بسم الله الرحمن الرحیم

# تکنولوژی استخراج معدن (۱)

## رشتهٔ معدن

## زمینهٔ صنعت

## شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

## شمارهٔ درس ۲۵۸۴


۶۲۲ مدنی، حسن
۰۲/ تکنولوژی استخراج معدن(۱)/ مؤلف : حسن مدنی. ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتابهای
ت۴۲۱م/ درسی ایران، ۱۳۹۴.
۱۳۹۴ ۲۴۸ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۵۸۴)
متون درسی رشتهٔ معدن، زمینهٔ صنعت.
برنامه ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه ریزی و تألیف کتابهای درسی رشتهٔ معدن دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. معدن و ذخایر معدنی ــ صنایع. الف.ایران. وزارت آموزش و پرورش.کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای درسی رشتهٔ معدن. ب. عنوان. ج.فروست.

۱۳۹۴

**همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :**

**پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.**

**پیام‌نگار (ایمیل)** **info@tvoccd.sch.ir**

**وب‌گاه (وب‌سایت)** **www.tvoccd.sch.ir**

**وزارت آموزش و پرورش**

**سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی**


برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتابهای درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **تکنولوژی استخراج معدن(۱) ـ ۳۵۸/۳۲**

مؤلّف : **حسن مدنی**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

**تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)**

**تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،**

**وب‌سایت : www.chap.sch.ir**

صفحه‌آرا : **خدیجه محمدی**

طراح جلد : **مریم کیوان**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)**

**تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی :۱۳۹ـ۳۷۵۱۵**

چاپخانه : **سمارنگ**

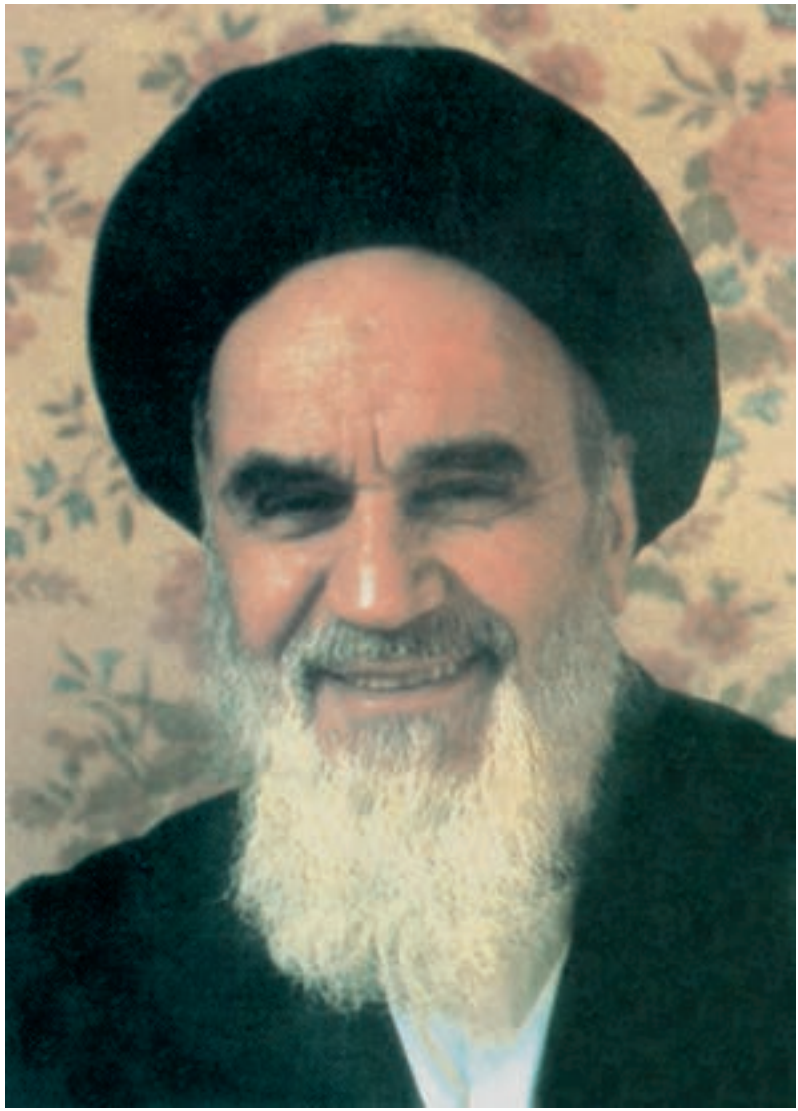
سال انتشار و نوبت چاپ : **چاپ ششم ۱۳۹۴**



**حقّ چاپ محفوظ است.**



**شابک X-۱۰۸۴-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1084-X**



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

**امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»**

# فهرست مطالب

## بخش اول ــ مبانی معدنکاری


**فصل اول : آشنایی با صنعت معدنکاری** ..... ۲
۱ــ۱ــ آشنایی ..... ۲
۱ــ۲ــ معدن چیست؟ ..... ۲
۱ــ۳ــ سوابق تاریخی معدنکاری ..... ۳
۱ــ۴ــ اهمیت صنایع معدنی ..... ۴
۱ــ۵ــ رابطه استخراج معدن با سایر علوم و فنون ..... ۴

**فصل دوم : مطالعات فنی و اقتصادی در امور معدنی** ..... ۵
۲ــ۱ــ آشنایی ..... ۵
۲ــ۲ــ انتخاب مقیاس عمل ..... ۵
۲ــ۳ــ عوامل مؤثر در فعالیت‌های معدنی ..... ۵
۲ــ۴ــ قیمت تمام شده ..... ۷
۲ــ۵ــ راندمان معدن ..... ۸
۲ــ۶ــ مدیریت و سازمان‌دهی در کارهای معدنی ..... ۹

**فصل سوم : تأسیسات و مراحل مختلف عملیات معدنی** ..... ۱۰
۳ــ۱ــ آشنایی ..... ۱۰
۳ــ۲ــ تأسیسات بیرونی معدن ..... ۱۰
۳ــ۳ــ روشهای دسترسی به ماده معدنی ..... ۱۲
۳ــ۴ــ احداث شبکه معدن ..... ۱۵
۳ــ۵ــ انواع حفریات معدنی ..... ۱۶
۳ــ۶ــ نگهداری ..... ۲۰
۳ــ۷ــ حمل و نقل ..... ۲۰
۳ــ۸ــ تهویه ..... ۲۱
۳ــ۹ــ آبکشی ..... ۲۲
۳ــ۱۰ــ روشنایی ..... ۲۲

## بخش دوم ــ نگهداری در معادن


**فصل چهارم : رده‌بندی توده‌های سنگی ..... ۲۳**
۴ـ۱ـ آشنایی ..... ۲۴
۴ـ۲ـ رده‌بندی مهندسی ..... ۲۴
۴ـ۳ـ رده‌بندی ژئومکانیکی(RMR) ..... ۲۹
۴ـ۴ـ رده‌بندی براساس شاخص کیفیت تونل‌سازی Q ..... ۳۱

**فصل پنجم : تنش در حفریات معدنی ..... ۳۶**
۵ ـ۱ـ آشنایی ..... ۳۶
۵ ـ۲ـ تنشهای برجا ..... ۳۸
۵ ـ۳ـ تنش در تونلها ..... ۴۶
۵ ـ۴ـ وضعیت تنش در تونلهای مختلف ..... ۵۰
۵ ـ ۵ ـ تنش در کارگاه استخراج ..... ۶۳

**فصل ششم : مصالح لازم برای نگهداری حفریات معدنی ..... ۷۱**
۶ ـ۱ـ آشنایی ..... ۷۱
۶ ـ۲ـ سنگهای طبیعی ..... ۷۱
۶ ـ۳ـ آجر ..... ۷۴
۶ ـ۴ـ آهک ..... ۷۶
۶ ـ ۵ ـ گچ ..... ۷۸
۶ـ۶ـ سیمان ..... ۷۹
۶ـ۷ـ ملاتها ..... ۸۱
۶ـ۸ـ بتن ..... ۸۵
۶ـ ۹ ـ بتن مسلح ..... ۹۶
۶ـ۱۰ـ چوب ..... ۹۸
۶ـ۱۱ـ فولاد ..... ۱۰۳

**فصل هفتم : نگهداری در تونل‌ها ..... ۱۰۷**
۷ـ۱ـ آشنایی ..... ۱۰۷

۷ـ۲ـ لق گیری ..... ۱۰۷
۷ـ۳ـ نگهداری به وسیله چوب ..... ۱۰۷
۷ـ۴ـ نگهداری به وسیله قابهای فلزی ..... ۱۱۷
۷ـ۵ـ نگهداری به وسیله قابهای بتنی ..... ۱۲۲
۷ـ۶ـ دیوارسازی در تونل ..... ۱۲۴
۷ـ۷ـ دیواره بتنی ..... ۱۲۵
۷ـ۸ـ شاتکریت یا بتن پاشی ..... ۱۲۶
۷ـ۹ـ نگهداری به وسیله پیچ سنگ ..... ۱۲۷
۷ـ۱۰ـ تعمیرات سیستم نگهداری تونل ..... ۱۳۰

**فصل هشتم : نگهداری در چاه ..... ۱۳۲**
۸ـ۱ـ آشنایی ..... ۱۳۲
۸ـ۲ـ نگهداری به وسیله چوب ..... ۱۳۲
۸ـ۳ـ نگهداری به وسیله قابهای فلزی ..... ۱۳۴
۸ـ۴ـ دیوارسازی چاه ..... ۱۳۵
۸ـ۵ـ نگهداری با استفاده از آستری بتنی ..... ۱۳۵
۸ـ۶ـ نگهداری به وسیله قطعات بتنی ..... ۱۳۷

**فصل نهم : نگهداری در کارگاه استخراج ..... ۱۳۹**
۹ـ۱ـ آشنایی ..... ۱۳۹
۹ـ۲ـ چوب بست در کارگاه استخراج ..... ۱۴۱
۹ـ۳ـ جرز چوبی ..... ۱۴۳
۹ـ۴ـ پایه‌های فلزی ..... ۱۴۴
۹ـ۵ـ جرزهای فلزی ..... ۱۴۷
۹ـ۶ـ پایه‌های قدرتی ..... ۱۴۸
۹ـ۷ـ پرکردن محل استخراج شده ..... ۱۵۵

## بخش سوم ــ حمل و نقل در معادن

**فصل دهم : بارگیری ..... ۱۵۸**

۱۰ـ۱ـ آشنایی ..... ۱۵۸
۱۰ـ۲ـ بارگیری در تونل‌ها ..... ۱۵۸
۱۰ـ۳ـ بارگیری در چاه ..... ۱۶۶
۱۰ـ۴ـ بارگیری در خارج معدن ..... ۱۶۷

**فصل یازدهم : وسایل حمل و نقل مداوم ..... ۱۶۹**
۱۱ـ۱ـ آشنایی ..... ۱۶۹
۱۱ـ۲ـ ناو ثابت ..... ۱۶۹
۱۱ـ۳ـ ناو زنجیری ..... ۱۷۰
۱۱ـ۴ـ نوار باربری ..... ۱۷۵

