

"یادداشت فنی"

تحلیل روند تغییرات و مقایسه پارامترهای اساسی برای روش‌های مختلف طراحی الگوی آتشیباری سینه کارهای تونلی

سروش خلیلی^۱، مهدی یآوری^۲، مهدی حسینی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین، sorushkhalili@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی دانشگاه تهران

۳- عضو هیات علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین meh_hoseini18@yahoo.com

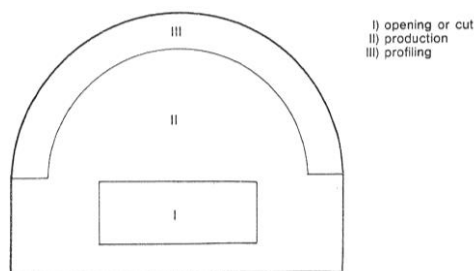
(دریافت ۲۰ بهمن ۱۳۹۱، پذیرش ۱ مرداد ۱۳۹۲)

چکیده

برای طراحی اولیه یک الگوی آتشیباری توجه به قطر چال انفجاری و سطح مقطع تونل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و هر گونه تغییری در این دو پارامتر می‌تواند تاثیر بسزایی در پارامترهای فنی و اقتصادی حاصل از طراحی از قبیل خرج ویژه و حفاری ویژه بگذارد. از طرفی مدل‌های مختلفی برای طراحی الگوی آتشیباری پیشنهاد شده است که به طور کلی می‌توان این مدل‌ها را در غالب مدل‌های مبتنی بر برش موازی (روش موازی) و مدل‌های مبتنی بر برشهای زاویه‌ای (روش زاویه‌ای) دسته‌بندی کرد. در این مطالعه، در ابتدا با استفاده از طراحی یک نرم‌افزار برای سهولت انجام محاسبات و با ثابت نگاه داشتن سایر پارامترهای تاثیرگذار در طراحی الگوی آتشیباری از قبیل جنس سنگ و خواص ماده منفجره مصرفی، تاثیر دو پارامتر اساسی قطر چال انفجاری و سطح مقطع تونل بر پارامترهایی نظیر خرج ویژه و حفاری ویژه در مدل‌ها و روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، به طوری که بتوان روند این تغییرات را در هر روش تحلیل و مدل‌ها و روش‌های مختلف را از این لحاظ با یکدیگر مقایسه کرد. در نهایت مقایسه نمودارها و روابط به دست آمده نشان داد، به طور میانگین در روش‌های زاویه‌ای برای قطر چال و سطح مقطع تونل یکسان، مقدار تعداد چال مورد نیاز بیشتر از روش موازی و خرج ویژه اغلب در روش موازی بیشتر از روش زاویه‌ای به دست می‌آید. در مورد پارامتر حفاری ویژه نیز در برخی محدوده‌های قطر چال و سطح مقطع تونل، روش موازی و در برخی از محدوده‌ها روش زاویه‌ای مقدار بیشتری را نشان می‌دهد اما به طور کلی بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشند.

کلمات کلیدی

الگوی آتشیباری، قطر چال، سطح مقطع تونل، خرج ویژه، حفاری ویژه



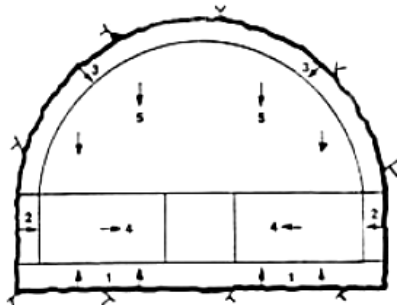
شکل ۱- تقسیم‌بندی سینه‌کار در روش انتقال انرژی [۱]

روش انتقال انرژی برای هر دو روش برش با چال‌های موازی و زاویه‌ای توسعه یافته است.

۲-۲- مدل‌های سوئدی (نیترونوبل)

این مدل پس از لانگفورس توسط افراد مختلفی، البته بر اساس همان اصول اولیه به روز رسانی شده و توسعه یافته است و در واقع می‌توان این مدل را با توجه به افرادی که روابط و مدل‌های محاسبات جدیدی برای طراحی الگوی آتشباری بر مبنای اصول کلی این روش ارائه کرده‌اند، به مدل‌های مختلفی تقسیم‌بندی نمود. سینه‌کار به طور کلی در این مدل‌ها، علاوه بر بخش برش، به بخش‌های کف (۱)، دیواره (۲)، سقف (۳)، پیشروی با جابجایی افقی و رو به بالا (۴) و پیشروی با جابجایی رو به پایین (۵) تقسیم‌بندی می‌شود (شکل ۲). در روش‌های زاویه‌ای بخش (۴) را بخش توسعه برش نیز می‌نامند [۲ و ۳].

برش چهار مقطعی (شکل ۳) از پرکاربردترین نوع برش موازی مورد استفاده در مدل‌های سوئدی می‌باشد. از انواع مدل‌های سوئدی ارائه شده می‌توان به مدل هلمبرگ، گوستافسون، الافسون، کونیا و لویز اشاره نمود که مدل کونیا و گوستافسون برای طراحی با هر دو برش موازی و زاویه‌ای، مدل‌های الافسون و هلمبرگ برای طراحی تنها با برش موازی و مدل لویز برای طراحی با برش زاویه‌ای توسعه یافته‌اند [۳ و ۴ و ۵ و ۶].



