



تحلیل تغییرات افت ناشی از وجود موانع در شبکه تهویه معادن با استفاده از شبیه‌سازی

زهرة رضائی، مجید عطائی‌پور، سید حسن مدنی

دانشگاه مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۷ تیرماه ۱۳۹۶
بازنگری: ۱۰ دی ماه ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۳ دی ماه ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۲۳ بهمن ماه ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

شبیه‌سازی
مونت کارلو
تهویه
مانع
معدن نخلک

چکیده: تهویه مناسب در معادن یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار استخراج در اعماق است. طراحی شبکه تهویه پیش از شروع و در حین بهره‌برداری از معادن زیرزمینی همواره مورد توجه مهندسان بوده است. کارآمد بودن شبکه طراحی شده به عوامل گوناگون بستگی دارد. وجود موانع در مسیر جریان هوا یکی از عوامل تأثیرگذار در کارایی شبکه‌های تهویه است. در این تحقیق با استفاده از تکنیک مونت کارلو یک تابع توزیع احتمال برای مقاومت ناشی از موانع به عنوان ورودی مدل ارائه شده است. برای هر مقدار از مقاومت شبیه‌سازی شده، شبکه تهویه تحلیل شده است و شدت جریان همه شاخه‌های شبکه تهویه نخلک تعیین شد. معیار عملکرد رضایت‌بخش با توجه به کاربری حفریه معدنی احتمال عدم کارایی شاخه یا به عبارت دیگر احتمال شکست برای هر یک از شاخه‌های شبکه تهویه با توزیع ثابت تغییرات شدت جریان معرفی شد. شاخه‌های ۴، ۷، ۶ و ۱۳ دچار شکست شده است البته در شاخه ۷ با تغییر جهت جریان شاخه دوباره کارایی اولیه خود را خواهد پیدا کرد منتها در جهت مخالف جریان اولیه. شاخه ۱۳ با احتمال ۱۰۰ درصد در طول فرآیند شبیه‌سازی دچار شکست شد.

۱- مقدمه

مدل‌سازی اولیه یا توسعه مدل‌های موجود، مربوط به پدیده‌های پیچیده مهندسی، فیزیکی، زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی همواره مهم‌ترین بخش مورد توجه مهندسان طراح بوده است. انطباق کامل سیستم طراحی شده با واقعیت اغلب غیر ممکن است بنابراین، از روش‌های شبیه‌سازی استفاده می‌شود. در روش‌های مبتنی بر مشابه‌سازی، رفتار واقعی سیستم از شبیه‌سازی فرآیند واقعی برآورد می‌شود. در فرآیند شبیه‌سازی با یک مسئله به صورت تعدادی آزمایش شبیه تجربیات واقعی در طول زمان برخورد می‌شود و برای برآورد احتمالات و سایر شاخص‌ها از روش تعداد دفعات وقوع رخداد استفاده می‌شود. مونت کارلو یکی از تکنیک‌های مشابه‌سازی بسیار ارزشمند است و به طور گسترده در حل مسائل واقعی مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مونت کارلو یک تکنیک عمومی است که برای هر نوع توزیع ورودی و خروجی قابل استفاده است. این روش با تولید اعداد تصادفی و یا شبه‌تصادفی، از توزیع چگالی مربوط به هر یک از اجزای سیستم نمونه‌گیری کرده و با قرار دادن این نمونه‌ها در مدل نهایی سیستم، توزیع خروجی را می‌دهد [۱ و ۲]. پیش‌بینی شکست احتمالی شبکه تهویه

همواره مورد توجه مهندسیین معدن در مرحله طراحی اولیه یا توسعه مدل بوده است. از جمله موارد استفاده از روش تکنیک مونت کارلو برای مدل‌سازی شبکه‌های تهویه در کنترل رطوبت سیستم تهویه ساختمان‌ها توسط ون^۱ و همکاران مورد بررسی قرار گرفت [۳]. تحلیل قابلیت اطمینان شبکه تهویه با استفاده از شبیه‌سازی شدت جریان با استفاده از تکنیک مونت کارلو توسط چنگ^۲ ارائه شد. او با اندازه‌گیری شدت جریان یک معدن زغال، برای تغییرات شدت جریان تابع توزیع چگالی احتمال نرمال را پیش‌بینی کرد، وی با تکرار یکی از پارامترهای دخیل در توزیع شدت جریان، روند تغییرات را برای شدت جریان پیش‌بینی کرده است [۴]. در موارد ارائه شده از شبیه‌سازی مونت کارلو مستقیماً برای شبیه‌سازی توزیع تغییرات شدت جریان استفاده شده است. ابتدائی‌ترین وظیفه شبکه تهویه در معادن، وارد کردن هوای سالم و خارج کردن هوای آلوده از بخش‌های مختلف معدن است به گونه‌ای که شرایط مساعد برای کار پرسنل و تجهیزات استخراج فراهم شود. بنابراین کاهش کمیت و کیفیت هوای ورودی، منتقل شده به بخش‌های مختلف و خروجی نسبت به یک محدوده معین باعث خواهد شد که شبکه تهویه کارایی پیش‌بینی

1 Van

2 Cheng

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ir.map60@aut.ac.ir

هر یک از شاخه‌های شبکه تهویه اشاره کرد. مراحل مدل‌سازی شبکه تهویه نخلک در تراز ۲۰۰+ در ادامه ارائه شده است.

۱-۱-۲- معدن نخلک

معدن سرب نخلک در فاصله ۳۶۲ کیلومتری شمال شرق اصفهان و ۱۲۵ کیلومتری شمال شرق نائین بین شهرهای انارک و چوپانان (۴۸ کیلومتری انارک و ۵۵ کیلومتری چوپانان) در دامنه شرقی رشته کوه نخلک و در حاشیه جنوبی کویر مرکزی ایران واقع است. طول و عرض جغرافیائی معدن به ترتیب ۵۳ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و ۳۴ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی می‌باشد. کانسار سرب نخلک به صورت رگه‌های پیرشیب بوده و ذخیره قطعی تا عمق ۲۰۰ متری، احتمالی تا عمق ۲۴۰ متری و ممکن تا عمق ۳۲۰ متری ادامه دارد. معدن به وسیله ۶ چاه باز شده که از ۱ تا ۶ شماره گذاری شده‌اند. چاه شماره ۴ برای رفت آمد پرسنل با قفس مجهز شده و چاه شماره ۵ وظیفه بالابری مواد معدنی را به عهده دارد و با سیستم اسکپ مجهز شده است [۵]. نمای افقی کل شبکه معدن زغال سنگ نخلک در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۱-۲- گراف شبکه تهویه معدن نخلک

تونل‌ها و سایر حفاریات معدنی در یک شبکه تهویه، شاخه‌هایی هستند که در نقاط گره به یکدیگر متصل شده‌اند. به منظور دستیابی به طرح گراف شبکه‌های تهویه فرض‌های زیر در نظر گرفته شد.

(الف) پهنه‌های استخراج شده، تخریب یا پر شده نیازی به هوارسانی ندارند بنابراین از شبکه گرافی معدن حذف می‌شوند.

(ب) محل برخورد هر یک از حفاریات معدنی به یکدیگر برای مثال محل برخورد تونل‌های دنباله‌رو به دوپیل‌های تهویه، یک گره محسوب می‌شود.

(ج) ارتباط دو گره مجاور با یک ضلع نشان داده می‌شود که معرف یک حفاری معدنی خاص مانند کارگاه استخراج، دوپیل تهویه و دیگر موارد است.

(د) اغلب گراف‌ها کمیت‌های برداری و دارای جهت و بزرگی (وزن) هستند. جهت جریان هوا در هر شاخه جهت گراف، و شدت جریان و مقاومت هر شاخه به طور جداگانه بزرگی هر ضلع گراف معدنی است.

گراف معدن با استفاده از نقشه نمای افقی معدن (شکل ۱) و چهار ویژگی اصلی گراف معدنی، تهیه شده و در شکل ۲ نمایش داده شده است.

۳-۱-۲- محاسبه مقاومت

یکی از دو مؤلفه غیر برداری (بزرگی) گراف معدنی مقاومت است.

