فصل سوم

موارد ایمنی در حفر چال

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :
۱ــ به نکات ایمنی در حفر چال کاملاً مسلط باشد.
۲ــ نحوه جلوگیری از انتشار گرد و غبار را بیاموزد.

ایمنی در حفر چال

به‌طور کلی جهت انجام کارهای حفاری، در درجه اول حفظ سلامت و بالا بودن ضریب اطمینان مطرح می‌گردد از این رو به ارائه برخی از نکات مهم ایمنی که باید در هنگام حفاری به آن توجه داشته باشیم می‌پردازیم.

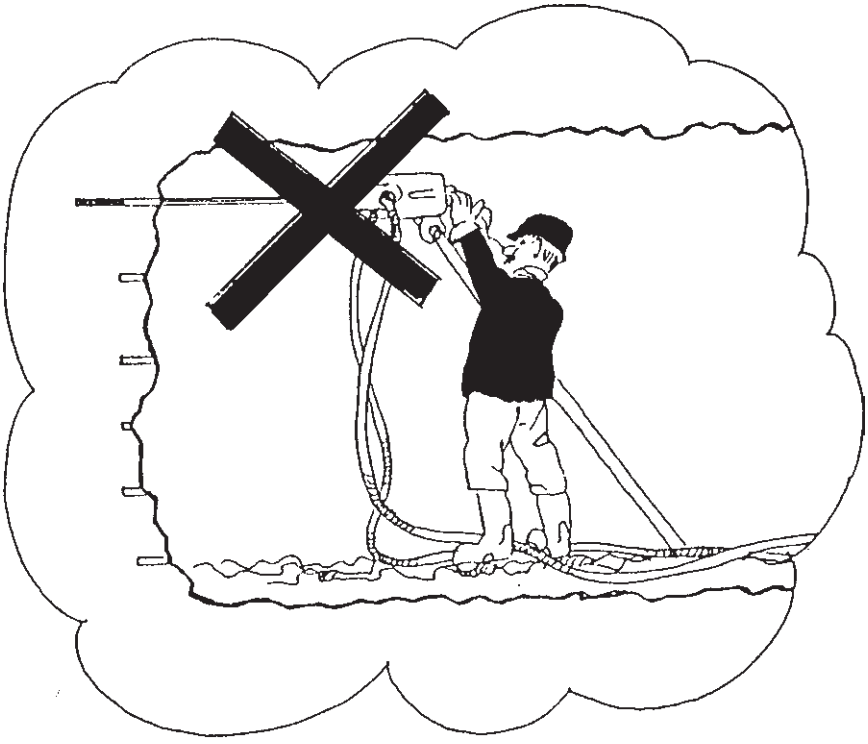
۱ــ۳ــ برخی نکته‌های ایمنی در حفر چال

در حفر چال با ابزارهایی از قبیل کمپرسور، لوله و شیلنگ انتقال هوای فشرده، پرفوراتور (چکش) و انواع ماشین‌های چالزنی سر و کار داریم که هریک نکته‌های ایمنی خاص خود را دارند. اما دو نکته مهم ایمنی را که از مسائل روزمره چالزنی است، در این‌جا شرح می‌دهیم :

۱ــ چالزنی در «ته چال» (Bootleg) اکیداً ممنوع است. وقتی که چال یا یک دسته چال در سینه کار زیرزمینی یا روباز منفجر می‌شود، ممکن است که معادل تمام طول چال، سنگ شکسته نشود و بخشی از انتهای چال در سینه کار باقی بماند. این امر به‌ویژه در حفر تونل‌ها، پیوسته، پیش می‌آید. آن قسمت از چال را که سالم باقی‌مانده یا سنگ‌های اطراف آن شکسته نشده‌اند، «ته چال» می‌نامند (شکل ۱ــ۳).

از سوی دیگر در آغاز حفر چال، نفوذ سرمته در سنگ قدری دشوار است ؛ زیرا به دلیل

لرزش‌ها و تکان‌های شدید، سرمته پیوسته روی سنگ جابجا می‌شود و مقداری تلاش لازم است تا سرمته در یک نقطه قرار گیرد و در سنگ نفوذ کند. به عبارت دیگر، سرمته در سنگ بند شود. البته بعد از نفوذ کردن سرمته در سنگ حفر چال به‌آسانی ادامه می‌یابد. لیکن ته چال برای شروع حفر چال، مشکلات بالا را ندارد و حفر چال از ابتدا به‌آسانی میسر می‌شود، لذا ممکن است کوهبر (کارگر حفاری) برای راحتی کار، چالزنی را از داخل ته چال‌ها شروع کند. بسیاری از اوقات پیش آمده که مقداری از ماده منفجره در ته چال باقی مانده و به محض برخورد سرمته به آن منفجر شده و موجب تلفات و خسارات مالی و جانی شده است. بنابراین همواره اکیداً توصیه می‌کنیم که از حفر چال در ته چال خودداری شود.



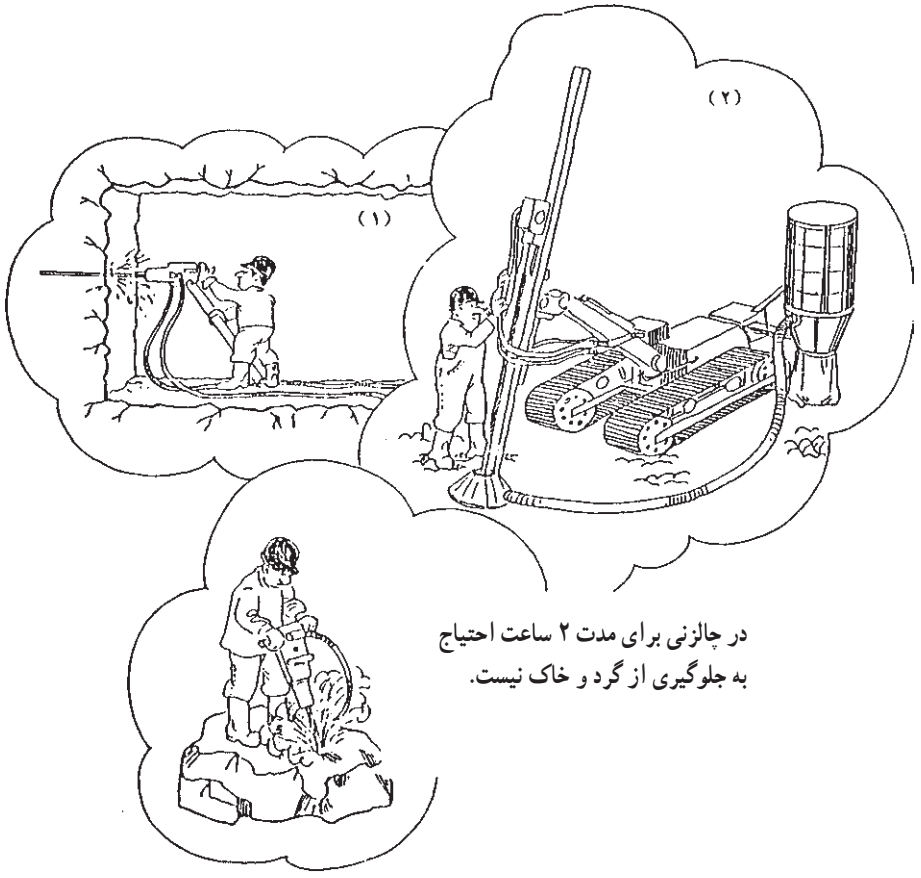
شکل ۱ــ۳ــ حفر چال در ته چال اکیداً ممنوع است.