**فصل دوازدهم : راه آهن ..... ۱۸۲**
۱۲ـ۱ـ آشنایی ..... ۱۸۲
۱۲ـ۲ـ احداث خط آهن ..... ۱۸۲
۱۲ـ۳ـ نقاط ویژه در مسیر خط آهن ..... ۱۸۸
۱۲ـ۴ـ مشخصات فنی خط آهن ..... ۱۹۲
۱۲ـ۵ـ واگون‌های معدنی ..... ۱۹۴
۱۲ـ۶ـ لکوموتیوها ..... ۲۰۳
۱۲ـ۷ـ جرثقیل ..... ۲۱۲
۱۲ـ ۸ ـ راه‌آهن‌های ویژه ..... ۲۱۶

**فصل سیزدهم : چگونگی حمل و نقل در قسمت‌های مختلف معدن ..... ۲۲۱**
۱۳ـ۱ـ آشنایی ..... ۲۲۱
۱۳ـ۲ـ حمل و نقل در کارگاه استخراج ..... ۲۲۱
۱۳ـ۳ـ حمل و نقل در تونل‌های افقی ..... ۲۲۳
۱۳ـ۴ـ حمل و نقل در تونل‌های مورب ..... ۲۲۴
۱۳ـ۵ ـ حمل و نقل در داخل چاه ..... ۲۲۷
۱۳ـ۶ ـ حمل و نقل در بیرون معدن ..... ۲۳۵

**فهرست منابع ..... ۲۴۳**

# پیشگفتار

کتاب تکنولوژی استخراج معدن (۱)، اولین کتاب در زمینه شناسایی صنعت معدنکاری به هنرجویان این رشته است. به همین خاطر، در اولین بخش کتاب، مروری کلی بر مراحل مختلف معدنکاری آمده است تا خواننده برای مطالعه بخشهای دیگر این کتاب و نیز کتابهای بعدی، آماده شود.

در کتاب حفاری در معادن، نحوه احداث حفریات معدنی مختلف مورد بحث قرار می‌گیرد. همزمان با ادامه حفاری، باید کارهای معدنی مختلف شامل تونلها، دویلها، چاهها و کارگاههای استخراج را نگهداری کرد که موضوع بخش دوم این کتاب است. در بخش سوم نیز چگونگی حمل و نقل مواد معدنی در قسمتهای مختلف معدن مورد بحث قرار گرفته است.

برای تهیه این کتاب از منابع مختلفی استفاده شده که فهرست آنها به ترتیب استفاده در متن در پایان کتاب آمده است. در متن کتاب نیز منابع مورد استفاده با عددی در داخل [ ] مشخص شده که این عدد، شماره مرجع مورد استفاده در فهرست یادشده است. امید است این کتاب در شناسایی بخشی از عملیات معدنکاری مفید واقع شود.

**حسن مدنی**

**اسفندماه ۱۳۷۹**

# بخش اول

# مبانی معدنکاری

معدنکاری، صنعت پیچیده‌ای است که برمبنای بسیاری از رشته‌های صنعتی دیگر بنا شده است و بنابراین مطالعه در مورد چنین صنعتی، مشکلات خاص خود را دارد. مشکل اصلی در این زمینه آن است که معدنکاری، صنعت آشنایی نیست و کمتر کسی است که با جزییات آن آشنا باشد، حال آنکه در مورد صنایع دیگر این چنین نیست و مثلاً در مورد رشته عمران، اکثر افراد با سازه‌های صنعتی آشنا هستند و آنها را دیده‌اند. از آنجا که این کتاب، اولین کتاب در زمینه آموزش صنعت معدنکاری برای هنرجویان هنرستانی در روش سالی واحدی است لذا قبل از آنکه به تشریح مراحل تخصصی بپردازیم، لازم است که تا حدودی با صنعت معدن و مراحل آن آشنا شویم. به همین خاطر، در ابتدای کتاب حاضر به شرح مبانی معدنکاری پرداخته‌ایم تا خواننده، ابتدا یک دید کلی راجع به صنعت معدن به دست آورد و برای مطالعه مطالب تخصصی آماده شود. بدیهی است، آنچه در این بخش به اختصار آمده، در بخشهای دیگر این کتاب و سایر کتابهای تخصصی رشته، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

مباحث عملی این درس در کارگاههای معدن به‌طور جداگانه آموزش داده خواهد شد و تکنولوژی آن در درس مربوط به‌صورت کتاب درسی مستقل ارائه می‌شود.

# فصل اول

## آشنایی با صنعت معدنکاری

### ۱ــ۱ــ آشنایی

معدنکاری[۱] و کشاورزی، صنایع پایه کشورها است. کشاورزی مواد اولیه خوراکی، پوشاکی و تا حدودی بعضی مصالح ساختمانی را تأمین می‌کند ولی به کمک معدنکاری، مواد اولیه موردنیاز صنایع مختلف تأمین می‌شود.

مواد اساسی ساختمان سازی نظیر سنگهای طبیعی، ماسه، رس و مواد اولیه سیمان، با فعالیت‌های معدنی تأمین می‌شود. تهیه تمام سوخت‌ها مثل گاز طبیعی، نفت و زغال سنگ، زمینه دیگری از فعالیت‌های معدنی است. به عنوان نمونه دیگری از کارهای معدنی، می‌توان از استخراج گوگرد، زغال سنگ، مواد دیرگداز، طلا، نقره، مس، سرب، روی، آهن و آلومینیوم، که اهمیت آنها در صنایع بر کسی پوشیده نیست، نام برد.

### ۱ــ۲ــ معدن چیست؟

شاید کمتر کسی بتواند معدن را به درستی تعریف کند. در بسیاری موارد در رسانه‌های گروهی می‌خوانیم و یا می‌شنویم که مثلاً «یک معدن بزرگ مس کشف شد». واضح است که چنین مطلبی صحیح نیست، زیرا اگر به محلی معدن گفته می‌شود، بایستی سالها پیش کشف شده باشد.

به طورکلی برای اینکه یک استعداد بالقوه موجود در طبیعت که به آن کانسار[۲] می‌گوییم به یک معدن تبدیل شود، فعالیت‌های زیادی باید انجام گیرد. درواقع آنچه که به کمک عملیات پی جویی و اکتشاف به اصطلاح کشف می‌شود، کانسار است نه معدن. پس ازپی جویی و اکتشاف کانسار و آگاهی از اینکه کانسار در شرایط فنی و اقتصادی موجود قابل بهره برداری است، بایستی معدن طراحی شود. یعنی اینکه ابتدا مشخص شود بهترین راه دستیابی به ماده معدنی چیست. پس از طراحی و انجام حفریات آماده سازی و احداث شبکه معدن، که معمولاً چندین سال طول می‌کشد، آنگاه می‌توان محل موردنظر را معدن نامید.

---

۱ــ Mining

۲ــ Mineral deposit

## ۱ــ۳ــ سوابق تاریخی معدنکاری

معدنکاری یکی از قدیمی‌ترین فعالیتهایی است که توسط بشر اولیه انجام گرفته است. ازجمله کارهای معدنی قدیمی می‌توان جداکردن طلا از شن‌های رودخانه، استخراج و ذوب کانیهای مس و استفاده از قیر طبیعی را نام برد. اولین کارهای معدنی به صورت ترانشه وحفره‌های روباز بوده است. بعدها، بشر روش‌های زیرزمینی را برای استخراج کانسنگ‌های فلزی به کار برد و تا اعماق ۱۵ تا ۲۰ متری در داخل زمین فرورفت. ابزاری که برای این حفاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت، کلنگ‌هایی بود که با استفاده از سنگهای آتش‌زنه ساخته می‌شد. براساس اطلاعات موجود، اولین فعالیتهای معدنی توسط مصریان برای استخراج فیروزه در شبه‌جزیره سینا در حدود ۳۴۰۰ سال قبل از میلاد انجام شده است.

تحقیقات تاریخی نشان داده است که در حدود ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، نقره توسط بابلی‌ها استخراج می‌شده و به عنوان واحد پول به کار می‌رفته است. در زمانهای قدیم قسمت عمده طلا از جنوب سودان استخراج می‌شده است. برای استخراج طلا، چاههای کوچکی حفر و سپس مخلوط طلا و شن به وسیله سینی‌های چدنی و به روش شستشو از هم جدا می‌شده است. به نظر می‌رسد که کار استخراج معادن طلا از حدود ۴۰۰۰ سال قبل، در این منطقه آغاز شده باشد.

اولین آهنی که در صنعت به کار رفته، از نوع سنگهای آسمانی بوده و با توجه به نادر بودن این سنگها، احتمالاً قیمت آهن اولیه از طلا نیز گرانتر بوده است.

فن استخراج آبهای زیرزمینی به وسیله قنوات را می‌توان جزو اولین کارهای معدنکاری درنظر گرفت که مبتکر آن، ایرانیان بوده‌اند. با توجه به آنکه طول این قناتها در بعضی از نواحی ایران مرکزی به حدود ۶۰ کیلومتر می‌رسد، اهمیت این فن، بیشتر مشخص می‌شود.

در بسیاری از معادن فعلی ایران، آثار معدنکاری قدیمی‌دیده می‌شود که آنها را کارهای شدّادی می‌خوانند. ازجمله این معادن می‌توان معادن سرب و روی نخلک (حوالی انارک )، معدن سرب آهنگران (حوالی ملایر)، معدن مس عباس آباد (از توابع شاهرود)، معدن سرب و روی ایران کوه (نزدیکی اصفهان ) و معدن سرب و روی نمار (حوالی ده نمار از توابع بلده ) را نام برد.

با اکتشاف معادن طلا در کالیفرنیا (۱۸۴۸ میلادی)، افریقای جنوبی (۱۸۷۵ میلادی)، استرالیا (۱۸۸۲ میلادی) و کانادا (۱۸۹۶ میلادی)، صنعت معدن قدم‌های بزرگی در راه تکامل برداشت، به‌طوری که امروزه در تمام زمینه‌ها، از اکتشاف گرفته تا لوازم و وسایل استخراج و کارخانجات کانه‌آرایی، یکی از مدرن‌ترین صنایع به‌شمار می‌آید.

## ۱ــ۴ــ اهمیت صنایع معدنی

اهمیت منابع معدنی چه در زمان صلح و چه در زمان جنگ بر کسی پوشیده نیست. درحقیقت می‌توان گفت کشورهایی از نظر صنعتی موفقیت یافته‌اند که یا خود دارای منابع معدنی مهم بوده‌اند و یا به آسانی از منابع معدنی سایر کشورها، بهره برداری کرده‌اند.

در بین منابع معدنی، سوخت‌ها و آهن در درجه اول اهمیت قرار دارند و در مرحله بعد مس، سرب و روی قرار می‌گیرند. موادی نظیر فسفاتها، پتاس، نیترات و گوگرد نیز برای صنایع شیمیایی اهمیت بسیار دارند. طلا و نقره گرچه با ارزش هستند ولی از نظر پایه‌گذاری صنایع اصلی، نقش چندانی ندارند.

