DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2016.107282

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۲، صفحهٔ ۳۲۳-۳۱۳، (۱۳۹۱)

برآورد سهم صخره و سنگ در خاکبرداری جاده‌های جنگلی با استفاده از رگرسیون لجستیک رتبه‌ای و فرایند تحلیل سلسله مراتبی

اسماعیل قجر[۱]، اکبر نجفی[۲*]، سیدعلی ترابی[۳] و کوین باستن[٤]

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲*- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور. پست الکترونیک: a.najafi@modares.ac.ir
۳- دانشیار، دانشکده فنی دانشگاه تهران
٤- دانشیار، گروه مهندسی جنگل، دانشگاه ایالتی اورگان، کوروالیس، ایالات متحده آمریکا
تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۳

چکیده

در عملیات جاده‌سازی نسبت سنگ موجود در خاک به‌طور مستقیم روی قیمت هر مترمکعب خاکبرداری تأثیر می‌گذارد. بنابراین ایجاد یک چارچوب برای برآوردی قابل اعتماد از سهم سنگ پیش از طراحی شبکه جاده می‌تواند به مسیرهای با خاکبرداری آسانتر و در نتیجه کم‌هزینه‌تری منجر شود. هدف پژوهش حاضر آن است که با استفاده از ماهیت رتبه‌ای تقسیم‌بندی مسیر به درجات سختی مختلف توسط کارشناسان بخش اجرا، سهم سنگ در خاک را به‌عنوان تابعی از شیب عرصه و نوع سنگ بستر با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک رتبه‌ای معرفی نماید. به‌این‌منظور، واحدهای زمین‌شناسی به‌وسیله فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارزش‌دهی و به‌همراه عامل شیب وارد مدل شدند. برای بررسی اثر تغییر تابع اتصال در قدرت برازش مدل، پنج نوع تابع اتصال بکار گرفته شد. بهترین نتیجه مربوط به تابع Probit بود که بالاترین ضریب تشخیص را به‌همراه نتیجه مطلوب آزمون خطوط موازی ارائه نمود. برای نشان دادن قابلیت بکارگیری روش پیشنهادی برای پهنه‌بندی سهم سنگ، مدل ساخته شده در بخشی از جنگلهای کوهستانی شمال ایران پیاده‌سازی شد.

واژه‌های کلیدی: شبکه جاده جنگلی، هزینه‌های خاکبرداری، برون‌زدگیهای سنگی، دامنه سنگلاخی.

مقدمه

برآورد سهم سنگ موجود در خاک مورد عمل برای جاده‌سازی به‌عنوان یکی از مراحل مهم در مرحله پیش از طراحی شبکه جاده جنگلی می‌تواند مورد توجه باشد. همه طراحان و پیمانکاران ترجیح می‌دهند تا جاده را در عرصه‌های با حداقل سنگ‌برداری و در نتیجه با هزینه کمتر خاکبرداری طراحی و احداث نمایند. اما محاسبه دقیق نسبت سنگ در خاک پیش از آنکه خاکبرداری آغاز شود کاری بسیار دشوار و تا اندازه‌ای غیرمنطقی است. پژوهش‌هایی درباره طبقه‌بندی توده‌های سنگ در جهان انجام شده است (Hoek & Bray, 1981; Goodman, 1989; Pettifer & Fookes, 1994). این پژوهش‌ها، اطلاعات عددی و رهنمودهایی را برای اهداف مهندسی بخصوص برای تونل‌سازی و خاکبرداریهای زیرزمینی دربردارند. سیستم طبقه‌بندی توده سنگ Q (Barton *et al.*, 1974)، براساس آنالیزهای انجام شده بر روی ۲۱۲ تونل حفاری شده در اسکاندیناوی تولید شد. سیستم طبقه‌بندی Q براساس مقدارهای کمی بوده و بر پایه سیستم مهندسی خود سبب سهولت طراحی ساپورت برای تونل‌ها می‌شود. ارزش‌گذاری توده سنگ (Rock Mass