۲ــ جلوگیری از پراکنده شدن گرد و خاک لازم است. هنگام حفر چال مقدار زیادی گردوخاک تولید می‌شود که آن هم جزیی از خرده‌ریزه‌های حفاری است و به وسیله هوای فشرده به بیرون از چال رانده می‌شود و در هوا پخش می‌گردد، گردوخاک هوای محیط را ناسالم می‌کند و هوای آلوده به گردوخاک برای موجودات زنده از جمله انسان زیان‌آور است و برای گیاهان مشکلاتی ایجاد می‌کند،

کمپرسور معدن را زودتر از موعد مقرر مستهلک می‌کند. در معدن‌های زیرزمینی اثر گردوخاک به‌مراتب بیش از معدن‌های روباز است ؛ زیرا امکان دور شدن آن‌ها از سینه کار کم است. برای جلوگیری از پراکنده شدن گردوخاک در هنگام چالزنی لازم است :

الف : خرده ریزه‌های حفاری با آب تحت فشار از چال خارج شوند (شکل ۲ــ۳).

ب : دستگاه چالزنی مجهز به گردگیر باشد (شکل ۲ــ۳).



شکل ۲ــ۳ــ جلوگیری از ایجاد گرد و خاک به‌وسیله تزریق آب در چال (۱) و مجهز کردن دستگاه چالزنی به گردگیر (۲)

خودآزمایی

۱ــ دو نکته مهم ایمنی را که از مسایل روزمرهٔ چالزنی است، شرح دهید.

۲ــ راهکارهای جلوگیری از پراکنده شدن گردوخاک در هنگام چالزنی را شرح دهید. آیا راه دیگری را می‌شناسید؟

بخش دوم

مواد منفجره

فصل چهارم

آشنایی با مواد منفجره

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ انفجار را تعریف نماید.

۲ــ مواد منفجره را تعریف نماید.

۳ــ انواع مواد منفجره را شناسایی نماید.

۴ــ خواص مواد منفجره را بیان نماید.

۵ــ با رعایت ایمنی مواد را جابجا نماید.

۱ــ۴ــ ماهیت انفجار[۱]

سوختن سریع مواد منفجره را که به آزاد شدن مقدار زیادی گاز و حرارت منجر می‌شود، انفجار می‌نامند. گازهای حاصل از انفجار به محیط اطراف خود فشار وارد می‌کنند و موجب شکسته شدن و خرد شدن آن می‌شوند. به همین دلیل مادهٔ منفجره را داخل چال حبس می‌کنند. پس از انفجار، مقدار زیادی گاز تولید می‌شود که حجم آن تقریباً هزار برابر حجم ماده منفجره است. این گازها چون جایی برای فرار ندارند، به دیوارهٔ چال فشار وارد می‌کنند و سنگ را می‌شکنند. برای درک بهتر مفاهیم انفجار و مادهٔ منفجره به شرح زیر توجه کنید.

سوختن یعنی ترکیب یک ماده سوختنی با اکسیژن و این عمل با آزاد شدن حرارت همراه است. در فعل و انفعال سوختن، عوامل متعددی مثل درجه حرارت، مقدار حرارت، نوع گازها و... مطرح هستند. در این‌جا در نظر داریم یکی از این عوامل را که **سرعت سوختن** است، مورد بررسی قرار دهیم.

به‌طور کلی هر ماده سوختنی با سرعت معینی می‌سوزد. سرعت سوختن یک ساقه کلفت درخت از سرعت سوختن شاخه باریک آن کمتر است اما مقوای خشک سریع‌تر از آن دو می‌سوزد و کاغذ هرچه نازک‌تر باشد تندتر خواهد سوخت.

۱ــ Explosion

۲ــ۴ــ تعریف ماده منفجره[۱]

ماده منفجره ترکیبی شیمیایی یا مخلوطی مکانیکی است که در اثر جرقه، ضربه و حرارت یا شعله در زمان بسیار کوتاهی سوخته و مقدار بسیار زیادی گاز و حرارت تولید می‌کند.

۳ــ۴ــ تقسیم‌بندی مواد منفجره

مواد منفجره را از نظرهای مختلف طبقه‌بندی می‌کنند که به شرح هر کدام می‌پردازیم :

۱ــ۳ــ۴ــ تقسیم‌بندی برمبنای ماهیت انفجار: در این تقسیم‌بندی مواد ناریه با ماهیت فیزیکی و شیمیایی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

الف ــ مواد ناریه با ماهیت فیزیکی: این مواد در اثر انفجار، ترکیب شیمیایی آن‌ها تغییر نکرده و فقط مشخصات فیزیکی‌شان تغییر می‌کند از جمله این مواد می‌توان هوای فشرده و گازکربنیک مایع را نام برد.

ب ــ مواد ناریه با ماهیت شیمیایی: در این دسته از مواد منفجره، ــ که معمولی‌ترین گروه این مواد هستند ــ انفجار به علت واکنش‌های شیمیایی بین عناصر مختلف موجود در جسم انجام می‌گیرد و بنابراین پس از انفجار، مشخصات شیمیایی آن‌ها نیز تغییر می‌کند. تمام مواد منفجره معمولی مثل دینامیت‌ها جزء این گروه می‌باشند.

