



دانشگاه گورزی و منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵
<http://jwfst.gau.ac.ir>

یک الگوریتم ابتکاری برای مکان‌یابی اقتصادی‌ترین دپوی فرآورده‌های چوبی جنگل (مطالعه موردی: سری شیواده حوضه کجور)

اسماعیل قجر^۱، * اکبر نجفی^۲، پژمان ایمانی^۳، سروش امیدوار^۴ و کیومرث محمدی سمانی^۵
^۱استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ^۲دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ^۳دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ^۴کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ^۵عضو هیئت علمی گروه جنگلداری دانشگاه کردستان و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی، دانشگاه کردستان، بانه، ایران
تاریخ دریافت: ۹۰/۰۴/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: یکی از رویکردهای نوین در پژوهش‌های طراحی شبکه جاده جنگلی و شبکه ریز بافت یافتن پایانه‌های مناسب در سطح واحدهای بهره‌برداری و پس از آن طراحی و پیاده‌سازی شبکه جاده‌ای است که به‌طور بهینه پایانه‌ها را به هم پیوند دهد. در پژوهش حاضر محاسبات بر اساس فواصل اقلیدسی هر نقطه در درون پارسل یا دپوی کانیدیا، موجودی در هکتار هر نقطه و همچنین میانگین شیب کلیه نقاط درون پارسل تا دپوی کانیدیا انجام شده است. هدف از به‌کارگیری این روش، پیدا کردن بهترین نقطه برای دپو از نظر اقتصادی معرفی می‌نماید.

مواد و روش‌ها: هر واحد بهره‌برداری در این روش به‌صورت یک مسئله شبکه فرموله می‌شود که در آن هر سلول به‌عنوان نقطه ورودی چوب در شبکه دارای دو ویژگی ارتفاع و موجودی در هکتار باشد. نقاط خروجی چوب در این شبکه همان نقاط احتمالی برای دپو می‌باشند که تنها بر اساس عامل شیب عرضی دامنه، توسط طراح انتخاب شده‌اند. هر نقطه ورودی چوب به‌وسیله یک یال مستقیم به نقطه کانیدیا متصل شد. طبق معیار در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر، اقتصادی‌ترین مکان برای دپوی

*مسئول مکاتبه: a.najafi@modares.ac.ir

فرآورده‌های چوبی نقطه‌ای است که بیشترین حجم موجودی درون پارسل را در کمترین فاصله و کمترین شیب متوسط در دسترس قرار دهد. الگوریتم ابتکاری دو پارامتر را برای هر دپوی کاندیدا محاسبه نمود: ۱) درجه جذابیت به‌عنوان تابعی از تعداد نقاط زیر پوشش مستقیم، موجودی در هکتار نقاط و فاصله‌شان تا دپوی کاندیدا، و ۲) میانگین شیب طولی یال‌های متصل به دپو. در نتیجه یک دپو با حداقل هزینه چوبکشی و شیب طولی انتخاب شد. در این برنامه واحد بهره‌برداری، یک پارسل و جهت رو به بالا یا رو به پایین چوبکشی نیز به‌طور جداگانه برای هر دپو در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها: برنامه حاضر در پارسل ۴۲۳ سری ۴ شیوا دره در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس و برای چهار نقطه کاندیدا برای دپو به‌عنوان نمونه پیاده شده است. نتایج نشان داد که از بین نقاط مذکور، نقطه «ب» با درجه جذابیت ۵۵۸۵/۷۹ و میانگین شیب ۱۰/۴۱ درصد به‌عنوان اقتصادی‌ترین نقطه برای دپوی فرآورده‌های چوبی در پارسل مورد مطالعه برگزیده شد.

نتیجه‌گیری: برنامه حاضر می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مفید در پیشنهاد مکان‌های اقتصادی دپو به‌عنوان نقاط اجباری مثبت در یک پارسل، مورد استفاده در طراحی خودکار جاده جنگلی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دپو، مسیریابی خودکار، چوبکشی زمینی، الگوریتم، ابتکاری

مقدمه

در جنگل‌های شمال ایران، مکان‌یابی نقاط مناسب برای دپوی چوب آلات به‌طور معمول، پس از طراحی شبکه جاده انجام می‌شود. ملاحظات آنکه در این باره در نظر گرفته می‌شوند، رعایت یک فاصله معین در طول جاده احداث شده و هم‌چنین مساحت پارسل‌های مجاور می‌باشند که این رویکرد، با محدودیت‌هایی از قبیل پرشیب بودن منطقه و نبود مساحت مناسب با شیب کم در کنار جاده مواجه است ضمن آنکه دپوی انتخابی در چنین حالتی لزوماً متضمن در دسترس قرار دادن موجودی پارسل در کم‌ترین فاصله تا دپو نیست. این مشکل پیامد طراحی زود هنگام جاده پیش از تعیین موقعیت دپو، یا به بیان بهتر انتخاب موقعیت دپوی چوب آلات پس از طراحی جاده است. در صورتی که رویکرد عکس یعنی انتخاب اقتصادی‌ترین نقطه دپو در یک پارسل یا یک واحد بهره‌برداری و طراحی شبکه

جاده پس از آن، بر اساس این نقاط عبور اجباری مثبت می‌تواند در صورت طراحی هوشمندانه نتایج مطلوب‌تری را به دنبال داشته باشد.

یک شبکه جاده ایده‌آل نه تنها باید نقاط عبور اجباری را به هم پیوند دهد، بلکه باید دپوهای مناسب چوب و یا زیرساخت‌های دیگر مدیریت جنگل را نیز در دسترس قرار دهد. نقاط با اولویت بالاتر بایستی به‌طور مستقیم در دسترس قرار گیرند در حالی که مناطق با اولویت کم‌تر می‌توانند با فاصله بیش‌تری در دسترس قرار گیرند. امروزه روش‌های خودکار طراحی شبکه مبتنی بر این مسئله است که موقعیت مکانی مجموعه نقاطی که باید به هم مرتبط شوند از پیش مشخص است، ضمن این‌که دسترسی اضافی از چند جهت و با مسیرهای مختلف به این نقاط عبور اجباری نیاز نیست. در واقع مسئله طراحی شبکه جاده در این روش‌ها به‌صورت یک گراف ریاضی (G) تعریف می‌شود که تکنیک بهینه‌سازی مورد استفاده، به دنبال زیر مجموعه‌ای (G') از گراف حاضر است که تمام نقاط اجباری را با حداقل وزن (w) به هم پیوند دهد. شناسایی نقاط اجباری مثبت (از جمله دپوی چوب‌آلات)، پیش از طراحی و احداث جاده یک مسئله بسیار پیچیده و چالش برانگیز است. به‌علاوه، سیستم‌های مختلف بهره‌برداری و شرایط متفاوت فیزیوگرافی و رویشگاهی و نبود پارسل‌بندی و تقسیمات مرسوم در چنین حالتی بر این پیچیدگی می‌افزایند. موقعیت‌یابی مکان‌های دپو روی کارایی گروه بهره‌برداری، میزان تولید ساعتی ماشین‌آلات چوبکش و در نتیجه هزینه سیستم در حمل‌ونقل اولیه تأثیر مستقیم می‌گذارد. در ارتباط با مطالعه زمان‌سنجی ماشین‌آلات چوبکشی پژوهش‌های متعددی در ایران و جهان انجام شده است (۱۰ و ۱۳ و ۱۵ و ۱۶). نتایج این مطالعات راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری در اختصاص ماشین‌های مختلف در برداشتگاه‌های با شرایط فیزیوگرافی و رویشگاهی متفاوت می‌باشد (۹). اهمیت مدل زمانی یک نوبت چوبکشی و هزینه سیستم که محققین در مطالعات ذکر شده بدان رسیده‌اند آن است که اگر در مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی موقعیت دپو و مسیرهای چوبکشی، محاسبات مربوطه بخواند بر اساس یک واقعیت از هزینه‌های سیستم بهره‌برداری انجام شود، نیاز به این مطالعات می‌باشد. آنچه که در ارتباط با جهت چوبکشی برای مکان‌یابی اقتصادی‌ترین دپوی چوب‌آلات اهمیت دارد آن است که به‌دلیل آن‌که مدل زمانی هر ماشین در چوبکشی رو به بالا و رو به پایین متفاوت است، زمان یک نوبت چوبکشی نیز با فرض ثابت ماندن بقیه عوامل نیز متفاوت خواهد بود که به نوبه خود روی تولید ساعتی در جهت‌های چوبکشی مذکور اثر خواهد گذاشت. بنابراین نقطه‌ای برای انتخاب دپو مناسب خواهد بود که مجموع زمان چوبکشی

