

توسعه پایدار جنگل کاری با استفاده از برنامه ریزی آرمانی و تحلیل سلسله مراتبی فازی

مریم نیک نژاد^{۱*}، اصغر فلاح^۲ و سلیمان محمدی لیمائی^۳

*^۱ - نویسنده مسئول، دکتری جنگل داری، 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 جنگل داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران

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

چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی جنگل کاری بر اساس اصول توسعه پایدار در حوضه آبخیز دارابکلا استان مازندران بود. برای این منظور از مدل برنامه ریزی آرمانی برای در نظر گرفتن اهداف چندگانه به طور هم زمان و همچنین از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای وزن دهی به معیارها و شاخص های مؤثر بر جنگل کاری با استفاده از نظر کارشناسان استفاده شد. معیارها و شاخص های 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 شاخص های مختلف (ارزش خالص فعلی، موجودی کربن، رویش متوسط سالانه، زی توده تنه و رویه زمینی، تنوع قطری، پایداری توده و ارزیابی توان اکولوژیک) بودند. همچنین، گونه های پلت، شیردار، ون، گردو، بلندمازو، توسکای بیلاقی و کاج بروسیا که در منطقه مورد مطالعه، جنگل کاری شده بودند، برای این پژوهش انتخاب شدند. نتایج حل مدل آرمانی بر اساس معیارهای چندگانه نشان داد که سطح جنگل کاری پلت که بر اساس نتایج به دست آمده از ارزیابی توان اکولوژیک منطقه مورد مطالعه، ۵۹۰/۱۹۷ هکتار پیشنهاد شده بود، به صفر کاهش یافت. مساحت جنگل کاری 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 جنگل کاری گردو، توسکای بیلاقی و کاج بروسیا بدون هیچ تغییری به ترتیب با ۵۳۵/۹۶۵۲، ۳۵۷/۸۱۹۷ و ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار پذیرفته شدند. در مجموع، سطحی معادل ۳۰۹۱/۰۱۵۳ هکتار در منطقه مورد مطالعه برای جنگل کاری با توجه به مدل برنامه ریزی آرمانی مورد نیاز بود.

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

مقدمه

جنگل و تولید چوب شده است. برنامه ریزی جنگل در ابتدا با هدف تأمین چوب انجام می شد، اما طی دهه های اخیر بنا به ملاحظات اجتماعی و محیط زیستی، بقیه تولیدات و

کاهش سطح جنگل های طبیعی در نتیجه عامل های مختلف سبب اهمیت ویژه جنگل کاری با هدف توسعه سطح

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 Limaiei 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 در نظر 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 ارائه کردند. Diaz-Balteiro و Romero (۲۰۰۴) و نیز Bilbao-Terol و همکاران (۲۰۱۶) نیز به‌منظور پایداری برنامه‌های مدیریت جنگل، تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی را با در نظر 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 در نظر گرفتن معیارها و شاخص‌های مختلف به‌طور هم‌زمان می‌پردازد و با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، مناسب‌ترین ترکیب گونه‌ای با سطوح

خدمات جنگل هم بسته به شرایط کشورها اهمیت زیادی یافته است. امروزه برنامه‌ریزی جنگل با نگاه جدی به مفهوم مدیریت پایدار جنگل انجام می‌شود، 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 Programming) 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

شیردار، بلندمازو، توسکای بیلاقی، کاج بروسیا و گردو جنگل کاری شده است (Anonymous, 2007).

مشخص را معرفی می کند، به طوری که بتوان به تمامی اهداف در یک زمان دست یافت.

