

رسالة محمد



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی استخراج مواد معدنی

باز طراحی تهویه معادن زیرزمینی زغال سنگ به روش های معمول (دستی) و با استفاده از نرم افزار Ventsim و مقایسه نتایج آن

(مطالعه موردی: معدن زغال سنگ رزمجا غربی از البرز شرقی)

نگارنده: صادق مالکی

اساتید راهنما

دکتر فرهنگ سرشکی

دکتر رامین رفیعی

استاد مشاور

مهندس کرامت قنبری

بهمن ۱۳۹۶

شماره: ۲۵۸۱، ۴۶، ۴۶-۴۶
 تاریخ: ۹۶، ۱۱، ۲۳

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای صادق مالکی با شماره دانشجویی ۹۴۱۵۵۹۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان باز طراحی تهویه معادن زیر زمینی زغال سنگ به روش های معمول (دستی) و با استفاده از نرم افزار Ventsim و مقایسه نتایج آن (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ رزمجا غربی از البرز شرقی) که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید، شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خیلی خوب) مردود
 نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر رامین رفیعی	استادیار	
۳- استاد مشاور	مهندس کرامت قنبری	کارشناسی ارشد	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مرتضی جوادی اصطهباناتی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمد عطایی	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رضا خالو کاکائی	استاد	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: عزیز الله لاری
 تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶، ۱۱، ۲۳

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر در مدت مجاز (معمولاً ۶ ماه) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تعهد نامه

اینجانب صادق مالکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - استخراج دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه باز طراحی تهویه معادن زیرزمینی زغال سنگ به روش های معمول (دستی) و با استفاده از نرم افزار Ventsim و مقایسه نتایج آن (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ رزمجا غربی از البرز شرقی) تحت راهنمایی جناب آقای دکتر فرهنگ سرشکی و آقای دکتر رامین رفیعی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.



تاریخ | ۹۶/۱۱/۲۳

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر:

باتشکر و سپاس بی اندازه به درگاه باری تعالی که نخستین و بزرگترین یاریگر بندگان در آغاز و پایان هر کاریست.

ابتداء لازم میدانم از دو وجود مقدس، پدر بزرگوارم و مادر فداکارم که ناتوان شدنتانم به توانایی برسم؛ موهبتان سپید شدنتانم رو سفید شوم و عاشقانم سوختندنتانم به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم، پاسگزاری کنم. بوسه بردستان پر مهرشان.

برای اساتید راهنا و مشاور فریخته‌ام جناب آقای دکتر فرهنگ سرشکی، جناب آقای دکتر راسین رفیعی و جناب آقای مهندس کرامت قهری که در این راه پرفراز و نشیب و در طی مراحل مختلف این پیمان نامه محظای از راهنمایی، پشتیبانی و تشویق من دریغ نکرده اند با کمال تقدیر و تشکر، آرزوی توفیق و سلامتی روز افزون، از خداوند منان برای ایشان خوانم.

در نهایت، از همکاری شرکت البرز شرقی به خصوص جناب آقای مهندس ابراهیم الهی که کمک فراوانی برای انجام این پیمان نامه و همچنین تمامی دوستان عزیزم به خصوص مهندس محمد باسیان که یاور همیشگی ام در طی دوران تحصیل دانشگاه بوده اند، کمال تشکر را دارم.

تا پیوند به دریا کوه راتها گذاشت
رود رفت اما سیر نقش را جا گذاشت

چکیده

تهویه یکی از مهم‌ترین عملیات معدنکاری زیرزمینی است که انجام نادرست آن باعث ایجاد خطر و آسیب‌های جدی بر روی کارگران و حتی ماشین‌آلات می‌شود. در معادن زغال‌سنگ طراحی و اجرای سیستم تهویه به دلیل وجود گرد زغال، خودسوزی زغال و انواع گازها بسیار دشوار است. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و کاهش منابع نزدیک به سطح زمین عمق معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در حال افزایش است که خود باعث بحرانی شدن مسئله تهویه و بیشتر شدن مشکلات طراحی و اجرا سیستم تهویه می‌شود.

برای طراحی و مدل‌سازی تهویه روش‌های مختلفی وجود دارد که امروزه با توجه به پیشرفت فناوری و سخت‌افزارهای کامپیوتری، روش کامپیوتری رایج شده است. در این پایان‌نامه، ابتدا سیستم تهویه یکی از معادن زغال‌سنگ البرز شرقی (رزمجا غربی) با روش دستی طراحی شده و بادبزن مناسب برای تهویه این معدن پیشنهاد شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار Ventsim شبکه تهویه معدن به صورت سه‌بعدی طراحی و سیستم تهویه معدن با توجه به مقادیر محاسبه شده در روش دستی ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری مطابقت و همخوانی قابل قبولی با روش تحلیل دستی دارد. در نهایت، با اجرای طرح کاهش مقاومت، با اعمال تغییراتی در شبکه تهویه معدن، به ازای شدت جریان ثابت، مقاومت کل معدن کاهش پیدا کرده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از روش دستی، شدت جریان کلی شبکه ۱۹/۶ متر مکعب بر ثانیه (با افت فشار ۶۰۴/۷۳ پاسکال) بوده و برای تعدیل شبکه از یک بادبزن و ۱۰ دریچه تنظیم‌کننده هوا استفاده شده است. برای تهویه این معدن بادبزن VOD-16 با زاویه پره ۱۶ درجه پیشنهاد شده است. پس از اجرای طرح کاهش مقاومت با استفاده از نرم‌افزار Ventsim به ازای شدت جریان ثابت ۱۹/۶ متر

مکعب بر ثانیه، افت فشار کلی شبکه به میزان ۸۱ پاسکال کاهش پیدا کرده است.

کلمات کلیدی: طراحی تهویه، شبیه‌سازی تهویه، طرح کاهش مقاومت، شبیه‌سازی سه‌بعدی تهویه،

Ventsim

فهرست مطالب

- فصل ۱: کلیات ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- بیان مسئله پژوهش ۲
- ۳-۱- هدف و روش انجام تحقیق ۳
- ۴-۱- ضرورت انجام تحقیق ۴
- ۵-۱- ساختار پایان نامه ۵
- فصل ۲: مبانی، مفاهیم و پیشینه تحقیق ۹
- ۱-۲- مقدمه ۱۰
- ۲-۲- مشخصات هوا در معدن ۱۰
- ۳-۲- حد مجاز گازهای مختلف در معدن ۱۰
- ۴-۲- حد مجاز گرد و غبارهای مختلف ۱۳
- ۵-۲- حد مجاز دما و رطوبت هوا ۱۳
- ۲-۵-۱- شاخص‌های بیان کیفیت هوا از نظر دما و رطوبت ۱۴
- ۲-۵-۲- حد مجاز دما و رطوبت در معدن ۱۵
- ۲-۶- جریان هوا در شبکه معدن ۱۶
- ۲-۶-۱- حد مجاز سرعت هوا در قسمت‌های مختلف معدن ۱۶

- ۱۷-۲-۶-۲- اندازه‌گیری فشار هوا در معدن.....
- ۱۷-۷- محاسبه شدت جریان هوا.....
- ۱۸-۷-۱- دستورالعمل محاسبه مقدار هوای لازم برای قسمت‌های مختلف معدن.....
- ۱۹-۷-۲- شدت جریان هوای لازم بر اساس تعداد نفرات هر بخش.....
- ۲۰-۷-۳- شدت جریان لازم برای رقیق کردن گازهای عمومی موجود در معدن.....
- ۲۰-۷-۴- شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای حاصل از آتشیاری.....
- ۲۲-۷-۵- شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای خروجی از آگزوز موتورهای دیزلی.....
- ۲۲-۸- انتخاب ضریب اطمینان برای شدت جریان‌های محاسبه شده.....
- ۲۳-۹- محاسبه شبکه و انتخاب سیستم تهویه معدن.....
- ۲۳-۹-۱- محاسبه مقاومت شاخه‌های شبکه تهویه.....
- ۲۵-۹-۲- محاسبه مقاومت کلی شاخه.....
- ۲۶-۹-۳- محاسبه افت فشار شاخه‌ها.....
- ۲۶-۹-۴- تنظیم هوا و تعدیل شبکه.....
- ۲۷-۹-۵- محاسبه افت فشار و مقاومت کلی شبکه.....
- ۲۸-۹-۶- انتخاب سیستم تهویه.....
- ۲۹-۱۰- انتخاب مسیر حرکت هوا در شبکه تهویه.....
- ۳۰-۱۱- تجهیزات تهویه.....

- ۱۲-۲- انتخاب بادبزن اصلی ۳۰
- ۱۲-۲-۱- نحوه انتخاب بادبزن ۳۱
- ۱۲-۲-۲- محاسبه توان بادبزن ۳۲
- ۱۲-۲-۳- استفاده از چندین بادبزن ۳۲
- ۱۲-۲-۴- دستورالعمل انتخاب بادبزن فرعی ۳۳
- ۱۳-۲- شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم‌های تهویه ۳۴
- ۱۴-۲- پیشینه تحقیق ۳۴
- ۱۵-۲- جمع‌بندی ۵۰
- فصل ۳: طراحی سیستم تهویه معدن رزمجا غربی ۵۱
- ۳-۱- مقدمه ۵۲
- ۳-۲- مطالعه موردی ۵۲
- ۳-۲-۱- شرایط فعلی تهویه معدن ۵۳
- ۳-۳- روش طراحی سیستم تهویه معدن ۵۳
- ۳-۴- طرح کلی و مشخصات شبکه تهویه معدن رزمجا غربی ۵۴
- ۳-۵- محاسبات شبکه تهویه معدن رزمجا غربی ۵۸
- ۳-۵-۱- محاسبه مقاومت معدنی هر یک از شاخه‌ها ۵۸
- ۳-۶- محاسبه شدت جریان جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی ۶۱

- ۶۴-۷-۳- محاسبه ضریب اطمینان برای شدت جریان‌های محاسبه شده ۶۴
- ۶۸-۸-۳- محاسبه افت فشار شاخه‌های شبکه ۶۸
- ۶۹-۹-۳- تعدیل شبکه و انتخاب دریچه یا بادبزن مناسب ۶۹
- ۷۳-۱-۹-۳- محاسبه مخارج تهویه ۷۳
- ۷۴-۱۰-۳- مشخصات دریچه‌ها ۷۴
- ۷۶-۱۱-۳- انتخاب بادبزن اصلی شبکه ۷۶
- ۷۶-۱-۱۱-۳- تعیین مشخصات بادبزن ۷۶
- ۷۸-۲-۱۱-۳- انتخاب بادبزن ۷۸
- ۸۰-۱۲-۳- جمع‌بندی ۸۰
- فصل ۴: شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم تهویه معدن رزمجا غربی ۸۳
- ۸۴-۱-۴- مقدمه ۸۴
- ۸۴-۲-۴- ساختار سیستم عملکرد نرم‌افزارهای تهویه ۸۴
- ۸۶-۱-۲-۴- مبانی روش هاردی کراس ۸۶
- ۸۸-۲-۲-۴- حل مسائل با روش هاردی کراس ۸۸
- ۸۹-۳-۴- معرفی نرم‌افزار ventsim ۸۹
- ۹۲-۴-۴- طراحی شبکه معدن رزمجا غربی در نرم‌افزار Auto CAD ۹۲
- ۹۴-۵-۴- رسم شبکه سه‌بعدی معدن و ورود داده‌ها در نرم‌افزار Ventsim ۹۴

- ۹۶ Ventsim نرم افزار های خروجی های ۶-۴
- ۹۶ شبیه سازی تهویه معدن رزمجا غربی ۷-۴
- ۱۰۰ تجزیه و تحلیل نتایج ۸-۴
- ۱۰۲ طرح کاهش مقاومت شبکه تهویه ۹-۴
- ۱۰۴ مقایسه طرح تهویه دستی و کامپیوتری ۱۰-۴
- ۱۰۶ جمع بندی ۱۱-۴
- ۱۰۷ فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۷
- ۱۰۸ مقدمه ۱-۵
- ۱۰۸ نتایج ۲-۵
- ۱۱۰ پیشنهادات ۳-۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ : مراحل انجام تحقیق در یک نگاه ۷
- شکل ۱-۳ : موقعیت جغرافیایی معدن رزمجا غربی ۵۳
- شکل ۲-۳ : نقشه شبکه معدن رزمجا غربی ۵۵
- شکل ۳-۳ : نقشه شبکه معدن رزمجا غربی شامل تمام شاخه‌ها و گره‌ها ۵۶
- شکل ۴-۳ : نقشه شبکه معدن رزمجا غربی پس از ساده‌سازی ۵۷
- شکل ۵-۳ : نحوه توزیع شدت جریان (مترمکعب بر ثانیه) ۶۷
- شکل ۶-۳ : افت فشار شاخه‌های شبکه تهویه معدن اصلی (میلیمتر آب) ۶۸
- شکل ۷-۳ : موقعیت دریچه‌ها یا بادبزن‌های مناسب شبکه تهویه معدن رزمجا غربی (الف) ۷۱
- شکل ۸-۳ : موقعیت دریچه‌ها یا بادبزن‌های مناسب شبکه تهویه معدن رزمجا غربی (ب) ۷۲
- شکل ۹-۳ : منحنی مشخصه بادبزن VOD-16 ۸۰
- شکل ۱-۴ : ساختار سیستم عملکرد یک نرم‌افزار تحلیل شبکه تهویه ۸۵
- شکل ۲-۴ : پنجره اصلی نرم‌افزار Ventsim Visual Advanced ۹۱
- شکل ۳-۴ : طرح کلی معدن رزمجا غربی (دو بعدی) ۹۲
- شکل ۴-۴ : فایل خروجی Auto CAD به‌منظور استفاده در نرم‌افزار Ventsim (سه‌بعدی) ۹۳
- شکل ۵-۴ : طرح اولیه معدن رزمجا در نرم‌افزار Ventsim ۹۵
- شکل ۶-۴ : توزیع شدت جریان اولیه هوا در شبکه معدن رزمجا غربی ۹۷

شکل ۷-۴ : شبکه تهویه معدن رزمجا غربی پس از قرار دادن دریچه‌های تنظیم کننده هوا (بر اساس شدت جریان).....۹۹

شکل ۸-۴ : اطلاعات کارایی بادبزن نصب شده در معدن رزمجا غربی با استفاده از نرم‌افزار۱۰۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ : تغییرات گازخیزی لایه‌های زغالی نسبت به عمق در منطقه عملیاتی رزمجا ۵
- جدول ۱-۲ : حدود مجاز پیشنهادی گازهای مختلف در معادن برای ۸ ساعت کار مداوم ۱۳
- جدول ۲-۲ : حد مجاز گرد و غبارهای مختلف در معادن ایران ۱۴
- جدول ۳-۲ : ترکیب مناسب دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا برای معادن ایران ۱۶
- جدول ۴-۲ : حد مجاز سرعت هوا در قسمت‌های مختلف معادن بر اساس آیین‌نامه ایمنی معادن ایران ۱۷
- جدول ۵-۲ : مقدار هوای لازم به ازای هر یک از کارکنان معادن زیرزمینی بر اساس مقررات کشورهای مختلف ۱۹
- جدول ۶-۲ : ضریب اطمینان مورد استفاده برای محاسبات تهویه ۲۲
- جدول ۷-۲ : مقادیر K (ضریب نشت) بر اساس جنس لوله ۳۴
- جدول ۸-۲ : خلاصه از تحقیقات ارائه شده در سال‌های اخیر ۴۷
- جدول ۱-۳ : محاسبه مقاومت، شدت جریان و افت فشار هر یک از کارهای معدنی در شبکه تهویه ۵۸
- جدول ۲-۳ : لیست جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراج ۶۲
- جدول ۳-۳ : ضریب عدم یکنواختی گاز خیزی ۶۴
- جدول ۴-۳ : ضریب مربوط به روش کنترل کمر بالای کارگاه ۶۴
- جدول ۵-۳ : مشخصات جبهه کارهای آماده‌سازی ۶۵
- جدول ۶-۳ : شدت جریان مورد نیاز در جبهه کارهای آماده‌سازی ۶۵

- جدول ۳-۷: مشخصات جبهه کارهای استخراج ۶۵
- جدول ۳-۸: شدت جریان مورد نیاز در جبهه کارهای استخراج ۶۶
- جدول ۳-۹: مسیر حلقه‌های مفید تشکیل شده در شبکه معدن ۷۰
- جدول ۳-۱۰: مشخصات دریچه‌های مورد نیاز برای تهویه معدن رزمجا غربی ۷۵
- جدول ۳-۱۱: مشخصات بادبزن‌های اصلی مدل محوری ساخت کشور روسیه ۷۹
- جدول ۳-۱۲: مشخصات بادبزن انتخاب شده برای تهویه معدن رزمجا غربی ۸۰
- جدول ۴-۱: خلاصه‌ای از نرم‌افزارهای تهویه موجود، با توجه به کشور سازنده و قابلیت‌های آن‌ها ۸۹
- جدول ۴-۲: نتایج حاصل از مدل‌سازی اولیه شبکه تهویه معدن رزمجا غربی ۹۷
- جدول ۴-۳: مقایسه شدت جریان لازم و شبیه‌سازی شده برای جبهه کارهای استخراج و آماده‌سازی ۹۸
- جدول ۴-۴: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تهویه معدن رزمجا غربی پس از قرار دادن دریچه‌های تنظیم‌کننده هوا ۹۸
- جدول ۴-۵: شدت جریان جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی پس از شبیه‌سازی فن و دریچه‌ها در شبکه معدن ۱۰۱
- جدول ۴-۶: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تهویه معدن رزمجا غربی با استفاده از بادبزن VOD-16 در نرم‌افزار Ventsim ۱۰۲
- جدول ۴-۷: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تهویه معدن رزمجا غربی پس از اجرای طرح کاهش مقاومت شبکه ۱۰۳
- جدول ۴-۸: شدت جریان جبهه کارهای استخراج و آماده‌سازی پس از اجرای طرح کاهش مقاومت

شبه ۱۰۴

فصل ۱: کلیات

۱-۱- مقدمه

هوا مخلوطی از چند گاز و بخار آب است و ترکیب حجمی هوای خشک آن معادل ۷۸/۰۹ درصد ازت، ۲۰/۹۵ درصد اکسیژن، ۰/۰۳ درصد دی اکسید کربن و ۰/۹۳ درصد آرگن و سایر گازهای کمیاب است. وجود بخار آب، در صد گازهای آن را چندان تغییری نمی‌دهد. همیشه مقداری ذرات جامد در هوا وجود دارد که بخش غیرگازی آن را تشکیل می‌دهد ولی مقدار آن بسیار جزئی و قابل چشم پوشی است. در محیط‌های بسته مثل معادن زیرزمینی ترکیب هوا با آن چه ذکر شد متفاوت است. گرچه محیط معدن به وسیله تونل، دوپل و چاه به سطح زمین یعنی هوای آزاد ارتباط دارد، اما این ارتباط برای جریان کامل هوا معمولاً کافی نیست و لازم است هوای تمیز را با استفاده از وسایل مختلف و به صورت مصنوعی به داخل معدن وارد کرد. در اثر فرآیندهایی مانند تنفس کارکنان معدن، انفجار مواد منفجره، نفوذ گازهای مضر از شکاف سنگ‌ها به داخل معدن و گاز خیزی ماده معدنی ترکیب هوای معدن پیوسته در حال تغییر است. بر اساس ماده ۳۱۸ آیین‌نامه ایمنی معادن، در معادن گازدار و گرد زغال‌دار، تهویه به طریق طبیعی مجاز نیست (آیین‌نامه ایمنی در معادن، ۱۳۸۱). بر این اساس برای رقیق کردن گازهای مضر نیاز به تهویه مصنوعی است. بنابراین، هدف از تهویه مصنوعی، رساندن هوای تمیز به اندازه کافی به همه نقاط معدن و همچنین کاهش عیار گازهای مضر به عیار حد مجاز استاندارد است.

۱-۲- بیان مسئله پژوهش

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در هنگام طراحی و شروع اجرای هر پروژه معدنی زیرزمینی یا تونل‌سازی باید در نظر گرفته شود موضوع تهویه است که باهدف رعایت حدود استاندارد هوای معدن از لحاظ کیفی، کمی، دما و رطوبت و همچنین ایجاد شرایط کاری مطلوب صورت می‌گیرد و بدون اجرای آن انجام هیچ فعالیت انسانی در فضاهاى زیرزمینی یاد شده ممکن نخواهد بود. این مسئله به‌ویژه در

مورد فضاهایی که میزان گازخیزی و تولید آلاینده‌ها در آن‌ها زیاد بوده و یا دهانه ارتباطی آن‌ها با فضای آزاد خیلی فاصله می‌گیرد حائز اهمیت است.

در حین عملیات آماده‌سازی و بهره‌برداری، فعالیت تهویه با هدف اندازه‌گیری مستمر مشخصات هوای معدن، پایش و انجام تغییرات لازم در کارکرد تجهیزات تهویه و همچنین اعلام هشدارهای لازم و نظارت بر عملکرد تجهیزات تهویه صورت گیرد.

۳-۱- هدف و روش انجام تحقیق

معدن رزمجا غربی یکی از معادن شرکت البرز شرقی شاهرود است که در منطقه عملیاتی طزره واقع شده است. با توجه به اینکه این معدن جهت استخراج زغال‌سنگ به عمق رفته و میزان گازخیزی در عمق بیشتر است، لزوم طراحی و اجرای یک سیستم تهویه به‌روز، ضروری است. لذا هدف از انجام این تحقیق ارائه طرح کلی تهویه معدن رزمجا به‌منظور تعیین بادبزن اصلی مورد نیاز برای این معدن و همچنین تعیین نوع بادبزن اصلی و محل قرارگیری بادبزن‌های کمکی، به‌گونه‌ای که از نظر اقتصادی به‌صرفه بوده و در عین حال بیشترین بازدهی ممکن را داشته باشد.

هدف دیگر این تحقیق، ارائه مدل شبیه‌سازی شده معدن (مطابق با شرایط واقعی معدن) در نرم‌افزار Ventsim به‌منظور کنترل لحظه‌ای شرایط تهویه، برنامه‌ریزی تهویه کوتاه مدت و بلند مدت، پیش‌بینی اقدامات لازم برای توسعه شبکه معدن و همچنین شبیه‌سازی آتش‌سوزی، غلظت دود یا گرد و غبار برای شرایط اضطراری یا صرفاً به دلیل برنامه‌ریزی است.

برای دستیابی به اهداف بالا، ابتدا شبکه اصلی معدن تهیه شده و داده‌های مورد نیاز برای طراحی تهویه از معدن برداشت شده است. در ادامه، مدل سه‌بعدی معدن در نرم‌افزار Ventsim طراحی و ویژگی‌های هر شاخه با توجه به اطلاعات برداشت شده از معدن به‌عنوان داده ورودی قرار داده شده

است. در ادامه، بادبزن‌ها و دریچه‌ها در محل‌های مورد نیاز قرار داده شده و نتایج حاصل با مدل دستی مورد مقایسه قرار گرفته است. در نهایت نوع بادبزن‌ها و بهترین محل نصب با توجه به شرایط محیطی، معرفی شده است.

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

اصولاً تهویه معدن را بایستی مداوم و به‌طور منظم کنترل کرد، از آنجا که طول کارهای معدنی ضمن عملیات پیشروی افزایش می‌یابد و مقطع آن‌ها نیز به تدریج تغییر می‌کند، لذا مقاومت کلی معدن به مرور زمان تغییر خواهد کرد. به این ترتیب با تغییر در مقاومت و در نتیجه تغییر در منحنی مشخصه معدن، نقطه عملکرد نیز تغییر خواهد کرد و شرایط عملیات تهویه متفاوت خواهد بود. از سوی دیگر مقدار گردوغبار تولید شده در قسمت‌های مختلف معدن و نیز گازهای متصاعد یا تشکیل شده در بخش‌های مختلف، در زمان‌های مختلف متفاوت است. یکی از عوامل مهم در تهویه معدن، تهویه طبیعی است که فشار و جهت تهویه ناشی از آن در فصول مختلف متفاوت است.

مطالعات گاز خیزی در منطقه زغالی رزمجا هم‌زمان با عملیات اکتشافی برای تعیین اجزاء تشکیل دهنده گازها، تعیین نواحی گازی به‌خصوص اولین عمق پیدایش متان، حد بالایی زون متان و نیز تعیین مقدار گاز در لایه‌های زغالی و سنگ‌های مجاور، در اعماق مختلف انجام شده است. بر اساس گزارش‌های اکتشافی، لایه‌های استخراجی این معدن از نظر گاز خیزی در دسته دو و سه قرار دارد. از این جهت باید همواره سیستم تهویه معدن مورد کنترل قرار گرفته و با تغییر شبکه معدن اقدامات لازم صورت گیرد.

در جدول (۱-۱) تغییرات گاز خیزی لایه‌های زغالی نسبت به عمق (گزارش دفتر فنی اکتشافات شرکت البرزشرقی) نشان داده شده است.

جدول ۱-۱: تغییرات گازخیزی لایه‌های زغالی نسبت به عمق در منطقه عملیاتی رزمجا

عمق (متر)	مقدارگاز (مترمکعب در یک تن)
۱۰۰	۲/۵
۲۰۰	۱۲/۳
۳۰۰	۱۴/۸
۴۰۰	۱۶/۳۳
۵۰۰	۱۷/۵
۶۰۰	۱۸/۵

از مطالعات گاز خیزی منطقه رزمجا نتایج زیر حاصل شده است:

- گاز خیزی منطقه رزمجا بیشتر از ۱۸/۵ مترمکعب است.
- با افزایش عمق مقدار گازخیزی به میزان زیادی تغییر می‌کند.
- درحین عملیات معدنی در زون‌های تکتونیکی خروج مقدار زیاد گاز امکان‌پذیر است.

در حال حاضر در بعضی از قسمت‌های این معدن تهویه به صورت طبیعی صورت می‌گیرد، با توجه به این که معدن جهت استخراج زغال سنگ به عمق رفته و میزان گازخیزی در عمق بیشتر است لزوم تهویه به روش مصنوعی ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین باید طراحی تهویه در این معدن انجام شود.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر متشکل از پنج فصل است که خلاصه هر فصل به شرح زیر است:

در فصل اول با عنوان "کلیات"، به بیان مسئله، اهداف و ضرورت انجام تحقیق و روش انجام آن

پرداخته شده است.

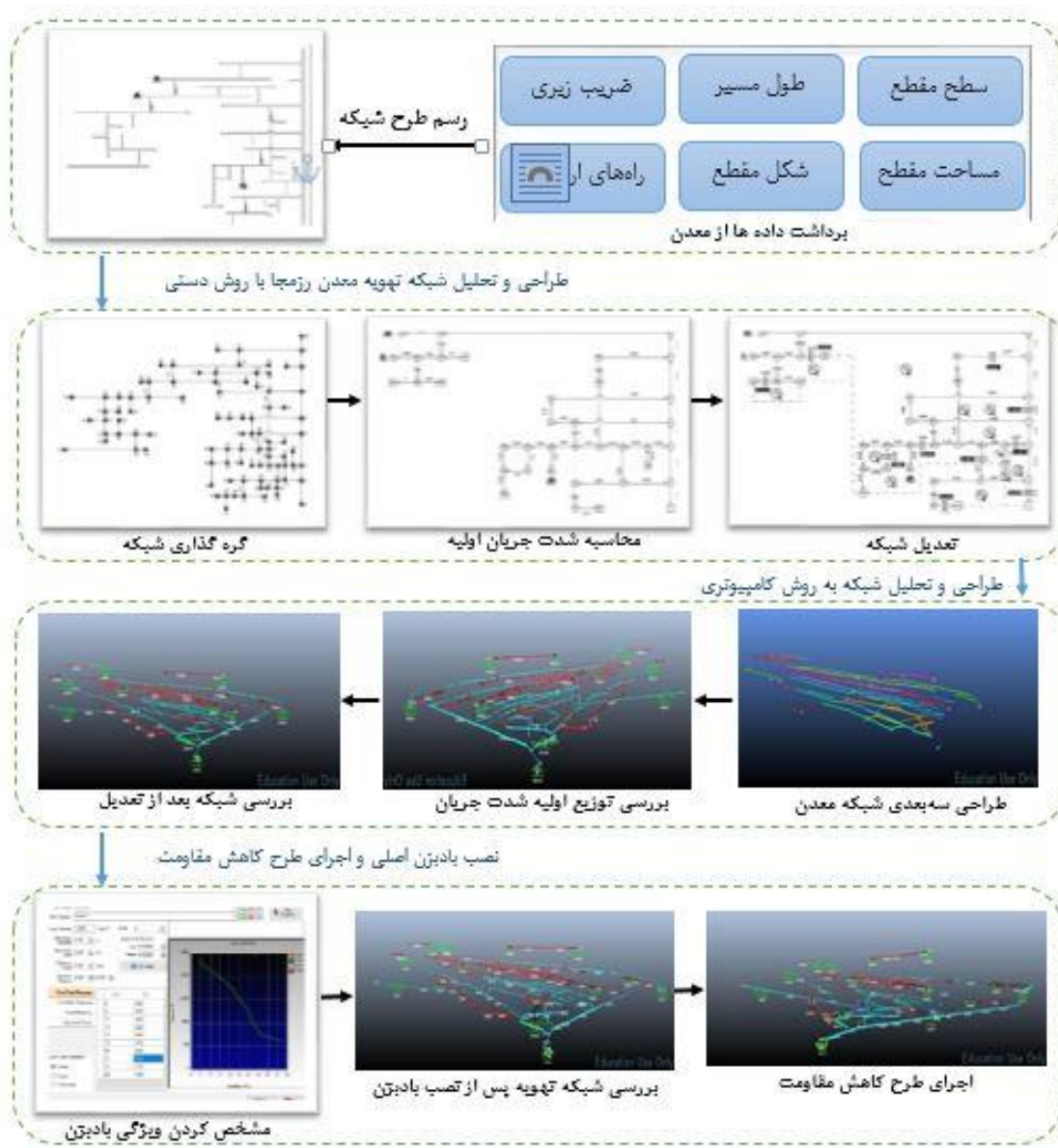
در فصل دوم با عنوان "مبانی، مفاهیم و پیشینه تحقیق"، پس از ارائه مباحث تهویه، به ارائه مفاهیم و سابقه علمی طراحی تهویه معادن زیرزمینی پرداخته شده است.