## ۱ــ۵ــ رابطه استخراج معدن با سایر علوم و فنون

استخراج معدن را نمی‌توان به عنوان یک درس کاملاً مستقل مورد مطالعه قرارداد بلکه این درس درحقیقت تلفیقی از سایر رشته‌های مهندسی نظیر عمران، مکانیک، برق، شیمی و زمین‌شناسی است که این فنون، خود براساس علوم ریاضی، فیزیک و مکانیک، پایه‌گذاری شده‌اند.

به طوری که خواهیم دید، در قسمت‌های مختلف این کتاب، با رشته‌های مختلف علوم و فنون سروکار خواهیم داشت. مثلاً برای انتخاب صحیح وسایل نگهداری در معدن، آشنایی با مقاومت مصالح و مصالح ساختمانی و در نتیجه مبانی مهندسی عمران ضروری است و مبحث حمل و نقل برمبنای مهندسی مکانیک پایه‌گذاری شده است. سایر فعالیتهای معدنکاری که در کتابهای دیگر مورد بحث قرار می‌گیرند، بر مبنای سایر رشته‌های مهندسی بنا شده‌اند. مثلاً پایه مبحث مواد منفجره و آتشباری را مهندسی شیمی‌تشکیل می‌دهد و مبحث حفاری با توجه به پایه مهندسی مکانیک برنامه‌ریزی شده است. مبنای کتاب خدمات فنی، مکانیک سیالات است.

# فصل دوم

## مطالعات فنی و اقتصادی در امور معدنی

### ۲ــ۱ــ آشنایی

مطالعات فنی و اقتصادی یکی از حساس‌ترین مراحل کارهای معدنی است ؛ زیرا پس از هزینه کردن مبالغ زیاد در امر اکتشاف، بایستی با توجه به عوامل مختلف و به کمک این مطالعات، قابلیت کانسار را از نظر استخراج ارزیابی کرد.

مطالعات فنی و اقتصادی معمولاً در چند مرحله انجام می‌گیرد که این مراحل ممکن است کاملاً مستقل از یکدیگر باشند و یا اینکه همدیگر را بپوشانند. در مرحله اول، ممکن است یک بررسی سریع از وضع کانسار به عمل آید و امکان سودمند بودن آن بررسی شود. در مرحله دوم، مطالعات دقیق‌تری انجام می‌گیرد و میزان سود حاصله به ازای واحد وزن ماده معدنی تعیین می‌شود. مرحله سوم، طرح و بررسی‌های مهندسی و سفارشات را دربر دارد و بالاخره در مراحل بعدی، کارهای آماده‌سازی انجام می‌شود.

### ۲ــ۲ــ انتخاب مقیاس عمل

یکی از مهمترین مسایل معدن، انتخاب مقیاس کار است زیرا بسیاری از هزینه‌های معدن، به‌ویژه هزینه‌های خدماتی، تقریباً ثابت است و بدین ترتیب، با افزایش محصول استخراج شده، میزان این هزینه‌ها به‌ازای واحد وزن ماده معدنی تولیدشده کاهش می‌یابد.

برای اینکه میزان استخراج معدن بالا برود، بعضی عملیات آماده‌سازی موردنیاز است که انجام این عملیات، خود هزینه زیادی را دربر دارد و لازمه آن، خرید ماشین‌آلات و تجهیزات مدرن و نیز به‌کار گرفتن نیروی انسانی زیادتر در مرحله تجهیز است.

### ۲ــ۳ــ عوامل مؤثر در فعالیت‌های معدنی

عوامل مختلف مؤثر در بهره‌دهی معادن را می‌توان به گروههای مختلف دسته‌بندی کرد که در صفحه بعد به شرح آنها می‌پردازیم :

**۲ــ۳ــ۱ــ عوامل جغرافیایی:** این عوامل به موقعیت جغرافیایی کانسار بستگی دارد که از جمله آنها می‌توان امکانات حمل و نقل در محل، دسترسی به آزمایشگاهها، امکانات تهیه وسایل و لوازم و مشخصات آب و هوایی را نام برد.

به عنوان مثال اگر معدن در نزدیکی یک شهر بزرگ واقع باشد، می‌توان از امکانات آب، برق، ارتباطات و مسکن آن شهر استفاده کرد و در حالت عکس، یعنی هنگامی‌که محل معدن از نقاط مسکونی فاصله داشته باشد، تأمین این مسایل، باعث افزایش مخارج معدنکاری خواهد شد.

موقعیت جغرافیایی در تأمین نیروی انسانی لازم نیز رل مهمی را داراست. در مواردی که معدن در نقاط پرجمعیت واقع باشد، به آسانی می‌توان نیروی انسانی لازم را از محل تأمین کرد و در چنین شرایطی، اولاً مشکلات تأمین مسکن کارکنان تا حدودی از بین خواهد رفت و ثانیاً احتمال از دست دادن نیروی انسانی متخصص نیز کاهش خواهد یافت.

**۲ــ۳ــ۲ــ موقعیت محل:** مشخصات سطحی و زیرزمینی محل معدن از جمله مسائل مهمی هستند که در ارزش اقتصادی معدن مؤثراند. به‌طوری که خواهیم دید، تأسیسات بیرونی معدن از قبیل اداره، آزمایشگاه، کارخانه تغلیظ، حمام، تعمیرگاه، نیروگاه، غذاخوری و غیره، به فضای وسیعی احتیاج دارد. بنابراین، در مواردی که فضای لازم آماده در اختیار نباشد، مخارج زیادی برای آماده‌سازی فضا مصرف خواهد شد. مثلاً برای تهیه و تسطیح فضای لازم برای تأسیسات معدن بزرگ باب‌نیزو کرمان، بیش از یک‌سال کار مداوم انجام گرفت که مخارج هنگفتی را دربر داشت.

علاوه برتأسیسات خود معدن، در نزدیکی منطقه معدنی، باید زمین لازم برای احداث ساختمانهای مسکونی، بهداشتی، آموزشی و نظایر آنها موجود باشد و در صورت گران بودن این زمین‌ها، مخارج معدن افزایش می‌یابد.

**۲ــ۳ــ۳ــ مشخصات زمین شناسی و معدنی:** مشخصات زمین شناسی و معدنی کانسار از جمله مهمترین عوامل مؤثر در ارزش اقتصادی آن هستند. از جمله این عوامل می‌توان مشخصه‌های زیر را نام برد :

الف ــ اندازه، شکل و نوع توده کانسنگ.

ب ــ نوع و ضخامت سنگهای روباره مواد معدنی.

ج ــ میزان آب موجود در قسمت‌های بالای توده معدنی زیرا به طوری که خواهیم دید، یکی از مخارج مهم معدن، مخارج آبکشی است. ضمناً وجود آب بر مقاومت مواد معدنی و سنگهای اطراف آن و در نتیجه در هزینه‌های سیستم نگهداری تأثیر می‌گذارد.

د ــ مقاومت مکانیکی سنگهای درونگیر کانسنگ، زیرا بسته به مقاوم بودن یا نبودن این سنگها، مخارج نگهداری معدن متفاوت خواهد بود.

هـ ــ سختی توده کانی و سنگهای درونگیر آن، زیرا بسته به درجه سختی ماده معدنی و سنگهای اطراف آن، مخارج حفاری متفاوت خواهد بود.

و ــ مشخصات ذاتی ماده معدنی (از قبیل قابلیت خودسوزی، خردشدن و نظایر آن ).

ز ــ خواص شیمیایی کانسنگ یا سنگهای درونگیر آن از نقطه‌نظر خورندگی وسایل و لوازم و نیز از نظر سلامتی کارکنان معدن (مثل معادن جیوه، سرب و مواد رادیواکتیو).

ح ــ خواص تغلیظ‌پذیری، زیرا بسته به مورد، هزینه کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی نیز نقش مهمی را در ارزش ماده معدنی استخراج شده دارد.

ط ــ شیب زمین گرمایی[1] محل و نیز لزوم گرم یا سرد کردن هوای ورودی معدن.

**۲ــ۳ــ۴ــ عوامل بازرگانی:** قبل از احداث هر معدن باید قیمت فروش ماده معدنی را در بازارهای داخلی و خارجی بررسی و عوامل مؤثر در تغییرات آنرا تشریح کرد. باید توجه داشت که در این ارزیابی، نباید فقط قیمت روز ماده معدنی مورد بررسی قرار گیرد بلکه ابتدا بایستی تغییرات قیمت ماده را در چندین سال گذشته مورد بررسی قرارداد و براساس آن، قیمت را در سالهای آتیه پیش‌بینی کرد.

درحالت کلی می‌توان گفت که قیمت ماده معدنی تابع قانون عرضه و تقاضاست. در بعضی حالات خاص ممکن است قیمت یک جسم به‌طور ناگهانی افزایش یابد. مثلاً در زمان جنگ، قیمت مواد معدنی‌ای که در صنایع نظامی مصرف می‌شود، به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثالی دیگر، می‌توان از قیمت زغال سنگ یاد کرد که با افزایش قیمت نفت در بازارهای جهانی قیمت این جسم افزایش و در حالت عکس کاهش یافته است و درنتیجه، بسیاری از معادن آن، که قبلاً به علت ارزانی از نظر اقتصادی قابل کار نبود، با صرفه شده و یا بالعکس، معادن فعال آن متروک شده است.

## ۲ــ۴ــ قیمت تمام شده

قیمت تمام شده را می‌توان از تقسیم هزینه کل عملیات بر میزان محصول استخراج شده تعیین کرد. بدیهی است یک معدن هنگامی از نظر اقتصادی قابل کار است، که قیمت تمام شده آن از قیمت بازار کمتر باشد، تا علاوه بر جبران هزینه‌ها، سود لازم نیز تأمین شود.

---

۱ــ شیب زمین گرمایی در هر منطقه عبارت از تغییرات دمای سنگهای محل نسبت به عمق است که تأثیر مهمی بر گرم شدن هوای ورودی به معدن دارد و در درس خدمات فنی به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

هزینه‌های معدنی را به دودسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌کنند. هزینه‌های مستقیم شامل آن دسته از مخارجی است که مستقیماً به عملیات معدنکاری وابسته است که از جمله آنها می‌توان به‌مخارج حفاری، نگهداری، استخراج، باربری و نظایر آنها اشاره کرد.

هزینه‌های غیرمستقیم، مخارجی از قبیل هزینه تعمیرگاهها، هزینه‌های اداری، هزینه‌های بهداشتی و هزینه‌های رفاهی را دربرمی‌گیرد. باید توجه داشت که گرچه هزینه‌های غیرمستقیم به طور مستقیم با عملیات معدنی ارتباط ندارند، ولی این هزینه‌ها الزامی‌است و بدون آنها نمی‌توان فعالیت‌های معدنکاری را انجام داد.