شکل ۲- تقسیم‌بندی مقطع تونل در روش سوئدی (نیترونوبل) [۳]

۱- مقدمه

امروزه برای طراحی الگوی آتشکاری سینه‌کارهای تونلی روش‌های مختلفی در دست است. تلاش برای توسعه این روش‌ها توسط افراد و یا موسسات مختلف با هدف دستیابی به یک الگوی مناسب و روشمند طراحی صورت پذیرفته است بطوری که الگوی به دست آمده نزدیکترین الگوی ممکن به طرح نهایی آتشکاری پس از اجرا و انجام تعدیل‌های لازم باشد. بدیهی است چنین الگویی می‌تواند هزینه‌های عملیات آتشکاری ناشی از تصحیحات مکرر الگوی آتشکاری با روش سعی و خطا را کاهش دهد. به طور کلی روش‌های طراحی الگوی آتشباری تونلی به دو صورت طراحی با چال‌های برش موازی و چال‌های برش زاویه‌ای تقسیم می‌شوند.

هدف اصلی در این مقاله یکی بررسی روند تغییرات پارامترهایی نظیر حفاری ویژه و خرج ویژه به عنوان پارامترهای خروجی با تغییر دو پارامتر قطر چال انفجاری و سطح مقطع تونل و فرموله کردن این رابطه برای هر کدام از روش‌های موازی و زاویه‌ای و دیگری مقایسه این دو روش با یکدیگر می‌باشد.

بدین منظور در این مقاله با تغییر دو پارامتر اساسی قطر چال انفجاری و سطح مقطع تونل در بازه‌ای مناسب و با ثابت نگاه داشتن سایر پارامترها، مقادیر چهار پارامتر تعداد چال، تعداد چال بر واحد سطح تونل، حفاری ویژه و خرج ویژه برای ۵ مدل موازی و ۴ مدل زاویه‌ای به صورت جداگانه محاسبه و سپس با میانگین‌گیری از این مقادیر در هر یک از روش‌ها، دو دسته نمودار برای روش‌های موازی و زاویه‌ای به دست آمده است که به کمک این نمودارها می‌توان رابطه بین پارامترهای ورودی و خروجی یاد شده برای طراحی الگوی آتشباری را تحلیل و این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود.

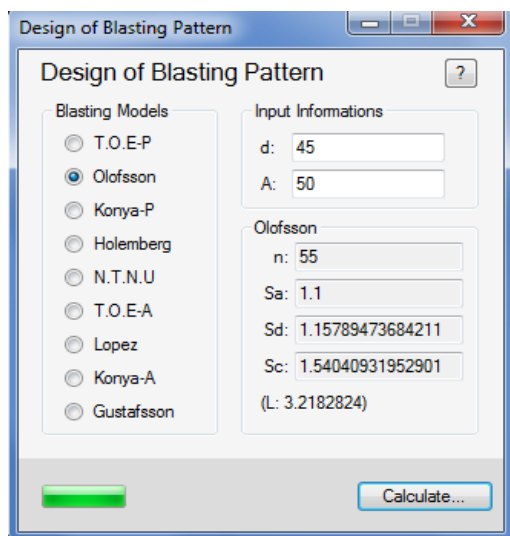
۲- مدل‌های طراحی الگوی آتشباری

۲-۱- مدل انتقال انرژی

این مدل یک مدل تئوریک بوده که بر اساس اصل انتقال انرژی انفجار به سنگ بنا شده است. این مدل توسط افرادی نظیر هاگان (۱۹۸۰) و برتا (۱۹۹۰) توسعه داده شده است. قانون انتقال انرژی یک تابع شامل خصوصیات ماده منفجره و سنگ دریافت کننده انرژی می‌باشد. در این روش سینه‌کار طبق شکل (۱) به بخش بازکننده یا برش (I)، بخش پیشروی یا تولید (II) و بخش محیط (III) تقسیم‌بندی می‌شود [۱].

انفجاری با واحد میلی‌متر (d) و سطح مقطع تونل با واحد متر مربع (A) وارد می‌شود. سپس با کلیک بر روی دکمه Calculate پارامترهای خروجی شامل تعداد چال مورد نیاز (N)، تعداد چال بر واحد سطح تونل (S_a)، حفاری ویژه (S_d)، خرج ویژه (S_c) و طول چال (L) در بخش Results نمایش داده می‌شود.

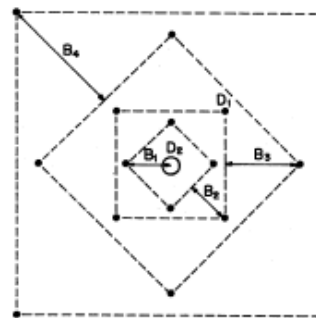
با توجه به اینکه تنها دو عامل اساسی قطر چال انفجاری و سطح مقطع تونل به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده است سایر پارامترهای تاثیرگذار به عنوان پیش‌فرض برای انجام محاسبات، تعیین شده است. این متغیرها شامل مواردی نظیر خصوصیات سنگ و ماده منفجره و شکل هندسی تونل می‌باشد، همچنین طبق مثالها و روابط موجود در منابع مختلف میزان پیشروی برای مدل‌های موازی ۳/۲ متر و برای مدل‌های زاویه‌ای نصف عرض تونل در نظر گرفته شده است.



