

هوارسانی، تجهیزات و تأسیسات تهویه‌ی معدن



- هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود که بتواند:
- ۱- مشخصات فیزیکی هوای معدن و چگونگی اندازه‌گیری آن‌ها را شرح دهد.
 - ۲- تجهیزات و تأسیسات هوارسانی معدن را تشریح کند.
 - ۳- سیستم‌های تهویه را شرح دهد.
 - ۴- روش‌های مختلف تهویه را بیان کند.
 - ۵- هوارسانی در معادن روباز را تشریح کند.
 - ۶- چگونگی مبارزه با آلودگی هوا در معادن روباز را شرح دهد.

هوارسانی، تجهیزات و تأسیسات تهویه معدن

مشخصات فیزیکی هوای معدن

مهم ترین مشخصه های فیزیکی هوای معدن، شامل جرم مخصوص، وزن مخصوص، دما، رطوبت، سرعت، فشار و گذر هوا است که در این جا به بیان آن ها می پردازیم:

جرم مخصوص: جرم، واحد حجم هواست. هرگاه M جرم و V حجم هوا باشد، جرم

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{مخصوص } \rho \text{ برابر است با:}$$

در شرایط متعارفی یعنی فشار یک اتمسفر و حرارت صفر درجه ی سانتی گراد، جرم مخصوص هوا برابر با $1/295$ کیلوگرم بر متر مکعب است. لیکن به طور کلی، به لحاظ وجود بخار آب در هوا، جرم مخصوص استاندارد آن را $1/2$ در نظر می گیرند.

وزن مخصوص: عبارت است از وزن واحد حجم هوا. هرگاه وزن را با G و حجم را با V

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{نشان دهیم، وزن مخصوص } \gamma \text{ برابر است با:}$$

دما: دما معیاری از گرمی یا سردی یک ماده است. دمای یک ماده به شرطی افزایش می یابد که انرژی جنبشی متوسط ذره های آن افزایش یابد، اگر انرژی جنبشی کاهش یابد، دما کاهش می یابد. بنابراین دما کمی فیزیکی است که با انرژی جنبشی متوسط ذره های یک ماده متناسب است. در اندازه گیری های علمی، اغلب مقیاس دمایی سلسیوس (سانتی گراد) را به کار می برند و از دستگاه های دماسنج برای این منظور استفاده می کنند.

دمای هوایی که در داخل معادن زیرزمینی جریان دارد، تحت تأثیر عوامل مختلفی تغییر می کند. این عوامل شامل تراکم خود به خود هوا در حین پایین رفتن در چاه، گرمای سنگ های اطراف دیواره ی تونل ها و مبادله ی حرارتی سنگ ها و هوای معدن، فرایندهای مختلف حرارت زا و حرارت گیر درون معدن و نظایر آن ها است. در زیر به اختصار عوامل فوق را شرح می دهیم:

تراکم خود به خود هوا: در نتیجه ی پایین رفتن هوا از چاه های قائم و مورّب، بر میزان فشردگی آن اضافه می شود و لذا دمای هوا بالا می رود تراکم خود به خود هوا باعث می شود به ازای هر 10° متر افزایش عمق، یک درجه ی سانتی گراد به دمای هوا افزوده شود.

گرمای سنگ های اطراف دیواره ی تونل ها: با افزایش عمق کارهای معدنی، بر درجه ی

حرارت سنگ های اطراف آن افزوده می گردد. این موضوع تحت عنوان شیب زمین گرمایی تعریف

شده است. مقدار عمقی را که در ازای آن به دمای سنگ‌های زمین یک درجه‌ی سانتی‌گراد اضافه می‌شود، شیب زمین گرمایی می‌گویند. این مقدار در معادن زغال‌سنگ ۳۰ تا ۳۵ متر و در معادن فلزی ۴۵ تا ۵۰ متر و حد متوسط آن ۳۳ متر است.

مبادله‌ی حرارتی سنگ‌ها و هوای معدن: هوایی که از داخل تونل‌ها و چاه‌ها عبور می‌کند، در حین گذر از شبکه‌ی معدن، در تماس با دیواره‌های سنگی اطراف، حرارت آن‌ها را جذب می‌کند و در نتیجه دمای آن بالا می‌رود؛ اگر دمای آن بیش‌تر از سنگ‌های اطراف باشد، آن‌ها را گرم می‌کند. میزان تبادل حرارت به اختلاف درجه‌ی حرارت هوا و سنگ‌ها، ضریب انتقال حرارت سنگ‌ها، شدت جریان هوای معدن و بعضی عوامل دیگر ارتباط پیدا می‌کند.

فرایندهای حرارت‌زا: فرایندهایی را که موجب ایجاد حرارت و بالا رفتن دمای هوا شوند، فرایندهای حرارت‌زا می‌گویند، از جمله‌ی این فرایندها اکسیداسیون زغال‌سنگ «پیریت» و پوسیدن چوب‌های معدن را می‌توان نام برد.

فرایندهای حرارت‌گیر: به فرایندهایی می‌گویند که موجب خنک‌شدن هوای داخل معدن می‌شوند و خلاف فرایندهای حرارت‌زا عمل می‌کنند. تبخیر آب یک فرایند حرارت‌گیر است و باعث پایین آمدن دمای هوای داخل معدن می‌شود.

سایر عوامل: تنفس کارکنان معدن، حرارت چراغ‌های معدنی و خطوط لوله‌ی هوای فشرده از جمله عواملی هستند که باعث افزایش درجه‌ی حرارت هوای معدن می‌شوند.

رطوبت هوای معدن: وزن بخار آبی که در واحد حجم هوا وجود دارد، رطوبت مطلق آن هوا نام دارد و معمولاً برحسب گرم در متر مکعب بیان می‌شود. اما همان‌طور که می‌دانید رطوبت را برحسب درصد بیان می‌کنند. در این‌جا از شاخص رطوبت نسبی استفاده می‌کنند؛ به این ترتیب که نسبت رطوبت مطلق هوا را به مقداری که برای اشباع هوا از رطوبت در آن دما لازم است، تعیین می‌کنند و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌کنند.

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{\text{مقدار رطوبت موجود در هوا (گرم در مترمکعب)}}{\text{مقدار بخار آب لازم جهت اشباع هوا در همان دما (گرم در مترمکعب)}} \times 100$$

فشار هوای معدن: فشار هوا مهم‌ترین عامل در جا به جا شدن هوا است. هرگاه بین دو نقطه، اختلاف فشار هوا وجود داشته باشد، هوا در جهت منطقه‌ی پرفشار به کم فشار جریان پیدا می‌کند. فشار هوا از لحاظ هوارسانی در معدن اهمیت فراوانی دارد. متداول‌ترین واحدهای اندازه‌گیری فشار هوا، کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و کیلوگرم بر مترمربع است.

در معادن فشار هوا به صورت نسبی سنجیده می‌شود. هرگاه فشار هوا نسبت به خلأ مطلق سنجیده شود، آن را فشار مطلق و چنانچه نسبت به فشار آتمسفر سنجیده شود، به آن فشار نسبی می‌گویند.

$$\text{فشار نسبی} + \text{فشار آتمسفر} = \text{فشار مطلق}$$

سرعت هوا در معدن: سرعت هوای معدن عبارت است از فاصله‌ای که هوا در واحد زمان می‌پیماید و این عامل جزء مهم‌ترین مشخصات هوارسانی معدن است اندازه‌ی مجاز سرعت هوای معدن در قسمت‌های مختلف آن، طبق جدول زیر است.

جدول ۱-۲

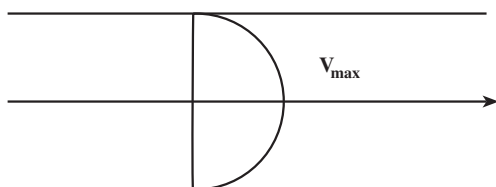
سرعت مجاز برحسب متر در ثانیه	شرح
۰/۲۵	حداقل سرعت هوا
۴	حداکثر سرعت مجاز در قسمت‌های داخلی
۸	حداکثر سرعت مجاز در چاه یا تونل اصلی
۱۰	حداکثر سرعت مجاز در تونل تهویه

به‌طور کلی سرعت کم هوای معدن، در نقاط پیش‌روی تونل‌ها، سرعت متوسط در چاه‌ها یا تونل‌های اصلی و سرعت‌های زیاد در تونل‌های تهویه در نزدیکی دستگاه‌های «وتیلاتور» وجود دارد. **سرعت حقیقی هوای معدن:** عبارت است از سرعت هوا در هر نقطه از مقطع تونل که مقدار آن متفاوت است.

سرعت متوسط: عبارت است از نوعی سرعت فرضی که خارج قسمت گذر هوا Q بر A سطح مقطع تونل است.

$$V_m = \frac{Q}{A}$$

لازم به ذکر است که در معادن، بیش‌تر از سرعت متوسط هوای معدن (در محاسبات) استفاده می‌شود. سرعت دیگری که از آن بحث می‌شود، سرعت ماکزیمم است. بیش‌ترین سرعت هوا را که معمولاً در مرکز مقطع کار معدنی قرار دارد، سرعت ماکزیمم می‌گویند. هرگاه منحنی توزیع سرعت‌ها در مقطع یک تونل را ترسیم کنیم، مشاهده می‌شود که شکل سهمی است که سرعت ماکزیمم در مرکز آن قرار دارد.



شکل ۱-۲- سرعت هوا در سقف، کف و دیواره‌های تونل به علت اصطکاک، کم‌تر از مرکز سطح مقطع تونل است.

سرعت جریان هوا باید در حدود معینی باشد، زیرا جریان سریع هوا موجب ناراحتی افراد می‌شود و بر مقدار گرد و غبار موجود در هوا می‌افزاید و ضمناً در معادن گرم، باعث سرماخوردگی کارکنان معدن می‌گردد. به عکس هرگاه سرعت هوا کم باشد، هوا قادر به حرکت دادن گازها و گرد و غبار در معدن نخواهد بود.

گذر هوا: گذر هوا عبارت است از حاصل ضرب سرعت هوا در سطح مقطع کار معدنی. سرعت جریان هوا در تونل، همان‌طور که گفته شد یک‌سان نیست بلکه سرعت هوا در حوالی محور طولی تونل حداکثر و نزدیک به سقف، کم و دیواره‌های آن کم‌تر است؛ لذا باید مقدار متوسط سرعت یعنی V_m را در مقطع تونل به دست‌آورد و آن را در سطح مقطع آن ضرب کرد.

$$Q = V_m \times A$$

این فرمول گذر هوا را بر حسب مترمکعب در ثانیه یا دقیقه، بیان می‌کند.

نحوه‌ی اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیکی هوای معدن

اندازه‌گیری دمای هوای معدن: درجه‌ی حرارت هوای معدن را می‌توان به وسیله‌ی دماسنج‌های معمولی اندازه‌گیری کرد ولی به علت ظرافت و شکنندگی آن‌ها و عدم امکان ثبت درجه‌ی حرارت، دستگاه‌هایی به کار می‌برند که کمیت حرارتی را به کمیت الکتریکی تبدیل می‌کنند. یک نمونه از دستگاه‌های دماسنج معدنی در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود.



ب



الف

شکل ۲-۲- دماسنج مخصوص اندازه‌گیری دمای هوای معدن الف- قابل حمل، ب- دیواری

پیشنهاد شده است برای اطمینان از اندازه‌گیری صحیح درجه‌ی حرارت، حداقل دو اندازه‌گیری مختلف به فاصله‌ی زمانی ۵ تا ۱۰ دقیقه انجام شود اگر دماهای خوانده شده یک‌سان باشد، صحت اندازه‌گیری قابل تأیید است؛ ضمناً باید توجه داشت که عمل دماسنجی توسط دستگاه، در محل خشک و دور از رطوبت و آب انجام شود.

اندازه‌گیری رطوبت هوای معدن: دستگاه اندازه‌گیری رطوبت هوای معدن (که به رطوبت سنج معروف است و به آن «پسیکرومتر» هم می‌گویند)، دارای دو حرارت سنج دقیق درجه‌بندی شده تا ۱/۰° درجه است که مخزن یکی از آن‌ها آزاد است و هوای معدن از دور آن عبور می‌کند ولی روی مخزن دیگر حرارت سنج را مقداری پارچه‌ی مرطوب قرار می‌دهند. دماسنج دوم دمای هوا را پایین‌تر از حرارت سنج خشک نشان می‌دهد. اختلاف درجه‌ی حرارت این دو حرارت سنج، به‌طور معکوس با رطوبت نسبی هوا متناسب است.