مواد و روش ها

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 گونه های پلت، ون،

روش پژوهش

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

جدول ۱- معیارها و شاخص های مورد نظر برای جنگل کاری در منطقه مورد مطالعه

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

(2013). نقشه تیپ خاک نیز بر اساس ویژگی خاک منطقه برای کاربری جنگل کاری به پنج طبقه، طبقه بندی شد. در مرحله بعد، با استفاده از لایه های شیب، جهت، ارتفاع و خاک منطقه، نقشه مناطق مناسب برای جنگل کاری با هر گونه به صورت مجزا تهیه شد. سپس، به منظور تعیین مناطق مناسب جنگل کاری در منطقه مورد مطالعه، نقشه های 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 (زمین های خالی) بودند یا مناطقی که

در گام بعد به ارزیابی توان اکولوژیک منطقه برای جنگل کاری پرداخته شد. برای این منظور نقشه های توپوگرافی، خاک شناسی، مناطق بدون کاربری، تیپ پوشش گیاهی و تراکم پوشش گیاهی از اداره کل منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد و در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3 رقومی و طبقه بندی شد. مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و لایه های شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا از آن تهیه شد. پس از تهیه نقشه ها، با توجه به نیاز اکولوژیک گونه های مورد نظر، نقشه ها طبقه بندی شدند (Gezer, 1986; Palham Abbasi, 2009; Ostad Hashemi,

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.

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

در رابطه فوق: P_n قیمت خالص چوب سرپا و CPI_n شاخص مصرف‌کننده در سال n ام است. محاسبه میانگین قیمت مورد انتظار با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ برای هر گونه تعیین شد (Mohammadi Limaiei, 2006).

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

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

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 $t+1$ و α () و 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 به عنوان نرخ سود بانکی واقعی در نظر گرفته شد (CBI, 2016). با تقسیم قطر هدف بر رویش قطری متوسط، سن بهینه بهره‌برداری محاسبه شد. رویش متوسط حجمی (\bar{V}) مطابق رابطه ۴ و ارزش خالص فعلی مطابق رابطه ۵ محاسبه شد. در دو رابطه مذکور، P_{eq} میانگین قیمت مورد انتظار، \bar{V} رویش متوسط حجمی، i نرخ واقعی سود بانکی و t سن بهینه بهره‌برداری اقتصادی است (Mohammadi Limaiei, 2006).

$$\bar{V} = \frac{\text{موجودی سرپا}}{\text{سن}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در نقشه تیپ پوشش گیاهی پیشتر جنگل‌کاری شده بودند و یا جزء زمین‌های خالی موجود در جنگل بودند، به شرطی 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 اختصاص یافته به هر گونه) نیز به دست آمد.

به منظور 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 انتخاب شده از هر گونه، از نظر سنی (۱۵ تا ۲۰ سال) و فاصله کاشت (2×2 متر) مشابه باشند. در این منطقه از روش نمونه‌برداری منظم-تصادفی استفاده شد. در هر قطعه نمونه، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان اندازه‌گیری شد. سپس، رویه زمینی و حجم هر درخت محاسبه و در فرم آماربرداری ثبت شد. برای محاسبه زی توده تنه درخت بر حسب کیلوگرم، ابتدا حجم تنه درختان بر حسب متر مکعب به دست آمد و سپس با استفاده از جرم حجمی به وزن تبدیل شد. زی توده 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، زی توده کل روی زمینی از مجموع زی توده تنه و تاج محاسبه شد. در نهایت، کربن موجود در زی توده کل که معادل ۵۰ درصد وزن خشک اجزای درخت در نظر گرفته شد، برآورد شد (Ostad Hashemi, 2013).

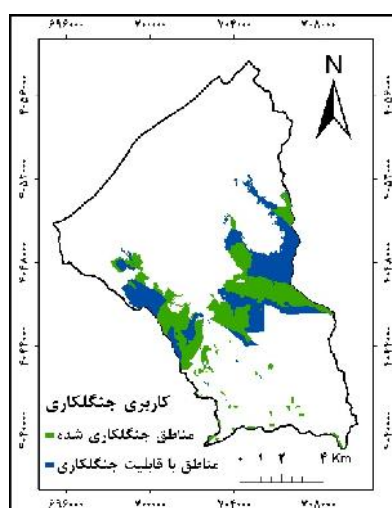
در مرحله بعد، برای محاسبه ارزش خالص فعلی به ازای هر هکتار جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف، ابتدا داده‌های قیمت چوب در کنار جاده جنگلی و هزینه‌های متغیر بهره‌برداری (هزینه قطع، تبدیل و حمل و نقل تا کنار جاده‌های جنگلی) برای یک دوره مشخص به دست آمد و از