رو به بالا و رو به پایین مربوط به آن در حداقل قرار گیرد. مطالعه پیراوقار و همکاران (۲۰۰۷)، به دلیل آنکه دو جهت چوبکشی رو به بالا و رو به پایین در یک منطقه انجام شده بود مبنای ارزش‌گذاری نقاط ورودی چوب و تفاوت چوبکشی رو به بالا و رو به پایین در چارچوب برنامه حاضر قرار گرفت (۱۶).

روش‌های خودکار زیادی برای کمک به جنگل‌بانان برای برنامه‌ریزی بهره‌برداری، پیش از این ارائه شده است. دایکسترا (۱۹۷۶) و دایکسترا و ریگز (۱۹۷۷) روشی را برای برنامه‌ریزی مکان برداشت و اختصاص تجهیزات به واحدهای مختلف بهره‌برداری بر اساس تئوری مکان‌یابی امکانات معرفی نمودند (۵ و ۶). الگوریتم شبکه‌ء ابتکاری سشنز (۱۹۸۵) به‌منظور طراحی حمل و نقل در جنگل به‌کار گرفته شد (۱۸). چونگ و سشنز (۲۰۰۰) از روش‌های فرا ابتکاری مانند شبیه‌سازی تبرید برای بهینه‌سازی مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر در حمل‌ونقل چوب استفاده نمودند (۱). برنامه PLANS که توسط سرویس جنگل USDA طراحی شد به‌منظور طرح همزمان شبکه جاده و طرح بهره‌برداری جنگل روی نقشه‌های بزرگ مقیاس ارائه شد (۲۱). برنامه PLANEX (اپستین و همکاران، ۱۹۹۹؛ اپستین و همکاران، ۲۰۰۱) قادر بود یک طرح نزدیک به بهینه از مکان‌یابی تجهیزات و شبکه جاده را بر اساس یک الگوریتم ابتکاری ارائه نماید (۷ و ۸). اما چونگ و همکاران (۲۰۰۳) تصریح کرده‌اند که هیچکدام از پژوهش‌های فوق ابزار تحلیلی که بتواند به‌طور کامل مقطع عرضی زمین و تغییرات آن را تجزیه و تحلیل نماید در اختیار نمی‌گذارند (۲). روش ارائه شده توسط چونگ و همکاران (۲۰۰۳) و همچنین برنامه CPLAN (چونگ و همکاران، ۲۰۰۴)، به‌طور همزمان دو مسئله طرح شبکه جاده و مکان‌یابی تجهیزات در سیستم کابلی را به کمک یک الگوریتم ابتکاری و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهینه نمود بدین ترتیب که هزینه کلیه مسیرهای شدنی کابل برای هر دپو محاسبه و در کنار هزینه ساخت جاده بهینه شد (۳). گریولیک (۱۹۹۱) جستجو برای دپوی بهینه را در قالب مسئله مکان‌یابی تجهیزات (کوپر، ۱۹۶۳)، با کمینه‌سازی فواصل اقلیدسی مستقیم میان یک مرکز تجهیزات و چندین نقطه تقاضا برای خدمات حل نمود (۱۱). وی هم‌چنین در پژوهش اخیر خود (گریولیک، ۲۰۱۲) مدلی را ارائه نمود که می‌تواند دو دپوی بهینه را با همان ویژگی‌های پیشین مسئله از قبیل مسطح فرض کردن واحد بهره‌برداری (که از نقاط ضعف این مطالعه به حساب می‌آید) با شکل نامنظم پیدا کند (۱۲). اشتاکلبرگر و همکاران (۲۰۰۶) راه حلی را برای بهینه‌سازی همزمان هزینه ساخت جاده، انتخاب دپوی مناسب و حداقل‌سازی تخریب زیستگاه گونه‌های کمیاب جانوری با استفاده از مسئله درخت پوشای مینیمم و در قالب یک مسئله چند هدفه ارائه دادند (۲۰). در پژوهش مذکور الگوریتمی برای

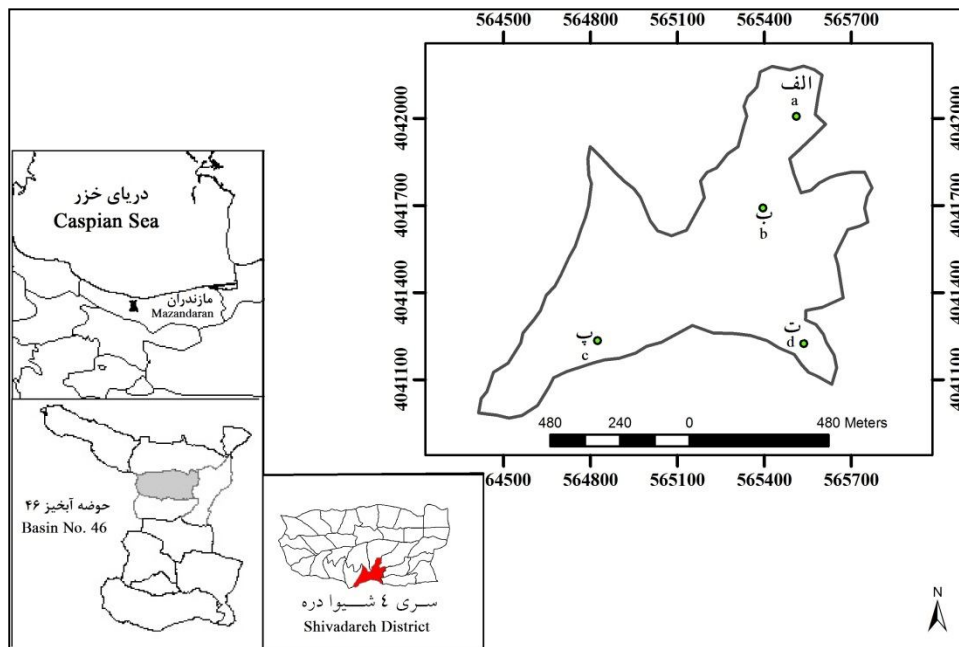
محاسبه درجه جذابیت هر نقطه برای دپو در سیستم کابلی معرفی شده است که مساحت قابل بهره‌برداری از طریق هر دپو یا هر نقطه کاندیدا را محاسبه و نقطه‌ای که بالاترین ارزش را به دست آورد به‌عنوان دپو انتخاب نمود. فیلیپارت و همکاران (۲۰۱۲) از مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح باینری برای پیدا کردن بهترین نقاط دپو استفاده کردند. نتایج مطالعه ایشان حاکی از برتری مدل تولید شده از نقطه نظر هزینه‌های حمل‌ونقل اولیه نسبت به طراحی دستی دپوها در منطقه مورد مطالعه بود (۱۷).

