

مدل ابتکاری برآورد مساحت عملیات خاکی برای طراحی پروفیل طولی جاده‌های کوهستانی

راضیه باباپور^۱، رامین نقدی^{۲*}، اسماعیل قجر^۳ و سهند مظفری^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. پست الکترونیک: maghdi@guilan.ac.ir

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه شریف، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵

چکیده

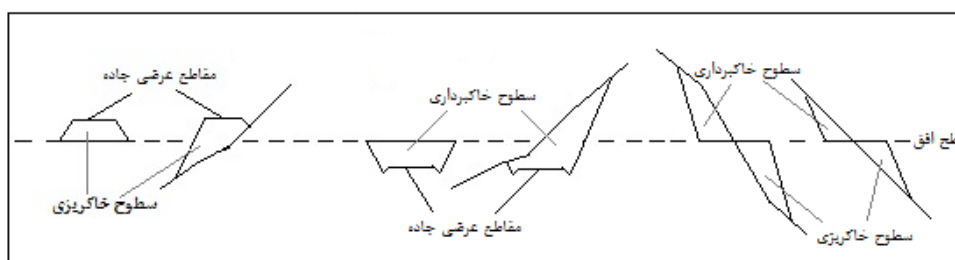
عملیات خاکی جاده‌های جنگلی مهم‌ترین مرحله ساخت جاده است که بخش قابل توجهی از هزینه‌های ساخت جاده را به خود اختصاص می‌دهد. در این میان طراحی هوشمندانه خط پروژه جاده جنگلی تأثیر مهمی در میزان حجم عملیات خاکی دارد. برای تولید برنامه‌ای رایانه‌ای به منظور طراحی خط پروژه‌ای که حجم عملیات خاکی را کمینه سازد، ابتدا به مدلی نیاز است که بتواند با داشتن عدد قرمز در محل هر پیکه هکتومتری، سطح عملیات خاکی را با دقتی قابل قبول محاسبه کند. در پژوهش پیش‌رو با هدف تولید چنین مدلی، ابتدا سطح دقیق خاکبرداری و خاکریزی به‌ازای اعداد قرمز مثبت و منفی، در فواصل عمودی یک‌متری از پیکه‌های هکتومتری و در ۲۷۵ پروفیل عرضی جاده مورد بررسی توسط نرم‌افزار اتوکد اندازه‌گیری شد و به‌عنوان نمونه‌های شاهد در نظر گرفته شد. برنامه ابتکاری محاسبه سطح عملیات خاکی با توجه به شاخص‌های هندسی عرضی استاندارد جاده جنگلی در محیط نرم‌افزار MATLAB تولید شد و برای برآورد سطح عملیات خاکی در همه ۲۷۵ پروفیل عرضی آزمایش شد. آزمون t جفتی نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($p < 0.01$) بین نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری روش ابتکاری با روش متداول در محاسبه مساحت وجود نداشت و مدل از اعتبار مناسب برخوردار بود. برنامه ابتکاری بدون کاهش دقت محاسبات، با ضریب تبیین ۰/۹۹، ساعت‌ها زمان انجام محاسبات را نسبت به روش متداول کاهش داد. مدل ابتکاری ارایه‌شده می‌تواند در مدت زمان کوتاه با اندک تغییر در پارامترها برای جاده‌هایی با استانداردهای متفاوت استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، حجم عملیات خاکی، خاکبرداری و خاکریزی، عدد قرمز، مدل ابتکاری MATLAB.

مقدمه

خاکبرداری و خاکریزی بیشتر این عرصه‌ها نسبت به جنگل‌های مسطح، اهمیت طراحی هوشمندانه خط پروژه بیشتر است. همچنین به‌دلیل تفاوت در شیب و شکل دامنه‌ها، مساحت خاکبرداری و خاکریزی، در عددهای قرمز یکسان در محل پیکه‌های هکتومتری مختلف، متفاوت است (شکل ۱).

عملیات خاکی یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های ساخت جاده جنگلی و عاملی تأثیرگذار در میزان جابه‌جایی خاک جنگل به‌شمار می‌آید. کاهش هزینه‌های ریالی و محیط زیستی جاده مستلزم طراحی دقیق خط پروژه در راستای حداقل کردن حجم عملیات خاکی است. با توجه به کوهستانی بودن جنگل‌های ایران و لزوم انجام عملیات



شکل ۱- تأثیر شکل دامنه در مساحت خاکبرداری و خاکریزی: دو دامنه خاکریزی (چپ)، دو دامنه خاکبرداری (وسط) و یک دامنه خاکبرداری و یک دامنه خاکریزی (راست)

بخشی از فرآیند بهینه‌سازی بزرگتر برای طراحی خط پروژه باشد، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر در زمینه بهینه‌سازی خط پروژه است.