۲ــ۳ــ۴ــ تقسیم‌بندی برمبنای نحوه انفجار: در این تقسیم‌بندی، مواد منفجره به دو گروه کُند و شدید تقسیم می‌شوند :

الف ــ مواد ناریه کُند[۲]: حجم گازهایی که در اثر انفجار این‌گونه مواد تولید می‌شود چندان زیاد نیست و بدین‌ترتیب فشار ناشی از آن‌ها نیز زیاد نمی‌باشد سرعت انفجار این مواد نیز زیاد نیست و تحت تأثیر شعله شروع به انفجار می‌کنند از جمله این مواد می‌توان باروت را نام برد.

ب ــ مواد ناریه تند: این مواد در اثر تماس با شعله یا در نتیجه ضربه شدید منفجر می‌شود و حجم گازهای تولید شده به وسیله آن‌ها زیاد است سرعت انفجار آن‌ها نیز زیاد و معمولاً در حدود چند هزارمتر در ثانیه است. از جمله این مواد می‌توان انواع دینامیت‌ها و نیز فتیله انفجاری را نام برد.

۳ــ۳ــ۴ــ تقسیم‌بندی برمبنای شرایط کاربرد: برمبنای شرایط ایمنی و محل کاربرد، موادناریه را به سه دسته زیر تقسیم می‌کنند :

الف ــ دسته اول شامل مواد ناریه‌ای است که استعمال آن‌ها تنها در کارهای سطحی مجاز است. معمولاً این گونه مواد در کاغذهای سفیدرنگ بسته‌بندی می‌شوند.

---

۱ ــ Explosive ۲ ــ Low

ب ــ دسته دوم شامل آن دسته از مواد ناریه است که از آن‌ها می‌توان در معادن روباز و معادن زیرزمینی فاقد گازهای آتش‌زا و گرد زغال استفاده کرد. رنگ کاغذ لفاف این دسته از مواد معمولاً قرمز است.

ج ــ دسته سوم شامل مواد ناریه‌ای است که استعمال آن‌ها در معادن زیرزمینی دارای گاز و گرد زغال نیز مجاز است. این دسته خود به دو گروه تقسیم می‌شوند گروه اول مواد ناریه‌ای است که می‌توان از آن‌ها هم در تونل‌هایی که داخل زغال حفر می‌شود و هم در تونل‌های سنگی حوالی لایه‌های زغالی استفاده کرد که کاغذ آن‌ها زرد رنگ است. از گروه دوم این دسته تنها می‌توان در تونل‌های سنگی معادن زغالی استفاده کرد و رنگ کاغذ آن‌ها آبی است.

۴ــ۴ــ عناصر اصلی تشکیل دهنده مواد منفجره

عناصر اصلی تشکیل دهنده مواد منفجره هیدروژن، ازت کربن و اکسیژن است. برای تأمین این عناصر، یک یا چند جسم قابل انفجار را با مواد اکسیژن ترکیب کرده و با توجه به نوع ماده منفجره، مواد فرعی دیگر نیز به آن اضافه می‌کنند.

در جدول ۱ــ۴ اجسام اصلی تشکیل دهنده مواد منفجره مختلف درج شده است. اینک به‌شرح مواد ناریه مختلف می‌پردازیم.

۵ــ۴ــ خواص مواد منفجره

برای هر ماده منفجره خواصی منظور شده که برای کار با آن باید مورد توجه قرار گیرند. دانستن این خواص تنها برای آتشکاری نیست بلکه حمل و نقل و انبارداری نیز براساس این خواص صورت می‌گیرد. خواص عمده‌ای که در این‌جا شرح داده خواهند شد، به شرح زیر است :

سرعت انفجار، وزن مخصوص، اثر رطوبت، حساسیت و سمیّت.

۱ــ۵ــ۴ــ سرعت انفجار[1]: سرعت انفجار همان سرعت سوختن ماده منفجره است. هرچه سرعت انفجار بیشتر باشد، تأثیر ماده منفجره برای شکستن سنگ نیز بیشتر خواهد بود ؛ بنابراین، قدرت خردکنندگی ماده منفجره بیشتر خواهد شد. پس بهتر است اگر با سنگ مقاوم و محکمی سر و کار داریم، ماده منفجره‌ای را به کار ببریم که سرعت انفجار آن زیاد باشد و برای سنگ‌های کم مقاومت بهتر است ماده منفجره‌ای به‌کار رود که سرعت انفجار آن کم است. همچنین اگر بخواهیم سنگ خیلی خرد نشود، بهتر است ماده منفجره‌ای مصرف شود که سرعت انفجار آن کم باشد ؛ مثلاً برای معدن

---

۱ ــ Velocity of detonation

مطالعهٔ آزاد

جدول ۱ــ۴ــ اجسام تشکیل دهنده مواد منفجره

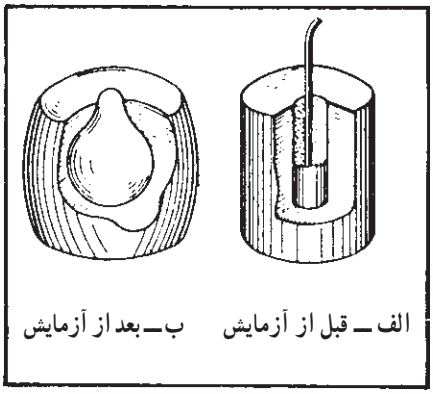
جسم	فرمول شیمیایی	نوع جسم	مشخصات جسم
نیتروگلیسیرین	$C_3H_5(NO_3)_3$	ماده اصلی	مایع ــ به شدت قابل انفجار
تی.ان.تی (تری نیتروتولوئن)	$CH_3C_6H_2(NO_3)_3$	ماده اصلی	پودری ــ به شدت قابل انفجار
اتیلن گلیکل	$C_2H_4(NO_3)_2$	ماده اصلی	مایع ــ قابل انفجار ــ تقریباً فرار ــ یخ نمی‌زند.
نیترو سلولز	$[C_6H_7(NO_3)_3O_2]x$	ماده اصلی	جامدــقابل اشتعال ــ به‌حالت جامد ــ قابل انفجار
مواد ازت‌دار آلی	ــــــــــ	ماده اصلی ضد یخ	بعضی‌انواع جامد و عده‌ای دیگرمایع ــ بعضی انواع قابل انفجار
نیترات آمونیوم	NH_4NO_3	مواد اصلی و اکسیژن‌زا	جامد ــ به‌شدت محلول در آب
کلرات پتاسیم	$KClO_3$	مواد اصلی و اکسیژن‌زا	محلول در آب ــ مخلوط آن با مواد قابل احتراق به شدت قابل انفجار است
پر کلرات پتاسیم	$KClO_4$	مواد اصلی و اکسیژن‌زا	به‌سختی محلول در آب ــ مخلوط آن با مواد قابل احتراق به‌شدت قابل انفجار است.
اکسیژن مایع	O_2	فرار	مواد کربن‌دار در تماس با آن به شدت قابل اشتعال می‌شوند.
نیترات سدیم	$NaNO_3$	اکسیژن‌زا	محلول در آب ــ به‌تنهایی قابل انفجار نیست ــ جاذب آب
نیترات پتاسیم	KNO_3	اکسیژن‌زا	محلول در آب ــ به‌تنهایی قابل انفجار نیست ــ غیر جاذب
مغز چوب	ــــــــــ	جاذب و قابل احتراق	بهترین ماده جاذب قابل احتراق
نفت	$(CH_2)x$	کاهش‌دهنده	
چاک	$CaCO_3$	ضد اسید	
اکسید روی	ZnO	ضد اسید	
کی سلگور (نوعی خاک دیاتومه‌دار)	SiO_2	جاذب	فقط به‌عنوان عامل جذب کننده به‌کار می‌رود.