شکل ۴- نحوه نمایش محاسبات در نرم‌افزار

۴- نحوه تهیه جداول و نمودارها به کمک نرم‌افزار

یکی از روش‌هایی که برای مشاهده روند تغییرات پارامترهای خروجی در منابع مختلف ارائه شده، نمودار تغییرات متغیرهایی از قبیل خرج ویژه و حفاری ویژه با قطر چال و سطح مقطع تونل می‌باشد. چنین نمودارهایی در شکل‌های (۵) و (۶) نمایش داده شده است. اغلب این نمودارها حاصل مطالعات تجربی می‌باشند و در آنها از الگو و یا مدل خاصی یاد نشده است اما به تنهایی می‌توانند روند تغییرات یاد شده و همچنین اهمیت دو پارامتر قطر چال و سطح مقطع تونل را نشان دهند. در این مقاله نیز جهت تحلیل و مقایسه روش‌ها از همین شیوه استفاده شده است با این تفاوت که در تهیه این نمودارها از روابط ارائه شده برای هر مدل استفاده شده است، بدین



شکل ۳- برش چهارمقطعی [۴و۲]

۳-۲- مدل NTNU

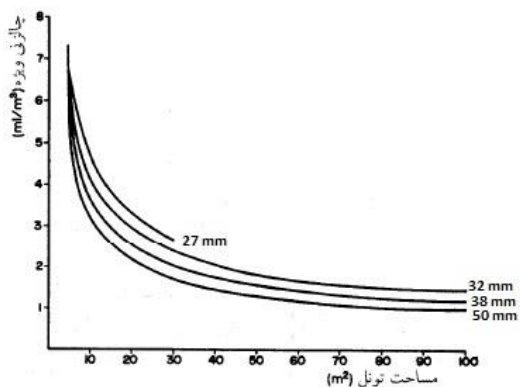
مدل طراحی آتشکاری NTNU توسط بخش مهندسی عمران و حمل و نقل دانشگاه NTNU (۱۹۹۵ و ۱۹۷۵) توسعه داده شده است که یک مدل تجربی طراحی آتشکاری با استفاده از چال‌های موازی می‌باشد. اولین نسخه این مدل در سال ۱۹۷۵ به چاپ رسید.

در این روش سینه‌کار تونل به قسمتهای برش، پیشروی، بلند کننده (کف)، ردیف نزدیک به محیط و محیط تقسیم‌بندی می‌شود. آتشکاری آرام با دو ردیف چال محیطی پیشنهاد شده است. تراکم و خرج‌گذاری در چال‌های محیط و نزدیک به محیط کاهش داده می‌شود. طراحی برای این دو بخش به نوع سنگهای آن قسمت و پارامترهای هندسی بستگی دارد، که باید در ابتدا مشخص شود [۷].

۳- تهیه نرم‌افزار محاسبات الگوی آتشباری

با توجه به اینکه برای بررسی روند و مقایسه روش‌ها نیاز به داده‌های متعدد می‌باشد برای سادگی کار یک نرم‌افزار جهت محاسبه چهار پارامتر خروجی تهیه گردیده است. این نرم‌افزار با کمک زبان برنامه‌نویسی Visual Basic کدنویسی شده است و در آن می‌توان با تعیین دو متغیر ورودی سطح مقطع تونل و قطر چال انفجاری، چهار پارامتر خروجی یاد شده را به دست آورد. برای تهیه این نرم‌افزار بالغ بر ۹۰۰ خط کدنویسی شده است. این برنامه بر روی ویندوز 7 بدون نیاز به نصب برنامه خاصی قابل اجرا می‌باشد

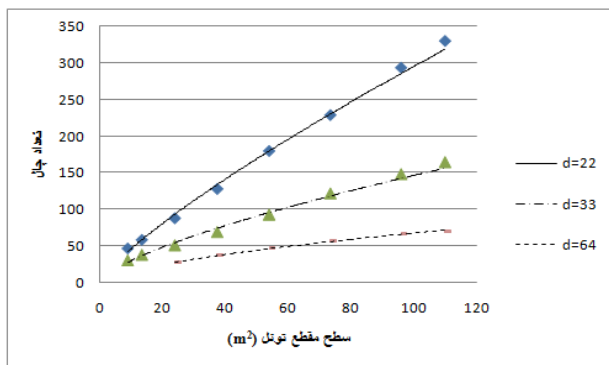
نحوه کار با این نرم‌افزار ساده می‌باشد، بدین طریق که پس از اجرای آن پنجره کوچکی مطابق شکل (۴) باز می‌شود. ابتدا در قسمت Blasting Models یکی از ۹ مدل طراحی الگوی آتشباری را انتخاب نمود. این مدلها شامل ۵ الگوی موازی انتقال انرژی موازی، الافسون، کونیای موازی، هلمبرگ و مدل NTNU و ۴ الگوی زاویه‌ای انتقال انرژی زاویه‌ای، لویز، کونیای زاویه‌ای و گوستافسون می‌باشند. سپس در بخش Input Information داده‌های ورودی مورد نظر شامل قطر چال



شکل ۶- رابطه حفاری ویژه با سطح مقطع تونل و قطر چال [۴۰۲]