سامانه اطلاعات جغرافیایی گرچه ابزارهای ساده‌ای را برای تجزیه و تحلیل فضایی در اختیار می‌گذارد، اما مسئله بهینه‌سازی و حداقل ساختن هزینه‌های تولید در حمل‌ونقل اولیه چوب هنوز نیازمند استفاده از فرآیندهای قابل پیاده‌سازی در یک برنامه رایانه‌ای است تا عمل محاسبه پارامترهای موردنظر در واحد بهره‌برداری جنگل را به‌طور مطلوب برای مدیریت جنگل انجام دهد. اما از طرف دیگر سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار کمکی و کلید اصلی برای فراهم‌سازی و تولید داده‌های قابل اعتماد برای هر برنامه رایانه‌ای می‌باشد.

چارچوب مسئله در پژوهش حاضر همانند همه پژوهش‌های ذکرشده بر این فرض استوار است که محدوده معینی مانند یک پارسل یا واحد بهره‌برداری وجود دارد و محاسبات بر اساس فواصل اقلیدسی هر نقطه در درون پارسل یا دپوی کاندیدا، موجودی در هکتار هر نقطه و همچنین میانگین شیب خط مستقیمی که هر نقطه را به دپوی کاندیدا وصل می‌کند انجام شده است. بر این اساس یک الگوریتم ابتکاری برای محاسبه اولویت بهترین دپو در پارسل ۴۲۳ سری ۴ شیوا دره از حوزه آبخیز ۴۶ و با استفاده از امکانات فضایی سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

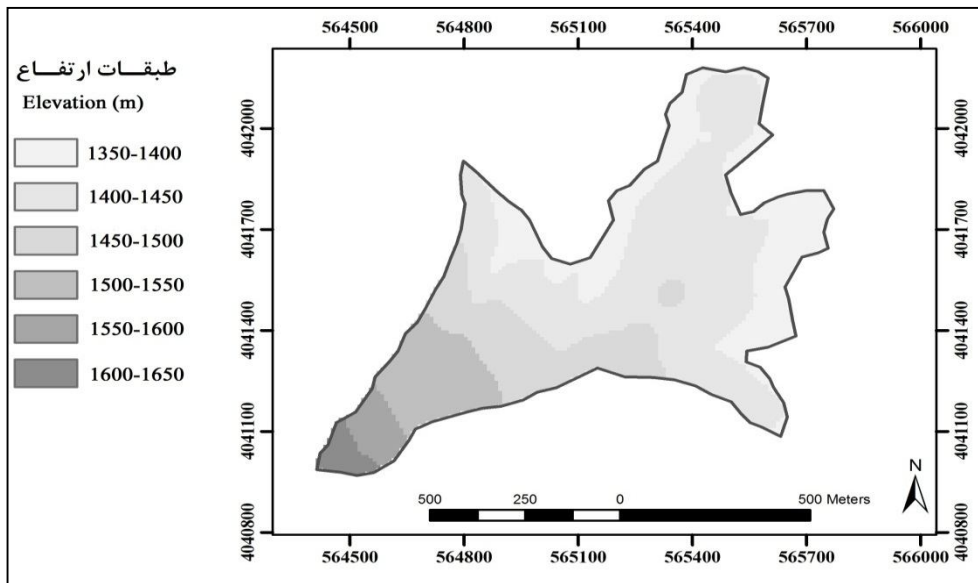
منطقه مورد مطالعه: به‌منظور پیاده‌سازی الگوریتم تولید شده، پارسل ۴۲۳ از سری ۴ شیوادره از جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه ۲۲ دقیقه ۵۷ ثانیه و ۳۶ درجه ۲۳ دقیقه ۳۷ ثانیه و طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه ۳۴ دقیقه ۴۴ ثانیه و ۵۱ درجه ۳۵ دقیقه ۲۸ ثانیه قرار دارد، انتخاب شد (شکل ۱). جهت عمومی این پارسل شمال و شمال شرقی و متوسط شیب آن ۳۴ درصد می‌باشد. سری ۴ شیوادره فاقد شبکه جاده است اما سیستم چوبکشی موردنظر در این پارسل چوبکشی زمینی می‌باشد. به این دلیل، انتخاب دپوی مناسب که موضوع مطالعه حاضر است، پیش از احداث جاده ضرورت داشته است. تیپ غالب توده پهن برگ آمیخته است، شیوه جنگل شناسی مورد نظر تک‌گزینی است اما تاکنون هیچ‌گونه بهره‌برداری در آن صورت نگرفته است.



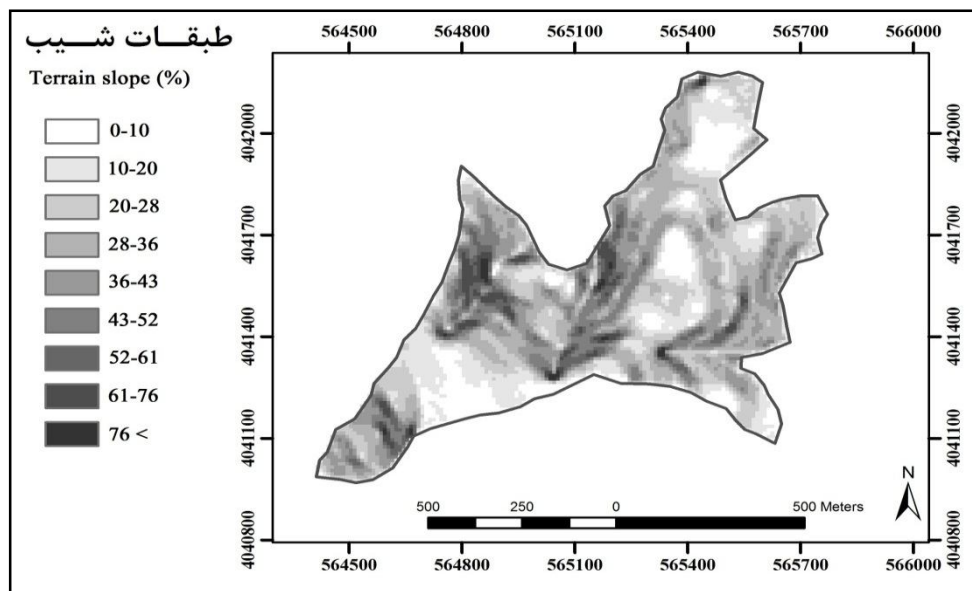
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت دپوهای کاندیدا.
Figure 1. Location of the study area and candidate landings.