در فصل سوم با عنوان "طراحی سیستم تهویه معدن رزمجا غربی" ابتدا شبکه اولیه معدن تهیه شده و در ادامه با استفاده از اطلاعات برداشت شده از معدن اقدام به محاسبه شدت جریان و افت فشار اولیه برای هر شاخه شده است. سپس با تعدیل حلقه‌ها، بادبزن‌ها یا دریچه‌های مورد نیاز برای هر حلقه مشخص شده و مشخصات نوع بادبزن و دریچه محاسبه شده است. در نهایت، با توجه به محل و افت فشار بادبزن‌ها یا دریچه‌ها محاسبه شده، شدت جریان‌های نهایی برای هر شاخه محاسبه شده است.

در فصل چهارم با عنوان "شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم تهویه معدن رزمجا غربی"، ابتدا به تشریح نرم‌افزار Ventsim و ویژگی‌های آن پرداخته شده و مدل سه‌بعدی معدن شبیه‌سازی شده است. در ادامه داده‌های مورد نیاز برای هر شاخه هوا، به‌عنوان مقادیر ورودی تعیین شده است. در نهایت، مدل شبیه‌سازی و اجرا شده و نتایج حاصل از آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

در فصل پنجم با عنوان "نتایج و پیشنهادات"، به بیان نتایج قابل توجه از این تحقیق پرداخته شده و پیشنهاداتی برای تحقیقات بعدی ارائه شده است.

روند انجام این تحقیق به‌صورت شماتیک در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: مراحل انجام تحقیق در یک نگاه

فصل ۲: مبانی، مفاهیم و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

برنامه‌ریزی و طراحی تهویه هم‌زمان با طراحی سایر امور انجام می‌شود و لازم است طرح‌های موقت برای آماده‌سازی تهویه و سیستم اصلی تهویه قبل از آغاز حفاری تونل‌ها و یا چاه‌ها تکمیل شود. طراحی تهویه باید بعد از آن که موقعیت حفاری‌ها، روش استخراج و میزان استخراج به‌طور تجربی تعیین شدند، همراه با نواحی آغازین استخراج، شروع شود.

در این فصل، در راستای رسیدن به اهداف این پایان‌نامه، ابتدا به تعاریف پایه‌ای تهویه پرداخته شده است. در ادامه مطالعات پیشین صورت گرفته در ارتباط با طراحی تهویه معادن زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- مشخصات هوا در معدن

تعیین مشخصات هوا بر اساس یک دستورالعمل معین، از جمله ضروریات اجرای تهویه خوب و مناسب در معادن است. مهم‌ترین مشخصات هوا از دیدگاه تهویه، گازهای موجود در هوا، گردوغبار موجود در هوا، دما و رطوبت است.

۲-۳- حد مجاز گازهای مختلف در معدن

مهم‌ترین گازهای موجود در هوای معادن زیرزمینی عبارت است از اکسیژن، مونواکسید کربن، دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، سولفید هیدروژن، اکسیدهای ازت و متان است که شرح آن‌ها در زیر آمده است:

• اکسیژن (O_2)

در بین گازهای موجود در هوای معدن اکسیژن، گاز مفیدی است که اگر مقدار آن از حدی کاهش یابد، سبب مشکلات و در پاره‌ای موارد موجب فوت افراد می‌شود. در کشورهای صنعتی، حداقل غلظت مجاز اکسیژن در هوا ۱۹/۵ درصد تعیین شده است که برای معادن ایران نیز همین مقدار تعیین شده است (مدنی، ۱۳۸۱).

• مونواکسید کربن (CO)

مونواکسید کربن گازی بی‌رنگ و بی‌بو است که از جمله خطرناک‌ترین گازهای موجود در معادن به شمار می‌آید. این گاز علاوه بر اینکه گاز سمی است، در محدوده وسیعی از غلظت (۱۲/۵ تا ۷۴ درصد) قابل انفجار نیز هست (Hartman, 1997). با توجه به وضعیت خاص کار در معادن ایران، حد مجاز مونواکسید کربن در هوای معدن زیرزمینی ایران ۰/۰۰۳۵ درصد یا ۳۵ ppm تعیین شده است (مدنی، ۱۳۸۱).

• دی اکسید کربن (CO₂)

دی اکسید کربن گازی بی‌رنگ است که اندکی مزه و بوی اسیدی دارد. غلظت مجاز دی اکسید کربن در معادن زیرزمینی ایران ۰/۵ درصد تعیین شده است (مدنی، ۱۳۸۱).

• دی اکسید گوگرد (SO₂)

دی اکسید گوگرد گازی بسیار سمی است که وجود مقادیر بسیار کم آن نیز باعث مختل شدن اعصاب به ویژه اعصاب چشم می‌شود و غلظت ۰/۰۵ درصد آن خطر مرگ دربر دارد (مدنی، ۱۳۸۱). با توجه به موارد یاد شده، غلظت مجاز دی اکسید گوگرد برای ۸ ساعت کار مداوم در معادن ایران ۲ ppm تعیین شده است (مدنی، ۱۳۸۱).

- سولفید هیدروژن (H_2S)

سولفید هیدروژن علاوه بر اینکه گاز سمی است، در غلظت ۶ درصد در هوا مخلوط قابل انفجاری را تشکیل می‌دهد و لذا از این بابت هم خطرناک است. غلظت مجاز سولفید هیدروژن در معادن ایران ۱۰ ppm تعیین شده است (Hartman, 1997).

- اکسیدهای ازت (NO_x)

در اثر آتشباری مواد منفجره حاوی ازت، گاز اکسید نیتریک (NO) تولید و در مجاورت هوا به دی اکسید ازت (NO_2) تبدیل می‌شود. احتراق سوخت در موتورهای درون سوز عامل دیگر تولید اکسیدهای ازت در هوای معادن و تونل‌ها است. اکسیدهای ازت که عموماً آن‌ها را دی اکسید ازت تشکیل می‌دهد نیز از جمله خطرناک‌ترین گازهای موجود در فضاهای زیرزمینی هستند. غلظت مجاز دی اکسید ازت برای معادن زیرزمینی ایران ۱ ppm تعیین شده است (Mc Pherson & Malcolm.J, 1993). حدود مجاز پیشنهادی گازهای مختلف به‌طور خلاصه در جدول (۱-۲) آمده است.

- دستورالعمل نحوه اندازه‌گیری گازهای مختلف در هوای معدن

با توجه به اهمیت تعیین دقیق میزان گازهای مختلف در هوای معدن، باید از دستگاه‌های دقیق که کاربرد آن‌ها نیز ساده باشد استفاده شود. این دستگاه‌ها معمولاً از نوع دیجیتالی هستند که قیمت بالایی دارند اما دقت اندازه‌گیری قابل قبولی را ارائه می‌دهند (آیین‌نامه ایمنی معادن، ۱۳۸۱).

جدول ۱-۲: حدود مجاز پیشنهادی گازهای مختلف در معادن برای ۸ ساعت کار مداوم

حد مجاز پیشنهادی	حد مجاز بر اساس آیین‌نامه ایمنی معادن	گاز
۱۹/۵ درصد	۱۹ درصد	اکسیژن (O ₂)
۳۵ ppm	۳۵ ppm	مونواکسید کربن (CO)
۰/۵ درصد	۰/۵ درصد	دی اکسید کربن در محل‌های کاری (CO ₂)
۱ درصد	۲ درصد	دی اکسید کربن در مکان‌های متروکه و تحت تعمیر
۲ ppm	۲ ppm	دی اکسید گوگرد (SO ₂)
۶/۶ ppm	۱۰ ppm	سولفید هیدروژن (SH ₂)
۱ ppm	۱ ppm	دی اکسید ازت (NO ₂)
۰/۵ درصد	۰/۵ درصد	گاز متان در راهروهای حامل هوا تازه
۰/۷۵ درصد	۰/۷۵ درصد	گاز متان در راهروهای برگشت هوا
۱ درصد	۲ درصد	گاز متان در مناطق متروکه و تحت تعمیر

۲-۴- حد مجاز گرد و غبارهای مختلف

با توجه به اهمیت گردوغبار و لزوم محافظت افراد در مقابل خطرات ناشی از وجود آن‌ها در هوای معدن حدود مجاز گرد و غبارهای مختلف در معادن ایران به شرح جدول (۲-۲) پیشنهاد شده است (مدنی، ۱۳۸۱).

۲-۵- حد مجاز دما و رطوبت هوا

دما و رطوبت از جمله مهم‌ترین عوامل مطبوع بودن هوای معدن است. در معادن به‌ویژه معدن زیرزمینی، انواع و اقسام عوامل مشکل‌ساز، مانند کمی روشنایی، سروصدا، گردوغبار و نظایر آن‌ها به‌طور طبیعی وجود دارد و اگر هوا از نظر دما و رطوبت هم مشکلاتی داشته باشد، شرایط کار مشکل خواهد

شد.

جدول ۲-۲: حد مجاز گرد و غبارهای مختلف در معادن ایران (مدنی، ۱۳۸۱)

حد مجاز (میلی گرم در متر مکعب)	نوع گرد و غبار
۰/۱	ذرات کوارتز
۱	گرد و غبار حاوی بیش از ۷۰ درصد سیلیس آزاد
۲	گرد و غبار حاوی ۱۰ تا ۷۰ درصد سیلیس آزاد
۲	گرد و غبار حاوی بیش از ۱۰ درصد سیلیس آزاد
۴	گرد و غبار حاوی کمتر از ۱۰ درصد سیلیس آزاد
۲	گرد زغال
۵	ذرات حاوی اکسیدهای آهن، روی، منگنز و مولیبدن
۱۰	ذرات سنگ آهن و سنگ گچ

۲-۵-۱- شاخص‌های بیان کیفیت هوا از نظر دما و رطوبت

اگرچه در بعضی موارد می‌توان با استفاده از یکی از مشخصه‌های هوا مانند دما و یا رطوبت نسبی کیفیت آن را بیان کرد، ولی در واقع مجموعه سه مشخصه دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا در ارتباط با هم کیفیت هوا را به مشخص می‌کنند. برای بیان کیفیت هوا از شاخص‌هایی به شرح زیر استفاده می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱).

❖ دمای دماسنج خشک ^۱(td)

❖ دمای دما سنج مرطوب ^۲(tw)

^۱ Dry-bulb temprature

^۲ Wet-dry temprature

❖ دما سنج کاتا^۱

دما سنج کاتا، قدرت خنک کنندگی هوا را در شرایط مختلف دما، رطوبت نسبی و در حدود دمای معمولی بدن تعیین می کند.

❖ دمای موثر^۲ (te)

این مشخصه، ترکیبی از دما، رطوبت و سرعت هوا را به دست می دهد. دما موثر عبارت است از دمای هوای ساکن و اشباع که طی آن همان احساس گرمای فوری به شخص دست می دهد که در هوای واقعی می دهد (Mc Pherson & Malcolm.J, 1993).

❖ شاخص های دماهای خشک، مرطوب و حباب مرطوب^۳ (WBGT)

برای بیان این شاخص که در ارائه کیفیت هوای معادن زیرزمینی کاربرد فراوان دارد، از دو مشخصه دمای دماسنج مرطوب (tw) و دمای حباب کروی مرطوب (tg) استفاده می کنند که با اندازه گیری این دو ویژگی، شاخص یاد شده با رابطه زیر تعریف می شود (Hartman, 1997) و (Mc Pherson & Malcolm.J, 1993):

$$WBGT = 0.7t_w + 0.3t_g \quad (1-2)$$

۲-۵-۲- حد مجاز دما و رطوبت در معدن

اگرچه در شرایط فعلی، معادن ایران چندان عمیق نیستند و مشکل دمای بالا در اکثر معادن وجود ندارد اما دیر یا زود، این مشکل پیش خواهد آمد، بنابراین شرایط دما، رطوبت و سرعت هوا

¹ Kata thermometer

² Efficient temperature

³ Wet-bulb-glob temperature

برای معادن ایران به شرح جدول (۳-۲) پیشنهاد شده است.

جدول ۳-۲: ترکیب مناسب دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا برای معادن ایران (مدنی، ۱۳۸۱)

شرایط کار	قدرت خنک کنندگی دماسنج کاتا مرطوب	دمای موثر درجه سانتی گراد	WBGT درجه سانتی گراد
سبک	۱۸	۳۲	۲۷
متوسط	۲۵	۲۹	۲۶
سنگین	۳۰	۲۷	۲۵

۲-۶- جریان هوا در شبکه معدن

مهم‌ترین مشخصه‌های جریان هوا سرعت، فشار و شدت جریان است که در ادامه به حدود مجاز و نحوه محاسبه آن‌ها اشاره شده است.

۲-۶-۱- حد مجاز سرعت هوا در قسمت‌های مختلف معدن

سرعت هوا در قسمت‌های مختلف معدن نباید از حدود مشخص کمتر و یا بیشتر باشد. اگر سرعت هوا از حد مجاز تعیین شده کمتر باشد، هوا قدرت خنک کنندگی لازم را نخواهد داشت و بنابراین راندمان کارکنان معدن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر اگر سرعت هوا از حد معینی بیشتر باشد، سبب تشدید گرد و غبار در حفاریات مختلف شده و نیز ممکن است باعث سرماخوردگی کارکنان شود. واضح است که سرعت هوا در عین حال باید به گونه‌ای باشد که شدت جریان لازم از بخش‌های مختلف معدن عبور کند (آیین‌نامه ایمنی معادن، ۱۳۸۱). حد مجاز سرعت هوا در قسمت‌های مختلف معادن بر اساس آئین‌نامه ایمنی در معادن ایران در جدول (۴-۲) آمده است.

جدول ۲-۴: حد مجاز سرعت هوا در قسمت‌های مختلف معادن بر اساس آیین‌نامه ایمنی معادن ایران (آیین‌نامه ایمنی معادن، ۱۳۸۱)

ردیف	موقعیت	حد مجاز سرعت - متر در ثانیه	
		حداکثر	حداقل
۱	کلیه قسمت‌های معادن	--	۰/۲۵
۲	کارگاه استخراج	۴	--
۳	تونل‌های دنباله رو	۶	--
۴	تونل میان‌بر - چاه نفر رو - تونل مورب	۸	--
۵	چاه باربری	۱۰	--
۶	راهرو مخصوص بادبزن - چاه تهویه بزرگ با تجهیزات	۱۵	--

۲-۶-۲- اندازه‌گیری فشار هوا در معدن

معمولاً تغییرات فشار در قسمت‌های مختلف معادن چندان زیاد نیست و مطابق مقررات موجود، حداکثر افت فشار و بنابراین حداکثر اختلاف فشار در نقاط مختلف معدن نباید از ۳۰۰ میلیمتر آب تجاوز کند (معادل ۰/۳۰ اتمسفر) از سوی دیگر آگاهی از اختلاف فشار در دو نقطه در معدن بسیار مهم است و یکی از مهم‌ترین ابزار کنترل سیستم تهویه معدن محسوب می‌شود. برای این منظور یا فشار هوا را در دو نقطه مورد نظر به‌طور جداگانه اندازه می‌گیرند و از تفاوت آن‌ها اختلاف فشار دو نقطه را محاسبه می‌کنند و یا اینکه اختلاف فشار دو نقطه را مستقیماً اندازه می‌گیرند (مدنی، ۱۳۸۱).

۲-۷- محاسبه شدت جریان هوا

با معلوم بودن سرعت متوسط هوا که از یک مقطع حفاریات معدنی عبور می‌کند و نیز مشخص

بودن سطح مقطع، شدت جریان هوا از رابطه ساده (۲-۲) به دست می‌آید (مدنی، ۱۳۸۱):

$$Q = VA$$

(۲-۲)

که در آن

Q = شدت جریان هوای عبوری بر حسب متر مکعب در ثانیه

V = سرعت متوسط هوا بر حسب متر در ثانیه

A = سطح مقطع راهرو در محل اندازه‌گیری بر حسب متر مربع

برای محاسبه شدت جریان عبوری هوا، کافی است سرعت هوا و سطح مقطع راهرو مورد نظر

محاسبه شود.

۲-۷-۱- دستورالعمل محاسبه مقدار هوای لازم برای قسمت‌های مختلف معدن

اولین قدم در راه طراحی شبکه تهویه معدن، محاسبه مقدار هوای لازم برای بخش‌های مختلف معدن است. مهم‌ترین بخش‌های معدن در درجه اول کارگاه‌های استخراج و جبهه کارهای پیشروی و درجه دوم فضاهای دائمی داخل معدن از قبیل تلمبه‌خانه، تعمیرگاه‌ها، انبارها، نقاط بارگیری، پذیرش‌گاه‌ها و نظیر آن‌ها است.

در هریک از بخش‌های یادشده، مقدار هوای لازم بر اساس موارد زیر محاسبه می‌شود:

- هوای لازم برای تعداد نفرات موجود در هر بخش
- هوای لازم برای رقیق کردن گازهای عمومی موجود در معدن (مثل مونواکسید کربن، دی اکسید کربن، اکسیدهای ازت و نظایر آن‌ها)
- هوای لازم برای رقیق کردن گازهای حاصل از آتشباری

- هوای لازم برای رقیق کردن گازهای خروجی از اگزوز ماشین‌های دیزلی

هوای لازم بر اساس هر یک از موارد یاد شده برای هر بخش معدن، محاسبه شده و بزرگ‌ترین‌ها به عنوان هوای آن بخش در نظر گرفته می‌شود زیرا اگر بزرگ‌ترین هوای محاسبه شده مد نظر قرار گیرد، از سایر نظرها نیز کافی خواهد بود. پس از تعیین هوای هر بخش از معدن، از مجموع هوای بخش‌های مختلف هوای عبوری از شاخه‌ها و در نتیجه هوای کل معدن محاسبه می‌شود. بدیهی است در مورد هر بخش، هوای محاسبه شده باید از نظر میزان نشت و نیز ضریب اطمینان لازم تصحیح شود.

۲-۷-۲- شدت جریان هوای لازم بر اساس تعداد نفرات هر بخش

اگرچه مقدار هوای لازم برای تنفس افراد، حتی در مورد کارهای سنگین $0/6$ تا $0/7$ متر مکعب در دقیقه است اما از نظر رعایت مقررات زیرزمینی، میزان هوای لازم برای هر یک از افرادی که در معادن زیرزمینی کار می‌کنند چندین برابر این مقدار در نظر گرفته می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱).

در جدول (۲-۵) مقدار هوای لازم به ازای هریک از کارکنان معدن بر اساس مقررات کشورهای مختلف، آمده است.

جدول ۲-۵: مقدار هوای لازم به ازای هر یک از کارکنان معادن زیرزمینی بر اساس مقررات کشورهای مختلف (مدنی، ۱۳۸۱)

کشور	ایالات متحده آمریکا	روسیه	اسپانیا	ایران
جدت جریان هوای لازم (m^3/min)	۵	۶	۵	۶

شدت جریان هوای لازم برای هر یک از افرادی که در معادن زیرزمینی کار می‌کنند، به میزان ۶ متر مکعب در دقیقه تعیین می‌شود. به هنگام محاسبه شدت جریان هوای لازم بر مبنای تنفس افراد باید حداکثر تعداد نفراتی را مد نظر قرار داد که ممکن است در آن واحد در معدن باشند، هرچند که

این مدت زمان بسیار کوتاه باشد. همچنین در مورد جبهه کارهای پیشروی، در طول عملیات مختلف یک شیفت (مثلاً چالزنی، آتشیاری، بارگیری، نصب سیستم نگهداری و تجهیزات و ...) تعداد افراد متفاوتی در محل حضور دارند که باید بیشترین آن‌ها مبنای محاسبه قرار گیرد.

۲-۷-۳- شدت جریان لازم برای رقیق کردن گازهای عمومی موجود در معدن

با توجه به حد مجاز گازهای عمومی موجود در معادن مثل مونواکسید کربن، دی اکسید کربن، سولفید هیدروژن، دی اکسید گوگرد و اکسیدهای ازت و نظایر آن‌ها به آسانی می‌توان شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن این گازها را محاسبه کرد.

اگر q آهنگ تولید و پراکنده شدن گاز در معدن در یک محدوده معین (بر حسب متر مکعب در ثانیه) و c درصد مجاز گاز مورد نظر در هوای معدن باشد، شدت جریان هوای لازم از رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱).

$$Q = \frac{100q}{c} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2-3)$$

۲-۷-۴- شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای حاصل از آتشیاری

گازهای حاصل از آتشیاری نقش مهمی را در محاسبه شدت جریان هوا، هم در کارگاه‌های استخراجی که استخراج ماده معدنی با استفاده از مواد منفجره انجام می‌گیرد و هم در جبهه کارهای پیشروی به عهده دارند. برای محاسبه مقدار هوای لازم می‌توان از روش مستقیم (استفاده از تناوب) استفاده کرد و یا فرمول‌های تجربی موجود در این زمینه را به کار برد.

در تمام فرمول‌ها و روش‌ها دو نکته زیر باید مد نظر قرار گرفته شود (مدنی، ۱۳۸۱):

❖ میزان گازهای سمی تولید شده به ازای هر کیلوگرم ماده منفجره از ۴۰ لیتر تجاوز نکند.

❖ حد مجاز گازهای سمی حاصل از آتشکاری ۰/۰۰۸ درصد در نظر گرفته شود.

۲-۷-۴-۱- روش محاسبه مستقیم

در این روش با معلوم بودن سیستم آتشباری و در نتیجه مشخص بودن مقدار ماده منفجره‌ای که در هر نوبت آتشباری منفجر می‌شود، شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای حاصل از آتشکاری به روش مستقیم و با استفاده از تناسب ساده محاسبه می‌شود.

اگر M وزن ماده منفجره در هر نوبت آتشباری بر حسب کیلوگرم و a حجم گازهای سمی حاصل از انفجار هر کیلوگرم ماده منفجره (که معمولاً ۴۰ لیتر یا ۰/۰۴۰ متر مکعب به ازای هر کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود) باشد، بنابراین در هر نوبت آتشباری حجم گازهای سمی تولیدی معادل Ma خواهد شد و اگر c غلظت مجاز گازهای حاصل از آتشباری باشد (که معمولاً ۰/۰۰۸ درصد در نظر گرفته می‌شود)، لذا حجم هوای لازم برای رقیق کردن گازها تا حد مجاز از رابطه (۲-۴) به دست می‌آید (مدنی، ۱۳۸۱):

$$V = \frac{100Ma}{c} \quad (۲-۴)$$

و اگر t زمانی باشد که طی آن باید گازها تا حد مجاز رقیق شود، در آن صورت شدت جریان هوای لازم خواهد شد:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{100Ma}{c_t} \quad (۲-۵)$$

اگر به جای $a = 0/040$ و به جای $c = 0/008$ قرار دهیم، رابطه به شکل ساده (۲-۶) در می‌آید:

$$Q = \frac{500M}{t}$$

(۶-۲)

۲-۷-۵- شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای خروجی از آگزوز موتورهای دیزلی

در مواردی که در راهروهای معادن زیرزمینی و یا کارگاه‌های استخراج بعضی از معادن فلزی، ماشین‌های دیزلی به صورت متحرک یا ثابت به کار گرفته می‌شوند، میزان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای خروجی از آگزوز آن‌ها نیز باید جداگانه محاسبه و با سایر موارد مقایسه شود. در این موارد، معمولاً شدت جریان هوای لازم بر اساس توان ماشین‌ها محاسبه می‌شود. شدت جریان هوای لازم به ازای هر کیلووات توان ماشین‌های دیزلی در معادن ایران ۰/۰۸ متر مکعب در ثانیه است.

۲-۸- انتخاب ضریب اطمینان برای شدت جریان‌های محاسبه شده

اگر شاخه‌ای از شبکه تهویه مسئولیت تهویه چند قسمت را بر عهده داشته باشد (مثلاً چند کارگاه استخراج و یا جبهه کار پیشروی) بدیهی است که اگر حاصل جمع شدت جریان‌های محاسبه شده برای هر یک از این قسمت‌ها به عنوان هوای عبوری از این شاخه در نظر گرفته شود، تهویه به طور کامل انجام نخواهد شد. زیرا به علت نشت هوا و نیز مسائلی که ممکن است به هنگام محاسبه در نظر گرفته نشده باشد، بخشی از هوا به هدر خواهد رفت. بنابراین شدت جریان محاسبه شده را باید در ضریب اطمینان مناسبی ضرب کرد و آن را به عنوان شدت جریان هوای عبوری از شاخه مربوطه در نظر گرفت (Hunosa, 2003).

جدول ۶-۲: ضریب اطمینان مورد استفاده برای محاسبات تهویه (Hunosa, 2003)

۱/۲۵	ضریب اطمینان برای محاسبه شدت جریان هوای عبوری از شاخه
۱/۳	ضریب اطمینان برای هوایی که باید بادبزنی تولید کند

۲-۹- محاسبه شبکه و انتخاب سیستم تهویه معدن

محاسبات طرح تهویه برای زمانی که حداکثر فعالیت‌های معدنی در حال انجام است صورت می‌گیرد. روند انجام محاسبات و همچنین فرمول‌های مورد استفاده در این زمینه در ادامه آورده شده است.

۲-۹-۱- محاسبه مقاومت شاخه‌های شبکه تهویه

● محاسبه مقاومت اصطکاکی

مقاومت اصطکاکی هر یک از شاخه‌های شبکه تهویه از رابطه (۲-۷) به دست می‌آید (مدنی،

(۱۳۸۱):

$$R_f = \alpha \frac{lp}{A^3} \quad (۲-۷)$$

که در آن

R_f = مقاومت اصطکاکی شاخه بر حسب کیلومورگ

α = ضریب اصطکاکی در سیستم متریک (بدون بعد)

l = طول شاخه بر حسب متر

P = محیط شاخه بر حسب متر

A = سطح مقطع شاخه بر حسب متر مربع

اگر مقاومت شاخه بر حسب کیلومورگ بیان شود، افت فشار شاخه بر حسب میلیمتر آب به دست

می‌آید.

● محاسبه مقاومت‌های موضعی

مقاومت‌های موضعی موجود در مسیر حرکت هوا در شاخه در سیستم متریک از رابطه (۸-۲)

به دست می‌آید (مدنی، ۱۳۸۱):

$$R_l = \frac{\xi \gamma}{2gA^2} \quad (8-2)$$

که در آن

R_l = مقاومت موضعی بر حسب کیلومورگ

γ = وزن مخصوص هوا بر حسب کیلوگرم نیرو بر متر مکعب

G = شتاب جاذبه زمین بر حسب متر مربع

ξ = ضریب افت موضعی که بدون بعد است

● محاسبه مقاومت ناشی از وجود موانع

در مواردی که در مسیر حرکت هوا در راهروهای معدنی، موانعی وجود داشته باشد، مقاومت

مربوط به این موانع از رابطه (۹-۲) محاسبه می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱):

$$R_m = \frac{C_\gamma}{2g} \frac{A_M}{(A - A_2)^2} \quad (9-2)$$

که در آن:

R_m = مقاومت ناشی از وجود موانع بر حسب کیلومورگ

γ = وزن مخصوص هوا بر حسب کیلوگرم نیرو بر متر مکعب

G = شتاب جاذبه زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه

A = سطح مقطع راهرو بر حسب متر مربع

A_M = سطح مؤثر مانع در جهت عمود بر امتداد حرکت هوا بر حسب متر مربع

C_r = ضریب آئرو دینامیکی که به شکل مانع بستگی دارد.

۲-۹-۲- محاسبه مقاومت کلی شاخه

با مشخص شدن مقاومت اصطکاکی، موضعی و مقاومت ناشی از وجود موانع، مقاومت کلی شاخه

از حاصل جمع آن‌ها به دست می‌آید:

$$R_t = R_f + R_l + R_m \quad (۱۰-۲)$$

از آنجا که در بسیار از موارد، محاسبه مقاومت موضعی و مقاومت ناشی از وجود موانع به‌طور دقیق ممکن نیست (زیرا این امر نیازمند آگاهی از جزئیات شاخه است که معمولاً در مرحله طراحی اطلاعات مربوط به آن در دسترس نیست) لذا معمولاً مقاومت اصطکاکی شاخه را محاسبه می‌کنند و بسته به پیش‌بینی میزان پدیده‌های موضعی و موانع، ۱۰ تا ۱۵ درصد به آن اضافه می‌کنند و حاصل را به‌عنوان مقاومت کلی شاخه در نظر می‌گیرند.

توصیه شده است که برای معادن ایران، از این بابت ۱۵ درصد افزایش در نظر گرفته شود (الهی، ۱۳۹۳). بنابراین پس از محاسبه مقاومت اصطکاکی شاخه، مقاومت کلی آن خواهد شد:

$$R_t = 1.15R_f \quad (۱۱-۲)$$

۲-۹-۳- محاسبه افت فشار شاخه‌ها

با معلوم بودن مقاومت کلی شاخه و شدت جریانی که باید از آن بگذرد، افت فشار هر شاخه از رابطه عمومی (۲-۱۲) محاسبه می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱):

$$\Delta P = RQ^2 \quad (۲-۱۲)$$

در سیستم متریک، اگر مقاومت بر حسب کیلومورگ و شدت جریان هوا بر حسب مترمکعب در ثانیه بیان شود، افت فشار بر حسب کیلوگرم نیرو بر متر مربع به دست می‌آید که معادل میلیمتر آب نیز هست. در معادن ایران معمولاً از این شیوه استفاده می‌شود.

اگر مقاومت بر حسب سیستم SI و شدت جریان بر حسب متر مکعب در ثانیه بیان شود، افت فشار بر حسب پاسکال به دست می‌آید.