## ۲ــ۵ــ راندمان معدن

راندمان یا بهره‌دهی معدن را از نظرهای مختلف می‌توان تعریف کرد. در حالت کلی می‌توان راندمان را به صورت خارج قسمت محصول استخراج شده برتعداد روز ــ کار صرف شده، بیان کرد.

به طوری که خواهیم دید، برای استخراج مواد معدنی مراحل مختلفی لازم است و گرچه استخراج مواد معدنی توسط کارگران یا ماشینهای ویژه و در قسمت خاصی از معدن انجام می‌گیرد، ولی برای آماده سازی محیط کار، حمل و نقل، تهویه، روشنایی و... تعداد زیادی کارگر در قسمت‌های مختلف به کار مشغول‌اند. علاوه بر افرادی که در داخل معدن کار می‌کنند، عده زیادی نیز در بیرون معدن به انجام کارهای خدماتی (مثل خدمات فنی، اداری، بهداشتی، رفاهی و نظایر آنها) اشتغال دارند. بنابراین در محاسبه قیمت تمام شده ماده معدنی، باید این عوامل را نیز درنظر گرفت.

با توجه به مطالب یادشده، برای قسمت‌های مختلف معدن، می‌توان راندمان‌های مختلفی تعریف کرد که در زیر به ذکر چند مورد متداول آن می‌پردازیم :

**الف ــ راندمان کارگاه:** این مشخصه به صورت خارج قسمت محصول استخراج شده، بر عده روز ــ کار انجام شده در کارگاه، تعریف می‌شود.

**ب ــ راندمان داخل معدن:** خارج قسمت محصول استخراج شده معدن، بر عده روز ــ کارتمام کارکنان درون معدن، به نام راندمان داخلی نامیده می‌شود.

**ج ــ راندمان کل معدن:** نسبت محصول استخراج شده، بر تعداد روز ــ کار کلیه کارکنان معدن بدین نام خوانده می‌شود.

راندمان معدن یکی از مشخصه‌های مهم آن است و با مقایسه راندمان معادن مختلف، می‌توان به میزان بهره‌دهی آنها پی برد.

## ۲ــ۶ــ مدیریت و سازمان‌دهی در کارهای معدنی

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فعالیت‌های معدنکاری، سازمان‌دهی صحیح در عملیات مختلف است.

فعالیت‌های معدنی متنوع‌اند و در بسیاری موارد، این فعالیت‌ها بایستی به طور پی‌درپی انجام گیرند. به‌عنوان مثال، پس از حفر تونل، باید عملیات بارگیری و باربری انجام گیرد و درعین حال، سیستم نگهداری قسمت حفر شده نیز نصب شود و در چنین حالتی، وقفه در هرکدام از این مراحل، باعث ایجاد وقفه در سایر قسمت‌ها نیز خواهد شد.

مناسب‌ترین طرح مدیریت در فعالیت‌های معدنی آن است که کارها حتی‌المقدور تفکیک شده و در هر حالت، میزان اختیارات و مسئولیت افراد مشخص شود.

برای برآورد نیروی انسانی لازم، ابتدا بایستی کارهای مختلف هر معدن را مشخص و سپس نمودار سازمانی آن را رسم کرد. در این نمودار، بایستی وابستگی هر یک از قسمت‌های معدن مشخص و نیز تعداد افراد لازم برای هر قسمت تعیین شود.

# فصل سوم

# تأسیسات و مراحل مختلف عملیات معدنی

## ۳ــ۱ــ آشنایی

هدف از این مبحث، آشنایی کلی با قسمت‌های مختلف معدن است. به طوری که خواهیم دید، بسیاری از عملیات معدنی همزمان با یکدیگر انجام می‌گیرد و در هرحال، بایستی شرایط مربوط به‌عملیات دیگر را نیز در نظر داشت. مثلاً ضمن حفر حفریات معدنی مختلف، توجه به مسایل ایمنی، از جمله تهویه معدن، ضروری است و درعین حال، نبایستی مسایل مربوط به نگهداری را از نظر دور داشت. به همین خاطر، در این فصل، عملیات مختلف معدن به اجمال بررسی خواهد شد تا خواننده آشنایی کلی پیدا کند.

## ۳ــ۲ــ تأسیسات بیرونی معدن

قبل از آغاز فعالیت معدنکاری، ابتدا بایستی منطقه وسیعی را به منظور احداث تأسیسات بیرونی معدن درنظر گرفت. این محل، باید در مجاورت دهانه چاه یا تونـل اصلی معدن واقع و حتی‌المقدور مسطح باشد. در صورتی که در مجاورت چاه یا تونل اصلی، زمین مسطح نباشد، بایستی آن را با استفاده از ماشین آلات راهسازی تسطیح کرد. مثلاً محوطه معدن بزرگ منطقه زغال سنگ باب‌نیزو کرمان، با صرف وقت و مبالغ زیاد احداث شده است.

انتخاب محل تأسیسات بیرونی معدن ازجمله مسایل مهم است که باید با توجه به تمام عوامل انجام گیرد. این محل که به نام محوطه معدن نامیده می‌شود، بایستی از دسترسی سیلابها، سنگهای معلق و عوامل نظیر آن دور و در عین حال، اختلاف ارتفاع لازم، برای احداث سنگر مواد باطله و انبارهای مواد معدنی (بونکر) موجود باشد. بدیهی است زمین محل باید مقاومت کافی داشته باشد تا بتواند وزن تأسیسات مختلف را تحمل کند.

یکی از مسایل مهمی‌که به هنگام انتخاب محوطه معدنی باید مورد توجه قرار گیرد، وجود فضای لازم برای تخلیه مواد باطله حاصل از عملیات معدنکاری است. به عبارت دیگر، این محل باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که به آسانی بتوان واگونهای حاوی سنگهای باطله را تخلیه کرد.

مهمترین تأسیسات بیرونی معدن به شرح زیر است :

**الف ــ نیروگاه یا پست توزیع برق:** برای تأمین روشنایی محوطه معدن، شارژ چراغهای معدنی، تغذیه بادبزن‌های اصلی، تلمبه‌ها و کمپرسورها و نیز تغذیه تعمیرگاه و مسایل نظیر آن، وجود نیروگاه یا پست توزیع برق ضروری است. اگر معدن در نقطه دورافتاده‌ای واقع باشد، برای آن نیروگاه اختصاصی برق احداث می‌کنند ولی اگر در مسیر خط سراسری انتقال برق واقع شود، برای تغذیه آن، یک پست توزیع برق در نظر می‌گیرند.

به هنگام طراحی معدن باید میزان مصرف برق لازم را محاسبه و با توجه به آن، مولدها یا ترانسفورماتور موردنیاز را انتخاب کرد که این موضوع در درس خدمات فنی مورد بحث قرار می‌گیرد. انتخاب محل نیروگاه برق باید با رعایت تمام نکات ایمنی صورت گیرد.

**ب ــ کمپرسورخانه:** به طوری که خواهیم دید، بسیاری از دستگاه‌های معدنی با هوای فشرده کار می‌کنند و در بعضی از قسمت‌ها نیز، به منظور رعایت مسایل ایمنی، استفاده از هوای فشرده الزامی است.

نحوه کار کمپرسورها و انواع آنها در درس خدمات فنی بررسی می‌شود و در اینجا ذکر این نکته ضروری است که با توجه به سروصدای زیاد کمپرسورها، حتی‌المقدور باید محل کمپرسورخانه را دور از تأسیسات اداری درنظر گرفت.

**ج ــ چراغخانه:** برای تأمین روشنایی لازم برای افراد به هنگام کار در معدن، برای هر کارگر و در هر شیفت کار، باید یک چراغ موجود باشد. برای تأمین روشنایی کافی، هر چراغ پس از ۸ ساعت کار، حداقل بایستی ۸ ساعت زیر شارژ بماند تا برای مصرف روز بعد آماده شود.

شرح انواع چراغها و نحوه تأمین روشنایی در درس خدمات فنی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**د ــ تعمیرگاه و کارگاه فنی:** برای تعمیر وسایل معدنی، معمولاً تعمیرگاهی در محوطه معدن تأسیس می‌شود. همچنین به منظور ساختن قطعات فلزی، چوبی و بتنی موردنیاز معدن، یک کارگاه فنی احداث می‌کنند.

**هـ ــ دکل‌های معدن:** در مواردی که برای دسترسی به ماده معدنی از چاه قایم استفاده شود، برای انجام عملیات باربری، در بالای هر چاه یک دکل نصب می‌شود.

مشخصات این دکل‌ها در مبحث حمل و نقل در داخل چاه بررسی خواهد شد.

**و ــ مرکز جرثقیل‌ها:** حمل و نقل افراد و مواد معدنی در داخل چاه، به کمک تعدادی جرثقیل انجام می‌گیرد که معمولاً تمامی آنها در یک محوطه مخصوص نصب شده‌اند.

**ز ــ بادبزن اصلی:** به طوری که خواهیم دید، یکی از مهمترین مسایل معدن تهویه آن است.

برای به جریان‌انداختن هوا در قسمت‌های مختلف، معمولاً یک بادبزن اصلی در محوطه معدن نصب می‌شود که از طریق تونل یا چاه موجود، هوا را به جریان می‌اندازد.

**ح ــ بونکرها:** معمولاً مواد معدنی به وسیله واگون از معدن به بیرون حمل شده و در مخازنی که به نام بونکر موسوم است، تخلیه می‌شود. در مرحله بعد، مواد معدنی از این بونکر به داخل کامیونها تخلیه شده و به ایستگاه بارگیری حمل می‌شود.

**ط ــ مخزن آب:** برای خاموش کردن آتش‌سوزیهای احتمالی در معدن، به‌ویژه معادن زغال‌سنگ، یک مخزن بزرگ آب همراه با شبکه گسترده‌ای از لوله‌های بزرگ که در تمام قسمت‌های معدن گسترش می‌یابد، پیش‌بینی می‌شود. بدیهی است این مخزن، جدا ازمخزن آب لازم برای مصارف بهداشتی و آشامیدنی است.

**ی ــ کارگاه تغلیظ:** امروزه در اکثر معادن کارخانه تغلیظ و شستشوی مواد معدنی وجود دارد که ماده استخراج شده را پرعیار می‌کند.

با توجه به هزینه زیاد احداث اینگونه کارخانه‌ها، معمولاً برای چند معدن نزدیک به هم، یک کارخانه تغلیظ احداث می‌شود. مثلاً برای شستشوی زغالهای معادن باب نیزو و پابدانا در کرمان، یک کارخانه زغالشویی بزرگ در حوالی زرند احداث شده است که شستشوی محصول هر دو معدن را به‌عهده دارد.