کاری یک کارگر برای هر هکتار مشخص شد. به منظور وزن دهی به عامل‌های مؤثر (معیارها و شاخص‌ها) برای جنگل کاری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد. برای این منظور، پرسش‌نامه‌ای شامل تمام معیارهای مؤثر برای جنگل کاری با گونه‌های مورد بررسی، تنظیم شد و اهمیت نسبی مشخصه‌ها توسط کارشناسان مربوط مقایسه شد. در نهایت، مدل برنامه‌ریزی آرمانی با استفاده از نرم‌افزار LINGO14 حل و نتایج آن تحلیل شد.

نتایج

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

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



شکل ۲- نقشه کاربری جنگل کاری

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

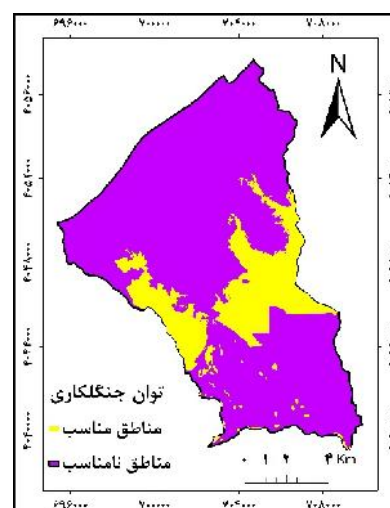
مقدار رویه زمینی از رابطه ۶ به دست آمد. مقدار زی توده تنه با توجه به مطالب ذکر شده در قسمت‌های پیشین، رویش متوسط سالانه مطابق با رابطه ۵ و ضریب پایداری توده (F_m) مطابق رابطه ۷ محاسبه شد.

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

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

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

به منظور تعیین نیروی انسانی مورد نیاز برای جنگل کاری، با مراجعه به دو نهالستان چل‌مردی نکاچوب و نمک بخش یک نکاچوب و داده‌های به دست آمده از صورت جلسه سازمان جنگل‌ها، عملیات مختلف جنگل کاری و مراقبتی به تفکیک آیت‌م و در نهایت مجموع تعداد روزهای



شکل ۱- نقشه توان جنگل کاری

جدول ۲- موجودی کربن گونه‌های مختلف مورد مطالعه

گونه	میانگین حجم (متر مکعب/ هکتار)	جرم حجمی	وزن تنه (کیلوگرم/ هکتار)	وزن تاج (کیلوگرم/ هکتار)	زی توده کل روی زمینی (کیلوگرم/ هکتار)	موجودی کربن (تن/ هکتار)
پلت	۹۹/۲۵	۴۸۰	۴۷۶۴۰	۲۷۲۳۶	۷۴۸۷۶	۳۷/۴۳۸
توسکای بیلاقی	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 جنگل کاری

گونه	رویش حجمی متوسط سالانه (متر مکعب/ هکتار)	میانگین قیمت مورد انتظار (ده هزار ریال)	سن بهره‌برداری (سال)	ارزش خالص فعلی چوب هر هکتار جنگل کاری (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 بیلاقی	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 به‌ازای هر هکتار جنگل کاری در جدول ۴ ارائه شده است.

