فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۴ شماره ۲، صفحه ۱۹۹-۱۸۹، (۱۳۹۵)

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: rnaghdi@guilan.ac.ir
۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
۴- دانشجوی کارشناسی، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه شریف، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۰۱

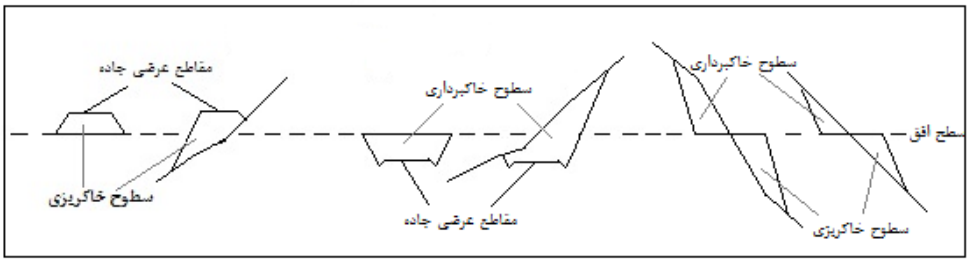
چکیده

عملیات خاکی جاده‌های جنگلی مهم‌ترین مرحله ساخت جاده است که بخش قابل توجهی از هزینه‌های ساخت جاده را به‌خود اختصاص می‌دهد. در این میان طراحی هوشمندانه خط پروژه جاده جنگلی تأثیر مهمی در میزان حجم عملیات خاکی دارد. برای تولید برنامه‌ای رایانه‌ای به‌منظور 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 درنظر 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

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 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).



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)

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، به‌دلیل تغییر سطح عملیات خاکی در نتیجه تغییر عدد قرمز در محل هر پیکه، پیش از آنکه بتوان روشی را برای بهینه‌سازی طرح خط پروژه ارایه 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، ارایه روشی که هم بتواند سطح خاکبرداری و خاکریزی را با دقت قابل قبول محاسبه کند و هم بتواند 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، به‌خصوص 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 *et al.*, 2005; Prata *et al.*, 2008). پس از گسترش استفاده از روش‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی حجم عملیات خاکی (Zhang, 2008)، در ادامه از روش‌های نوینی مانند شبکه عصبی نیز برای این منظور استفاده شد (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

برخوردار بوده است. در برخی مطالعات انجام‌شده در زمینه کمینه‌سازی 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 ذوزنقه (Trapezoidal) (Jha & Schonfeld, 2004) و مساحت سطوح انتهایی (End area) (Jong, 1998) استفاده می‌شود. در روش ذوزنقه، فضای محصور بین دو سطح (برای محاسبه حجم) یا دو خط (برای محاسبه سطح) به ذوزنقه‌هایی با قاعده برابر تقسیم می‌شود که سطح یا حجم این ذوزنقه‌های 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 درنظر 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 ذوزنقه هرچند پیچیده‌تر است، اما نتیجه دقیق‌تری ارایه 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 درنظر 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 ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی از الگوریتم ابتکاری برای تعیین محل استقرار خط پروژه جاده استفاده کردند.

پژوهش پیش‌رو درنظر 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 ارایه 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