فرآیند بهینه‌سازی خط پروژه را می‌توان چنین توضیح داد که پس از طراحی مسیر اولیه جاده، طراح در مرحله طراحی خط پروژه، آن را با هدف حداقل کردن هزینه‌ها و اثرات محیط زیستی منفی جاده (Easa & Mehmood, 2007; Kang et al., 2007) طوری با پروفیل زمین طبیعی متناسب می‌کند که پاسخگوی محدودیت‌هایی مانند شیب عرضی زمین و شیب مجاز طولی باشد. در فرآیند بهینه‌سازی می‌توان با هدف کمینه کردن هزینه‌ها، به خصوص هزینه عملیات خاکی، از الگوریتم ژنتیک (Fwa et al., 2002) یا الگوریتم‌های ابتکاری و برنامه‌ریزی خطی ترکیبی (Lee & Cheng, 2001) استفاده کرد که حل مسأله حتی برای این روش‌ها نیز دشوار بود (Guo et al., 2005; Lim, 2005; Prata et al., 2008; Shi, 1999; Tam et al., 2002).

Peyrov و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی با هدف تعیین امکان پیش‌بینی عرض عملیات خاکی جاده‌های جنگلی از دو روش شبکه عصبی و رگرسیون خطی چندگانه در ۱۹۲ مقطع عرضی جاده استفاده کردند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی نسبت به رگرسیون خطی از قابلیت بیشتری در محاسبه عرض عملیات خاکی در مناطق جنگلی کوهستانی

در حال حاضر طراحی خط پروژه در بخش اجرا با ارزیابی پروفیل طولی جاده در نقشه و با توجه به تجربیات کارشناسی و با آزمایش چند حالت مختلف، انجام می‌شود. در این شرایط امکان ارزیابی حالت‌های بی‌شمار ممکن برای طرح خط پروژه، امکان‌پذیر نیست و نیازمند تولید یک برنامه قابل اعتماد و با دقت مناسب برای طراحی است. تکنیک‌های جدید بهینه‌سازی که یک جستجوی سیستماتیک برای یافتن بهترین مسیر را انجام می‌دهند، می‌توانند برای حل مشکلات پیچیده مورد استفاده قرار گیرند (Beasley et al., 1993). پیش از بهینه‌سازی خط پروژه به‌وسیله روش‌های مختلف بهینه‌سازی، مسأله اساسی طراحی دقیق خط پروژه با محاسبه سطح عملیات خاکی به‌ازای هر عدد قرمز در محل پیکه‌های هکتومتری است. به عبارت دیگر، به دلیل تغییر سطح عملیات خاکی در نتیجه تغییر عدد قرمز در محل هر پیکه، پیش از آنکه بتوان روشی را برای بهینه‌سازی طرح خط پروژه ارائه داد، باید در ابتدا برنامه‌ای را برای برآورد دقیق سطح خاکبرداری و خاکریزی به‌ازای هر عدد قرمز در محل هر پیکه تولید کرد. در روش متداول، محاسبه سطح عملیات خاکی برای مسیرهای چند کیلومتری در زمان کوتاه امکان‌پذیر نیست. همچنین با فرض داشتن اطلاعات دقیق محاسبه‌شده در محیط اتوکد، امکان استفاده از آنها در بهینه‌سازی خط پروژه وجود ندارد، زیرا چارچوبی که بتواند به‌طور همزمان انواع حالت‌های قرارگیری خط پروژه را تحلیل کند، در این محیط وجود ندارد. بنابراین، ارائه روشی که هم بتواند سطح خاکبرداری و خاکریزی را با دقت قابل قبول محاسبه کند و هم بتواند

ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی از الگوریتم ابتکاری برای تعیین محل استقرار خط پروژه جاده استفاده کردند. پژوهش پیش‌رو در نظر دارد یک مدل رایانه‌ای برای محاسبه مساحت خاکبرداری و خاکریزی به‌ازای اعداد قرمز مختلف در محل پیکه‌های هکتومتری در دامنه‌هایی با شیب متنوع، با استفاده از روش ابتکاری (Heuristic method) در محیط نرم‌افزار MATLAB ارائه کند. میزان صحت نتایج روش مذکور با مقایسه آماری با نتایج به‌دست‌آمده از روش متداول محاسبه مساحت، اعتبارسنجی می‌شود. این مدل به‌عنوان اولین بخش از پروژه بهینه‌سازی طراحی خط پروژه جاده‌های جنگلی، برای برآورد حجم عملیات خاکی به‌کار گرفته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