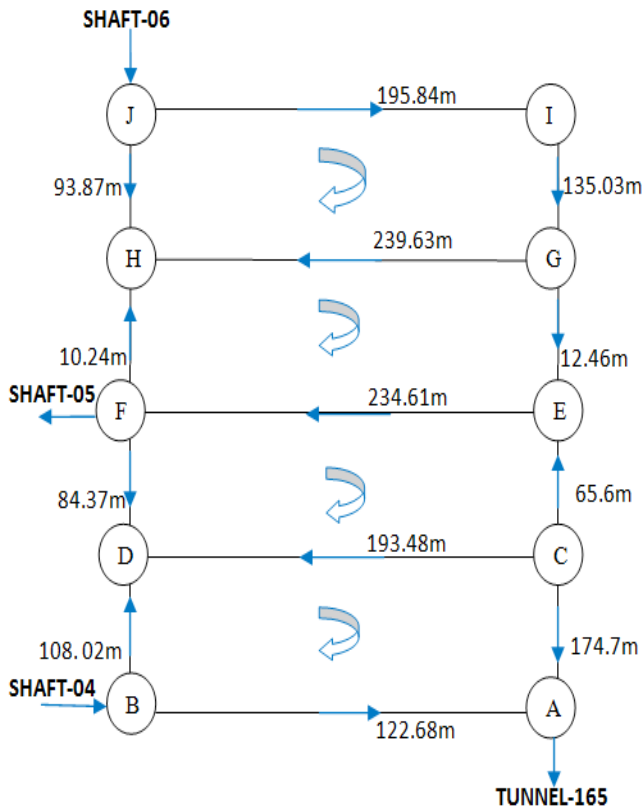
شده را نداشته باشد. مقاومت یکی از عوامل تغییرات شدت جریان در شبکه‌های تهویه است. گسترده شدن شبکه‌های تهویه در حین استخراج مقاومت‌هایی بر شبکه اعمال می‌کند که در این تحقیق به مقاومت ناشی از موانع تعبیر شده است. تغییر مقاومت در یک شاخه شدت جریان کل شبکه تهویه را متأثر می‌کند. در این مقاله با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو برای تغییر مقاومت ناشی از موانع تابع توزیع تغییرات شدت جریان محاسبه و روش معرفی شده برای یک طبقه از معدن سرب و روی نخلک اجرا شده است. مقاومت مربوط به شاخه ۱ که پذیرشگاه چاه قائم است به صورت نمائی شبیه‌سازی شد. به ازای هر بار تغییر مقاومت، شدت جریان مربوط به هر شاخه‌های شبکه محاسبه شد. تغییرات شدت جریان محاسبه و ذخیره شد. با توجه به کاربری شاخه، حداقل و حداکثر سرعت هوا به عنوان معیار عملکرد رضایت‌بخش برای هر شاخه معرفی شده است. احتمال تجاوز شدت جریان از مقدار شدت جریان مجاز به عنوان احتمال شکست شاخه معرفی شده است. از آنجا که احتمال شکست و کارائی دو پیشامد مکمل هستند بنابراین با مشخص شدن احتمال شکست قابلیت اطمینان شاخه محاسبه می‌شود.

۲- روش تحقیق

شناخت کامل اجزای سیستم و درک روابط بین هر جزء از سیستم مهم‌ترین بخش مدل‌سازی است. در این تحقیق ابتدا شبکه گرافی مربوط معدن تهیه شده است. هر یک از اجزای تشکیل دهنده شبکه معدن وظیفه خاص به عهده دارند و ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلف دچار افت ناشی از موانع شوند. در این تحقیق با استفاده از گزارش‌ها و نقشه‌های موجود از معدن افت ناشی از موانع برای شاخه‌ای که تغییرات مقاومت ناشی از موانع برای آن محتمل تر است شبیه‌سازی شد. به ازای هر بار تغییر مقاومت شدت جریان ناشی از هر بار تغییر مقاومت با استفاده از روش هاردی کراس محاسبه شد. معیار عملکرد رضایت‌بخش با توجه به کاربری حفاری معدنی، احتمال عدم کارائی شاخه یا به عبارت دیگر احتمال شکست برای هر یک از شاخه‌های شبکه تهویه به دست آمد.

۱-۲- مدل‌سازی شبکه تهویه

سیستم عبارت است از مجموعه‌ای از اعضا که به صورت متوالی، موازی و یا ترکیبی و پیچیده با یکدیگر در ارتباط هستند. قبل از کاربرد شبیه‌سازی در شبکه‌های تهویه باید درک کاملی از روابط میان سیستم و مدل‌سازی شبکه برای تحلیل‌گر حاصل شده باشد. از جمله مراحل مدل‌سازی شبکه تهویه می‌توان به تهیه گراف معدنی، محاسبه مقاومت هر یک از شاخه‌های گراف و محاسبه شدت جریان مربوط به



شکل ۲: گراف تراز +۲۰۰ معدن نخلک
The Nakhlak mine plan graph (Level +200)

$$R = \alpha \frac{LP}{S^3} \quad (1)$$

که در آن:

α : ضرایب اصطکاک مربوط به بخش های مختلف

L: طول حفریه معدنی

P: محیط حفریه معدنی

S: مساحت حفریه معدنی

ضرایب مربوط به بخش های مختلف معدن در جدول ۱ آورده شده است. طول، محیط و مساحت حفریه های معدنی برای محاسبه مقاومت ناشی از اصطکاک با استفاده از نقشه معدن (شکل ۱) بدست آمده که در جدول ۲ درج شده است. با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۱ و رابطه ۱ مقاومت اصطکاکی هر یک از شاخه های شبکه تهویه معدن محاسبه شده است. ضرایب اصطکاک هر یک از حفریه های معدنی با استفاده از منابع موجود محاسبه شد. از آنجا که اختلاف میان ضرایب اصطکاک ناپیچ بود در این تحقیق میانگین ضرایب اصطکاک همه حفریه های معدنی به عنوان ضریب اصطکاک میانگین در محاسبات وارد شده است.

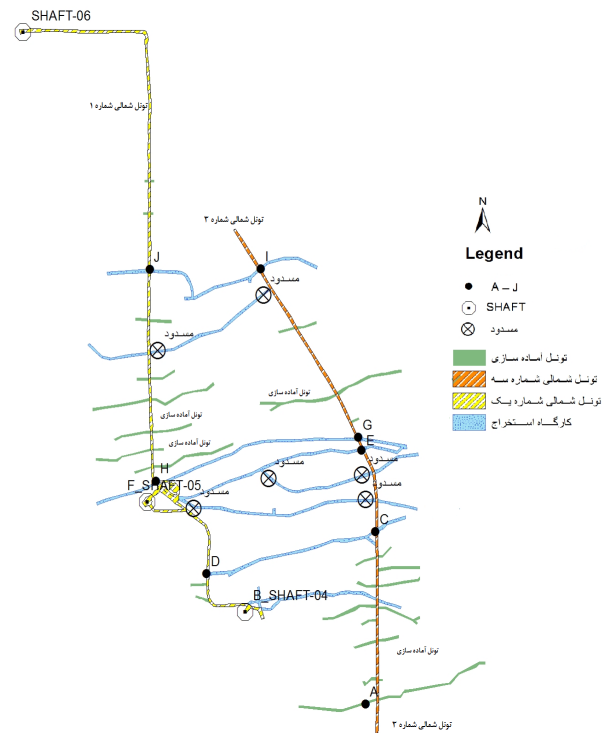
مقاومت هر یک از شاخه ها مرکب از سه مؤلفه زیر است:

الف) مقاومت ناشی از اصطکاک

ب) مقاومت ناشی از وجود موانع در مسیر جریان هوا

ج) مقاومت موضعی

مقاومت اصطکاکی به خصوصیات هندسی حفریات بستگی دارد و مقاومت ناشی از وجود موانع در مسیر جریان هوا به دلیل حضور موانع احتمالی در مسیر جریان هوا حاصل می شود. این موانع ممکن است واگن های ویژه حمل مواد معدنی یا افراد، مواد حاصل از خرابی تونل، تردد افراد در تونل و مانند آن باشد. مقداری از انرژی مفید هوا، صرف از بین بردن مقاومت این موانع می شود و این امر، در جریان هوا اغتشاش به وجود می آورد. علاوه بر مقاومت های یاد شده هوا به هنگام عبور از بخش های مختلف معدن با خصوصیات هندسی متفاوت دچار افت فشار می شود و مقداری از انرژی خودش را از دست می دهد. از جمله این موانع پیچ و خم ها، انشعاب ها، درهای تهویه و محل های گشاد شدن و یا تنگ شدن حفریات معدنی را می توان نام برد. در این تحقیق مقاومت ناشی از اصطکاک با استفاده از رابطه ۱ برای شبکه تهویه معدن نخلک محاسبه شد [۶]. مقاومت ناشی از موانع و موضعی با استفاده از شبیه سازی توزیع تغییرات مقاومت در فرآیند محاسبه شدت جریان لحاظ شده است. نحوه محاسبه در بخش فرآیند شبیه سازی اشاره خواهد شد.