Rating: RMR) یک روش ژئومکانیک برای طبقه‌بندی توده سنگ است (Bieniawski, 1975). در این روش براساس شش عامل مقاومت فشاری مواد سنگی، طراحی کیفیت سنگ، شرایط آب زیرزمینی، و شرایط جهت و فاصله ناپیوستگیها پیمایش صحرایی انجام می‌شود و به‌طور نظری به هر یک از عوامل ذکر شده عددی اختصاص می‌یابد. سپس براساس یک جدول طبقه‌بندی، توده سنگ مورد نظر به طبقه‌های خیلی ضعیف تا خیلی خوب تقسیم‌بندی می‌شود. ضعف اساسی در سیستم‌های ذکر شده آن است که رخساره‌های محلی زمین‌شناسی و ویژگیهای سنگ‌ها در آنها را در نظر نمی‌گیرند و به‌وسیله یک وزن ثابت به‌ازای هر عامل ساخته شده‌اند (Liu & Chen, 2007). در ارتباط با مدل‌سازی برآورد سهم سنگ به‌منظور هزینه‌یابی ساخت جاده جنگلی پژوهش‌هایی انجام شده است (Inaba *et al*., 2001; Stuckelberger *et al*., 2006). در همه پژوهش‌های پیشین سهم سنگ به‌عنوان تابعی از شیب و ساختارهای زمین‌شناسی معرفی شده است و اطلاعات این دو عامل به‌عنوان اساسی‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل در میزان حضور سنگ در خاک در مدل‌ها به‌شمار آمده‌اند. Inaba *et al*. (2001) یک مدل عددی برای تخمین حجم سنگ‌برداری برای جاده جنگلی تولید کردند، به این ترتیب که یک ضریب ثابت را برای هر واحد زمین‌شناسی در نظر گرفتند و آن را به‌همراه شیب و عرض جاده به‌عنوان ورودی مدل استفاده کردند. Stuckelbereger *et al*. (2006) مدل Inaba *et al*. (2001) و ضریب‌های پیشنهادی آن را برای برآورد سهم سنگ‌برداری به‌عنوان بخشی از هزینه خاکبرداری در ساخت جاده بکار بردند. اما در نظر گرفتن یک ضریب ثابت برای هر ساختار زمین‌شناسی بدون توجه به شرایط تکامل فیزیکی متفاوت و شرایط محلی ممکن است منجر به برآوردهای نادرست شود. روش عملی بخش اجرا در ایران آن است که پس از بازدید مسیرهای پیشنهادی توسط کارشناس، مسیر جاده به سه طبقه نرم، سخت و سنگی با هزینه‌های متفاوت خاکبرداری تقسیم می‌شود. در واقع از نوعی رتبه‌بندی برای تشریح میزان دشواری عملیات خاکی و برآورد قیمت پایه در مناقصه‌ها استفاده می‌شود (Anonymous, 2008).

بنا بر واقعیت‌های موجود در بخش اجرا و لزوم داشتن اطلاعات درست درباره حفرپذیری خاک در ناحیه مورد نظر برای طراحی و ساخت جاده، ارائه مدلی که از نظر فنی، اساس محاسباتی قابل اعتماد و همچنین در عرصه جنگل توسط کارشناسان عملی باشد، نخستین گام برای تحقق یک طراحی هوشمند جاده جنگلی و ساخت آسان‌تر آن می‌باشد. غیر از تکنیک‌های محاسبات نرم که انعطاف بیشتری در رویارویی با انواع داده‌ها دارند، روشهای مرسوم مدل‌سازی و بهینه‌سازی به‌ویژه هنگامی کارایی دارند که انتخاب هر روش متناسب با نوع داده‌ها و روابط بین آنها، خطی یا غیر خطی بودن فضای مسئله و نحوه پراکنش داده‌ها باشد.

رگرسیون‌های خطی تعمیم یافته (لجستیک) برای مدل کردن روابط بین یک متغیر وابسته گسسته (باینری، رتبه‌ای، اسمی) و چند متغیر مستقل (پیوسته یا گسسته) استفاده می‌شود. با استفاده از این روش اثر متغیرهای مستقل (X_i) روی احتمال اینکه متغیر وابسته (Y) متعلق به یک طبقه باشد اندازه‌گیری می‌شود. در این میان رگرسیون لجستیک رتبه‌ای هنگامی استفاده می‌شود که متغیر وابسته در یک مقیاس رتبه‌ای باشد (Hosmer & Lemeshow, 2000). بعکس رگرسیون خطی که در آن، متغیر وابسته، عددی است و روند تغییرات در سطوح متغیر وابسته در تمام دامنه آن به یک اندازه است، در رگرسیون رتبه‌ای اختلاف ارزش بین طبقات مختلف در یک مقیاس معین نیست. از این نظر می‌توان نوع تحلیل در رگرسیون رتبه‌ای را هر چند از منطق ریاضیات کلاسیک استفاده می کند، نزدیک به سیستم‌های استنتاج فازی

دانست که در آن مرز و تعریف مشخصی بین طبقات مختلف متغیرها نمی‌توان قائل بود. به‌عبارت دیگر هنگامی‌که برآورد یک متغیر رتبه‌ای مورد توجه است روش‌های محاسبات قطعی که شالوده ریاضیات کلاسیک است تا حد زیادی جای خود را به اصول احتمال و شانس تعلق یک نمونه به یک طبقه از متغیر خروجی می‌دهد.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process: AHP) (Saaty, 1980)، یکی از مشهورترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری است که به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک چارچوب جامع برای رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف مورد نظر در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر این روش برای ارزش‌گذاری واحدهای زمین‌شناسی با توجه به عامل مقاومت در برابر عملیات خاکی استفاده شده است. به‌عنوان یک پژوهش نسبتاً مشابه، Liu & Chen (2007) با استفاده از AHP و تکنیک فازی دلفی (FDM) (Kaufmann & Gupta, 1988) کیفیت توده‌های سنگ را در منطقه‌ای شیبدار در تایوان برآورد کردند و میزان پایداری را با استفاده از آنالیز تشخیص خطی (LDA) طبقه‌بندی کردند.