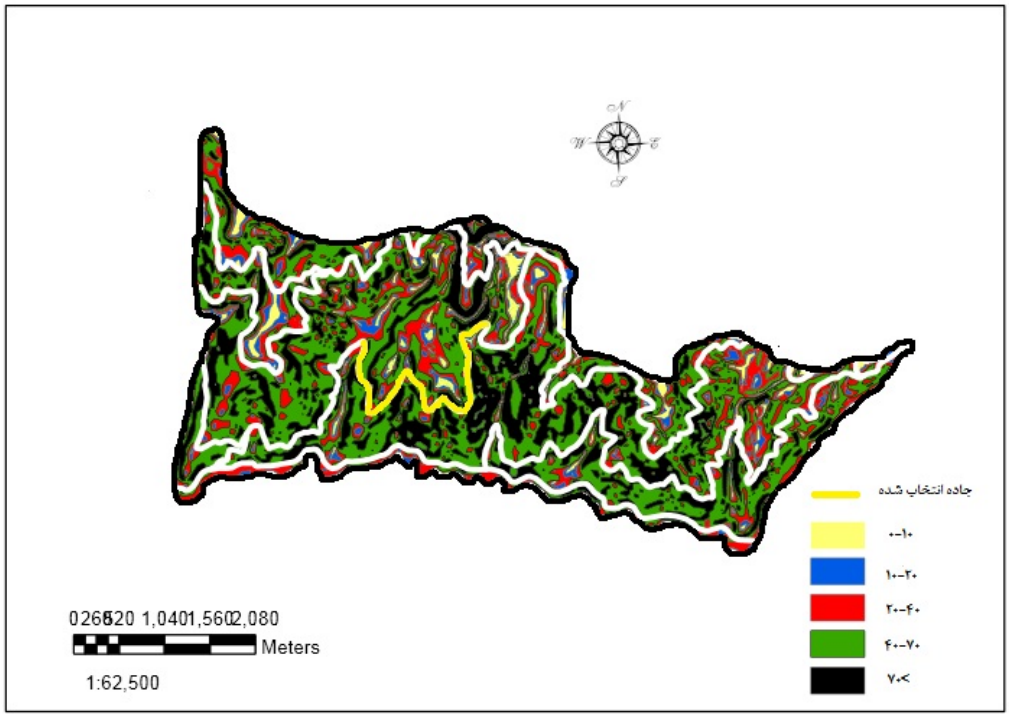
منطقه مورد مطالعه

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 ´´۴۳ ´۵ °۴۸ تا ´´۱۵ ´۵ °۴۹ و عرض‌های جغرافیایی ´´۴۰ ´۳۲ °۳۷ تا ´´۴۱ ´۳۴ °۳۷ واقع شده است.

جدول ۱- درصد عبور جاده انتخابی از طبقه‌های مختلف شیب

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

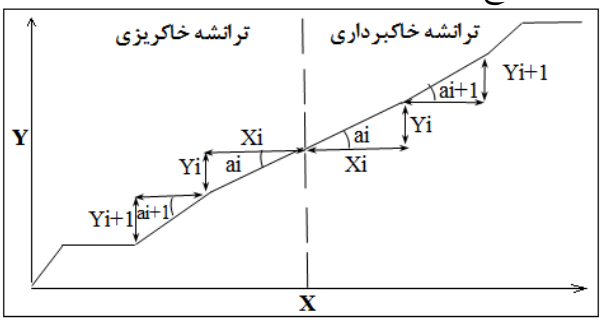


شکل ۲- نقشه شیب و موقعیت جاده در آن

روش پژوهش

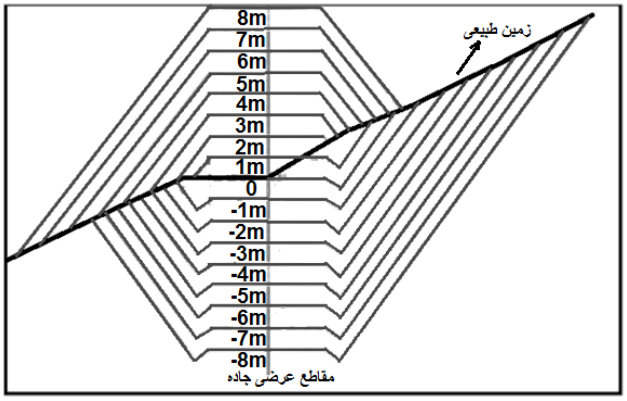
محاسبه سطوح عملیات خاکی با استفاده از اتوکد

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**)

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



شکل ۴- مقاطع عرضی جاده ترسیم‌شده بر روی یک پیکه در فواصل یک‌متری در نرم‌افزار 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 می‌شود. سپس مقطع عرضی زمین مربوط به هر پیکه در محیط اتوکد ترسیم می‌شود و براساس میزان عدد قرمز مربوط به آن پیکه، مقطع عرضی جاده ترسیم می‌شود. پس از ترسیم مقطع عرضی جاده و مقطع عرضی زمین طبیعی، مساحت محصورشده بین دو مقطع (که شامل مساحت خاکبرداری یا خاکریزی یا هر دو است) با دقت توسط دستور area محاسبه می‌شود.

رابطه (۱)

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

رابطه (۲)

$$y = \frac{y(i+1) - y(i)}{x(i+1) - x(i)}(x - x(i)) + y(i)$$

۲- تعریف شکل مقاطع عرضی جاده: با توجه به این‌که مساحت عملیات خاکی در نقشه‌های اتوکد در فواصل یک‌متری از محل پیکه و تا هشت متر بالاتر و پایین‌تر از محل پیکه اندازه‌گیری شده بود، یک‌بار برنامه ابتکاری برای