۲-۹-۴- تنظیم هوا و تعدیل شبکه

پس از محاسبه افت فشار شاخه‌ها، باید شبکه را تعدیل کرد تا در تمام شاخه‌ها، هوا در جهت و به میزان مورد نظر، به جریان افتد. برای تعدیل شبکه، ابتدا باید حلقه‌های شبکه را انتخاب کرد. حلقه‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که هر شاخه حداقل در یک حلقه شرکت داشته باشد. حداقل حلقه‌های لازم به صورت زیر به دست می‌آید (مدنی، ۱۳۸۲):

$$+1 \text{ تعداد گره‌ها} - \text{تعداد شاخه‌ها} = \text{حداقل تعداد حلقه‌ها}$$

پس از انتخاب حلقه‌ها، مجموع جبری افت فشار شاخه‌های تشکیل دهنده حلقه محاسبه می‌شود.

$$\sum \Delta P = \sum R_i Q_i^2 \quad (۲-۱۳)$$

بدیهی است در حالت اولیه، مجموع افت فشارهای حلقه برابر صفر نیست. برای صفر شدن جمع جبری افت فشارها باید افت فشار بعضی از شاخه‌ها را کم و یا افت فشار بعضی از شاخه‌ها را به‌طور مصنوعی افزایش داد.

- افت فشار یک یا چند شاخه منفی را بالا برد تا جمع جبری صفر شود. (نصب درهای تنظیم کننده)

- افت فشار یک یا چند شاخه مثبت را کم کرد. برای کاهش مقاومت می‌توان سطح داخلی راهرو یا راهروها را صاف کرد تا ضریب اصطکاک آن‌ها کم شود و یا می‌توان سطح مقطع آن‌ها را افزایش داد و یا در صورت امکان راهروهای تشکیل دهنده شاخه را از حالت سری به موازی تبدیل کرد.

- در شاخه و یا شاخه‌های مثبت بادبزن تقویتی نصب کرد.

به هر حال، پس از تعدیل شبکه، جمع جبری افت فشار شاخه‌های تشکیل دهنده آن برابر صفر شود و اگر این کار در مورد تمام حلقه‌ها انجام گیرد، شبکه تعدیل خواهد شد و نحوه جریان هوا در شاخه‌ها مطابق آنچه که طراحی شده است، خواهد بود (مدنی، ۱۳۸۱).

۲-۹-۵- محاسبه افت فشار و مقاومت کلی شبکه

پس از تعدیل شبکه، افت فشار کلی معدن را به‌سادگی می‌توان محاسبه کرد. به این منظور، مجموع افت فشار شاخه‌های موجود بین مسیر ورودی و خروج هوا را (با احتساب افت فشارهای ناشی از درهای تنظیم کننده و یا فشار ناشی از بادبزن‌های تقویتی) با هم جمع می‌شوند (مدنی، ۱۳۸۱).

$$P = \sum R_i Q_i^2 \sum \Delta \quad (2-14)$$

در این رابطه R_i مقاومت شاخه‌های موجود در مسیر ورودی تا خروج و Q_i شدت جریان عبوری از آن‌هاست. با مشخص شدن افت فشار کلی شبکه، مقاومت کلی شبکه معدن نیز از رابطه (۲-۱۵) محاسبه می‌شود.

$$R_i = \frac{\Delta p_i}{Q_i^2} \quad (۲-۱۵)$$

در این رابطه R_i مقاومت کلی شبکه، Q_i شدت جریان کلی عبوری از شبکه است.

به این ترتیب، با مشخص شدن افت فشار و شدت جریان کلی شبکه، مشخصات اصلی بادبزن معدن حاصل می‌شود. به بیان دیگر بادبزن اصلی معدن باید حداقل شدت جریان Q_i و فشار معادل ΔP_i را تأمین کند (مدنی، ۱۳۸۱).

۲-۹-۶- انتخاب سیستم تهویه

برای انتخاب سیستم تهویه مناسب، ابتدا باید نقشه سیستم استخراج معدن برای مرحله مورد نظر تهیه شود. در این نقشه، جزئیات سیستم استخراج مورد نظر نیست بلکه باید حاوی کلیه راهروها و حفاریات معدنی لازم برای سیستم استخراج باشد.

• سیستم صعودی و نزولی

به طور کلی سعی می‌شود که هوای تازه از چاه ورودی به پایین‌ترین نقطه معدن وارد شود و از این نقطه به بعد حرکت آن در تمام قسمت‌ها صعودی، یعنی به سمت سطح زمین باشد. این شیوه تهویه را تهویه صعودی و حالت عکس آن را نزولی می‌خوانند. این امر سبب می‌شود که جریان هوای تهویه و حرکت گازهای سمی و قابل انفجار، که عموماً از هوا سبک‌ترند، در یک جهت باشد. اصولاً

توصیه بر آن است که سیستم تهویه معدن، به‌ویژه معادن زغال‌سنگ از نوع صعودی انتخاب شود (مدنی، ۱۳۸۲).

• سیستم مرکزی و کناری

اگر در طرح استخراج معدن، چندین چاه و یا تونل اصلی پیش‌بینی شده باشد، از تمام آن‌ها باید به‌عنوان راه ورود یا خروج هوا استفاده کرد. در چنین مواردی، در صورت امکان باید سیستم کناری کمک گرفت، زیرا سبب می‌شود افت فشار کلی شبکه تهویه و نیز نشت هوا کمتر شود (مدنی، ۱۳۸۲).

• سیستم دهشی و مکشی

در معادن زغال توصیه می‌شود که همواره مکشی به کار گرفته شود زیرا در مواردی که به علی بادبزن از کار بیافتد، خطر کمتری دارد (مدنی، ۱۳۸۲).

۲-۱۰- انتخاب مسیر حرکت هوا در شبکه تهویه

مسیر حرکت هوا باید به گونه‌ای انتخاب شود که به هر کدام از مناطق فعال معدن شامل کارگاه‌های استخراج و جبهه کارهای پیشروی، فضای زیرزمینی فعال و نظایر آن‌ها، به‌طور مستقل هوای تازه برسد. هیچ‌گاه نباید هوای برگشتی از یک کارگاه یا جبهه کار، برای تهویه بخش دیگر در نظر گرفته شود. همچنین مسیر هوای آلوده باید به گونه‌ای انتخاب شود که هوای تازه و آلوده با هم تلاقی نکنند و کلیه هوای آلوده از مسیر مشخصی در نهایت به چاه یا تونل خروجی هدایت شود.

اگرچه در حالت کلی باید حتی‌المقدور از شبکه موجود استخراج برای تهویه استفاده کرد ولی گاه لازم می‌شود که به‌منظور حفظ شرایط ایمنی و رساندن هوای تازه به‌طور مستقل به کارگاه‌ها و جبهه کارهای پیشروی، حفریات ویژه‌ای را به‌منظور انجام صحیح تهویه حفر کرد و یا تغییراتی در

سیستم استخراج معدن به وجود آورد (مدنی، ۱۳۸۲).

۱۱-۲- تجهیزات تهویه

مهم‌ترین تجهیزات مورد استفاده برای تهویه معادن شامل بادبزن اصلی، بادبزن فرعی، لوله‌های تهویه و تأسیسات تهویه هستند.

۱۲-۲- انتخاب بادبزن اصلی

با مشخص شدن شدت جریان Q_t و افت فشار کلی شبکه ΔP_t ، باید بادبزن را برای معدن انتخاب کرد که در محدوده زمانی مورد نظر، بتواند شدت جریان Q_t و فشار معادل ΔP_t را تأمین کند. واضح است که بین گزینه‌های مختلفی که برای انتخاب بادبزن اصلی معدن وجود دارد باید نوعی را برگزید که در درجه اول از نقطه نظر ایمنی و در درجه دوم از نظر اقتصادی مناسب‌تر باشد.

از آنجا که شبکه استخراج معدن و در نتیجه شبکه تهویه آن، مرتباً در حال گسترش است و این امر افزایش مقاومت و در نتیجه افزایش ΔP_t را در پی دارد و نیز به علت افزایش نشت، شدت جریان لازم Q_t نیز باید افزایش یابد، لذا بادبزنی که انتخاب می‌شود باید بتواند در طول عمر مفید خود که آن را ۱۵ تا ۲۵ سال در نظر می‌گیرند، شدت جریان و فشاری بیش از Q_t و ΔP_t تولید کند.

شدت جریان (Q_f) و فشار (R_f) بادبزن اصلی معدن باید مطابق روابط (۲-۱۶) و (۲-۱۷) باشد (مدنی،

۱۳۸۱):

$$Q_f = 1.2 Q_t \quad (۲-۱۶)$$

$$P_f = 1.11 \Delta P_t \quad (۲-۱۷)$$

در این رابطه P_t فشار حداکثر بادبزنی، یعنی ارتفاع نقطه حداکثر منحنی مشخصه آن است.

با مشخص شدن Q_f و P_f ، نقطه عملکرد بادبزنی مشخص می‌شود، بنابراین باید با توجه به اطلاعاتی

که از بادبزنی‌های مختلف در دست است، مناسب‌ترین را انتخاب کرد.

۲-۱۲-۱- نحوه انتخاب بادبزنی

برای انتخاب بادبزنی از دو روش استفاده می‌شود، روش اول استفاده از منحنی مشخصه بادبزنی

و روش دوم استفاده از جدول انتخاب، است.

الف- روش استفاده از جدول مشخصات

در این روش با بیان مختصات نقطه عملکرد لازم یعنی Q_f و P_f در دستگاه مختصاتی که منحنی

مشخصه بادبزنی در آن رسم شده است، بررسی می‌شود که آیا این نقطه بر روی منحنی مشخصه بادبزنی

مورد نظر قرار می‌گیرد یا خیر، در صورتی که پاسخ سؤال منفی باشد، باید به بادبزنی یا بادبزنی‌های

دیگری مراجعه و این عمل را تکرار کرد. پس از اینکه مدل بادبزنی‌هایی که نقطه عملکرد بر روی منحنی

مشخصه آن‌ها قرار می‌گیرد مشخص شد، آنگاه باید بررسی کرد که نقطه عملکرد در محدوده چه

منحنی‌هایی هم راندمان قرار می‌گیرد. از بین بادبزنی‌های مرحله اول، آن‌هایی مناسب‌اند که راندمان

بادبزنی از ۶۰ درصد کمتر نباشد. بدیهی است هر چقدر راندمان بادبزنی بالاتر باشد، مناسب‌تر خواهد

بود. سرانجام از بین بادبزنی‌های انتخاب شده، نوعی انتخاب می‌شود که راندمان بالاتری داشته و از نظر

اقتصادی مناسب‌تر باشد.

ب- روش استفاده از جدول یا منحنی‌های انتخاب

بسیاری از کارخانه‌های سازنده بادبزنی، جدول‌ها و یا منحنی‌هایی تهیه و در آن محدوده عملکرد

مناسب را بیان کرده‌اند که می‌توان بادبزن‌های مناسب را از شرکت‌های مختلف انتخاب و آن‌ها را با هم مقایسه کرد و مناسب‌ترین را برگزید.

۲-۱۲-۲- محاسبه توان بادبزن

با مشخص کردن فشار و شدت جریان بادبزن، توان لازم برای آن از رابطه (۱۸-۲) محاسبه می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱):

$$N = \frac{9.81P_f Q_f}{1000\eta_1\eta_2} \quad (18-2)$$

که در آن:

N = توان لازم برای بادبزن بر حسب کیلو وات

P_f = فشار بادبزن بر حسب میلی‌متر آب

Q_f = شدت جریان بادبزن بر حسب متر مکعب در ثانیه

η_1 = راندمان بادبزن

η_2 = راندمان الکتروموتور بادبزن

۲-۱۲-۳- استفاده از چندین بادبزن

در بعضی موارد ممکن است بادبزنی که به‌تنهایی بتواند فشار و هوای لازم برای شبکه تهویه تأمین کند، در دسترس نباشد، همچنین امکان دارد که بادبزن اولیه‌ای که برای معدن انتخاب شده است، با توجه به افزایش مقاومت شبکه تهویه، دیگر جوابگوی تهویه نباشد. در چنین مواردی می‌توان از مجموعه‌ای از دو یا چند بادبزن که هم‌زمان با هم در شبکه تهویه کار گرفته می‌شوند، استفاده کرد.

۲-۱۲-۴- دستورالعمل انتخاب بادبزن فرعی

پس از محاسبه شدت جریان هوای لازم برای تهویه جبهه کار پیشروی، ابتدا باید فشار و شدت جریانی که بادبزن فرعی باید تولید کند محاسبه کرد. اگر Q_0 شدت جریان هوای لازم برای تهویه جبهه کار باشد، بادبزن باید شدت جریان Q_f را تولید کند که از رابطه (۲-۱۹) محاسبه می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱):

$$Q_f = Q_0 + \Delta Q \quad (۲-۱۹)$$

که در آن ΔQ میزان نشت هوا در لوله‌های تهویه است. میزان نشت هوا به جنس لوله‌ها و به‌ویژه به نوع اتصالات آن‌ها بستگی دارد و برای محاسبه آن از رابطه (۲-۲۰) استفاده می‌شود (مدنی، ۱۳۸۱):

$$\frac{Q_f}{Q_0} = \left(\frac{KDL}{3l} \sqrt{R} \times 10^{-6} + 1 \right) \quad (۲-۲۰)$$

که در آن:

D = قطر لوله‌ها تهویه بر حسب متر

R = مقاومت لوله‌ها تهویه بر حسب کیلومورگ

L = طول کلی لوله‌های تهویه بر حسب متر

l = طول هر قطعه از لوله‌های تهویه بر حسب متر

Q_0 = شدت جریان در جبهه کار بر حسب متر مکعب در ثانیه

Q_f = شدت جریانی که بادبزن باید تولید کند بر حسب متر مکعب در ثانیه

K = ضریب نشت و عبارت است از شدت جریان هوایی (بر حسب متر مکعب در ثانیه) که از محل

اتصال لوله‌های تهویه به قطر یک متر و تحت اختلاف فشار یک میلی‌متر آب به خارج از لوله نشت می‌کند. که این مقدار در موارد مختلف به شرح جدول (۷-۲) است.

جدول ۷-۲: مقادیر K (ضریب نشت) بر اساس جنس لوله (مدنی، ۱۳۸۱)

جنس لوله	ضریب K
لوله‌های فلزی با اتصال ضعیف	3×10^3 تا $7/5 \times 10^3$
لوله‌های فلزی با اتصال خوب	1×10^3 تا 5×10^3
لوله‌های پارچه‌ای	$1/5 \times 10^3$

۲-۱۳- شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم‌های تهویه

شبکه‌های تهویه معادن اغلب پیچیده هستند و به‌ندرت می‌توان آن‌ها را به روش‌های ساده تحلیلی بررسی کرد. در اکثر موارد، برای تحلیل شبکه‌ها باید از روش‌های تقریبی کمک گرفت. این روش‌ها نیز مستلزم تکرار محاسبات زیاد و در نتیجه بسیار وقت‌گیر هستند و احتمال اشتباه در محاسبات دستی نیز دور از انتظار نیست. بنابراین در عمل برای تحلیل شبکه‌ای واقعی در معادن، استفاده از نرم‌افزارها ضرورت دارد. در سال‌های اخیر نرم‌افزارهای متعددی در این زمینه ارائه شده است که با استفاده از آن‌ها به‌سادگی می‌توان پیچیده‌ترین شبکه‌ها را نیز تحلیل کرد. نرم‌افزارهای Ventsim، Minvet، Avent و Vnetpc نمونه‌ای از نرم‌افزارهای پرکاربرد در این زمینه است.

۲-۱۴- پیشینه تحقیق

همان‌طور که گفته شد، طراحی سیستم تهویه برای معادن زیرزمینی و تونل‌ها یکی از مسائل مهم در زمینه معدنکاری زیرزمینی است. با پیشرفت روش‌های کامپیوتری در کارهای معدنی، طراحی‌های کامپیوتری سیستم تهویه توانسته به‌عنوان یک روش قابل اعتماد و پرکاربرد در زمینه طراحی تهویه مورد توجه قرار بگیرد. امروزه به دلیل ساده بودن کاربرد روش‌های کامپیوتری و همچنین صرف زمان

کمتر مورد نیاز برای آنالیز، این روش توانسته جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و دستی باشد. کاربرد این روش، سبب شده تا تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گیرد، که در زیر به تشریح آن‌ها پرداخته می‌شود.

• مطالعات کپ‌هارت^۱ و واتسون^۲ (۲۰۰۱)

معادن طلا ری‌دیمر^۳ یکی از معادن غربی استرالیا بوده که به‌صورت زیرزمینی تا عمق ۶۰۰ متری استخراج شده است. با اکتشافات صورت گرفته مشخص شده است که در اعماق بیشتر ماده معدنی وجود دارد. برای رفتن به عمق باید سیستم تهویه معدن پیشرفت داده شود. برای این منظور چند طرح تهویه مختلف با استفاده از نرم‌افزار Ventsim باز طراحی شد. برای تعیین کیفیت هوا در این معدن، توجه اصلی به ماشین‌های دیزلی است که در کارگاه‌های استخراج یا سینه کارهای آماده‌سازی مشغول به کار هستند (Widzyk-Capehart and Watson, 2001).

• مطالعات کپ‌هارت و فاوست^۴ (۲۰۰۱)

سیستم تهویه معدن برنزوئینگ^۵، واقع در غرب استرالیا را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه سیستم تهویه مورد نیاز برای ادامه فعالیت معدن برنزوئینگ را با استفاده از نرم‌افزار تهویه Ventsim مورد بررسی قرار دادند. شرایط فعلی تهویه شبیه‌سازی شد است و با توجه به شرایط، تهویه آینده مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه، یک فرآیند بهینه‌سازی بر اساس

¹ Capehart

² Watson

³ Redeemer

⁴ Fawcett

⁵ Bronzewing

طرح‌های تولید پیشنهادی معدن، به‌منظور به دست آوردن کارآمدترین و مقرون به صرفه‌ترین جریان هوا برای کارگاه‌های استخراجی آینده انجام شده است (Widzyk-Capehart and Fawcett, 2001).

● مطالعات مارکس^۱ و بل^۲ (۲۰۰۲)

هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی شبکه تهویه یک معدن زغال‌سنگ کم‌عمق، بهینه‌سازی توزیع جریان هوا و کاهش قدرت بادبزن است. برای این منظور از نرم‌افزار Vuma یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی تهویه معادن زیرزمینی که در آفریقای جنوبی توسعه یافته، استفاده شده است. در نهایت، نتیجه‌گیری می‌شود که برنامه‌ریزی تغییرات و بهینه‌سازی شبکه‌های تهویه معدن با استفاده از رویکرد آزمون و خطا بسیار مؤثر خواهد بود، که دلیل دیگری برای استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی شبکه است (Marx and Belle, 2002).

● مطالعات اکسیکیس^۳ و کاپاگریدیس^۴ (۲۰۰۶)

در این مطالعه، شبکه تهویه یک معدن زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی شبکه تهویه از یک شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده شده و به کمک آن همه جنبه‌های تهویه، از جمله نوع بادبزن، محل نصب بادبزن و ... مورد بررسی قرار گرفته و همچنین برخی از دستورالعمل‌های مهم در هنگام شرایط اضطراری (مانند آتش‌سوزی، گرد و غبار، تجمع گازهای

¹ Marx

² Belle

³ Exikis

⁴ Kapageridis

مضر، چرخش هوا و ...) برای حفظ یک محیط کار سالم، بیان شده است (Exikis and Kapageridis, 2006).

● مطالعات وی^۱ و همکاران (۲۰۱۱)

سیستم تهویه معدن دونگی^۲ که در عمق ۱۰۰۰ متری معدنکاری شده است را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این معدن بعضی از مسیرهای هوا مقاومت بالایی دارند و فشار تولیدی بادبزن بیشتر از ۳۵۰۰ پاسکال است. سیستم تهویه این معدن بسیار پیچیده بوده و از لحاظ مدیریتی دچار مشکل بوده است. برای حل مشکل تهویه از شبیه‌سازی سه‌بعدی به‌وسیله نرم‌افزار Ventsim استفاده شده است. این سیستم الزامات مدیریت تهویه معدن دونگی را برآورده می‌کند و داده‌های علمی و قابل اعتماد را برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کند که سطح مدیریت تهویه معدن دونگی را بهبود می‌بخشد (Wei et al. 2011).

● مطالعات گوسات^۳ و همکاران (۲۰۱۱)

روش‌های مختلفی برای محاسبه سیستم‌های تهویه پیچیده در حال حاضر ارائه شده است. این مطالعه، برخی از مزایای استفاده از نرم‌افزار برای محاسبه و شبیه‌سازی یک شبکه تهویه ارائه می‌دهد. شبیه‌سازی شاخه‌ها و پارامترهای آن‌ها در مراحل بسیار ساده انجام شده است (Gusat et al. 2011).

¹ Wei

² Donghai

³ Gusat

● مطالعات لیلیچ^۱ و همکاران (۲۰۱۲)

معدن زغال‌سنگ عمرلر^۲ واقع در مرکز ترکیه، دارای دو نوع سیستم استخراج، یکی به صورت مکانیکی و دیگری به صورت سنتی است. هدف از این مطالعه، برنامه‌ریزی بلند مدت برای تهویه معدن بوده و در نهایت، تغییرات و بهینه‌سازی‌های پیش‌بینی شده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است (Lilic et al. 2012).

● مطالعات سووار^۳ و همکاران

به دلیل پیچیدگی شبکه‌های تهویه معادن زیرزمینی حل آن‌ها به روش دستی ممکن نیست. هدف از ارائه این مطالعه، بررسی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کامپیوتری برای حل مسئله تهویه است. یکی از پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای تخصصی (VENTSIM Visual Advanced) که در استرالیا توسعه یافته مورد بررسی قرار گرفته است (Suvar et al. 2012).

● مطالعه چاوگون^۴ (۲۰۱۳)

تهویه معدن تنگزینگ^۵ به علت فرسوده بودن سیستم، دچار مشکل شده است. برای این معدن، منابع در دسترس بسیار محدود بوده و طراحی سیستم تهویه جدید بسیار گران قیمت است، همچنین بهینه‌سازی سیستم تهویه فعلی باید مقرون به صرفه باشد. برای حل این مشکل

¹ Lilic

² Omerler

³ Suvar

⁴ Chaoqun

⁵ Tongxing

شبکه سه بعدی معدن در نرم افزار Ventsim طراحی شده که به وسیله آن می توان نقاط نشت هوا و بسیاری از اطلاعات دیگر را به دست آمد. از طریق این سیستم، در زمان صرفه جویی شده و سطح مدیریت ایمنی معدن و همچنین مزایای اقتصادی بهبود یافته است (Chaoqun, 2013).

● مطالعات فلسنر^۱ (۲۰۱۳)

در این مطالعه، اصول اساسی سیستم های تهویه معادن زیرزمینی شامل تأسیسات احتمالی و انواع مختلف سیستم های تهویه توضیح داده شده است. علاوه بر این، یک فصل به بحث در مورد ابزارهای اساسی برنامه Ventsim Visual Advanced و بسته های شبیه سازی تهویه معدن زیرزمینی مورد استفاده در این مطالعه می پردازد. معدن ارزبرگ^۲ واقع در اتریش، به منظور نشان دادن کاربرد برنامه انتخاب شده است (Felsner, 2013).

● مطالعات آکاند^۳ و موشود^۴ (۲۰۱۳)

در این مطالعه، از نرم افزار اتوکد برای طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ اوکابا^۵ استفاده شده است. پس از انجام محاسبات تهویه، نوع بادبزن های کمکی و همچنین شدت جریان مورد نیاز برای هر شاخه از معدن تعیین شده است (Akande and Moshood, 2013).

¹ Felsner

² Erzberg

³ Akande

⁴ Moshood

⁵ Okaba

- مطالعه استوارت^۱ (۲۰۱۴)

در این مطالعه، ناحیه انفجاری در معادن زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از یک الگوریتم، حجم گازهای تولید شده بعد از انفجار و زمان مناسب برای ترقیق این گاز محاسبه شده است. در نهایت، بررسی می‌کند که چگونه چنین الگوریتمی ممکن است در نرم‌افزار مدل‌سازی گنجانده شود و نمونه‌ای از کاربرد آن در نرم‌افزار ventsim نشان داده شده است (Stewart, 2014).

- مطالعات حقیقت (۲۰۱۴)

هدف این مطالعه، تجزیه و تحلیل شبکه تهویه معادن زیرزمینی سنگ آهک و انتخاب محل مناسب برای نصب بادبزن اصلی و بادبزن‌های کمکی با استفاده از نرم‌افزار Ventsim است. در ادامه روند بررسی شرایط اضطراری آتش‌سوزی دود و گرد و غبار در مسیرهای هوا مدل‌سازی شده و پیامدهای آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است (Haghighat, 2014).

- مطالعات چوکلائی^۲ و همکاران (۲۰۱۴)

در این مطالعه، خطرات ناشی از انفجار در معادن زیرزمینی و همچنین گازهای سمی متصاعد شده هنگام آتشباری مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور یک شبکه تهویه در نرم‌افزار Ventsim طراحی شده و آتش‌سوزی در یکی از شاخه‌های معدن شبیه‌سازی شده است. در نهایت، اثرات مختلف آتشباری و تصاعد گازهای مضر مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین

¹ Stewart

² Cioclea

اقدامات لازم در مواقع وقوع این حوادث شرح داده شده است (Cioclea et al. 2014).

● مطالعات آکونا^۱ و والاس^۲ (۲۰۱۵)

در این مطالعه، توسعه بخش جدید معدن زیرزمینی تنینته^۳ که در شیلی واقع شده است مورد بررسی قرار گرفته است. قرار است تولید روزانه این معدن بین ۱۳۷ تا ۱۸۰ تن باشد. ساخت‌وساز این معدن در دو مرحله زمان‌بندی شده است که قرار است مرحله دوم این پروژه از سال ۲۰۱۵ آغاز و تا سال ۲۰۲۰ به پایان برسد. با توجه به اقدامات انجام گرفته در مرحله اولیه طرح و میزان تولید پیش‌بینی شده، طراحی تهویه صورت گرفته و همچنین بر روی حداقل و حداکثر شدت جریان هوا در ورودی و خروجی‌های پیش‌بینی شده تحلیل حساسیت انجام شده است (Acunaa and Wallace, 2015).

● مطالعات ستی^۴ (۲۰۱۵)

این مطالعه مقدار فشار و کیفیت هوا در سیستم تهویه معدن زغال‌سنگ زیرزمینی ناندیرا^۵ را مورد بررسی قرار داده است. کار تحقیقاتی با کمک آخرین ابزارها در تقریباً ۴۰ ایستگاه انجام شده است. روش بررسی تهویه و شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار Ventsim نشان داده شده و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل انجام شده است. در نهایت، نتایج به‌دست آمده از

¹ Acunaa

² Wallace

³ Teniente

⁴ Sethi

⁵ Nandira

شبیه‌سازی با واقعیت موجود در معدن مقایسه شده است (Sethi, 2015).

● مطالعات ژانگ^۱ و سو^۲ (۲۰۱۶)

سیستم تهویه معدن زغال‌سنگ مجیاگو^۳ مورد بررسی قرار داده‌اند. برای رفع مشکل مقاومت زیاد هوا، شبکه این معدن در نرم‌افزار Ventsim شبیه‌سازی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نرم‌افزار Ventsim علاوه بر کمک به سیستم مدیریتی معدن، در برنامه‌ریزی بلند مدت و کوتاه مدت و همچنین مدیریت تهویه این معدن مورد استفاده قرار گرفته است (Zhang and Suo, 2016).

● مطالعات مدنی و اسکویی (۱۳۸۰)

در این مطالعه، همراه با شروع عملیات آماده‌سازی و تجهیز معدن زغال‌سنگ گلندرود، طرح اولیه سیستم تهویه آن مورد بحث قرار گرفته است. با توجه به وضعیت معدن سیستم تهویه صعودی مناسب تشخیص داده شده و وجود راه‌های خروجی سبب شد که روش تهویه دهشی برای معدن انتخاب شود. محاسبات تهویه به صورت دستی صورت گرفته و صحت انجام محاسبات با استفاده از نرم‌افزارهای Minvent، Ventpc و Ventsim مورد بررسی قرار گرفته است (مدنی و اسکویی، ۱۳۸۰).

● گشتاسبی و همکاران (۱۳۸۲)

¹ Zhang

² Suo

³ Majiagou

در این مطالعه، شبکه تهویه معدن زغال سنگ رضی مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا محاسبه تهویه به صورت دستی صورت گرفته و سپس صحت محاسبات انجام شده با استفاده از نرم افزار Tahviah مورد بررسی قرار گرفته است (گشتاسبی و همکاران، ۱۳۸۲).

● مطالعات مدنی و مفتی (۱۳۸۲)

در این مطالعه، سیستم تهویه معدن زغال سنگ کیاسر مورد بررسی قرار گرفته است. با گسترش شبکه استخراج معدن، مشکلاتی در زمینه تهویه معدن به وجود آمده است که بر همین اساس طراحی سیستم تهویه معدن انجام گرفته است. با توجه به وضعیت معدن، سیستم صعودی-مکشی برای این معدن در نظر گرفته شده است. طراحی تهویه این معدن به صورت دستی انجام شده و شبیه سازی این معدن با استفاده از نرم افزار Minvent صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل عددی (شبیه سازی کامپیوتری) و تحلیل دستی شبکه تهویه، در حد قابل قبولی همخوانی دارد (مدنی و مفتی، ۱۳۸۲).

● مطالعات مدنی و همکاران (۱۳۸۵)

در این مطالعه، به علت مشکلات و نارسایی های موجود در سیستم تهویه معدن زیرزمینی هشونی، بازنگری و ارزیابی پارامترهای مؤثر و همچنین ارائه سیستم بهینه پاسخگو مورد نیاز معدن مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شرایط موجود، سیستم صعودی-دهشی مورد استفاده قرار گرفته و با توجه به آن، طراحی تهویه به صورت دستی صورت گرفته است. در نهایت صحت محاسبات انجام شده با نرم افزار Minvent مورد بررسی و تایید قرار گرفته است (مدنی و همکاران، ۱۳۸۵).