این پژوهش روشی را پیشنهاد می‌کند که با ترکیب روش‌های AHP و رگرسیون لجستیک مدلی براساس دانش کارشناسی برای برآورد سهم صخره و سنگ در خاک تولید نماید. به‌عنوان یک پژوهش موردی مدل ساخته شده برای پهنه‌بندی سهم سنگ در یک جنگل کوهستانی در شمال ایران بکار گرفته می‌شود. تاکنون پژوهشی که اندازه سنگی بودن خاک را برای عملیات جاده‌سازی برآورد نماید در داخل کشور گزارش نشده است.

مواد و روشها

منطقه مورد پژوهش و روش جمع‌آوری داده‌ها

پژوهش حاضر در سری‌های ۲، ۳، ٤ و ٥ جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس بین طول‌های″۳۷ ′٤۰ °۵۱ و ″۳٦ ′۵۱ °۵۱ شرقی و عرض‌های ″۰۸ ′۲۹ °۳٦ و ″۳۳ ′۳٤ °۳٦ شمالی انجام شده است. دامنه ارتفاعی منطقه بین ۲- و ۲۲۰٦ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. طبقات شیب و درصد مساحت آنها به‌صورت ۱۰-۰ (٦/۳ درصد)، ۲۵-۱۰ (۲۱/٦ درصد)، ٤۵-۲۵ (۳۱/٦ درصد)، ۷۰-٤۵ (۲۲/۳ درصد) و ۷۰< (۱۸/۲ درصد) می‌باشد. سه گروه، تشکیلات زمین‌شناسی و هشت نوع واحد زمین‌شناسی موجود در منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد پژوهش (Anonymous, 2011)

توضیحات	نماد اختصاری	دوره	دوران (گروه)
سنگ آهک اوربیتولین‌دار و شیل آهکی	K_1^1	کرتاسه	مزوزوئیک
سنگ آهک، سنگ آهک مارنی، و ماسه‌سنگ آهکی	K_2^1		
سنگ آهک، مارن، مارن آهکی و مارن سیلتی	K_2^{ml}		
شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک	$R_3^{sh,1}$	تریاس	
سنگ آهک دولومیتی ضخیم، ماسه‌سنگ و دولومیت	R_2^{dl}		
سنگ آهک گچی، شیل آهکی	P_n	پرمین	پالئوزوئیک
دولومیت و سنگ آهک ضخیم، سنگ آهک فوزولین‌دار	P_r		
رسوبات آبرفتی کف رودخانه	Q^{al}	کواترنری	سنوزوئیک

روش انجام پژوهش

به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، کلیه واحدهای زمین‌شناسی منطقه و جاده‌های ساخته‌شده روی آنها بررسی، به‌وسیله GPS برداشت و در محیط Arc GIS 9.3 نقشه‌سازی شدند تا مکان دقیق جمع‌آوری داده‌ها به‌نحوی که کلیه واحدهای زمین‌شناسی و طبقه‌های شیب منطقه را پوشش دهد معین شود. ترانشه‌های خاکبرداری که نماینده سهم صخره و سنگ در یک ساختار مشخص زمین‌شناسی می باشند به فواصل ۱۰ متری تقسیم و ثبت اطلاعات مربوط درصد شیب زمین طبیعی، نوع سنگ بستر به‌عنوان ورودی مدل و میزان صخره و سنگ همانند آنچه که در ادارات مهندسی (ادارات کل منابع طبیعی) به مورد اجرا گذاشته می‌شود به‌عنوان خروجی مدل و با نظر کارشناسی انجام شد. در مجموع ۱۳۰ نمونه جمع‌آوری شد. این واحدهای زمین‌شناسی به‌منظور کمی‌سازی و ورود به مدل، به‌وسیله فرایند تحلیل سلسله مراتبی برحسب دشواری عملیات خاکی توسط کارشناسان زمین‌شناسی اولویت‌بندی و اولویت‌های نهایی در محیط نرم‌افزار Super Decision ver. 1.6.0 مشخص شدند. واحدهایی که دشواری کمتری در مقابل عملیات خاکی از خود نشان می‌دهند، ارجحیت بیشتری در این ارتباط دارند.