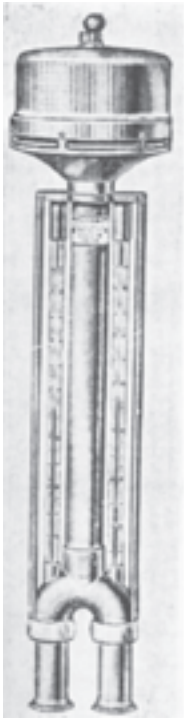
ساختمان رطوبت‌سنج همان‌طور که در شکل (الف-۲-۳) مشاهده می‌شود، از دو حرارت سنج موازی تشکیل شده که در قاب آهنی دسته‌داری نصب شده‌اند. برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوا رطوبت‌سنج را به دست می‌گیرند و آن را دور محور دسته‌ی خود می‌چرخانند که مدتی حدود ۵/۰° تا ۲ دقیقه طول می‌کشد تا درجه‌ی حرارت هر دو دماسنج به حد ثابتی برسد. در این شرایط رطوبت نسبی هوا به‌صددردصد رسیده است زیرا در این حالت، هوا از رطوبت اشباع است و نمی‌تواند آب پارچه‌ی مرطوبی را که دور یکی از دو حرارت سنج پیچیده شده، تبخیر کند.

نوع دیگری از دستگاه‌های رطوبت سنج وجود دارد که دارای بادبزن کوچکی است که در اثر چرخش پروانه‌ی آن، هوا از اطراف دماسنج‌های مرطوب و خشک عبور می‌کند و در حقیقت به جای عمل دستی چرخاندن رطوبت‌سنج، هوا را به وسیله‌ی بادبزن کوچکی به حرکت درمی‌آورند. اساس کار و اندازه‌گیری آن مشابه نوع رطوبت سنج دستی است شکل (ب-۲-۳).

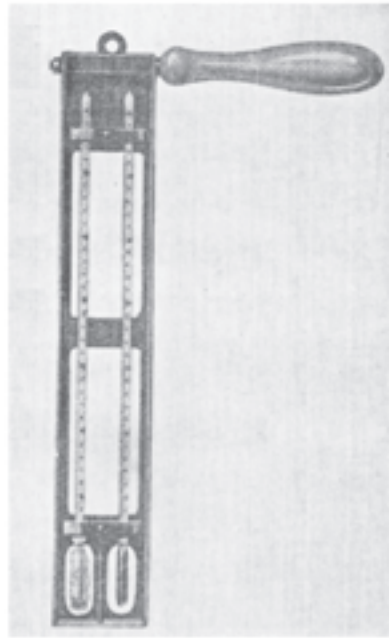
اندازه‌گیری فشار هوای معدن: اندازه‌گیری فشار هوای معدن معمولاً به وسیله‌ی دستگاه‌های فشارسنج فلزی انجام می‌شود که فشار ۶۰۰ تا ۷۹۰ میلی‌متر جیوه را نشان می‌دهند.

فشارسنج معمولی دارای دقت محدودی حدود ۵/۰° میلی‌متر آب است و برای کارهای دقیق کاربرد چندانی ندارد. برای اندازه‌گیری اختلاف فشار هوای معدن در دو نقطه‌ی معین، فشار مطلق این دو نقطه را به وسیله‌ی فشارسنج‌های معمولی اندازه‌گیری می‌کنند و اختلاف فشار آن دو را به عنوان اختلاف فشار دو نقطه در نظر می‌گیرند شکل (۴-۲).

دستگاه‌هایی به نام فشار نگار (باروگراف) وجود دارد که فشار هوای معدن را به‌طور مداوم اندازه‌گیری می‌کند.

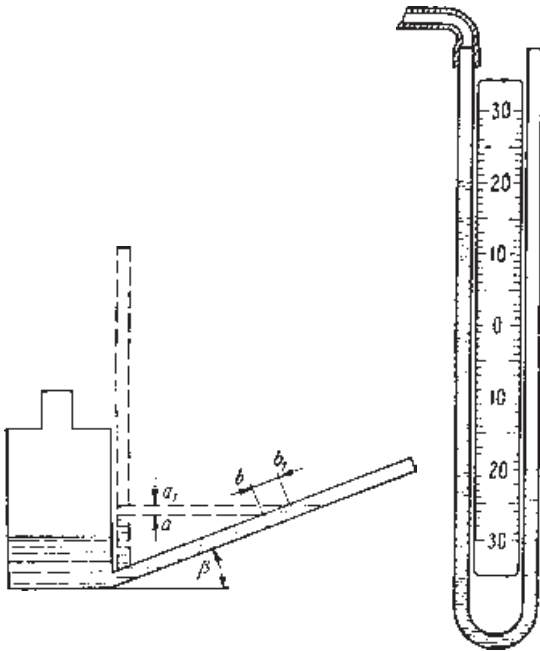


ب - نوعی رطوبت سنج فن دار



الف - رطوبت سنج دورانی

شکل ۳-۲ - دستگاه رطوبت سنج



ب - فشارسنج معمولی ج - فشارسنج مایل (برای اندازه گیری دقیق تر)

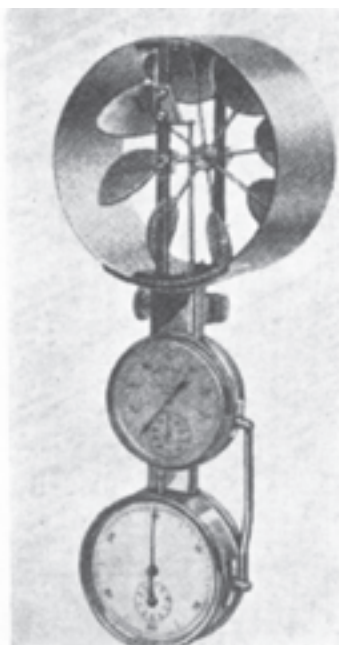
شکل ۴-۲ - فشارسنج



الف - فشارسنج دیجیتالی

اندازه‌گیری سرعت هوای معدن: برای اندازه‌گیری سرعت هوای معدن در نقاط مختلف، عموماً از دستگاه‌های «آنومتر» یا «بادسنج» استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها از یک پروانه و یک دستگاه دور شمار تشکیل شده‌اند که در نتیجه‌ی گردش پروانه، عقربه‌ی دورسنج حرکت کرده، تعداد دورها را مشخص می‌کند. یک نمونه از این دستگاه‌ها «بادسنج فنجان‌ی» نام دارد که از چهار نیم‌کره‌ی توخالی متصل به یک محور تشکیل شده است. در نتیجه‌ی عبور هوا، فنجان‌ها می‌چرخند و محور را به‌گردش درمی‌آورند و تعداد دورها روی صفحه‌ی مدرج مشخص می‌شود و براساس آن، سرعت هوا را اندازه‌گیری می‌کنند.

صفحه‌ی مدرج دستگاه شامل یک دورشمار و یک ثانیه شمار است که تعداد دور پروانه را در مدت زمان معین، تعیین می‌کند و براساس یک منحنی شاخص، می‌توان سرعت جریان هوا را برحسب متر در دقیقه و یا در ثانیه تعیین کرد. آنومتر برای سرعت‌های یک متر در ثانیه حساس است و از طرفی چون برای به‌دست آوردن سرعت متوسط هوا لازم است که آنومتر در تمام سطح مقطع تونل حرکت داده شود؛ لذا باید احتیاط کرد که سرعت جابه‌جا کردن آن از یک دهم سرعت جریان هوا تجاوز نکند. قبل از به‌کار انداختن دور شمار، باید دستگاه را چند ثانیه در معرض جریان هوا قرار داد تا سرعت پروانه به حداکثر مقدار خود برسد. آنومتر تا ۲ درصد به‌طور تقریب، سرعت هوا را تعیین می‌کند.



شکل ۵-۲- آنومتر درجه در پایین

برای به کار انداختن و توقف دستگاه، از دکمه‌ی کوچکی که روی دستگاه وجود دارد استفاده می‌کنند شکل‌های (۲-۵) و (۲-۶).



شکل ۲-۶- آنومتر-درجه در مرکز

سرعت سنج (ولومتر): این دستگاه دارای یک پروانه‌ی دو شاخه است که در اثر جریان هوا به دور محور خود گردش کرده، وضع تعادلی پیدا می‌کند که متناسب با سرعت هوا است. ولومتر برای سرعت‌های نیم متر در ثانیه حساس است و بر خلاف آنومتر می‌تواند تغییرات سرعت جریان هوا را در هر لحظه نشان دهد شکل (۲-۷).



ب

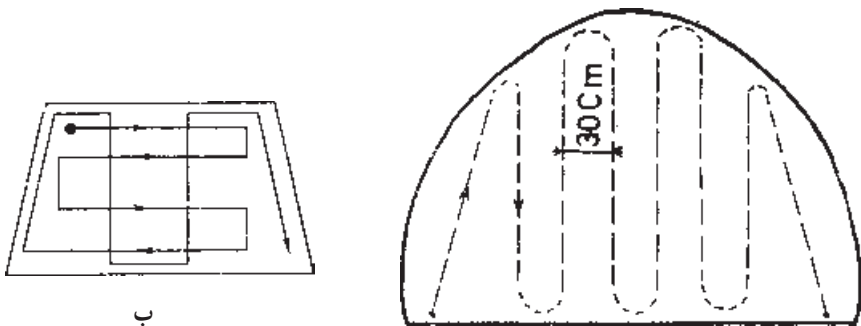


الف

شکل ۲-۷- ولومتر دیجیتالی

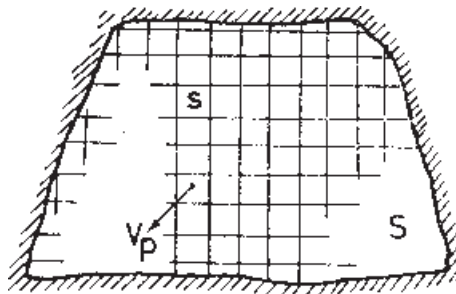
اندازه‌گیری گذر هوا: هم‌چنان که گفته شد، گذر هوا عبارت است از حاصل ضرب سرعت هوا در مقطع موردنظر. سرعت جریان هوا در تونل‌ها به‌طور یک‌نواخت نیست بلکه در حوالی محور تونل حداکثر و در نزدیکی سقف، کف و دیواره‌ی آن کم‌تر است؛ لذا باید سرعت متوسط V_m را در مقطع تونل به‌دست آورد. برای این منظور، چند طریقۀ وجود دارد:

طریقۀ اول: آنومتر یا ولومتر را در وضعیت مناسبی گرفته، در سطح مقطع قائم تونل مطابق آن چه در شکل‌های زیر دیده می‌شود حرکت می‌دهند شکل (۸-۲).



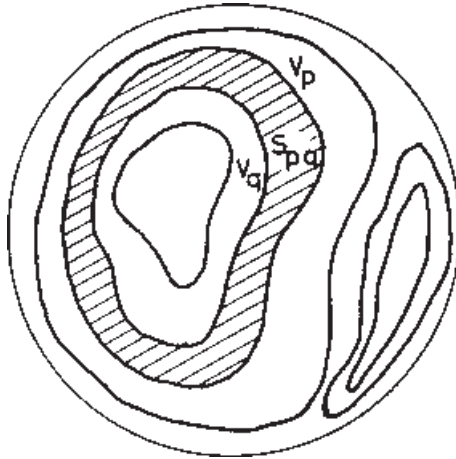
شکل ۸-۲- جهت حرکت دادن آنومتر در مقطع تونل برای اندازه‌گیری سرعت هوا

طریقۀ دوم: برای مواردی نظیر اندازه‌گرفتن سرعت متوسط هوا در پخش‌کننده (دیفیوز) ونتیلاتورها، مقطع را به وسیلۀ سیم‌های نازکی به چهارضلعی‌هایی تقسیم کرده و سرعت هوا را در مرکز هر یک از آن‌ها اندازه می‌گیرند و متوسط آن‌ها را به‌دست می‌آورند شکل (۹-۲).



شکل ۹-۲- اندازه‌گیری سرعت هوا به وسیلۀ سیم‌های نازک

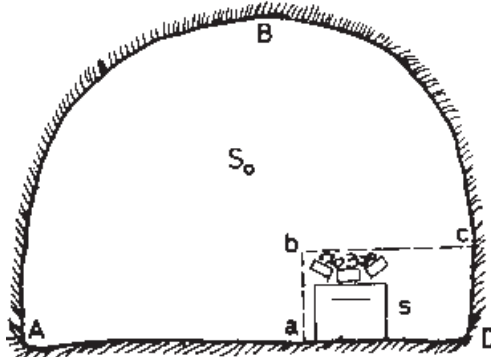
طریقه‌ی سوم: هرگاه مقطع تونل به صورت دایره باشد، به وسیله‌ی چند دایره آن را به حلقه‌هایی تقسیم می‌کنند که سطح آن‌ها با هم برابر باشد و میانگین سرعت دو دایره‌ی طرفین هر حلقه را برای سطح آن حلقه محسوب می‌کنند. این طریقه را در لوله‌ی ورودی و نیتلاتورهای بزرگ به کار می‌برند شکل (۱۰-۲).