روش ابتکاری

در این مرحله، به‌منظور 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 نرم‌افزار اتوکد اندازه‌گیری شده بود، برای هرکدام از پاره‌خط‌های پنج‌گانه تشکیل‌دهنده دامنه‌های کناری زمین در دو سوی هر پروفیل عرضی، از رابطه ۱ به‌دست آمد:

$$x = \frac{y}{\tan(\alpha)}$$

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

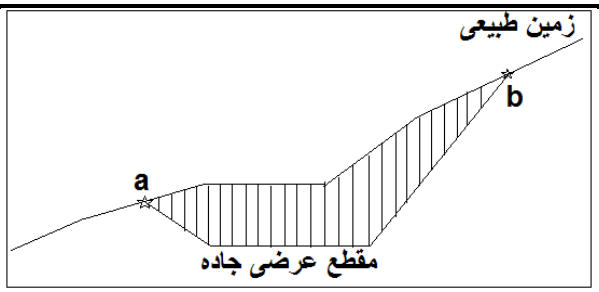
فواصل یک‌متری و با شیب ترانشه خاکبرداری h/d=۱/۳۳ و ترانشه خاکریزی h/d=۱/۲۵ در ۸± متری پیکه برای تعریف شکل مربوط به مقطع عرضی جاده تهیه شد. از آنجایی‌که این برنامه در راستای محاسبه حجم عملیات خاکی برای

طراحی خط پروژه به‌کار خواهد رفت، برای افزایش دقت طراحی پروفیل جاده، برنامه یک‌بار هم در فواصل ۰/۱ متری برای ۴/۸± متر از محل پیکه، براساس استاندارد سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور (جدول ۲) تهیه شد.

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

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



شکل ۵- استفاده از روش ذوزنقه برای محاسبه مساحت خاکبرداری

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 ارایه‌شده در این پژوهش از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا ($RMSE$) استفاده شد (رابطه‌های ۳ و ۴):

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

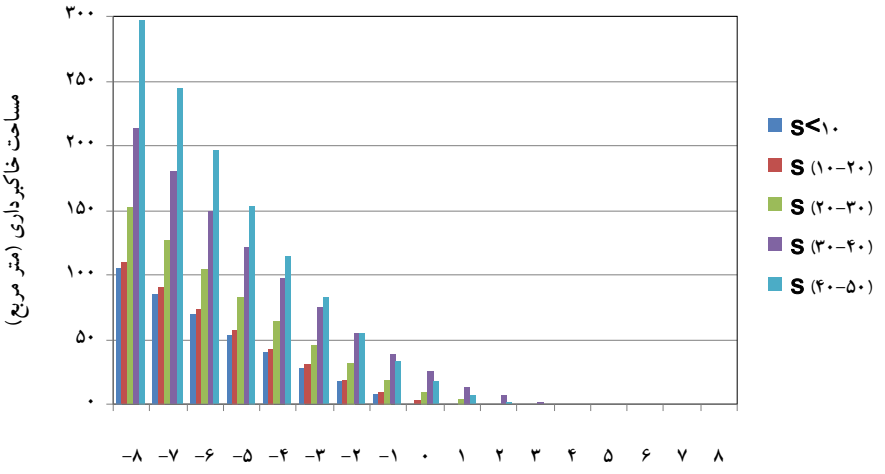
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i^o - X_i^p)^2} \qquad \text{رابطه (۴)}$$

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

نتایج

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 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).



شکل ۶- تأثیر شیب دامنه بر مساحت خاکبرداری

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

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

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

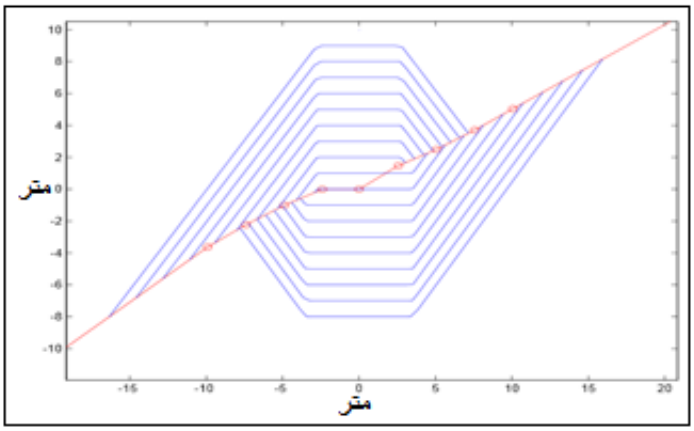
^{ns} غیرمعنی‌دار

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

حداقل زمان است. این مراحل کاری در روش متداول، به میزان قابل توجهی حتی برای عدد قرمز از پیش تعیین‌شده 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 به‌دست‌آمده 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 به‌دست‌آمده 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.

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 به‌دست‌آمده از برنامه‌نویسی MATLAB و مقایسه آن با نتایج روش متداول که در فواصل یک‌متری 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=۱/۳۳، نتایج برای فواصل یک‌متری و طبق استانداردهای موجود در نقشه‌های اتوکد محاسبه شد (شکل ۷).