رگرسیون لجستیک رتبه‌ای

هنگامی که متغیر وابسته به‌صورت پاسخ‌های رتبه‌ای باشد مدل‌های رگرسیون چند اسمی (Multinomial) درست کار نمی‌کند و برآوردهای کارآمدی را ارائه نمی‌کنند (Amemiya, 1985). این مدل‌ها تنها با فرض اینکه متغیر وابسته غیررتبه‌ای است کار می‌کنند. به طریق مشابه هنگامی که پاسخ‌های رتبه‌ای باید برآورد شوند رگرسیون خطی که تنها با فرض فاصله‌ای بودن مقیاس شاخص خروجی کار می‌کنند عملکرد مناسبی نخواهد داشت. برای مدل‌سازی چنین داده‌هایی که موضوع تحقیق حاضر نیز می‌باشد گزینه مناسب، نوعی مدل خطی تعمیم‌یافته با عنوان رگرسیون لجستیک رتبه‌ای می‌باشد که در آن یک متغیر وابسته Y که به‌وسیله اعداد صحیح طبقه‌بندی شده است، به‌عنوان تابعی از یک بردار X از متغیرهای مستقل (Covariates) مدل می‌شود (Anonymous, 2007).

با این روش یک معادله جداگانه برای هر طبقه از متغیر وابسته رتبه‌ای می‌تواند ساخته شود. هر معادله یک احتمال را برای بودن در طبقه مورد نظر یا هر طبقه پایین‌تر پیش‌بینی می‌کند. شکل کلی مدل رگرسیون لجستیک رتبه‌ای به‌صورت رابطه ۱ است.

$$link(\gamma_{ij}) = \theta_j - [\beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_p x_{ip}] \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن *link ()*: تابع اتصال (شانس اینکه i امین نمونه در j امین طبقه قرار گیرد)، γ_{ij}: احتمال تجمعی j امین طبقه برای i امین نمونه، θ_j: مقدار آستانه برای j امین طبقه، p: تعداد ضریب‌های رگرسیونی، $x_{i1} \ldots x_{ip}$: ارزش‌های پیش‌بینی شده برای i امین نمونه و $b_1 \ldots b_p$: ضریب‌های رگرسیون می باشند.

شکل تابع برای پژوهش حاضر که دو متغیر ورودی نوع سنگ بستر و درصد شیب در آن وجود دارد به‌صورت رابطه ۲ می‌باشد.

$$Pr_j = link(\gamma_{ij}) = \theta_j + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} \quad \text{رابطه ۲}$$

تابع‌های اتصال (link function) مورد استفاده در این تحقیق پنج تابع مشهور Logit، Probit، Complementary log-log (Cloglog)، Cauchit و Negative log-log (Nloglog) می‌باشند. به‌منظور ارزیابی قدرت پیش‌بینی مدل سه ضریب تشخیص تقریبی (McFadden, 1974; Cox & Snell, 1989; Nagelkerke, 1991)، دو ضریب همبستگی (Pearson و Deviance) و آماره‌های معنی‌داری رگرسیون و آزمون خطوط موازی انجام می‌شود. مدلی که در نهایت بالاترین شاخص‌های ذکر شده را ارائه دهد دارای قدرت برازش بالاتری است و به‌عنوان مدل بهینه برای پیش‌بینی سهم صخره و سنگ در منطقه مورد پژوهش استفاده خواهد شد. به این ترتیب مقدار رابطه خطی ۲ برای هر طبقه متغیر خروجی و برای هر نمونه محاسبه و حاصل آن در تابع اتصال بهینه قرار می‌گیرد تا احتمال تجمعی آن نمونه در طبقه مورد نظر بدست آید.

احتمال اختصاص هر نمونه (نقطه) به طبقه‌های سه‌گانه سختی ρ_1، ρ_2 و ρ_3 به‌وسیله رابطه‌های ۳، ٤ و ٥ قابل محاسبه است.

$$\rho_1 = f(Pr_1) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\rho_2 = f(Pr_2) - f(Pr_1) \quad \text{رابطه ٤}$$

$$\rho_3 = 1 - \rho_1 - \rho_2 = 1 - f(Pr_2) \quad \text{رابطه ٥}$$

طبقه‌ای که نمونه در آن از بیشترین بخت حضور برخوردار است به‌عنوان خروجی مدل برای نمونه مورد نظر، به‌حساب می‌آید.

آزمون خطوط موازی برای ارزیابی این فرض که «شاخص‌ها (ضریب‌های متغیرهای مستقل) برای تمام طبقات یکسان باشد معقولانه است» بکار می‌رود (Brant, 1990). این آزمون مدل برآوردی با یک مجموعه از ضرایب برای تمام طبقات را با یک مدل با یک مجموعه جداگانه از ضریب‌ها برای هر طبقه مقایسه می‌کند. هرگاه ضریب‌های مدل در طول طبقات متغیر وابسته، یکسان باشند نشان‌دهنده این مسئله است که تابع اتصال یا مدل درست انتخاب شده است. نرم‌افزار SPSS ver. 16 برای انجام محاسبات ذکرشده مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج

جدول ۲ نتایج فرایند تحلیل سلسله مراتبی را برای اولویت‌بندی هشت ساختار زمین‌شناسی منطقه با توجه به کمترین دشواری عملیات خاکی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشهود است ساختار Q^{al} کمترین، و ساختار R_2^{dl} بیشترین دشواری را در ارتباط با انجام عملیات خاکی از خود بروز می‌دهند.