شکل ۱۰-۲- استفاده از دواير برای اندازه‌گیری سرعت هوا

روش‌های مختلف دیگری نیز وجود دارد که از بیان آن‌ها در این جا خودداری می‌شود. نکته‌ی مهم این است که در تونل‌هایی که در آن‌ها به طور ثابت وسایلی مثل نوار باربری، لوله‌ی تهویه و غیره نصب شده است، مقداری از مقطع، به وسیله‌ی آن‌ها اشغال می‌شود و ضمناً محیط آن‌ها سرعت هوا را در اطراف خود کاهش می‌دهد شکل (۱۱-۲). هرگاه سطح مقطع آزاد تونل S_0 و مجموع سطح تجهیزات نصب شده S باشد، معمولاً نسبت S بر S_0 در حدود $1/2$ است اگر Q_0 گذر هوا در مقطع آزاد تونل و Q گذر هوای مورد محاسبه باشد، براساس آزمایش‌های به عمل آمده معلوم شده است که ضریب $1/0.7$ را باید در محاسبه منظور کرد یعنی

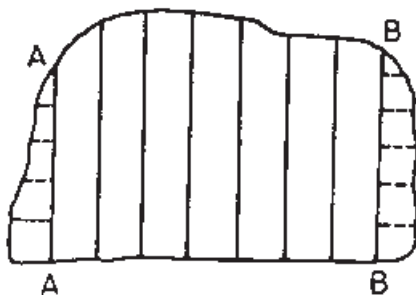
$$Q = 1/0.7 Q_0$$



شکل ۱۱-۲- اثر تجهیزات ثابت در کم شدن سطح مقطع عبور هوا

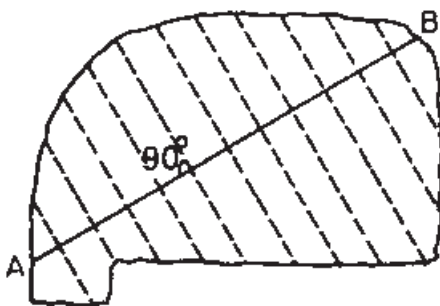
تعیین سطح مقطع تونل: اگر مقطع تونل دوزنقه، دایره یا اشکال منظم هندسی باشد، محاسبه‌ی سطح مقطع آن‌ها آسان است ولی هرگاه شکل سطح مقطع نامنظم باشد، در این صورت با روش‌های مختلف، باید نقشه‌ی آن را برداشت کرد و سطح آن را به دست آورد.

روش اول: به وسیله‌ی شاقول‌هایی که در فواصل مساوی در تونل می‌آویزند، سطح مقطع را به چهار ضلعی‌های طولی تقسیم کرده، به ترتیبی که در شکل ملاحظه می‌شود سطح هر قسمت را حساب می‌کنند شکل (۲-۱۲).



شکل ۲-۱۲- استفاده از شاقول برای اندازه‌گیری مساحت سطح مقطع

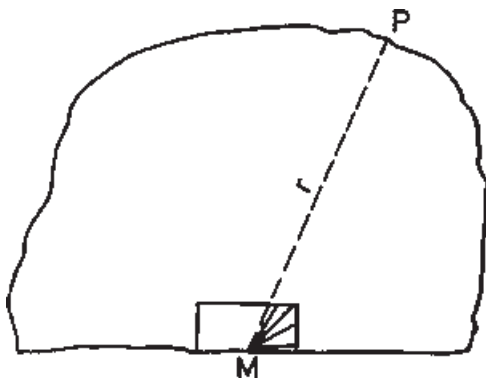
روش دوم: بین دو نقطه‌ی A و B یک نخ می‌بندند و بعد با اندازه‌گیری عرض تونل در امتداد عمود بر AB در نقاط مختلف آن را به چهار ضلعی‌هایی قسمت کرده، سطح آن را به دست می‌آورند شکل (۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳- استفاده از نخ جهت اندازه‌گیری مساحت سطح مقطع

روش سوم: در این طریقه یک صفحه‌ی چهارضلعی مقوایی را به طور قائم در قسمت وسط، پایین مقطع قرار می‌دهند سپس امتدادهای MP را روی مقوا رسم کرده، طول آن‌ها نیز یادداشت می‌کنند و در پهلوی خط مربوطه می‌نویسند. به این طریق شکل دقیق سطح مقطع، روی مقوا رسم می‌گردد که می‌توان

آن را به آسانی اندازه گیری کرد. به این طریق روش قطبی هم می گویند شکل (۲-۱۴).



شکل ۱۴-۲- استفاده از صفحه‌ی مقوایی برای اندازه‌گیری مساحت مقطع

روش چهارم: محیط مقطع تونل را به وسیله‌ی یک لامپ مخصوص روشن می کنند و در نتیجه، سطح مقطع نمایان می شود و به وسیله‌ی دوربین عکاسی از آن عکس می گیرند و با به دست آوردن شکل دقیق مقطع، مساحت آن را محاسبه می کنند شکل (۲-۱۵).
در معادن دارای گازمتان، باید از دوربین‌های با فلاش ضد انفجار عکاسی کرد.



شکل ۱۵-۲- اندازه‌گیری مساحت مقطع به روش عکاسی

تجهیزات و تأسیسات هوارسانی معدن

ونتیلاتورها: مهم‌ترین وسیله برای هوارسانی به داخل معدن هستند که به وسیله‌ی آن‌ها هوا در بخش‌های مختلف شبکه‌ی معدن، شامل تونل‌های اصلی و فرعی، چاه‌ها و کارگاه‌های استخراج زیرزمینی جریان پیدا می‌کند. ونتیلاتورها وظیفه دارند هوای سالم و پاکیزه را به افرادی که داخل معدن کار می‌کنند، برسانند و گازهای سمی و قابل انفجار، گردوغبار و مواد زیان‌آور را از معدن خارج کنند شکل (۱۶-۲). انواع ونتیلاتورها عبارتند از:



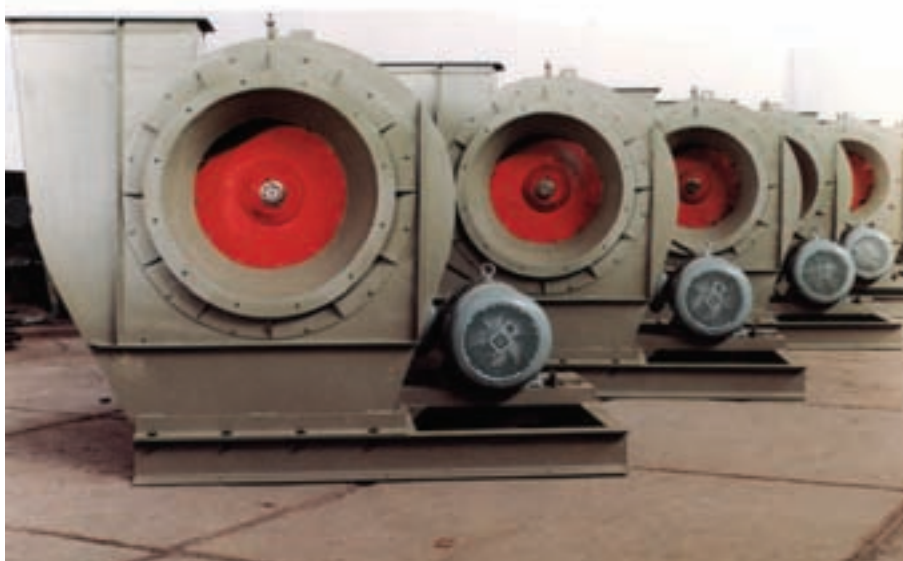
شکل ۱۶-۲- نمایی از دهانه‌ی خروجی
ونتیلاتور سرچاه



شکل ۱۷-۲- ونتیلاتورگریز از مرکز قبل از نصب

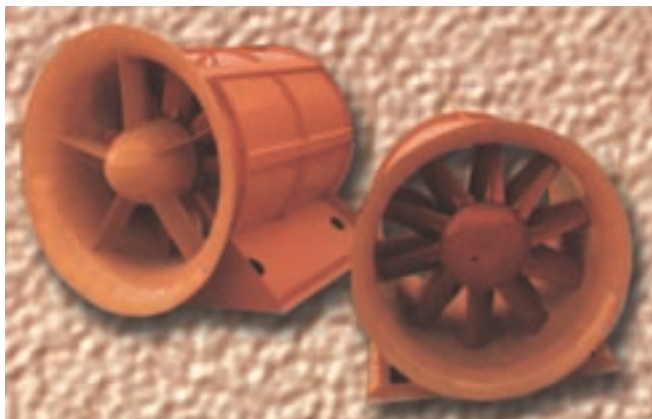
۱- ونتیلاتورگریز از مرکز (سانتریفوژ): در این نوع ونتیلاتورها تعداد زیادی پره به یک چرخ گردنده متصل است که یک موتور آن‌ها را می‌چرخاند و در نتیجه هوایی که از طریق یک مجرای مرکزی وارد دستگاه شده، پس از تغییر جهت ۹۰ درجه و گرفتن انرژی از طریق مجرای حلزونی اطراف چرخ و در ادامه‌ی آن کانال خروجی، به بیرون هدایت می‌شود شکل‌های (۱۷-۲) و (۱۸-۲).

به ونتیلاتورهای مذکور و نتیلاتور «رادپال» یا «شعاعی» هم می‌گویند. نمونه‌ی این نوع دستگاه‌ها، کولرهای آبی خانگی هستند که عموماً آن‌ها را دیده‌اید. تیغه‌های این نوع ونتیلاتورها ممکن است تخت یا خمیده به طرف جلو یا عقب باشند. کاربرد تیغه‌های ونتیلاتور خمیده به عقب در صنعت بیش‌تر است.



شکل ۱۸-۲- نمایی از ونتیلاتورهای گریز از مرکز

۲- ونتیلاتور هلیکوپد (محوری): این نوع ونتیلاتورها حداقل دو پروانه دارند که یکی از آن‌ها ثابت است و زاویه‌ی تمایل شاخه‌های آن‌ها قابل تغییر است و هوا از یک طرف وارد و از طرف مقابل خارج می‌شود. ونتیلاتورهای هلیکوپد با سرعت بیش‌تری دوران می‌کند؛ لذا می‌توان آن‌ها را مستقیماً به موتور الکتریکی متصل کرد (شکل ۱۹-۲).



شکل ۱۹-۲- ونتیلاتورهای محوری

در شکل‌های (۲-۲۰) و (۲-۲۱) و (۲-۲۲) نمونه‌هایی از کاربرد این ونتیلاتورها را در معادن

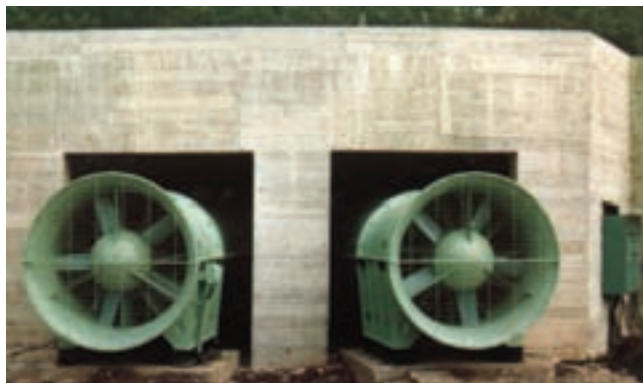
می‌بینیم.



شکل ۲-۲۰- ونتیلاتور جهت تهویه تونل



شکل ۲-۲۱- ونتیلاتور جهت تهویه سرچاه



شکل ۲-۲۲- دو ونتیلاتور جهت تهویه

برای تغییر دادن مشخصات هوادهی ونتیلاتورهای هلیکوپد، سرعت دوران و یا تمایل شاخه‌ی پروانه را تغییر می‌دهند. مثلاً در ابتدای کار بهره‌برداری از معدن که نیاز به هوا کم‌تر است، آن را با سرعت و دور کم‌تر و پس از توسعه یافتن آن، دور و سرعت ونتیلاتور را افزایش می‌دهند.