شکل ۷- مقاطع عرضی جاده در فواصل یک‌متری تا ۸± متر از پیکه هکتومتری، ترسیم‌شده توسط روش ابتکاری

بحث

نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری مساحت به‌ازای اعداد قرمز متفاوت در مقاطع عرضی متفاوت نشان داد که شکل زمین در هر مقطع عرضی می‌تواند به‌شدت میزان مساحت خاکبرداری و خاکریزی را در فواصل ارتفاعی یکسان از محل پیکه تحت تأثیر قرار دهد. نتایج به‌دست‌آمده 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 خاکریزی در مناطق جنگلی کوهستانی باید شکل دامنه زمین نیز درنظر 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 انجام‌شده توسط Aruga و همکاران (۲۰۰۵)، مسأله شیب طبیعی زمین مورد توجه قرار گرفت، اما این شیب در فواصل یک‌متری درنظر گرفته شد. با توجه به حساس بودن خط پروژه به تغییرات اندک، این مقدار فاصله‌گذاری می‌تواند کمتر (به‌عنوان مثال ۰/۱ متر در پژوهش پیش‌رو) هم درنظر گرفته شود. در پژوهش پیش‌رو،

شیب دامنه خاکبرداری با یک شیب یکسان درنظر گرفته شد، در حالی‌که در مطالعه Aruga و همکاران (۲۰۰۵) شیب دامنه خاکبرداری تا محل برخورد با دامنه صخره‌ای با شیب ۱:۱/۰۳ و در ادامه با شیب ۱:۱/۰۵ ادامه می‌یافت. درنظر گرفتن شیب دامنه خاکبرداری در دو وضعیت ذکرشده، با وجود افزایش دقت برنامه، مطابق با معیارهای طراحی جاده در ایران نیست.

با توجه به صحت زیاد مساحت محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار اتوکد، نتایج به‌دست‌آمده از روش ابتکاری با نتایج به‌دست‌آمده از روش متداول اتوکد مقایسه شد. نتایج روش ابتکاری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد با نتایج اتوکد نبود. به‌کارگیری روش ابتکاری با محاسبه مساحت به سهولت و در زمان کمتر، امکان تست تعداد نمونه‌های بیشتری از محل قرارگیری خط پروژه جاده را برای طراح فراهم می‌کند که این عمل در گام بعدی و در راستای برنامه بهینه‌سازی به طراحی خط پروژه جاده با دقت بیشتر، میزان حجم عملیات خاکی کمتر و درنهایت هزینه ساخت کمتر منجر می‌شود.

روش استفاده از برنامه ابتکاری به‌دلیل به‌کارگیری روابط ریاضی در محاسبه مساحت، درنظر 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 پیش‌رو برای محاسبه مساحت مانند تحقیق Jha و Schonfeld (۲۰۰۴) از روش ذوزنقه‌ای استفاده شد که این روش به‌دلیل تقسیم مساحت زیر منحنی به ذوزنقه‌هایی با قاعده کوچک (که در پژوهش پیش‌رو این فاصله با تقسیم فاصله بین دو ترانشه جاده به ۵۰ قسمت مساوی تعیین شد)، نتایج بهتری را ارایه می‌کند.

درنهایت، روش برنامه‌نویسی ابتکاری در نرم‌افزار MATLAB پس از اعتبارسنجی با داده‌های اتوکد نشان داد که این روش نوین می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای اندازه‌گیری مساحت خاکبرداری و خاکریزی در محل پیکه‌های هکتومتری و در فواصل ۰/۱ متر و حتی کمتر 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.

درمجموع، براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

– مساحت خاکبرداری و خاکریزی در جنگل‌های کوهستانی به‌شدت تحت تأثیر شکل دامنه‌ها است.

– با توجه به حساسیت زیاد خط پروژه و تأثیر آن بر حجم عملیات خاکی و درنهایت هزینه‌های ساخت جاده، استفاده از مدل ابتکاری اندازه‌گیری مساحت با کاهش زمان محاسبه، امکان بررسی هزینه عملیات خاکی تعداد بی‌شماری از خطوط پروژه در مدت زمان بسیار کم و انتخاب بهترین پروفیل جاده را فراهم می‌کند.

– با توجه به این‌که روش ابتکاری ارایه‌شده منطبق بر اصول هندسی استاندارد احداث جاده‌های جنگلی است، اجرای این روش با وجود کاهش چشمگیر زمان محاسبات، به‌هیچ عنوان دقت محاسبه مساحت را کاهش نمی‌دهد. ویژگی اساسی برنامه تهیه‌شده در محیط MATLAB که هدف اصلی پژوهش پیش‌رو بود، این است که می‌تواند به‌عنوان بخشی از یک برنامه بهینه‌سازی طرح خط پروژه جاده جنگلی به‌کار رود و برخلاف روش مرسوم، گزینه‌های بی‌شمار 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

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 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.

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

R. Babapour[1], R. Naghdi[2*], I. Ghajar[3] and S. Mozaffari[4]

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.