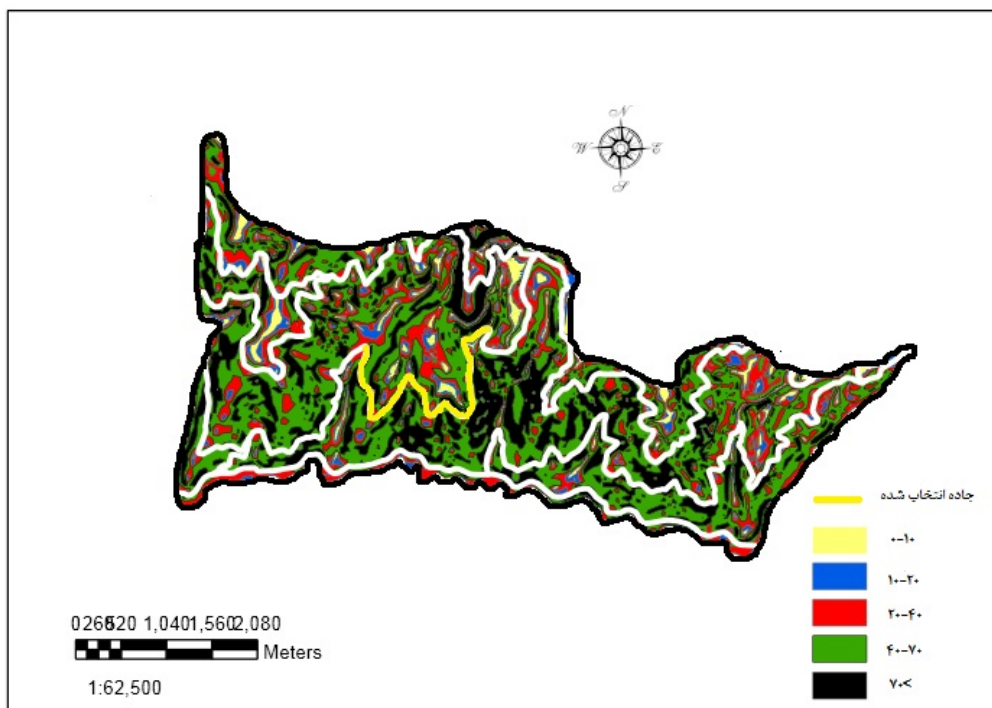
منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در بخشی از جاده ۴۲۰ سری دو جنگل‌های حوضه شفارود واقع در استان گیلان با طول تقریبی ۴/۸ کیلومتر انجام شد (شکل ۲). تعداد پیکه‌های هکتومتری این بخش جاده، ۲۷۵ عدد بود که از تنوع زیاد شیب دامنه (صفر تا ۵۰ درجه) برخوردار بودند (جدول ۱). اطلاعات مربوط به پروفیل طولی مسیر جاده و پروفیل‌های عرضی زمین در محل پیکه‌ها از اداره کل منابع طبیعی استان گیلان تهیه شد. منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی $43^{\circ} 5' 48''$ تا $48^{\circ} 5' 43''$ و عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 32' 40''$ تا $37^{\circ} 34' 41''$ واقع شده است.

جدول ۱- درصد عبور جاده انتخابی از طبقه‌های مختلف شیب

درصد عبور جاده انتخابی	طبقه شیب
۱۰ درصد	۰-۱۰
۵ درصد	۱۰-۲۰
۵۰ درصد	۲۰-۴۰
۳۵ درصد	۴۰-۷۰
۰ درصد	۷۰<

برخوردار بوده است. در برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه کمیته‌سازی حجم عملیات خاکی به مسأله شیب زمین طبیعی در محل پروفیل‌های عرضی، محاسبه مساحت سطح بین ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی جاده و دامنه‌های زمین طبیعی نیز پرداخته شده است (Aruga et al., 2005; Jong, 1998; Jha & Schonfeld, 2004). برای محاسبه این مساحت و درنهایت محاسبه حجم عملیات خاکی، دو روش دوزنقه (Trapezoidal) (Jha & Schonfeld, 2004) و مساحت سطوح انتهایی (End area) (Jong, 1998) استفاده می‌شود. در روش دوزنقه، فضای محصور بین دو سطح (برای محاسبه حجم) یا دو خط (برای محاسبه سطح) به دوزنقه‌هایی با قاعده برابر تقسیم می‌شود که سطح یا حجم این دوزنقه‌های کوچک محاسبه می‌شود و مجموع آنها به‌عنوان حجم یا سطح نهایی تعیین می‌شود. در روش سطوح انتهایی، تنها دو سطح اول و آخر (برای محاسبه حجم) را در نظر می‌گیرند و حجم را با جمع کردن این دو سطح و تقسیم بر دو کردن و ضرب آن در فاصله بین دو سطح به‌دست می‌آورند. روش دوزنقه هرچند پیچیده‌تر است، اما نتیجه دقیق‌تری ارائه می‌دهد (Aruga et al., 2005). Jong (۱۹۹۸) و Jha و Schonfeld (۲۰۰۴) برای طراحی خط پروژه، شیب دامنه‌های اطراف هر پیکه مقاطع عرضی را نیز در نظر گرفتند و سپس از الگوریتم ژنتیک برای طراحی خط پروژه استفاده کردند. Aruga و همکاران (۲۰۰۵)، به‌منظور طراحی خط پروژه جاده‌های جنگلی، تنها در چهار نقطه کنترل تعیین‌شده، در فواصل یک‌متری تا ۱۰ متری بالاتر و پایین‌تر از سطح جاده با اعمال شیب مناسب برای