روش تحقیق

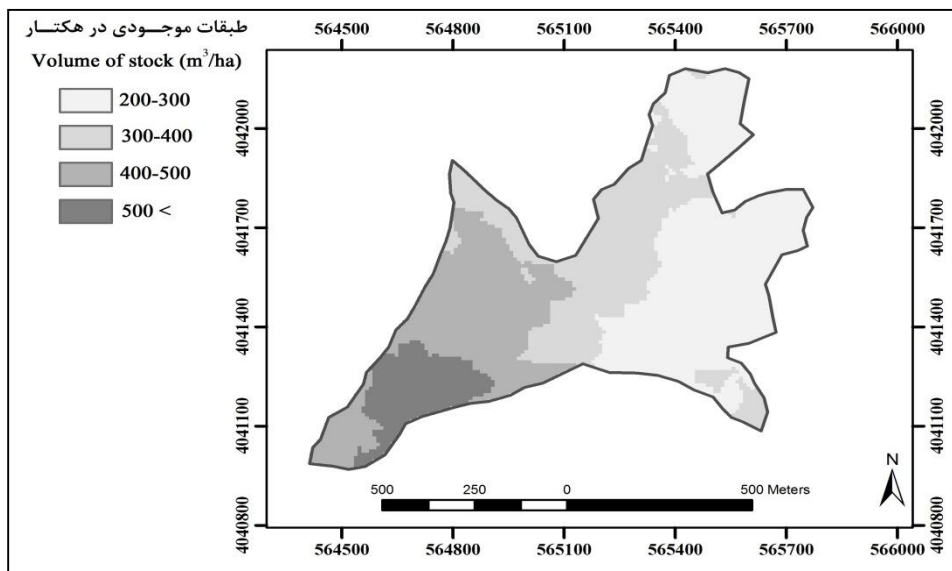
حمل و نقل اولیه می‌تواند به‌عنوان مجموعه تراکنش‌هایی که از پای‌کنده آغاز و تا دپو پایان می‌یابد در نظر گرفته شود. انتخاب دپوی اقتصادی از میان چند نقطه کاندیدا مستلزم در اختیار داشتن اطلاعات فضایی و توصیفی لازم در هر نقطه است که با امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) این اطلاعات قابل استخراج می‌باشد. برای ارزیابی نقاط مختلف در پژوهش حاضر یک برنامه‌ریزی شبکه‌ای از منطقه در قالب لایه‌های رستری، مورد استفاده قرار گرفته است به‌طوری که هر سلول در این شبکه حامل اطلاعات ارتفاع، شیب عرضی و موجودی در هکتار باشد. بنابراین یک لایه از مدل رقمی ارتفاع (DEM) (شکل ۲)، یک لایه شیب عرضی (شکل ۳) که خود از DEM به‌دست می‌آید و یک لایه از موجودی در هکتار (شکل ۴) به‌عنوان اطلاعات ورودی مدل در نظر گرفته شده است (شکل ۵). اطلاعات مذکور به صورت ماتریس اعداد از محیط GIS استخراج شده‌اند.



شکل ۲- نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه.
Figure 2. The elevation map of study area.

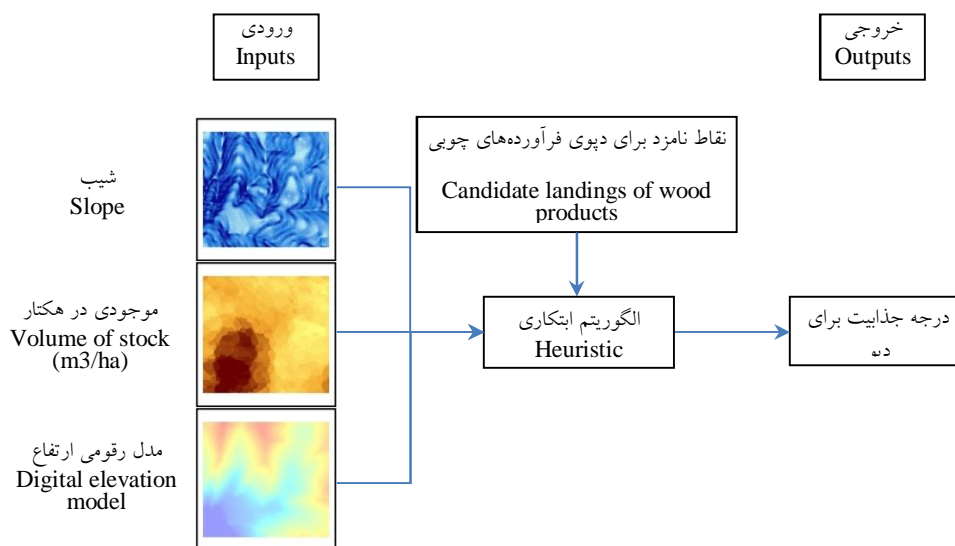


شکل ۳- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه.
Figure 3. The slope map of study area.



شکل ۴- نقشه موجودی به مترمکعب در هکتار منطقه مورد مطالعه.

Figure 4. The volume of stock (m^3/ha) of study area.



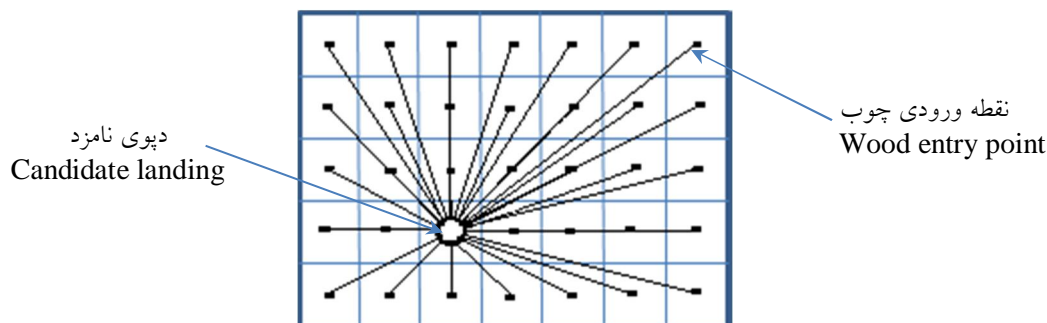
شکل ۵- نمای شماتیک از ماتریس اطلاعات ورودی و خروجی الگوریتم.

Figure 5. Schematic representation of Inputs and output data of algorithm.

DEM اطلاعات فضایی و توپوگرافی عرصه و امکان‌پذیر بودن چوبکشی زمینی را در اختیار می‌گذارد. لایه موجودی در هکتار نیز موقعیت مکانی نقاط ورودی چوب و حجم چوب در دسترس را به دست می‌دهد. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه از آنالیز فضایی DEM و نقشه موجودی در هکتار آن نیز با استفاده از اطلاعات قطعه نمونه‌های آخرین آماربرداری صحرایی طرح تجدید نظر سری و به وسیله تکنیک درون‌یابی کریجینگ گوسین در محیط GIS تهیه شد. در فرآیندی که پژوهش حاضر به معرفی آن می‌پردازد ابتدا گزینه‌های مختلف دپو در یک واحد بهره‌برداری روی نقشه شیب منطقه مورد نظر توسط طراح مشخص می‌شوند. به این ترتیب که پس از تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع، پلی‌گونهای مورد نظر به‌عنوان دپو که دارای شیب کمتر از ۱۰ درصد هستند و حداقل مساحت آن‌ها ۱ هکتار است معین و مرکز آن‌ها به‌عنوان نقطه اصلی دپو در محاسبات به حساب می‌آید (شکل ۱). میزان حداقل مساحت و شیب مناسب برای انتخاب گزینه‌های دپو بسته به عوامل محدود کننده و شرایط فیزیوگرافی واحد بهره‌برداری و همچنین نظر طراح می‌تواند متغیر باشد. برنامه رایانه‌ای نوشته شده برای این مسئله، یال‌هایی مستقیم را از تک‌تک سلول‌های شبکه مذکور تا دپوی کاندیدا فرض می‌کند (شکل ۶) و با توجه به شیب عرضی هر سلول، شیب یالی که هر سلول مجاز در منطقه (سلول‌های با شیب عرضی کمتر از ۶۰ درصد) را به سلول دپو متصل می‌کند محاسبه و در صورتی که کوچکتر از ۲۵ درصد باشد آن را به حساب می‌آورد و فاصله آن سلول تا دپوی مفروض را روی شیب حساب می‌کند. سپس با محاسبه موجودی چوب در هر سلول مجاز و تعداد سلول‌های مجاز به محاسبه رابطه (۱) برای هر سلول کاندیدا برای دپو می‌پردازد:

