limaei, S., Seddigh Kouhi, M. and Rostami Sharaji, T., 2013. Goal programming approach for sustainable forest management (case study in Iranian Caspian forests). Journal of Forestry Research, 25(2): 429-435.
- Ostad Hashemi, M., 2013. Application of math techniques in scaffolding development. Ph.D. thesis, University of Guilan, Rasht, 145p (In Persian).
- Palham Abbasi, A., Khajeddin, S.J. and Khademi, H., 2009. Determination of potential habitats of three Mediterranean and industrial Arbor species at forest in Armand watershed, Chaharmahal Bakhtiari province, using GIS and RS techniques. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 16(1): 15-31 (In Persian).
- Parker, G.R. and Schneider, G., 1975. Biomass and productivity of an alder swamp in northern Michigan. Canadian Journal of Forest Research, 5(3): 403-409.
- Samadzadeh, B., Kooch, Y. and Hosseini, S.M., 2017. The effect of tree covers on topsoil biological indices in a plain forest ecosystem. Journal of Water and Soil Conservation, 23(5): 105-121 (In Persian).
- Samghabadi, A.S., Memariani, A. and Amani, M., 2004. Forest planning use of mathematical model. Pajouhesh & Sazandegi, 17(2): 23-34.
- Sedighkouhi, M., 2012. Application of goal programing in sustainable forest management (Case study: Series 11 of Shafa Rud watershed). M.Sc. thesis, University of Guilan, Sowmeh Sara, 94p (In Persian).
- Seyd, S.Z., Moayeri, M.H. and Mohammadi, J., 2014. Introducing the criteria and indicators of measuring stand structure in sustainable forest management. Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources, 2(2): 25-38 (In Persian).
- Wang, C., 2006. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. Forest Ecology and Management, 222(1-3): 9-16.
- Yuste, J.C., Konôpka, B. Janssens, I.A., Coenen, K., Xiao, C.W. and Ceulemans, R., 2005. Contrasting net primary productivity and carbon distribution between neighboring stands of *Quercus robur* and *Pinus sylvestris*. Tree Physiology, 25: 701-712.
- Zabihi, K., Spahbodi, K. and Mostafanezhad, S.R., 2007. Quantitative and qualitative characteristics of oak, nettle tree and walnut experimental plantations of Chamestan (Mazandaran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(2): 123-133 (In Persian).

mixed deciduous forests. Scandinavian Journal of Forest Research, 31(4): 394-398.
- De-Miguel, S., Pukkala, T., Assaf, N. and Shater, Z., 2014. Intra-specific differences in allometric equations for aboveground biomass of eastern Mediterranean *Pinus brutia*. Annals of Forest Science, 71(1): 101-112.
- Diaz-Balteiro, L. and Romero, C., 2004. Sustainability of forest management plans: a discrete goal programming approach. Journal of Environmental Management, 71(24): 351-359.
- FAO. 2010. Planted Forests in Sustainable Forest Management. A Statement of Principles. Rome, 16p.
- Gezer, A. 1986. The silviculture of *Pinus brutia* in Turkey. Options Méditerranéennes, Série Etudes, 86(1): 55-66.
- Giménez, J.C., Bertomeu, M., Diaz-Balteiro, L. and Romero, C., 2013. Optimal harvest scheduling in *Eucalyptus* plantations under a sustainability perspective. Forest Ecology and Management, 291: 367-376.
- Goleij, A., Hasanzad Navroodi, E. and Mohammadi Limaei, S., 2016. Determining the criteria and indicators for sustainable forest management (Case study: Nav-e Asalem, Guilan province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(1): 176-187 (In Persian).
- Gorji Bahri, Y., Faraji, R., Kiadaliri, S., Abbassi, E. and Gharib, B., 2009. The effect of thinning on growth and wood production of Caucasian alder (*Alnus subcordata*) plantation in Nowshahr region. Iranian Journal of Forest, 1(1): 43-55 (In Persian).
- Hotvedt, J.E., 1983. Application of linear goal programming to forest harvest scheduling. Southern Journal of Agricltural Economics, 15(1): 103-108.
- Makhdoum, M., 2012. Fundamental of Land Use Planning. 13th Edition, University of Tehran Press, Tehran, 289p (In Persian).
- Memarian, H., Balasundram, S.K., Abbaspour, K.C., Talib, J.B., Teh Boon Sung, C., and Mohd Sood, A., 2014. Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale. Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 38: 139-158.
- Mohammadi, Z. and Mohammadi Limaei, S., 2014. Estimation of wood price of forest species in Guilan province using time series analysis. Journal of Forest Sustainable Development, 1(4): 297-308 (In Persian).
- Mohammadi Limaei, S., 2006. Economically optimal values and decisions in Iranian forest management.

Archive of SID

www.SID.ir

Sustainable development of reforestation using goal programing and fuzzy- AHP

M. Niknejad [1*], A. Fallah [2] and S. Mohammadi Limaei [3]

1*- Corresponding author, Ph.D. Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Iran. E-mail: maryam612niknejad@yahoo.com
2- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Iran

Received: 19.03.2018 Accepted: 29.05.2018

Abstract

The purpose of this study was to investigate reforestation projects based on the principles of sustainable development in the Darabkola watershed in Mazandaran province. Therefore, a goal programming model was used for the consideration of multiple goals. A fuzzy hierarchical process was used to compute the weights of different criteria. The criteria and indicators were determined according to principles of the sustainable development, including those related to economy, environment, production, biodiversity conservation, forest health, and forest cover (e.g., various indicators such as net present value, carbon balance, annual increment of diameter, stem biomass, basal area, diameter variation, mass stability, and ecological productivity). The tree species comprised *Acer velutinum*, *A. cappadocicum*, *Fraxinus excelsior*, *Juglans regia*, *Quercus castaneifolia*, *Alnus subcordata* and *Pinus brutia*. The results of goal programming model showed that the areas of afforestation with different species were changed compared to the ecological capability assessments. The results showed a zero ha potential for maple, which was initially defined 590.197 ha based on the assessment of ecological potential. In addition, the results revealed 120.17 ha increase (547 vs. 667.21) for *F. excelsior*, 470.02 ha increase (535.96 vs. 1005.99) for *A. cappadocicum* and 89.72 ha reduce (416.30 vs. 326.57) for *Quercus castaneifolia*. The reforested area was unchanged for the other species such as *J. regia*, *A. subcordata* and *P. brutia*. Therefore, a total area of 3091.01 ha was suggested for the afforestation according to the results of goal programming model.

Keywords: Criterion, ecological potential, Darabkola watershed, index, multiple purposes.

Archive of SID

www.SID.ir