سنگ آهن چغارت باید از مواد منفجره‌ای قوی مثل دینامیت ژلاتینی استفاده کرد و برای معادنی که باید به‌صورت قطعات بزرگ استخراج شوند، باید مواد منفجره کُند سوز یا کم سرعت، مثل باروت، به‌کار برد.

۲ــ۵ــ۴ــ قدرت انفجار: قدرت انفجار مواد ناریه عبارت از انرژی تولید شده به‌ازای واحد وزن آن، در تحت شرایط خاص است.

قدرت انفجار به مشخصاتی نظیر نوع گازهای حاصله از انفجار، سرعت انفجار و درجه حرارت حاصله بستگی دارد.

برای مقایسه قدرت انفجار مواد ناریه مختلف، آن‌ها را در یک بمب سربی مطابق شکل ۱ــ۴ آزمایش می‌کنند. قطر و ارتفاع بمب ۲۰۰ میلیمتر است و در داخل آن سوراخی به قطر ۲۵ میلیمتر و به عمق ۱۲۵ میلیمتر احداث می‌کنند. سپس ۱۰ گرم از ماده منفجره موردنظر را در داخل این سوراخ قرار می‌دهند و بعد از بستن سوراخ به‌وسیله ماسه ریز، آنرا آتش می‌کنند. افزایش حجم حفره حاصله برحسب سانتیمتر مکعب، نماینده قدرت انفجار ماده خواهد بود. (برای تعیین این افزایش حجم، حفره بمب را پس از آزمایش پر از آب می‌کنند و با اندازه‌گیری حجم آب، حجم جدید آنرا تعیین و با کم کردن حجم اولیه، قدرت انفجار ماده ناریه را به دست می‌آورند).



شکل ۱ــ۴ــ آزمایش قدرت انفجار مواد منفجره

۳ــ۵ــ۴ــ قدرت خردکنندگی: مواد منفجره علاوه‌بر نیروی فشاری، دارای قدرت خردکنندگی نیز می‌باشند. مثلاً اگر یک فشنگ دینامیت را به کنار ریل ببندند و آن را منفجر کنند، با این که گازهای حاصله بدون انجام کاری پراکنده می‌شوند ولی خاصیت خردکنندگی دینامیت، باعث قطع ریل در آن نقطه خواهد شد.

برای تعیین قدرت خردکنندگی مواد ناریه، آن‌ها را تحت آزمایش خردکنندگی قرار می‌دهند.

خاصیت خردکنندگی مواد منفجره به سرعت انفجار و وزن مخصوص ماده بستگی دارد و میزان آن با افزایش وزن مخصوص افزایش می‌یابد و به‌همین جهت، در مواردی که بخواهند خاصیت خردکنندگی آن را کاهش دهند، با مخلوط کردن آن با اجسام سبک، وزن مخصوص آن را کم می‌کنند.

۴ــ۵ــ۴ــ میزان گاز تولید شده: یکی از خواص مهم مواد ناریه، حجم گازهای حاصله از آن است، زیرا هرچقدر حجم گاز تولید شده به ازاءِ واحد وزن ماده منفجره زیادتر باشد، فشار وارده به دیوارهای چال نیز زیادتر خواهد بود. میزان گازدهی ماده ناریه را می‌توان به طریق تئوری و با محاسبه حجم گازهایی که در اکثر واکنش‌های شیمیایی به‌وجود می‌آید تعیین نمود. در عمل، این خاصیت را از طریق آزمایش به‌دست آورده و برای این‌کار مقداری ماده منفجره را در داخل یک بمب فولادی (که بایستی به اندازه کافی مقاوم باشد تا درنتیجه انفجار متلاشی نگردد) منفجر کرده و با در دست داشتن حجم بمب و فشار گاز، حجم گاز حاصله را محاسبه می‌کنند.

۵ــ۵ــ۴ــ حرارت انفجار: حرارت ناشی از انفجار نیز از جمله خواص مهم مواد ناریه است و هرچقدر میزان آن زیادتر باشد، قدرت انفجار ماده زیادتر خواهد بود. حرارت انفجار را می‌توان به‌صورت مقدار حرارتی که به ازاءِ واحد وزن ماده ناریه تولید می‌شود، تعریف کرد. درجه‌حرارت انفجار نیز متناسب با مقدار حرارت تولید شده است و همان تأثیر را در قدرت انفجار داراست. میزان حرارت تولید شده در مواد منفجره مختلف بین ۶۵۰ تا ۱۵۰۰ کالری بر گرم تغییر می‌کند و درجه حرارت انفجار بین ۱۸۰۰ تا ۴۵۰۰ درجه سانتیگراد متغیر است.

هنگام آتشکاری در معادنی که دارای گازهای آتش‌زا هستند، درجه حرارت انفجار از جمله مشخصات مهم مواد ناریه است و بالا بودن آن ممکن است حوادثی را به‌بار آورد.