● مطالعات انه‌منگلی (۱۳۸۷)

در این مطالعه، ابتدا شدت جریان مورد نیاز برای کارگاه‌ها استخراج و جبهه کارهای آماده‌سازی محاسبه شده و سپس با استفاده از این مقادیر شبیه‌سازی معدن کلاریز شرقی با استفاده از نرم‌افزار Ventsim انجام شده است (انه‌منگلی، ۱۳۸۷).

● مطالعات قزوینی و آقاجانی (۱۳۹۱)

هدف از این مطالعه طراحی سیستم تهویه برای معدن زمستان یورت شرقی می‌باشد. با توجه به شرایط معدن تهویه به صورت صعودی_دهشی انتخاب شده و محاسبات به صورت دستی انجام شده است. در نهایت، شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از نرم‌افزار Ventsim انجام شده که نتایج حاصل از آن و تحلیل دستی شبکه تهویه در حد قابل قبولی هم‌خوانی داشته است (قزوینی و آقاجانی، ۱۳۹۱).

● مطالعات الهی و ربیع‌نژاد (۱۳۹۱)

هدف از این مطالعه رقیق کردن گازهای مضر معدن رزمجا غربی از البرز شرقی با استفاده از تهویه مصنوعی و انتخاب بادبزن اصلی بوده است. در این مطالعه الهی و ربیعی‌نژاد طرح معدن رزمجا غربی که مربوط به سال ۱۳۸۴ است را مورد بررسی قرار داده‌اند و با استفاده از نرم‌افزار Ventsim دوبعدی، بادبزن اصلی برای تهویه معدن را پیشنهاد کرده‌اند (الهی‌زینی و ربیع‌نژاد، ۱۳۹۱).

● مطالعات الهی و ربیع‌نژاد (۱۳۹۱)

هدف از این مطالعه رقیق کردن گازهای مضر معدن کلاریز البرزشرقی با استفاده از تهویه مصنوعی و انتخاب بادبزن اصلی می‌باشد. تجزیه و تحلیل شبکه معدن با استفاده از نرم‌افزار Ventsim انجام شده و به‌وسیله آن، بادبزن و دریچه مورد نیاز برای معدن تعیین شده است (الهی‌زینی و ربیع‌نژاد، ۱۳۹۱).

● مطالعات پزین فوشازده (۱۳۹۲)

در این مطالعه، سیستم تهویه بخش زیرزمینی معدن سرب و روی انگوران مورد مطالعه قرار گرفته است. برنامه‌ریزی بلند مدت تهویه برای این معدن صورت گرفته و بر طبق این برنامه-ریزی یک نمونه شبیه‌سازی تهویه با استفاده از نرم‌افزار Ventsim انجام شده است (پزین فوشازده، ۱۳۹۲).

● مطالعات الهی (۱۳۹۳)

در این مطالعه، طراحی سیستم تهویه معادن زیرزمینی به روش دستی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، سیستم تهویه معدن زغال‌سنگ تخت بررسی شده و شدت جریان هوا و بادبزن اصلی مورد نیاز برای این معدن پیشنهاد شده است (الهی‌زینی، ۱۳۹۳).

● مطالعات زارعی‌درمیان و همکاران (۱۳۹۳)

در این مطالعه، سیستم تهویه حین حفاری و لوله تهویه مناسب برای معدن مکانیزه پروده طبس مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شرایط موجود در معدن، ابتدا شدت جریان‌های مورد نیاز برای جبهه کارهای آماده‌سازی و کارگاه‌های استخراجی محاسبه شده و سپس سه نوع لوله برای طراحی پیشروی مقایسه شده‌اند. در نهایت، برای به جریان انداختن هوای مورد نیاز،

بادبزن‌های متفاوتی با استفاده از نرم‌افزار Ventsim مورد بررسی قرار گرفت (زارعی‌درمیان و همکاران، ۱۳۹۳).

● **مطالعات باقرزاده و همکاران (۱۳۹۳)**

در این مطالعه، سیستم تهویه اصلی معدن شماره یک پروده طبس مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس وضعیت معدن، سیستم صعودی-مکشی برای این معدن در نظر گرفته شده و طراحی تهویه به صورت دستی محاسبه شده است (باقرزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

● **الهی و همکاران (۱۳۹۵)**

در این مطالعه، سیستم تهویه اصلی معدن زغال‌سنگ تونل ۸ مورد بحث قرار گرفته است. شرایط معدن در نرم‌افزار Ventsim شبیه‌سازی شده و نحوه توزیع شدت جریان در شبکه مورد بررسی قرار گرفته است (الهی‌زینی و همکاران، ۱۳۹۵).

در جدول (۲-۸) تحقیقات انجام شده در این زمینه به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۲-۸ : خلاصه از تحقیقات ارائه شده در سال‌های اخیر

روش طراحی		دستی	عنوان	سال ارائه	محقق یا محققین	ردیف
نرم‌افزاری						
۳ بعدی	۲ بعدی					
	*		Agnew gold mine expansion mine ventilation evaluation using Ventsim	۲۰۰۱	Widzyk-Capehart and Watson	۱
*			Life of mine ventilation requirements for bronzewing mine using ventsim	۲۰۰۱	Widzyk-Capehart and Fawcett	۲
*			Simulating Airflow Conditions In a South African Coal Mine, Using The VUMA-Network Simulation Software	۲۰۰۲	Marx and Belle	۳
*			Simulation of Air and Contaminant Flow in Underground Mine Ventilation Networks	۲۰۰۶	Exikis and Kapageridis	۴
*			The use of 3D simulation system in mine ventilation management	۲۰۱۱	Feng Wei et al	۵
	*	*	Using the educational Ventsim software to calculate and simulate a ventilation network	۲۰۱۱	Gusat et al	۶
		*	Ventilation planning and design of the Omerler B mine	۲۰۱۲	Lilic et al	۷
*			Advanced software for mine ventilation networks solving	۲۰۱۲	suvar et al	۸
*			Study of old mine ventilation system transformation based on Ventsim software(a case for Tongxing Mine)	۲۰۱۳	Chaoqun	۹
*			Application of Ventsim Visual at the show mine Erzberg	۲۰۱۳	Felsner	۱۰
		*	Modelling of Okaba Underground Coal Mine Ventilation System	۲۰۱۳	Akande and Moshood	۱۱

ردیف	محقق یا محققین	سال ارائه	عنوان	دستی	۲ بعدی	۳ بعدی
۱۲	Stewart	۲۰۱۴	Practical prediction of blast fume clearance and workplace re-entry times in development headings			*
۱۳	Haghighat	۲۰۱۴	Analysis of a ventilation network in a multiple fans limestone mine			*
۱۴	Cioclea et al	۲۰۱۴	Prior establishment of work environment characteristics in case of the occurrence of an underground explosion			*
۱۵	Acunaa and Wallace	۲۰۱۵	Primary Mine Ventilation Solution for the New Level Mine Project During the Construction Period 2015 – 2020			*
۱۶	sethi	۲۰۱۵	Underground Mine ventilation survey			*
۱۷	Zhang and SUO	۲۰۱۶	Study of Coal Mine Ventilation System Optimization based on Ventsim			*
۱۸	مدنی و اسکویی	۱۳۸۰	طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ گلندرود	*	*	
۱۹	گشتاسبی و همکاران	۱۳۸۲	طراحی و محاسبه شبکه تهویه معدن زغال سنگ رضی	*	*	
۲۰	مدنی و مفتی	۱۳۸۲	طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ کیاسر	*	*	
۲۱	مدنی و همکاران	۱۳۸۵	طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ هشونی	*	*	
۲۲	انه منگلی	۱۳۸۷	طراحی تهویه معدن کلاریز شرقی با استفاده از نرم افزار ventsim		*	
۲۳	قزویی و آقاجانی	۱۳۹۱	طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ زمستانی یورت شرقی با استفاده از نرم افزار ventsim	*	*	
۲۴	الهی زینی و ربیع نژاد	۱۳۹۱	انتخاب بادبزنی اصلی برای تهویه معدن زیرزمینی زغال سنگ کلاریز البرز شرقی با استفاده از نرم افزار ventsim		*	
۲۵	الهی زینی و ربیع نژاد	۱۳۹۱	طراحی تهویه معدن زیرزمینی زغال سنگ رزمجا غربی از البرز شرقی با استفاده از نرم افزار ventsim		*	

	*	*	طراحی سیستم تهویه هوشمند بخش زیرزمینی معدن سرب و روی انگوران	۱۳۹۲	پزین فوشازده	۲۶
ردیف	محقق یا محققین	سال ارائه	عنوان	دستی	۲ بعدی	۳ بعدی
	الهی زینی	۱۳۹۳	طراحی تهویه معادن زیرزمینی به روش دستی (مطالعه موردی معدن زغال سنگ تخت)	*		
	زارعی درمیان و همکاران	۱۳۹۳	طراحی سیستم تهویه حین حفاری و انتخاب لوله تهویه مناسب در تونل آماده سازی پانل ۳ شرقی معدن ۱ مکانیزه پروده طبس	*	*	
	باقرزاده و همکاران	۱۳۹۳	طراحی سیستم تهویه معدن شماره یک طبس	*		
	الهی زینی و همکاران	۱۳۹۵	انتخاب بادبزن اصلی برای شبکه تهویه معدن زغال سنگ تونل ۸ با استفاده از نرم افزار ventsim	*		

۲-۱۵- جمع‌بندی

یکی از مؤلفه‌های حیاتی در طراحی یک معدن زیرزمینی و یا اماکن زیرزمینی تهویه است، که بر خلاف بسیاری از فعالیت‌های معدنی دیگر که تأخیر در آن‌ها سبب تأخیر در سایر فعالیت‌های معدنی می‌شود، تأخیر در انجام تهویه امکان‌پذیر نمی‌باشد. طراحی تهویه در زمان‌های گذشته به صورت دستی و از روی تجربه انجام شده، ولی در چند سال گذشته با روی کار آمدن کامپیوتر، طراحی تهویه پا به عرصه جدید گذاشته است.

در این فصل مطالعات مختلف صورت گرفته در زمینه طراحی تهویه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که طراحی معادن یا به صورت دستی بوده و یا با استفاده از نرم‌افزارهای دوبعدی صورت گرفته است. در پایان نامه پیش‌رو سعی بر آن است که طراحی تهویه معادن زیرزمینی به صورت دستی و نرم‌افزاری مورد بررسی قرار گیرد و طراحی تهویه معدن به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شود تا مدیریت سیستم تهویه معدن را راحت‌تر سازد.

فصل ۳: طراحی سیستم تهویه معدن رزمجا غربی

۳-۱- مقدمه

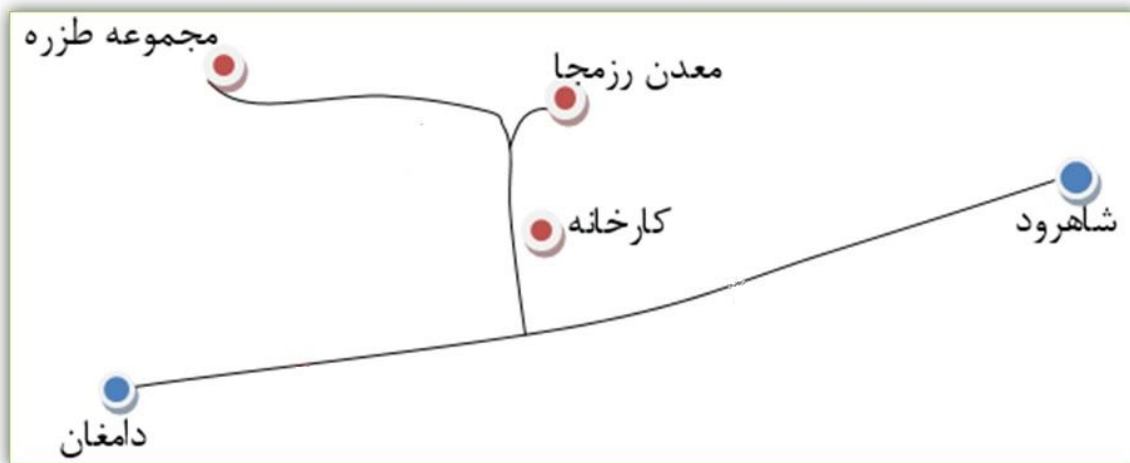
اصولاً فعالیت‌های معدنی زیرزمینی با توجه به ساختار خاص و وجود آلاینده‌های مختلف هوا و نیز ضرورت حفظ سلامتی کارکنان، نیاز به طراحی و پیش‌بینی اجرای عملیات تهویه دارند تا هوای تمیز و سالم را به کلیه قسمت‌های معدن هدایت شود و هوای کثیف به روش‌های مختلف خارج شود. برای رسیدن به این هدف همواره می‌بایست از طریق تهویه طبیعی یا مکانیکی، هوای تمیز را از سطح زمین به داخل معدن فرستاده و پس از چرخش هوا در تمام فضاها مورد نیاز معدن، آن را به سطح زمین برگشت داد (مدنی، ۱۳۸۱).

در این فصل سعی بر آن است که سیستم تهویه معدن رزمجا غربی با استفاده از روش دستی طراحی و با توجه به طرح کلی معدن یک بادبزن مناسب برای تهویه معدن معرفی شود.

۳-۲- مطالعه موردی

معدن زغال‌سنگ رزمجا غربی که یکی از معادن شرکت البرز شرقی است به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. معدن رزمجا غربی در رشته کوه‌های البرز، واقع در حوزه جغرافیایی شهرستان دامغان ولی تحت حوزه فعالیت شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی شاهرود است. این معدن در فاصله ۶۰ کیلومتری از شهرستان دامغان و همچنین نسبت به شاهرود در فاصله ۸۰ کیلومتری واقع شده است (شکل ۳-۱). این معدن توسط تعدادی تونل یک دهانه و اکلن نوار بازگشایی شده و سپس توسط تونل‌های دنبال لایه و عمود بر لایه و همچنین دوپیل‌های تهویه، عملیات آماده‌سازی انجام شده است. روش استخراج ماده معدنی جبهه کاربلند بوده و جهت کنترل سقف کمربالا عملیات تخریب انجام می‌گیرد. لایه‌های قابل استخراج این معدن در حال حاضر K۵، K۸، K۱۳ و K۱۹ است. بر اساس گزارش‌های اکتشافی، ماده معدنی معدن رزمجا غربی مربوط به دوره تریاس فوقانی و ژئوراسیک تحتانی می‌باشد و لایه‌های

استخراجی این معدن از نظر گازخیزی در دسته دو و سه قرار دارد (شرکت زغال سنگ البرز شرقی شاهرود، ۱۳۵۴).



شکل ۱-۳: موقعیت جغرافیایی معدن رزمجا غربی

۳-۲-۱- شرایط فعلی تهویه معدن

در حال حاضر تهویه این معدن به صورت طبیعی صورت می گیرد. همچنین بر اساس ماده ۳۱۸ آیین نامه ایمنی معادن، در معادن گازدار و گرد زغال دار، تهویه به طریق طبیعی مجاز نیست (آیین نامه ایمنی در معادن، ۱۳۸۱). با توجه به شرایط فعلی، سیستم تهویه معدن از نظر ایمنی کاملاً غیر اصولی و غیر استاندارد بوده و با توجه به آیین نامه ایمنی، این معدن مجاز به ادامه فعالیت در شرایط کنونی نمی باشد. به همین منظور طراحی سیستم تهویه معدن باید مورد بررسی قرار گرفته و بادیزن مناسب برای تهویه معدن انتخاب و نصب شود.

۳-۳- روش طراحی سیستم تهویه معدن

در طراحی اولیه شبکه تهویه، اطلاعات مربوط به کلیه شاخه ها (از قبیل سطح مقطع، طول مسیر،

ضریب اصطکاک و ...) جمع‌آوری و مقدار هوای لازم برای شاخه اصلی (کارگاه‌ها استخراج، جبهه کار پیشروی، محفظه‌های خدماتی و ...) محاسبه می‌شود تا بتوان از طریق آن به داده‌های زیر دست یافت.

الف) شدت جریان کلی هوای لازم

ب) افت فشار کلی شبکه

ج) مشخصات نقطه عملکرد بادبزن (با استفاده از داده‌های الف و ب)

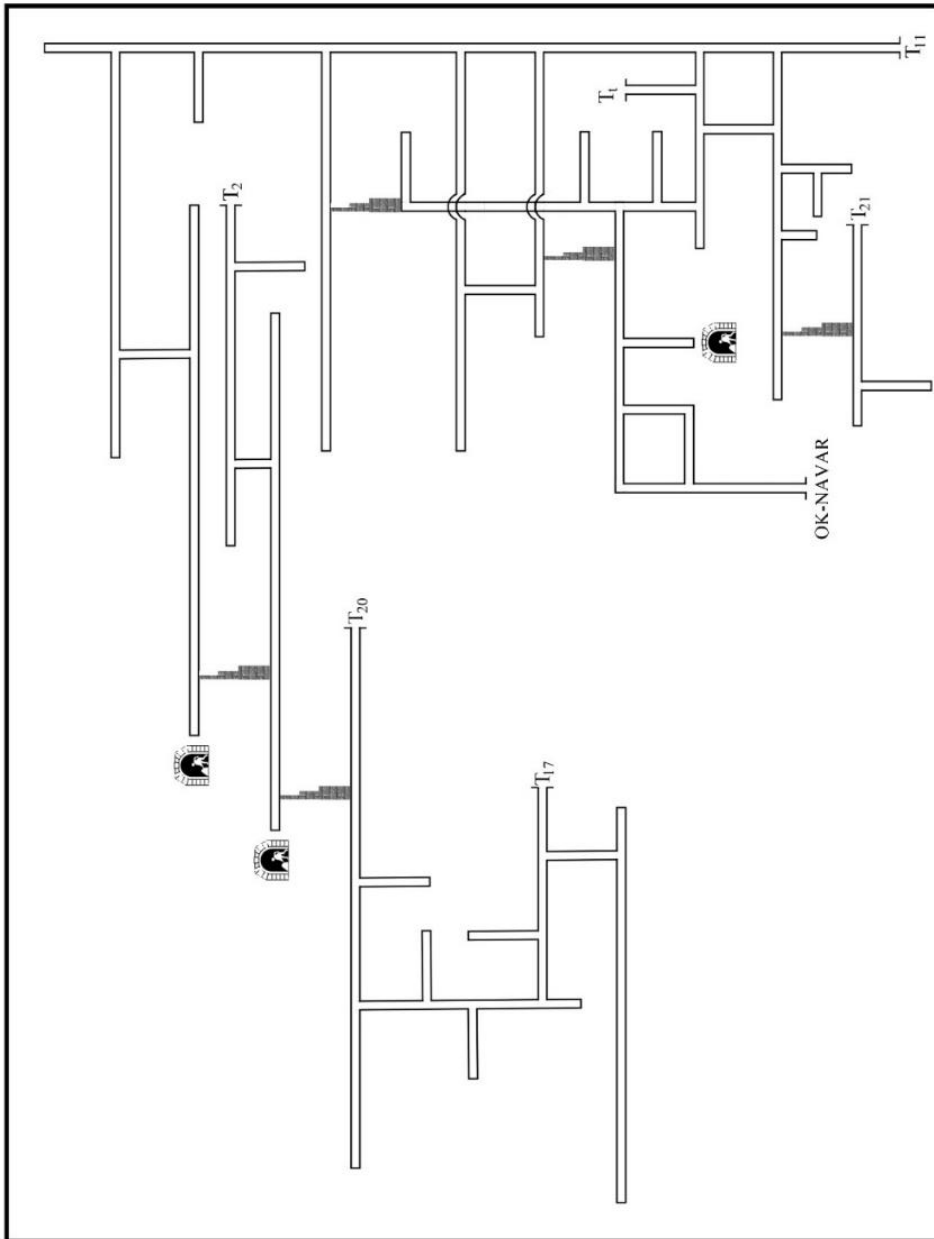
د) افت فشار درهای تنظیم کننده و یا فشار بادبزن‌های تقویت کننده‌ای که برای تعدیل شبکه در شاخه‌ها (در صورت نیاز) نصب شوند.

در این فصل، برای طراحی سیستم تهویه معدن زغال‌سنگ رزمجا غربی از روش‌های تحلیلی (استفاده از روابط ریاضی و مکانیک سیالات) و تجربی (استفاده از تجربه معادن مشابه و قوانین تهویه معدن) استفاده شده است.

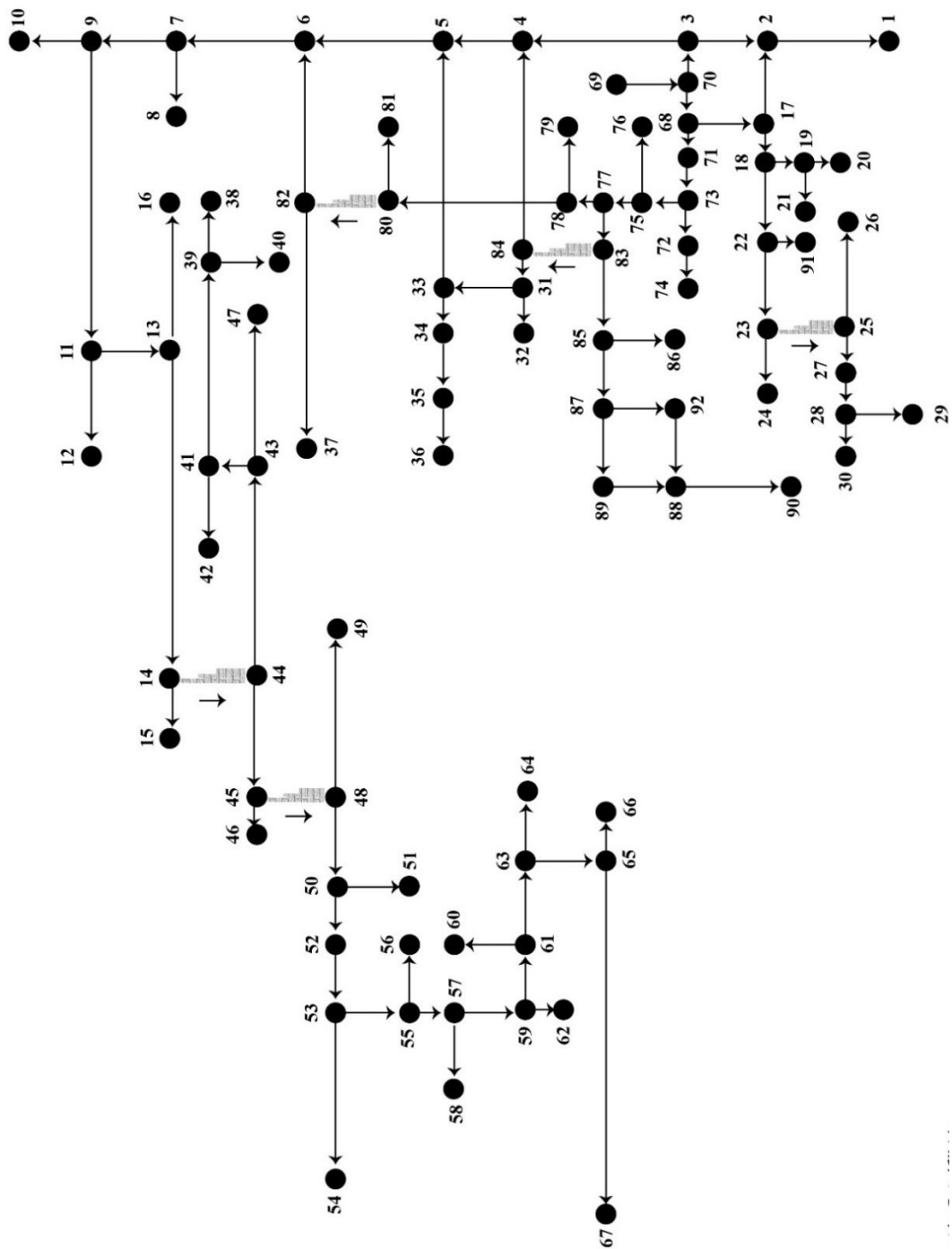
۳-۴- طرح کلی و مشخصات شبکه تهویه معدن رزمجا غربی

اولین گام برای طراحی تهویه معدن رسم نقشه شبکه معدن است. برای این منظور، باید تمام مسیرهای هوا، دوپل‌ها و کارگاه‌های استخراج مورد بازدید قرار گرفته و موقعیت و ارتباط آن‌ها نسبت به یکدیگر مشخص شود. پس از بازدید از معدن رزمجا غربی، طرح کامل معدن که متشکل از سه سطح مجزا است، رسم شده است. نقشه شبکه معدن مطابق شکل (۳-۲) است. با توجه به نقشه شبکه معدن و همچنین مشخصات تقاطع‌ها و سطح مقطع راهروهای معدن، نقشه معدن گره گذاری (به‌گونه‌ای که تمام تقاطع‌ها و محل‌هایی که سطح مقطع تغییر کرده شامل یک گره می‌شود) شده است. نوع سیستم تهویه با توجه به طرح پیشنهادی شرکت البرز شرقی و همچنین با توجه به ویژگی‌های معدن رزمجا

غربی که شامل خروجی‌های زیادی است به صورت دهشی - صودی انتخاب شده است و جهت حرکت هوا در شبکه معدن با توجه به نوع سیستم تهویه بیان شده مشخص شده است (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۲ : نقشه شبکه معدن رزمجا غربی



شکل ۳-۳: نقشه شبکه معدن رزمجا غربی شامل تمام شاخه‌ها و گره‌ها

به منظور افزایش سرعت انجام محاسبات و کاهش خطا می‌توان اقدام به ساده‌سازی شبکه تهویه نمود. برای این منظور، می‌توان تمام مسیرهای بن‌بست، به جز مسیرهای منتهی به جبهه کارهای

۳-۵- محاسبات شبکه تهویه معدن رزمجا غربی

۳-۵-۱- محاسبه مقاومت معدنی هر یک از شاخه‌ها

برای محاسبه مقاومت معدنی هر یک از شاخه‌ها لازم است ابتدا مشخصات هر یک از آن‌ها (طول شاخه بر حسب متر (L)، ضریب اصطکاک (α)، سطح مقطع بر حسب متر مربع (S) و محیط مقطع بر حسب متر (P)) برآورد شده و سپس طبق رابطه‌ی (۳-۱) مقاومت شاخه‌ها بر حسب $\frac{kg s^2}{m^8}$ یا کیلومورگ محاسبه می‌شود. داده‌های مورد نیاز برای این بخش از معدن جمع‌آوری شده است. با توجه به مشخصات هر شاخه مقاومت مربوط به آن محاسبه شده است. نتایج محاسبات صورت گرفته در جدول (۳-۱) نشان داده شده است.

$$R = \alpha \frac{LP}{S^3} \quad (۳-۱)$$

جدول ۳-۱: محاسبه مقاومت، شدت جریان و افت فشار هر یک از کارهای معدنی در شبکه تهویه

ردیف	شاخه	طول شاخه (m)	ضریب زبری	محیط مقطع (m)	مساحت مقطع (m ²)	مقاومت شاخه (K Morg)	شدت جریان (m ³ /s)	افت فشار (mmH ₂ O)
۱	۱-۲	۴۸	۰/۰۰۱۹	۱۲/۱۸	۹/۸	۰/۰۰۱۱۸۰۲	۳/۹۵	۱۸۴×۱۰^{-۴}
۲	۲-۳	۱۹	۰/۰۰۱۹	۱۲/۱۸	۹/۸	۰/۰۰۰۴۶۷۲	۲/۴۵	۲۸×۱۰^{-۴}
۳	۳-۴	۱۱۸	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۹۷۰۵	۳	۸۷۳×۱۰^{-۴}
۴	۴-۵	۲۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۲۲۰۶	۱/۵	۴۹×۱۰^{-۴}
۵	۵-۶	۲۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۲۲۰۶	۵/۹۵	۷۸۶×۱۰^{-۴}
۶	۶-۷	۱۴۴	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۱۱۸۴۳۳	۹/۳۱	۱۰۲۶۵×۱۰^{-۴}
۷	۷-۸	۱۲۱	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۹۹۵۱۷	۹/۳۱	۸۶۲۵×۱۰^{-۴}
۸	۷-۹	۷۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۶۳۳۲۹	۹/۳۱	۵۴۸۹×۱۰^{-۴}