جدول ۲- ارجحیت‌های نهایی واحدهای زمین‌شناسی با توجه به کمترین دشواری در برابر عملیات خاکی

واحدهای زمین‌شناسی	ارجحیت‌های AHP
Q^{al}	۰/۳۱۵
P_n	۰/۲۳٤
K_2^{ml}	۰/۱٦۸
$R_3^{sh,1}$	۰/۱۰٦
K_2^1	۰/۰۷۱
P_r	۰/۰٤۷
K_1^1	۰/۰۳۲
R_2^{dl}	۰/۰۲۳

CI = ۰/۰۲٦٦<۰/۱

نتایج مربوط به آماره‌های مجذور خی پیرسون و دویانس نشان می‌دهند که داده‌ها با پیش‌بینی‌های کلیه مدل‌ها سازگار هستند و از این نظر همه مدل‌ها قابل قبول هستند (جدول ۳).

نتایج آزمون خطوط موازی نشان داد که ضرایب کلیه مدل‌ها به جز Cauchit در طول طبقه‌های متغیر وابسته، یکسان است که نشان‌دهنده این مسئله است که تابع اتصال یا مدل درست انتخاب شده است.

بهترین نتایج ضریب‌های تشخیص مربوط به دو تابع

Probit وCloglog بوده است (جدول ۳). پیش‌بینی‌های اولیه مدل Cloglog نشان داد که این مدل کلیه داده‌ها را در دو طبقه سختی (۱ و ۳) قرار می‌دهد که با توجه به نوع کاربرد این مدل و طبقات سه‌گانه بخش اجرا، قابل استفاده نمی‌باشد. اما نتایج مربوط به تابع Probit انعطاف و تغییرپذیری بیشتری را در پیش‌بینی سهم سنگ از خود بروز داد که بنابراین به‌عنوان مدل بهینه برای تشکیل رابطه خطی محاسبه احتمالات تجمعی (روابط ٦ و ٧) انتخاب شد.

رابطه‌های خطی محاسبه احتمالات تجمعی طبقه‌های مختلف متغیر خروجی (سهم سنگ) برای تابع بهینه به‌صورت رابطه‌های ٦ و ٧ می‌باشد.

جدول ۳- نتایج بکارگیری توابع مختلف در ساخت مدل لجستیک رتبه‌ای سهم سنگ

منابع	تابع‌های اتصال				
	Logit	Probit	Cloglog	Nloglog	Cauchit
معنی‌داری رگرسیون	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
آماره Pearson	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
آماره Deviance	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
آماره Cox & Snell	۰/۷۰۲	۰/۷۷٤	۰/۷۷٤	۰/۸۰۳	۰/٦٨٦
آماره Nagelkerke	۰/۸۹۳	۰/۹۸٥	۰/۹۸٥	۰/۸۹٤	۰/۸۷۲
آماره McFadden	۰/۷۸٦	۰/۹٦٤	۰/۹٦٤	۰/۷۸۷	۰/۷٥۱
آزمون خطوط موازی (sig.)	۰/٥۷۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/٥۲٥	۰/٤۷۹

رابطه ٦
$$Pr_1 = Probit(Y \leq 1) = 10.624 - 37.616 \times G + 0.055 \times S$$

رابطه ۷
$$Pr_2 = Probit(Y \leq 2) = 12.229 - 37.616 \times G + 0.055 \times S$$

که در آنها G: ارزش بدست آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای واحد زمین‌شناسی هر نقطه روی زمین، S: درصد شیب هر نقطه، P_{r1}: احتمال تجمعی هر نقطه برای اختصاص به طبقه ۱ (نرم) و P_{r2}: احتمال تجمعی هر نقطه برای اختصاص به طبقه ۲ (سخت) و پایین‌تر می‌باشد. احتمال تجمعی هر نقطه برای اختصاص به طبقه ۳ (سنگی) و پایین‌تر برابر ۱ می‌باشد.

شکل تابع اتصال Probit که در واقع تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد می‌باشد به‌صورت رابطه ۸ است.