$$A = \frac{N \times V}{D} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن A ، درجه جذابیت سلول کاندیدا برای دپو، N ، تعداد نقاط قابل پیوند (feasible) به دپوی کاندیدا، V ، موجودی قابل برداشت در هر سلول در منطقه مورد نظر به متر مکعب، و D ، مجموع فواصل کلیه سلول‌های قابل اتصال به سلول دپوی کاندیدا به متر می‌باشند. هر چه حاصل عبارت فوق بزرگتر باشد نشان‌دهنده این مسئله است که حجم چوب و تعداد سلول بیشتری در یک فاصله کمتر در دسترس دپوی کاندیدا قرار گرفته است. همچنین میانگین شیب مجموعه یال‌هایی که به ترتیب فوق به دپوی کاندیدا پیوند یافته‌اند نیز محاسبه و به‌عنوان یک معیار کمکی در اختیار طراح قرار می‌گیرد.



شکل ۶- نمونه‌ای از مسئله شبکه جمع‌آوری چوب روی مدل رقمی ارتفاع.

Figure 6. An example for wood collection problem on digital elevation model.

از آنجا که مجری طرح یا پیمانکار معمولاً متمایل به چوبکشی رو به پایین است برای بالا بردن احتمال انتخاب دپوی اقتصادی‌تر ضریبی که حاصل تقسیم هزینه سیستم در حالت چوبکشی رو به پایین بر هزینه سیستم در حالت چوبکشی رو به بالا برای اسکیدر تیمبرجک ۴۵۰ سانتی‌گراد (پیرباوقار و همکاران، ۲۰۰۷) برای تعداد نقاط مشمول چوبکشی رو به پایین در نظر گرفته شد (۱۶). به این ترتیب صورت کسر در رابطه (۱) برای دپوهای با سیکل‌های چوبکشی رو به پایین بیشتر، بزرگتر و در نتیجه حاصل کسر (درجه جذابیت)، برای دپوی اقتصادی‌تر بزرگتر خواهد شد. رابطه (۲) نحوه محاسبه این ضریب را نشان می‌دهد.

$$\text{رابطه (۲)} = \frac{\text{هزینه سیستم در چوبکشی رو به بالا}}{\text{هزینه سیستم در چوبکشی رو به پایین}} = \frac{1273100}{1094750} = 1/1629$$

خلاصه فرآیند ذکر شده به زبان ریاضی برای گزینه‌های موردنظر برای دپو که به صورت برنامه‌ای در نرم‌افزار Matlab 2011.a نوشته شده است، به صورت زیر است:

۱- با توجه به ساختار شبکه‌ای در نظر گرفته شده برای کل نقاط پارسل مورد مطالعه، کل محدوده پارسل درون یک ماتریس بزرگ در نظر گرفته شد. به این ترتیب هر نقطه در پارسل موردنظر یکی از درایه‌های ماتریس بزرگ و دارای شماره سطر و ستون بوده است. روابط (۳) و (۴) شماره سطر نقطه کاندیدا برای دپو را به دست می‌دهند.

$$\text{رابطه (۳)} \quad dep = \frac{l}{n}$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad jdep = \text{ceil}(dep)$$

که در آن dep یک متغیر میانی است، l اندکس دیو در ماتریس و n تعداد ستون ماتریس ورودی است. به وسیله فرمان $ceil$ مقدار dep به سمت بالا گرد می‌شود و $jdep$ که شماره سطری از ماتریس است که دیو در آن قرار گرفته است، حاصل می‌شود.

۲- برای کلیه سلول‌های ماتریس که شیب عرضی کمتر از ۶۰ درصد و حجم غیر صفر دارند روابط زیر برقرار شده است روابط (۵) و (۶) شماره سطر هر سلولی را که قرار است به دیو به‌طور مستقیم متصل شود به‌دست می‌آورد. متغیرهای این روابط درست همانند روابط (۵) و (۶) است با این تفاوت که این بار برای هر سلول ماتریس (نقطه ورودی چوب) این کار انجام می‌شود.

$$site = \frac{s}{n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$jsite = ceil(site) \quad \text{رابطه (۶)}$$

s شماره اندکس سلول درون ماتریس است. به این ترتیب شماره سطر هر سلول به‌دست می‌آید.

۳- رابطه (۷) اختلاف شماره سطر و رابطه (۸) اختلاف شماره ستون بین دیو و هر سلول موردنظر را محاسبه می‌کند.

$$h = |(jsite - jdep) \times d| \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$w = |((l - ((jdep - 1) \times n)) - (s - ((jsite - 1) \times n))) \times d| \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن h اختلاف سطر به متر، w اختلاف ستون به متر و d ابعاد سلول (در مثال حاضر، ۲۰ متر) می‌باشد.

۴- فاصله مستقیم افقی بین دیو و سلول موردنظر از رابطه (۹) و شیب یال فرضی که سلول را به‌طور مستقیم به دیو متصل می‌کند از رابطه (۱۰) و طول این یال به‌وسیله رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید.

$$hor = \sqrt{w^2 + h^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$slope = \frac{dem(l) - dem(s)}{hor} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$distance = \left| hor \times \cos\left(slope \times \frac{\pi}{180}\right) \right| \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن hor فاصله مستقیم افقی، $slope$ شیب یال متصل کننده سلول به دیو و $distance$ فاصله روی شیب سلول تا دیو را نشان می‌دهد $dem(l)$ ارتفاع دیو و $dem(s)$ ارتفاع هر سلول مورد بررسی در ماتریس می‌باشد.

۵- اگر برای سلول موردنظر حاصل روابط (۷) و (۸) غیر صفر باشد (که این شرط برای تمام سلول‌ها غیر از حالتی که دیو منطبق بر سلول موردنظر می‌شود صادق است) و اگر شیب محاسبه شده از رابطه

۱۰ برای آن سلول بزرگتر از ۲۵- درصد باشد و در صورتی که ارتفاع دپو کمتر از سلول موردنظر باشد (چوبکشی رو به پایین)، در این صورت روابط (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) برقرار است و در غیر این صورت آن سلول به حساب نمی‌آید.

$$ndown = ndown + 1.1629 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$distot = distot + distance \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$slopetot = slopetot + abs(slope) \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$vtot = vtot + v(s) \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

که در آن $ndown$ تعداد سلول‌های مختص چوبکشی رو به پایین مشمول شرط‌های بند ۵ که در هر بار جستجوی سلول‌ها به اندازه $1/1629$ واحد به آن‌ها اضافه می‌شود، $distot$ مجموع فواصل نقاط مشمول شرط‌های بند ۵ که در هر بار جستجو به آن اضافه می‌شود، $slopetot$ مجموع مقادیر شیب یال‌های مستقیم از هر سلول مشمول تا دپو می‌باشد که در هر بار جستجوی سلول‌ها، به آن اضافه می‌شود، $vtot$ مجموع موجودی در هکتار نقاط مشمول که در هر بار جستجوی سلول‌های مشمول به آن اضافه می‌شود. هر چهار متغیر $ndown$ ، $distot$ ، $slopetot$ و $vtot$ در ابتدا و پیش از آغاز جستجو مقدار صفر گرفته بودند که در هر بار بررسی یک سلول مقدار جدید جایگزین مقدار پیشین می‌گردد.