شماره شاخه	طول شاخه (m)	ضریب زبری	محیط مقطع (m)	مساحت مقطع (m ²)	مقاومت شاخه (K Morg)	شدت جریان (m ³ /s)	افت فشار (mmH ₂ O)
۹	۹-۱۰	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۸۷۸۶	۹/۳۱	۲۴۹۵ × ۱۰ ^{-۴}
۱۰	۱۱-۹	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۴۰۲۱۸	۹/۳۱	۳۴۸۵۹ × ۱۰ ^{-۴}
۱۱	۱۱-۱۲	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۳۷۷۵۰۶	۹/۳۱	۳۲۷۲۰ × ۱۰ ^{-۴}
۱۲	۱۱-۱۳	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۶۳۱۹	۹/۳۱	۲۲۸۱ × ۱۰ ^{-۴}
۱۳	۱۳-۱۶	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۳۰۲۸۷	۹/۳۱	۱۹۹۶۰ × ۱۰ ^{-۴}
۱۴	۱۳-۱۴	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۵۳۳۱۶	۹/۳۱	۲۱۹۵۶ × ۱۰ ^{-۴}
۱۵	۱۴-۱۵	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۳۶۱۸۸	۹/۳۱	۳۳۳۶ × ۱۰ ^{-۴}
۱۶	۲-۱۷	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۱۰۲۶	۱/۲۵	۱۶۰ × ۱۰ ^{-۴}
۱۷	۱۷-۱۸	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۳۹۶۷۲	۲/۶۱	۲۷۰ × ۱۰ ^{-۴}
۱۸	۱۷-۶۸	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۷۱۰۷	۳/۸۶	۲۵۴۸ × ۱۰ ^{-۴}
۱۹	۳-۷۰	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۶۳۳۲۹	۵/۴۵	۱۸۸۱ × ۱۰ ^{-۴}
۲۰	۷۰-۶۸	۰/۰۰۱۹	۱۲/۱۸	۹/۸	۰/۰۰۰۴۴۲۶	۱۴/۱۲	۸۸۲ × ۱۰ ^{-۴}
۲۱	۶۸-۷۱	۰/۰۰۱۹	۱۲/۱۸	۹/۸	۰/۰۰۳۴۱۷۷	۱۰/۲۶	۳۵۹۷ × ۱۰ ^{-۴}
۲۲	۷۱-۷۲	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۴۶۷۴	۱۰/۲۶	۲۵۹۷ × ۱۰ ^{-۴}
۲۳	۷۲-۷۳	۰/۰۰۱۹	۱۲/۱۸	۹/۸	۰/۰۰۲۲۸۶۷	۱۰/۲۶	۲۴۰۷ × ۱۰ ^{-۴}
۲۴	۷۳-۷۴	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۵۸۳۹۴	۱۰/۲۶	۶۱۴۷ × ۱۰ ^{-۴}
۲۵	۷۳-۷۵	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۹۶۲۲۷	۱۰/۲۶	۱۰۱۲۹ × ۱۰ ^{-۴}
۲۶	۷۵-۷۶	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۸۰۹۴	۱۰/۲۶	۱۹۰۴۷ × ۱۰ ^{-۴}
۲۷	۷۵-۷۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۰۵۷۵۷	۱۰/۲۶	۶۰۶ × ۱۰ ^{-۴}
۲۸	۷۷-۷۸	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۹۷۳۹	۳/۳۶	۲۲۲ × ۱۰ ^{-۴}
۲۹	۷۸-۷۹	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۹۴۵۸۲	۳/۳۶	۱۰۶۷ × ۱۰ ^{-۴}
۳۰	۷۸-۸۰	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۸۸۸۲۵	۳/۳۶	۱۰۰۲ × ۱۰ ^{-۴}
۳۱	۸۰-۸۱	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۹۷۳۹	۳/۳۶	۲۲۲ × ۱۰ ^{-۴}
۳۲	۸۰-۸۲	۰/۰۰۴۵	۷/۴	۲/۴۳	۰/۲۳۹۰۳۵۶	۳/۳۶	۲۶۹۸۶ × ۱۰ ^{-۴}
۳۳	۷۷-۸۳	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۶۶۶۱۹	۶/۹	۳۱۷۱ × ۱۰ ^{-۴}
۳۴	۸۳-۸۵	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۰۵۲۷۴	۳/۹۵	۱۶۴۲ × ۱۰ ^{-۴}
۳۵	۸۳-۸۴	۰/۰۰۴۵	۷/۴	۲/۴۳	۰/۲۴۳۶۷۷۱	۲/۹۵	۲۱۲۰۵ × ۱۰ ^{-۴}
۳۶	۸۵-۸۶	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۵۶۲۷	۳/۹۵	۲۴۳ × ۱۰ ^{-۴}
۳۷	۸۵-۸۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۸۹۱۶	۳/۹۵	۲۹۵ × ۱۰ ^{-۴}
۳۸	۸۷-۸۹	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۴۹۳۴۷	۲/۴۵	۲۹۶ × ۱۰ ^{-۴}
۳۹	۸۷-۹۲	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۶۴۴۹	۱/۵	۳۷ × ۱۰ ^{-۴}

افت فشار (mmH ₂ O)	شدت جریان (m ³ /s)	مقاومت شاخه (K morg)	مساحت مقطع (m ²)	محیط مقطع (m)	ضریب زبری	طول شاخه (m)	شاخه	ردیف
37 × 10 ^{-۴}	1/5	0.016449	6	9/35	0.0019	20	92-88	40
98 × 10 ^{-۴}	2/45	0.016474	9/8	12/18	0.0019	67	88-89	41
1764 × 10 ^{-۴}	3/95	0.0113105	9/8	12/18	0.0019	460	88-90	42
274 × 10 ^{-۴}	2/61	0.00403	6	9/35	0.0019	49	18-19	43
207 × 10 ^{-۴}	2/61	0.0030431	6	9/35	0.0019	37	19-20	44
2039 × 10 ^{-۴}	2/61	0.0299373	6	9/35	0.0019	364	19-21	45
3382 × 10 ^{-۴}	2/61	0.0496584	5	9	0.0019	363	18-22	46
190 × 10 ^{-۴}	2/61	0.0027963	6	9/35	0.0019	34	22-91	47
2409 × 10 ^{-۴}	2/61	0.0253655	6	9/35	0.0019	430	22-23	48
168 × 10 ^{-۴}	2/61	0.0024674	6	9/35	0.0019	30	23-24	49
816 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0362702	6	9/35	0.0019	441	4-84	50
798 × 10 ^{-۴}	4/45	0.00403	6	9/35	0.0019	49	84-31	51
10586 × 10 ^{-۴}	4/45	0.0534595	6	9/35	0.0019	650	31-32	52
553 × 10 ^{-۴}	4/45	0.0027963	6	9/35	0.0019	34	31-33	53
1677 × 10 ^{-۴}	4/45	0.0084713	6	9/35	0.0019	103	33-34	54
632 × 10 ^{-۴}	4/45	0.0031964	9/8	12/18	0.0019	130	34-35	55
5456 × 10 ^{-۴}	4/45	0.0275522	6	9/35	0.0019	335	35-36	56
8485 × 10 ^{-۴}	4/45	0.0428498	6	9/35	0.0019	521	5-33	57
2729 × 10 ^{-۴}	3/36	0.0430143	6	9/35	0.0019	523	6-82	58
74 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0032898	6	9/35	0.0019	40	38-39	59
162 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0072376	6	9/35	0.0019	88	39-40	60
1069 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0475378	6	9/35	0.0019	578	39-41	61
1349 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0599569	6	9/35	0.0019	729	41-42	62
81 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0036188	6	9/35	0.0019	44	41-43	63
925 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0411227	6	9/35	0.0019	500	43-47	64
669 × 10 ^{-۴}	1/5	0.0297728	6	9/35	0.0019	362	43-44	65
299716 × 10 ^{-۴}	9/31	0.3457894	2/43	7/4	0.0045	149	14-44	66
6070 × 10 ^{-۴}	7/81	0.0099517	6	9/35	0.0019	121	44-45	67
2708 × 10 ^{-۴}	7/81	0.0044413	6	9/35	0.0019	54	45-46	68
154295 × 10 ^{-۴}	7/81	0.25296	2/43	7/4	0.0045	109	45-48	69
6678 × 10 ^{-۴}	4/81	0.0288648	5	9	0.0019	211	49-48	70

شماره شاخه	طول شاخه (m)	ضریب زبری	محیط مقطع (m)	مساحت مقطع (m ²)	مقاومت شاخه (K Morg)	شدت جریان (m ³ /s)	افت فشار (mmH ₂ O)
۷۱	۴۸-۵۰	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۵۶۰۸۸	۳	۵۰۴ × ۱۰ ^{-۴}
۷۲	۵۰-۵۱	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۱۷۷۸۴	۳	۱۶۰ × ۱۰ ^{-۴}
۷۳	۵۰-۵۲	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۳۹۶۸	۳	۹۳۵ × ۱۰ ^{-۴}
۷۴	۵۲-۵۳	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۹۱۶۵۶	۳	۸۲۴ × ۱۰ ^{-۴}
۷۵	۵۳-۵۴	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۱۲۵۸۵۶	۳	۱۱۳۲ × ۱۰ ^{-۴}
۷۶	۵۳-۵۵	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۱۹۱۵۲	۳	۱۷۲ × ۱۰ ^{-۴}
۷۷	۵۵-۵۶	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۷۹۳۴۴	۳	۷۱۴ × ۱۰ ^{-۴}
۷۸	۵۵-۵۷	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۶۲۹۲۸	۳	۵۶۶ × ۱۰ ^{-۴}
۷۹	۵۷-۵۸	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۶۲۹۲۸	۳	۵۶۶ × ۱۰ ^{-۴}
۸۰	۵۷-۵۹	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۳۲۸۳۲	۳	۲۹۵ × ۱۰ ^{-۴}
۸۱	۵۹-۶۱	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۰۶۸۴	۳	۶۱ × ۱۰ ^{-۴}
۸۲	۵۹-۶۲	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۹۶۰۸	۳	۲۶۶ × ۱۰ ^{-۴}
۸۳	۶۱-۶۰	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۹۷۳۹	۳	۱۷۷ × ۱۰ ^{-۴}
۸۴	۶۱-۶۳	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۳۱۱۷۱	۳	۲۸۰۵ × ۱۰ ^{-۴}
۸۵	۶۳-۶۴	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۲۲۲۰۶	۳	۱۹۹ × ۱۰ ^{-۴}
۸۶	۶۳-۶۵	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۶۱۶۸۴	۳	۵۵۵ × ۱۰ ^{-۴}
۸۷	۶۵-۶۶	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۱۵۱۴	۳	۱۰۳ × ۱۰ ^{-۴}
۸۸	۶۵-۶۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۳۳۷۲۰۶	۳	۳۰۳۴ × ۱۰ ^{-۴}
۸۹	۲۶-۲۵	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۱۸۶۰۴۸	۲/۶۱	۱۲۶۷ × ۱۰ ^{-۴}
۹۰	۲۵-۲۳	۰/۰۰۴۵	۷/۴	۲/۴۳	۰/۲۴۱۳۵۶۴	۲/۶۱	۱۶۴۴۱ × ۱۰ ^{-۴}
۹۱	۲۵-۲۷	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۱۱۴۹۱۲	۲/۶۱	۷۸۲ × ۱۰ ^{-۴}
۹۲	۲۷-۲۸	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۳۱۱۹۰۴	۲/۶۱	۲۱۲۴ × ۱۰ ^{-۴}
۹۳	۲۸-۲۹	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۴۷۸۸	۲/۶۱	۳۲۶ × ۱۰ ^{-۴}
۹۴	۲۸-۳۰	۰/۰۰۱۹	۹	۵	۰/۰۰۸۰۷۱۲	۲/۶۱	۵۴۹ × ۱۰ ^{-۴}
۹۵	۶۹-۷۰	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۸۸۸۲۵	۱۹/۵۷	۳۴۰۱۸ × ۱۰ ^{-۴}
۹۶	۸۲-۳۷	۰/۰۰۱۹	۹/۳۵	۶	۰/۰۰۱۸۸۳۴۱۹	۳/۳۶	۲۱۲۶ × ۱۰ ^{-۴}

۳-۶- محاسبه شدت جریان جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی

با توجه به ویژگی‌های معدن رزمجا غربی برای محاسبه‌ی شدت جریان هوای جبهه کارهای آماده‌سازی

از پارامترهای نفرات، گاز خیزی لایه، آتشیاری ماده منفجره و حداقل سرعت هوا و برای جبهه کارهای استخراجی بر اساس پارامترهای تعداد نیروی انسانی، گاز خیزی لایه و حداقل سرعت هوا استفاده می‌شود. لیست جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراج معدن مطابق جدول (۲-۳) است.

با توجه به ویژگی‌های مسیرهای هوا و جبهه کارها، وضعیت هر یک از شاخه‌ها شناسایی شده و برای هر یک از آنها شدت جریان هوا مطابق روابط زیر محاسبه و سپس حداکثر آن به‌عنوان شدت جریان هر شاخه منظور می‌شود (الهی، ۱۳۹۳):

- شدت جریان هوای لازم برای تعداد نیروی انسانی (متر مکعب بر دقیقه)

$$Q_1 = 6N \quad (2-3)$$

- شدت جریان هوای لازم برای جبهه کار آماده‌سازی بر اساس رقیق کردن گاز زغال (متر مکعب بر دقیقه)

$$Q_2 = \frac{100q}{C - C_0} \quad (3-3)$$

$$q = \frac{T \cdot v}{t} \quad (4-3)$$

جدول ۲-۳: لیست جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراج

ردیف	جبهه کار	شرح	جبهه کار	شرح
۱	آماده‌سازی	تونل دنبال لایه K۱۹ غربی (+۲۱۵۲)	استخراج	K۵ غربی، پشرو (از +۲۲۲۰ به +۲۱۵۲)
۲		تونل دنبال لایه K۱۹ غربی (+۲۲۰۰)		K۸ غربی، پیشرو (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)
۳		تونل دنبال لایه K۸ غربی (+۲۰۹۰)		K۱۳ شرقی، پیشرو (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)
۴		-	K۱۹ غربی، پیشرو (از +۲۲۷۶ به +۲۲۰۰)	
۵		-	K۱۹ غربی، پیشرو (از +۲۲۰۰ به +۲۱۵۲)	

- شدت جریان هوای لازم برای کارگاه استخراج بر اساس رقیق کردن گاز زغال (متر مکعب بر دقیقه)

$$Q_3 = \left(\frac{100q}{C - C_0} \right) \times \frac{a}{b} \quad (5-3)$$

N = تعداد نفرات

q = آهنگ تولید و پراکنده شدن گاز در معدن

v = آهنگ پراکنده شدن گاز به ازای متر مکعب بر تن

t = مدت زمان استخراج در شبانه روز بر حسب دقیقه

c₀ = در صد مجاز گاز در راهروی ورودی (معادل ۰/۵)

c = در صد مجاز گاز در راهروی خروجی (معادل ۱)

a = ضریب عدم یک نواختگی گاز خیزی مطابق جدول (۳-۳)

b = ضریب مربوط به روش کنترل کمربالای کارگاه مطابق جدول (۴-۳)

- شدت جریان هوای لازم برای رقیق کردن گازهای حاصل از آتشباری (متر مکعب بر دقیقه)

$$Q_4 = \frac{A}{t} \quad (6-3)$$

A = وزن ماده منفجره در هر نوبت آتشباری بر حسب کیلوگرم

t = مدت زمان مورد نیاز تهویه بر حسب ثانیه

۳-۷- محاسبه ضریب اطمینان برای شدت جریان‌های محاسبه شده

برای شدت جریان هوای عبوری از راهروی منتهی به کارگاه استخراج و همچنین برای جبهه کار آماده‌سازی ضریب اطمینان معادل ۱/۲ در نظر گرفته شده و با توجه به قوانین، شدت جریان هوای هر یک از شاخه‌ها مجدداً تصحیح شده و در نهایت شدت جریان هوای مورد نیاز کل شبکه معدن برآورد می‌شود. نتایج حاصل از محاسبه شدت جریان جبهه کارهای آماده‌سازی و کارگاه استخراج مطابق جداول (۳-۵) تا (۳-۸) است. بر این اساس نتایج حاصل از محاسبه شدت جریان هر شاخه از شبکه در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

جدول ۳-۳: ضریب عدم یکنواختی گاز خیزی (الهی، ۱۳۹۳)

ضریب a	میزان تصاعد گاز (متر مکعب بر دقیقه)
۲/۱۴	۰/۲
۲/۰۲	۰/۴
۱/۸۴	۰/۸
۱/۷۲	۱/۲
۱/۶۵	۱/۶
۱/۶	۲
۱/۴۷	۴
۱/۴۵	۶
۱/۴۴	۸
۱/۴۳	۱۰ ≤

جدول ۳-۴: ضریب مربوط به روش کنترل کمر بالای کارگاه (الهی، ۱۳۹۳)

ضریب b	سنگ کمر بالا	روش نگهداری کمر بالا
۱/۳	ماسه سنگ	تخریب کامل
۱/۲۵	شیست‌های ماسه سنگی	تخریب کامل
۱/۲۵	شیست‌های رسی	تخریب کامل
۱/۱۵	شیست‌های رسی	نشست و تخریب تدریجی
۱/۱	شیست‌های رسی	خاکریزی ناقص
۱/۰۵	شیست‌های رسی	خاکریزی کامل

جدول ۳-۵: مشخصات جبهه کارهای آماده‌سازی

شرح	وزن ماده منفجره (کیلوگرم)	تناژ زغال در شیف	زمان مفید کندن زغال (دقیقه)	سطح مقطع برش (مترمربع)	سطح مقطع مفید (مترمربع)	زمان تهویه (دقیقه)	نفرات در شیف	گاز خیزی (متر مکعب بر تن)
تونل دنبال لایه K۱۹ غربی (+۲۱۵۲)	۶/۲۳۲	۵	۱۲۰	۷	۶	۲۰	۳	۶
تونل دنبال لایه K۸ غربی (+۲۰۹۰)	۶/۲۳۲	۵	۱۲۰	۷	۶	۲۰	۳	۶
تونل دنبال لایه K۱۹ غربی (+۲۲۰۰)	۶/۲۳۲	۵	۱۲۰	۷	۶	۲۰	۳	۶

جدول ۳-۶: شدت جریان مورد نیاز در جبهه کارهای آماده‌سازی

شرح	نفرات (مترمکعب بردقیقه)	گاز خیزی (مترمکعب بردقیقه)	آتشباری (مترمکعب بردقیقه)	حداقل سرعت هوا	حداکثر (مترمکعب بردقیقه)	ضریب اطمینان	نهایی (مترمکعب بر ثانیه)
تونل دنبال لایه K۱۹ غربی (+۲۱۵۲)	۱۸	۵۰	۱۶۱/۵۳	۹۰	۱۶۱/۵۳	۱/۲	۳/۲۳
تونل دنبال لایه K۸ غربی (+۲۰۹۰)	۱۸	۵۰	۱۴۵/۰۱	۹۰	۱۴۵/۰۱	۱/۲	۲/۰۹
تونل دنبال لایه K۱۹ غربی (+۲۲۰۰)	۱۸	۵۰	۲۰۳/۰۹	۹۰	۲۰۳/۰۹	۱/۲	۴/۰۶

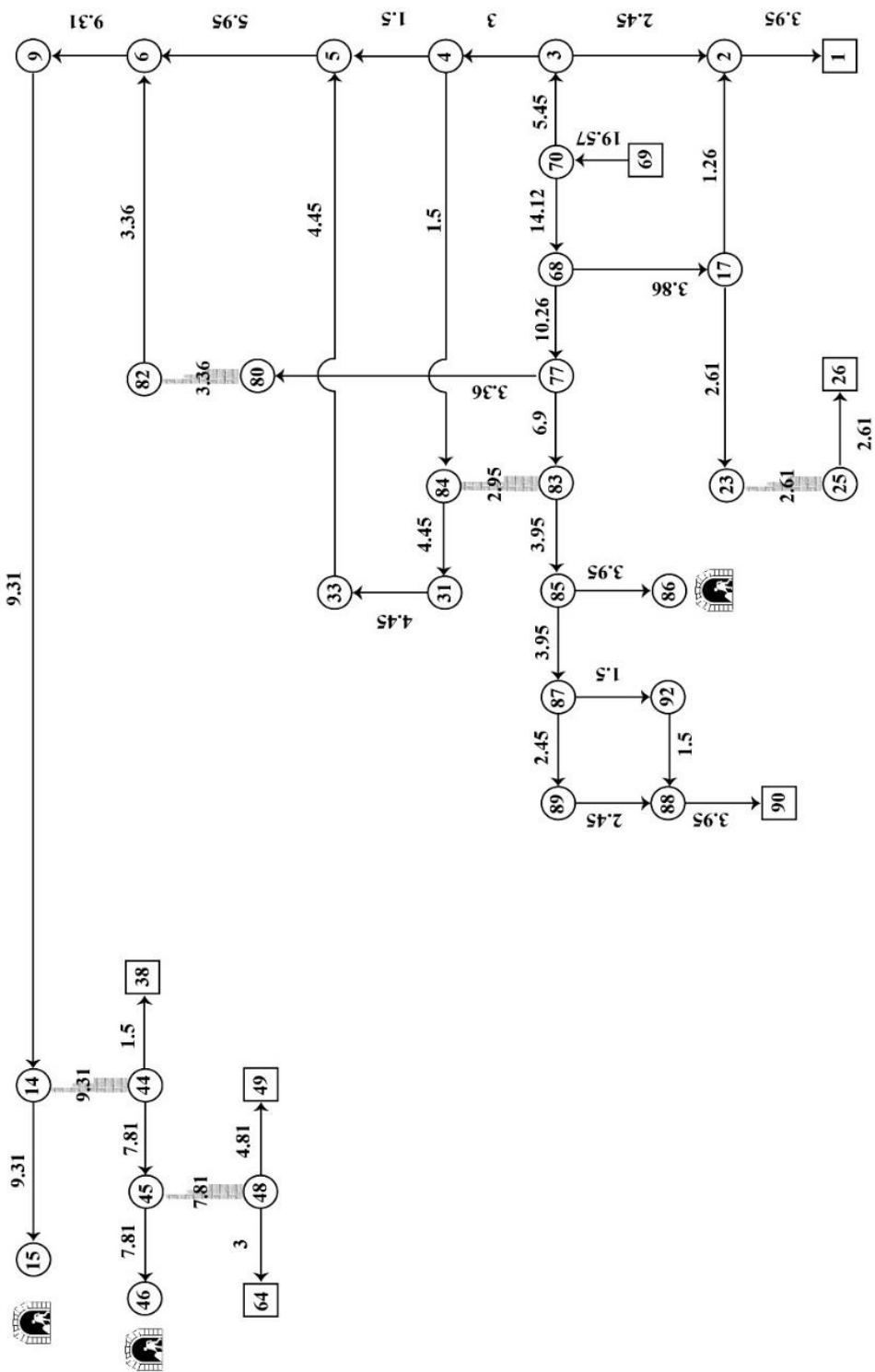
جدول ۳-۷: مشخصات جبهه کارهای استخراج

شرح	گاز خیزی (مترمکعب بردقیقه)	تناژ در شیف	زمان مفید شیف (دقیقه)	ضریب عدم یکنواختگی گاز	ضریب کنترل کمر بالا	نفرات در شیف	سطح مقطع مفید (مترمربع)
K۵ غربی، پشرو (از ۲۲۲۰ به +۲۱۵۲)	۶	۱۸	۳۰۰	۲/۰۸	۱/۱۵	۷	۲/۴۳
K۸ غربی، پیشرو (از ۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۷	۱۸	۳۰۰	۲/۰۲	۱/۱۵	۷	۲/۴۳
K۱۳ شرقی، پیشرو (از ۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۶	۲۵	۳۰۰	۱/۹۳	۱/۱۵	۷	۲/۴۳
K۱۹ غربی، پیشرو (از ۲۲۷۶ به +۲۲۰۰)	۶	۳۰	۳۰۰	۱/۹۳	۱/۱۵	۷	۲/۴۳
K۱۹ غربی، پیشرو (از ۲۲۰۰ به +۲۱۵۲)	۶	۳۰	۳۰۰	۱/۹۳	۱/۱۵	۷	۲/۴۳

جدول ۳-۸: شدت جریان مورد نیاز در جبهه کارهای استخراج

شرح	نفرات (مترمکعب بردقیقه)	گازخیزی (مترمکعب بردقیقه)	حداقل سرعت هوا (مترمکعب بردقیقه)	حداکثر (مترمکعب بردقیقه)	ضریب اطمینان	نهایی (مترمکعب برثانیه)
K۵ غربی، پشرو (از +۲۲۲۰ به +۲۱۵۲)	۴۲	۱۳۰/۲۳	۳۶/۴۵	۱۳۰/۲۳	۱/۲	۲/۶۱
K۸ غربی، پیشرو (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۴۲	۱۴۷/۵۵	۳۶/۴۵	۱۴۷/۵۵	۱/۲	۲/۹۵
K۱۳ شرقی، پیشرو (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۴۲	۱۶۷/۸۳	۳۶/۴۵	۱۶۷/۸۳	۱/۲	۳/۳۶
K۱۹ غربی، پیشرو (از +۲۲۷۶ به +۲۲۰۰)	۴۲	۲۰۱/۳۹	۳۶/۴۵	۲۰۱/۳۹	۱/۲	۴/۰۳
K۱۹ غربی، پیشرو (از +۲۲۰۰ به +۲۱۵۲)	۴۲	۲۰۱/۳۹	۳۶/۴۵	۲۰۱/۳۹	۱/۲	۴/۰۳

روند محاسبه شدت جریان شاخه‌ها در روش دستی به این گونه‌ای است که با توجه به معلوم بودن شدت جریان در برخی نقاط معدن (جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراجی) مقدار شدت جریان در سایر شاخه‌ها و شدت جریان کلی تعیین می‌شود. برای این منظور، شدت جریان اولیه در شاخه‌های با استفاده از مقادیر محاسبه شده در جدول تعیین می‌شود، سپس با توجه به مقادیر محاسبه شده برای جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراجی، شدت جریان سایر شاخه‌ها تغییر می‌کند. در نهایت شدت جریان عبوری از شاخه‌های شبکه معدن باید به گونه‌ای تعیین شود که بتواند مقدار مورد نیاز برای جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراجی را تامین نماید. با توجه به شدت جریان جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراج، شدت جریان هر یک از شاخه‌ها محاسبه شده و نتایج نهایی شدت جریان هوای شبکه مطابق شکل (۳-۵) می‌باشد.



شکل ۳-۵: نحوه توزیع شدت جریان (مترمکعب بر ثانیه)

۳-۹- تعدیل شبکه و انتخاب دریچه یا بادبزن مناسب

شرط اصلی تعدیل افق فشار در شبکه به روش دستی، مشخص بودن جهت و مقدار شدت جریان هوا در هریک از شاخه‌های شبکه است. ابتدا لازم است در هر گره از شبکه شدت جریان ورودی و خروجی آن یکسان باشد و سپس این روش می‌تواند در دو مدل حلقه‌ای و مسیر بحرانی مورد تفسیر قرار گیرد. در این فصل برای تعدیل شبکه از روش دستی استفاده شده است. برای تفسیر این شبکه از قانون افت فشار حلقه استفاده شده و بر اساس رابطه (۳-۷) مقدار آن در هر حلقه باید صفر باشد. بر این اساس جهت انتخاب دریچه یا بادبزن مناسب مقدار محاسبه شده با مقدار صفر مقایسه می‌شود که نتایج به شرح زیر می‌باشد (الهی، ۱۳۹۳):

$$\sum_{i=1}^{i=n} \Delta P_i = \sum_{i=1}^{i=n} R_i Q_i^2 \quad (۳-۷)$$

الف- اگر افت فشار محاسبه شده مثبت باشد ($\sum \pm P\Delta_i > 0$)، در این صورت در شاخه منفی دریچه و یا در شاخه مثبت بادبزن انتخاب می‌شود.

ب- اگر افت فشار محاسبه شده صفر باشد ($\sum \pm P\Delta_i = 0$)، در این صورت در همه شاخه‌های حلقه نیازی به دریچه یا بادبزن نیست.

ج- اگر افت فشار محاسبه شده منفی باشد ($\sum \pm P\Delta_i < 0$)، در این صورت در شاخه مثبت دریچه و در شاخه منفی بادبزن انتخاب می‌شود.

شاخه مثبت، شاخه‌ای است که جهت جریان هوا در شاخه با جهت حلقه یکی باشد. در غیر این صورت شاخه منفی نامیده می‌شود. تعداد حلقه‌های مفید شبکه ۱۱ حلقه بوده که مسیرهای هر حلقه در جدول (۳-۹) آورده شده است.

جدول ۳-۹: مسیر حلقه‌های مفید تشکیل شده در شبکه معدن

مسیر	شرح
۱	۴۹-۶۴-۴۸-۴۹
۲	۳۸-۴۴-۴۵-۴۸-۴۹-۳۸
۳	۸۷-۹۲-۸۸-۸۹-۸۷
۴	۵-۴-۸۴-۳۱-۳۳-۵
۵	۴-۳-۷۰-۶۸-۷۷-۸۳-۸۴-۴
۶	۳-۲-۱۷-۶۸-۷۰-۳
۷	۶-۵-۴-۳-۷۰-۶۸-۷۷-۸۰-۸۲-۶
۸	۹۰-۳۸-۴۴-۱۴-۹-۶-۸۲-۸۰-۷۷-۸۳-۸۵-۸۷-۸۹-۸۸-۹۰
۹	۶۹-۹۰-۸۸-۹۲-۸۷-۸۵-۸۳-۷۷-۶۸-۷۰-۶۹
۱۰	۱-۶۹-۷۰-۳-۲-۱
۱۱	۱-۲۶-۲۵-۲۳-۱۷-۲-۱

در مدل حلقه‌ای روش دستی می‌توان شبکه را در مدل‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. برای

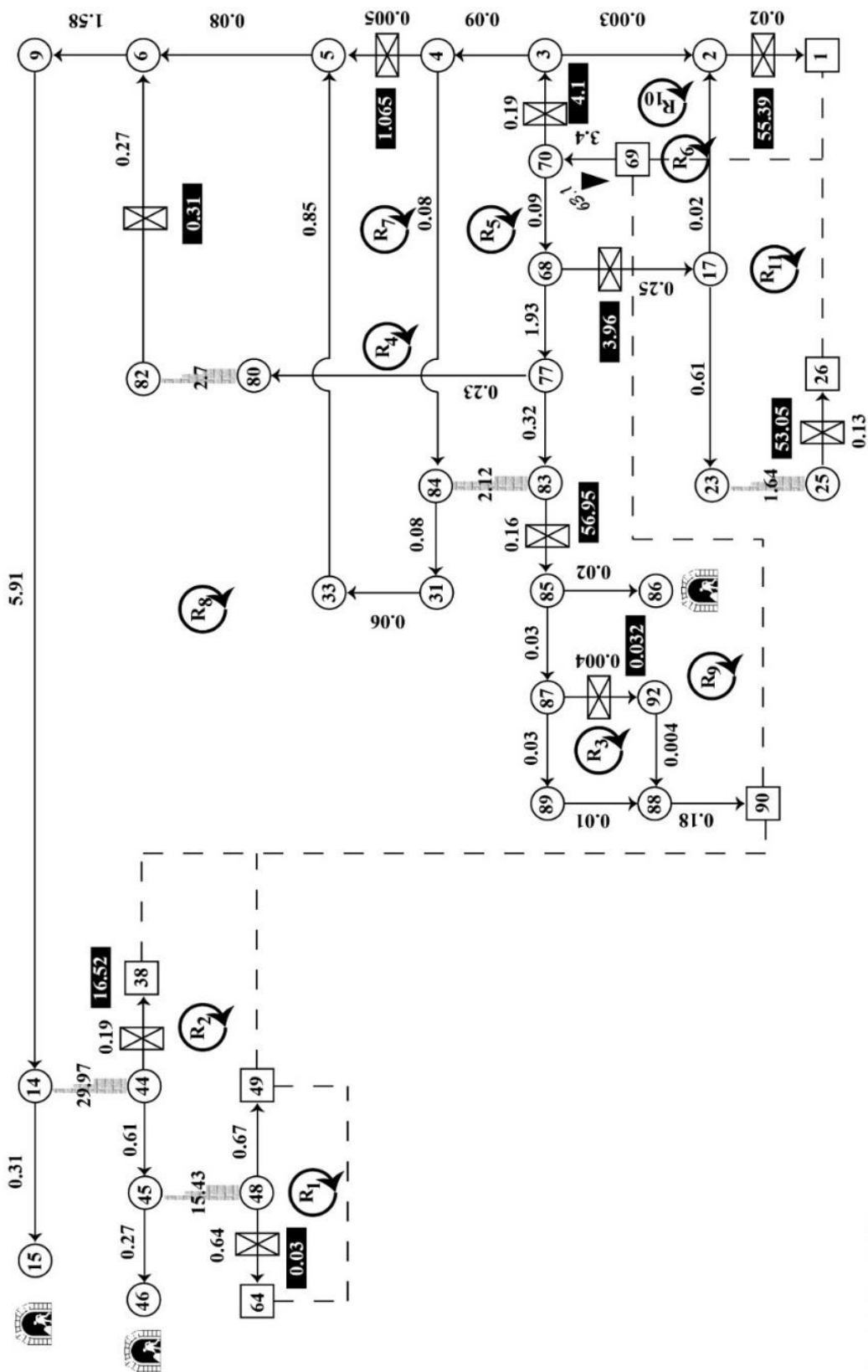
شبکه این معدن، تعدیل به دو حالت صورت گرفته است:

الف) تعدیل شبکه با یک بادبزنی اصلی

در این حالت، برای تعدیل شبکه از یک بادبزنی اصلی در کانال تهویه استفاده شده و سایر حلقه‌ها به‌وسیله دریچه‌های تنظیم‌کننده تعدیل شده‌اند. موقعیت و فشار (میلیمتر آب) بادبزنی و دریچه‌های قرار گرفته مطابق شکل (۳-۷) است.