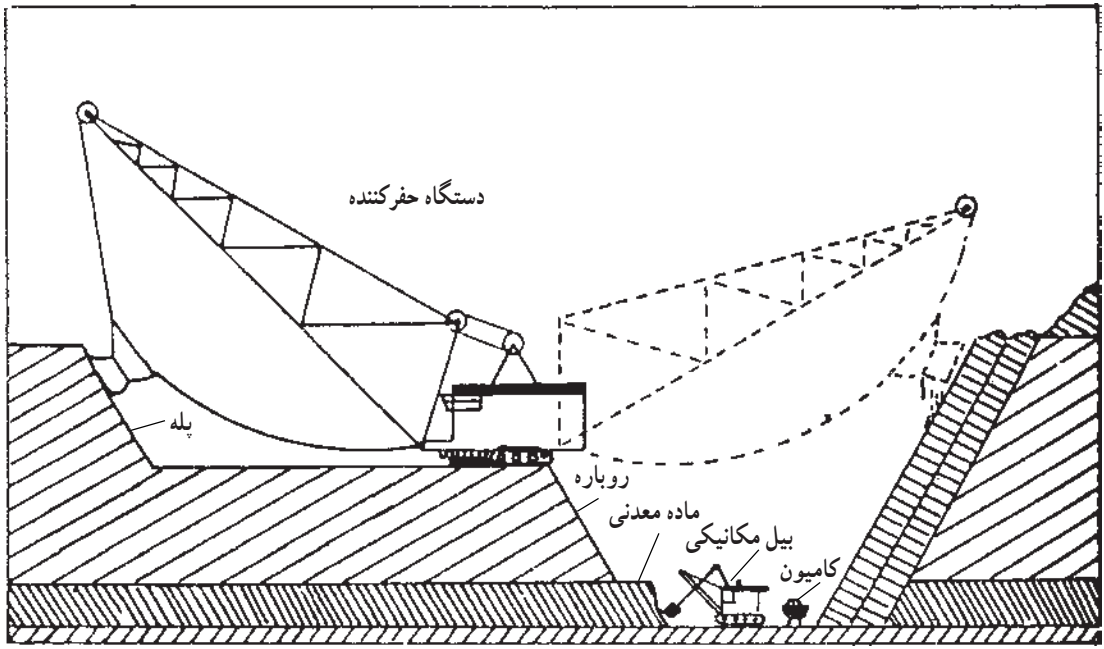
**ک ــ ساختمانهای اداری و بهداشتی:** علاوه بر تأسیسات یادشده، در محوطه هر معدن، یک ساختمان اداره مرکزی، حمام و ساختمان کمک‌های اولیه احداث می‌شود.

## ۳ــ۳ــ روشهای دسترسی به ماده معدنی

بعد از اینکه محوطه معدن انتخاب و تأسیسات بیرونی آن نصب شد، بایستی به ماده معدنی دسترسی پیدا کرد که این عمل را به‌اصطلاح، گشایش می‌گویند.

اگر وضعیت کانسار به گونه‌ای باشد که بتوان آن را به طریق روباز استخراج کرد، ابتدا سنگها و مواد پوشاننده کانسار موسوم به روباره را برمی‌دارند و آنگاه به استخراج ماده معدنی می‌پردازند (شکل ۳ــ۱). به عنوان مثالی از معادن روباز، می‌توان معدن مس سرچشمه در حوالی رفسنجان و معدن آهن چغارت واقع در حوالی بافق را نام برد که درحال حاضر جزو بزرگترین معادن روباز ایران به شمار می‌آیند.

در مواردی که ضخامت سنگهای پوشاننده کانسار زیاد و یا شکل آن به نحوی باشد که استخراج به روش روباز از نظر فنی یا اقتصادی ممکن نباشد، ابتدا باید به ماده معدنی دست یافت و

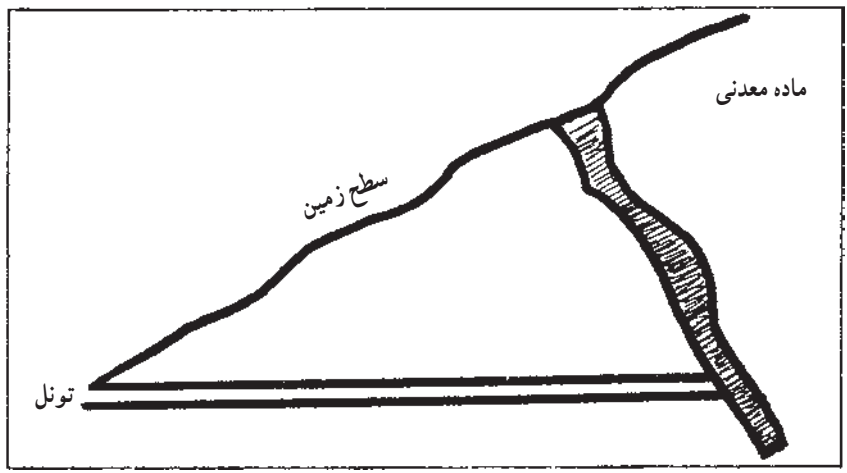



شکل ۳ــ۱ــ نمایی از یک معدن روباز [۱]

سپس شبکه معدن را احداث کرد. روشهای مختلف دسترسی به ماده معدنی عبارتست از :

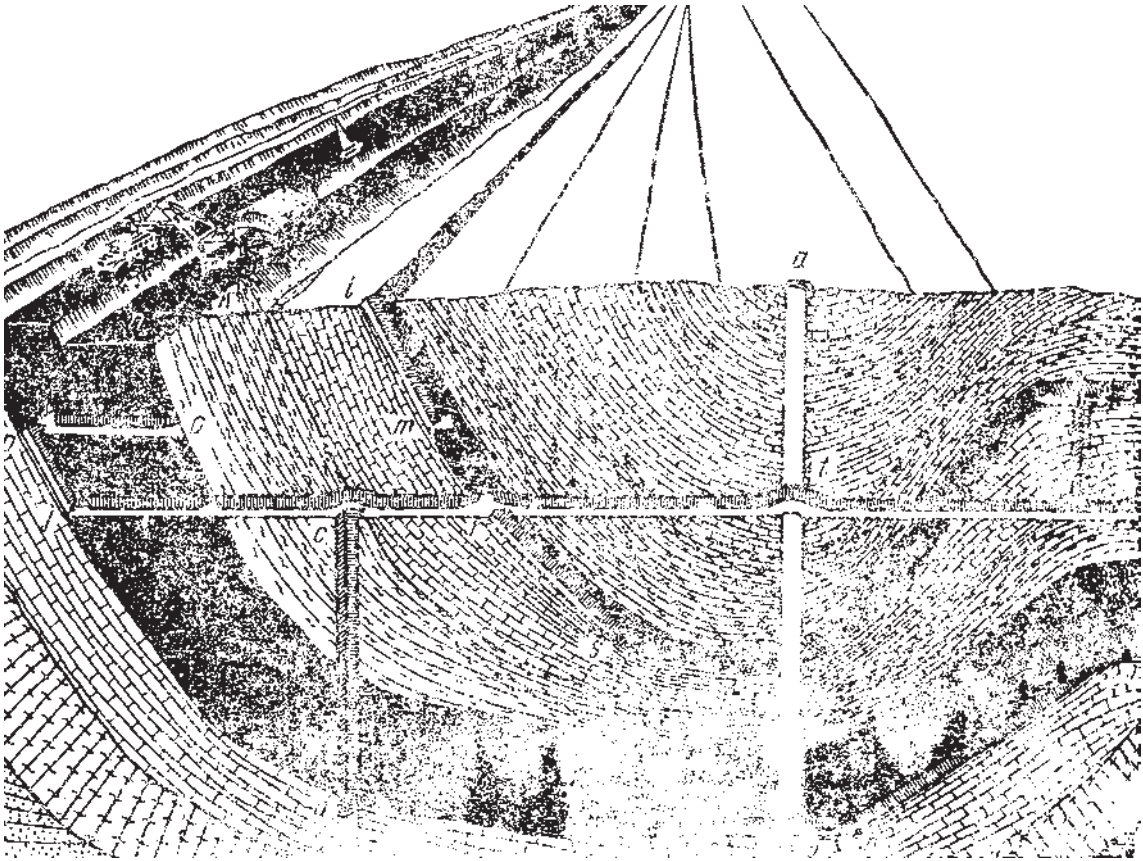
**۳ــ۳ــ۱ــ دسترسی با استفاده از تونل:** در مواردی که شیب زمین مناسب باشد، با استفاده از یک تونل افقی می‌توان به ماده معدنی دسترسی پیدا کرد (شکل ۳ــ۲).

در بسیاری از معادن ایران، با استفاده از تونل به ماده معدنی دسترسی یافته‌اند که ازجمله آنها می‌توان معدن بزرگ پابدانای کرمان و معدن بزرگ تزره شاهرود را نام برد.




شکل ۳ــ۲ــ دسترسی به ماده معدنی توسط تونل [۲]

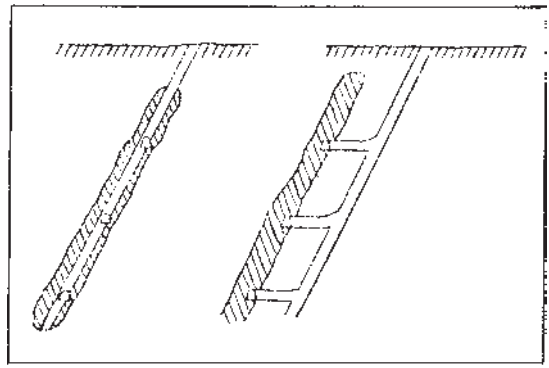
**۳ــ۳ــ۲ــ دسترسی با استفاده از چاه قائم:** در موردی که شیب زمین در محل کم باشد و یا به دلایل دیگر نتوان از تونل استفاده کرد، برای دسترسی به ماده معدنی از چاه قائم استفاده می‌شود (شکل ۳ــ۳). ازجمله معادنی که با این روش کار شده است می‌توان معدن بزرگ باب نیزو واقع در حوضه زغالی کرمان را نام برد.



**شکل ۳ــ۳ــ دسترسی به ماده معدنی توسط چاه قائم [۳]**

باید توجه داشت که گرچه در نظر اول برای دسترسی به ماده معدنی، حفر یک چاه کافی است ولی برای تأمین شرایط ایمنی و نیز برای جریان یافتن هوا در داخل معدن، همیشه حفر حداقل دو چاه ضرورت دارد.

**۳ــ۳ــ۳ــ دسترسی با استفاده از تونل مورب:** در مواردی که برای دسترسی به ماده معدنی نتوان از تونل افقی استفاده کرد، از تونل‌های مورب استفاده می‌شود (شکل ۳ــ۴). در این مورد

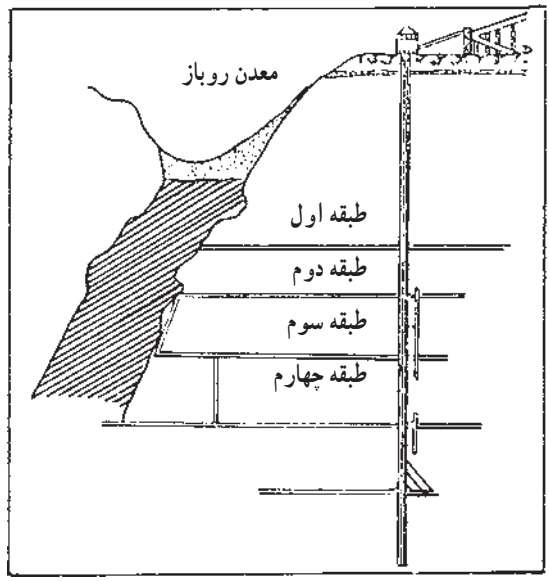


شکل ۳ــ۴ــ دسترسی به ماده معدنی توسط تونل مورب [۴]

نیز برای رعایت مسایل ایمنی و جریان یافتن هوا، باید حداقل دو تونل مورب حفر کرد. ازجمله معادنی که با این روش کار شده است، می‌توان معدن پابدانای جنوبی واقع در حوضه زغالی کرمان را نام برد.