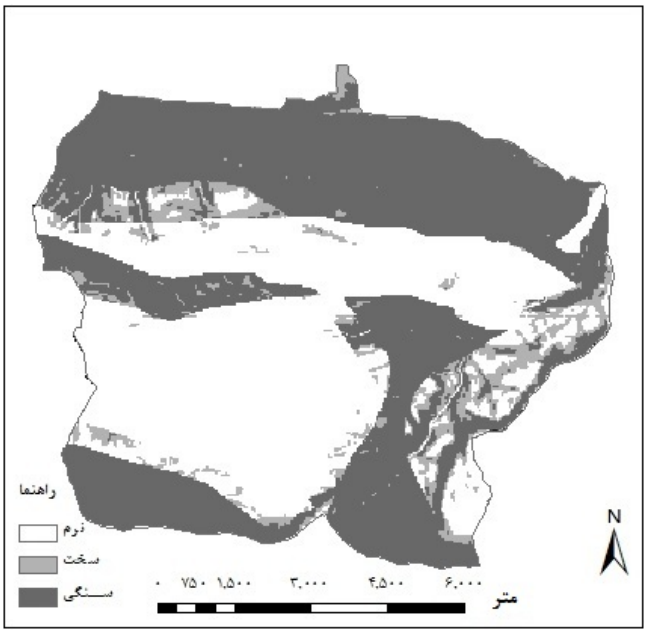
رابطه ۸
$$f(Pr_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Pr_j)^2}{2}}$$

که در آن P_{rj}: احتمالات تجمعی محاسبه شده از روابط ٦ و ٧ می‌باشد. حاصل رابطه ۸ نسبت بخت هر نمونه برای بودن در طبقه مورد نظر است (Anonymous, 2007).

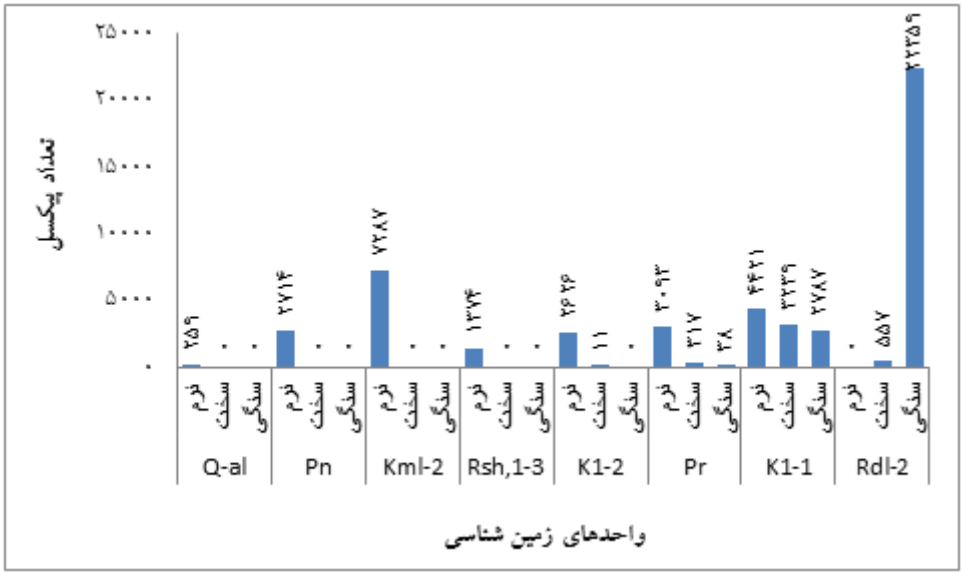
پیاده‌سازی مدل

مدل تولید شده با تابع اتصال Probit به‌عنوان مدل بهینه برای پیش‌بینی اندازه صخره و سنگ در منطقه مورد پژوهش بکار گرفته شد. به این منظور نقشه‌های شیب و زمین‌شناسی منطقه در محیط Arc GIS 9.3 به رسترهای با ابعاد ٤٠ تبدیل، و اطلاعات هر پیکسل استخراج و به‌عنوان داده وارد مدل بهینه شد. سپس ارزش خروجی هر پیکسل توسط مدل، محاسبه و وارد جدول توصیفی نقشه

پایه منطقه شد و نقشه نهایی که نماینده نتایج بکارگیری مدل بهینه است، تولید شد (شکل ۱). شکل ۲ فراوانی نقاط اختصاص یافته در منطقه مورد پژوهش به طبقات سختی به تفکیک واحدهای زمین‌شناسی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بیشترین مناطق سنگی در واحدهای R_2^{dl} و K_1^1 واقع شده است.



شکل ۱- تغییرپذیری فضایی سهم سنگ در خاک براساس رگرسیون لجستیک رتبه‌ای (Probit)