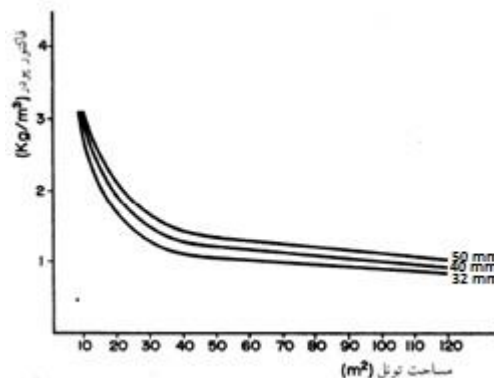
جدول ۱- حفاری ویژه (S_d) برای مدل انتقال انرژی موازی

سطح مقطع تونل (m^2)								قطر چال (mm)
۱۱۰	۹۶	۷۳/۵	۵۴	۳۷/۵	۲۴	۱۳/۵	۹	۲۲
۳/۶۲	۳/۶۱	۳/۷۲	۳/۹۷	۴/۰۷	۴/۳۸	۴/۸۳	۵/۲۶	۳۰
۲/۰۷	۲/۲۲	۲/۱۸	۲/۳۴	۲/۵۵	۲/۶۸	۳/۳۵	۳/۷۴	۳۳
۱/۷۸	۱/۸	۲/۰۲	۱/۹۴	۲/۱	۲/۴۱	۳/۱۲	۳/۵۱	۳۸
۱/۴۲	۱/۵۳	۱/۵۶	۱/۷۳	۱/۸۵	۲/۰۲	۲/۴۹	-	۴۵
۱/۱۱	۱/۱	۱/۲۷	۱/۲۹	۱/۴۶	۱/۷۱	۲/۲۶	-	۴۸
۱/۰۴	۱	۱/۰۶	۱/۱۳	۱/۴۳	۱/۷۱	-	-	۵۱
۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۱۵	۱/۴۹	-	-	۶۴
۰/۶۷	۰/۷	۰/۸۹	۰/۸	۰/۹۵	۱/۱۴	-	-	

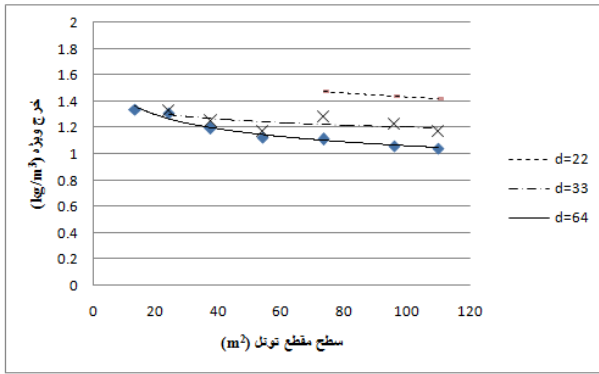


شکل ۷- نمودار تعداد چال-سطح مقطع برای روش موازی

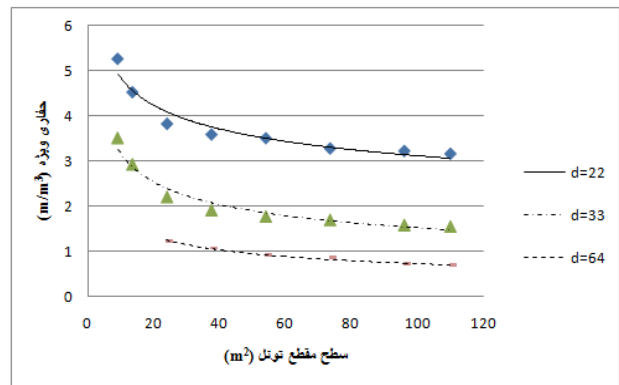
صورت که داده‌های محاسبه شده توسط نرم‌افزار برای هر مدل به صورت جداولی مانند جدول (۱) در آورده شده که در آن مقدار پارامترهای مورد نظر برای قطر چال و سطح مقطع مختلف نمایش داده شده است. این مقادیر یک بار برای ۵ الگوی موازی انتقال انرژی موازی، الفسون، کونیای موازی، هلمبرگ و NTNU، یک بار برای ۴ الگوی زاویه‌ای انتقال انرژی زاویه‌ای، لویز، کونیای زاویه‌ای و گوستافسون و در نهایت برای کلیه الگوها میانگین‌گیری شده و سپس توسط نرم‌افزار Excel توسط توابع توانی مدلسازی شده و به صورت نمودار در آمده است. محدوده تغییرات قطر چال برای هر دو روش زاویه‌ای و موازی از ۲۲ تا ۶۴ میلیمتر و در مورد سطح مقطع برای روش‌های موازی از ۹ تا ۱۱۰ متر مربع و برای روش‌های زاویه‌ای از ۱۳/۵ تا ۱۱۰ متر مربع انتخاب شده است. شکل‌های (۷) تا (۱۳) نمودارهای موردنظر برای قطر چال‌های ۲۲، ۳۳ و ۶۴ میلیمتر به همراه روابط مربوطه در هر مورد را نمایش می‌دهند. روابط مربوط به سایر قطرها در جداول (۲) تا (۴) آورده شده است. در این روابط متغیر X همواره نماد سطح مقطع تونل (m^2) و متغیر Y به ترتیب نماد پارامترهای تعداد چال، حفاری ویژه (m^3/m) و خرج ویژه (kg/m^3) می‌باشد. همچنین در شکل (۱۴) نموداری برای میانگین کل روش‌ها ارائه شده است که تغییرات حفاری ویژه و خرج ویژه نسبت به تغییرات سطح مقطع تونل و قطر چال در غالب یک نمودار نشان می‌دهد. لازم به یادآوریست قطر خرج انتهایی چال در کلیه مدلها برابر با قطر چال در نظر گرفته شده و از این رو پارامتر قطر چال خود بیانگر مفهوم قطر خرج نیز می‌باشد. در کلیه روابط ارائه شده مقدار ضریب همبستگی (R^2) به علت تصحیحات مربوط به تعداد چال‌هایی که در مقطع تونل جای می‌گیرند ۱۰۰ درصد نبوده و به همین دلیل مقدار آن برای مستدل ساختن صحت مدلسازی روابط، در جداول آورده شده است.