پنکه‌های خانگی نمونه‌ی خوبی برای ونتیلاتورهای مذکور هستند که دور و سرعت آن‌ها نیز قابل تنظیم است. برای تغییر تمایل پره‌ها در بعضی از ونتیلاتورها، می‌توان زاویه‌ی تمایل پره‌ها را به وسیله‌ی یک موتور الکتریکی کمکی تغییر داد و یا این که ممکن است این عمل به‌طور خودکار انجام شود. در ونتیلاتورهای معمولی نیز ونتیلاتور را متوقف می‌کنند و زاویه‌ی پره‌ها را تغییر می‌دهند.

طرز نصب ونتیلاتور: ونتیلاتور را نزدیک چاه و روی فنداسیون مناسبی نصب می‌کنند و به وسیله‌ی یک راهرو یا کانال زیرزمینی چاه را به آن مربوط می‌کنند شکل (۲۴-۲). اندازه و نیم‌رخ کانال و پوشش جداره‌ی داخلی آن را طوری انتخاب می‌کنند که مقاومت آن به حداقل ممکن برسد و برای آن که تمام هوای داخل معدن از ونتیلاتور عبور کند، باید سرچاه را مسدود کرده برای این منظور از هوابندهای مخصوصی استفاده می‌شود.

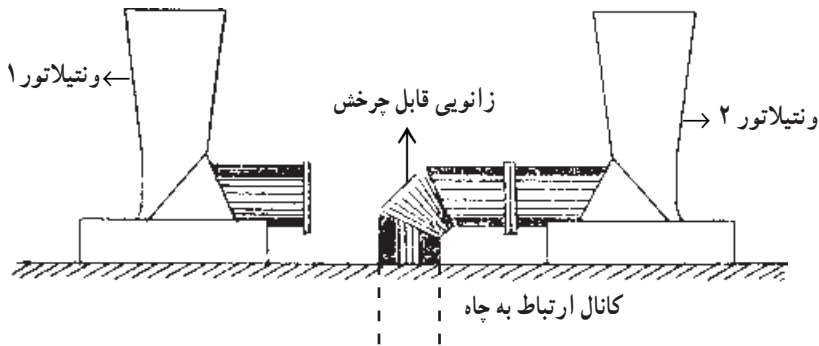
علاوه بر ونتیلاتور اصلی معدن، یک ونتیلاتور کمکی نیز در کنار آن نصب می‌کنند که اگر ونتیلاتور اصلی به دلایلی خراب شد، بلافاصله بتوان از آن برای هوارسانی معدن استفاده کرد تا جریان تهویه، قطع نشود. این ونتیلاتور کمکی نیز به همان راهرو یا کانال زیرزمینی ونتیلاتور اصلی ارتباط پیدا می‌کند شکل (۲۳-۲).



شکل ۲۳-۲- نمایی از ونتیلاتورهای اصلی و کمکی



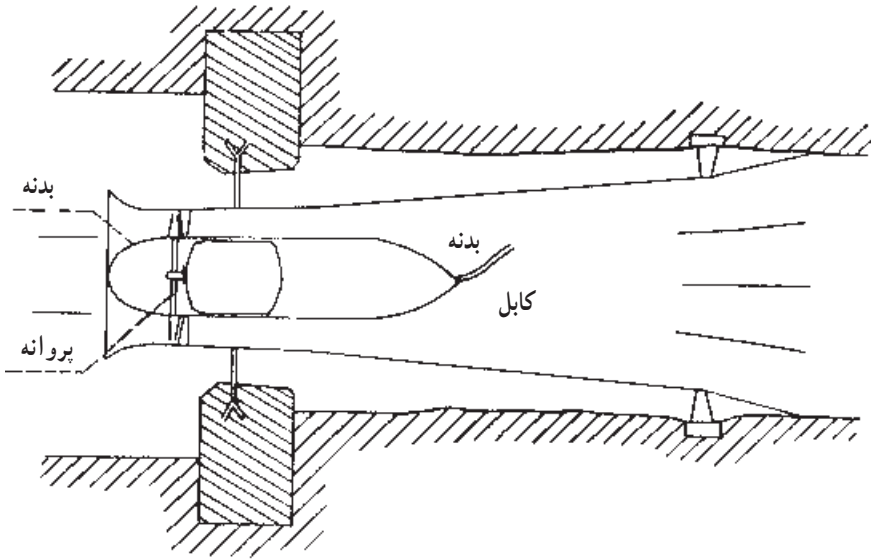
شکل ۲۴-۲- نمای کلی از ونتیلاتور اصلی



شکل ۲۵-۲- ونتیلاتورها و زانویی جهت زیر باربردن یکی از ونتیلاتورها

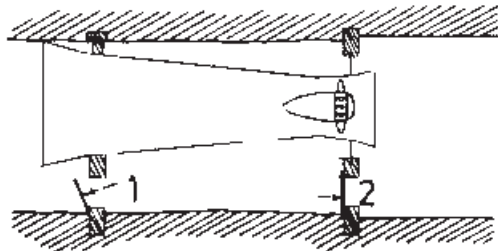
نتیلاتورها را به طریقی نصب می کنند که بتوان در مدت ۳ تا ۵ دقیقه ونتیلاتور یدکی را مورد استفاده قرار داد و برای این کار کانال ارتباط به چاه را وارد فضایی می کنند که هر دو ونتیلاتور به آن مربوط می شود یک روش آن است که با زانویی فلزی قابل چرخش این عمل را انجام می دهند شکل (۲-۲۵).

برای نصب ونتیلاتور در داخل معدن از دستگاه‌هایی استفاده می‌کنند که دارای حجم کم‌تری باشند و آن‌را در راهرو مخصوص تهویه معدن که زمین و جداره‌ی آن محکم باشد در دیواره‌ای از بتن نصب می‌کنند شکل (۲-۲۶).



شکل ۲-۲۶- مقطع ونتیلاتور و استحکامات

هرگاه بخواهند از محلی که ونتیلاتور قرار دارد افراد نیز عبور کنند در کنار ونتیلاتور حداقل دو درب تهویه مخصوصی تعبیه می‌کنند که همیشه بایستی یکی از درب‌ها بسته باشد تا افراد بتوانند از طریق آن‌ها رفت و آمد کنند شکل (۲-۲۷).



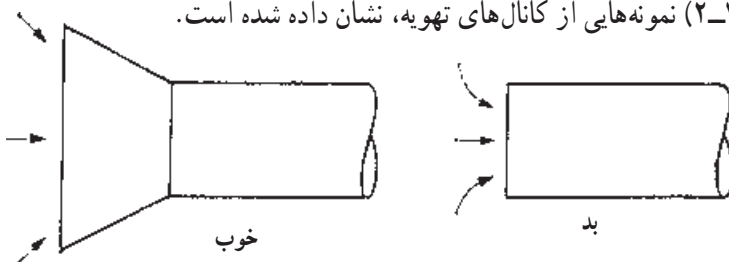
شکل ۲-۲۷- دو درب در کنار ونتیلاتور به عنوان راه روی عبور و مرور

کانال‌ها و مجاری تهویه: به منظور هدایت گردوغبار ایجاد شده در معدن به خارج، از کانال‌ها و مجاری تهویه استفاده می‌شود. کانال‌ها، باید تا حد ممکن به گونه‌ای باشند که مقاومت کم‌تری در برابر جریان هوا داشته باشند و دارای پیچ و خم‌های زیاد و تغییرات ناگهانی نیز نباشند.

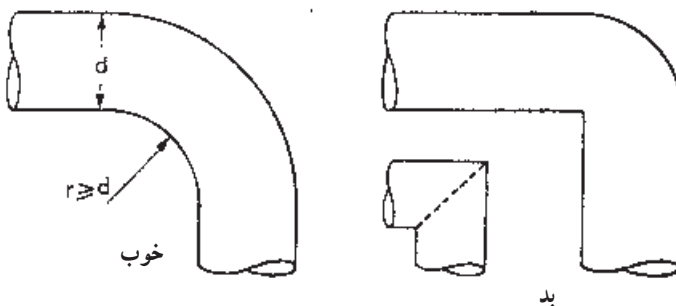


شکل ۲-۲۸- لوله‌های تهویه در اندازه‌های مختلف

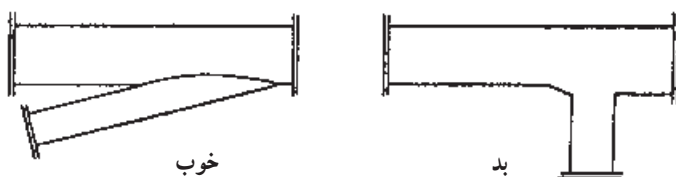
جریان مناسب هوا در کانال‌ها به قطر کانال‌ها، تعداد، موقعیت و شکل مراکز مکش یا دهش، هم‌چنین، به طول لوله‌کشی، تعداد و شکل قوس‌ها و اتصالات بستگی دارد. در شکل‌های (۲-۲۹) و (۲-۳۰) نمونه‌هایی از کانال‌های تهویه، نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۹- ورودی کانال



شکل ۲-۳۰- قوس‌ها



شکل ۲-۳۱- انشعاب‌ها



شکل ۳۲-۲- کاربرد لوله‌های تهویه

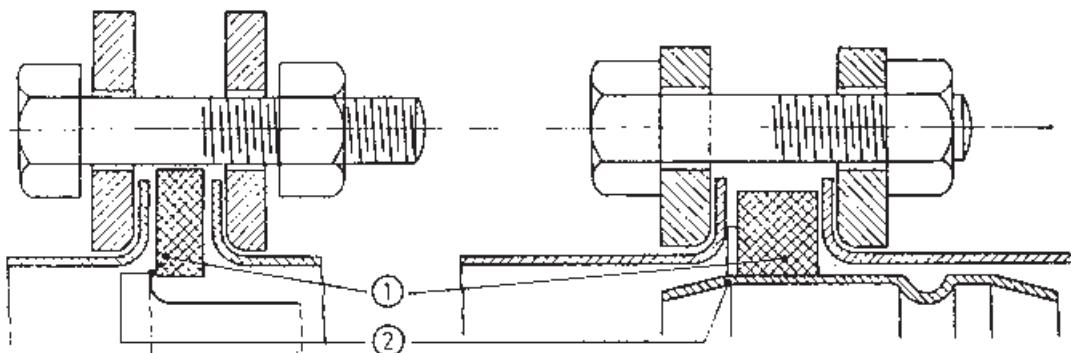


شکل ۳۳-۲- لوله‌های تهویه‌ی انعطاف‌پذیر

برای تهویه‌ی کارگاه‌ها و بن‌بست‌های در حال پیش‌روی از لوله‌ها و کانال‌های مختلفی استفاده می‌شود که شامل فولادی بی‌درز، جوش‌کاری شده یا پرچ شده، آهن گالوانیزه‌ی لحیم شده، تخته‌های خمیده‌ی سیم پیچی شده، تخته‌ی چند لایه‌ی فایبرگلاس، پارچه‌ی قابل انعطاف، کرباس یا پارچه‌های با الیاف مصنوعی می‌باشند. کلیه‌ی این وسایل به جز انواع قابل انعطاف برای دهش یا مکش هوا مناسب است شکل‌های (۲-۳۲) و (۲-۳۳).

انتخاب مجاری تهویه: در انتخاب لوله‌های مناسب تهویه، عوامل بسیاری دخالت دارند. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به عوامل اقتصادی، طول نهایی لوله‌ی تهویه، مدت بهره‌برداری از لوله، موقعیت محیط و فشار لازم در مورد کار اشاره کرد. باید بدانیم که اکثراً هوای منتقل شده به کارگاه استخراج، کم‌تر از ۵۰ درصد هوای تولید شده به وسیله‌ی ونتیلاتور است. علت این امر، مقاومت دیواره‌ها و موانع در مجاری و هم‌چنین نشت هوا از آن‌ها است. مقدار نشتی هوا در لوله‌ها به ازای هر ۳۰ متر، نباید بیش از یک تا دو درصد مقدار کل حجم هوای تولیدی به وسیله‌ی ونتیلاتور باشد. نوع و جنس لوله‌ی تهویه نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان نشتی آن دارد.

روش اتصال در لوله‌های انعطاف‌پذیر گوناگون است در شکل (۲-۳۵) دو نوع از اتصالات را می‌بینیم. در لوله‌های فلزی جوش کاری شده، شکل‌های (۲-۳۶) و (۲-۳۷) نشتی کم‌تری نسبت به لوله‌های فلزی با درزهای پرچ شده وجود دارد. هم‌چنین استفاده از اتصالات فلانچ (Flange) با واشرهای لاستیکی در لوله‌های فلزی بسیار مناسب است شکل (۲-۳۴).