## ۳ــ۴ــ احداث شبکه معدن

بعد از دسترسی به ماده معدنی، ابتدا باید با حفر تونل‌های افقی آن را به تعدادی طبقه[۱] تقسیم کرد (شکل ۳ــ۵).

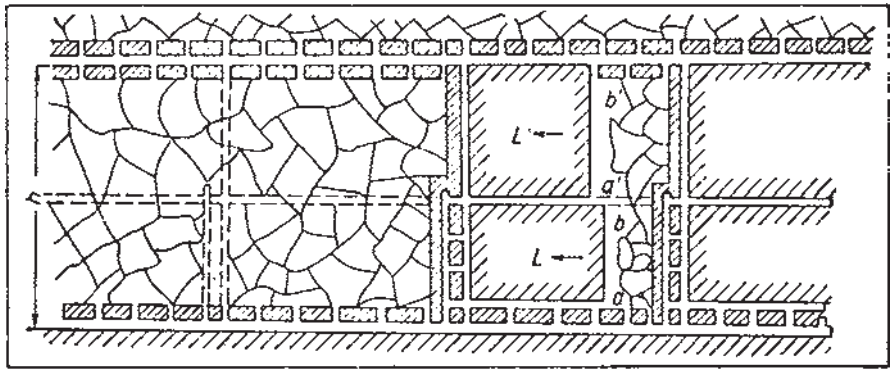



شکل ۳ــ۵ــ احداث طبقه‌های معدن [۴]

۱ــ Level

انتخاب فاصله دو طبقه معدن، ازجمله مهمترین مسائل استخراجی است که در موقع خود، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در مرحله بعد بایستی هر طبقه را با استفاده از حفریاتی که در داخل ماده معدنی حفر می‌شود، به تعدادی قطعه[1] یا پهنه تقسیم کرد (شکل ۳ــ۶).



شکل ۳ــ۶ــ احداث قطعه‌های معدن [۴]

در حقیقت هر قطعه یا پهنه، قسمتی از ماده معدنی است که از چهار طرف به وسیله حفریات معدنی مختلف محدود شده باشد.

بعد از آماده شدن بخش‌ها، معدن برای استخراج آماده است و می‌توان عملیات استخراجی را شروع کرد.

انتخاب شکل و ابعاد قطعه‌ها نیز ازجمله مسائل مهمی‌است که در کتاب تکنولوژی استخراج (۲) بحث خواهد شد.

## ۳ــ۵ــ انواع حفریات معدنی

حفریات معدنی به انواع زیر تقسیم می‌شود :

**۳ــ۵ــ۱ــ چاه[2]:** چاه، کار معدنی استوانه‌ای یا منشوری شکلی است که از سطح زمین به‌طرف پایین حفر می‌شود. چاه عموماً به حالت قائم است ولی در بعضی موارد ممکن است به طور مایل حفر شود.

**۳ــ۵ــ۲ــ تونل[3]:** تونل، کار معدنی افقی است که در داخل سنگ‌ها حفر می‌شود.

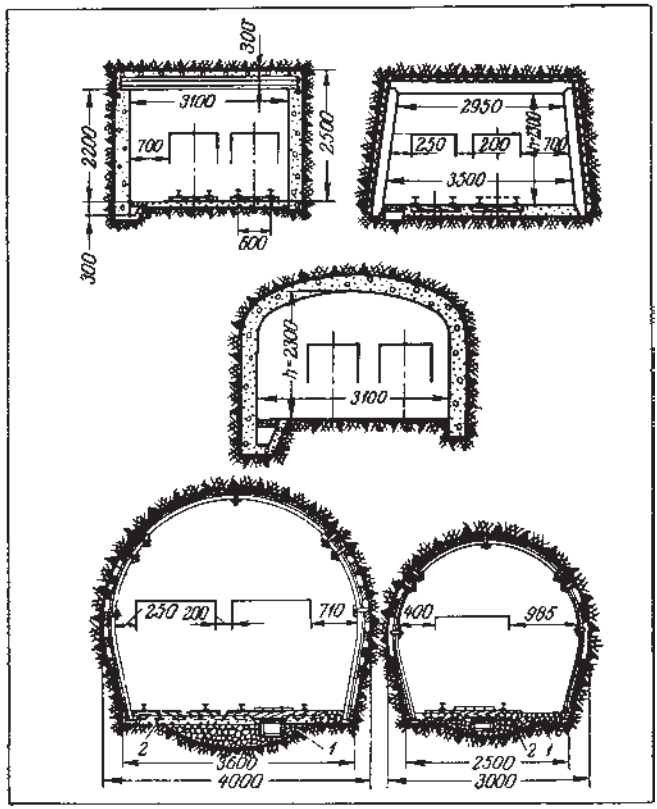
در اصطلاح راه‌سازی، تونل به کار زیرزمینی‌ای گفته می‌شود که از هر دو طرف به بیرون

---

۱ــ Block ۲ــ Shaft ۳ــ Tunnel

ارتباط دارد، ولی در اصطلاح معدنکاری، آن را برای تونل‌هایی که از هر دو سو به هوای آزاد ارتباط ندارند نیز به‌کار می‌برند.

شکل مقطع تونل‌ها مختلف و انواع متداول آن در شکل ۳ــ۷ نشان داده شده است.




**شکل ۳ــ۷ــ شکلهای مختلف مقاطع تونل [۳]**

بدیهی است در هر مورد، باید با توجه به مسائل مختلف، مقطع مناسب را انتخاب کرد که این امر در درس حفاری مورد بحث قرار می‌گیرد.

**۳ــ۵ــ۳ــ تونل اصلی یا تونل مادر**[۱]: تونل اصلی یا مادر تونلی است که به‌وسیله آن به‌ماده معدنی دسترسی پیدا می‌کنند. مقطع این تونل بزرگتر از سایر تونل‌ها است و با توجه به آنکه مدت بهره‌برداری از آن زیاد است، وسایل نگهداری آن از مصالح با دوام‌تری انتخاب می‌شود.

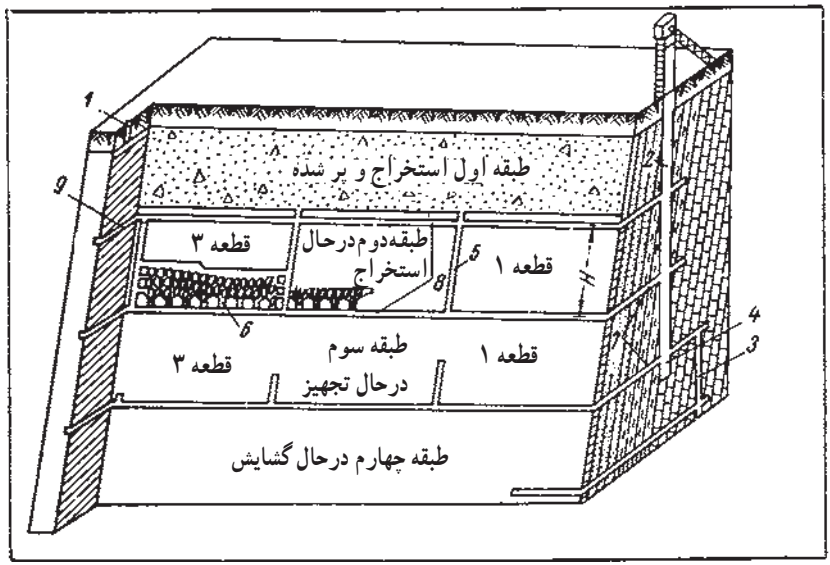
باربری اصلی معدن نیز به وسیلهٔ این تونل‌ها انجام می‌گیرد.

---

۱ــ Adit

**۳ــ۵ــ۴ــ تونل امتدادی[1] یا موازی لایه:** این تونل‌ها در داخل سنگ و به موازات امتداد لایه یا رگه ماده معدنی حفر می‌شود.

**۳ــ۵ــ۵ــ تونل دنباله رو[2] یا دنبال لایه:** این تونل در داخل لایه یا رگه و به موازات امتداد آن حفر می‌شود (شماره ۸ در شکل ۳ــ۸).




**شکل ۳ــ۸ــ حفریات معدنی مختلف [۲]**

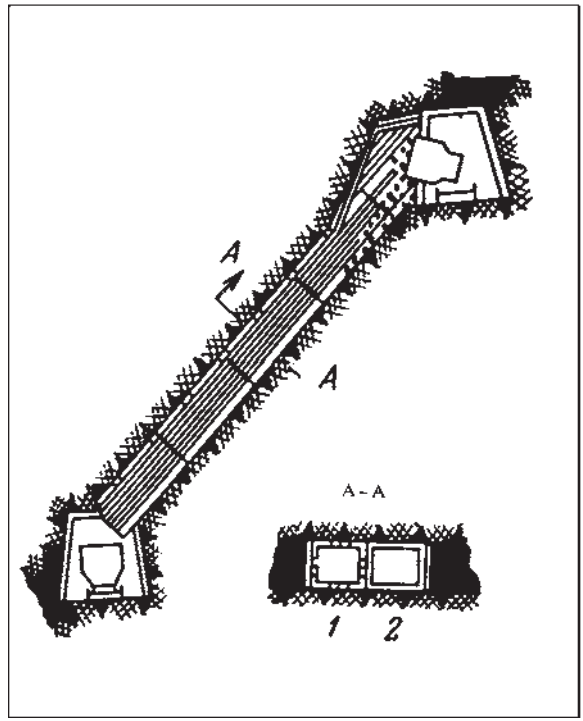
**۳ــ۵ــ۶ــ میان‌بر یا رکوب[3]:** این کار معدنی عبارت از حفره زیرزمینی است که در جهت عمود بر امتداد لایه حفر می‌شود (شماره ۷ در شکل ۳ــ۸). میان‌بر معمولاً با سطح زمین ارتباط ندارد.

درحالتی که تونل عمود بر امتداد لایه و از بیرون حفر شده باشد، به‌نام تونل عمود بر لایه خوانده می‌شود.