۶- در صورتی که کلیه شرط‌های بند ۵ برای سلول موردنظر برقرار باشد اما ارتفاع دپو بیشتر از ارتفاع آن سلول باشد (چوبکشی رو به بالا) و شیب محاسبه شده از رابطه (۱۰) برای آن سلول کمتر از $25+$ درصد باشد، رابطه (۱۶) به همراه روابط (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) برقرار می‌باشد.

$$nup = nup + 1 \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

که در آن nup تعداد سلول‌های مختص چوبکشی رو به بالاست که در هر بار جستجوی سلول‌های ماتریس به اندازه ۱ واحد به آن‌ها اضافه می‌شود. nup در ابتدا و پیش از آغاز جستجو مقدار صفر گرفته بود.

حداکثر شیب مسیرهای چوبکشی در مطالعه حاضر با توجه به دستورالعمل سازمان جنگل‌ها برای چوبکشی زمینی ۲۵ درصد در نظر گرفته شد (سبحانی و نائیج نوری، ۲۰۰۶).

۷- مجموع تعداد نقاط تحت پوشش ($ntot$) به روش فوق که همگی مشمول شرط‌های اعمال شده بوده‌اند به وسیله رابطه (۱۷) محاسبه شده‌اند.

$$ntot = ndown + nup \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

۸- درجه جذابیت دپوی کانیدیدا (nvdis) به کمک رابطه (۱۸) به دست آمده است.

$$nvdis = \frac{(ntot \times vtot)}{distot} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

۹- میانگین شیب یال‌های فرضی که نقاط تحت پوشش را به دپوی کانیدیدا پیوند داده‌اند (aveslope)، از رابطه (۱۹) به دست آمده است.

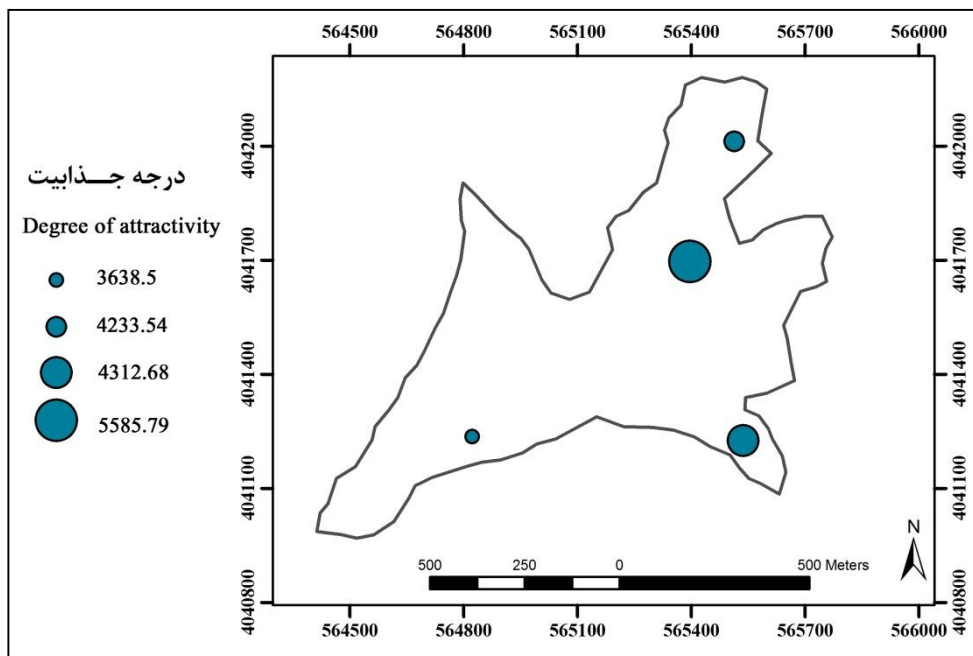
$$aveslope = \frac{slopetot}{ntot} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

۱۰- مراحل ۲ تا ۹ برای همه دپوهای کانیدیدا تکرار می‌شود و در یک بردار ذخیره می‌گردد.

پس از انجام محاسبات، بر اساس دو معیار ارزیابی که یکی حاصل رابطه (۱) و دیگری عدد میانگین شیب سلول‌ها تا دپوی کانیدیدا می‌باشد، کاربر می‌تواند دپویی را که از هر دو نظر بهترین شرایط را دارد انتخاب نماید.

نتایج و بحث

شکل ۷ و جدول ۱ نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم برای چهار نقطه کانیدیدا برای دپوی فرآورده‌های چوبی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. در مطالعه حاضر درجه جذابیت پارامتر اصلی برای قضاوت درباره انتخاب دپو بوده است که بر این اساس نقطه «ب» بالاترین میزان جذابیت برای احراز این مکان را در پارسل مورد مطالعه دارد. ستون متوسط شیب در این جدول میانگین شیب خطوط مستقیم فرضی که نقاط شدنی را به نقطه موردنظر برای دپوی کانیدیدا پیوند می‌دهد، نشان می‌دهد. این رقم برای نقطه «ب» حدود ۱۰ درصد می‌باشد که شیب مناسبی برای کلیه نقاط تحت پوشش آن می‌باشد. تعداد نقاط برای چوبکشی رو به بالا و رو به پایین، تعداد کل نقاط تحت پوشش مستقیم و حجم چوب در دسترس توسط هر دپو نیز در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۷- درجه جذابیت نقاط کاندیدا برای دپوی فرآورده‌های چوبی در منطقه مورد مطالعه.
Figure 7. Degree of attractivity of candidate landing points in the study area.

جدول ۱- درجه جذابیت و ویژگی‌های توصیفی دپوهای کاندیدا.

Table 1. Degree of attractivity and descriptive characteristics of candidate landings.

حجم چوب در دسترس (m ³)	تعداد نقاط کل	تعداد نقاط رو به بالا	تعداد نقاط رو به پایین	متوسط فاصله (m)	متوسط شیب (درصد)	درجه جذابیت	نقاط کاندیدا- اندکس ماتریس
22807	6377	1500	4877	605.81	5.93	4233.54	الف (a)-3143
22670	6195	3762	2433	431.81	10.41	5585.79	ب (b)-7688
22662	5992	5478	514	631.54	14.59	3638.5	پ (c)-13980
22620	6286	3066	3220	568.26	7.12	4312.68	ت (d)-13643

پارامتر مورد استفاده در این پژوهش به شکلی ارائه شده است که درجه جذابیت هر نقطه برای انتخاب به منظور دپوی فرآورده‌های چوبی، بر مبنای تعداد نقاط تحت پوشش، موجودی در هکتار و فاصله مستقیم هر نقطه شدنی تا دپوی کاندیدا محاسبه گردد. با این حال در الگوریتم حاضر این امکان