۶ــ۵ــ۴ــ وزن مخصوص (Density): وزن واحد حجم هر جسم را وزن مخصوص می‌گویند $\gamma = \frac{w}{r}$. واحد وزن مخصوص گرم بر سانتی‌متر مکعب (gr/cm^3)، کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3) یا تن بر متر مکعب (ton/m^3) است. تا حد معینی، هرچه وزن مخصوص ماده منفجره بیشتر باشد، سرعت انفجار و قدرت خردکنندگی آن بیشتر خواهد بود ؛ به این ترتیب هرچه ماده منفجره بیشتر در چال فشرده شود، بهتر است. در آتشکاری عبارت دیگری با نام «وزن مخصوص خرجگذاری» تعریف می‌شود و آن عبارت است از وزن خرج به کار رفته در واحد حجم چال یا واحد طول چال. وزن مخصوص خرجگذاری معمولاً همیشه کمتر از وزن مخصوص حقیقی

ماده منفجره است ؛ زیرا به‌دلیل ناصافی دیواره چال و اشکالات موجود در خرجگذاری، نمی‌توان تمام فضای چال را به‌خوبی با ماده منفجره پر کرد. یادآوری می‌کنیم که از این به بعد، هرجا کلمه «خرج» به‌کار رفته، منظور مواد منفجره مصرفی در معدن‌کاری است. در جدول **۲ــ۴** سرعت انفجار و وزن مخصوص چند ماده منفجره نوشته شده است.

مطالعهٔ آزاد

جدول ۲ــ۴ــ وزن مخصوص و سرعت انفجار برخی از مواد منفجره

اسم	وزن مخصوص به گرم بر سانتی‌متر مکعب	سرعت انفجار به متر بر ثانیه
نیترات آمونیوم	۰/۹	۳۰۰۰
تی‌ان‌تی	۱/۵۷	۶۳۰۰
نیتروگلیسیرین	۱/۵۹	۷۶۰۰
نیتروسلولز	۱/۶۶	۷۳۰۰
PETN	۱/۷۸	۸۳۱۰
دینامیت ژلاتینی ۲۰٪	۱/۷	۳۳۰۰
دینامیت ژلاتینی ۴۰٪	۱/۵	۴۹۵۰
دینامیت آمونیاکی ۴۰٪	۱/۵	۴۸۰۰

۷ــ۵ــ۴ــ اثر رطوبت: این خاصیت به آن علت مطرح می‌شود که :

ــ همیشه مقداری رطوبت در هوا وجود دارد و کم‌وبیش روی خواص و پایداری ماده منفجره مؤثر است.

ــ بسیاری از عملیات آتشکاری در محل‌های مرطوب و آبدار انجام می‌گیرد. در چنین وضعیتی، ماده منفجره باید از زمان خرجگذاری تا هنگام آتش کردن چال‌ها خواص خود را حفظ کند.

رطوبت بدترین نوع آلودگی در مواد منفجره است و به‌صورت‌های زیر تأثیر می‌گذارد :

الف : وجود رطوبت باعث پایین آمدن درجه حرارت انفجار می‌شود و در عمل، مقداری از انرژی ماده منفجره صرف تبخیر آب می‌گردد و از قدرت آن کاسته می‌شود.

ب : رطوبت ماده منفجره را تجزیه می‌کند.

پ : رطوبت روی پایداری، حساسیت، سرعت انفجار و قدرت ماده منفجره اثر می‌گذارد. وجود رطوبت از حساسیت و قدرت ماده منفجره می‌کاهد و درمورد موادی مثل نیترات آمونیوم ممکن است حتی انفجار صورت نگیرد.

در انبارداری مواد منفجره باید دقت شود که رطوبت وجود نداشته باشد یا مقدار آن کم باشد. به‌همان اندازه که وجود آتش در انبار مواد منفجره خطر آفرین است، رطوبت هم می‌تواند مضر باشد. برای آتشکاری در زیر آب یا در محیط‌های مرطوب، برای حفظ مواد منفجره از رطوبت اقدامات زیر انجام می‌شود :

۱ــ ماده منفجره‌ای مصرف می‌شود که خود در مقابل رطوبت مقاوم باشد. مواد منفجره‌ای مثل ژله‌ای‌ها و امولسیون را می‌توان با آسودگی خیال به درون چال پر از آب ریخت. این مواد آب را از چال خارج کرده و جای آن را می‌گیرند و آب‌زیرزمینی تا مدت‌ها نمی‌تواند تأثیری بر آن‌ها بگذارد.

ــ مواد منفجره را می‌توان با پوشش پلاستیکی یا هر پوشش مناسب دیگر در مقابل آب مقاوم کرد. «آنفو» از جمله موادی است که به راحتی در آب تجزیه می‌شود و خواص خود را از دست می‌دهد اما با داشتن پوشش پلاستیکی تا زمانی که آب در پوشش نفوذ نکند، این ماده می‌تواند خواص خود را در محیط آبدار حفظ نماید.

مواردی که ذکر کردیم برای حالاتی است که خرجگذاری به زمان زیاد نیاز (مثلاً چند روز) داشته باشد. در طول این مدت تأثیر آب روی ماده منفجره ممکن است نامطلوب باشد. در محیط مرطوب و درصورتی که مواد منفجره ضد آب مثل مواد منفجره ژله‌ای یا امولسیون وجود نداشته باشد، می‌توان با خیال راحت آتشکاری را با موادی که ضد آب نیستند، انجام داد ؛ به شرط آن که مدت تماس خرج با آب کم باشد. این زمان برای برخی از مواد منفجره به شرح زیر است :

فتیله اطمینان با پوشش معمولی	۵ دقیقه
دینامیت‌های معمولی	۱ ساعت
فتیله انفجاری بدون آب‌بندی کردن سر فتیله	۲ ساعت
آنفو ANFO	۱۰ دقیقه

مواد منفجره را براساس مقاومت آن‌ها در مقابل رطوبت به چهار گروه تقسیم می‌کنند :

مقاومت عالی: در هر شرایط رطوبت، خواص خود را به خوبی حفظ می‌کند.

مقاومت خوب: در مدتی کمتر از حالت بالا قادر به حفظ خواص خود است.

مقاومت نسبتاً خوب: برای آتشکاری سریع در محیط مرطوب مناسب است.

مقاومت بد: ماده منفجره را تنها در محیط‌های خشک می‌توان به‌کار برد.

مطالعهٔ آزاد

مقاومت در برابر آب: توانایی پایداری ماده منفجره در برابر آب و به‌طور معمول با زمان باقی‌ماندن ماده منفجره در زیر آب و اطمینان از انفجار آن قابل سنجش است. مقاومت در برابر آب بستگی به بسته‌بندی ماده منفجره و خاصیت ذاتی آن ماده در دفع آب دارد. مواد منفجره به دو روش تحت تأثیر آب قرار می‌گیرند. نیترات‌های محلول در آب حل شده و از مواد منفجره خارج می‌گردند و فشار آب اندازه و مقدار حباب‌های هوا را در ماده منفجره که به‌عنوان «نقطه‌های داغ[1]» عمل می‌کنند کاهش می‌دهد. درنتیجه مواد منفجره غیر حساس می‌شوند. مواد منفجره امولسیون، مثل امولیت، نسبت به آب دارای مقاومت فوق‌العاده‌ای هستند چون نیترات‌های محلول به‌وسیله لایه روغنی و نقطه‌های داغ به‌وسیله میکرو بالون‌ها حفظ می‌گردند. موادمنفجره‌ای را که دارای مقاومت ذاتی در برابر آب نیستند نمی‌توان در چال‌های آبدار مورد استفاده قرار داد مگر اینکه آن‌ها را در بسته‌های پلاستیکی هم قطر چال ریخت و سپس درون چال فرستاد.