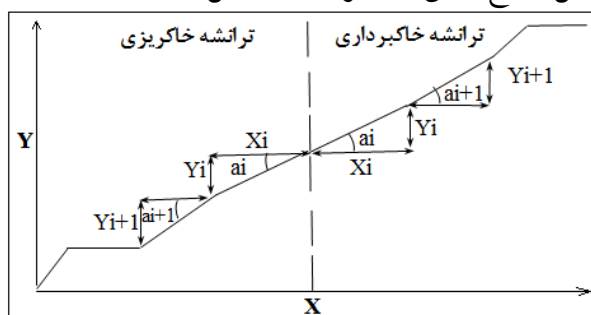


شکل ۲- نقشه شیب و موقعیت جاده در آن

روش پژوهش

محاسبه سطوح عملیات خاکی با استفاده از اتوکد با توجه به شکل مربوط به پروفیل‌های عرضی دامنه، برای همه ۲۷۵ پروفیل عرضی شکل سطح زمین در هر

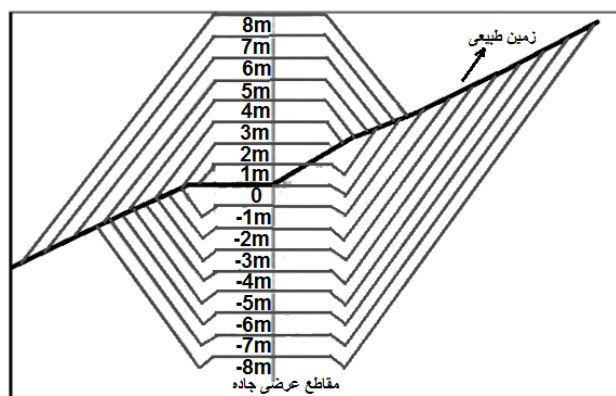
سمت بالا و پایین دامنه به پنج پاره‌خط با طول و شیب‌های مشخص تقسیم شد. سپس طول (x) و زاویه شیب (a) هر پاره‌خط با دقت در محیط نرم‌افزار اتوکد اندازه‌گیری شد (شکل ۳).



شکل ۳- شکست‌های دامنه زمین طبیعی در محل هر پیکه هکتومتری به‌همراه نمایش زاویه شیب (a)، طول (x) و عرض (y)

مقطع عرضی جاده ترسیم شد و مساحت خاکبرداری و خاکریزی هر مقطع به روش متداول بخش اجرا اندازه‌گیری شد (شکل ۴).

برای تمام مقاطع عرضی زمین در محل پیکه که اطلاعات آن در قالب نقشه‌های اتوکد از اداره منابع طبیعی تهیه شده بود، در فواصل یک‌متری تا هشت متری بالاتر و پایین‌تر از مرکز پروفیل (برای اعداد قرمز از ۸- تا ۸+ متر)،



شکل ۴- مقاطع عرضی جاده ترسیم شده بر روی یک پیکه در فواصل یک متری در نرم افزار اتوکد

روش متداول محاسبه مساحت

در روش متداول، محاسبه مساحت عملیات خاکی به این شکل است که پس از ترسیم خط پروژه اندازه عدد قرمز در محل هر پیکه هکتومتری از پروفیل طولی خوانده می شود. سپس مقطع عرضی زمین مربوط به هر پیکه در محیط اتوکد ترسیم می شود و براساس میزان عدد قرمز مربوط به آن پیکه، مقطع عرضی جاده ترسیم می شود. پس از ترسیم مقطع عرضی جاده و مقطع عرضی زمین طبیعی، مساحت محصور شده بین دو مقطع (که شامل مساحت خاکبرداری یا خاکریزی یا هر دو است) با دقت توسط دستور area محاسبه می شود.

روش ابتکاری

در این مرحله، به منظور تولید یک برنامه برای محاسبه سطح عملیات خاکی با سرعت زیاد، مدل الگوریتم ابتکاری در سه مرحله به شرح زیر تهیه شد:

۱- تعریف شکل مقطع عرضی زمین: در ابتدا طول هر شیب (x) (شکل ۲) براساس عرض (y) و زاویه شیب (α) (شکل ۲) که از قبل در محیط نرم افزار اتوکد اندازه گیری شده بود، برای هر کدام از پاره خط های پنج گانه تشکیل دهنده دامنه های کناری زمین در دو سوی هر پروفیل عرضی، از رابطه ۱ به دست آمد:

$$x = \frac{y}{\tan(\alpha)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

۲. این برنامه قابلیت استفاده برای انواع مختلف پروفیل ها را تنها با ارایه شیب و طول نقاط دارد.

$$y = \frac{y(i+1) - y(i)}{x(i+1) - x(i)}(x - x(i)) + y(i) \quad \text{رابطه (۲)}$$

فواصل یک متری و با شیب ترانشه خاکبرداری $h/d=1/33$ و ترانشه خاکریزی $h/d=1/25$ در ± 8 متری پیکه برای تعریف شکل مربوط به مقطع عرضی جاده تهیه شد. از آنجایی که این برنامه در راستای محاسبه حجم عملیات خاکی برای

با داشتن مختصات مربوط به همه نقاط در پروفیل عرضی، معادله تمام خطوط شکسته براساس رابطه ۲ به دست آمد و شکل زمین طبیعی برای نرم افزار قابل درک شد (شکل