شکل ۲-۳۴- اتصال فلانچ به‌کاررفته در لوله‌های تهویه‌ی ساخته شده از جنس گالوانیزه
۱- واشر لاستیکی، ۲- تکیه‌گاه مهره و ماسوره



شکل ۲-۳۵- دو نوع اتصال لوله‌های انعطاف‌پذیر تهویه

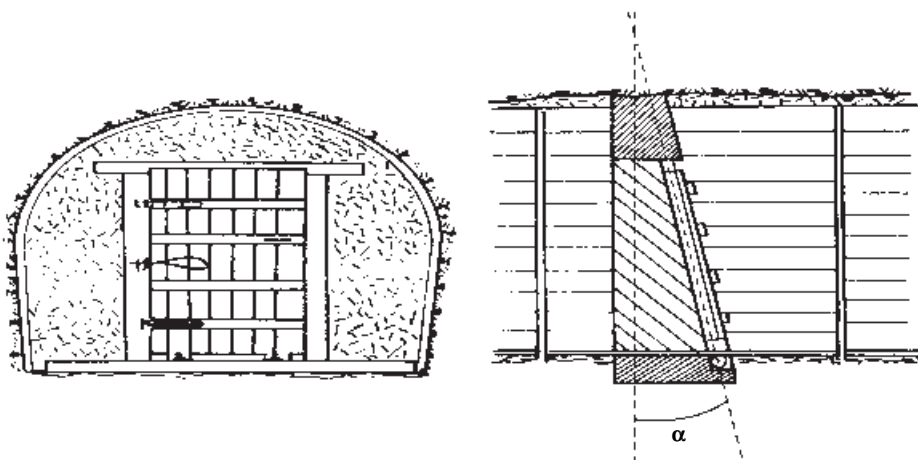


شکل ۳۶-۲- لوله‌های فلزی تهویه با اتصالات جوشکاری شده



شکل ۳۷-۲- لوله‌های فلزی تهویه با اتصالات جوشکاری شده

درب‌های تهویه: بعضی از شاخه‌ها و مسیرهای تهویه‌ی معدن، به مقدار بیش‌تری هوا نیاز دارند که آن هوا به‌طور طبیعی و آزاد تأمین نخواهد شد. اصولاً به‌وسیله‌ی درب‌های تهویه و یا دیافراگم و یا سد و یا صندوقه و غیره، هوا را به محل‌های مورد نیاز می‌رسانند و از به وجود آمدن مدارهای کوتاه که باعث به هدر رفتن هوا می‌شوند، جلوگیری می‌کنند.



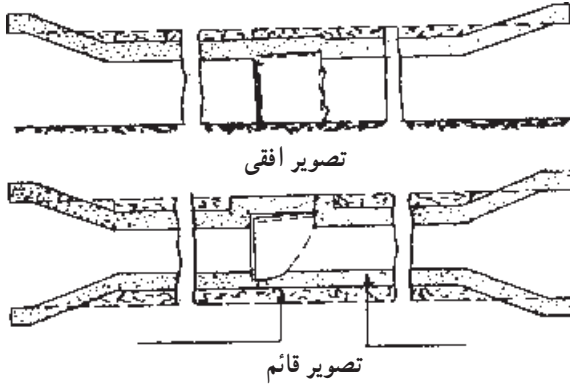
شکل ۳۸-۲- درب تهویه‌ی غیر قائم

برای جلوگیری از برقراردن مدار کوتاه در شبکه‌ی تهویه‌ی معدن در ضمن امکان عبور و مرور در گالری، معمولاً درب تهویه نصب می‌کنند. اندازه‌ی درب‌ها باید مطابق احتیاجات باشد مثلاً اگر قطارهای باربری باید از آن عبور کنند، عرض و ارتفاع درها را حداقل ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر بیش‌تر از اندازه‌های لوکوموتیو می‌گیرند. درها را با تخته و یا با آهن می‌سازند. درهای تخته‌ای ارزان‌تر است ولی درهای آهنی غیرقابل سوختن هستند، ضمناً محکم‌تر و غیرقابل نفوذ نیز می‌باشند درب‌های فلزی برای بعضی از محل‌های داخل معدن نظیر توقف‌گاه لوکوموتیوها - محل شارژ باطری‌ها - تلمبه‌خانه‌ها - انبار مواد منفجره و غیره اجباری است.

درب را در محل‌هایی که دیواره‌ی گالری محکم باشد، نصب می‌کنند و پس از آن که وسایل نگه‌داری را از آن مکان پیاده کردند، چهارچوب درب را با آجر و یا بتون می‌سازند و درب را در آن نصب می‌کنند. در چهارچوب درب‌ها، یک نوار لاستیکی قرار می‌دهند که هوا از فاصله‌ی بین لنگه‌ی درب‌ها و چهارچوب عبور نکند. درب‌های تهویه، باید همیشه بسته باشند و برای این منظور در درب‌هایی که به صورت قائم کار گذاشته می‌شوند از یک قطعه کابل فولادی، وزنه و یا وسیله‌ی

مکانیکی برای بستن درب استفاده می‌شود.

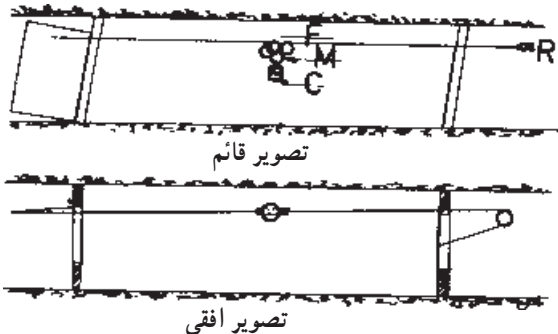
الف - دیافراگم: هرگاه بخواهند از مقدار هوایی که از یک شاخه عبور می‌کند، بکاهند یک دیافراگم نصب می‌کنند. دیافراگم تشکیل می‌شود از یک درب تهویه که در قسمت بالای لنگه‌ی درب، یک درچه تعبیه شده است و غالباً با قرار دادن یک کتو، می‌توانند سطح آن را تنظیم کنند. ممکن است دیافراگم را به طور ثابت پهلوی درب تهویه نصب کنند و در این صورت تمامی سطح درب پُر می‌باشد شکل (۲-۳۹).



شکل ۲-۳۹- مقاطع دیافراگم

در معادنی که امکان وقوع انفجار بیش‌تر باشد، باید درب‌های محکمی بسازند که در مقابل انفجار مقاومت کند و یا آن که نزدیک به درب معمولی، یک درب اطمینان که معمولاً باز است قرار می‌دهند و در مواقع ضرورت فوراً آن را می‌بندند.

در گالری‌های اصلی و هر جا که عبور و مرور زیاد باشد، دو درب به فاصله‌ی کافی از یک دیگر قرار می‌دهند به طوری که بین آن‌ها، یک قطار کامل استقرار پیدا کند. بین درب‌ها ارتباطی برقرار می‌کنند که در هر زمان فقط یکی از آن‌ها را بتوان باز کرد. برای این منظور طریقه‌های مختلفی به کار برده شده که ساده‌تر از همه یک کابل فولادی و وزنه است. در این طریقه دو سر کابل را به درب‌ها متصل می‌کنند شکل (۲-۴۰).



شکل ۲-۴۰- دیافراگم

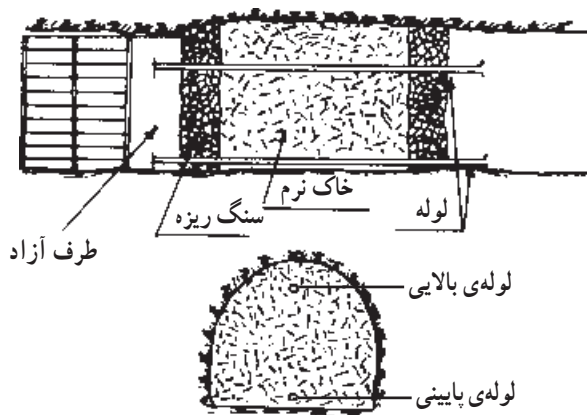
در وسط یک وزنه‌ی C قرار می‌دهند. هرگاه یکی از درب‌ها را باز کنند، وزنه‌ی C به طرف بالا کشیده می‌شود و درب دوم باز نمی‌شود.

هرگاه اختلاف فشار بین دو طرف درب‌های تهویه زیاد باشد و باز کردن آن‌ها را مشکل سازد، دریچه‌ی کوچکی در وسط درب تعبیه می‌کنند که اول آن را باز کرده آن‌گاه تمام درب را می‌کشایند.

ب — پرده‌های تهویه: برای آن‌که مقاومت شاخه‌ای از تهویه را به‌طور موقت زیاد کنند، پرده به‌کار می‌برند؛ برای مثال اگر سقف گالری ریزش کرده و در آن حفراهی تولید شده باشد، یا برای رساندن هوا به زاویه‌ای در کارگاه و غیره، از پرده استفاده می‌کنند. گاهی نیز به‌طور دائم به‌جای درب‌های تهویه، از پرده استفاده می‌کنند مانند جلوی سطح مورب و یا در گالری‌هایی که مجهز به نوار باربری باشد. پرده‌های تهویه را با پارچه‌های مخصوص که آغشته به مواد ضد آتش شده است و یا با نوارهای باربری فرسوده، می‌سازند.

ج — سد‌های تهویه: از نظر تهویه، سد‌هایی که می‌سازند بر دو نوع به‌شرح زیر است:
۱ — سد‌های ساده: منظور از برقرار کردن سد‌های ساده آن است که از ورود اشخاص به آن طرف سد، ممانعت به‌عمل آید (منطقه‌ی خطرناک).

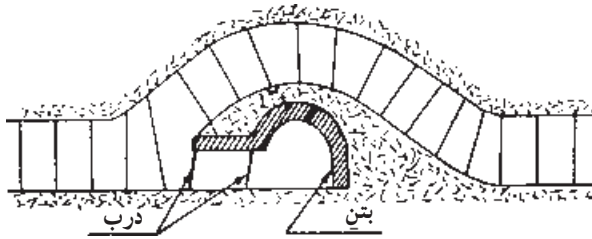
۲ — سد‌های نفوذ ناپذیر: دیواره‌هایی هستند که کاملاً مانع از عبور هوا می‌شوند.



شکل ۴۱-۲ — سد نفوذ ناپذیر

این سد‌ها باید از لحاظ هوا، نفوذ ناپذیر باشند و اگر به‌وسیله‌ی لاشه‌سنگ ساخته شوند معمولاً دو دیواره به‌فاصله‌ی کافی می‌سازند و بین آن‌ها خاک می‌ریزند. در دیواره‌ی سد یک لوله به طرف پایین، برای عبور آب و یک لوله به طرف بالا، برای نمونه‌برداری از اتمسفر پشت سد، نصب می‌کنند. (شکل ۴۱-۲).

د- تلاقی‌ها: هرگاه گالری‌های دو مسیر مختلف تهویه یک دیگر را قطع کنند، در محل تلاقی آن‌ها، ترتیبی می‌دهند که یکی از آن‌ها از بالای دیگری عبور کند و ضمناً دارای دری باشد که معمولاً بسته بماند. ساختمان تلاقی مذکور، باید در مقابل انفجارهای احتمالی مقاومت کند شکل (۲-۴۲).



شکل ۲-۴۲

ه- صندوقه: قسمتی از مقطع گالری را به وسیله دیواره و یا تخته از کل مقطع، مجزا می‌کنند طوری که هوا از یک قسمت وارد شود و از بقیه برگردد. این طریقه فقط در کارهای مقدماتی به کار برده می‌شود ولی بهتر است که لوله‌ی تهویه به کار ببرند. شکل (۲-۴۳) نوع لوله‌ای آن را در دو وضعیت نشان می‌دهد.