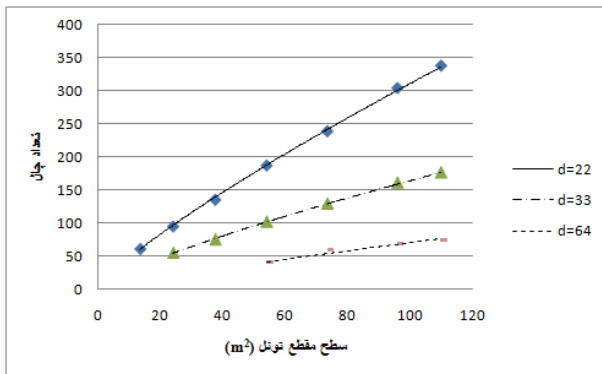
شکل ۵- رابطه خرج ویژه با سطح مقطع تونل و قطر چال [۴۰۲]



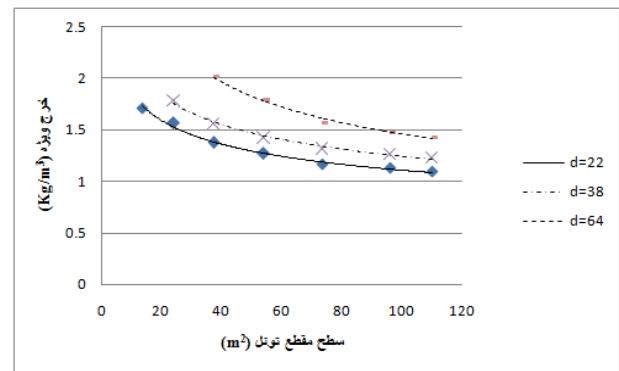
شکل ۱۲- نمودار خرج ویژه-سطح مقطع برای روش زاویه‌ای



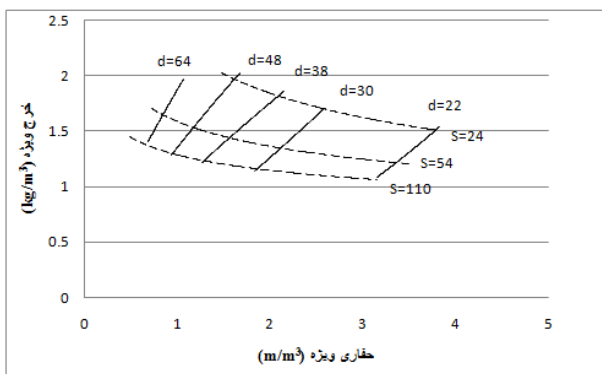
شکل ۸- نمودار حفاری ویژه-سطح مقطع برای روش موازی



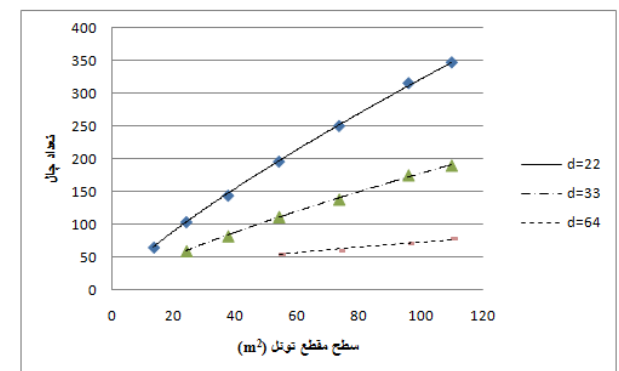
شکل ۱۳- نمودار تعداد چال-سطح مقطع برای کلیه روش‌ها



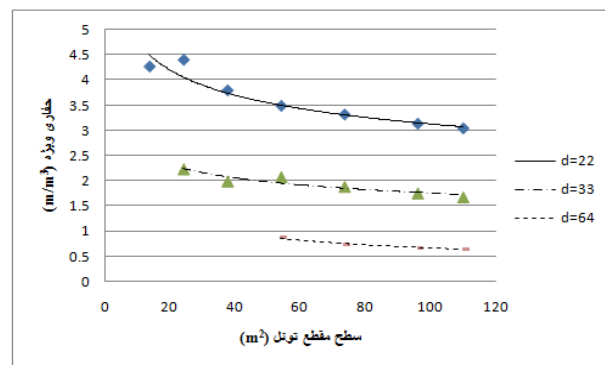
شکل ۹- نمودار خرج ویژه-سطح مقطع برای روش موازی