شکل ۱: نمای افقی از تراز +۲۰۰ شبکه معدن نخلک
Nakhlak mine plan (Level +200)

جدول ۲: سرعت مجاز در قسمت‌های مختلف معدن [۷]

The allowable range of flow rate of different part of mine excavations

سرعت مجاز (متر بر ثانیه)	شرح
۴	حداکثر سرعت مجاز در قسمت‌های داخلی
۸	حداکثر سرعت مجاز در چاه یا تونل اصلی ورود هوا
۱۰	حداکثر سرعت مجاز در چاه یا تونل اصلی برگشت هوا
۱	حداقل سرعت مجاز در کارگاه استخراج
۰/۲۵	حداقل سرعت مجاز در تونل‌های باربری

شدت جریان هر شاخه از شبکه تهویه، با توجه به کاربری شاخه و روابط ۲ تا ۴ و جدول ۱ محاسبه شده و در شاخه‌ها با کاربری‌های چندگانه بیشینه مقدار محاسبه شده به عنوان شدت جریان آن شاخه منظور شده است. با استفاده از رابطه افت فشار (رابطه ۵) و روش حل هاردی کراس شبکه تهویه تحلیل شد [۶].

$$\Delta P = RQ^2 \quad (5)$$

شدت جریان‌های هر شاخه از شبکه پس از ۱۰ تکرار همگرا شد که نتایج در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: شدت جریان شاخه‌های مربوط به شبکه نخلک

Volume flowrate of the Nakhlak mine ventilation network

حفریه معدنی	شماره حفریه معدنی	نوع حفریه معدنی	شدت جریان (مترمکعب در ثانیه)
AB	۱	پذیرشگاه چاه	۲/۰۴
CA	۲	تونل	۱/۳۲
BD	۳	تونل	۰/۸۷
CD	۴	تونل	۰/۸۳
EC	۵	تونل	۰/۶۳
DF	۶	تونل	۰/۵۳
FE	۷	تونل	۰/۳۸
EG	۸	تونل	۱/۵۷
FH	۹	تونل	۰/۸۳
GH	۱۰	تونل	۰/۳۶
IG	۱۱	تونل	۲/۱۹
JH	۱۲	تونل	۳/۰۹
IJ	۱۳	تونل	۲/۵۶

۲-۲- فرآیند شبیه‌سازی

بنیان همه روش‌های شبیه‌سازی بر اعداد اتفاقی استوار است. عدد اتفاقی (یکنواخت) متغیری است که مقدار آن در دامنه (۰،۱) با توزیع یکنواخت قرار داشته و با احتمال یکسانی می‌تواند هر عددی را در این دامنه اختیار نماید. متداول‌ترین الگوریتم تولید اعداد اتفاقی عبارت

جدول ۱: مشخصات شبکه تهویه نخلک واقع در تراز ۲۰۰ [۵]

Dimensional characteristics and friction resistance of different excavation of the Nakhlak mine graph (Level +200)

حفریه معدنی	S (m ²)	P (m)	L (m)	a	مقاومت
AB	۴/۴۶	۸/۱۳۶	۱۲۲/۶۸	۰/۰۰۲۵۸	۲۸/۹۹
CA	۵/۳۶	۸/۸۳	۱۷۴/۷	۰/۰۱۲۲۹	۱۲۳/۱۵
BD	۶/۲۷	۹/۴۵	۱۰۸/۰۲	۰/۰۰۲۵۹	۱۰/۷۴
CD	۵/۱۳	۸/۶۴	۱۹۳/۴۸	۰/۰۰۱۲۲۹	۱۵۲/۲۱
EC	۵/۰۶	۸/۵۷	۵/۰۶	۰/۰۰۱۲۲۹	۱۴۲/۰۶
DF	۴/۷۷	۸/۳۹	۸۴/۳۷	۰/۰۱۱۴۱	۷۴/۴۵
FE	۵/۱۱	۸/۶۴	۲۳۴/۶۱	۰/۰۱۲۲۹	۱۸۶/۵۹
EG	۵/۰۶	۸/۵۷	۱۲/۴۶	۰/۰۱۲۲۹	۱۰/۱۳
FH	۵/۱	۸/۵۲	۱۰/۲۴	۰/۰۱۲۲۹	۸/۰۹
GH	۳/۹۲	۷/۸	۲۳۹/۶۳	۰/۰۱۱۴۱	۳۵۴/۲۰
IG	۵/۰۷	۸/۵۷	۱۳۵/۰۳	۰/۰۱۲۰۹	۱۰۷/۳۳
JH	۴/۶۲	۸/۱۶	۹۳/۸۷	۰/۰۱۱۴۱	۸۸/۶۷
IJ	۴/۵۴	۸/۱۷	۱۹۵/۸۴	۰/۰۰۲۵۸	۴۴/۰۵

۴-۱-۲- محاسبه شدت جریان

مقدار شدت جریان در هر شاخه، دیگر مؤلفه غیربرداری هر ضلع از گراف معدن است. شاخه‌ها در یک شبکه تهویه وظیفه‌ای مشخص به عهده دارند. شدت جریان هوای لازم با توجه به کاربری هر شاخه ممکن است یکی از موارد زیر باشد [۷]:

الف) شدت جریان هوای لازم برای پرسنل

$$Q_1 = 6N \quad (2)$$

که N تعداد نفرات و شدت جریان هوای مورد نیاز بر حسب متر مکعب در دقیقه

ب) شدت جریان هوا برای رقیق کردن گازهای حاصل از آتشباری برای جبهه کارهای آماده سازی

با فرض آزاد شدن ۴۰ لیتر گاز سمی به ازای انفجار یک کیلوگرم ماده منفجره، هوای لازم برای رقیق گازهای حاصل از انفجار در مرحله پیشروی از رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$Q_2 = 500 \frac{A}{t} \quad (3)$$

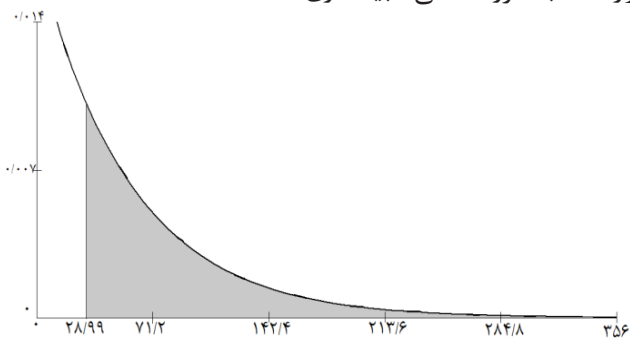
که در آن Q2 شدت جریان مورد نیاز بر حسب متر مکعب در دقیقه، t مدت زمان تهویه کار معدنی بر حسب دقیقه و A وزن ماده منفجره مصرفی در هر نوبت آتشباری در جبهه کار پیشروی بر حسب کیلوگرم است. مقادیر سرعت مجاز در بخش‌های مختلف معدن در جدول ۲ آمده است.