به‌جز امولیت که ماده‌ای مقاوم به مدّت یک هفته در برابر آب است دانیا مکس‌ام (ماده منفجره زیر آبی شرکت نیترونوبل) برای ۲۴ ساعت تضمین شده است.

مثلاً پایداری فشنگهای کاغذی که حاوی پودر گلیسیرین است حداکثر تا یک ساعت می‌باشد و اگر آنفو[2] که در چال آبدار ریخته شود سریع ناپایدار می‌گردد. موادمنفجره موجود با توجه به مقاومت متفاوتشان در برابر آب، برای کارهای مختلف به‌کار می‌روند.

۸ــ۵ــ۴ــ سمیّت مواد منفجره[3]: مواد منفجره معمول در معدن‌ها به‌صورت‌های مختلف سمیّت خود را آشکار می‌کنند ؛ مثلاً هنگام کار با مواد منفجره، نیتروگلیسیرین موجود در آن از راه پوست دست جذب بدن می‌شود و باعث سردرد شدید می‌شود. یا این که تنفس بخارهای مواد منفجره در انباری که به خوبی تهویه نشود، موجب سردرد، گیجی و در برخی مواقع بیهوشی خواهد شد ؛ لذا هنگام لمس مواد منفجره بهتر است از دستکش استفاده شود و انبار موادّ منفجره دارای تهویهٔ کافی باشد. برخی از ترکیبات موادّ منفجرهٔ معدنی سمّی نیستند. با این حال، پس از انفجار،

۱ــ Hot spots

۲ــ در فصل ششم کاملاً توضیح داده شده است.

۳ــ Toxicity

سمیت آن‌ها به‌نحوی ظاهر می‌شود ؛ زیرا گازهایی از قبیل اکسیدکربن (CO)، بخار آب (H_2O)، انیدرید کربنیک (CO_2)، هیدروژن سولفوره (SH_2)، انیدرید سولفورو (SO_2) و اکسیدهای ازت در فضای محلّ انفجار پراکنده می‌شوند که ضررهای هریک از آنها به‌نوبهٔ خود مشخص است.

۹ــ۵ــ۴ــ حساسیت: یک ماده منفجره به‌عنوان حداقل انرژی لازم برای انفجار ماده منفجره تعریف می‌شود و براساس حساسیت مواد منفجره بر دو نوع تقسیم می‌شوند :

۱ــ مواد منفجره حساس به چاشنی

۲ــ مواد منفجره غیر حساس به چاشنی

مواد منفجره حساس به چاشنی را می‌توان با یک چاشنی شماره ۶ ≠ یا ۸ ≠ منفجر کرد. سازندگان مواد منفجره حساسیت محصولاتشان را دقیقاً اعلام می‌کنند.

مواد منفجره غیرحساس به چاشنی، برای انفجار به پرایمر یا مقداری ماده منفجره قوی نیاز دارند.

ایمنی در جابجایی به مثابه کاربرد آن فوق‌العاده مهم است. مواد منفجره نباید هیچگونه خطری برای نیروهای دست‌اندرکار داشته باشد.

قبل از این که مسئولان مربوطه ماده منفجره را تأیید کنند، باید آزمایش‌هایی به شرح زیر روی آن صورت پذیرد :

۱ــ *آزمایش ضربه چکش:* ارتفاع سقوط یک وزنه را بر روی ماده منفجره، که سبب انفجار می‌شود.

۲ــ *آزمایش اصطکاک:* در این آزمایش مقدار کمی ماده منفجره تحت فشار و اصطکاک قرار می‌گیرد، زمان انفجار و مقدار فشار ثبت می‌شود.

۳ــ *آزمایش برخورد گلوله:* سرعت موردنیاز گلوله را برای انفجار ماده منفجره مشخص می‌کند.

۴ــ *آزمایش گرما:* مقدار گرمایی را که ماده منفجره در آستانه عمل انفجار قرار می‌دهد، تعیین می‌کند. این آزمایش‌ها برای طبقه‌بندی مواد منفجره مختلف از نظر جابه‌جایی و حمل و نقل، رکن اساسی دارد.

۱۰ــ۵ــ۴ــ تراز اکسیژن: بسیاری از خصوصیات مواد منفجره به‌میزان قابلیت احتراق و درصد اکسیژن آن بستگی دارد. اختلاف بین میزان اکسیژن موجود در ماده منفجره و میزان اکسیژن لازم برای احتراق (اکسیداسیون) کامل عناصر قابل احتراق ماده، به نام تراز اکسیژن[1] آن جسم نامیده

۱ــ Oxygen balance

می‌شود. در حالاتی که میزان اکسیژن موجود بیشتر، مساوی و کمتر از مقدار اکسیژن لازم باشد، تراز اکسیژن ماده منفجره به ترتیب مثبت، صفر و منفی خواهد بود.

بدین ترتیب قدرت مواد منفجره‌ای که تراز اکسیژن آن‌ها صفر یا کمی مثبت باشد زیادتر از سایر انواع است زیرا درمورد آن‌ها اکسیژن لازم برای احتراق کامل و تولید حرارت موجود است. به‌عنوان مثال، اگر کربن در اثر احتراق کامل به CO_2 تبدیل شود، ۹۴ کالری حرارت تولید می‌کند در صورتی که احتراق ناقص آن، که باعث تولید CO می‌گردد، تنها ۲۶ کالری حرارت به‌وجود خواهد آورد. هنگام کاربرد مواد ناریه در کارهای زیرزمینی، باید به تراز اکسیژن آن توجه کرد زیرا اگر این تراز مثبت باشد، باعث تولید اکسیدهای نیتریک سمی خواهد شد و درصورتی‌که تراز اکسیژن آن منفی باشد، گاز سمی CO را به‌وجود خواهد آورد. بدین ترتیب، مواد ناریه‌ای که در داخل معادن مصرف می‌شوند، حتماً باید دارای تراز اکسیژن صفر یا اندکی مثبت باشند تا بتوانند اکسیژن لازم برای احتراق کاغذ پارافینی را، که ماده منفجره در آن پیچیده شده است، نیز فراهم سازند.