ب) تعدیل شبکه با یک بادبزنی اصلی و یک بادبزنی کمکی

در این حالت، برای تعدیل شبکه از دو بادبزنی استفاده شده است، یکی در کانال تهویه و بادبزنی دوم در یکی از شاخه‌های شبکه (شاخه ۶-۹) قرار گرفته است. سایر حلقه‌ها به‌وسیله دریچه‌های تنظیم‌کننده تعدیل شده‌اند. موقعیت و فشار (میلیمتر آب) بادبزنی‌ها و دریچه‌های قرار گرفته مطابق شکل (۳-۸) است.



شکل ۳-۷: موقعیت دریچه‌ها یا بادبزن‌های مناسب شبکه تهویه معدن رزمجا غربی (الف)

۳-۹-۱- محاسبه مخارج تهویه

یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی تهویه، محاسبه مخارج آن است زیرا در بسیاری از معادن، مخارج مربوط به تهویه درصد مهمی از هزینه استخراج محصول را در بر می‌گیرد. هزینه سالیانه نیروی الکتریکی که به مصرف بادبزن اصلی می‌رسد را می‌توان از رابطه (۳-۸) به دست آورد (Skochinsky and Komarov, 1969):

$$N = \frac{\frac{Q}{2}(P_{\max} + P_{\min})tT}{102 \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5} \quad (۳-۸)$$

در این رابطه:

Q = شدت جریان بادبزن بر حسب متر مکعب در ثانیه

P_{\max} = فشار بیشینه حاصل از بادبزن بر حسب میلیمتر آب

P_{\min} = فشار کمینه حاصل از بادبزن بر حسب میلیمتر آب

η_1 = بازده متوسط بادبزن

η_2 = بازده موتور که مقدار آن ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ است

η_3 = بازده انتقال نیروی برق که مقدار آن ۰/۹ تا ۰/۹۵ است

η_4 = راندمان تنظیم بادبزن که مقدار متوسط آن ۰/۸ است

η_5 = بازده نیروگاه که مقدار متوسط آن ۰/۹۵ است

$t =$ تعداد ساعت کار بادبزن در روز

$T =$ تعداد روزهای کاری در سال

$N =$ مصرف برق سالیانه بر حسب کیلووات

با توجه به رابطه بیان شده مخارج تهویه برای حالت "الف" و "ب" محاسبه شده است، که مقادیر آن به شرح زیر است:

$189092 \text{ Kw} =$ مصرف برق سالیانه برای حالت "الف"

$205796 \text{ Kw} =$ مصرف برق سالیانه برای حالت "ب"

در طراحی‌های تهویه به‌گونه‌ای عمل می‌شود که مناسب‌ترین حالت از نظر تعداد و محل قرارگیری بادبزن‌ها در نظر گرفته شود و همچنین بادبزن‌های فرعی مورد استفاده در معدن نیابد از بادبزن اصلی معدن بزرگ‌تر باشد (مدنی، ۱۳۸۱). در حالت "ب" بادبزن قرار گرفته در شاخه ۹-۱۴ فشار بسیار بیشتری از بادبزن اصلی موجود در کانال تهویه تولید می‌کند و در واقع از بادبزن اصلی معدن بزرگ‌تر است، که مخالف مقررات تهویه محسوب می‌شود. از این جهت از میان دو حالت بررسی شده، مناسب‌ترین حالت، حالت "الف" است زیرا در این حالت از یک بادبزن برای تهویه معدن استفاده شده است و همچنین مصرف برق سالیانه برای حالت "الف" کمتر است. بنابراین، سایر محاسبات برای دریچه‌های تنظیم‌کننده و مشخصات بادبزن برای حالت "الف" بررسی شده است.

۳-۱۰- مشخصات دریچه‌ها

در انتخاب دریچه نیاز به محاسبه ابعاد دریچه است که به شرح زیر محاسبه می‌شود (الهی، ۱۳۹۱):

الف) اگر نسبت $\frac{s}{S} \leq 0.5$

$$s = \frac{S}{0.65 + 2.63S\sqrt{r}} \quad (9-3)$$

ب) اگر نسبت $\frac{s}{S} > 0.5$

$$s = \frac{S}{1 + 2.38S\sqrt{r}} \quad (10-3)$$

s = سطح مقطع دریچه (متر مربع)

S = سطح مقطع شاخه (متر مربع)

r = مقاومت دریچه (کیلومورگ)

با توجه به مطالب فوق، مشخصات دریچه‌های مورد نیاز برای تهویه معدن رزمجا غربی مطابق

جدول (۱۰-۳) است.

جدول ۱۰-۳: مشخصات دریچه‌های مورد نیاز برای تهویه معدن رزمجا غربی

ردیف	افت فشار دریچه (میلیمتر آب)	شدت جریان (متر مکعب در ثانیه)	مقاومت دریچه (کیلومورگ)	سطح مقطع حفاری (متر مربع)	سطح مقطع دریچه (متر مربع)	ابعاد مربع (سانتی متر)
۱	۴۸-۶۴	۰/۰۳	۳	۰/۰۳	۶	۱۱۵/۴۹
۲	۴۴-۳۸	۱/۵	۷/۳۴	۰/۱۴	۶	۳۷/۱۸
۳	۸۷-۹۲	۱/۵	۰/۱۴	۰/۳۲	۶	۱۴۹/۳۶
۴	۴-۵	۱/۵	۰/۴۷	۰/۵۱	۶	۷۱/۱۸
۵	۳-۷۰	۵/۴۵	۰/۱۴	۱/۰۱	۹/۸	۱۰۰/۷
۶	۶۸-۱۷	۳/۸۶	۰/۲۷	۰/۷۲	۶	۸۴/۶۹
۷	۸۲-۶	۳/۳۶	۰/۲۷	۱/۷۹	۶	۱۳۳/۸۹
۸	۸۵-۸۳	۳/۹۵	۳/۶۵	۰/۱۹	۶	۴۴/۱۴
۹	۱-۲	۳/۹۵	۳/۵۵	۰/۱۹	۹/۸	۴۴/۶۲
۱۰	۲۵-۲۶	۲/۶۱	۷/۷۸	۰/۱۳	۵	۳۶/۵۹

۳-۱۱- انتخاب بادبزن اصلی شبکه

برای انتخاب بادبزن باید شدت جریان (Q_i) و افت فشار کلی (ΔP_i) معدن را در دست داشت. بادبزنی که برای معدن در نظر گرفته می‌شود باید قادر باشد که در تمام مدت عمر معدن یا حداقل برای زمان قابل توجهی از عمر آن، هوای لازم را تأمین کند. علاوه بر آن باید از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. با معلوم بودن Q_i و ΔP_i در حقیقت نقطه عملکرد معدن معلوم است و باید این نقطه را روی منحنی مشخصه بادبزن مورد نظر پیاده کرد. در صورتی که این نقطه در اطراف نقطه حداکثر منحنی تغییرات راندمان بادبزن باشد، از نظر فنی بادبزن برای معدن مناسب خواهد بود. از آنجا که انواع متعددی از بادبزن‌ها را می‌توان یافت که دارای چنین خصوصیتی باشند، بنابراین مسئله آن است که از میان انواع مختلف، کدام یک را انتخاب کنیم که از نظر اقتصادی نیز مناسب باشد.

نکته‌ای مهمی که باید به آن توجه داشت آن است که مشخصات معدن از نظر تهویه ثابت نیست و دائماً در حال تغییر است و همواره تعدادی کار معدنی جدید به یک شبکه تهویه معدن اضافه شده و در عین حال تعدادی از آن‌ها از مدار خارج می‌شوند. نتیجه این تغییرات، تغییر مقاومت معدن، مقدار هوای لازم، اختلاف فشار لازم و در نتیجه، تغییر نقطه عملکرد آن است. از آنجا که عمر مفید بادبزن‌ها ۱۵ تا ۲۰ سال است (Hartman, 1997)، بنابراین بادبزنی که برای معدن انتخاب می‌شود باید به گونه‌ای باشد که در طول عمر خود (با توجه به تغییر نقطه عملکرد معدن) بتواند در راندمان قابل قبولی کار کنند.

۳-۱۱-۱- تعیین مشخصات بادبزن

بادبزن اصلی بر اساس نقطه نظر ایمنی و مسئله اقتصادی انتخاب می‌شود. بر این اساس موارد

ذیل باید در انتخاب بادبزن اصلی شبکه منظور شود (الهی، ۱۳۹۱).

الف - تعیین قطر تقریبی بادبزن

$$D = \sqrt{\frac{A_t}{0.44}} \quad (11-3)$$

$$A_t = 0.38 \frac{Q_t}{\sqrt{\Delta P}} \quad (12-3)$$

A_t = دهانه معدل معدن (متر مربع)

D = قطر تقریبی بادبزن (متر)

ب - مقاومت تأسیسات داخلی بادبزن

$$R_f = \alpha \frac{\pi}{D^2} \quad (13-3)$$

α : ضریبی است که برای بادبزن محوری با منحنی مشخصه زینی شکل معادل ۰/۰۵ و برای بادبزن با منحنی مشخصه صاف معادل ۰/۰۲ تا ۰/۰۳ است.

ج - افت فشار کلی شبکه تهویه معدن

$$\Delta P_t = (kR_t + R_f) Q_t^2 \quad (14-3)$$

K = ضریب نشت

د - نحوه انتخاب بادبزن: بسیاری از کارخانه‌های سازنده بادبزن جدول‌ها یا منحنی‌هایی تهیه کرده و در آن عملکرد مناسب هر یک از بادبزن‌های خود را مشخص کرده‌اند، با در دست داشتن این جدول‌ها و یا منحنی‌ها، به آسانی می‌توان بادبزن‌های مناسب را از شرکت‌های مختلف انتخاب و آن‌ها را با هم مقایسه کرد و مناسب‌ترین را برگزید.

حال با توجه به مقادیر P_{fan} و Q_{fan} نقطه نظیر را در روی منحنی مشخصه تعیین می‌نماییم. بادبزن که بدین ترتیب انتخاب می‌شود، باید دارای شرایط زیر باشد (Skochinsky, 1969):

الف - راندمان آن نباید از $0/6$ کمتر باشد.

ب - میزان هوایی که بادبزن تولید می‌کند باید حدود 20 درصد بیشتر از هوای محاسبه شده باشد. برای اینکه در مورد تهویه معادنی که دارای دهانه معادل کوچک‌اند اشکال پیش نیاید، فشار هوای تولید شده به وسیله بادبزن نباید از $0/9 P_{Max}$ تجاوز کند که در آن P_{Max} ارتفاع نظیر نقطه حداکثر منحنی مشخصه بادبزن است.

۳-۱۱-۲- انتخاب بادبزن

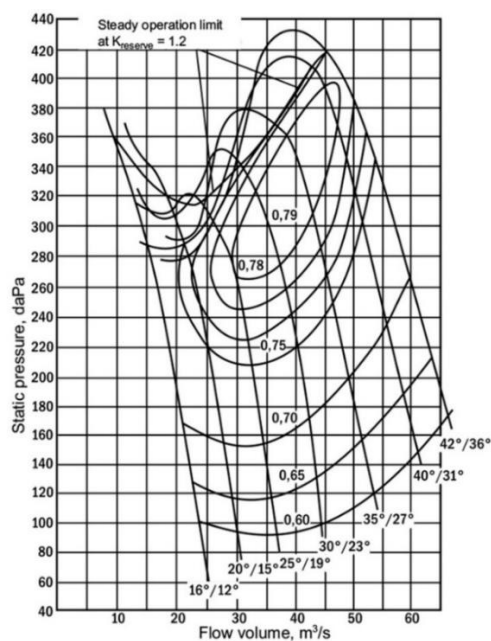
قبل از انتخاب قطعی بادبزن، معمولاً تعدادی بادبزن را که از نقطه نظر فنی برای معدن مناسب است در نظر می‌گیرند و سپس با مقایسه ویژگی‌های آن‌ها، مناسب‌ترین را انتخاب می‌کنند. انتخاب بادبزن از نقطه نظر فنی معمولاً با استفاده از جدول مشخصات بادبزن‌ها، منحنی مشخصه و یا به کمک نمودارهای مخصوص صورت می‌گیرد.

با توجه به محاسبات انجام شده قطر تقریبی بادبزن برای این معدن معادل $1/459$ متر و مقاومت تأسیسات داخلی بادبزن $0/074$ کیلومورگ محاسبه شده است. بادبزن باید شدت جریان $19/57$ متر مکعب بر ثانیه و فشار $81/65$ میلی‌متر آب را برای این معدن تأمین نماید. با توجه به مشخصات بادبزن‌های روسی متداول در معادن زغال‌سنگ ایران و از طرفی به دلیل اینکه ممکن است در آینده چندین کارگاه به‌طور هم‌زمان در حال فعالیت باشند، برای تأمین هوا در میان 8 بادبزن که مشخصات آن‌ها مطابق جدول (۳-۱۱) است، با توجه به جدول مشخصات این بادبزن‌ها و همچنین با توجه منحنی مشخصه هر بادبزن در حال حاضر بادبزن محوری مدل VOD-16 با زاویه پره 16 درجه (با توجه به منحنی مشخصه

بادبزن) برای این معدن مناسب است (شکل ۳-۹). در این حالت، نقطه شدت جریان و افت فشار کل معدن در اطراف نقطه حداکثر منحنی مربوط به زاویه ۱۶ درجه قرار گرفته و همچنین مقدار پیش‌بینی شده برای قطر و مقاومت تأسیسات داخلی بادبزن، همخوانی قابل قبولی با بادبزن معرفی شده دارد. مشخصات بادبزن انتخاب شده (VOD-16) برای تهویه معدن رزمجا غربی مطابق جدول (۳-۱۲) است. این بادبزن در برخی معادن کشور استفاده شده و در داخل ایران قابل تأمین است.

جدول ۳-۱۱ : مشخصات بادبزن‌های اصلی مدل محوری ساخت کشور روسیه (الهی، ۱۳۹۳)

شرح	قطر (m)	سرعت (RPM)	شدت جریان (m ³ /min)	فشار (mmH ₂ O)
VOD-21	۲/۱	۷۵۰	۲۰-۱۱۰	۰/۸-۳/۴
VOD-16	۱/۶	۱۰۰۰	۱۲-۶۷	۰/۹-۴/۳
VOK-1	۱	۱۴۶۰	۵-۲۰	۰/۶-۱/۵
VT-11M	۱/۱	۹۷۰-۱۴۶۰	۵/۵-۲۰/۵	۱/۱۳-۳/۸
VSHT-16	۱/۶	۷۳۰-۹۸۰	۱۲-۴۳	۱/۱-۱/۳۸
Arex	۲/۶۹	۶۵۱	۱۰۸/۵۵	۱
VTD-32	۳/۲	۳۰۰-۶۰۰	۳۵-۳۰۵	۰/۵-۵/۱
VT-32M	۳/۲	۵۰۰-۶۰۰	۴۶-۱۶۶	۱/۸۵-۵/۱



شکل ۳-۹: منحنی مشخصه بادبزن VOD-16 (Alexandrovich, 2010)

جدول ۳-۱۲: مشخصات بادبزن انتخاب شده برای تهویه معدن رزمجا غربی (Alexandrovich, 2010)

نوع بادبزن	شرت جریان (m ³ /s)	فشار (mmH ₂ O)	سرعت (RPM)	قطر (m)	توان مصرفی (Kw)	راندمان (درصد)
VOD-16	۱۲-۶۷	۹۲-۴۳۸	۱۰۰۰	۱/۶	۴۰-۲۷۰	۷۷-۷۹

۳-۱۲- جمع بندی

با توجه به نقشه شبکه معدن و اطلاعات فوق، شدت جریان کلی شبکه معدن معادل ۱۹/۵۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است که نحوه توزیع شدت جریان مطابق شکل (۳-۵) است. همچنین با توجه به نقشه شبکه معدن و مشخصات شاخه‌های معدنی، مقاومت نهایی شبکه معدن معادل ۰/۱۶ کیلومورگ محاسبه شده است. دهانه معادل معدن برابر ۰/۹۳۶۲ متر مربع و قطر تقریبی بادبزن معادل ۱/۴۵۹ متر برآورد شده است. با توجه به انتخاب بادبزن محوری و منحنی مشخصه زینی شکل آن، مقاومت تأسیسات داخلی بادبزن معادل ۰/۰۷۴ کیلومورگ و با در نظر گرفتن ضریب نشت ۱۵ درصد،

افت فشار کلی شبکه تهویه معدن معادل ۸۱/۶۵ میلیمتر آب برآورد می‌شود. بادبزن انتخابی برای تهویه معدن رزمجا غربی VOD-16 با زاویه پره ۱۶ درجه است.

فصل ۴: شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم تهویه معدن رزمجا غربی

۴-۱- مقدمه

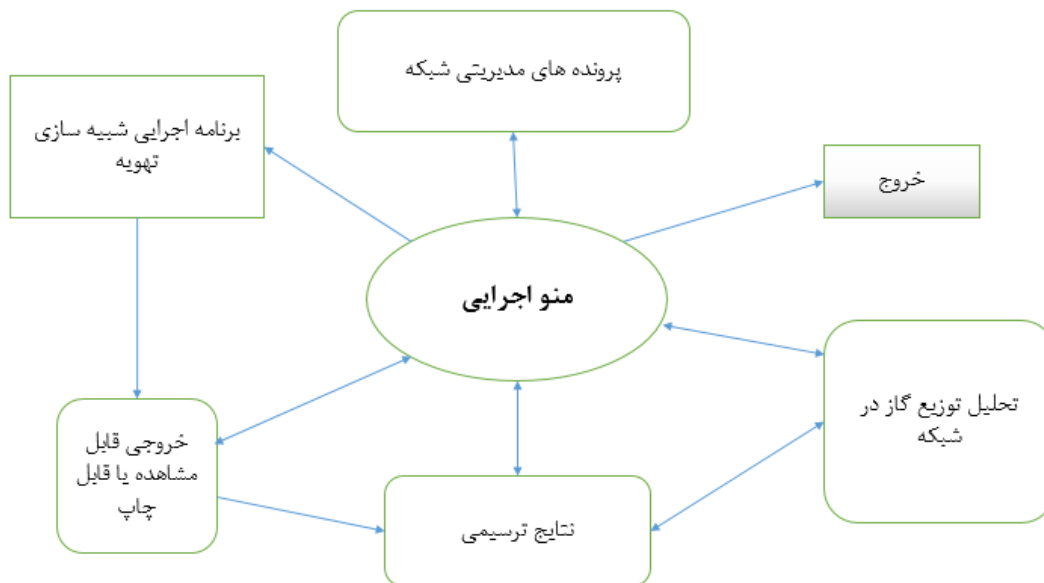
شبکه‌های تهویه معادن اغلب پیچیده‌اند و به‌ندرت می‌توان آن‌ها را به روش تحلیلی، بررسی کرد و همچنین در اکثر موارد برای تحلیل شبکه‌ها باید از روش‌های تقریبی کمک گرفت. این روش‌ها، مستلزم تکرار محاسبات زیاد و در نتیجه بسیار وقت‌گیرند و احتمال اشتباه در محاسبات دستی نیز دور از انتظار نیست. بنابراین در عمل، برای تحلیل شبکه‌های واقعی معادن، راهی به‌جز استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری باقی نمی‌ماند.

در این فصل شبکه تهویه معدن رزمجا غربی با استفاده از نرم‌افزار Ventsim شبیه‌سازی شده و نحوه توزیع شدت جریان در شبکه معدن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سپس نتایج به‌دست آمده در این بخش با نتایج طراحی دستی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است.

۴-۲- ساختار سیستم عملکرد نرم‌افزارهای تهویه

سیستم تهویه معادن مرکب از چند زیر سیستم، مانند بادبزن‌ها، شاخه‌ها، حلقه‌ها و ... است که به یکدیگر وابسته‌اند و رفتار هر یک از این سیستم‌ها بر دیگران تأثیر می‌گذارد. واضح است که تحلیل سیستم کلی، باید با توجه به تمام زیر سیستم‌ها انجام گیرد. در شکل (۴-۱)، ساختار سیستم عملکرد یک نرم‌افزار تهویه نشان داده شده است.

یکی از نکات مهم در مورد سیستم تهویه معادن آن است که هم‌زمان با پیشروی حفاریات معدنی و احداث کارگاه‌های جدید، سیستم تهویه نیز باید متناسب با وضعیت موجود تغییر و اصلاح شود. سیستم تهویه قدیمی معدن، در واقع زیر سیستمی از شبکه جدید محسوب می‌شود و این در حالی است که سیستم تهویه اصلاح شده، خود زیر سیستمی از شبکه تهویه نهایی معدن است. اهمیت



شکل ۴-۱: ساختار سیستم عملکرد یک نرم افزار تحلیل شبکه تهویه (Mc Pherson, 1993)

این مطلب در این است که به هنگام طرح شبکه معدن، باید نگاهی به وضعیت دراز مدت معدن داشت، بنابراین شبکه تهویه معدن و به ویژه شبکه های کامپیوتری، باید از شبکه نهایی معدن مشتق شوند. یک نرم افزار شبیه سازی تهویه شامل چندین پرونده ورود داده ها است که کاربر می تواند به کمک صفحه کلید و صفحه نمایش با آن ارتباط برقرار کند. در پرونده های ورودی، داده هایی از قبیل ساختار هندسی شبکه، مشخصات شاخه ها و مواردی مشابه آن درج شده است. این داده ها ممکن است به وسیله کاربر به کامپیوتر وارد یا توسط کامپیوتر محاسبه شود (مدنی، ۱۳۸۱).

یکی دیگر از پرونده های موجود در نرم افزارهای تهویه، پرونده بادبزن یا بادبزن ها است که در آن اطلاعات مربوط به بادبزن ها به صورت معادله منحنی مشخصه درج می شود. داده های این پرونده معمولاً به صورت مختصات P و Q نقاطی از منحنی مشخصه بادبزن است.

بخش اصلی نرم افزار تهویه، برنامه انتخاب حلقه و روش محاسبه (معمولاً روش هاردی-کراس^۱)

^۱ Hardy-cross

است. پس از تکمیل پرونده‌های اطلاعاتی، این داده‌ها به صورت ورودی برنامه اصلی، وارد و محاسبات آغاز می‌شود. پس از انجام محاسبات، نتایج در پرونده خروجی ثبت می‌شود که می‌توان آن را به صورت جداولی در صفحه نمایش مشاهده کرد. در برخی نرم‌افزارها امکانات ترسیمی نیز وجود دارد که به این منظور یک پرونده گرافیکی حاوی مختصات گره‌های شبکه پیش‌بینی شده است (مدنی، ۱۳۸۲).

۴-۲-۱- مبانی روش هاردی کراس

برای تعیین مجهولات شبکه تهویه می‌توان مجموعه معادلاتی را به شرح زیر نوشت (مدنی، ۱۳۸۱):

الف- در مورد هر یک از شاخه‌ها رابطه زیر صادق است:

$$\Delta P_i = R_i Q_i^2 \quad (۱-۴)$$

که در آن ΔP_i افت فشار شاخه، R_i مقاومت شاخه و Q_i شدت جریان عبوری از شاخه است.

ب- در مورد هر گره رابطه زیر را می‌توان نوشت:

$$\sum Q_i = 0 \quad (۲-۴)$$

ج- سرانجام در مورد حلقه‌ها رابطه زیر وجود دارد:

$$\sum R_i Q_i^2 = 0 \quad (۳-۴)$$

حداقل تعداد حلقه‌های لازم برای تعدیل شبکه از رابطه (۴-۴) به دست می‌آید:

$$n = n_b - n_n + 1 \quad (۴-۴)$$

که در آن n حداقل تعداد حلقه‌ها، n_b تعداد شاخه‌ها و n_n تعداد گره‌ها است. حلقه‌ها را باید

به گونه‌ای انتخاب کرد که هر یک از شاخه‌های شبکه حداقل در یک حلقه شرکت داشته باشد. مجموعه معادلات (۴-۱) تا (۴-۳) سیستم معادلات تحلیل شبکه‌ها را تشکیل می‌دهند که در حالت کلی حل آن‌ها با روش‌های معمولی امکان‌پذیر نیست و باید از روش‌های تقریبی از جمله روش هاردی کراس کمک گرفت (Cross, 1936). روش هاردی کراس یکی از متداول‌ترین روش‌های تقریبی و زیربنای بسیاری از برنامه‌های کامپیوتری است. این روش دو زیر روش تعدیل شدت جریان و تعدیل فشار داشته و آنچه در عمل به کار می‌رود، معمولاً زیر روش اول است.

روش هاردی کراس یک روش حل تکراری است و طی آن روابط به دفعات حل می‌شوند و این تکرار آن قدر ادامه می‌یابد تا خطا به حد ناچیزی برسد. در این روش فرض می‌شود که هر یک از حلقه‌ها تنها تابع یک متغیرند. رابطه عمومی روش به صورت زیر است (مدنی، ۱۳۸۱):

$$\Delta Q = -\frac{\sum \Delta P}{2 \sum RQ} \quad (۵-۴)$$

که در آن $\sum \Delta P$ جمع جبری افت فشار شاخه‌های حلقه است. افت فشار شاخه‌هایی که حرکت هوا در آن‌ها در جهت مثبت حلقه است مثبت و افت فشار شاخه‌های با جهت عکس، منفی در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه $\sum RQ$ مجموع حاصل ضرب مقاومت در شدت جریان شاخه‌ها بدون در نظر گرفتن جهت مثبت یا منفی حرکت هوا در آن‌ها است. این رابطه در مورد حلقه‌های حاوی بادبزن به صورت رابطه (۴-۶) خواهد بود.

$$\Delta Q = -\frac{\sum \Delta P}{2 \sum RQ - S} \quad (۶-۴)$$

که در آن S شیب منحنی مشخصه بادبزن در حوالی نقطه عملکرد است که ممکن است مثبت یا منفی باشد.

۴-۲-۲- حل مسائل با روش هاردی کراس

مراحل تحلیل شبکه‌ها با استفاده از روش هاردی کراس عبارت است از (مدنی، ۱۳۸۱):

الف- برای شدت جریان شاخه‌ها مقادیر فرضی به‌گونه‌ای در نظر می‌گیریم که جمع جبری شدت جریان گره‌ها صفر شود. هر چه حدس اولیه به واقعیت نزدیک‌تر باشد محاسبات زودتر به نتیجه خواهد رسید.

ب- افت فشار شاخه‌هایی که حرکت هوا در آن‌ها در جهت مثبت حلقه است مثبت و افت فشار شاخه‌های با جهت عکس، منفی در نظر گرفته می‌شود و بر اساس رابطه ذکرشده خطای شدت جریان هر حلقه در هر مرحله محاسبه می‌شود.

ج- اگر بعضی از شاخه‌ها در چند حلقه شرکت کنند، خطای مربوط به این شاخه‌ها از جمع جبری خطای حلقه‌هایی که در آن‌ها شرکت دارند به‌دست می‌آید.

د- با جمع جبری شدت جریان فرضی اولیه با خطای حلقه‌ها، شدت جریان جدیدی برای شاخه‌ها به‌دست می‌آید. از مبانی روش آن است که حتی اگر شدت جریان در یک شاخه منفی شود، جهت جریان تغییر داده نشود.

ه- مراحل را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا خطای تمام حلقه‌ها از حد مجاز مورد نظر کمتر شود.

جدول (۴-۱) نمونه‌ای از نرم‌افزارهای تهویه ارائه شده را به‌صورت خلاصه بیان می‌کند (اکثر این

برنامه‌ها از روش هاردی کراس برای محاسبه شدت جریان حلقه‌ها استفاده می‌کنند) (McPherson, 1993).