ب) تولید یک مقدار تصادفی و انتخاب یک مقدار از توزیع احتمال هر متغیر ورودی با استفاده از اعداد تصادفی تولید شده
 ج) استفاده از مقادیر انتخاب شده به عنوان پارامترهای ورودی و محاسبه خروجی
 ه) تکرار گام‌های دوم و سوم تا جایی که یک هیستوگرام و نمودار توزیع احتمال پایدار برای خروجی حاصل شود.
 و) محاسبه احتمال وقوع خروجی با مقدار دلخواه با استفاده از هیستوگرام به دست آمده

در این تحقیق از تکنیک مونت کارلو برای شبیه‌سازی مقاومت ناشی از موانع به عنوان ورودی و تغییرات شدت جریان هر شاخه از شبکه به عنوان خروجی مدل شبیه‌سازی استفاده شده است. مراحل انجام تحقیق بر اساس گام‌های ارائه شده، در ادامه ارائه خواهد شد.

۱-۲-۲- تعریف تابع توزیع احتمال برای مقاومت ناشی از مانع

الگوی رفتاری شاخه‌های یک شبکه تهویه از نظر تغییرات شدت جریان هوا در تونل‌های معدنی بر اساس مقاومتی که موانع گوناگون در مسیر جریان هوا تولید می‌کنند به درجاتی با یکدیگر تفاوت دارند. برخی از عوامل تولید کننده افت، موانع دینامیک هستند، از این رو مدت زمان و محل استقرار مانع در مسیر جریان هوا متفاوت خواهد بود. این عوامل ممکن است سبب تغییرات مقاومت در شاخه‌ها در طول بهره‌برداری از شبکه تهویه و در نتیجه افزایش مقاومت نسبت به مقدار اولیه طراحی شود، بنابراین در این تحقیق تغییرات مقاومت به عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی برای شبکه تهویه معدن، انتخاب شد. از جمله موانع دینامیک به حضور پرسنل در طول ساعات فعالیت و در زمان تعویض شیف‌ت می‌توان اشاره کرد. تغییرات مقاومت شاخه ۱ معدن نخلک (پذیرشگاه چاه قائم واقع در تراز +۲۰۰) به صورت نمائی شبیه‌سازی شده است.



شکل ۳: توزیع نمائی تغییرات مقاومت

Exponential distribution of resistance variation

توزیع نمائی تغییرات مقاومت با تولید ۱۰۰۰ عدد تصادفی آغاز شد. اعداد تولید شده دارای توزیع یکنواخت پیوسته بوده و در بازه (۱،۰) قرار دارند. مقاومت در شاخه ۱ در حالت طراحی اولیه به عنوان میانگین در نظر

است از مولدهای متجانس^۱ که در آن مقدار جدید X_i+1 در یک توالی بر مبنای مقدار عدد قبلی X_i مطابق رابطه ۶ تعیین می‌شود:

$$X_{i+1} = (AX_i + C) \pmod{B} \quad (6)$$

با فرض صحیح و غیر منفی بودن، A ضریب، B مدول^۲ و C گام افزایش^۳ است. فرایند تولید اعداد با انتخاب متغیر X بنام بذر^۴ شروع می‌شود و توالی به طور خودکار در پیش می‌رود. توالی مقادیر پس از یک دوره معین با تعداد دفعاتی محدود به بزرگی B خود را تکرار خواهد کرد [۸].

اعداد اتفاقی تولید شده با استفاده از الگوریتم‌های موجود، ورودی اولیه فرآیند شبیه‌سازی است. اعداد تولید شده در برخی از مسائل به صورت مستقیم استفاده می‌گردد اما در غالب مسائل شبیه‌سازی، باید قبل از کاربرد در فرآیند شبیه‌سازی به سایر توزیع‌های غیر یکنواخت تبدیل شود.

روش‌های اصلی برای این تبدیل‌ها عبارت است از:

الف) روش تبدیل شکل وارونه^۵

ب) روش ترکیب^۶

ج) روش رد و قبول^۷

روش تبدیل وارونه از مؤثرترین روش‌ها برای این منظور است. تبدیل عدد اتفاقی تولید شده به توزیع نمائی و نرمال در ادامه معرفی شده است. با فرض تابع احتمال از نوع نمائی برای متغیر T داریم:

$$F_T(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad ; \lambda > 0, t > 0$$

با کاربرد روش تبدیل وارونه

$$U = F_T(T) = 1 - e^{-\lambda T}$$

یا

$$T = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - U)$$

که در آن F_T توزیع فراوانی تجمعی احتمال و U متغیر اتفاقی با توزیع یکنواخت در محدوده (۰،۱) است. نظر به این که $(1-U)$ نیز دارای توزیع فراوانی مانند U می‌باشد بدین ترتیب:

$$T = -\frac{1}{\lambda} \ln U \quad (7)$$

بنابراین هرگاه متغیر اتفاقی U به روش محاسباتی قابل حصول باشد، می‌توان با یک فرآیند ساده محاسباتی به متغیر ورودی با توزیع مورد نظر دست یافت [۱].

گام‌های تکنیک مونت کارلو به شرح زیر خلاصه شده است.

الف) تعریف تابع توزیع احتمال برای هر یک از متغیرهای ورودی با استفاده از داده‌های تجربی

- 1 Congruential Generator
- 2 Modulus
- 3 Increment
- 4 Seed
- 5 Inverse transform method
- 6 Composition method
- 7 Acceptance rejection method

نگهداری دچار افت فشار، ناپایداری و تغییرات شدت جریان هوا شود. در این شرایط عملکرد مطلوب شاخه که مقدار آن باتوجه به شدت جریان طراحی شده تعریف می شود، تغییر می کند. همانگونه که اشاره شد با استفاده از روش هاردی کراس شبکه تهویه معدن نخلک تحلیل شده است. مقاومت در شاخه ۱ با استفاده از تکنیک مونت کارلو با توزیع نمائی در حال تغییر است و با هر بار تغییر مقاومت شرایط جدیدی به وجود می آید شبکه تهویه معدن نخلک برای هر بار تغییر مقاومت از ابتدا محاسبه شده است. همانگونه که در فرض مسئله ارائه شد در صورت وقوع افت ناشی از موانع مقاومت در شاخه افزایش پیدا خواهد کرد که تنها ۶۱٪ از مقادیر تولید شده دارای این شرایط هستند.

در شبکه تهویه معدن به ازای هر ۶۱۴ مقدار مقاومت در حفریه معدنی شماره ۱، شرایط جدیدی به وجود می آید. برای نمونه شدت جریان متناظر همه شاخه ها به ازای ۲۰ داده تصادفی در جدول ۴ نشان داده شده است. همانگونه که اشاره شده است به ازای هر ۶۱۴ مقدار قابل قبول مقاومت، شدت جریان هر یک از شاخه های تشکیل دهنده شبکه تهویه نیز تغییر خواهند کرد. پس از تحلیل شبکه به ازای هر یک از ۶۱۴ مقدار مقاومت، شدت جریان متناظر هر یک از شاخه های شبکه تهویه محاسبه و ذخیره شده است. هیستوگرام تغییرات شدت جریان در شکل ۴ نشان داده شده است.

توزیع فراوانی شدت جریان هر شاخه با استفاده از BESTFIT تهیه شده است که در جدول ۵ نشان داده شده است. آزمون های انطباق چپ اسکور^۱ و کلموگروف اسمیرنوف^۲ برای بررسی شناسائی بهترین توزیع حاکم بر هر یک از دسته داده ها مورد استفاده قرار گرفت.