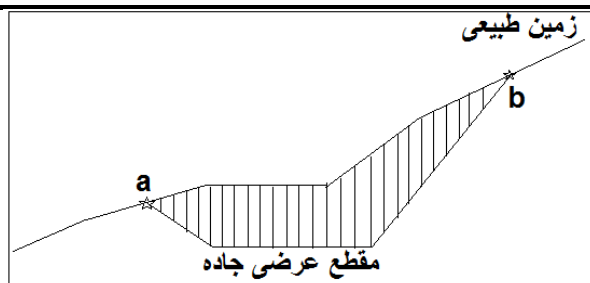
۲- تعریف شکل مقاطع عرضی جاده: با توجه به این که مساحت عملیات خاکی در نقشه های اتوکد در فواصل یک متری از محل پیکه و تا هشت متر بالاتر و پایین تر از محل پیکه اندازه گیری شده بود، یک بار برنامه ابتکاری برای

سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور (جدول ۲) تهیه شد.

طراحی خط پروژه به کار خواهد رفت، برای افزایش دقت طراحی پروفیل جاده، برنامه یک بار هم در فواصل ۰/۱ متری برای $\pm 4/8$ متر از محل پیکه، براساس استاندارد

جدول ۲- استانداردهای طراحی جاده‌های جنگلی براساس اصلاحات سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور

اندازه استاندارد	پارامتر جاده
۳/۵ متر	عرض بستر
۰/۵ متر از هر طرف جاده	عرض شانه جاده
۲:۱	شیب ترانشه خاکبرداری
۴:۵	شیب ترانشه خاکریزی
۰/۷۵ متر از سمت خاکبرداری	عرض جوی کناری



شکل ۵- استفاده از روش ذوزنقه برای محاسبه مساحت خاکبرداری

۳- محاسبه مساحت: مرحله سوم مربوط به محاسبه مساحت محصورشده بین زمین طبیعی و جاده در فواصل متفاوت ارتفاعی از محل پیکه با روش ذوزنقه بود. در این روش فاصله بین محل برخورد ترانشه‌های جاده با دامنه‌های زمین طبیعی (نقاط a و b) به ۵۰ ذوزنقه با ارتفاع برابر (با دستور Line space) تقسیم شد (شکل ۵). پس از محاسبه مساحت هر ذوزنقه، مجموع مساحت‌های ۵۰ ذوزنقه به‌عنوان مساحت کلی محصورشده تعیین شد (با توجه به این‌که از قبل معادله خطوط مربوط به شکل دامنه و جاده در برنامه مشخص شده بود، در تمام مراحل با استفاده از روش ذوزنقه اختلاف بین y مربوط به جاده و شکل دامنه محاسبه شد. اگر میزان y جاده بزرگتر از y دامنه زمین طبیعی بود، خاکریزی و در غیر این صورت خاکبرداری در نظر گرفته شد).

ارزیابی عملکرد مدل

هدف از ارزیابی عملکرد مدل بررسی میزان صحت نتایج به‌دست‌آمده از مدل و امکان به‌کارگیری آن برای داده‌های جدید است. در راستای ارزیابی عملکرد مدل ابتکاری ارائه‌شده در این پژوهش از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا ($RMSE$) استفاده شد (رابطه‌های ۳ و ۴):

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i^o - \bar{X}^o)(X_i^p - \bar{X}^p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^o - \bar{X}^o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i^p - \bar{X}^p)^2}} \right]^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

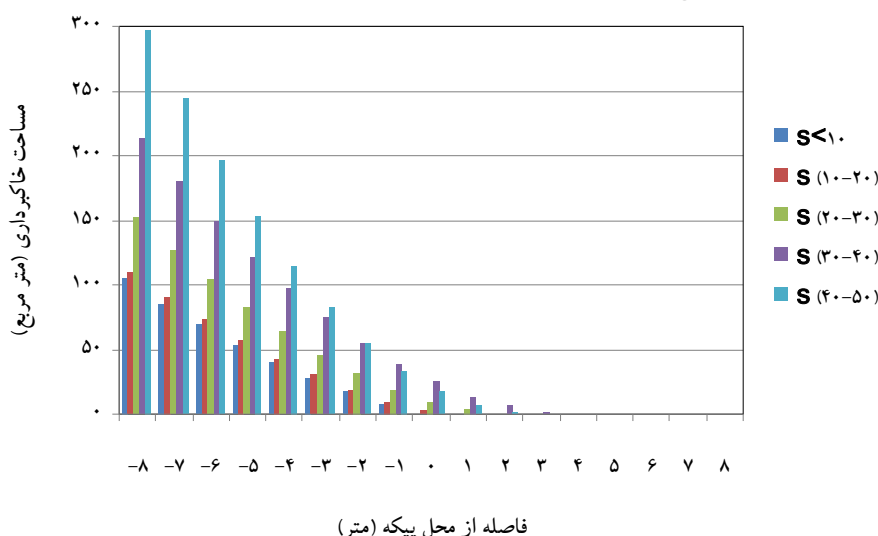
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i^o - X_i^p)^2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: n تعداد داده‌ها؛ X_i^o : مقدار مشاهده‌شده و X_i^p : مقدار پیش‌بینی‌شده است.