درب‌های تهویه

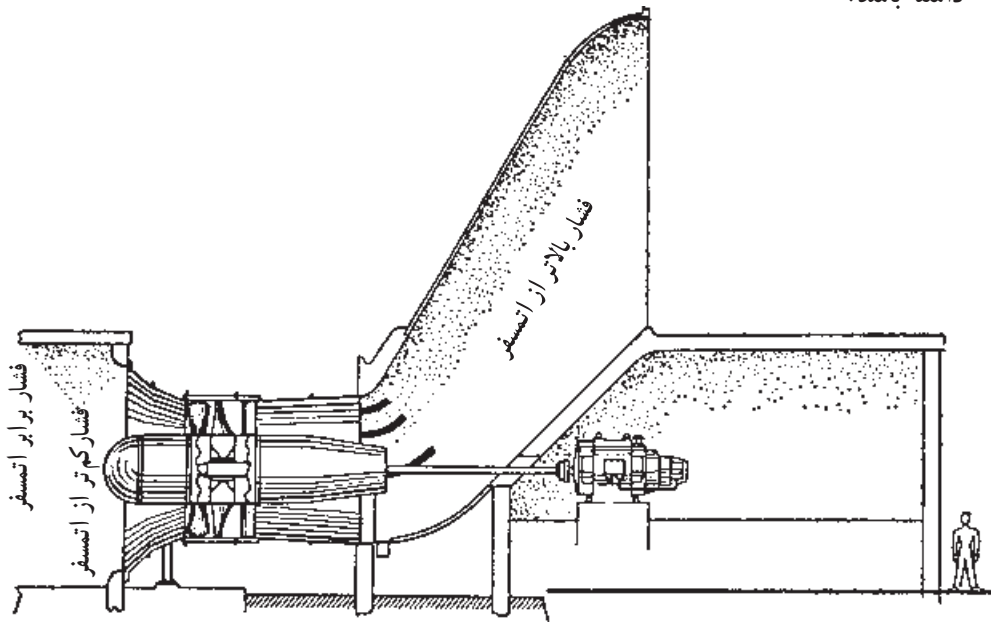


شکل ۲-۴۳- کاربرد صندوقه در تهویه

سیستم‌های تهویه

بعد از آشنایی مختصر با تجهیزات تهویه، در مورد نحوه‌ی حرکت هوا در داخل معدن بحث می‌کنیم. جریان هوا در یک معدن، زمانی ایجاد می‌گردد که بین دو نقطه‌ی ورود و خروج اختلاف فشار وجود داشته باشد، اختلاف فشار لازم برای به جریان انداختن هوا را می‌توان به‌طور طبیعی و

یا با قراردادن یک یا چند ونتیلاتور ایجاد نمود شکل (۲-۴۴). همیشه به خاطر داشته باشیم چه در معادنی که تهویه‌ی طبیعی دارند و چه در معادنی که از یک یا چند ونتیلاتور جهت تهویه استفاده می‌کنند بایستی حداقل دو کانال ورود و خروج هوا از اتمسفر آزاد به شبکه‌ی تهویه‌ی معدن وجود داشته باشد.



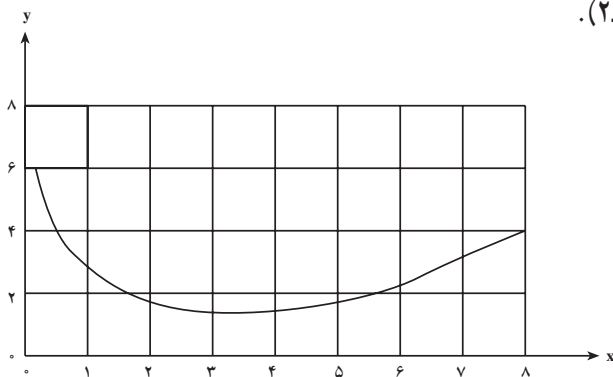
شکل ۲-۴۴- یک نمونه از ونتیلاتور با جریان محوری برای ایجاد اختلاف فشار تهویه‌ی معدن

تهویه‌ی طبیعی را فقط در معادن کوچک و زمانی که نیازی به کنترل و تنظیم دقیق هوا وجود نداشته باشد، می‌توان به کاربرد. امروزه در اکثر معادن مقدار زیادی هوا مورد نیاز است که در این صورت باید از ونتیلاتورهای مخصوص برای این کار استفاده کرد. بنابراین طرح و نصب تأسیسات و تجهیزات تهویه در معادن زیرزمینی، یکی از مهم‌ترین مسایل مهندسی در معادن محسوب می‌گردد. تأسیسات ونتیلاتور اصلی معدن را، به ویژه در معادن زغال، معمولاً در سرچاه یا تونل خروج هوا نصب می‌کنند و به این ترتیب معدن، تحت مکش هوا قرار می‌گیرد. اما در بعضی موارد ونتیلاتور اصلی را می‌توان در چاه‌ها یا مجاری ورودی هوا نیز نصب نموده در مواردی که انشعابات جریان تهویه، متعدد هستند و یا این که موانع مختلف در برابر حرکت هوا موجود است، علاوه بر ونتیلاتورهای اصلی، ممکن است ونتیلاتورهای کمکی کوچک نیز مورد استفاده قرار گیرند.

نحوه‌ی جریان و توزیع هوا در تمامی کارگاه‌های استخراجی به خصوصیات شبکه‌بندی معدن، تعداد چاه‌ها، تعداد لایه‌های قابل استخراج و شیب و ضخامت آن‌ها بستگی دارد. در معادن زغال، باید به‌طور جداگانه راه‌های ورودی و خروجی برای هر منطقه در نظر گرفت. در معادن فلزی در صورتی که مناطق استخراج شده به کارگاه‌های سطحی ارتباط داشته باشند، می‌توان هوای برگشتی را از طریق آن‌ها عبور داد.

همیشه در مقابل حرکت هوا در معدن موانعی وجود دارد که باعث کند شدن حرکت هوا می‌شود. به‌طور کلی مقاومت در برابر جریان هوا، به وسعت برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها و خصوصیات سطح مقطع راه عبور هوا و وجود هر گونه مانع و قوس‌های اضافی بستگی دارد. بنابراین، همواره در طراحی، باید وجود موانع و سطح مقطع راه را در نظر گرفت، در حد امکان از قرار دادن وسایل اضافی که در برابر جریان هوا مقاومت نشان می‌دهند، اجتناب کرد. برای کنترل دقیق جریان تهویه، نصب درب‌های تهویه در نقاط معین شده الزامی است.

تهویه‌ی فضا‌های زیرزمینی علاوه بر رقیق کردن و از بین بردن گازهای خطرناک، به منظور کاهش گرد و غبار ایجاد شده در اثر کار نیز انجام می‌گیرد. معمولاً سرعت مناسب هوا برای کاهش گرد و غبار در معدن بین ۰/۵ تا کم‌تر از ۲ متر بر ثانیه است. اگر سرعت هوا خیلی زیاد باشد، نه تنها گرد و غبار کاهش نمی‌یابد، بلکه احتمال افزایش آن نیز وجود دارد. به هر حال حداقل و حداکثر سرعت هوا برای کاهش گرد و غبار با توجه به ترکیب و خصوصیات گرد و غبار تعیین می‌گردد شکل (۲-۴۵).



شکل ۲-۴۵- رابطه‌ی بین سرعت هوا و تراکم گرد و غبار هوا برد

محور x: سرعت هوا (فوت بر دقیقه ضرب در ۱۰۰)

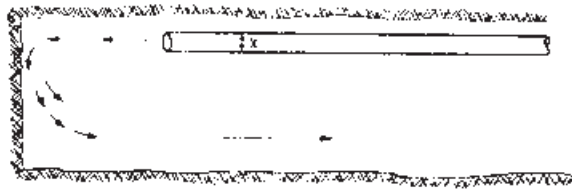
محور y: تراکم گرد و غبار هوا برد (تعداد ذرات از ۵-۱ میکرون در سانتی متر مکعب ضرب در ۱۰۰)

۱- یک فوت برابر با ۰/۳۰۴۸ متر است.

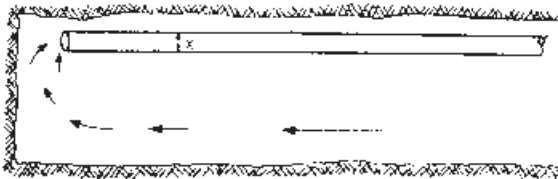
روش‌های مختلف تهویه

هوای مورد نیاز کارگاه‌های استخراجی و تونل‌های در حال پیش‌روی را می‌توان به دو روش اصلی تأمین نمود که این روش‌ها عبارت‌اند از: مکشی، دهشی و ترکیبی. در روش دهشی مستقیماً هوای تازه از طریق لوله به کارگاه و تونل روانه می‌شود. در روش مکشی، هوای سینه‌ی کارها توسط ونتیلاتورهایی که در دهانه‌ی خروجی هوا قرار دارند، مکیده می‌شود. هر یک از این روش‌ها با توجه به شرایط و موقعیت موجود در معدن، تعیین شده و از آن‌ها استفاده می‌گردد. شرایط حاکم بر کاربرد این روش‌ها، به شرح زیر است.

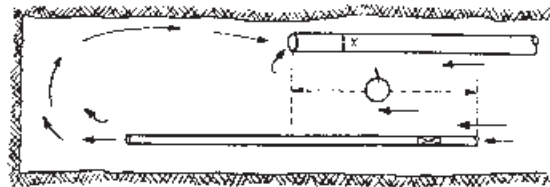
روش دهشی: در این روش، جریان هوای تازه که از دهانه‌ی ورودی معدن وارد شده، موجب جدا شدن و رقیق شدن گرد و غبار و گازهای خطرناک می‌شود. روش دهشی تنها نیاز به یک ونتیلاتور و لوله‌ی هوا دارد. مهم‌ترین اشکال تهویه‌ی دهشی، حرکت و خروج یک پارچه‌ی گرد و غبار و دود ناشی



الف



ب



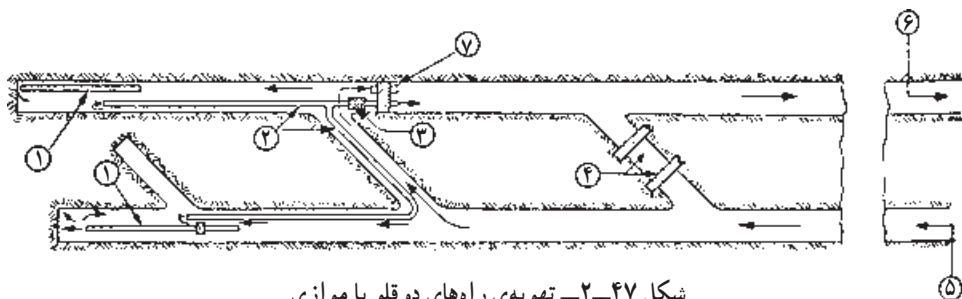
ج

شکل ۴۶-۲- تهویه‌ی تونل‌های در حال پیش‌روی

- الف- روش دهشی؛ هوای تازه مستقیماً به سینه‌ی کار در حال پیش‌روی ارسال می‌شود.
- ب- روش مکشی؛ به اشکالات ناشی از نگه‌داشتن لوله‌ی تهویه، نزدیک سینه‌ی کار توجه گردد.
- ج- روش مکشی با اورلاپ. فاصله (۱) نباید کم‌تر از ۳۰ فوت (۱۰ متر) باشد.

از آتش‌باری در تمام طول تونل است و در این صورت برای تهویه، باید کلیه‌ی پرسنل را از محل دور کرد. به همین علت این روش زمانی که نیاز به تونل‌سازی سریع باشد، عملی نیست (شکل الف-۴۶-۲).
 روش مکشی: یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای کاهش گرد و غبار معدن، تهویه‌ی مکشی است. همان‌طور که گفته شد، ونتیلاتور اصلی برای تهویه، در دهانه‌ی خروجی معدن قرار می‌گیرد (شکل ب-۴۶-۲). در این حالت، لوله‌ی مکش هوا در نزدیکی سینه‌ی کار قرار گرفته، گرد و غبار و گازهای موجود در سینه‌ی کار را به خارج هدایت می‌نماید. به علت محدودیت‌هایی که وجود دارد، لوله‌ی تهویه را نمی‌توان خیلی نزدیک به جبهه‌ی کار قرار داد. نزدیک‌ترین فاصله‌ی لوله‌ی تهویه بین ۱۲ تا ۱۵ متری سینه‌ی کار است. به همین علت، در این فاصله فضای راکدی بین انتهای لوله‌ی تهویه و سینه‌ی کار استخراجی به وجود می‌آید که تمرکز گرد و غبار در آن فوق‌العاده زیاد خواهد شد. برای حل این مشکل، به وسیله‌ی یک ونتیلاتور دهشی و یک لوله‌ی کوتاه دیگر، هوای تازه را به سینه‌ی کار انتقال می‌دهند. در اثر این کار، گرد و غبار متراکم شده، به دهانه‌ی ورودی لوله‌ی مکش وارد می‌شود. این روش به نام «اورلاپ»^۱ معروف است (شکل ج-۴۶-۲).

روش ترکیبی: در بسیاری از موارد برای تهویه‌ی یک منطقه‌ی معدنی، می‌توان از روش دهشی و مکشی به صورت مختلط استفاده کرد. به کارگیری هم‌زمان روش مکشی و دهشی امکان تنظیم خروجی هوا را به‌ترتیبی که تونل پیش‌رفت می‌نماید، می‌دهد. هم‌چنین، به منظور خارج کردن گرد و غبار ناشی از آتش‌باری، می‌توان از سرعت ماکزیم استفاده نمود و پس از آن سرعت را کاهش داد. در این صورت برای صاف کردن هوای محوطه‌ی بین نقطه‌ی انتهایی لوله‌ی مکش تا سینه‌ی کار، به کارگیری یک لوله‌ی کمکی (که با هوای فشرده کار می‌کند) ضروری است (شکل د-۴۷-۲).