گرفته شد. بنابراین با استفاده از رابطه ۷، ۱۰۰۰ عدد تصادفی با توزیع نمائی و میانگین ۲۸/۹۹ تولید شد. شکل ۳ توزیع نمائی مقادیر شبیه سازی شده مقاومت برای شاخه ۱ را نشان می دهد. باتوجه به این که مقاومت ناشی از اصطکاک ۲۸/۹۹ به دست آمده است، حضور موانع مختلف موجب افزایش مقاومت می شود بنابراین مقادیر به دست آمده که کمتر از ۲۸/۹۹ باشد از فرآیند شبیه سازی خارج می شود. تحلیل شبکه تهویه از جمله طراحی های مهم پیش از استخراج و در حین استخراج است. همانگونه که در معرفی شبکه تهویه نخلک ارائه شد، مقاومت ناشی از اصطکاک، موضعی و ناشی از موانع در طراحی اولیه لحاظ می شود. مقاومت ناشی از اصطکاک برای حفریه معدنی شماره ۱ در مرحله طراحی ۲۸/۹۹ محاسبه شد، حضور موانع مختلف موجب افزایش مقاومت از این مقدار محاسبه شده خواهد شد لذا در فرآیند شبیه سازی مقادیری از مقاومت وارد مرحله ج خواهند شد که بیشتر از ۲۸/۹۹ باشند. بنابراین به نظر می رسد که احتمال وقوع حالتی که مقاومت کمتر از مقدار محاسبه شده (میانگین ۲۸/۹۹) باشد بسیار کم یا غیر ممکن است. از این رو تنها ۶۱/۴ درصد از مقادیر، بزرگتر از مقدار میانگین بوده اند (شکل ۳). روش تولید توزیع نمائی تغییرات مقاومت برای ۲۰ نمونه اول در جدول ۴ نشان داده شده است. بنابراین تنها تعداد ۶۱۴، مورد از ۱۰۰۰ مورد تولید شده به عنوان پارامتر ورودی برای محاسبه شدت جریان استفاده شد.

۲-۲-۲- شناسائی و تحلیل توزیع خروجی

شبکه تهویه طراحی شده در معادن زیرزمینی ممکن است تحت تأثیر عواملی نظیر قرار گرفتن اجسام در مسیر عبور هوا و خرابی سیستم های

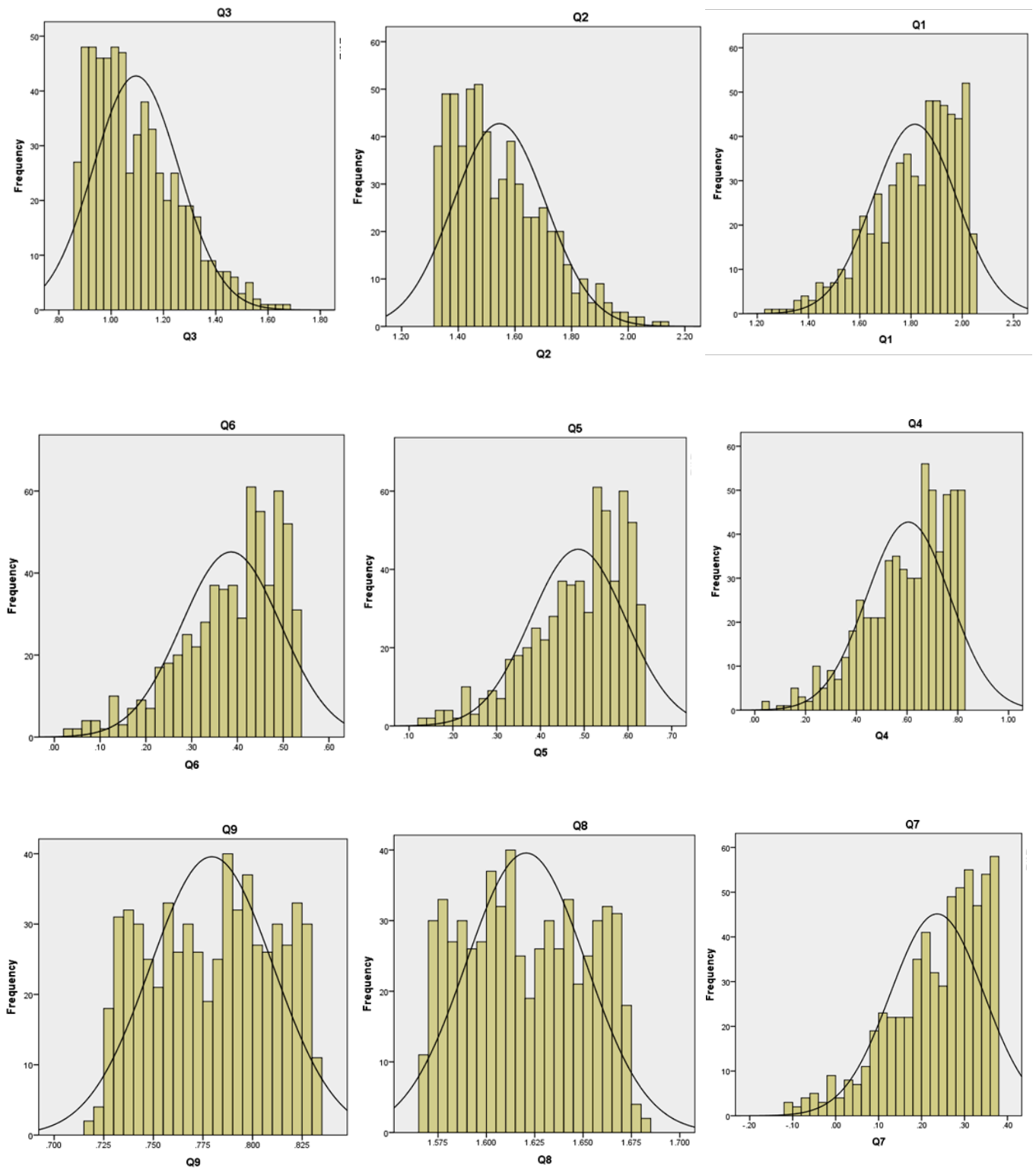
جدول ۴: شدت جریان متناظر ۲۰ داده مقاومت شبیه سازی شده

Corresponding flowrate of all mine ventilation network branches according to 20 simulated resistance for the main tunnel