نتایج

شیب دامنه می‌تواند مساحت خاکبرداری و خاکریزی (به‌ویژه مساحت خاکبرداری) را در فواصل ارتفاعی یکسان از محل پیکه تا چندبرابر افزایش یا کاهش دهد (شکل ۶).

تأثیر شیب دامنه بر مساحت عملیات خاکی در ابتدا میزان تأثیر شیب دامنه بر مساحت خاکبرداری و خاکریزی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییر



شکل ۶- تأثیر شیب دامنه بر مساحت خاکبرداری

ابتکاری و روش متداول معنی‌دار نبود (جدول ۳). به عبارت دیگر، مدل ابتکاری توانست با دقت مناسبی متغیرهای مورد بررسی را محاسبه کند.

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل برآورد مساحت به روش ابتکاری نتایج آزمون t جفتی نشان داد که اختلاف بین نتایج محاسبه مساحت خاکبرداری و خاکریزی به‌وسیله روش

جدول ۳- نتایج مقایسه برآورد مساحت سطح خاکبرداری و خاکریزی به روش ابتکاری با نتایج روش متداول

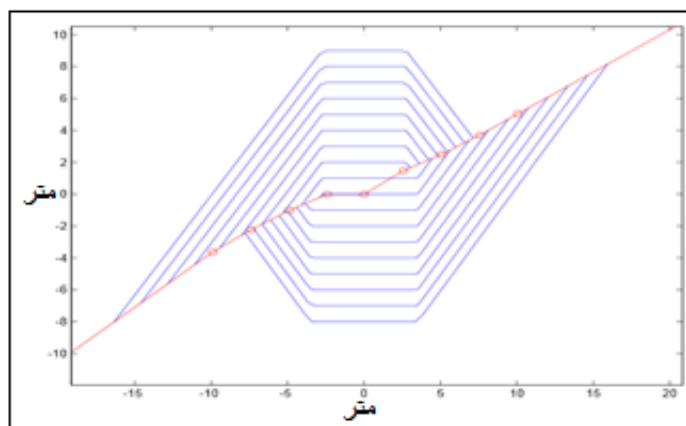
میانگین	انحراف معیار	معنی‌داری	درجه آزادی	t	
۳۲/۷	۵/۶	۰/۴۷ ^{ns}	۱۴۹۹	۰/۷۲	خاکبرداری
۲۶/۲	۳/۰۶	۰/۲۸ ^{ns}	۱۴۹۹	۱/۰۷	خاکریزی

^{ns} غیرمعنی‌دار

شکل زمین و پروفیل‌های عرضی جاده در فواصل متفاوت از محل پیکه به‌همراه جزئیات شیب ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی بود. این امر خود عاملی اساسی در محاسبه دقیق مساحت محصورشده بین زمین طبیعی و جاده در

شکل ۶ ترسیم نتایج محاسبات روش ابتکاری را نشان می‌دهد که از پلات کردن پروفیل‌های جاده در فواصل یک‌متری از محل پیکه به‌دست‌آمد. این شکل نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر روابط هندسی با دقت زیاد قادر به تعریف

یکی از ویژگی‌های برنامه، قابلیت تغییر آن در شرایط متفاوت متناسب با نوع مسأله است. در برنامه اصلی طراحی خط پروژه، فواصل ۰/۱ متری از پیکه هکتومتری و با شیب ترانشه خاکبرداری ۲:۱ منظور شده بود. برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از برنامه نویسی MATLAB و مقایسه آن با نتایج روش متداول که در فواصل یک متری محاسبه شده بود (شکل ۳)، تنها با تغییر پارامتر فاصله ارتفاعی محل پیکه از ۰/۱ متر به یک متر و تغییر شیب ترانشه خاکبرداری از ۲:۱ به $h/d=1/33$ ، نتایج برای فواصل یک متری و طبق استانداردهای موجود در نقشه‌های اتوکد محاسبه شد (شکل ۷).



شکل ۷- مقاطع عرضی جاده در فواصل یک متری تا ± 8 متر از پیکه هکتومتری، ترسیم شده توسط روش ابتکاری

خاکریزی در مناطق جنگلی کوهستانی باید شکل دامنه زمین نیز در نظر گرفته شود تا برآوردها به واقعیت نزدیک‌تر باشند و بتوان با اتخاذ یک تصمیم صحیح در محل قرارگیری خط پروژه جاده، هزینه مربوط به عملیات خاکی جاده را کاهش داد. در تحقیق انجام شده توسط Aruga و همکاران (۲۰۰۵)، مسأله شیب طبیعی زمین مورد توجه قرار گرفت، اما این شیب در فواصل یک متری در نظر گرفته شد. با توجه به حساس بودن خط پروژه به تغییرات اندک، این مقدار فاصله‌گذاری می‌تواند کمتر (به عنوان مثال ۰/۱ متر در پژوهش پیش‌رو) هم در نظر گرفته شود. در پژوهش پیش‌رو،

حداقل زمان است. این مراحل کاری در روش متداول، به میزان قابل توجهی حتی برای عدد قرمز از پیش تعیین شده زمان‌بر است، در حالیکه روش ابتکاری قادر است این محاسبه مساحت را برای تمام فواصل از محل پیکه با دقتی برابر با روش متداول انجام دهد.