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

گونه	تعداد روزهای کاری یک کارگر در طول پنج سال	رویه زمینی (متر مربع / هکتار)	زی توده تنه (کیلوگرم / هکتار)	رویش متوسط سالانه (متر مکعب / هکتار)	ضریب قد کشیدگی
پلت	۱۷۹	۱/۲۸	۴۷۶۴۰	۶/۶	۷۶/۴۵
توسکای بیلاقی	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 جنگل کاری بهینه پرداخت که می توان مدل برنامه ریزی آرمانی را به صورت زیر بیان کرد:

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

$$x4+d4n-d4p=535.9652$$

$$x5+d5n-d5p=416.3037$$

محدودیت‌ها:

$$x6+d6n-d6p=357.8197$$

$$x7+d7n-d7p=197.4391$$

و کاج بروسیا نیز به ترتیب ۵۳۵/۹۶۵۲، ۴۱۶/۳۰۳۷، ۳۵۷/۸۱۹۷ و ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار بود.

بر اساس برآورد مدل (رابطه ۸)، مجموع مساحت جنگل کاری پلت، ون و شیردار ۱۶۳۷/۲۱۲ هکتار به دست آمد. مساحت جنگل کاری گردو، بلندمازو، توسکای بیلاقی

$$0.063X_1+0.067X_2+0.75X_3+0.064X_4+0.135X_5+0.101X_6+0.170X_7+d_8^- - d_8^+=275.012$$

$$2.004X_1+3.487X_2+12.170X_3+13.387X_4+1.218X_5+3.380X_6+12.878X_7+d_9^- - d_9^+=21396.96$$

$$0.303 X_1+0.327X_2+0.334X_3+0.280X_4+430X_5+0.500X_6+0.825X_7+d_{10}^- - d_{10}^+=1208$$

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+d_{11}^- - d_{11}^+=3180.74$$

$$0.011X_1+0.011X_2+0.015X_3+0.011X_4+0.013X_5+0.017X_6+0.029X_7+d_{12}^- - d_{12}^+=43.60$$

$$80.719X_1+99.224X_2+107.917X_3+84.548X_4+167.262X_5+137.614X_6+252.308X_7+d_{13}^- - d_{13}^+=373763.5$$

$$0.002 X_1+0.002X_2+0.003X_3+0.002X_4+0.003 X_5+0.004X_6+0.006X_7+d_{14}^- - d_{14}^+=9.02$$

$$0.129X_1+0.139X_2+0.143X_3+0.128X_4+0.144X_5+0.213X_6+0.368X_7+d_{15}^- + d_{15}^+=506.94$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, d_{1...15}^+, d_{1...15}^- \geq 0$$

رابطه (۸)

مدل سازی تابع هدف به صورت رابطه ۹ تعریف شد:

پس از محاسبه وزن‌ها بر اساس نظرات کارشناسان،

$$\text{Min } Z = 0.191 d_1^+ + 0.1275 d_2^+ + 0.1022 d_3^+ + 0.121 d_4^+ + 0.2311 d_5^+ + 0.1837 d_6^+ + 0.0434 d_7^+ + 0.08883 d_8^- + 0.0174 d_9^- + 0.0922 d_{10}^- + 0.0771 d_{11}^+ + 0.0502 d_{12}^- + 0.0627 d_{13}^- + 0.0125 d_{14}^- + 0.1697 d_{15}^+$$

رابطه (۹)

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 بیلاقی و کاج بروسیا بدون هیچ تغییری به ترتیب با مقادیر ۵۳۵/۹۶۵۲، ۳۵۷/۸۱۹۷، ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار پذیرفته شدند. بر اساس این نتایج، در مجموع سطحی معادل ۳۰۹۱/۰۱۵۳ هکتار باید جنگل کاری شود.