شکل ۱۴- تغییرات حفاری ویژه و خرج ویژه نسبت به تغییرات سطح مقطع تونل (S) و قطر چال (d)



شکل ۱۰- نمودار تعداد چال-سطح مقطع برای روش زاویه‌ای

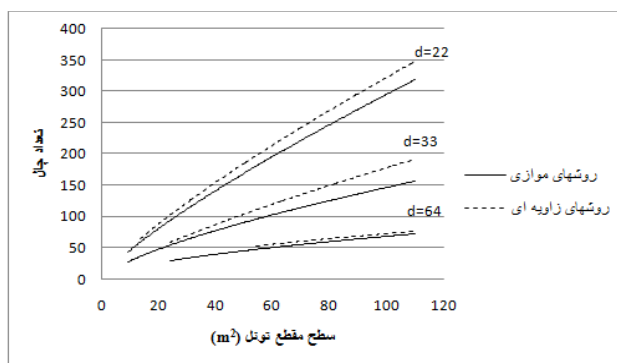


شکل ۱۱- نمودار حفاری ویژه-سطح مقطع برای روش زاویه‌ای

$R^2 = 0.878$	$R^2 = 0.586$	$R^2 = 0.993$	
$y = 2.995x^{-0.15}$ $R^2 = 0.999$	$y = 2.140x^{-0.08}$ $R^2 = 0.991$	$y = 6.529x^{-0.32}$ $R^2 = 0.988$	۶۴

۵- تحلیل و مقایسه روش‌ها

جهت مقایسه روش‌ها نمودار مربوط به محدوده تغییرات مدل‌های موازی و زاویه‌ای برای قطر چال‌های ۲۲، ۳۳ و ۶۴ میلیمتر در شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) در کنار یکدیگر نمایش داده شده است. با توجه به این نمودارها و روابط ارائه شده در جداول بخش قبل می‌توان نتیجه گرفت برای هر قطر چال و سطح مقطع تونل یکسان مقدار تعداد چال در مدل‌های زاویه‌ای بیشتر از مدل‌های موازی و خرج ویژه اغلب در روش‌های موازی بیشتر از مدل‌های زاویه‌ای به دست آمده است. در مورد پارامتر حفاری ویژه نیز در برخی محدوده‌ها برای قطر چال و سطح مقطع تونل مدل‌های موازی و در برخی از محدوده‌ها مدل‌های زاویه‌ای مقدار بیشتری را نشان داده است که دلیل آن را می‌توان به متفاوت در نظر گرفتن مقدار پیشروی برای مدل‌های موازی و زاویه‌ای (طبق آنچه در بخش ۴ توضیح داده شد) و زاویه‌دار بودن چال‌ها در بخش برش در مدل‌های زاویه‌ای نسبت داد. علت اینکه در نمودارها برای قطر چال‌های بزرگتر در محدوده سطح مقاطع کوچکتر جوابی وجود ندارد به ابعاد بخش برش باز می‌گردد زیرا در این محدوده‌ها ابعاد بخش برش طبق روابط از ابعاد تونل بزرگتر شده که این امر غیر ممکن می‌باشد. همچنین به نظر می‌رسد این اتفاق برای روش‌های زاویه‌ای بیشتر از روش‌های موازی اتفاق افتاده است و بنا بر این روش‌های موازی محدوده‌های بیشتری از قطر و سطح مقطع را پوشش می‌دهند. با توجه به محاسبات، میانگین به دست آمده برای ۵ مدل موازی و ۴ مدل زاویه‌ای در بازه تغییرات قطر چال و سطح مقطع تونل یاد شده برای هر کدام از روش‌ها به شرح جدول (۵) می‌باشد و در واقع این مقادیر محدوده تغییرات پارامترهای خروجی را مشخص می‌نماید (در تمامی جداول و نمودارها واحد پارامتر حفاری ویژه متر بر متر مکعب و خرج ویژه کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد).



جدول ۲- روابط مربوط به تعداد چال

قطر چال (mm)	مدل‌های موازی	مدل‌های زاویه‌ای	کلیه مدل‌ها
۲۲	$y = 7.315x^{0.802}$ $R^2 = 0.995$	$y = 8.086x^{0.799}$ $R^2 = 0.999$	$y = 7.145x^{0.819}$ $R^2 = 0.999$
۳۰	$y = 6.608x^{0.706}$ $R^2 = 0.990$	$y = 5.044x^{0.801}$ $R^2 = 0.998$	$y = 4.695x^{0.803}$ $R^2 = 0.999$
۳۳	$y = 6.145x^{0.688}$ $R^2 = 0.991$	$y = 5.068x^{0.771}$ $R^2 = 0.999$	$y = 4.578x^{0.777}$ $R^2 = 0.999$
۳۸	$y = 5.531x^{0.673}$ $R^2 = 0.996$	$y = 4.338x^{0.766}$ $R^2 = 0.998$	$y = 4.542x^{0.738}$ $R^2 = 0.998$
۴۵	$y = 5.444x^{0.625}$ $R^2 = 0.995$	$y = 3.263x^{0.772}$ $R^2 = 0.999$	$y = 3.557x^{0.738}$ $R^2 = 0.999$
۴۸	$y = 4.975x^{0.628}$ $R^2 = 0.991$	$y = 4.295x^{0.696}$ $R^2 = 0.995$	$y = 4.101x^{0.690}$ $R^2 = 0.997$
۵۱	$y = 4.626x^{0.633}$ $R^2 = 0.996$	$y = 4.064x^{0.686}$ $R^2 = 0.994$	$y = 3.973x^{0.680}$ $R^2 = 0.997$
۶۴	$y = 4.209x^{0.603}$ $R^2 = 0.997$	$y = 6.921x^{0.511}$ $R^2 = 0.977$	$y = 1.436x^{0.846}$ $R^2 = 0.965$