**۳ــ۵ــ۷ــ بالارو یا دویل[4]:** دویل عبارت از کار زیرزمینی قایم یا مایلی است که از زیر زمین به‌طرف بالا حفر می‌شود (شماره ۵ در شکل ۳ــ۸). دویل، که معمولاً در داخل ماده معدنی حفر می‌شود، برای تهویه، حمل‌ونقل افراد و وسایل و احداث کارگاه استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که از دویل، هم به منظور حمل مواد و هم عبور افراد استفاده می‌شود، مقطع آن را به دو قسمت تقسیم کرده و از هر قسمت آن برای یک منظور استفاده می‌کنند (شکل ۳ــ۹).

---

۱ــ Strike
۲ــ Drift
۳ــ Cross - cut در اصطلاح معدنکاران، واژه فرانسوی رکوب معمول است.
۴ــ Raise در اصطلاح معدنکاران واژه فرانسوی دویل معمول است.




**شکل ۳ــ۹ــ دویل [۳]**

**۳ــ۵ــ۸ــ پایین رو یا دساندری**[1]: این کار معدنی شبیه دویل است، منتها حفر آن از بالا به پایین انجام می‌گیرد.

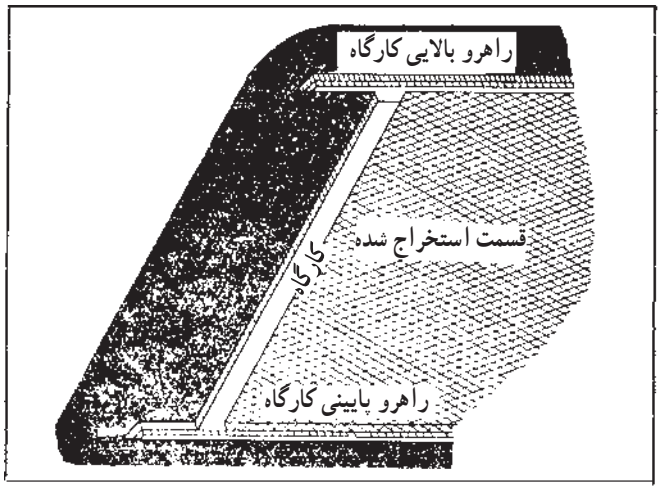
**۳ــ۵ــ۹ــ کارگاه استخراج**[2]: کارگاه استخراج محلی است که ماده معدنی از آن استخراج می‌شود. بعد از اینکه ماده معدنی به تعدادی قطعه تقسیم شد، تونلهای دنباله رو موجود در بالا و پایین را به‌وسیله دویل به یکدیگر وصل می‌کنند و بدین ترتیب، کارگاه استخراج را آماده می‌سازند (شکل ۳ــ۱۰). بعد از آماده سازی کارگاه استخراج، ماده معدنی را استخراج کرده و محل خالی شده را ابتدا به وسیله ستونهای مخصوص نگهداری و در مرحله بعد، آن را به وسیله قطعات خرده سنگ پر می‌کنند (شکل ۳ــ۱۱).

انتخاب شکل کارگاه استخراج نیز از مسایل مهمی‌است که در بخش روشهای استخراج به‌طریقه زیرزمینی، مفصلاً بحث خواهد شد.

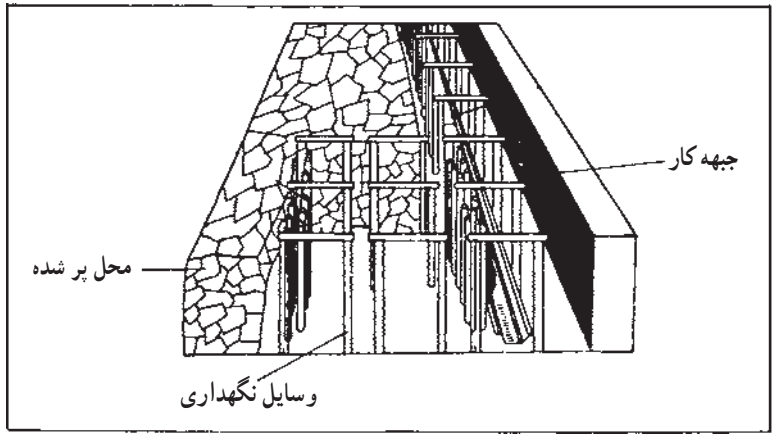
---

۱ــ Winze در اصطلاح معدنکاران واژه فرانسوی دساندری و واژه آلمانی گزنگ معمول است.

۲ــ Stope




شکل ۳ــ۱۰ــ کارگاه استخراج [۵]




شکل ۳ــ۱۱ــ پرکردن محل استخراج شده [۳]

## ۳ــ۶ــ نگهداری

در بسیاری موارد، حفریات معدنی در سنگها و مواد سست حفر می‌شوند و بنابراین برای جلوگیری از ریزش سنگها، بایستی این حفریات را به وسایل مختلف نگهداری کرد.

نگهداری یکی از مباحث مهم استخراج معدن است که آن را طی بخش جداگانه‌ای درهمین کتاب به‌طور مفصل بررسی خواهیم کرد.

## ۳ــ۷ــ حمل و نقل

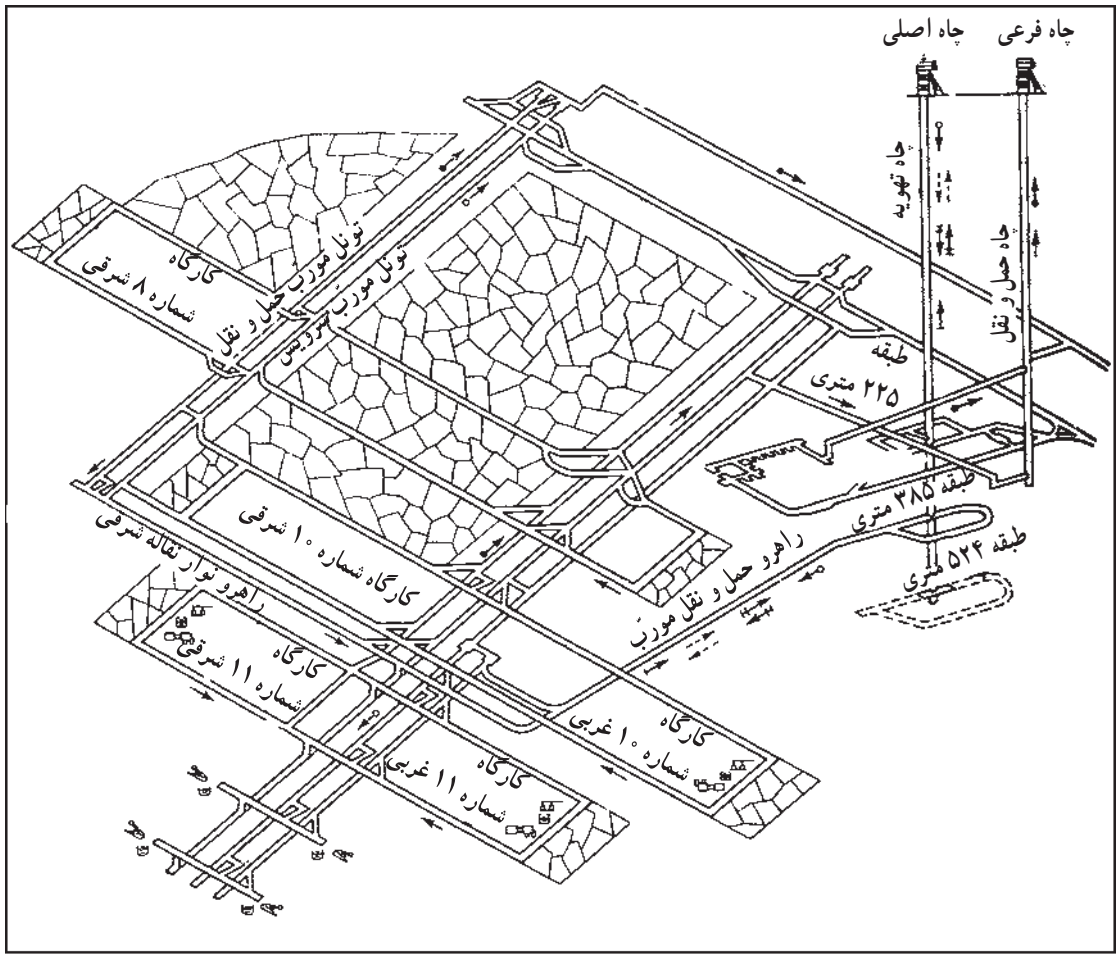
مواد معدنی حفرشده و نیز سنگهای باطله را بایستی از داخل معدن به بیرون حمل کرد.

حمل و نقل در داخل معدن به وسیله ناوها، نوار نقاله‌ها و واگون انجام می‌گیرد که مطالب مربوط به آن در بخش حمل و نقل این کتاب بررسی خواهد شد.

## ۳ــ۸ــ تهویه

برای تأمین اکسیژن لازم برای تنفس کارگران درون معدن، رقیق کردن گازهای حاصله از آتشباری و رقیق کردن گازهای قابل اشتعال، هوای داخل معدن باید دایماً تعویض شود. به‌جریان انداختن هوا در قسمت‌های مختلف معدن به نام تهویه موسوم است.

برای اینکه هوای تازه به تمام قسمت‌های معدن برسد، هوای تازه را از یک چاه یا تونل اصلی وارد می‌کنند و بعد از اینکه هوا تمام قسمت‌ها را دور زد، از طریق چاه یا تونل دیگر خارج می‌شود (شکل ۳ــ۱۲).




شکل ۳ــ۱۲ــ تهویه معدن [۳]

## ۳ــ۹ــ آبکشی

ضمن حفر کارهای معدنی مختلف معمولاً مقدار زیادی آب جمع می‌شود که باید آنها را به‌بیرون معدن هدایت کرد.

در مواردی که شبکه معدن از یک تونل اصلی تشکیل شده باشد، با توجه به آنکه شیب تونل به‌سمت بیرون معدن است، آبهای جمع شده خود به خود به بیرون جریان خواهد یافت اما در مواردی که شبکه معدن با استفاده از چاه‌های قایم یا مایل احداث شده باشد، بایستی آب را به وسیله تلمبه به‌بیرون معدن هدایت کرد.

## ۳ــ۱۰ــ روشنایی

در داخل معدن نور طبیعی نفوذ نمی‌کند و برای تأمین روشنایی، بایستی آن را به طریق مصنوعی روشن کرد. قسمت‌های اصلی معدن را می‌توان با نصب چراغهای ثابت روشن ساخت ولی برای کار افراد در قسمت‌های در حال کار، بایستی برای هر نفر، چراغ انفرادی نیز درنظر گرفت که این منظور به کمک چراغهای مخصوصی تأمین می‌شود. نحوه تأمین روشنایی معدن نیز در درس خدمات فنی در معادن بررسی خواهد شد.

# بخش دوم

# نگهداری در معادن

ایجاد حفریات معدنی مختلف، وضعیت نیروهای مؤثر بر سنگها را تغییر می‌دهد و در این زمینه اغتشاشاتی را به‌وجود می‌آورد. اگرچه در بعضی موارد، وضعیت سنگها به گونه‌ای است که پس از احداث حفریات نیز همچنان پابرجا باقی می‌ماند اما در بسیاری موارد، اگر حفریات به حال خود رها شوند، پس از مدتی ریزش خواهند کرد. بنابراین باید به نحوی مانع ریزش و تخریب این حفریات شد که این فرایند را نگهداری می‌گوییم.