گرچه ازنظر تئوری انفجار مواد ناریه مدرن بیش از ۰/۰۲۶ درصد CO و ۰/۰۰۳ درصد دی‌اکسید ازت تولید نمی‌کنند ولی در عمل، میزان گازهای سمی بیش از مقدار فوق است. علل این امر یکی احتراق ناقص کاغذ لفاف ماده ناریه و دیگر وجود ذرات ریز زغال (در معادن زغال) در داخل چال و فعل و انفعال آن با مواد ناریه است.

در جدول ۳ــ۴ تراز اکسیژن بعضی از مواد منفجره روسی درج گردیده است.

۱۱ــ۵ــ۴ــ پایداری انفجار: انفجار مواد ناریه ممکن است پایدار یا ناپایدار باشد.

اگر سرعت انفجار در تمام طول ماده منفجره یکسان بماند، آن را پایدار و در غیر این‌صورت ناپایدار می‌گویند. بدیهی است مواد منفجره باید دارای انفجار پایدار باشند، زیرا به‌طوری که خواهیم دید، معمولاً در یک چال چندین فشنگ ماده منفجره قرار می‌دهند و درصورتی که این مواد دارای سرعت انفجار یکنواخت نباشند و به عللی انفجار آنها به تأخیر افتد، ممکن است در حال انفجار به‌بیرون چال پرتاب شده و باعث بروز حوادث، در معادنی که دارای گاز قابل انفجارند، بشوند.

پایداری انفجار مواد ناریه به عوامل مختلفی بستگی دارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان درصد رطوبت، ترکیب شیمیایی، شرایط فیزیکی، شرایط و مدت انبار کردن و حساسیت در برابر ضربه را نام برد. به‌علاوه، وزن مخصوص ماده ناریه نیز تأثیر زیادی در سرعت و پایداری انفجار دارد و درمورد اکثر مواد ناریه، با افزایش وزن مخصوص، سرعت انفجار نیز افزایش می‌یابد و به ازای وزن مخصوص معین، سرعت آن به حد ماکزیمم می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد.

مطالعهٔ آزاد

جدول ۳ــ۴ــ تراز اکسیژن مواد ناریه روسی

نوع ماده منفجره	تراز اکسیژن درصد	نوع ماده منفجره	تراز اکسیژن درصد
Ammonite ТЖ B-20	+0.35	Detonite6 – A	–0.24
Ammonite АТ - 4Ж B	+0.4	Dynamite62 ٪Slow - freezing	+0.3
Ammonite АТ - 5Ж B	0	Dynamite62 ٪	+3.4
Ammonite АТ - 2	+0.06	Nitroglycerin	+3.5
Pobedit BТ - 3	+0.58	Nitroglycol	0
Pobedit BТ - 2	+0.3	Trinitrotoluene	– 74.0
Pobedit BТ - 4	+0.03	Tetryl	– 47.4
Metanit No.4 (kernel)	+0.32	Trime thylene trinitramine	– 21.6
Ammonite No.6	+0.27	Penthrite	– 10.1
Ammonite No.6Ж B	– 0.58	Mercury fulminate	– 11.3
Ammonite No.7	+0.24	Teneres	– 56.0
Ammonite No.7Ж B	+0.25	Collodion cotton	– 33.5
Ammonite B - 3	– 0.42	Dinitronaphthalene	– 129.4
Ammonal water - resistant	+0.26	Ammonia nitrate	+20
Dinaphthalite No.1	+0.3	Aluminium	–89
Rock ammonite No.1Ж B	+0.17	Wood meal	–125
Rock ammonite No.1	+0.8	Paraffin	–345.4
Rock ammonite No.2	+0.13	Paper	–116.1

به‌طوری که خواهیم دید، بعد از قرار دادن ماده منفجره در چال، آن را به‌وسیله سمبه چوبی می‌کوبند و در بعضی موارد، ممکن است در اثر کوبیدن بیش از حد، انفجار ماده به‌صورت ناقص انجام شده یا اصلاً منفجر نشود.

قطر لول ماده ناریه نیز تأثیر به سزایی در نحوه انفجار دارد و به‌طور کلی هرقدر قطر آن بیشتر

باشد، انتقال موج انفجار از یک لول‌به‌لول دیگر بهتر انجام می‌گیرد و سرعت انفجار ثابت‌تر می‌شود. هرقدر قطر جسم کاهش یابد، سرعت انفجار آن نیز کاهش خواهد یافت. حداقل قطر ماده ناریه که در ازاءِ آن انفجار به‌صورت پایدار انجام می‌شود، به نام قطر بحرانی ماده منفجره خوانده می‌شود.

در جدول ۴ــ۴ تغییرات سرعت انفجار ماده به‌ازاءِ قطرهای مختلف درج شده است.

مطالعهٔ آزاد

جدول ۴ــ۴ــ سرعت انفجار مواد ناریه با قطرهای مختلف

سرعت انفجار ماده منفجره متر در ثانیه			قطر فشنگ میلی‌متر	سرعت انفجار ماده منفجره متر در ثانیه			قطر فشنگ میلی‌متر
آمونیت شماره ۷	آمونیت آ-۲	آمونیت شماره ۸		آمونیت شماره ۷	آمونیت آ-۲	آمونیت شماره ۸	
۳۵۸۰	۳۳۴۰	۲۹۸۰	۴۵	۲۳۸۰	۲۰۸۰	۱۸۴۰	۲۰
۳۶۳۰	۳۴۰۰	۳۱۰۰	۵۰	۲۸۳۰	۲۴۵۰	۲۱۵۰	۲۵
۳۸۲۰	۳۶۳۰	۳۲۵۰	۶۰	۳۰۸۰	۲۸۲۰	۲۴۳۰	۳۰
۳۹۹۰	۳۷۳۰	۳۴۰۰	۷۰	۳۳۵۰	۳۰۰۰	۲۵۷۰	۳۵
۴۰۵۰	۳۸۰۰	۳۴۵۰	۸۰	۳۴۹۰	۳۱۸۰	۲۷۸۰	۴۰

درصورتی که ماده ناریه برای مدت طولانی انبار شده باشد، خاصیت پایداری انفجار خود را از دست می‌دهد و سرعت انفجار آن نیز کاهش می‌یابد. مثلاً سرعت انفجار دینامیت ۶۲٪ تازه، ۶۸۰۰ متر در ثانیه است در صورتی که بعد از ۴ ماه انبار شدن، سرعت آن به ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر در ثانیه کاهش خواهد یافت. یخ زدن دینامیت، علاوه‌بر آنکه حساسیت آن را در برابر ضربه فوق‌العاده زیاد می‌کند، باعث کاهش سرعت انفجار آن نیز می‌شود.