شکل ۴۷-۲- تهویه‌ی راه‌های دوقلو یا موازی

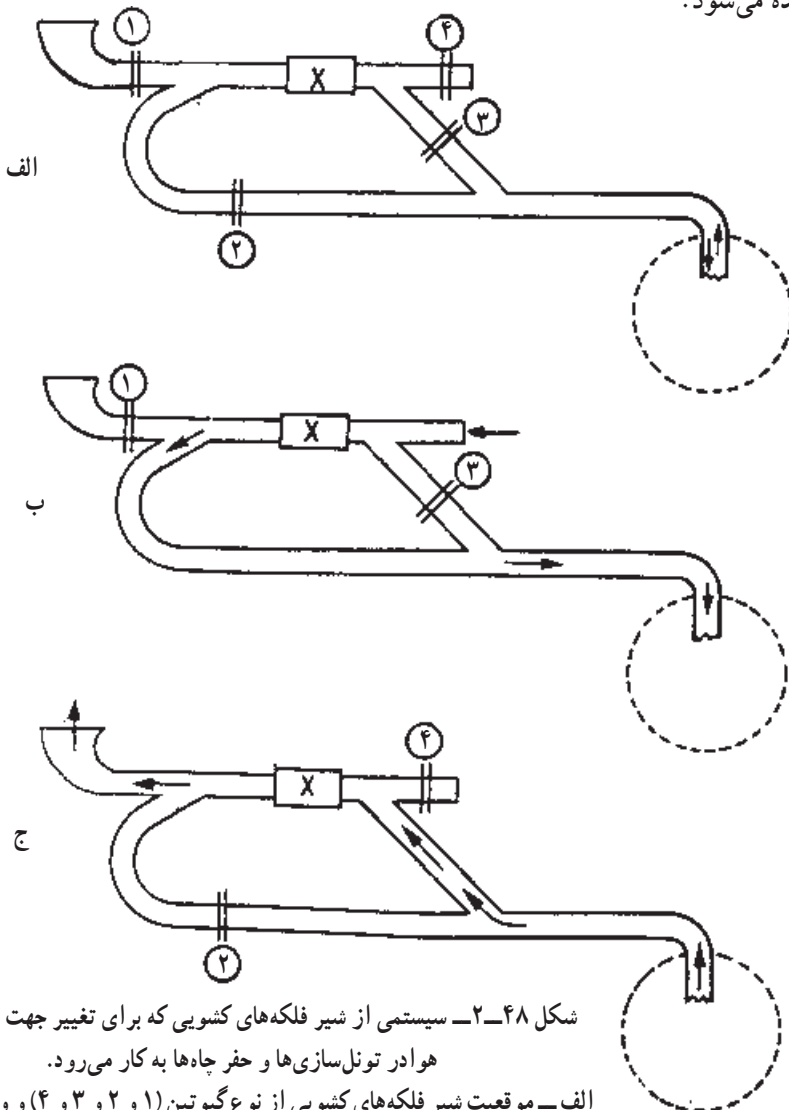
- ۱- لوله‌ی اورلاپ با ونتیلاتور. ۲- لوله‌های تهویه‌ی مکشی. ۳- ونتیلاتور یا رگولاتور برای کنترل جریان اصلی.
- ۴- مانع غیرقابل نفوذ هوا در قسمت‌های ارتباطی پیشین دو راه موازی. ۵- راه ورود هوا. ۶- راه خروج اصلی هوا. ۷- ونتیلاتور برای مکش.

۱- Overlap

توجه به این نکته ضروری است که در مواقع خطر، برای جلوگیری از قرار گرفتن کارگران در معرض گرد و غباری که از لوله به داخل تونل دمیده می‌شود، باید احتیاط‌های لازم را (در لحظه‌ای که ونتیلاتور از حالت مکش به حالت دهش تغییر وضع می‌دهد) به عمل آورد.

در شکل (۲-۴۸) نوعی از تغییر جهت هوا با استفاده از یک ونتیلاتور و شیر فلکه‌های کشویی

مشاهده می‌شود.

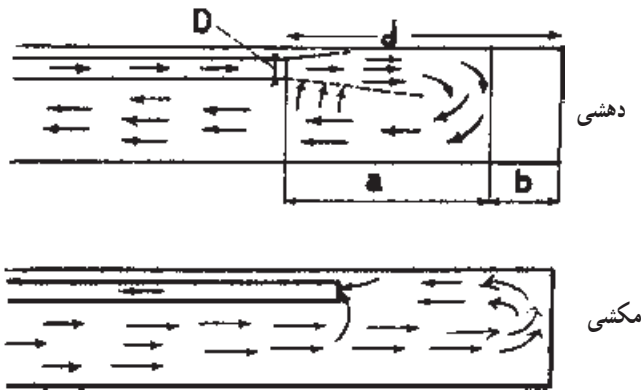


شکل ۲-۴۸- سیستمی از شیر فلکه‌های کشویی که برای تغییر جهت دادن جریان هوادر تونل‌سازی‌ها و حفر جاها به کار می‌رود.

- الف- موقعیت شیر فلکه‌های کشویی از نوع گیوتین (۱ و ۲ و ۳ و ۴) و ونتیلاتور (×)
 ب- آرایش سیستم دهشی: ۱ و ۳ بسته؛ ۲ و ۴ باز.
 ج- آرایش سیستم مکشی: ۲ و ۴ بسته؛ ۱ و ۳ باز.

تهویه فرعی یا کمکی

در هر معدنی، نقاطی می‌توان یافت که به جریان اصلی هوا ارتباط ندارد. از جمله‌ی این نقاط، گالری‌های تراز در سنگ و گالری‌های تراز در لایه و انواع پیش‌روی‌ها و یا بن‌بست‌ها هستند. هم‌چنین نقاطی از جبهه‌های کار که جریان هوا برای راندن گرد و غبار و یا تأمین شرایط سالم کار، کافی نیست، وجود دارند که برای تأمین تهویه مناسب چنین نقاطی، از ونتیلاتورهای کوچک، همراه با لوله‌های تهویه و یا پرده‌ها استفاده می‌شود. این سیستم‌ها تهویه فرعی نامیده می‌شوند. در ابتدای حفاری تونل‌های معدن که هنوز تأسیسات هوارسانی اصلی تعبیه نشده‌اند، این روش هوارسانی منحصر به فرد است در معادن کوچک نیز پس از پایان عملیات مقدماتی معدن، از این روش هوارسانی استفاده می‌کنند. در روش تهویه فرعی باید مراحل مختلف تهویه اصلی را انجام داد؛ بنابراین پس از محاسبات تعیین گذر هوای لازم، لوله‌ی تهویه مناسب را انتخاب و آن را در محل نصب می‌کنند.



شکل ۴۹-۲- تهویه فرعی یا کمکی

تهویه فرعی به دو طریق دهشی و مکشی انجام می‌شود شکل (۴۹-۲). در روش مکشی برای راندمان بهتر، از روش مکشی با اورلاپ نیز استفاده می‌شود.

هوارسانی حلقوی

هرگاه محل‌های ورود و خروج هوا نزدیک به هم باشند و هوا ابتدا از آن‌ها دور و سپس برای بازگشت به آن‌ها نزدیک شود، هوارسانی «حلقوی» نامیده می‌شود.

هوارسانی قطری

اگر محل‌های ورود و خروج هوا با یک دیگر فاصله‌ی زیادی داشته باشند، نوع هوارسانی «قطری» است.

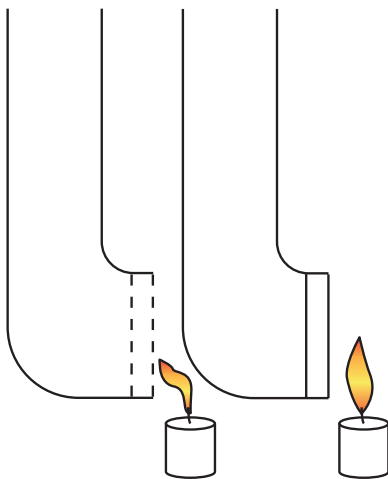
هوارسانی صعودی و نزولی

در طریقه‌ی تهویه‌ی صعودی، ابتدا هوای سالم را وارد چاه عمیق‌تر می‌کنند و هوا از آن‌جا به‌بعد، در همه‌جا سیر صعودی کرده، به چاه خروج هوا که عمق کم‌تری دارد، منتهی می‌شود. در طریقه‌ی تهویه‌ی نزولی، جهت جریان هوا از بالا به‌طرف پایین است و از چاه عمیق‌تر خارج می‌شود. با توجه به سبکی گازمتان، تهویه‌ی صعودی در معادن دارای این گاز اجباری است و فقط تونل‌های تا شیب ده درصد را در این مورد مثل تونل افقی در نظر می‌گیرند.

تهویه‌ی صعودی متداول‌تر است اما اگر معدن فاقد گازمتان باشد، می‌توان در مواردی تهویه‌ی نزولی به‌کار برد. بدیهی است اگر بخواهند چاه عمیق‌تر آزاد باشد، تهویه باید دهشی باشد. طریقه‌ی نزولی برصعودی دارای این مزیت است که چون هوا را از بالای کارگاه وارد می‌کنند، با محصول کارگاه که از قسمت تونل پایین خارج می‌شود، در تماس نیست؛ لذا پاکیزه‌تر و خنک‌تر باقی می‌ماند.

تهویه‌ی طبیعی

همان‌طوری که می‌دانید، هوا در شرایط معمولی تحت تأثیر اختلاف فشار آن در نقاط مختلف،



جابه‌جا می‌شود. این اختلاف فشار تحت شرایط مختلفی به وجود می‌آید. به‌عنوان مثال، اختلاف ارتفاع، خود یکی از عوامل به وجود آورنده‌ی اختلاف فشار است. دودکش بخاری در شرایطی که حتی بخاری خاموش باشد، یک جریان ملایم هوا را از پایین به بالا هدایت می‌کند. چنان‌چه یک شعله‌ی شمع را به دهانه‌ی دودکش نزدیک کنیم این موضوع را با جهت خم شدن شعله، متوجه می‌شویم. اختلاف حرارت نیز خود سبب جابه‌جا شدن هوا می‌شود. در شکل (۵۰-۲) اختلاف ارتفاع و

شکل ۵۰-۲- اثر اختلاف ارتفاع و حرکت هوا در دودکش دریچه‌ی بسته دریچه‌ی باز

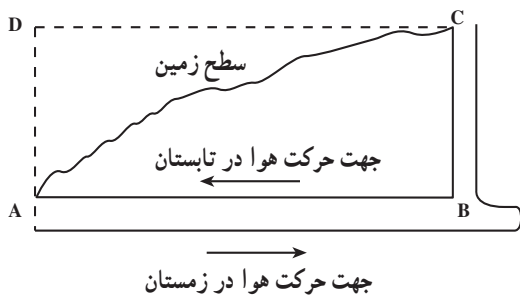
اختلاف حرارت توأمأ در جریان هوا در لوله اثر می گذارند. این مثال را نیز قبلاً شنیده‌اید که درب اطاق را باز می‌کنیم، در شرایطی که هوا ساکن باشد، از قسمت بالای درب هوای گرم خارج می‌شود و از قسمت پایین، هوای سرد وارد اطاق می‌شود. این موضوع را می‌توانید به وسیله‌ی یک شعله‌ی شمع آزمایش کنید شکل (۵۱-۲). نظیر آنچه را که در بالا گفته شد، در مورد معادن زیرزمینی کوچک نیز می‌توان بیان داشت. هرگاه دو انتهای تونلی دارای اختلاف ارتفاع باشند و به هوای آزاد راه داشته باشند، در شرایط طبیعی هوا در جهت حرکت از نقطه‌ی پرفشار به نقطه‌ی کم فشار جریان پیدا می‌کند.



شکل ۵۱-۲- جابه‌جایی هوا

از آن جایی که وزن مخصوص هوای بیرون معدن در زمستان به علت سرمای محیط، بیش‌تر از هوای گرم است؛ لذا مطابق آنچه که در شکل مشاهده می‌شود، به علت سنگین‌تر بودن، فشار ستون هوای AD، هوای بیرون از فشار ستون BC، از هوای داخل معدن که گرم‌تر از بیرون معدن است

بیش‌تر است؛ لذا هوا از دهانه‌ی تونل وارد و سپس از چاه به بیرون معدن جریان می‌یابد. این موضوع و جهت عبور جریان هوا در تابستان به علت سبکی هوای بیرون معدن، در مقایسه با داخل معدن، برعکس می‌باشد شکل (۵۲-۲).