جدول ۱-۴ : خلاصه‌ای از نرم‌افزارهای تهویه موجود، با توجه به کشور سازنده و قابلیت‌های آن‌ها (McPherson, 1993)

مراجع	نام برنامه	کشور سازنده	جریان تراکم پذیر	جریان غیر تراکم پذیر	ترمودینامیک
Hardcastle et al. (1995)	3D-CANVENT	کانادا	×	×	
Wallace (2001)	VNetPC2007	ایالات متحده آمریکا	×		
Widzyk-Capehart and Watson (2001)	VentSim Visual	استرالیا	×	×	×
Marx and Belle (2002)	VUMA	ایالات متحده آمریکا	×	×	×

۳-۴- معرفی نرم‌افزار ventsim

برنامه شبیه‌سازی، در واقع یک مدل ریاضی است که به یکی از زبان‌های متداول برنامه‌نویسی کامپیوتر، نوشته شده است. هدف اصلی یک برنامه شبیه‌سازی تولید نتایج عددی تقریبی، مشابه یک سیستم واقعی است. سه آزمون کلی، یک برنامه شبیه‌سازی را کنترل می‌کند، که عبارت‌اند از:

۱- دقت رابطه‌ای که هریک از فرآیندهای انفرادی با آن بیان می‌شود (به‌عنوان مثال رابطه $\Delta P = RQ^2$).

۲- دقت داده‌های ورودی را مطابق با سیستم واقعی مشخص کرده و مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

۳- در مرحله آخر صحت روش عددی به کار رفته را بررسی می‌کند.

نرم‌افزار شبیه‌سازی تهویه معدن Ventsim از کارآمدترین نرم‌افزارهای مهندسی تهویه است. این نرم‌افزار نسبت به نرم‌افزارهای دیگری همچون Avent یا Ventpc بسیار کامل‌تر است و امکانات گرافیکی بالایی دارد. آسانی کار با آن نیز از جمله نکات ارزنده این نرم‌افزار به شمار می‌رود. محصولات Ventsim، شامل بسته‌های شبیه‌سازی تهویه معدن معادن زیرزمینی است که به‌وسیله آن مسیرهای هوا، فشار،

گرما و انواع دیگر داده‌های تهویه در یک مدل شبکه‌ای مسیرهای هوا را می‌توان شبیه‌سازی کرد.

Ventsim classic 3.9 برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسعه و منتشر شد. یکی از دلایل توسعه نسل جدید Ventsim افزایش نیاز به شبیه‌سازی و طراحی شرایط محیطی زیرزمینی به‌منظور ایجاد شرایط مناسب برای کارگران و تجهیزات معدن بود. در این پایان‌نامه یک نسخه تکنیکی از Ventsim classic 3.9 به نام Ventsim Visual Advanced مورد استفاده قرار گرفته است. Ventsim Visual قصد دارد روند تحلیل شبکه تهویه را حتی برای افرادی که تجربه قابل توجهی در تهویه ندارند، امکان‌پذیر سازد. با استفاده از نسخه جدید Ventsim می‌توان داده‌ها را از بسته‌های برنامه‌ریزی معدن و دیگر برنامه‌های تهویه به برنامه منتقل کرد (Ventsim, 2017).

Ventsim Visual Standard ابزارهای اساسی (مانند شبیه‌سازی و ضبط شدت جریان‌ها و فشارهای موجود در یک معدن) برای یک کاربر فراهم می‌کند. این برنامه کاربر را در برنامه ریزی کوتاه مدت و بلند مدت یاری می‌کند. بنابراین یک فرد قادر است تحولات یا مسیرهای جدید را شبیه‌سازی کند. همچنین یکی از ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار این است که می‌تواند غلظت دود یا گرد و غبار را برای شرایط اضطراری یا صرفاً به دلیل برنامه‌ریزی، شبیه‌سازی کند. نسخه استاندارد این نرم‌افزار به انتخاب نوع مدار بادبزن و همچنین تجزیه و تحلیل مالی گزینه‌های تهویه کمک می‌کند. علاوه بر این، Ventsim Visual Advanced ابزارهایی را برای تحلیل کامل ترمودینامیکی حرارت، رطوبت و تبرید در معادن زیرزمینی فراهم می‌کند و یا معکوس شدن هوا در معادن را بررسی می‌کند. با نسخه پیشرفته این نرم‌افزار می‌توان ذرات تیتانیوم دیزلی (DPM) که در معدن تمرکز پیدا کرده‌اند را شبیه‌سازی کرد و از نظر مالی و ایجاد ظرفیت تهویه، آنالیزهای متفاوتی از گزینه‌های مختلف مسیرهای هوا انجام داد. کاربر قادر است قابلیت تراکم‌پذیری هوای معادن عمیق را در نظر بگیرد و به تحلیل آلاینده‌ها و غلظت مواد منتشر شده در هوا، ناشی از انفجار در معادن بپردازد (Ventsim, 2017).

مهم‌ترین خصوصیات این نرم‌افزار به شرح زیر است:

الف – امکان شبیه‌سازی و نمایش نحوه توزیع شدت جریان هوا در شبکه معدن

ب – شبیه‌سازی برای طراحی و برنامه‌ریزی آماده‌سازی‌های جدید معدن

ج – طراحی و برنامه‌ریزی سیستم تهویه کوتاه مدت و بلند مدت

د – امکان انتخاب انواع بادبزن‌ها برای تهویه معدن

ه – امکان تحلیل اقتصادی در گزینه‌های مختلف طراحی تهویه

برای آشنایی اولیه، پنجره اصلی نرم‌افزار Ventsim Visual Advanced در شکل (۲-۴) نشان

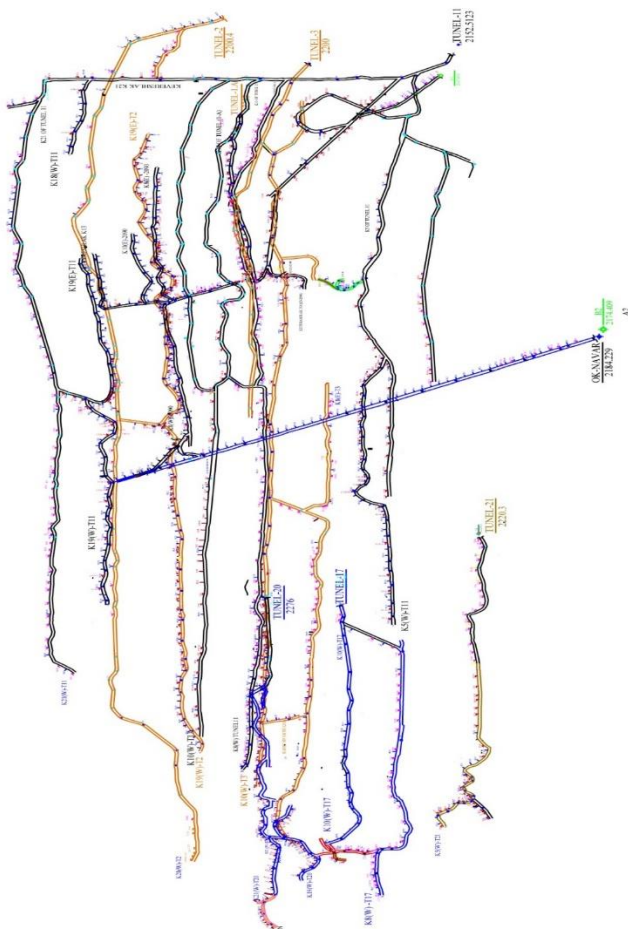
داده شده و ابزارهای اصلی این نرم‌افزار به‌صورت خلاصه بیان شده است.



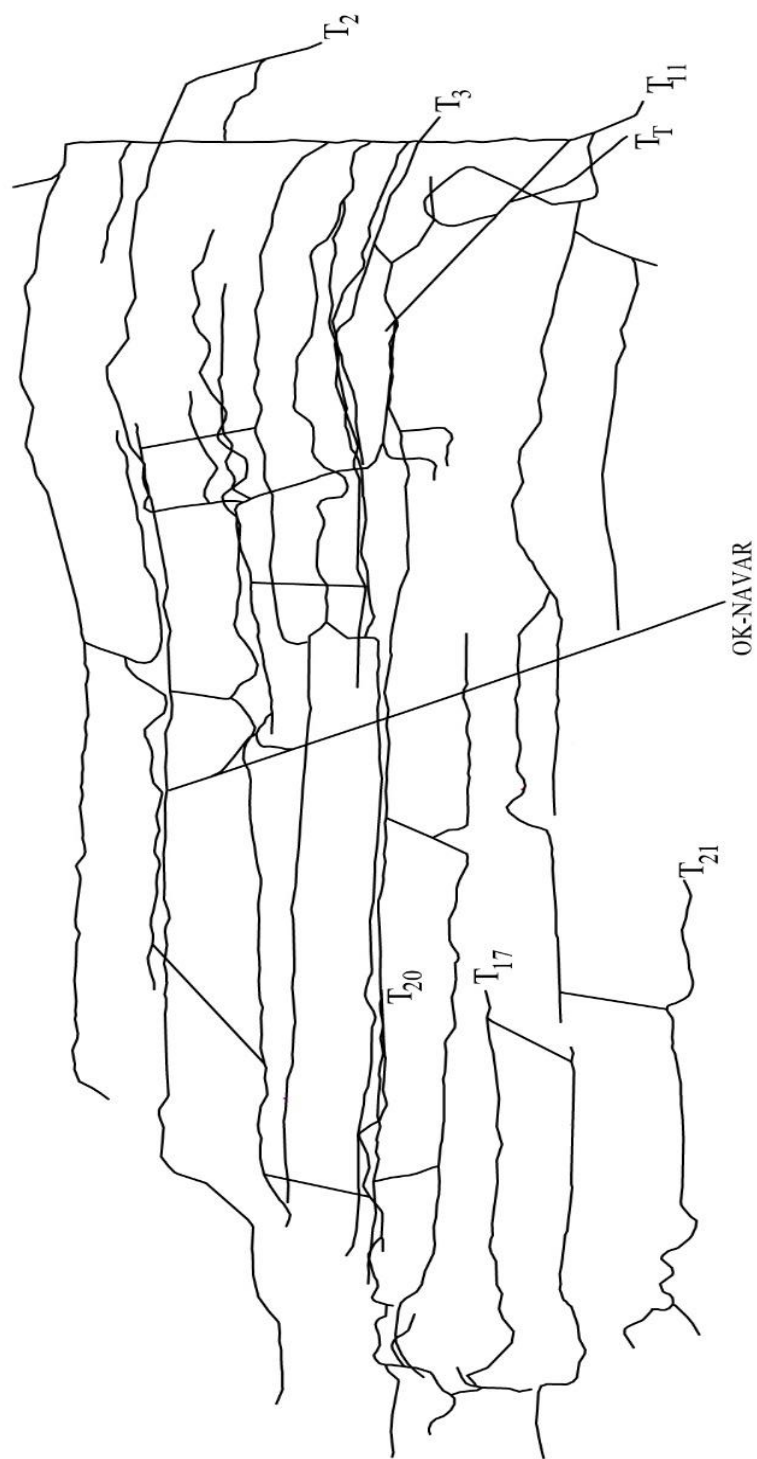
شکل ۲-۴: پنجره اصلی نرم‌افزار Ventsim Visual Advanced

۴-۴- طراحی شبکه معدن رزمجا غربی در نرم افزار Auto CAD

اولین مرحله برای شبیه‌سازی کامپیوتری، رسم شبکه معدن است. برای رسم شبکه معدن رزمجا غربی به کمک نرم‌افزار Auto CAD انجام شده است. ابتدا آخرین وضعیت شبکه معدن به صورت دوبعدی ترسیم شده (شکل ۳-۴) و با توجه به آن، یک خط مرکزی برای بیان هر مسیر هوا در نرم‌افزار Auto CAD ترسیم شده و نقشه تکمیل شده Auto CAD در فرمت DXF ذخیره شده است (شکل ۴-۴). به منظور ترسیم سه‌بعدی شبکه معدن، مؤلفه ارتفاع (Z) برای تمام نقاط با توجه به ارتفاع تونل‌ها نسبت به یکدیگر و همچنین با در نظر گرفتن شیب کارگاه‌های استخراج، اکلن وینچ و اکلن نوار تعریف شده است.



شکل ۳-۴: طرح کلی معدن رزمجا غربی (دو بعدی)



شکل ۴-۴: فایل خروجی Auto CAD به منظور استفاده در نرم افزار Ventsim (سه بعدی)

۴-۵- رسم شبکه سه بعدی معدن و ورود داده‌ها در نرم افزار Ventsim

از فایل DXF به عنوان ورودی سیستم شبیه سازی تهویه سه بعدی Ventsim استفاده شده و در هنگام ایجاد شبکه معدن، ویژگی هر خط به عنوان مسیر هوا تعریف می شود (شکل ۴-۵). اطلاعات ورودی برنامه نیز از طریق منوی اصلی شاخه‌ها وارد نرم افزار می شود. پارامترهای ورودی برای نرم افزار شامل اطلاعات زیر است:

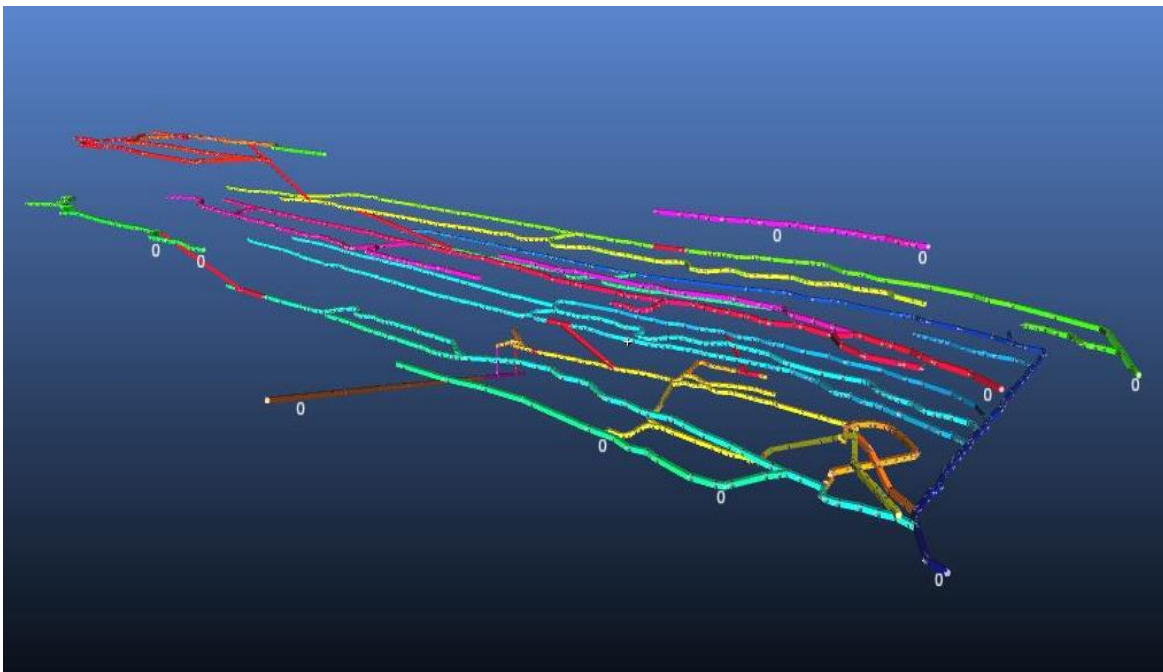
- نام شاخه
- شکل مقطع
- گره‌های ابتدایی و انتهایی شاخه
- مقاومت شاخه (توسط کاربر وارد می شود یا توسط نرم افزار محاسبه می گردد)
- شدت جریان شاخه (در شاخه‌هایی با شدت جریان ثابت توسط کاربر وارد می شود)
- افت فشار شاخه (اگر مقدار آن اندازه گیری شده باشد، مستقیماً وارد می شود)
- ضریب اصطکاک شاخه (توسط کاربر وارد و یا از طریق نرم افزار شبیه سازی می شود)
- طول شاخه
- افت موضعی (توسط کاربر قابل تنظیم است)
- سطح مقطع و محیط راهرو
- نوع راهروها از لحاظ ایمنی و یا سطحی بودن (به وسیله منو اصلی می توان مشخص شود)

با توجه به داده‌های برداشت شده از معدن رزمجا غربی، داده‌هایی ورودی نرم افزار برای حل شبکه

تهویه معدن (با توجه به هدف در نظر گرفته شده) شامل موارد زیر است:

➤ نام شاخه

- شکل مقطع
- سطح مقطع و محیط راهرو
- طول شاخه
- ضریب اصطکاک شاخه
- افت موضعی
- نوع راهروها از لحاظ بن بست و یا سطحی بودن



شکل ۴-۵: طرح اولیه معدن رزمجا در نرم افزار Ventsim

با استفاده از بانک داده‌های مربوط به بادبزن‌های موجود در منوی پایگاه داده‌ها، می‌توان نوع بادبزن انتخاب شده را وارد کرد. مشخصات بادبزن (در بانک داده‌های بادبزن) شامل فشارها و شدت جریان‌های متفاوت تولید شده توسط بادبزن (رده‌بندی بادبزن)، قطر بادبزن، راندمان بادبزن در فشارها و شدت جریان‌های مختلف و همچنین نمودار منحنی مشخصه بادبزن است. برای تعریف یک بادبزن جدید در پایگاه داده‌ها می‌توان از نمودارها یا منحنی مشخصه‌های مربوط به آن بادبزن استفاده کرد.

۴-۶- خروجی‌های نرم‌افزار Ventsim

پس از ایجاد شبکه تهویه مورد نظر و وارد کردن اطلاعات، با انتخاب منوی اصلی شبیه‌سازی، برنامه Ventsim اجرا می‌شود. خروجی‌های برنامه شامل مواد زیر است:

- نحوه توزیع هوا در شاخه‌ها
- فشار نسبی و مطلق در گره‌ها
- نقطه عملکرد بادبزن‌ها
- توان موردنیاز و راندمان بادبزن اصلی
- مشخصات درهای تنظیم‌کننده و بادبزن‌های تقویتی در شاخه‌های مورد نظر
- سرعت هوا در شاخه‌ها
- توان مصرفی در هر شاخه
- توان مورد نیاز بادبزن‌های تقویتی

۴-۷- شبیه‌سازی تهویه معدن رزمجا غربی

با توجه به شبکه معدن و جدول (۳-۶) و (۳-۸)، شدت جریان کلی شبکه معدن معادل ۱۹/۵۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است (مطابق با محاسبات در روش دستی). در روش کامپیوتری، ابتدا طرح شبکه معدن به همراه مشخصات واقعی شاخه‌های آن از قبیل طول، سطح مقطع، محیط مقطع، ضریب اصطکاک و افت موضعی به‌عنوان اطلاعات ورودی به نرم‌افزار Ventsim داده می‌شود. سپس با اعمال شدت جریان کل شبکه معدن (۱۹/۵۷ مترمکعب بر ثانیه) نرم‌افزار Ventsim بر اساس معادله هادری کراس شروع به تحلیل شبکه می‌کند. نرم‌افزار Ventsim بعد از ۲۰۰۰ بار انجام محاسبات مربوطه، نحوه توزیع شدت جریان هوا درون شبکه معدن را مطابق شکل (۴-۶) محاسبه کرده است. نتایج کلی

حاصل از این شبیه‌سازی مطابق جدول (۲-۴) است.



شکل ۴-۶: توزیع شدت جریان اولیه هوا در شبکه معدن رزمجا غربی

جدول ۲-۴: نتایج حاصل از مدل‌سازی اولیه شبکه تهویه معدن رزمجا غربی

مقاومت کل شبکه (Ns ² /m ⁸)	شدت جریان کل شبکه (m ³ /s)	طول کل مسیرهای هوا (m)	تعداد مسیر هوا
۰/۱۰۹	۱۹/۵۷	۱۶۹۴۹	۶۷۵

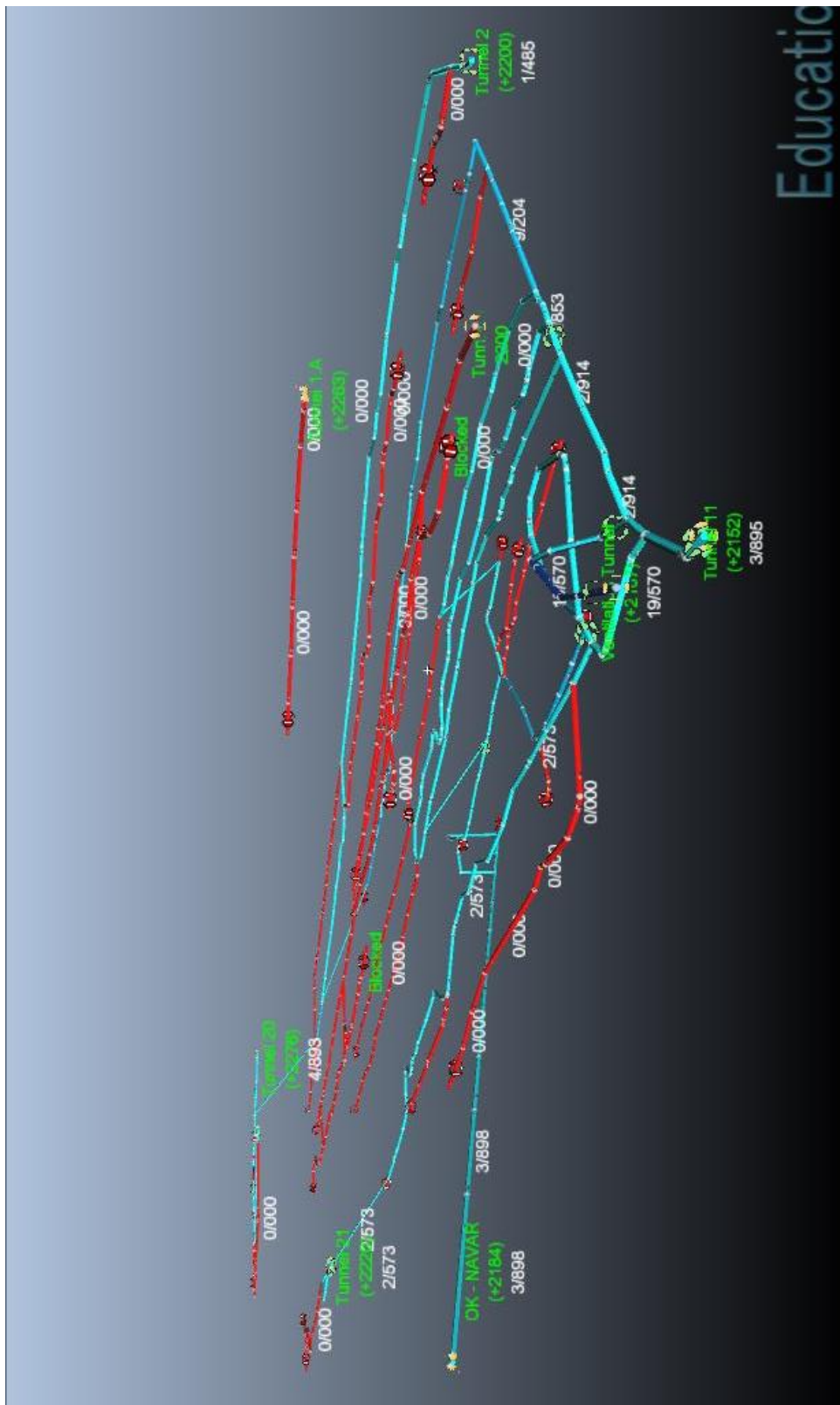
مقدار شدت جریان هوا برای جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی پس از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار Ventsim مطابق جدول (۳-۴) است، که از حداقل مقدار محاسبه شده کمتر است. بر این اساس تهویه این معدن نیاز به تعدیل شبکه دارد. جهت تعدیل شبکه این معدن نیاز به نصب بادبزن یا دریچه تنظیم کننده دارد. مقاومت و افت فشار تولید شده توسط این دریچه‌ها در جدول (۳-۱۲) محاسبه شده است. پس از قرار دادن این مقادیر در شاخه‌های مورد نظر نرم‌افزار Ventsim اجرا شده و پس از ۲۰۰۰ بار انجام محاسبات مربوطه، نحوه توزیع شدت جریان هوا درون شبکه معدن را محاسبه کرده است. نحوه توزیع شدت جریان نهایی شبکه معدن رزمجا غربی مطابق شکل (۴-۷) و نتایج حاصل از آن مطابق جدول (۴-۴) است.

جدول ۳-۴: مقایسه شدت جریان لازم و شبیه‌سازی شده برای جبهه کارهای استخراج و آماده‌سازی

جبهه کار	شرح	شدت جریان حاصل از شبیه‌سازی (m ³ /s)	شدت جریان مورد نیاز (m ³ /s)	جبهه کار	شرح	شدت جریان حاصل از شبیه‌سازی (m ³ /s)	شدت جریان مورد نیاز (m ³ /s)
آماده‌سازی	K۱۹ غربی (+۲۱۵۲)	۰/۹۷۶	۳/۲۳	استخراج	K۵ غربی، (از +۲۲۲۰ به +۲۱۵۲)	۱/۱۲۹	۲/۶۱
	K۱۹ غربی (+۲۲۰۰)	۰/۳۵	۲/۰۹		K۸ غربی، (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۰/۱۴۲	۲/۹۵
	K۸ غربی (+۲۰۹۰)	۴/۱۶۶	۴/۰۶		K۱۳ شرقی، (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۰/۶۰۸	۳/۳۶
	-	-	-		K۱۹ غربی، (از +۲۲۷۶ به +۲۲۰۰)	۰/۳۵	۴/۰۳
	-	-	-		K۱۹ غربی، (از +۲۲۰۰ به +۲۱۵۲)	۰/۹۷۶	۴/۰۳

جدول ۴-۴: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تهویه معدن رزمجا غربی پس از قرار دادن دریچه‌های تنظیم کننده هوا

تعداد مسیر هوا	طول کل مسیرهای هوا	شدت جریان کل شبکه	مقاومت کل شبکه
	(m)	(m ³ /s)	(Ns ² /m ⁸)
۶۷۵	۱۶۹۴۹	۱۹/۵۷	۱/۵۷۹



شکل ۴-۷: شبکه تهویه معدن رزمجا غربی پس از قرار دادن دریاچه‌های تنظیم کننده هوا (بر اساس شدت جریان)

۴-۸- تجزیه و تحلیل نتایج

برای تجزیه و تحلیل شبکه تهویه، می‌توان از سه روش زیر استفاده کرد:

۱. شدت جریان ثابت

۲. فشار ثابت

۳. نصب بادبزن

در این شبیه‌سازی، از روش شدت جریان ثابت برای تجزیه و تحلیل شبکه استفاده شده است. برای این منظور با توجه به شدت جریان شبکه که معادل $19/57 \text{ (m}^3/\text{s)}$ است، این مقدار برای تهویه معدن ثابت در نظر گرفته شده است. تهویه از نوع دهشی بوده و از طریق کانال تهویه وارد شبکه معدن می‌شود. در مرحله بعد برای اینکه شدت جریان لازم به جبهه کارهای آماده‌سازی و کارگاه‌های استخراجی برسد باید بادبزن یا دریچه تنظیم کننده در شبکه قرار بگیرد. برای تعریف دریچه‌ها در شاخه‌های مورد نظر مقدار مقاومت هر دریچه (بر اساس محاسبات صورت گرفته جدول ۳-۱۰)، به آن شاخه اضافه شده است.

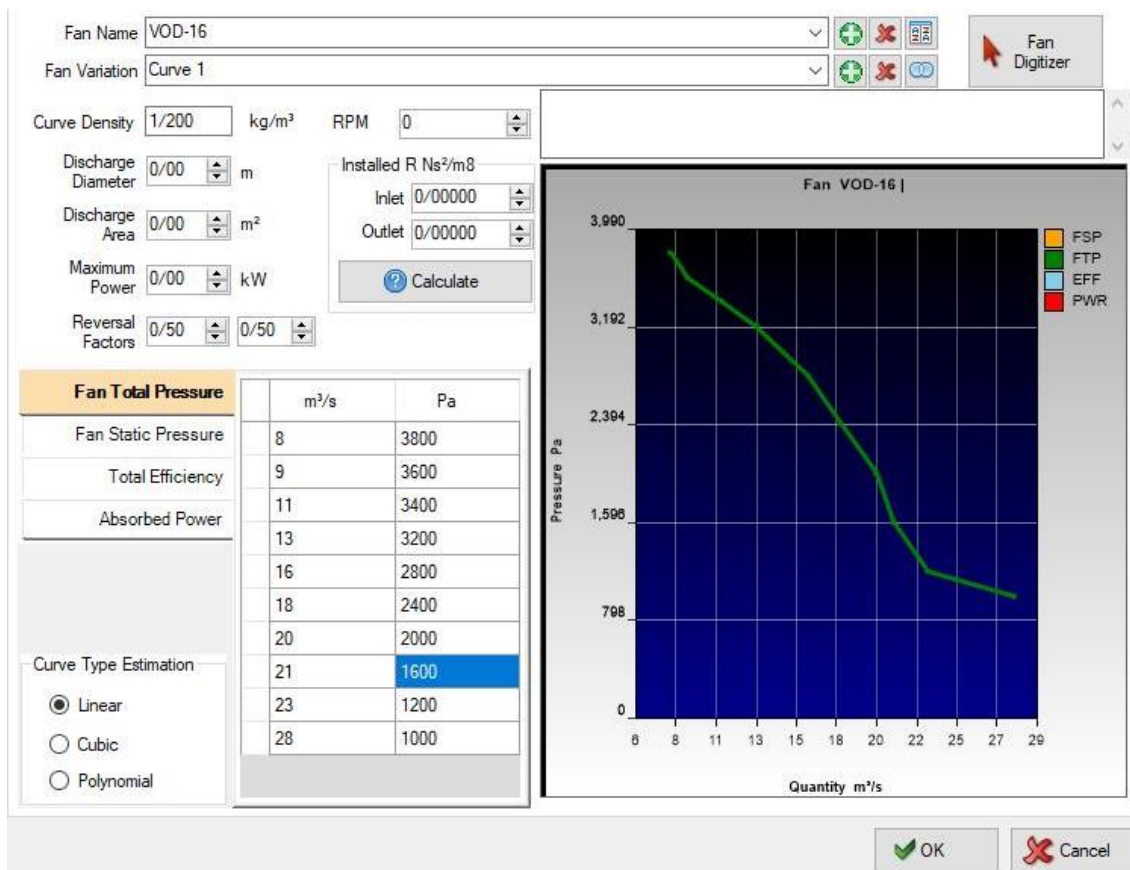
نرم‌افزار پس از ۲۰۰۰ بار انجام محاسبات مربوطه نحوه توضیح شدت جریان در شبکه را نمایش داده است (شکل ۴-۷). با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از شبیه‌سازی تهویه معدن رزمجا غربی (جدول ۴-۴) مشاهده می‌شود که این شبکه شامل ۶۷۵ مسیر هوا بوده و طول کل مسیرهای هوا در این معدن $16949/7 \text{ (m)}$ برآورد شده است. شدت جریان کلی شبکه معدن $19/57 \text{ (m}^3/\text{s)}$ و مقاومت کلی معدن برابر با $1/579 \text{ (Ns}^2/\text{m}^8)$ (یا $0/16$ کیلومورگ) است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری مطابقت و همخوانی قابل قبولی با روش تحلیل دستی دارد (طبق جدول ۴-۵). زیرا طبق نتایج به دست آمده، مقادیر لازم برای تهویه کارگاه‌های استخراج و جبهه کارهای آماده‌سازی تأمین شده و شدت

جریان از سایر شاخه‌های شبکه به میزان لازم عبور می‌کند.