نتایج به دست آمده از اجرای روش ابتکاری در محیط MATLAB قابلیت زیاد برنامه در برآورد مساحت خاکبرداری و خاکریزی در فواصل ارتفاعی مختلف از مسیر هادی در زمان بسیار کوتاه را نشان داد. نتایج به دست آمده از بررسی عملکرد مدل نشان داد که مدل ابتکاری با ضریب تبیین ۰/۹۹ و میانگین مربعات خطای ۳/۵ قادر به برآورد دقیق مساحت است.

بحث

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مساحت به ازای اعداد قرمز متفاوت در مقاطع عرضی متفاوت نشان داد که شکل زمین در هر مقطع عرضی می‌تواند به شدت میزان مساحت خاکبرداری و خاکریزی را در فواصل ارتفاعی یکسان از محل پیکه تحت تأثیر قرار دهد. نتایج به دست آمده از تحقیق Jong (۱۹۹۸) و Jha و Schonfeld (۲۰۰۴) نیز مؤید این مطلب است. هرچه میزان شیب زمین طبیعی افزایش یابد، میزان مساحت خاکبرداری و خاکریزی در مواردی حتی تا چندبرابر افزایش می‌یابد. در محاسبه حجم خاکبرداری و

مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به قابلیت تغییرپذیری زیاد، این روش قادر است حتی با تغییر اصول طراحی جاده نیز با اطمینان مورد استفاده قرار گیرد.

در مجموع، براساس نتایج به دست آمده از پژوهش پیش رو می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مساحت خاکبرداری و خاکریزی در جنگل های کوهستانی به شدت تحت تأثیر شکل دامنه ها است.

- با توجه به حساسیت زیاد خط پروژه و تأثیر آن بر حجم عملیات خاکی و در نهایت هزینه های ساخت جاده، استفاده از مدل ابتکاری اندازه گیری مساحت با کاهش زمان محاسبه، امکان بررسی هزینه عملیات خاکی تعداد بی شماری از خطوط پروژه در مدت زمان بسیار کم و انتخاب بهترین پروفیل جاده را فراهم می کند.

- با توجه به این که روش ابتکاری ارائه شده منطبق بر اصول هندسی استاندارد احداث جاده های جنگلی است، اجرای این روش با وجود کاهش چشمگیر زمان محاسبات، به هیچ عنوان دقت محاسبه مساحت را کاهش نمی دهد. ویژگی اساسی برنامه تهیه شده در محیط MATLAB که هدف اصلی پژوهش پیش رو بود، این است که می تواند به عنوان بخشی از یک برنامه بهینه سازی طرح خط پروژه جاده جنگلی به کار رود و برخلاف روش مرسوم، گزینه های بی شمار ممکن خط پروژه را در مدت زمان کوتاهی ارزیابی کند.

References

- Aruga, K., Sessions, J. and Akay, A.E., 2005. Heuristic techniques applied to forest road profile. Japanese Forest Research, The Japanese Forest Society and Springer-Verlag Tokyo, 10: 83-92.
- Beasley, J., Dowsland, K., Glover, F., Manuel, L., Peterson, C., Reeves, C. and Soderberg, B., 1993. Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems. John Wiley and Sons, New York, 320p.
- Easa, S.M. and Mehmood, A., 2007. Establishing highway horizontal alignment to maximize design consistency. Canadian Journal of Civil

شیب دامنه خاکبرداری با یک شیب یکسان در نظر گرفته شد، در حالی که در مطالعه Aruga و همکاران (۲۰۰۵) شیب دامنه خاکبرداری تا محل برخورد با دامنه صخره ای با شیب ۱:۱/۰۳ و در ادامه با شیب ۱:۱/۰۵ ادامه می یافت. در نظر گرفتن شیب دامنه خاکبرداری در دو وضعیت ذکر شده، با وجود افزایش دقت برنامه، مطابق با معیارهای طراحی جاده در ایران نیست.

با توجه به صحت زیاد مساحت محاسبه شده توسط نرم افزار اتوکد، نتایج به دست آمده از روش ابتکاری با نتایج به دست آمده از روش متداول اتوکد مقایسه شد. نتایج روش ابتکاری دارای اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد با نتایج اتوکد نبود. به کارگیری روش ابتکاری با محاسبه مساحت به سهولت و در زمان کمتر، امکان تست تعداد نمونه های بیشتری از محل قرارگیری خط پروژه جاده را برای طراح فراهم می کند که این عمل در گام بعدی و در راستای برنامه بهینه سازی به طراحی خط پروژه جاده با دقت بیشتر، میزان حجم عملیات خاکی کمتر و در نهایت هزینه ساخت کمتر منجر می شود.