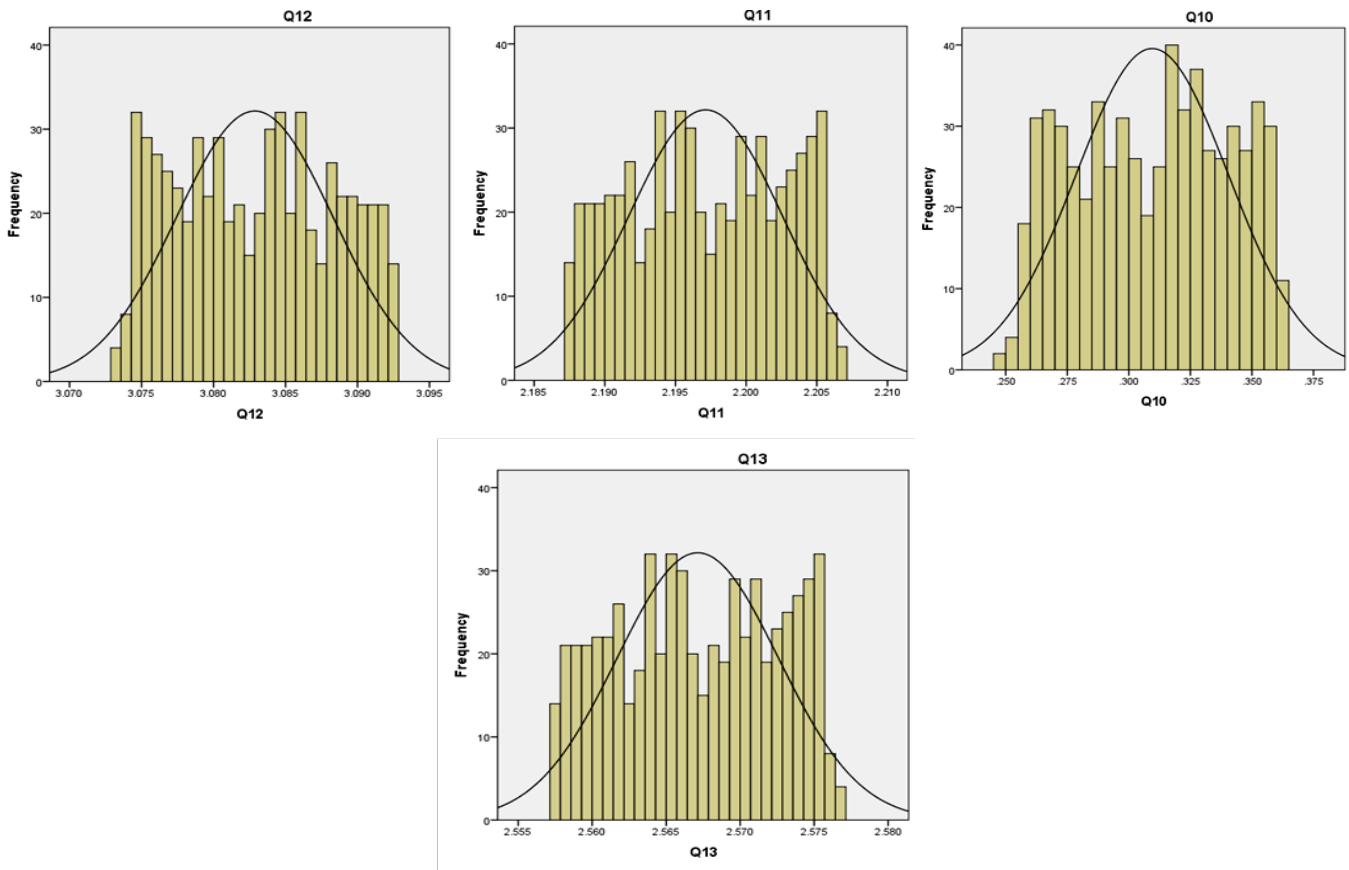
عدد تصادفی متناظر	مقاومت متناظر مورگ	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13
۰/۱۱۴۵۸۵	۳/۳۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۳/۳۴۲۶۰۱	۹۶/۸۹	۱/۷۴	۱/۶۲	۱/۱۷	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۱۹	۱/۶۴	۰/۷۶	۰/۲۹	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۰/۷۰۳۴۵۶	۲۰/۳۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۰/۶۵۹۷۸۹	۱۹/۱۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۵/۷۷۴۰۰۵	۱۶۷/۳۶	۱/۵۵	۱/۸۱	۱/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۰۶	۱/۶۷	۰/۷۳	۰/۲۶	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۱/۷۸۰۷۸۹	۵۱/۶۲	۱/۹۲	۱/۴۴	۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۳۰	۱/۶۰	۰/۸۰	۰/۳۳	۲/۱۹	۳/۰۹	۲/۵۶
۲/۵۰۰۹۵۵	۷۲/۴۹	۱/۸۳	۱/۵۳	۱/۰۸	۰/۶۲	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۲۵	۱/۶۲	۰/۷۸	۰/۳۱	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۹/۶۴۸۸۹۷	۲۷۹/۶۸	۱/۳۶	۲/۰۰	۱/۵۵	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۷	-۰/۰۸	۱/۶۸	۰/۷۲	۰/۲۵	۲/۲۱	۳/۰۷	۲/۵۸
۳/۱۳۳۶۲	۹۰/۸۳	۱/۷۶	۱/۶۰	۱/۱۵	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۲۰	۱/۶۴	۰/۷۶	۰/۲۹	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۲/۹۶۱۶۰۷	۸۵/۸۴	۱/۷۸	۱/۵۸	۱/۱۳	۰/۵۷	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۲۲	۱/۶۳	۰/۷۷	۰/۳۰	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۱/۰۷۲۸۰۹	۳۱/۱۰	۲/۰۲	۱/۳۴	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۳۷	۱/۵۷	۰/۸۳	۰/۳۶	۲/۱۹	۳/۰۹	۲/۵۶
۰/۱۹۶۵۲۶	۵/۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۰/۲۹۱۲۱	۸/۴۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲/۴۷۷۴۹۶	۷۱/۸۱	۱/۸۳	۱/۵۳	۱/۰۸	۰/۶۲	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۲۵	۱/۶۲	۰/۷۸	۰/۳۱	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۲/۰۱۵۶۱۱	۵۸/۴۲	۱/۸۹	۱/۴۷	۱/۰۲	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۲۹	۱/۶۱	۰/۷۹	۰/۳۲	۲/۲۰	۳/۰۸	۲/۵۷
۰/۶۰۴۷۲۴	۱۷/۵۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۱/۰۱۴۸۵۳	۲۹/۴۲	۲/۰۳	۱/۳۳	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۵	۰/۳۸	۱/۵۷	۰/۸۳	۰/۳۶	۲/۱۹	۳/۰۹	۲/۵۶
۰/۰۰۶۳۵۸	۰/۱۸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۰/۰۳۰۱۹۸	۰/۸۸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۰/۳۵۵۷۵	۱۰/۳۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1 Chi squared test

2 Kolmogorov smirnov



شکل ۴: الف) هیستوگرام شدت جریان شاخه‌های ۱ تا ۹
 a. Volume flowrate histogram of branches with numbers 1 to 9



شکل ۴: ب) هیستوگرام شدت جریان شاخه‌های ۱۰ تا ۱۳
b. Volume flowrate histogram of branches with numbers 10 to 13

جدول ۵: توابع توزیع شدت جریان شاخه‌های مربوط به شبکه نخلک

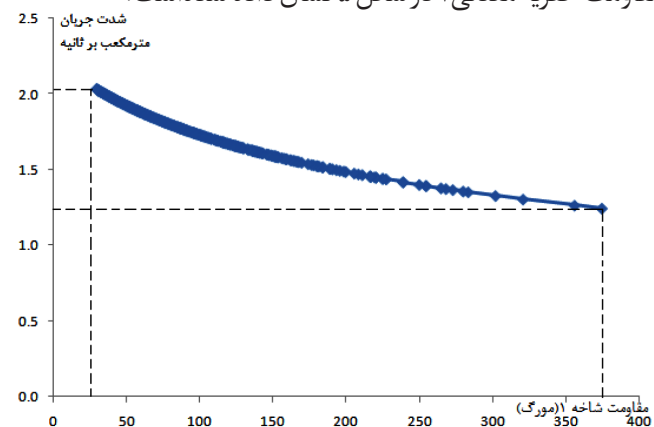
Flow rate distribution functions of all branches of Naxhllak mine

توزیع احتمال	انحراف معیار	mean	max	min	NO
ندارد	۰/۱۷۵	۱/۸۵	۲/۰۹	۱/۲۴	۱
	۰/۱۷۵	۱/۵۱	۲/۱۲	۱/۲۷	۲
	۰/۱۷۵	۱/۰۶	۱/۶۷	۰/۸۲	۳
ندارد	۰/۱۷۵	۰/۶۴	۰/۰۳	۰/۸۸	۴
ندارد	۰/۱۱۵	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۱۳	۵
ندارد	۰/۱۱۵	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۰۳	۶
ندارد	۰/۱۱۵	۰/۲۶	۰/۴۱	۰	۷
ندارد	۰/۰۳۶	۱/۶۱	۱/۶۸	۱/۵۵	۸
ندارد	۰/۰۳۶	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۷۲	۹
ندارد	۰/۰۳۶	۰/۳۲	۰/۳۹	۰/۲۵	۱۰
(۲,۱۸,۲,۲۲)Uniform	۰/۰۰۶	۲/۱۹	۲/۲۱	۲/۱۸	۱۱
(۳,۰۷,۳,۰۹)Uniform	۰/۰۰۶	۳/۰۹	۳/۰۷	۳/۰۱	۱۲
(۲,۵۵,۲,۷۷)Uniform	۰/۰۰۶	۲/۵۷	۲/۵۵	۲/۵۸	۱۳

۵- بحث و تحلیل نتایج

تونل‌های اصلی در معادن زیرزمینی اغلب وظیفه نقل و انتقال مواد معدنی و پرسنل را برعهده دارند بنابراین در مدت بهره‌برداری از معدن ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلف دچار تغییرات در مقدار مقاومت گردند. عدم قطعیت موجود در احتمال رویداد و بازه زمانی رویداد را می‌توان با معرفی توزیع تغییرات مقاومت مدل کرد. به این منظور تغییرات مقاومت با استفاده از تولید مقدار تصادفی با توزیع نمایی مدل شد و با استفاده از تکنیک مونت کارلو شدت جریان به ازای هر باریک بار تغییر مقاومت محاسبه شده و مقادیر آن ذخیره شده است. هیستوگرام تغییرات شدت جریان برای توزیع نمایی مقاومت محاسبه شده که در شکل ۴ به آن‌ها اشاره شد.