نقشه جنگل کاری بهینه

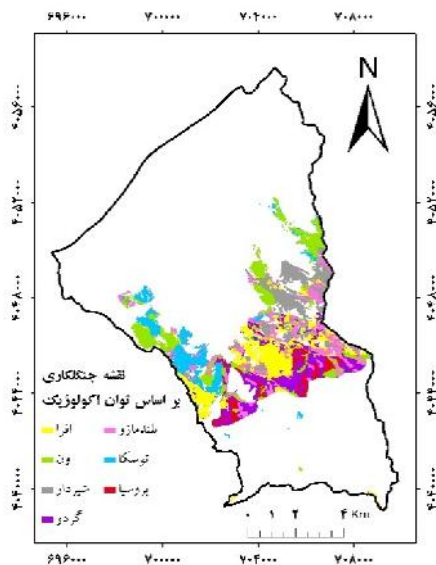
نقشه جنگل کاری بهینه (شکل ۳)، مساحت مناسب برای جنگل کاری با هر گونه بر اساس اهداف چندگانه و مدل برنامه ریزی آرمانی را نشان می‌دهد. همچنین، نقشه جنگل کاری بر اساس توان اکولوژیک (شکل ۴) نشان‌دهنده مساحت مناسب برای جنگل کاری با هر گونه فقط بر اساس توان اکولوژیک است.

منظور از $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ و X_7 به ترتیب سطح جنگل کاری با پلت، ون، شیردار، گردو، بلندمازو، توسکای بیلاقی 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 ذخیره شده 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 پیش‌بینی شده با قابلیت جنگل کاری برای هر گونه محاسبه شدند.

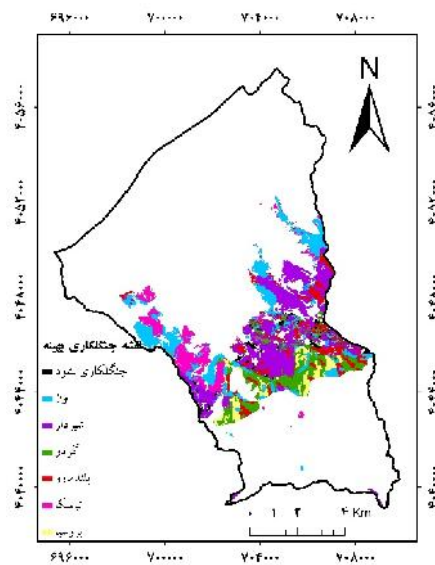
نتایج به دست آمده از حل مدل با استفاده از نرم افزار

LINGO

نتیجه حل مدل در نرم افزار LINGO نشان داد که با توجه به محدودیت‌های مدل، مساحت جنگل کاری پلت با ۵۹۰/۱۹۷ هکتار کاهش به صفر، ون با ۱۲۰/۱۷۱۹ هکتار



شکل ۴- نقشه جنگل کاری بر اساس توان اکولوژیک



شکل ۳- نقشه جنگل کاری بهینه

بحث

نتایج ارزیابی توان اکولوژیک منطقه با استفاده از مدل اکولوژیکی مخدوم نشان داد که حدود ۳۱۸۰/۷۴ هکتار از منطقه قابلیت جنگل کاری دارد و پلت، ون و شیردار به ترتیب با ۵۹۰/۱۹۷، ۵۴۷/۰۴۶۸ و ۵۳۵/۹۶۸۵ هکتار مساحت، بیشترین سازگاری را با منطقه مورد مطالعه دارند. پس از آن، مساحت قابل جنگل کاری برای گردو، بلندمازو، توسکای بیلاقی و کاج بروسیا به ترتیب ۵۳۵/۹۶۵۲، ۴۱۶/۳۰۳۷، ۳۵۷/۸۱۹۷ و ۱۹۷/۴۳۹۱ هکتار به دست آمد. بررسی موجودی کربن به ازای هر هکتار جنگل کاری نشان داد که بلندمازو با ۵۶/۲۷۱ تن بیشترین موجودی کربن در هکتار را داشت. پس از آن به ترتیب شیردار، پلت، ون، توسکای بیلاقی، 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 به دست آمد. این نتایج نشان دهنده این است که با وجود متوسط رویش حجمی کم این گونه، از قابلیت ذخیره کربن قابل توجهی برخوردار است. این امر می تواند ناشی از چگالی بیشتر چوب بلندمازو نسبت به گونه های دیگر باشد.