جدول ۴-۵: شدت جریان جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی پس از شبیه‌سازی فن و دریچه‌ها در شبکه معدن

جبهه کار	شرح	شدت جریان حاصل از شبیه‌سازی (m ³ /s)	شدت جریان مورد نیاز (m ³ /s)	جبهه کار	شرح	شدت جریان حاصل از شبیه‌سازی (m ³ /s)	شدت جریان مورد نیاز (m ³ /s)
آماده‌سازی	K۱۹ غربی (+۲۱۵۲)	۹/۷	۳/۲۳	آماده‌سازی	K۵ غربی، (از +۲۲۲۰ به +۲۱۵۲)	۲/۷۸	۲/۶۱
	K۱۹ غربی (+۲۲۰۰)	۷/۷۱	۲/۰۹		K۸ غربی، (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۲/۹۹	۲/۹۵
	K۸ غربی (+۲۰۹۰)	۴/۱۸	۴/۰۶		K۱۳ شرقی، (از +۲۱۵۲ به +۲۰۹۰)	۳/۳۷	۳/۳۶
	-	-	-		K۱۹ غربی، (از +۲۲۷۶ به +۲۲۰۰)	۹/۲	۴/۰۳
	-	-	-		K۱۹ غربی، (از +۲۲۰۰ به +۲۱۵۲)	۷/۷۱	۴/۰۳

بادبزن انتخاب شده برای تهویه معدن رزمجا غربی، بادبزن روسی مدل VOD-16 (مشخصات این بادبزن در جدول ۳-۱۱ آورده شده است) می‌باشد. برای شبیه‌سازی این بادبزن در نرم‌افزار Ventsim از کاتالوگ آن استفاده شده است. پس از وارد کردن مشخصات بادبزن (مطابق شکل ۴-۸) از آن برای تهویه معدن استفاده شده است. منحنی مشخصه رسم شده جهت تعریف این بادبزن، بر اساس زاویه ۱۶ درجه است. بر طبق نتایج به‌دست آمده (جدول ۴-۶) مشاهده می‌شود که شدت جریان تولیدی بادبزن تحت این زاویه برابر (۲۶ m³/s) است و قادر است فشار لازم برای تهویه کل شبکه معدن را فراهم کند و حتی جوابگوی نیاز این معدن، حتی در سال‌های آینده باشد. زیرا در صورت گسترش شبکه معدن می‌توان زاویه پره‌های بادبزن مورد نظر را تغییر داد که باعث افزایش شدت جریان و فشار تولیدی بادبزن می‌شود.



شکل ۴-۸: اطلاعات کارایی بادبزن نصب شده در معدن رزمجا غربی با استفاده از نرم‌افزار Ventsim

جدول ۴-۶: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تهویه معدن رزمجا غربی با استفاده از بادبزن VOD-16 در نرم‌افزار

Ventsim

مقاومت کل شبکه (Ns^2/m^8)	شدت جریان کل شبکه (m^3/s)	طول کل مسیرهای هوا (m)	تعداد مسیر هوا
۱/۵۷۹	۲۶/۰۹	۱۶۹۴۹	۶۷۵

۴-۹- طرح کاهش مقاومت شبکه تهویه

در حالت کلی برای تعدیل شبکه و تأمین خواسته‌های اصلی تهویه یعنی تأمین شدت جریان شاخه‌ها به مقدار و جهت مورد نظر، راه‌حل‌های متفاوتی وجود دارد. به بیان دیگر برای یک شبکه واحد، می‌توان از درهای تنظیم‌کننده و بادبزن‌های تقویتی در شاخه‌های مختلف استفاده کرد. واضح است که هر چقدر تعداد درهای تنظیم‌کننده و بادبزن‌ها کمتر باشد در عین حال، توان مصرفی شبکه کمتر بوده

و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است، همچنین افزایش سطح مقطع تونل‌ها نیز باعث کاهش مقاومت شبکه معدن می‌شود. به این ترتیب، تعدیل شبکه‌های تهویه را باید یک مسئله بهینه‌سازی محدود در نظر گرفت و در هر مورد، بهترین راه حل را برای آن یافت.

کاهش مقاومت کلی شبکه معدن باعث کاهش فشار بادبزن و در نتیجه کاهش هزینه برق مصرفی می‌شود. طرح کاهش مقاومت شبکه تهویه معدن رزمجا غربی را می‌توان با انجام برخی تغییرات در شبکه معدن (که در واقعیت نیز قابل اجرا باشد) انجام داد. پس از انجام شبیه‌سازی‌های مختلف، تغییرات زیر در شبکه معدن رزمجا غربی صورت گرفت:

۱. افزایش سطح مقطع تونل تهویه از ۹/۳۵ به ۱۲/۱ متر مربع

۲. حذف در تنظیم کننده در تونل ۲ و قرار دادن پرده هوا به مقاومت (Ns^2/m^8) ۱

۳. حذف دریچه تنظیم کننده در تونل ۱۷

پس از انجام شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار Ventsim نتایج حاصل از آن مطابق جدول (۷-۴) و شدت جریان محاسبه شده برای جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی مطابق جدول (۸-۴) است.

جدول ۷-۴: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تهویه معدن رزمجا غربی پس از اجرای طرح کاهش مقاومت شبکه

تعداد مسیر هوا	طول کل مسیرهای هوا (m)	شدت جریان کل شبکه (m^3/s)	مقاومت کل شبکه (Ns^2/m^8)
۶۷۵	۱۶۹۴۹	۱۹/۵۷	۱/۳۶۷

جدول ۴-۸: شدت جریان جبهه کارهای استخراج و آماده‌سازی پس از اجرای طرح کاهش مقاومت شبکه

ردیف	جبهه کار	شرح	شدت جریان (m ³ /s)	جبهه کار	شرح	شدت جریان (m ³ /s)
۱	آماده‌سازی	K۱۹ غربی (+۲۱۵۲)	۹/۸	K۱۳ شرقی (+۲۰۹۰)	K۵ غربی، (از ۲۲۲۰ به ۲۱۵۲)	۲/۶۱
۲		K۱۹ غربی (+۲۲۰۰)	۴/۵		K۸ غربی، (از ۲۱۵۲ به ۲۰۹۰)	۳/۱
۳		K۸ غربی (+۲۰۹۰)	۳/۷			۳/۵
۴		-	-		K۱۹ غربی، (از ۲۲۷۶ به ۲۲۰۰)	۴/۵
۵		-	-		K۱۹ غربی، (از ۲۲۰۰ به ۲۱۵۲)	۹/۸

با اعمال تغییرات صورت گرفته مقاومت شبکه (در شدت جریان ثابت) از $1/579 \text{ (Ns}^2/\text{m}^8)$ به مقدار $1/367 \text{ (Ns}^2/\text{m}^8)$ کاهش یافته و همچنین شدت جریانی که از جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی می‌گذرد از حداقل مقدار محاسبه شده آن (مطابق جدول ۴-۷) بیشتر است. مقدار افت فشار کلی شبکه به میزان $81/19 \text{ (Pa)}$ کاهش یافته که باعث کاهش فشار تولیدی بادبزن به همین میزان و همچنین کاهش هزینه برق مصرفی بادبزن شده است.

۴-۱۰- مقایسه طرح تهویه دستی و کامپیوتری

هنگام استفاده از طراحی دستی، ابتدا باید نمودار شبکه تهویه را رسم شود. با افزایش حفاری‌ها و تغییر شکل شبکه معدن، نیاز به تکرار کل نمودار شبکه تهویه معدن و انتقال مجدد پارامترها به هر شاخه، سپس محاسبه شبکه تهویه و شبیه‌سازی وضعیت تهویه فعلی است. حجم کار بسیار بزرگ بوده و مستعد اشتباه است.

هنگامی که از سیستم شبیه‌سازی تهویه سه‌بعدی استفاده می‌کنید، به دلیل اینکه مدل سه‌بعدی

معدن با مسیرهای واقعی زیرزمینی مطابقت دارد، نیازی به تهیه شبکه تهویه جدید نیست. راه‌ها همان‌طور که شبکه معدن تغییر می‌کند می‌تواند در شبکه قبلی همراه با پارامترهای مربوط به خود اضافه شود. هنگامی که طرح شبکه معدن اصلاح می‌شود (مانند افزودن یا حذف مسیرها یا تغییر برخی پارامترها)، مدل سه‌بعدی به‌طور خودکار تغییرات را آزمایش می‌کند و حالت تهویه دوباره شبیه‌سازی می‌شود. در نهایت داده‌های هر مسیر جدید نمایش داده می‌شود.

در محاسبات دوبعدی، بسیاری از خطوط در نمودار شبکه تهویه ساده شده‌اند، بنابراین نمی‌تواند به‌طور مستقیم پارامترهای خطوط دریافت شود و نیاز به نقشه دقیق سیستم تهویه با کلیه شاخه‌ها شبکه است. در طراحی کامپیوتری، مدل سه‌بعدی مربوط به معدن واقعی است و پارامترها به‌طور مستقیم در روی مسیرهای هوا نمایش داده می‌شود و همچنین از طریق بزرگ‌نمایی، چرخش و حرکت مدل، به آسانی می‌توان اطلاعات لازم را به دست آورد.

در طراحی دستی برای محاسبه شدت جریان شبکه باید مقادیر شدت جریان برای کارگاه‌های استخراجی و آماده‌سازی ثابت در نظر گرفته شود و با توجه با آن شدت جریان کل شبکه محاسبه شود، این در حالی است که در روش کامپیوتری شدت جریان کل برای شبکه ثابت در نظر گرفته می‌شود و مقادیر شدت جریان برای سایر شاخه‌های شبکه معدن با توجه به شدت جریان کل محاسبه می‌شود.

یکی دیگر از پیچیدگی‌های طراحی شبکه تهویه معدن به روش دستی تعیین اولویت برای تعدیل حلقه‌های مفید ایجاد شده به‌منظور نصب بادبزن یا دریچه تنظیم‌کننده است. اما در روش کامپیوتری بادبزن و دریچه مورد نظر را می‌توان در هر قسمت از شبکه قرار داد و با انجام شبیه‌سازی، تأثیر آن بر تهویه معدن را ارزیابی کرد.

در طراحی تهویه به‌صورت دستی، پس از تعدیل حلقه‌های تشکیل شده با توجه به روابط مورد

نظر در تعدیل حلقه‌ها، پیشنهادی برای نصب بادبزن یا دریچه بر روی یکی از شاخه‌های حلقه داده می‌شود که با توجه به آن می‌توان محل مورد نظر برای نصب بادبزن یا دریچه را مشخص کرد. اما در روش نرم‌افزاری پیشنهادی برای نصب بادبزن یا دریچه تنظیم کننده وجود ندارد. طراح باید با توجه به تجربه، بادبزن یا دریچه را (با در نظر گرفتن شرایط موجد در معدن) در شاخه‌های مختلف قرار داده و پس از انجام شبیه‌سازی، تأثیر آن را بر تهویه معدن بررسی کند.

یکی دیگر از ویژگی‌های نرم‌افزارهای تهویه، قابلیت شبیه‌سازی آتش‌سوزی، دود و گرد غبار در معدن به‌منظور پیش‌بینی اقدامات لازم جهت کنترل این شرایط یا صرفاً جهت برنامه‌ریزی است. به‌وسیله این قابلیت‌های ویژه می‌توان در کوتاه‌ترین زمان شبیه‌سازی خطرات را انجام داده و روش‌های پیشگیری آن را مورد بررسی قرار داد.

۴-۱۱- جمع‌بندی

در این فصل، ابتدا شبکه معدن به‌صورت سه‌بعدی طراحی شده و سپس ویژگی‌های هر شاخه مطابق با داده‌های برداشت شده از معدن تعیین شده است. سپس با توجه به محاسبات صورت گرفته در روش دستی شدت جریان کل (در کانال تهویه) برای شبکه ثابت در نظر گرفته شده و نحوه توزیع شدت جریان در سایر شاخه‌های شبکه مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری مطابقت و همخوانی قابل قبولی با روش تحلیل دستی دارد. در نهایت، با ایجاد تغییراتی در شبکه تهویه، طرح کاهش مقاومت معدن اجرا شده است. بر طبق نتایج به دست آمده از طرح کاهش مقاومت، افت فشار کل شبکه به میزان $81/19$ (Pa) کاهش یافته که باعث کاهش فشار تولیدی بادبزن (به همین میزان) و کاهش هزینه برق مصرفی می‌شود.

فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

یکی از عملیات مهم معدنکاری، تهویه معدن است. اهمیت تهویه از این نظر است که بر خلاف بسیاری از عملیات معدنی نظیر آتشیاری، حفاری، حمل و نقل و ... که به تأخیر افتادن آنها تنها سبب تأخیر عملیات معدن می‌شود به هیچ وجه قابل تأخیر و یا تعطیل کردن نیست و همواره در تمام مراحل عملیات باید تهویه صحیحی در معدن برقرار باشد.

طراحی تهویه از جمله مهم‌ترین مسائلی است که هنگام طراحی کلی معدن باید در نظر گرفته شود. در بسیاری حالات، توجه به نکات دقیق مربوط به تهویه آتیه معدن، لزوم تغییراتی در سایر قسمت‌های معدن را ایجاد می‌کند.

معادن زغال‌سنگ، همواره از جمله پر خطرترین معادن زیرزمینی محسوب می‌شوند. در این معادن، به‌منظور بهبود روند کار و ایجاد ایمنی لازم، عملیات مختلفی همچون نگهداری، انفجار و تهویه بایستی با دقت کافی و به‌طور اساسی طراحی شوند. طراحی و بهبود عملکرد سیستم تهویه در معادن می‌تواند باعث کاهش صدمات و خسارت‌های ایجاد شده و هزینه‌های ایمن‌سازی شود. از این رو، در این پایان‌نامه طراحی و بهبود عملکرد سیستم تهویه معدن رزمجا غربی بر اساس شرایط موجود در معدن، به‌منظور کنترل هرچه بهتر سیستم تهویه، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج عمده حاصل از آن در ادامه آورده شده است.

۵-۲- نتایج

در این پایان‌نامه، با استفاده از داده‌های برداشت شده از معدن رزمجا غربی و انجام محاسبات، مقدار شدت جریان لازم برای جبهه کارهای آماده‌سازی و استخراجی محاسبه شده است. سپس، بر اساس شدت جریان جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی، شدت جریان اولیه سایر شاخه‌های

شبکه محاسبه شده است.

در روش دستی بر اساس مدل حلقه‌ای، تعدیل شبکه تهویه معدن صورت گرفته است. تعداد حلقه‌های مفید ایجاد شده در شبکه ۱۱ عدد بوده که بر اساس دو حالت تعدیل شده‌اند. حالتی که تنها از یک بادبزن و ۱۰ دریچه برای تعدیل شبکه استفاده شده است به‌عنوان حالت اقتصادی‌تر انتخاب شده و محاسبه نوع بادبزن و مشخصات دریچه برای این حالت صورت گرفته است. بر اساس محاسبات صورت گرفته شدت جریان کلی شبکه معدل $19/57 \text{ (m}^3/\text{s)}$ بوده و بادبزن پیشنهادی برای تهویه معدن رزمجا غربی بادبزن VOD-16 با زاویه پره ۱۶ درجه است.

در روش کامپیوتری برای طراحی و تحلیل سیستم تهویه معدن رزمجا غربی از نرم‌افزار ventsim استفاده شده است. شبکه معدن به‌صورت سه‌بعدی رسم شده و داده‌های مربوط به شبکه معدن (از قبیل شکل، سطح مقطع، ضریب زبری و ...) برای مدل تنظیم شده‌اند. در ابتدا، شبکه معدن بر اساس مدل شدت جریان ثابت و بدون دریچه‌ها تنظیم کننده مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. شدت جریان در نظر گرفته شده قادر به تأمین هوای لازم برای جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی نبوده است، بنابراین با نصب دریچه‌های تنظیم کننده مورد نیاز، مجدداً شبیه‌سازی صورت گرفته است.

نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری مطابقت و همخوانی قابل قبولی با روش تحلیل دستی دارد. همچنین بر طبق نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی بادبزن پیشنهادی برای تهویه شبکه، مشاهده می‌شود که بادبزن انتخاب شده به درستی می‌تواند جوابگوی نیاز این معدن، حتی در سال‌های آینده باشد.

به‌منظور کاهش مقاومت شبکه معدن، با اعمال تغییرات در شبکه معدن، مقاومت شبکه (در

شدت جریان ثابت) از $1/579 \text{ (Ns}^2/\text{m}^8)$ به مقدار $1/367 \text{ (Ns}^2/\text{m})$ کاهش یافته و همواره شدت جریانی که از جبهه کارهای استخراجی و آماده‌سازی می‌گذرد از حداقل مقدار مجاز محاسبه شده آن بیشتر است. همچنین، مقدار افت فشار کلی شبکه به میزان $81/19 \text{ (Pa)}$ کاهش یافته که باعث کاهش فشار تولیدی بادبزن (به همین میزان) و کاهش هزینه برق مصرفی می‌شود.

۵-۳- پیشنهادات

- ✓ پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی به‌منظور کنترل تهویه معدن، سیستم تهویه هوشمند طراحی و کارکرد این سیستم در معدن رزمجا غربی مورد ارزیابی قرار گیرد.
- ✓ پیشنهاد می‌شود سیستم تهویه معدن با استفاده از سایر نرم‌افزارهای تهویه طراحی شود و نتایج حاصل از آن با نرم‌افزار Ventsim و روش دستی مورد ارزیابی قرار گیرد.
- ✓ پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی سیستم تهویه طراحی شده با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی به‌گونه‌ای بهینه‌سازی شود که محل بادبزن و دریچه‌های تنظیم‌کننده با توجه به تابع کمینه‌سازی هزینه‌های تهویه مشخص شود.

مراجع

انه منگلی.م، حقیرچهره قانی.س و سرشکی.ف، (۱۳۸۸) "طرح تهویه در معدن زغال سنگ کلاریز شرقی با استفاده از نرم افزار VENTSIM"، اولین همایش ملی تهویه صنعتی و بهداشتی، تهران، دانشگاه شریف، دانشکده مکانیک.

باقرزاده.س، زارعی درمیان.م.ا و موسوی نسب.س.م، (۱۳۹۳) "طراحی سیستم تهویه معدن شماره یک پروده طبس"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران، انجمن مهندسی معدن ایران، سازمان نظام مهندسی معدن.

پزین فوشازده.م، (۱۳۹۲) "طراحی سیستم تهویه هوشمند بخش زیرزمینی معدن سرب و روی انگوران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، پژوهشکده فنی و مهندسی.

دفتر نظارت و ایمنی معادن، (۱۳۸۱) "آیین نامه ایمنی در معادن"، وزارت صنایع و معادن.

زارعی درمیان.م.ا، جوانشیر گیوم و سرشکی.م، (۱۳۹۳) "طراحی سیستم تهویه حین حفاری و انتخاب لوله تهویه مناسب در تونل آماده سازی پانل ۳ شرقی معدن ۱ مکانیزه پروده طبس"، روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ص ۱۷-۲۵.

شرکت زغال سنگ البرز شرقی شاهرود، (۱۳۵۴) "گزارش اکتشافی منطقه رزمجا غربی"، دفتر فنی شرکت زغال سنگ البرز شرقی شاهرود.

صمدزادگان.ر، (۱۳۸۹) "مهندسی تهویه معادن"، انتشارات نوپردازان.

قزوینی.م و آقاجانی.ح، (۱۳۹۱) "طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ زمستان یورت شرقی با استفاده از نرم افزار VENTSIM"، اولین کنگره ملی زغال سنگ، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

گشتاسبی.ک، پورخاندانی.ر.ا و صادقی.م، (۱۳۸۲) "طراحی و محاسبه شبکه تهویه معدن زغال سنگ رضی"، پنجمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، کرمان،

شرکت معدنی و صنعتی چادرملو.

مدنی.ح و اسکویی.ر، (۱۳۸۰) "طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ گلندرود"، پنجمین کنفرانس تونل ایران، تهران، دانشگاه تهران، فنی.

مدنی.ح و مفتی.ز، (۱۳۸۲) "طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ کیاسر"، پنجمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، کرمان، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو.

مدنی.ح، (۱۳۸۱) "تهویه در معادن" (چاپ سوم)، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.

مدنی.ح، (۱۳۸۲) "تهویه در معادن" (چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

مدنی.ح، مجدی.ع، بهرامی.ع و بیات.م.م، (۱۳۸۵) "طراحی سیستم تهویه معدن زغال سنگ هشونی"، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو.

موسسه کار و رفاه اجتماعی، (۱۳۸۵) "آیین نامه حفاظت بهداشت کار"، وزارت کار و امور اجتماعی.

الهی زینی.ا، (۱۳۹۳) "طراحی تهویه معدن زیرزمینی به روش دستی (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ تخت)"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران، انجمن مهندسی معدن ایران، سازمان نظام مهندسی معدن.

الهی زینی.ا و ربیع نژاد.ح.ع، (۱۳۹۱) "انتخاب بادبزن اصلی برای تهویه معدن زیرزمینی زغال سنگ کلاریز البرز شرقی با استفاده از نرم افزار Ventsim"، اولین کنفرانس ملی فناوری های معدنکاری ایران، یزد، دانشگاه یزد.

الهی زینی.ا و ربیع نژاد.ح.ع، (۱۳۹۱) "طراحی تهویه معدن زیرزمینی زغال سنگ رزمجا غربی از البرز شرقی با استفاده از نرم افزار Ventsim"، اولین کنگره ملی زغال سنگ، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

الهی زینی.ا، (۱۳۹۳) "اصول طراحی تهویه در معادن"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

الهی زینی.ا، فعالیان.خ و شکورشهایی.ر، (۱۳۹۵)، "انتخاب بادبزن اصلی برای شبکه تهویه معدن زغال سنگ تونل ۸ با استفاده از نرم افزار ventsim"، سومین کنگره ملی زغال سنگ، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

Acunaa, I., & Wallace, G. (2015) "Primary Mine Ventilation Solution for the New Level Mine Project During the Construction Period 2015 – 2020". 15th North American Mine Ventilation Symposium, (pp. 456-464).

Akande, J. M., & Moshood, O. (2013) "Modelling of Okaba Underground Coal Mine Ventilation System". International Journal of Engineering and Technology, (pp. 766-772).

Alexandrovich, N. (2010) "Mine Ventilation Equipment". Noaem Group. Sibenergomash Co, (pp. 1-18).

Chaoqun, W. A. N. G. (2013) "Study of old mine ventilation system transformation based on Ventsim software (a case for Tongxing Mine)". Nonferrous Metals (Mining Section).

Cioclea, D., Lupu, C., Gherghe, I., Rădoi, F., Boantă, C., Tomescu, C., & Păsculescu, V. M. (2014) "Prior establishment of work environment characteristics in case of the occurrence of an underground explosion". Annals of the University of Petrosani Mining Engineering.

Cross, H. (1936). "Analysis of flow in networks of conduits or conductors". University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering. Engineering Experiment Station..

Exikis, A., & Kapageridis, I. K. (2006) "Simulation of air and contaminant flow in underground mine ventilation networks". In 2 International Conference on Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology (AMREG 2006).

Felsner, A. (2013) "Application of Ventsim Visual at the show mine Erzberg". Bachelor thesis, Department Mineral Resources and Petroleum Engineering, Montanuniversität Leoben.

Gusat, D., Bancila-Afrim, N., Bud, I., & Gusat, O. (2011) "Using the educational Ventsim software to calculate and simulate a ventilation network". Scientific Bulletin Series C: Fascicle Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology, (pp. 95).

- Haghighat, A. (2014) "Analysis of a ventilation network in a multiple fans limestone mine". Masters Theses, Missouri University of Science and Technology, (paper 7299).
- Hardcastle. SG. (1995) "3D-canvent: An interactive mine ventilation simulator". Proc. 7th U.S. Mine Ventilation Sympos. (Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Englewood, CO), (pp. 467–472).
- Hartman, HL. (1997)"mine ventilation and air condition", John Wiley & Sons, Inc.
- Hunosa. (2003) "ventilation and safety", Hunso mining co, spain.
- Lilic, N., Čokorilo, V., Cvjetić, A., & Milisavljević, V. (2012) "Ventilation planning and design of the Omerler B mine". Podzemni radovi, underground mining engineering, (pp. 121-130).
- Marx, W., & Belle, B. K. (2002) "Simulating airflow conditions in a South African coal mine, using the VUMA-network simulation software". In Mine ventilation. North American/Ninth US Mine Ventilation Symposium (pp. 253-257).
- McPherson, MJ. (1993) "Subsurface Ventilation and Environmental Engineering". (Chapman & Hall, London).
- Sethi, A. R. (2015) "Underground Mine Ventilation Survey". (Doctoral dissertation).
- Skochinsky, A., & Komarov, V. (1969). "Mine ventilation". Mir Pub.
- Stewart, C. (2014) "Practical prediction of blast fume clearance and workplace re-entry times in development headings". In 10th International Mine Ventilation Congress, The Mine Ventilation Society of South Africa.
- Suvar, M., Cioclea, D., Gherghe, I., & Păsculescu, V. (2012) "Advanced software for mine ventilation networks solving". Environmental Engineering and Management Journal, (pp. 1235-1239).
- Ventsim Software (2017); By Chasm Consulting; PO BOX 1457 CAPALABA QLD AUSTRALIA 4157; available at: www.ventsim.com
- Wallace, K. G. (2001, June) "General operational characteristics and industry practices of mine ventilation systems". In Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress, Krakow, Poland, (pp. 229-234).
- Wei, F., Fangping, Z., & Huiqing, L. (2011) "The use of 3D simulation system in mine

ventilation management". *Procedia Engineering*, (pp. 1370-1379).

Widzyk-Capehart, E., & Fawcett, C. (2001) "Life of mine ventilation requirements for Bronzewing mine using VentSim". In *Proc. of the 7th International Mine Ventilation Congress*.

Widzyk-Capehart, E., & Watson, B. (2001) "Agnew gold mine expansion mine ventilation evaluation using VentSim. In *Proc". 7th International Mine Ventilation Congress*.

Zhang, JG., & Suo, C. Y. (2016) "Study of Coal Mine Ventilation System Optimization based on Ventsim". In *MATEC Web of Conferences (Vol. 44)*. EDP Sciences.

Abstract

Ventilation is one of the most important steps in underground mining. This is mostly owing to the fact that the ignorance of this prominent step can cause serious dangers for individuals and even mechanized equipment. The Design and implementation of ventilation in underground coal mines is very difficult issue due to the presence of various dust, coal spontaneous and numerous gases. In today's mining industry with improvement of technology and reduction of surface resources, underground coal mining has been grown dramatically, which it causes the importance of mine ventilation and its implementation in order to provide an appropriate atmosphere for mine workers and equipment.

There are several methods to design underground mine ventilation systems, which nowadays, due to the advancement of technology; computers and various software has become more common and widely spread all over the mining industry. In this thesis, at the first step, the ventilation system of one of the Eastern Coal Mines Company's mines (Western-Razmja) was intended manually and thus, a suitable fan was proposed in this regard. Then, the same system was generated in VENTSIM software carefully in the three-dimensional (3D) space and was evaluated based on the measured values in the manual method. The results obtained by computer simulation illustrated that there is a reliable relation between these two methods. Finally, the total residence of this mine decreased by implementation of some specific variations in ventilation system with considering current intensity.

According to the results of the manual study, the overall current intensity of this mine calculated 19.6 m³/s (considering 604.74 Pa in pressure fall). Moreover, in order to modify the ventilation system, 1 ventilator and 10 regulators were used regarding this issue. In addition, a particular ventilator named VOD-16 (16° Blade-Angle) was presented. After the implementation of resistance reduction plan using VENTSIM software, it was found that the total current of mine has been reduced by 81 Pa with the rate of 19.6 m³/s in a constant current flow.

Keywords: Mine Ventilation, Ventilation Simulation, Resistance Reduction, 3D ventilation Modeling, Razmja Coal Mine, VENTSIM.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

**Redesigning ventilation under ground Coal Mines with current
method (hand held) and using Ventsim software and Compare
Results**

(Case Study: west Razmja coal mine of Eastern Alborz)

By: sadegh maleki

Supervisors:

Dr. Farhang Sereshki

Dr. Ramin rafiee

Advisor:

Keramat Ghanbari

January, 2018