شکل ۵۲-۲- تهویه‌ی طبیعی

در فصول بهار و پاییز که درجه‌ی حرارت هوای بیرون و داخل معدن تقریباً برابر است در معادن کم عمق تهویه‌ی طبیعی انجام نمی‌شود و هوا بی حرکت می‌ماند. در معادن عمیق به علت دمای بالای درون معدن در تمام فصول سال تهویه‌ی طبیعی وجود دارد.

هوارسانی در معادن روباز

تا همین اواخر متخصصین تهویه، عقیده داشتند که در معادن روباز، جریان طبیعی هوا برای تنفس کارگران و رفع آلودگی کارگاه، کفایت می‌کند و هیچ نیازی به ادوات و دستگاه‌های مخصوص برای بهبود کیفیت هوا نیست. لیکن به علت تغییرات عمده در استخراج معادن روباز، مثل عمیق تر شدن سطح کارگاه‌های استخراج، آتش کاری‌ها، حفاری‌ها، استفاده از تعداد زیادی کامیون و ماشین‌آلات دارای موتورهای درونسوز در معدن، به خصوص انواع دیزلی آن‌ها و نیز گازهای حاصل از سوختن زغال از یک طرف و انجام آزمایش‌های علمی متعدد، بر روی هوای معادن روباز از طرف دیگر، خلاف نظر فوق را ثابت می‌کند و لزوم توجه به مسئله‌ی هوای معادن روباز را مورد تأکید قرار می‌دهد مخصوصاً این که معادن زیادی به طریق روباز استخراج می‌شوند؛ مثلاً در حال حاضر، در کشور روسیه بیش از ۵۰ درصد کانی‌های مفید معدنی به شکل روباز استخراج می‌گردند.

آلودگی هوای معادن روباز و منابع آن

با اطمینان قاطع می‌توان اظهار داشت هوایی که به اصطلاح وارد معدن روباز می‌شود، کاملاً تازه و پاک است ولی همین هوا، به علت تقلیل عیار اکسیژن و افزایش درصد گازهای سمی و گرد و غبار، متحمل تغییراتی می‌گردد. به این دلیل باید تدابیری اتخاذ شود تا هوا از نظر کیفیت و هم از نظر کمیّت، با استانداردهای بهداشتی و حفاظتی مطابقت داشته باشد. به طور کلی عمده‌ترین منابع آلودگی هوای معادن روباز را می‌توان در موارد زیر جستجو کرد:

- ۱- آلودگی هوا در اثر انجام عملیات حفاری و آتش کاری؛ شکل (۵۴-۲)
 - ۲- استفاده از کامیون‌ها و ماشین‌آلات دیزلی؛
 - ۳- وقوع حریق به ویژه در معادن زغال سنگ و پیریت؛
 - ۴- گازهایی که در جریان گودبرداری ذخایر معدنی، به طور طبیعی متصاعد می‌شوند؛
 - ۵- تصاعد گاز از آب‌هایی که از لایه‌های آبدار خارج می‌شود.
- آلودگی هوا از نظر چگونگی پخش گازهای زیان آور در اتمسفر معادن روباز ممکن است

موضعی یا عمومی باشد؛ مثلاً فعالیت کامیون‌های معدنی معمولاً به آلودگی موضعی هوای اطراف ماشین منجر می‌گردد ولی هنگامی که تعداد زیادی ماشین در یک جا جمع شوند و هوا هم کاملاً ساکن باشد، آلودگی عمومی پدیدار خواهد شد. گازها غالباً در نواحی مشخصی از معدن روباز باعث آلودگی هوا می‌شوند که می‌توان با هوارسانی کافی، اتمسفر کارگاه را از وجود گازها و مواد زیان‌آور پاک کرد.

بهترین راه رساندن هوای تازه به کارگاه‌های معادن روباز، بهره‌گیری از تهویه‌ی طبیعی، یعنی جریان عادی و تبادل هوا در اتمسفر معدن است. این امر با استفاده از بادهای منظم همیشگی شکل (۵۴-۲) و یا اختلاف درجه‌ی حرارت بین لایه‌های مختلف هوا (لایه‌بندی حرارتی) صورت می‌گیرد. شکل (۵۳-۲)، که در زیر به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

شکل‌های مختلف هوارسانی طبیعی در معادن روباز

به‌طور کلی از بین شکل‌های مختلف هوارسانی طبیعی، می‌توان چهار نمونه‌ی زیر را از یک‌دیگر متمایز ساخت :

الف : هوارسانی طبیعی با توجه به اختلاف درجه‌ی حرارت (لایه‌بندی حرارتی) ؛

۱- جریان «کنوکسیون» یا جابه‌جایی ؛

۲- جریان «انورسیون» یا معکوس.

ب : هوارسانی به کمک نیروی باد ؛

۳- جریان هوای ملایم عادی (یک سره) ؛

۴- جریان هوای دوآر (برگشتی).

عمل هوارسانی به‌طور عمده به‌وسیله‌ی نیروی باد انجام می‌شود. هرگاه سرعت باد بیش از یک متر در ثانیه باشد، عامل حرارتی تأثیر چندانی روی جریان‌های هوایی داخل معدن روباز نخواهد گذاشت. در خلال روزهای آرام و بدون باد، یا هنگامی که سرعت باد از یک متر در ثانیه تجاوز نمی‌کند، کف پله‌ها و دیواره‌های معدن تحت تأثیر تشعشعات خورشیدی گرم می‌شوند؛ در نتیجه جریان‌های فوقانی هوا در امتداد ارتفاع دیواره‌ها به حرکت درمی‌آید و هوارسانی به‌طریقه‌ی کنوکسیون انجام می‌گیرد، روش جابه‌جایی دارای تأثیر اندکی است و در سرعت‌های بیش از $1/5$ - ۱ متر در ثانیه انجام نمی‌شود شکل (۵۳-۲).



شکل ۵۳-۲- جریان کنوکسیون یا جابه‌جایی در یک معدن روباز

نمونه‌ی دیگر هوارسانی که با توجه به اختلاف درجه‌ی حرارت صورت می‌گیرد، موجب جریان‌های هوایی «انورسیون» می‌شود و به علت این که جریان پایینی هوا با خنک شدن هوای نزدیک دیواره‌های معدن به آرامی و سرعت کم به حرکت در می‌آید و گازهای سمی طبقات بالاتر را به دیواره‌ها و اتمسفر پایین معدن هدایت می‌کند، چندان مطلوب و مؤثر نیست و باعث می‌شود تا آلودگی هوا در قسمت پایین معدن جمع شود.



شکل ۵۴-۲- اثر باد در حرکت دادن افقی آلودگی‌های ناشی از آتش‌کاری

هنگامی که باد در حال وزیدن است، دو منطقه از جریان‌های هوایی در امتداد سطح دیواره‌های معدن به وجود می‌آید که یکی منطقه‌ی جریان‌های موافق و دیگری منطقه‌ی جریان‌های مخالف نام دارد. حرکت جریان هوا در منطقه‌ی جریان‌های موافق، هم سوی جهت باد صورت می‌گیرد، ولی حرکت هوا در منطقه‌ی جریان‌های مخالف، در سمت خلاف باد انجام می‌شود.

دو ناحیه‌ی مذکور، نه تنها از نظر جهت حرکت با یک‌دیگر تفاوت دارند، بلکه سرعت هوا هم در آن‌ها یکسان نیست، به طوری که سرعت جریان هوا در منطقه‌ی جریان‌های موافق تقریباً دو برابر منطقه‌ی دیگر است. نامساعدترین شرایط تبادل هوا در داخل منطقه‌ی جریان‌های مخالف ایجاد می‌گردد. در این منطقه، مواردی از آلودگی شدید هوا مشاهده شده که کاملاً صحت دارد. در معادنی که دیواره‌ها پرشیب نباشند، منطقه‌ی جریان‌های مخالف، می‌تواند به حداقل ممکن برسد و یا حتی از بین برود که در این صورت، تنها یک ناحیه‌ی جریان هوایی باقی می‌ماند و آن هم منطقه‌ی جریان‌های موافق است. مناسب‌ترین وضعیت برای مبادله‌ی هوا در معدن روباز و شرایط حاصل از یک سوشدن جریان هواست؛ بنابراین تا آن جایی که به امر هوارسانی معادن روباز مربوط می‌شود، ساختن دیواره‌های پرشیب، نامطلوب است و در هنگام طراحی برنامه‌ی استخراج معدن، باید این مسئله مورد توجه قرار گیرد شکل (۲-۵۵).



شکل ۲-۵۵- اثر جریان‌های مخالف در دیواره‌های پرشیب و آلودگی اتمسفر معدن

لازم به یادآوری است که منطقه‌ی جریان‌های مخالف با افزایش عمق، می‌تواند تا $\frac{1}{4}$ حجم معدن را اشغال کند.

مبارزه با آلودگی هوا در معادن روباز

برای این که کارگران معدن روباز در محیط کار خود از هوای تازه و سالمی بهره‌مند باشند و ناپاکی هوا در تندرستی و کارایی آن‌ها خللی وارد نکند، اقداماتی به شرح زیر باید انجام شود:

۱- چون در اثر وقوع آتش‌کاری و آتش‌سوزی، مقدار زیادی گازهای سمی تولید می‌شود، از این جهت برای مبارزه با حریق و اطفای کامل آن، لازم است ریزش هرگونه آب‌گازدار که از لایه‌های نمایان شده خارج می‌شود، تحت کنترل قرار گیرد؛

۲- ماشین‌آلات و دستگاه‌هایی که فرسوده شده و مورد بازسازی قرار گرفته‌اند، با انواع جدیدی که آلودگی کم‌تری در اتمسفر معدن تولید می‌کنند تعویض شوند؛

۳- جلوگیری از تصاعد گازهای زیان‌آور و برخاستن گردوغبار به منظور برطرف کردن و یا به حداقل رساندن مقدار آن‌ها در هوا، مانند استفاده از وسایل خنثی‌کننده‌ی گازهای خروجی از لوله‌ی کامیون‌های خاک‌کش دیزلی؛

۴- بهره‌گرفتن از هوارسانی طبیعی و وفق دادن معدن با استفاده از مساعدترین شکل تهویه‌ی طبیعی تا سرحد امکان و برداشتن موانع طبیعی و مصنوعی در جهت حرکت هوا از بیرون معدن به داخل معدن؛

۵- نصب و راه‌اندازی تجهیزات لازم به منظور تهویه‌ی مصنوعی در نقاط معینی از معدن که در آن‌جاها امکان ایجاد مناطق هوای ساکن یا برقراری جریان هوای مدار بسته وجود دارد؛

۶- ساختن اتاقک‌های ایزوله و بدون منفذ برای متصدیان ماشین‌آلات حفاری، کامیون‌های معدنی، ماشین‌آلات سنگین و غیره و مجهز کردن آن‌ها به وسایل تهویه‌ی مطبوع، به‌طوری که افراد مذکور را از شرایط نامساعد اتمسفر معدن محفوظ دارد؛

۷- استفاده از وسایل حفاظت انفرادی در برابر گازهای سمی به عنوان آخرین اقدام بهداشتی ممکن.

خودآزمایی

- ۱- مشخصه‌های فیزیکی هوای معدن را نام برده، در مورد هر یک مختصراً توضیح دهید؟
- ۲- دیواره‌های سنگی تونل‌ها و چاه‌ها چه تأثیری در دمای هوای معدن دارند؟
- ۳- منظور از رطوبت مطلق و نسبی چیست؟
- ۴- منحنی سرعت هوا در تونل‌ها به چه صورت است؟ علت آن چیست؟
- ۵- اندازه‌گیری فشار هوای معدن، با چه وسایلی امکان‌پذیر است؟
- ۶- برای تعیین سطح مقطع تونل، چه روش‌هایی وجود دارد؟ دو روش را ذکر کنید؟
- ۷- نحوه‌ی نصب و تزیلاتور در معدن چگونه است؟
- ۸- انواع اتصالات در لوله‌های تهویه را نام ببرید؟
- ۹- روش‌های مختلف تهویه در معادن زیرزمینی را نام برده، در مورد هر یک مختصراً توضیح

دهید؟

- ۱۰- علت استفاده از تزیلاتورهای فرعی چیست؟
- ۱۱- تهویه‌ی طبیعی در معادن زیرزمینی را به چه صورت می‌توان انجام داد؟
- ۱۲- عمده‌ترین منابع آلوده‌کننده‌ی معادن روباز چیست؟
- ۱۳- تهویه‌ی طبیعی در معادن روباز به چند روش صورت می‌پذیرد؟