مطالعهٔ آزاد

۱۲ــ۵ــ۴ــ مقاومت در مقابل یخزدگی: در کشورهایی که درجه حرارت آنها پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد است اهمیت بسیاری دارد. دینامیت و مواد ژلاتینی در درجه حرارت پایین سخت می‌شوند و خاصیت متراکم شدن را از دست می‌دهند در حالی که مواد منفجره امولسیونی خاصیت متراکم شدن (کوبیده شدن) را حتّی در حرارت‌های پایین حفظ می‌کنند.

مواد منفجره جدید حتّی در درجه حرارت زیر صفر و در شرایط معمولی یخ نمی‌زنند و در سردترین و پایین‌ترین درجه حرارت می‌توان از مواد منفجره‌ای که گرم کردن آنها بدون خطر باشد، استفاده کرد.

۶ــ۴ــ مدّت نگهداری

از آن‌جا که در بیشتر موارد، مواد منفجره به‌مدّت طولانی در انبار و در شرایط غیر مساعد نگهداری می‌شوند، مدّت نگهداری آن‌ها اهمیت بسیاری دارد. مواد منفجره نیتروگلیسیرین (پلاستیک) تحت شرایط معمول انبارداری، مدّت مشخصی سالم می‌مانند. حباب‌های هوای موجود در مواد منفجره به‌طور کلی یا جزیی خارج می‌شود. بنابراین حساسیت انفجار و قابلیت انتشار کم می‌شود امّا قدرت آن کاهش نمی‌یابد.

مواد منفجره نیتروگلیسیرین را نباید برای نرم شدن در حرارت زیاد قرار داد چون نیترات‌های محلول موجود در این مواد به لفاف کاغذی فشنگ نفوذ و آن را از حالت طبیعی خارج می‌کند. حرارت انبار نباید از ۳۲°C بیشتر شود اگر حرارت انبار دور این عدد نوسان کند نیترات آمونیم موجود تغییر فیزیکی می‌یابد و باعث تورم فشنگ می‌شود و آن را از حالت طبیعی خارج می‌سازد و آتشکاری مؤثر نخواهد بود.

مواد منفجره پودری که بسته‌بندی آن‌ها به‌صورت فشنگ است نسبت به رطوبت حساس بوده و در یک محیط مرطوب نیترات محلول روی روکش فشنگ رسوب می‌دهد و فشنگ سخت می‌شود.

اقدامات و احتیاط‌های زیر در کاهش گازهای سمی حاصل از انفجار، مؤثرند :

ــ داخل چال خوب پاک شده و خالی از خرده‌ریزه حفاری باشد ؛

ــ چال به‌خوبی مسدود شده باشد ؛

ـ دهانه چال با کپسول‌های آب بسته شود ؛
ـ فشنگ‌های دینامیت با هم درتماس کامل باشند ؛
ـ انفجار کامل و درست انجام گیرد ؛ مثلاً وجود رطوبت موجب نقص در انفجار می‌شود.

گازهای انفجاری که از مواد منفجره تولید می‌شوند به گازهای غیر سمی مثل دی‌اکسیدکربن، نیتروژن، بخار آب و گازهای سمی مثل منواکسیدکربن، اکسید نیتروژن و بخار نیتروگلیسیرین تقسیم می‌شوند. خصوصیات تولید گاز به‌مقدار زیاد بین انواع مواد منفجره فرق می‌کند و ماده منفجره‌ای وجود ندارد که گازهای مضر پس از انفجار تولید نکند.

در عملیات آتشکاری روباز، گازهای سمی به ندرت مشکلاتی به‌وجود می‌آورند اما برای عملیات زیرزمینی، گازهای مضر باید به مقدار پذیرفته شده نگه داشته شوند. اگر مقاومت ماده منفجره در برابر آب کم باشد مقدار گاز تولید شده افزایش می‌یابد. استفاده از پرایمر نامناسب، مسدودیت ضعیف، کوبیدن ناقص با چوب چال، انفجار غلط از علّت‌های افزایش تولید گازهای مضر به حساب می‌آیند.

نکته مهم این است که باید مهلتی برای تهویه و خروج گاز سمی پس از انفجار داده شود چون برخی از گازهای سمی بدون بو هستند به‌همین دلیل زود رفتن به محل آتشکاری ممکن است منجر به‌مرگ شود.

سردرد اثر جنبی دیگری است که از بسته‌های باز شده مواد منفجره حاوی نیتروگلیسیرین به‌وجود می‌آید. محافظت در مقابل بخار نیتروگلیسیرین غیر ممکن است چون به راحتی از طریق تنفس و پوست بدن وارد خون می‌شود و فشار خون را پایین می‌آورد. مواد منفجره‌ای مثل امولیت که آب در ساخت آنها به‌کار می‌رود گازهای غیر سمی کمتری تولید می‌کنند و همچنین هیچ سردرد یا عارضه‌ای به وجود نمی‌آورد.

خودآزمایی

۱ـ مواردی از شکستن سنگ را در کارهای معدنی و عمرانی بیان کنید.
۲ـ نقش نیروی انسانی، ماشین آلات و مواد منفجره را در شکستن سنگ توضیح دهید.
۳ـ ماده منفجره و انفجار را تعریف کرده چند مثال از انفجارهای خانگی و صنعتی را بیان کنید.
۴ـ خواص مواد منفجره نظیر سرعت انفجار، قدرت انفجار، قدرت خردکنندگی، میزان گاز تولید شده، حرارت انفجار، مقاومت در برابر آب و یخ زدگی، اثر رطوبت، وزن مخصوص و سمیّت

گازهای حاصل از انفجار را شرح دهید.

۵ــ ساختمان شیمیایی مواد منفجره را با ذکر عناصر اصل تشکیل دهندهٔ آنها تشریح کنید.

۶ــ مواد منفجره را تقسیم‌بندی کنید.

۷ــ عناصر اصلی تشکیل دهنده مواد ناریه را نام ببرید.

۸ــ اجسام تشکیل دهنده مواد ناریه را به‌اختصار نام ببرید.

۹ــ تراز اکسیژن را شرح دهید.

۱۰ــ پایداری انفجار را بیان کنید.