نتایج اولویت بندی گزینه ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان داد که بلندمازو، پلت و توسکای بیلاقی در اولویت اول تا سوم جای گرفتند. برتری این گونه ها را می توان به این صورت توجیه کرد که این گونه ها بومی منطقه بوده و با شرایط حاکم بر منطقه در طولانی مدت سازگار شده اند. این یافته ها با نتایج Alvaninejad (۲۰۱۰) که در انتخاب گونه های جنگلی بر اساس توان اکولوژیک در جنگل های زاگرس بیان کرد که گونه های بومی منطقه در اولویت هستند، هم خوانی دارد.

نتایج به دست آمده از ارزش خالص فعلی چوب به ازای هر هکتار جنگل کاری نشان داد که گردو با ۷۱۷۴/۹۳ ده هزار ریال در هکتار بیشترین مقدار را داشت و پس از آن به ترتیب شیردار، کاج بروسیا، ون، توسکای بیلاقی، پلت و بلندمازو قرار داشتند. نتایج مربوط به تولید به ازای هر

هکتار جنگل کاری با گونه های مورد نظر حاکی از آن بود که از نظر شاخص رویه زمینی، توسکای بیلاقی و شیردار به ترتیب با ۱/۵ و ۱/۵۵ متر مربع در هکتار، بیشترین و گردو کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. این نتایج با یافته های Zabihی و همکاران (۲۰۰۷) در چمستان مازندران که بیان کردند رویه زمینی گردو از گونه های جنگل کاری شده دیگر کمتر است، مطابقت دارد. برای شاخص زی توده 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 به ترتیب 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 دست کاشت توسکای بیلاقی 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، می توان گفت که عدم انجام عملیات پرورشی به ویژه تنک کردن یکی از دلایل اصلی کم بودن رویش سالانه گونه ها بود. نتایج بررسی ضریب قد کشیدگی در گونه های مورد مطالعه نشان دهنده این بود که همه گونه ها از شرایط پایداری برخوردار بودند (ضریب قد کشیدگی کمتر از ۸۰)، اما بلندمازو با ۶۰/۰۸ و پس از آن، گردو با ۶۸/۴۲، کمترین ضریب قد کشیدگی را به خود اختصاص دادند. در مطالعه Zabihی و همکاران (۲۰۰۷)، بلندمازو و گردو نسبت به گونه های کاشته شده دیگر، ضریب قد کشیدگی مناسب تری داشتند.

نتایج مربوط به نیروی انسانی مورد نیاز به ازای هر هکتار جنگل کاری نشان دهنده آن بود که از نظر تعداد روز کاری برای هر کارگر، بین گونه های مختلف اختلاف قابل ملاحظه ای وجود نداشت. فقط بروسیا به دلیل اینکه معمولاً نهال های آن به صورت گلدانی بوده و ریشه کوچک تری دارند و گردو به این علت که با فاصله بیشتری کاشته می شود، به تعداد روز کاری کمتر و در نتیجه نیروی انسانی

می‌رسند، زیرا مدل مورد استفاده در پژوهش پیش‌رو، مساحت گونه‌هایی مانند پلت که ارزش خالص فعلی کمتری نسبت به گونه‌های دیگر داشت را صفر در نظر 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)، Romero و Diaz-Balteiro (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

کمتری نیازمند بودند. این نتایج با یافته‌های Mohammadi Limaei و 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 بیلاقی 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.

در نهایت، 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 بیلاقی، 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

- Ph.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, 21p.
- Mohammadi Limaiei, 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 programming 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 Limaiei, 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 Agricultural 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 Limaiei, 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 Limaiei, S., 2006. Economically optimal values and decisions in Iranian forest management.

Sustainable development of reforestation using goal programming and fuzzy- AHP

M. Niknejad^{1*}, A. Fallah² and S. Mohammadi Limaei³

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.