روش استفاده از برنامه ابتکاری به دلیل به کارگیری روابط ریاضی در محاسبه مساحت، در نظر گرفتن فاکتورهای مؤثر بیشتر و امکان تغییر شرایط و پارامترهای طراحی بر طبق سلیقه، اهداف و اولویت مورد نظر طراح تنها با اعمال تغییری کوچک در برنامه، از کارایی و نتیجه خوبی برخوردار است. در پژوهش پیش رو برای محاسبه مساحت مانند تحقیق Jha و Schonfeld (۲۰۰۴) از روش ذوزنقه ای استفاده شد که این روش به دلیل تقسیم مساحت زیر منحنی به ذوزنقه هایی با قاعده کوچک (که در پژوهش پیش رو این فاصله با تقسیم فاصله بین دو ترانشه جاده به ۵۰ قسمت مساوی تعیین شد)، نتایج بهتری را ارائه می کند.

در نهایت، روش برنامه نویسی ابتکاری در نرم افزار MATLAB پس از اعتبارسنجی با داده های اتوکد نشان داد که این روش نوین می تواند به عنوان مناسب ترین روش برای اندازه گیری مساحت خاکبرداری و خاکریزی در محل پیکه های هکتومتری و در فواصل ۰/۱ متر و حتی کمتر

- search embedded simulated annealing for the shortest route cut and fill problem. *Journal of the Operational Research Society*, 56(9): 816-824.
- Peyrov, S., Najafi, A. and Alavi, S.J., 2014. Prediction of forest roadway using artificial neural network and multiple linear regressions. *Journal of Forest Sustainable Development*, 1(3): 285- 296 (In Persian).
 - Prata, B.D.A., Nobre Jr, E.F. and Barroso, G.C., 2008. A stochastic colored petri net model to allocate equipments for earth moving operations. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13: 476-490.
 - Shi, J.J., 1999. A neural network based system for predicting earthmoving production. *Construction Management & Economics*, 17(4): 463-471.
 - Tam, C.M., Tong, T.K.L. and Tse, S.L., 2002. Artificial neural networks model for predicting excavator productivity. *Journal of Engineering Construction and Architectural Management*, 9(5-6): 446-452.
 - Zhang, H., 2008. Multi-objective simulation-optimization for earthmoving operations. *Automation in Construction*, 18(1): 79-86.
 - Engineering, 34(10): 1159-1168.
 - Fwa, T.F., Chan, W.T. and Sim, Y.P., 2002. Optimal vertical alignment analysis for highway design. *Journal of Transportation Engineering*, 128(5): 395-402.
 - Guo, S., Li, W., Lim, A. and Wang, F., 2005. The shortest route cut and fill problem in linear topological structure. *Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Applied Computing*, New York, USA, 13-17 Mar. 2005: 409-410.
 - Jha, M.K. and Schonfeld, P., 2004. A highway alignment optimization model using geographic information systems. *Transportation Research, Part A*, 38: 455-481.
 - Jong, J.C., 1998. Optimizing highway alignments with genetic algorithms. Ph.D. thesis, Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland, College Park, 250p.
 - Kang, M.W., Schonfeld, P. and Jong, J.C., 2007. Highway alignment optimization through feasible gates. *Journal of Advanced Transportation*, 41(2): 115-144.
 - Lee, Y. and Cheng, J.F., 2001. Optimizing highway grades to minimize cost and maintain traffic speed. *Journal of Transportation Engineering*, 127: 303-310.
 - Lim, A., Rodrigues, B. and Zhang, J., 2005. Tabu

A heuristic model for determining cut and fills areas for road designing in different offsets of ground cross section

R. Babapour¹, R. Naghdi^{2*}, I. Ghajar³ and S. Mozaffari⁴

1- Ph.D. Student Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran

2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran. E-mail: rnaghdi@guilan.ac.ir

3- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Some`eh Sara, Iran

4- B.Sc. Student, Faculty of Computer Science, University of Sharif, Tehran, Iran

Received: 16.03.2015

Accepted: 23.08.2015

Abstract

Earthwork operation is a complicated part in forest road construction that accounts for ca. 25% of the associated costs. Thus, accurate forest road profile planning is an important factor of determining earthwork volume. Planning a profile design with the aim of minimizing earthwork volumes entails a computer program that is capable to calculate earthwork area in different intervals of every cross section. The aim of this study was to incorporate ground shape at cross sections as a first step of determining an optimal vertical alignment of forest roads. First, AutoCAD was used to calculate the exact extensions of cut and fill areas in 1m intervals at every 275 cross sections as a witness sample. Then cross sections with different slopes were investigated by means of MATLAB heuristic programming. The accuracy of results was validated by AutoCAD. Paired sample T-Test was used for comparing the results of the suggested method against the commonly used method. The results revealed a good performance of the suggested method, which not only reduced computational burden but also keep the design's rectitude constantly by $R^2=0.99$. The flexibility of the MATLAB heuristic programming makes it a powerful tool in rapid redesigning of new road standards.

Keywords: Forest road, earthwork volume, cut and fill, red number, MATLAB heuristic programming.