وجود دارد که هر پارامتر دیگری که طراح به عنوان مزیت یک دپو نسبت به دیگری در نظر بگیرد، به برنامه اضافه شود. در رابطه (۱) علاوه بر موجودی در هکتار مجموعه نقاط تحت پوشش تعدادشان نیز منظور شده است. به این ترتیب به سطح منطقه تحت پوشش نیز اهمیت داده شده است. متغیر فاصله در مخرج کسر در رابطه (۱) تضمین کننده این مسئله است که حاصل ضرب تعداد در موجودی در هکتار نقاط در فاصله کمتری در دپوی منتخب به دست آید. با توجه به نتایج به دست آمده جذاب ترین نقطه از بین گزینه های مورد نظر در پارسل مورد مطالعه نقطه «ب» بوده است. بررسی حجم چوب در دسترس هر دپو بر اساس معیار مورد استفاده (جدول ۱) نشان می دهد تفاوت چندانی در ارتباط با این متغیر بین دپوهای کاندیدا وجود نداشته است. همچنین بررسی تعداد کل نقاط تحت پوشش نیز نشان می دهد که این متغیر در یک دامنه ۴۰۰ نقطه ای بین گزینه ها تغییر نموده است که حدود ۶ درصد میانگین تعداد نقاط می باشد. با توجه به مدل های ریاضی زمانی به کاررفته در پژوهش حاضر (پیر باوقار و همکاران، ۲۰۰۷) که مربوط به اسکیدر تیمبرچک ۴۵۰ سانتی گراد بوده است، عامل شیب مسیر ضریب تأثیر بسیار کوچکی در چوبکشی رو به بالا داشته و در چوبکشی رو به پایین نیز معنی دار نبوده است و در مقابل اثر متقابل فاصله و تعداد بین معنی دار بوده است. بنابراین آنچه که باعث تفاوت و مزیت یک گزینه نسبت به دیگری در تحقیق حاضر شده است میانگین فاصله مجموعه نقاط تا دپو می باشد. چنان که در جدول ۱ مشهود است کمترین میانگین فاصله مستقیم نقاط تحت پوشش تا گزینه مورد نظر برای دپو، مربوط به نقطه «ب» می باشد و همین موضوع باعث افزایش مقدار عددی قابل توجه درجه جذابیت این گزینه نسبت به بقیه گزینه ها شده است. به عبارت دیگر این گزینه در فاصله کمتری حجم بیشتری از موجودی در هکتار را در اختیار مجری طرح می گذارد. فیلیپارت و همکاران (۲۰۱۲) که از روش برنامه ریزی عدد صحیح باینری برای پیدا کردن بهترین نقاط دپو استفاده نمودند نیز پس از مقایسه نتایج مدل با نتایج طراحی دستی یکی از مزایای نتایج خود را فاصله کمتر چوبکشی عنوان نمودند (۱۷). لازم به ذکر است که به طور قطع تعدادی از سلول ها به دلیل داشتن شیب عرضی بالاتر از ۶۰ درصد به دلیل محدودیت در بهره برداری از فرآیند جستجو و برای همه گزینه ها حذف شده اند. کلیه گزینه های کاندیدا برای دپو در مطالعه حاضر در محدوده مناطق با شیب کمتر از ۱۰ درصد انتخاب شدند که این موضوع مانع هزینه خاکبرداری و احداث دپو می شود. فیلیپارت و همکاران (۲۰۱۲) در نتایج مطالعه خود یکی از برتری های مدل خود را انتخاب نقاطی عنوان کرده اند که نیاز به باز کردن توده و احداث دپو در آن نبوده است. برای دخیل نمودن هزینه های باز کردن توده

و قطع درختان به منظور احداث دپو نیاز به اطلاعات دقیق رقومی از منطقه است که ایشان در اختیار داشته‌اند (۱۷).

در این تحقیق تنها نقاطی که خود شیب عرضی کمتر از ۶۰ درصد داشته‌اند و می‌توانستند با یک خط فرضی مستقیم با شیب کمتر از ۲۵ درصد به دپو پیوند داده شوند به حساب آمده‌اند. بنابراین در حالتی که مقدار عددی درجه جذابیت برای دپو بین گزینه‌های مختلف کاندیدا نزدیک به هم باشد، معیار متوسط شیب این خطوط مستقیم می‌تواند به‌عنوان یک عامل کمکی مورد استفاده قرار گیرد. رویکرد دیگری که می‌توان برای حل مسئله در چارچوب فعلی ارائه کرد آن است که فرآیند جستجو تنها بین گزینه‌های مورد نظر انجام نشود و یک جستجوی تمام عیار از کلیه سلول‌های درون پارسل از نظر درجه جذابیت انجام گیرد. این رویکرد می‌تواند بسیار مناسب‌تر باشد و به یک جواب بهینه منتهی شود اما مشکل رعایت حداقل مساحت برای دپو و لزوم کم شیب بودن آن باعث پیچیدگی بیشتر مسئله و در نتیجه پیچیدگی الگوریتم لازم می‌گردد. به این ترتیب که با الگوریتم فعلی در حالتی که هیچ گزینه‌ای را معرفی نکنیم و به جستجوی کور در واحد بهره‌برداری بپردازیم، ممکن است یک سلول به‌عنوان جذاب‌ترین سلول برای دپو انتخاب شود اما مساحت لازم با شیب مناسب را در بر نداشته باشد. به همین دلایل در تحقیق حاضر محدوده‌های مورد نظر برای دپو روی نقشه شیب طبقه‌بندی شده انتخاب شد و سپس الگوریتم برای هر گزینه به‌کار گرفته شد.

مسئله‌ای را که می‌توان به‌عنوان کمبود این روش بیان کرد آن است که هر چند تنها نقاطی به‌عنوان مناطق تحت پوشش دپو به حساب آمده‌اند که شیب امتداد مستقیم از آن‌ها تا دپو کمتر از ۲۵ درصد است، منطق مورد استفاده در الگوریتم ارائه شده بیشتر مناسب سیستم‌های کابلی است که در آن برداشتگاه‌ها به‌طور مستقیم به دپو متصل می‌شوند در حالی که در سیستم‌های چوبکشی زمینی مسیرهای چوبکشی با عبور از عوارض مختلف و عموماً به‌صورت پر پیچ و خم و به‌صورت شاخه‌های درختی به دپو متصل می‌شوند. در صورتی که بتوان با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مسیریابی از جمله الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر به حل مسئله کوتاه‌ترین مسیرهای چوبکشی تا دپو پرداخت و مسیر طراحی نمود، نتایج مستدل‌تر و قاطعانه‌تری به‌دست خواهد آمد. چرا که در حالت طراحی مسیر ممکن است دپویی که با روش حاضر به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب نشده است مجموعه نقاط بیشتری را با مسیرهای کوتاه‌تری متصل نماید. به این دلیل و به دلیل آن‌که عوامل مختلف دیگر مانند عمق و بافت خاک، تپ جنگل و ملاحظات مختلف دیگر مانند مسایل زیست محیطی می‌توانند در مسیریابی بهینه

مسیرهای چوبکشی دخیل باشند، در صورتی که اطلاعات لازم با دقت بالا در دسترس باشند لازم است در جهت بهبود و توسعه این برنامه در آینده تلاش شود. با این حال روش حاضر می‌تواند نماینده پتانسیل هر گزینه دپو برای پوشش حداکثری نقاط درون پارسل و تصمیم‌ساز باشد و به‌عنوان یک معیار ارزیابی برای پیشنهاد نقطه مناسب دپو مورد استفاده قرار گیرد. محدودیت‌های مختلفی برای برنامه‌ها و بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی مانند CPLEX (اپستین، ۱۹۸۵) و CPLAN (چونگ و همکاران، ۲۰۰۴) که تاکنون برای جستجوی دپوی اقتصادی ارائه شده‌اند و همچنین روش‌های محاسبات دقیق مانند برنامه‌ریزی عدد صحیح باینری که فیلیپارت در مطالعه خود از آن استفاده نمود نیز وجود دارند. از جمله این‌که این برنامه‌ها مناسب برای مساحت‌های کوچک هستند و با افزایش سطح مسئله قادر به حل آن نیستند (فیلیپارت، ۲۰۱۲).