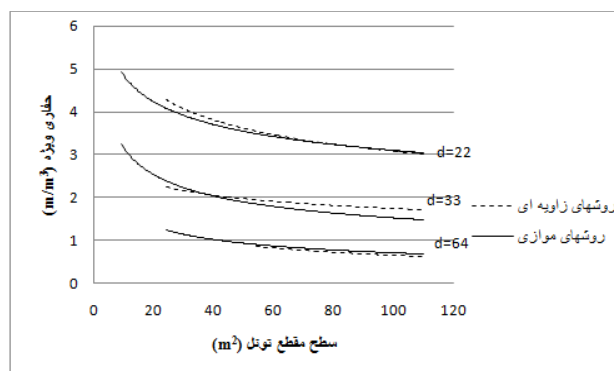
جدول ۳- روابط مربوط به حفاری ویژه

قطر چال (mm)	مدل‌های موازی	مدل‌های زاویه‌ای	کلیه مدل‌ها
۲۲	$y = 7.482x^{-0.19}$ $R^2 = 0.943$	$y = 7.286x^{-0.18}$ $R^2 = 0.923$	$y = 6.940x^{-0.17}$ $R^2 = 0.993$
۳۰	$y = 6.810x^{-0.28}$ $R^2 = 0.947$	$y = 4.307x^{-0.16}$ $R^2 = 0.916$	$y = 4.485x^{-0.18}$ $R^2 = 0.983$
۳۳	$y = 6.536x^{-0.31}$ $R^2 = 0.961$	$y = 3.912x^{-0.17}$ $R^2 = 0.88$	$y = 4.131x^{-0.19}$ $R^2 = 0.968$
۳۸	$y = 5.847x^{-0.32}$ $R^2 = 0.984$	$y = 2.860x^{-0.14}$ $R^2 = 0.812$	$y = 3.819x^{-0.21}$ $R^2 = 0.960$
۴۵	$y = 5.727x^{-0.37}$ $R^2 = 0.986$	$y = 1.974x^{-0.12}$ $R^2 = 0.740$	$y = 2.846x^{-0.21}$ $R^2 = 0.935$
۴۸	$y = 5.245x^{-0.37}$ $R^2 = 0.977$	$y = 3.024x^{-0.23}$ $R^2 = 0.960$	$y = 3.531x^{-0.27}$ $R^2 = 0.976$
۵۱	$y = 4.838x^{-0.36}$ $R^2 = 0.987$	$y = 2.116x^{-0.18}$ $R^2 = 0.751$	$y = 2.756x^{-0.24}$ $R^2 = 0.962$
۶۴	$y = 4.146x^{-0.37}$ $R^2 = 0.980$	$y = 4.867x^{-0.43}$ $R^2 = 0.982$	$y = 5.095x^{-0.43}$ $R^2 = 0.994$

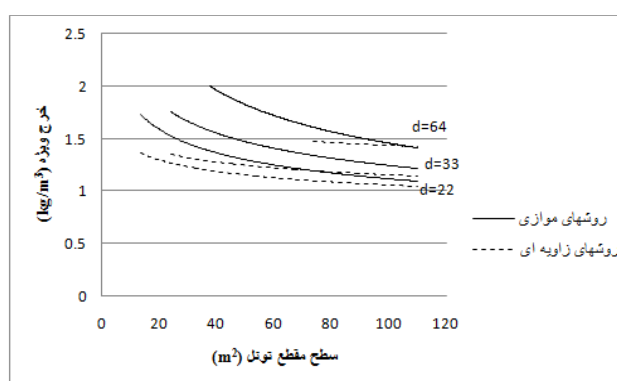
جدول ۴- روابط مربوط به خرج ویژه

قطر چال (mm)	مدل‌های موازی	مدل‌های زاویه‌ای	کلیه مدل‌ها
۲۲	$y = 6.529x^{-0.32}$ $R^2 = 0.988$	$y = 1.896x^{-0.12}$ $R^2 = 0.970$	$y = 2.455x^{-0.17}$ $R^2 = 0.989$
۳۰	$y = 4.591x^{-0.30}$ $R^2 = 0.950$	$y = 1.658x^{-0.07}$ $R^2 = 0.758$	$y = 2.42x^{-0.15}$ $R^2 = 0.989$
۳۳	$y = 3.849x^{-0.26}$ $R^2 = 0.862$	$y = 1.547x^{-0.05}$ $R^2 = 0.417$	$y = 2.496x^{-0.16}$ $R^2 = 0.915$
۳۸	$y = 3.785x^{-0.24}$ $R^2 = 0.990$	$y = 2.115x^{-0.11}$ $R^2 = 0.792$	$y = 2.167x^{-0.11}$ $R^2 = 0.947$
۴۵	$y = 4.667x^{-0.28}$ $R^2 = 0.973$	$y = 1.641x^{-0.05}$ $R^2 = 0.518$	$y = 2.579x^{-0.15}$ $R^2 = 0.913$
۴۸	$y = 4.913x^{-0.28}$ $R^2 = 0.966$	$y = 2.520x^{-0.14}$ $R^2 = 0.602$	$y = 3.174x^{-0.19}$ $R^2 = 0.863$
۵۱	$y = 4.078x^{-0.24}$ $R^2 = 0.966$	$y = 2.716x^{-0.15}$ $R^2 = 0.915$	$y = 3.340x^{-0.2}$ $R^2 = 0.966$