همان‌گونه که گفته شد، با قطعیت نمی‌توان در مورد نوع تابع توزیع تغییرات شدت جریان قضاوت کرد. نتایج در مورد حفریه‌های معدنی ۱ و ۴ تا ۱۰، هیچ‌گونه توزیعی پیش‌بینی نکرده است. به نظر می‌رسد با افزایش تعداد داده‌ها و تغییر توزیع تغییرات مقاومت قضاوت در مورد نوع توزیع آسان شود. نمودار تغییرات شدت جریان نسبت به تغییرات مقاومت حفریه معدنی ۱ در شکل ۵ نشان داده شده است.

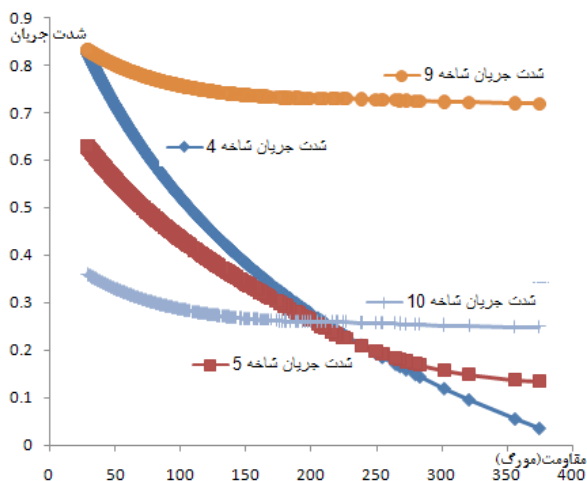


شکل ۵: شدت جریان تونل ۱ نسبت به تغییرات مقاومت تونل ۱
Volume flowrate of Tunnel 1, according to resistance variation of main tunnel

مطابق شکل ۴، افزایش مقاومت سبب کاهش شدت جریان شده است. حداقل دبی در حفریه معدنی شماره ۱ به هنگام اعمال بیشترین مقاومت معادل ۱/۲۴ متر مکعب بر ثانیه است (جدول ۵). با توجه به سطح مقطع حفریه معدنی شماره ۱ که در جدول ۱ به آن اشاره شد، و رابطه محاسبه دبی $Q=AV$ که در آن Q شدت جریان هوای عبوری، A سطح مقطع کار معدنی و V سرعت هوای عبوری است، سرعت هوا در این بخش ۲۸٪ متر بر ثانیه خواهد بود. براساس سرعت مجاز در بخش‌های مختلف معدن که در جدول ۲ ارائه شده حداقل سرعت مجاز در تونل باربری ۲۵٪ متر مکعب بر ثانیه است که به مقدار مجاز خیلی نزدیک است، لذا در این شرایط شاخه پذیرشگاه چاه از

دیدگاه قابلیت اطمینان ممکن است دچار شکست شود.

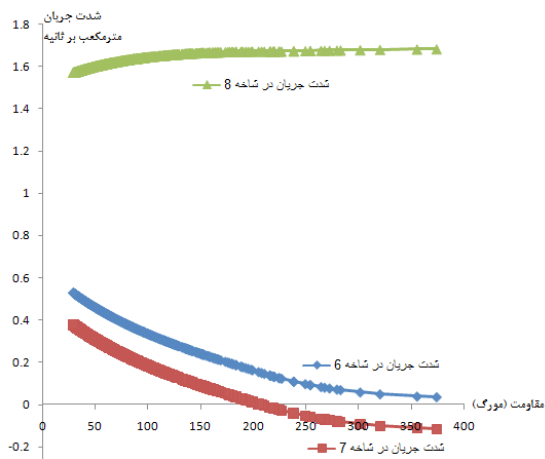
تونل‌های شماره ۴، ۵، ۹ و ۱۰ با افزایش مقاومت با افت شدت جریان مواجه شد، افت شدت جریان در شاخه‌های ۴ و ۵ بسیار شدید است که در شکل ۶ نشان داده شده است. به گونه‌ای که شدت جریان در بیشترین مقاومت به صفر میل خواهد کرد. که سبب از کار افتادن شاخه در شبکه تهویه خواهد شد. شیب افت شدت جریان در تونل‌های ۹ و ۱۰ نسبت به تونل‌های ۴ و ۵ کمتر است، در این تونل‌ها شدت جریان پس از رسیدن به مقدار خاصی ثابت باقی مانده است.



شکل ۶: شدت جریان تونل‌های ۴، ۵، ۹ و ۱۰ نسبت به تغییرات مقاومت تونل ۱

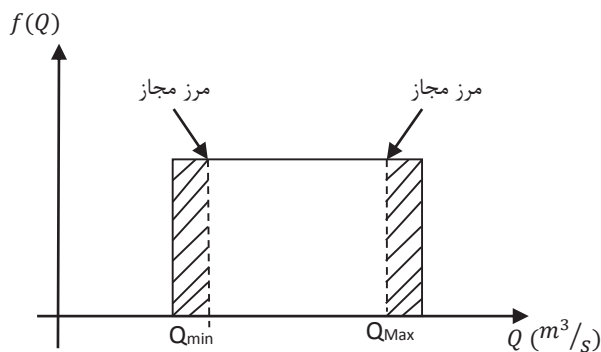
Volume flowrate of Tunnels 4,5,9 and 10, according to resistance variation of main tunnel

برای تونل‌های شماره ۶، ۷ و ۸ به صورت مشابه هیچ‌گونه توزیعی پیش‌بینی نشد. نمودار تغییرات شدت جریان نسبت به تغییرات مقاومت برای تونل ۱ در شکل ۷ نشان داده شده است.

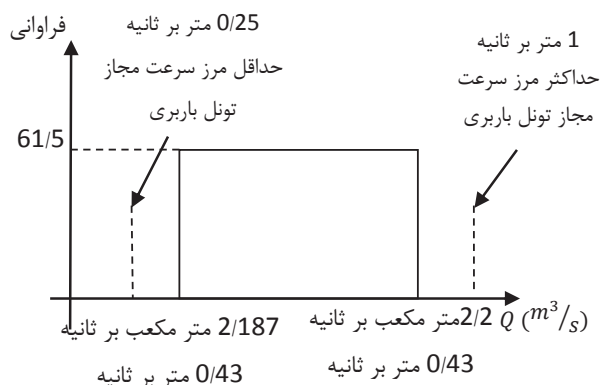


شکل ۷: شدت جریان تونل‌های ۶، ۷ و ۸ نسبت به تغییرات مقاومت تونل ۱

Volume flowrate of Tunnels 6,7 and 8, according to resistance variation of main tunnel

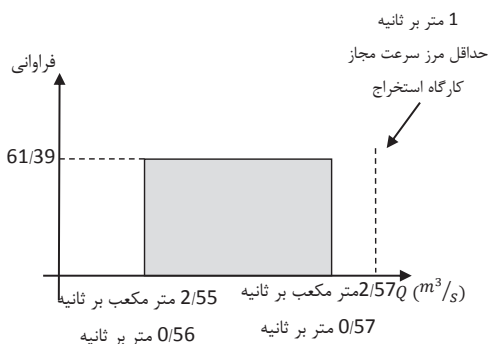


شکل ۸: محدوده مجاز و بحرانی شدت جریان براساس سقف و کف سرعت هوا
The allowable range of flow rate based on air speed in the Tunnels



شکل ۹: محدوده مجاز و بحرانی شدت جریان براساس سقف و کف سرعت هوا در تونل باربری شماره ۱۱
The allowable range of flow rate based on air speed in the Tunnel 11

مشابه شاخه ۱۱، شدت جریان برای شاخه باربری ۱۲ سرعت بین ۰/۶۶ تا ۰/۶۷ متر بر ثانیه در محدوده مجاز قرار گرفته است. شاخه ۱۳ در مراحل پیشروی کارگاه استخراج یوده است لذا مطابق جدول ۲ کف سرعت مجاز برای این شاخه ۱ متر بر ثانیه خواهد بود، سقف و کف سرعت در این شاخه مطابق شکل ۱۰ کمتر از حداقل مجاز است.