شکل ۲- تعداد نقاط اختصاص یافته به طبقات مختلف سختی در هر واحد زمین‌شناسی

بحث

در پژوهش حاضر با استفاده از AHP و روش رگرسیون لجستیک رتبه‌ای مدلی تجربی برای برآورد سهم سنگ به‌عنوان تابعی از شیب و نوع واحد زمین‌شناسی ارائه شده است. هدف نهایی این مدل‌سازی آن بود که یک چارچوب کاربردی و عملی برای تخمین میزان سنگ خاک که به‌عنوان جزئی مهم در برآورد هزینه ساخت جاده‌های جنگلی مطرح می‌باشد، فراهم نماید. با برآورد سهم سنگ در شرایط مختلف فیزیوگرافی و زمین‌شناسی عرصه‌های جنگلی کوهستانی، یک طراح جاده پیش از طراحی شبکه جاده جنگلی می‌تواند به‌طور مؤثری درباره مکان‌یابی مناسب جاده برای کاهش زمان و هزینه خاکبرداری تصمیم‌گیری نماید. معنی‌داری رگرسیون (جدول ۳) در تمامی تابع‌های مورد استفاده به‌مفهوم بهبود معنی‌دار مدل نسبت به مدل پایه تنها با در نظر گرفتن عدد ثابت است. در واقع مدل‌ها، پیش‌بینی بهتری را نسبت به حالتی که احتمال تعلق به طبقه متغیر خروجی تنها براساس احتمالات حاشیه‌ای برآورد شود به‌دست می‌دهند.

راهبرد بکار گرفته شده برای رسیدن به مدلی که از داده‌های قابل برداشت در عرصه جنگل استفاده نماید و بالاترین عملکرد را نیز داشته باشد، آزمایش پنج تابع اتصال مختلف بود. با توجه به اینکه تنها دو متغیر اندازه شیب زمین و نوع تشکیلات زمین‌شناسی به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل در نظر گرفته شده بودند همه توابع اتصال مورد استفاده دامنه قابل قبولی از شاخص‌های آماری را نشان دادند. با مقایسه شاخص‌های آماری (جدول ۳) مدل مربوط به تابع Probit به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شد، زیرا ضمن معنی‌دار بودن رگرسیون، موازی بودن خطوط برآوردی برای طبقه‌های متغیر خروجی و بالا بودن ضریب‌های همبستگی، بالاترین ضریب تشخیص را به‌دست داد. ضریب تشخیص بالاتر نماینده این است که بیشتر تغییرات متغیر خروجی توسط متغیرهای ورودی قابل توضیح است و مدل با ضریب بالاتر مدل بهتری از این نظر به‌حساب می‌آید. تابع Cloglog گرچه نتایجی مشابه با تابع Probit از نظر شاخص‌های آماری نشان داد، ولی پیش‌بینی‌های اولیه این تابع فضای متغیر خروجی را تنها به دو قسمت نرم و سنگی تقسیم کرد و طبقه سخت را از متغیر خروجی حذف کرد. بنابراین تابع مذکور نمی‌تواند تغییرات فضایی سهم سنگ را به‌درستی پوشش دهد. تابع اتصال Probit با فرض توزیع نرمال برای متغیرهای خروجی بکار می‌رود (Anonymous, 2007). نتیجه مناسب این تابع برای پژوهش حاضر نشان‌دهنده سازگاری این فرض با مجموعه داده‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی است. آماره‌های پیرسون و دویانس به‌ویژه هنگامی که تعداد کمی عوامل ورودی طبقه‌ای (Categorical predictor) وجود داشته باشد مفید هستند. اما هنگامی که از متغیرهای مستقل پیوسته استفاده می‌کنیم این آماره‌ها به‌دلیل آنکه تعداد زیادی سلول خالی وجود دارد قابل اتکا نیستند، چون در پیروی آنها از توزیع کای اسکوئر ابهام وجود دارد؛ بنابراین عدد معنی‌داری آنها دقیق نیست (Anonymous, 2007). از این نظر در پژوهش حاضر این شاخص‌ها قابل اتکا می‌باشند و مقدارهای مناسبی را ارائه نموده‌اند.

اندازه ضریب تشخیص به‌عنوان یکی از معیارهای مقایسه مدل‌های مختلف به حساب می آید. در مدل‌های با متغیر وابسته گسسته ارائه یک ضریب تشخیص که تمام ویژگیهای ضریب تشخیص در یک مدل رگرسیون خطی را داشته باشد ممکن نیست. در مدل رگرسیون رتبه‌ای سه ضریب تشخیص تقریبی (McFadden, 1974; Cox & Snell, 1989; Nagelkerke, 1991) ارائه می‌شود که می‌توانند به‌عنوان معیارهایی برای مقایسه مدل‌های مختلف با مجموعه داده یکسان بکار روند. Inaba *et al*. (2001) نیز یک مدل رگرسیونی لجستیک برای برآورد نسبت صخره و سنگ ارائه کرده‌اند. متغیرهای مستقل بکار رفته