شکل ۱۵- مقایسه تعداد چال روش‌های موازی و زاویه‌ای



شکل ۱۶- مقایسه حفاری ویژه روش‌های موازی و زاویه‌ای



شکل ۱۷- مقایسه خرج ویژه روش‌های موازی و زاویه‌ای

جدول ۵- محدوده تغییرات پارامترهای خروجی برای روش‌های مختلف

روش	پارامتر	حداقل	حداکثر
موازی	تعداد چال	۲۸	۳۳۰/۶
	حفاری ویژه	۰/۶۹	۵/۲۶
	خرج ویژه	۱/۱	۲/۰۱
زاویه‌ای	تعداد چال	۵۴/۳۳	۳۴۶/۷۵
	حفاری ویژه	۰/۶۴	۴/۲۶
	خرج ویژه	۱/۰۴	۱/۶۱
میانگین کل روش‌ها	تعداد چال	۴۰/۳۷	۳۳۸/۶۷
	حفاری ویژه	۰/۶۶	۴/۳۹
	خرج ویژه	۱/۶۶	۱/۰۷

با توجه به اینکه پارامترهای قطر چال و سطح مقطع تونل از تاثیرگذارترین پارامترها بر روی پارامترهای خروجی یاد شده می‌باشند، روابط ارائه شده کمک می‌کند روند دقیق تغییرات در مورد هر کدام از پارامترهای خروجی با تغییر دو پارامتر قطر چال و سطح مقطع تونل مورد بررسی قرار گرفته و همچنین این روش‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود.

۶- نتیجه‌گیری

نتایجی که از این تحقیق به دست می‌آید عبارت است از:

۱- نمودارها و روابط ارائه شده می‌تواند مقدار پارامترهای تعداد چال، حفاری ویژه و خرج ویژه را برای قطر چال و سطح مقطع مورد نظر برآورد نموده و همچنین با دراختیار داشتن ارقام هزینه واحد برای چالزنی و خرج‌گذاری، بر اساس کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌توان نوع روش (موازی یا زاویه‌ای) و قطر چال مناسب را برای تونل با سطح مقطع مورد نظر تعیین نمود. همچنین نرم‌افزار تهیه شده نیز قابلیت محاسبه سه پارامتر یاد شده را برای هر کدام از ۹ مدل موازی یا زاویه‌ای دارا می‌باشد.

۲- بررسی روند تغییرات نمودارهای به دست آمده نشان می‌دهد در کلیه روش‌های موازی و زاویه‌ای تعداد چال مورد نیاز با افزایش سطح مقطع تونل به صورت خطی افزایش و پارامترهای حفاری ویژه و خرج ویژه با افزایش سطح مقطع تونل به صورت توانی با شیب کاهنده کاهش یافته است، همچنین در کلیه روش‌ها هرچه قطر چال افزایش می‌یابد، پارامترهای تعداد چال مورد نیاز و حفاری ویژه، کاهش اما پارامتر خرج ویژه به مرور افزایش یافته است که کلیه این روندها معقول به نظر رسیده و صحت انجام محاسبات توسط نرم‌افزار و تهیه نمودارها را تایید می‌کند.

۳- با مقایسه نمودارها و روابط مربوط به روش‌های موازی و زاویه‌ای می‌توان نتیجه گرفت برای هر قطر چال و سطح مقطع تونل یکسان مقدار تعداد چال در روش‌های زاویه‌ای بیشتر از روش‌های موازی و خرج ویژه اغلب در روش‌های موازی بیشتر از روش‌های زاویه‌ای به دست آمده است. در مورد پارامتر حفاری ویژه نیز در برخی محدوده‌ها برای قطر چال و سطح مقطع تونل، روش‌های موازی و در برخی از محدوده‌ها روش‌های زاویه‌ای مقدار بیشتری را نشان

داده است اما به طور کلی بسیار به یکدیگر نزدیک می‌باشند.

۷- مراجع

1. Berta, G. (1990) Explosive: An Engineering Tool, Italesplosive.
2. Jimeno, C., Lopez. and Jimeno, E. Lopez. (1995) Drilling and Blasting of Rocks, A.A.Balkema.
3. Olofsson, S.O. (1988) Applications Explosive Technology for Construction and Mining, Applex Publisher.
4. Persson, P., Hølemberg, R. and Lee, J. (1993) Rock Blasting and Explosive Engineering, CRC Press.
5. Gustafsson, R. (1973) Swedish Blasting Technique, Gothenberg, Sweden.
6. Konya, C.J. (1995) Blast Design, Inter Continental Development Corporation.
7. Zare, Sh. and Bruland, A. (2006) "Comparison of Tunnel Blast Design Models", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol 21, 533-541.