در پژوهش‌های مربوط به طراحی خودکار شبکه جاده، کم‌هزینه‌ترین ترکیب شبکه جاده و سیستم بهره‌برداری هدف اصلی می‌باشد (ماتیوس، ۱۹۴۲). نتیجه تحقیق حاضر می‌تواند به‌عنوان یک روش مفید در پیشنهاد اقتصادی‌ترین دپو به‌عنوان نقاط اجباری مثبت در یک پارسل مورد استفاده طراحی خودکار جاده جنگلی قرار گیرد. در واقع آنچه مبنای استفاده از این روش است آن است که پیش از طراحی جاده جنگلی بخشی از نقاط اجباری مثبت به‌این وسیله شناسایی و سپس با داشتن این نقاط با استفاده از الگوریتم‌های مختلف شبکه، برای رسیدن به شبکه جاده با حداقل هزینه، گام برداشت. اما نقطه نهایی مورد تصور برای چنین پژوهش‌هایی کمینه‌سازی قطعی مجموع هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده جنگلی و هزینه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

1. Chung, W., and Sessions, J. 2003. NETWORK 2000: a program for optimizing large fixed and variable cost transportation systems. n: Proceedings The 2000 Systems Analysis Symposium in Forest Resources, Aspen, September 28–30. Volume 7, Managing Forest Ecosystems. Dordrecht, Kluwer Academic Press: 81–86.
2. Chung, W., Sessions, J., and Heinimann, H.R. 2003. Optimizing of cable harvesting equipment placement and road locations using digital terrain models. The FAO/ECE/ILO/IUFRO workshop on new trends in wood harvesting with cable systems for sustainable forest management in mountain forests, Ossiach, 247-252. Austria.
3. Chung, W., Sessions, J., and Heinimann, H.R. 2004. An application of a heuristic network algorithm to cable logging layout design. J. of Forest Engineering, 15: 11-24.

4. Cooper, L. 1963. Location–allocation problems. *Operation Research*, 11: 3. 331–343.
5. Dykstra, D.P. 1976. Timber Harvest Layout by Mathematical and Heuristic Programming. Ph.D. thesis. Oregon State University. Corvallis, OR. 299p.
6. Dykstra, D.P., and Riggs, J.L. 1977. An application of Facilities Location Theory to the design of forest harvesting areas. *American Institute of Industrial Engineers Transactions*, 9: 3. 270-277.
7. Epstein, R., Morales R., Seron, J.J., and Weintraub, A. 1999. Use of OR Systems in the Chilean Forest Industries. *Interfaces*. 29: 1. 7-29.
8. Epstein, R., Sessions, J., Sessions, B., Sapunar, P., Nieto, E., Bustamante, F., and Musante, H. 2001. PLANEX. A system to identify landing locations and access. The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium. Seattle, WA.
9. Ghajar, I., Najafi, A., and Ezzati, S. 2010. Skidding Machines Allocation (SMA) using fuzzy set theory, *Croatian J. of Forest Engineering*. 31: 2. 99-110.
10. Gilanipoor, N., Najafi, A., and Heshmat Alvaezin, S.M. 2012. Productivity and Cost of Farm Tractore Skidding. *J. of Forest Science*, 58: 1. 21-26.
11. Greulich, F.E. 1991. Optimal landing location on flat, uniform terrain. *Canadian J. of Forest Research*. 21: 5. 573–584.
12. Greulich, F.E. 2012. Near-optimal location of two landings on flat, uniform terrain. *Canadian J. of Forest Research*. 42: 2. 227–237.
13. Jour Gholami, M., and Majnounian, B. 2008. Productivity and cost of wheeled skidder in Hyrcanian forest. *International J. of Natural and Engineering Sciences*, 2: 3. 99-103.
14. Matthews, D.M. 1942. Cost control in the logging industry, McGraw-Hill Inc, New York, 374p.
15. Naghdi, R., Rafatniaa, N., Sobhani, H., Jalali, G.H., and Hosseini, S.M. 2005. A survey of the efficiency of timber jack 450C wheeled skidder in sheared forests. *Iranian J. of Natural Resources*. 57: 4. 657-687. (In Persian)
16. Pir Bavaghar, M., Sobhani, H., Fegghi, J., Darvishsefat, A.A., and Marvi-Mohajer, M.R. 2007. Investigation on production rate and cost of Timberjack-450C in two skidding direction in combined harvesting system *Iranian J. of Forest and Poplar Research*, 15: 4. 374-385. (In Persian)
17. Philippart, J., Minghe, S., Docet J.L., and Lejeune, P. 2012. Mathematical formulation and exact solution for landing location problem in tropical forest selective logging, a case study in Southeast Cameroon. *J. of Forest Economics*. 18: 113-122.
18. Sessions, J. 1985. A heuristic algorithm for the solution of the variable and fixed cost transportation. In: Dress and Field (eds), 1985 symposium on systems analysis in forest resources. Society of American Foresters.

19. Sobhani, H., and Naeijnoori S.A. 2006. Guide direction for placing of decking and skid trail, Iranian Forest and Range Lands Organization. 45p. (In Persian)
20. Stuckelberger, J.A., Heinemann, H.R., Chung, W., and Ulber, M. 2006. Automatic road-network planning for multiple objectives. Pp: 233–248. In: W. Chung and Han H.S., (eds), The 29th Council on Forest Engineering, Coeur d'Alene. July 30– August.
21. Twito, R.H., Reutebuch, S.E., Stephen, E., McGaughey, R.J. and C.N. Mann. 1987. Preliminary logging analysis system (PLANS): overview. U.S. Department of Agriculture Forest Services, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report. PNW-GTR-199. Portland. 24p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (2), 2016
<http://jwfst.gau.ac.ir>

A heuristic algorithm for finding the most economical logs landing location (Case study: Shiva Dareh district, Kojour watershed)

I.Ghajar¹, *A. Najafi², P. Imani³, S. Omidvar⁴, K. Mohammadi⁵

¹Assistant Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, ²Associate Professor, Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, ³Ph.D. Candidate, Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture and Natural Resource University, Sari, Iran, ⁴M.Sc., Dept., of civil engineering, Amir Kabir University of Technology, Tehran, ⁵Assistant Professor, Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Baneh, Iran
Received: 07/01/2011; Accepted: 04/12/2015

Abstract

Background and objectives: One of the new approaches in forest road network and skid trail planning is to find suitable terminals in the harvest units and after that planning a road network that optimally connects the terminals. The paper describes a methodology for finding the most economical landing location.

Materials and methods: The methodology formulates each harvesting unit as a network problem. Each grid cell that identified as an individual entry node in the network, containing two attributes of the elevation and the timber volume. The exit points of the network are the landing nodes where are candidated based on the terrain slope by the planner. Each entry node were connected to the supposed landing nodes by a direct link. In the present research an economical place for landing location was defined as a point that makes the most volume of stock in access through the shortest distance and slope. The heuristic algorithm, then, calculated two parameters for each landing node: 1) the degree of attractivity as a function of the number of covered nodes, their volume of stock and their distance to the landing, and 2) the average slope of the links. The economical location for landing then was selected. The entire area of the compartment was supposed as the harvesting unit. In addition, the uphill and downhill skidding were included in the program.

*Corresponding author: a.najafi@modares.ac.ir

Results: The program was implemented for four candidate landing location in the compartment 423 of district 4 (Shiva dareh) in the educational and research forest of Tarbiat Modares University in the northern Iran. The results showed that the point “B” with an attractivity value of 5585.79 and an average slope of 10.41% was designated as the most economical point for landing the timbers.

Conclusion: The present code could be used as an appropriate tool to propose the economical places for landing location where are assumed as desirable terminals in forest road planning within cut blocks.

Keywords: Landing, Automatic planning, Ground skidding, Algorithm, Heuristic