در پژوهش مذکور شامل زاویه شیب زمین، یک ضریب برای هر واحد زمین‌شناسی و عرض جاده کم ترافیک و تابع اتصال مورد استفاده تابع logit بوده است. Stuckelberger *et al*. (2006) نیز از مدل ارائه شده توسط Inaba*et al*. (2001) در برآورد هزینه‌های خاکبرداری جاده‌های جنگلی استفاده کردند. مدل ارائه شده در پژوهش حاضر از آنجایی که با هدف استفاده در برآورد هزینه‌های خاکبرداری جاده‌های جنگلی در ایران ساخته شده است، متناسب با طبقه‌های سختی مورد استفاده در سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور و فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه‌آهن معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (Anonymous, 2008) است. به دلیل عرض استاندارد ثابت ۵ متری برای جاده‌های جنگلی ایران و در دسترس نبودن ضرایب مورد استفاده توسط Inaba *et al*. (2001) این متغیرها از تحقیق حاضر حذف شدند و ارزش‌گذاری واحدهای زمین‌شناسی به روش AHP انجام شد. از مجموعه واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه واحدهای R_2^{dl} و K_1^1 بیشترین میزان صخره و سنگ برآوردی را در خود جای داده است (شکل ۲) و بنابراین با طراحی و ساخت جاده در این واحدها می‌توان زمان و هزینه‌های بالایی را انتظار داشت. از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در محاسبه و مدل‌سازی هزینه‌های ساخت و نگهداری جاده جنگلی در ایران استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

References

- Amemiya, T., 1985. Advanced Econometrics. Harvard University Press, Cambridge, 521 p.
- Anonymous, 2007. SPSS Base 16.0 for Windows User's Guide. SPSS Inc., Chicago, IL, 527 p.
- Anonymous, 2008. List price for the base unit, major roads, airport runways and rail infrastructure. Vice president of strategic planning and oversight, 125 p.
- Anonymous, 201. Baladeh geology map. National Geoscience Database of IRAN, www.ngdir.ir.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 6 (4): 189-236.
- Bieniawski, Z.T., 1975. Case studies: prediction of rock mass behavior by the geomechanics classification. Proceeding of 2nd Australia-New Zealand Conference Geomechanics, Brisbane, Australia: 36-41.
- Brant, R., 1990. Assessing proportionality in the proportional odds model for ordinal logistic regression. Biometrics, 46 (4): 1171-1178.
- Cox, D.R. and Snell, E.J., 1989. The Analysis of Binary Data. Second edition, Chapman and Hall, London, 236 p.
- Goodman, R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. Second edition, Wiley, New York, 562 p.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering. Third edition, Institute of Mining and Metallurgy, London, 358 p.
- Hosmer, D.W. and Lemeshow, S., 2000. Applied Logistic Regression. Second edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 373 p.
- Inaba, S., Heinimann, H.R. and Shiba, M., 2001. A Model to estimate rock excavation volume of forest roads in steep terrain conditions. Proceedings of the 112th Meeting of the Japanese Forestry Society, Japan, 2-4 April 2001.
- Kaufmann, A. and Gupta, M.M., 1988. Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science. North-Holland, Amsterdam. 337 p.
- Liu, Y.C. and Chen, C.S., 2007. A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment. Engineering Geology, 89 (1-2): 129-143.
- McCullagh, P. and Nelder, J.A., 1989. Generalized Linear Models. Second edition, Chapman and Hall, London. 532 p.
- McFadden, D., 1991. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: Zarembka, P., (Ed.). Frontiers in Econometrics. New York, Academic Press, 105 p.
- Nagelkerke, N.J.D., 1991. A note on the general definition of the coefficient of determination. Biometrika, 78 (3): 691-692.

- Pettifer, G.S. and Fookes, P.G., 1994. A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. Journal of Engineering Geology, 27 (2): 145-164.
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York. 287 p.
- Stuckelberger, J.A., Heinimann, H.R. and Burlet, E.C., 2006. Modeling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads. European Journal of Forest Research, 125 (4): 377-390.
- Zarembka, P., 1974. Frontiers in Economics. Academic Press, New York. 252 p.

Rockshare estimation in forest road excavation using the Ordinal Logistic Regression (OLR) and the Analytical Hierarchy Process (AHP)

I. Ghajar [1], A. Najafi [*2], S.A. Torabi [3] and K. Boston [4]

1- Ph.D. student of forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
2- Corresponding author, Assistant professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: a.najafi@modares.ac.ir
3- Associate professor, College of Engineering, University of Tehran, Iran
4- Associate professor, Dept. of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis, USA

Abstract

The rock proportion of the subsoil directly influences on the cost of embankment in forest road construction. Therefore, developing a reliable framework for rock ratio estimation prior the road planning may lead to more light excavation and less cost operation. According to the ordinal nature of hardness classes of the soil in executive branches, the purpose of present research is to model the ratio of rocks in the subsoil as a function of terrain slope and geology information using Ordinal Logistic Regression Model. To do so, first, the geological units were weighted using the Analytical Hierarchy Process (AHP). The obtained priorities and terrain slope data were feed to the model. To evaluate effects of change in link functions, five types of link functions were adapted. The results showed that the Probit function gives the best determination coefficient and parallel lines test for our model. To show the applicability of the proposed approach, the optimum model was applied to a mountainous forest in where additional forest road network should be constructed in the next periods.

Key words: Forest road network, Embankment cost, Protrusion of rock, Rocky hillside.