شکل ۱۰: محدوده مجاز و بحرانی شدت جریان براساس سقف و کف سرعت هوا در تونل باربری شماره ۱۳
The allowable range of flow rate based on air speed in the Tunnel 13

با افزایش مقاومت در پذیرشگاه چاه قائم شدت جریان در تونل ۶ و ۷ به سرعت کاهش یافته است. با افزایش مقاومت در شاخه ۱، شدت جریان در شاخه ۶ به صفر میل کرده است به این معنی که هیچ هوایی از این شاخه عبور نخواهد کرد. با تمایل پیدا کردن شدت جریان به سمت صفر در شاخه ۷، این شاخه دچار شکست شده و بعد از مدتی با تغییر جهت جریان در شاخه کارائی پیش بینی شده را پیدا خواهند کرد. همانگونه که از نمودار نیز مشخص است با افزایش مقاومت شدت جریان کاهش یافته است. این روند تا قطع شدن حرکت هوا در این حفریه ادامه پیدا خواهد کرد. از این رو شدت جریان در شاخه صفر شده و شاخه وظیفه اصلی خود را که عبور هوا می باشد را انجام نداده است. اما با افزایش مقاومت هوا در شاخه دوباره جریان پیدا می کند ولی در جهت مخالف حالت قبل، به عبارت دیگر شاخه دوباره وظیفه خود را که همان انتقال هوا در بخش های مختلف است را انجام داده منتها در جهت عکس حالت قبل. روند تغییرات شدت جریان در شاخه ۸ کاملاً با سایر شاخه های شبکه تهویه متفاوت است، به این صورت که با افزایش مقاومت در تونل ۱ شدت جریان نه تنها در شاخه ۸ کاهش نیافته است بلکه افزایش مقاومت سبب افزایش شدت جریان در شاخه نیز شده است.

مطابق جدول ۴، توزیع احتمال تغییرات شدت جریان برای برخی از شاخه ها توزیع بنا و ثابت است. تغییرات شدت جریان در تونل های شماره ۱۱ تا ۱۳ دارای توزیع ثابت است. سرعت هوا در قسمت های مختلف معدن یکی از پارامترهای مهم در طراحی شبکه تهویه است. سرعت هوا نباید از حدود معینی کمتر یا بیشتر باشد. مقادیر مجاز این سرعت در قسمت های مختلف معدن به شرح جدول ۲ است. با در نظر گرفتن سقف و کف سرعت مجاز عبور هوا در محاسبه شبکه تهویه و در نظر گرفتن مساحت هر یک از کارهای معدنی بر اساس رابطه ۸ می توان سقف و کف شدت جریان مجاز را تعریف کرد.

$$Q = AV \tag{8}$$

که V ، سرعت بر حسب متر بر ثانیه و A مساحت بر حسب متر مربع است. نمائی از جانمایی مقدار میانگین و حدبالا و پایین شدت جریان مجاز در شکل ۸ نشان داده شده است. همانگونه که نمودار مشخص است شاخه زمانی قابل اعتماد خواهد بود که شدت جریان میان حداقل و حداکثر مقدار مجاز باشد.

توزیع ثابت شاخه شماره ۱۱ در شکل ۹ نشان داده شده است، سقف و کف سرعت با استفاده از رابطه ۸ و جدول ۱ محاسبه شد، همانگونه که در شکل هم نشان داده شده است سرعت در محدوده مجاز قرار گرفته است. بنابراین شاخه ۱۱ در طول تغییرات مقاومت در شاخه، وظیفه خود را به خوبی انجام داده است.

- als Research, Trans Tech Publ, 2014, pp. 1095-1099.
- [2] R. Billinton, R.N. Allan, Reliability evaluation of engineering systems, Springer, 1992.
- [3] E. Zio, The Monte Carlo simulation method for system reliability and risk analysis, Springer, 2013.
- [4] N. Van Den Bossche, A. Janssens, N. Heymans, P. Wouters, Performance evaluation of humidity controlled ventilation systems in residential buildings using Monte Carlo Analysis, Paper A41-T4-B-07-3, IAE/ECBCS-Annex 41 MOIST-ENG, 2007.
- [5] S. Gupta, N. Ramkrishna, J. Bhattacharya, Replacement and maintenance analysis of longwall shearer using fault tree technique, Mining Technology, 115(2) (2006) 49-58.
- [6] D. Yang, J. Li, L. Ran, Research on reliability of complex coal mine ventilation networks, in: Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM'08. 4th International Conference on, IEEE, 2008, pp. 1-4.
- [7] B.-y. Hao, G. Sui, L.-x. Kang, Reliability emulation of production system on longwall face, Journal of Coal Science and Engineering (China), 15(1) (2009) 76-80.
- [8] A. Dubi, S. Khoroshevsky, A. Doron, A Note on Spare Parts and Logistic Optimization with Monte Carlo based System Models, International Journal of Performability Engineering, 7(5) (2011) 405.
- [9] J. Cheng, ASSESSMENT OF MINE VENTILATION SYSTEM RELIABILITY USING RANDOM SIMULATION METHOD, Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 15(4) (2016).
- [10] A. Dabagh, Kh. Gharibi, A. Dashti, S. Mohammadian, Investigating the operation of a natural ventilation system in the Nakhlak lead mine, Iranian Mines and Mining Industries Development and Renovation Organization, (2009) 217.
- [11] D.F. Young, B.R. Munson, T.H. Okiishi, W.W. Huebsch, A brief introduction to fluid mechanics, John Wiley & Sons, 2010.
- [12] A. Skochinsky, V. Komarov, J.S. Scott, Mine ventilation, Mir, 1969.
- [13] P.-A. Ekström, R. Broed, Sensitivity analysis methods and a biosphere test case implemented in EIKOS, Posiva Working Report, 31 (2006) 84.

این شاخه در طول فرآیند شبیه‌سازی ناکارآمد بوده است. از آنجا که احتمال موفقیت و شکست رویداد مکمل یکدیگر هستند می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت اطمینان حفریه معدنی شماره ۱۳، صفر درصد خواهد بود.

در تحقیق‌های آینده با شناسایی و معرفی حداقل و حداکثر مقادیر مجاز برای سایر توزیع‌های مربوط به سایر حفریه‌های معدنی می‌توان در مورد قابلیت اطمینان آن‌ها قضاوت کرد. هم‌چنین با تحلیل شبکه تهویه به عنوان یک سیستم پیچیده می‌توان معادله کلی قابلیت اطمینان کل شبکه تهویه را معرفی و محاسبه نمود.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تکنیک مونت کارلو، حضور موانع در مسیر جریان تهویه شبیه‌سازی شد. شبکه تهویه معدن نخلک به ازای هر مقدار از مقاومت شبیه‌سازی شده با استفاده از روش هاردی کراس تحلیل شد. شدت جریان متناظر به ازای هر بار تغییر مقاومت ذخیره شد. توزیع حاکم بر تغییرات شدت جریان شناسایی شد. معیار عملکرد رضایت‌بخش برای هر شاخه از شبکه تهویه با توجه به سقف و کف سرعت مجاز تعریف شد و با محاسبه احتمال تجاوز شدت جریان از مقدار سقف و کف سرعت استاندارد برای هر شاخه، احتمال رخداد شکست برای هر شاخه از شبکه به دست آمد. با استفاده از قوانین حاکم بر محاسبه قابلیت اطمینان شبکه متشکل از چند عضو و با شناسایی نحوه قرارگیری هر یک از اجزای تشکیل دهنده کل شبکه تهویه و قابلیت اطمینان هر عضو که در این تحقیق نحوه محاسبه آن با استفاده از تکنیک مونت کارلو اشاره شد. شاخه‌های ۴، ۶، ۷ و ۱۳ دچار شکست شده‌است البته در شاخه ۷ با تغییر جهت جریان شاخه دوباره کارائی اولیه خود را خواهد پیدا کرد منتها در جهت مخالف جریان اولیه. شاخه ۱۳ با احتمال ۱۰۰ درصد در طول فرآیند شبیه‌سازی دچار شکست شد.

مراجع

- [1] Y. Wang, The Airflow Abnormal Value Analysis of Mine Ventilation Network Based on the Sensitivity, in: Advanced Materi-

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

Z. Rezaei, Majid Atae-pour, Hassan Madani, Analysis of pressure drop variation due to obstacles in mine ventilation networks using simulation, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(2)(2019)185-195.

DOI: 10.22060/ceej.2018.13160.5340