بدین ترتیب اولین قدم در زمینه طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونلها، کارگاههای استخراج و سایر حفریات معدنی، تحلیل پایداری آنهاست. براساس این تحلیل مشخص خواهد شد که آیا حفریات ایجاد شده بدون نصب سیستم نگهداری پایدار می‌مانند و یا اینکه باید بلافاصله و یا مدتی پس از حفر، سیستم نگهداری را نصب کرد.

طی فصلهای این بخش، ابتدا مفاهیم اولیه موردنیاز در نگهداری را تشریح خواهیم کرد و پس از شرح رده‌بندی‌های مختلف سنگها از دیدگاه نگهداری، وضعیت تنش در اطراف حفریات را شرح خواهیم داد. در فصلهای بعدی این بخش مصالح لازم برای نگهداری را شرح خواهیم داد و سرانجام به شرح چگونگی نگهداری حفریات مختلف خواهیم پرداخت.

# فصل چهارم

## رده‌بندی توده‌های سنگی

### ۴ــ۱ــ آشنایی

معمولاً سنگها را از دو دیدگاه مختلف بررسی می‌کنند، یکی دیدگاه زمین شناسی است که طی آن سنگها به انواع آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند. این تقسیم بندی براساس نحوه تشکیل سنگ و ترکیب کانی شناسی آن انجام می‌گیرد. دیدگاه دیگر، نگاه مهندسی به سنگهاست که طی آن صرفنظر از نوع سنگ، آن را به عنوان مصالح صنعتی درنظر می‌گیرند.

در این تقسیم بندی، سنگ از نظر توانایی نگهداری حفریات زیرزمینی مورد قضاوت قرار می‌گیرد. البته مسئله حفر سنگها نیز در همین دیدگاه بررسی می‌شود. در این فصل، روشهای مختلف تقسیم بندی سنگها را با توجه به توانایی آنها از نظر نگهداری تونلها و سایر حفریات زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

### ۴ــ۲ــ رده‌بندی مهندسی

طرح رده بندی مهندسی سنگها، سابقه‌ای دیرینه دارد و به سال ۱۸۷۹ میلادی باز می‌گردد که در آن سال، ریتر[۱]، نوعی طبقه بندی مهندسی سنگها را برای طراحی سیستم نگهداری تونلها، ارایه داد. پس از این رده بندی، رده بندی‌های دیگری در مورد توده‌های سنگی انجام گرفت که در زیر به‌اختصار آنها را بررسی می‌کنیم.

**۴ــ۲ــ۱ــ رده بندی ترزاقی[۲]:** قدیمی‌ترین مرجع رده بندی مهندسی توده‌های سنگی برای طراحی سیستم نگهداری تونلها مقاله‌ای است که در سال ۱۹۴۶ میلادی توسط ترزاقی ارایه شد [۹]. در این طبقه بندی سنگها به انواع زیر تقسیم می‌شد [۹] :

***الف ــ سنگ بکر:*** سنگ بکر سنگی است که فاقد درزه و ترکهای مویی باشد. بنابراین، شکستگی سنگ در قسمتهای سالم آن اتفاق می‌افتد. در اثر آتشباری در چنین سنگی، ممکن است ساعتها و حتی روزها پس از آتشباری، قطعاتی از سقف ریزش کند. این وضعیت به نام شرایط

۱ــ Ritter ۲ــ Terzaghi

ریزش[1] نامیده می‌شود. در مورد سنگهای بکر سخت ممکن است وضعیت پوکیدن[2] نیز دیده شود که طی آن قطعاتی از دیواره یا سقف تونل به طور ناگهانی جدا می‌شود و سقوط می‌کند [۹].

**ب ــ سنگ لایه لایه[3]:** چنین سنگی از لایه‌های مجزایی تشکیل شده که چسبندگی لایه‌ها ممکن است ناچیز باشد و لایه‌ها در امتداد صفحات لایه بندی به آسانی از هم جدا شوند. درصورتی که سنگ درزه‌های عرضی هم داشته باشد، در این امتداد نیز ضعیف خواهد بود. درچنین سنگی، وقوع شرایط ریزش امری عادی است [۹].

**ج ــ سنگ نسبتاً درزه‌دار[4]:** این سنگ دارای درزه‌ها و ترکهای مویی است اما قطعات سنگ سالم بین درزه‌ها به گونه‌ای در داخل یکدیگر تداخل کرده‌اند که به هنگام حفر تونل در آنها، نیازی به نگهداری دیواره‌های قایم نیست. در چنین سنگی، ممکن است هر دو پدیده ریزش و پوکیدن، رخ دهد.

**د ــ سنگ قطعه‌ای[5] و رگه‌دار[6]:** این سنگ از قطعاتی تشکیل شده است که هر کدام از نظر شیمیایی، بکر یا تقریباً بکراند اما به طور کامل از هم مجزا هستند و قفل شدگی قطعات کامل نیست. دیواره‌های قایم تونلهایی که در این گونه سنگها احداث می‌شوند، ممکن است نیاز به نگهداری داشته باشند.

**هـ ــ سنگ خردشده[7]:** چنین سنگی مرکب از قطعات متعددی است که هر کدام ممکن است بکر و سالم باشند و امکان جاری شدن این قطعات به داخل تونل وجود دارد. اگر ابعاد تمام یا قسمتی از این قطعات در حد ذرات ماسه ریز باشد و در مورد آنها پدیده سیمانی شدن دوباره اتفاق نیفتاده باشد، در این صورت در مواردی که این سنگها در زیر سطح ایستابی قرار گیرند، رفتار آنها مشابه رفتار ماسه‌های آبدار خواهد بود.

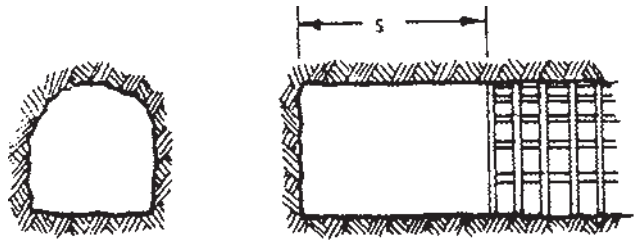
**و ــ سنگ لهیده[8]:** اگر در چنین سنگی تونل حفر شود، توده سنگ به آهستگی به داخل تونل حرکت می‌کند، بدون آنکه افزایش حجم آن محسوس باشد. شرایط لازم برای بروز این پدیده، وجود درصد بالایی از ذرات میکروسکپی گروه کانیهای میکا و رس است که قابلیت تورم آنها کم باشد.

**ز ــ سنگ آماس‌پذیر[9]:** چنین سنگی، دراثر تورم ذرات، به داخل تونل جریان می‌یابد. این خاصیت محدود به سنگهایی است که حاوی کانیهای رسی ازقبیل مونت موریلونیت[10] با قابلیت تورم بالا هستند.

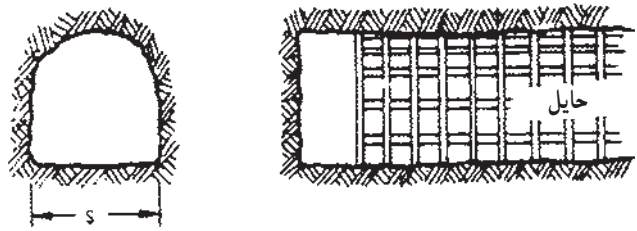
---

۱ــ Spalling condition
۲ــ Popping condition
۳ــ Stritified rock
۴ــ Moderately jointed
۵ــ Blocky
۶ــ Seamy
۷ــ Crushed rock
۸ــ Squeezing rock
۹ــ Swelling rock
۱۰ــ Montmorillonite

**۴ــ۲ــ۲ــ رده بندی بر مبنای زمان پابرجایی:** در سال ۱۹۵۸ میلادی، لوفر[۱]، رده بندی جدیدی بر مبنای زمان پابرجایی[۲] سنگها ارایه کرد. مقصود از زمان پابرجایی، زمانی است که تونلی که با دهانه فعال معین در داخل سنگ حفر شده است، بدون هیچگونه وسیله نگهداری پابرجا بماند و ریزش نکند. دهانه فعال تونل به عنوان فاصله بین دو دیواره تونل و یا فاصله بین جبهه کار و نزدیکترین وسیله نگهداری نصب شده در تونل (هر کدام که بزرگتر باشد)، تعریف می‌شود (شکل ۴ــ۱).




**الف ــ سیستم نگهداری با فاصله زیاد از جبهه کار قرار دارد**



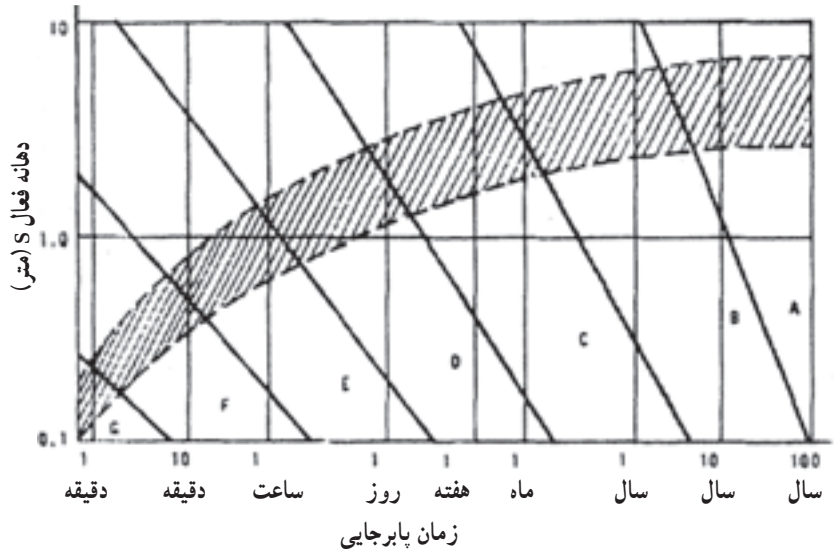

**ب ــ سیستم نگهداری با فاصله کم از جبهه کار قرار دارد**

**شکل ۴ــ۱ــ تعریف دهانه فعال [۱۰]**

بسته به زمان پابرجایی و دهانه فعال تونل، سنگها در تقسیم‌بندی لوفر به ۷ گروه A تا G تقسیم می‌شوند. در این تقسیم‌بندی A سنگ خیلی خوب (معادل سنگ بکر در رده بندی ترزاقی) و G سنگ خیلی ضعیف (معادل سنگ لهیده یا سنگ آماس‌پذیر در رده‌بندی ترزاقی) است (شکل ۴ــ۲).

۱ــ Lauffer

۲ــ Stand - up time




**شکل ۴ــ۲ــ رده بندی سنگها بر اساس زمان پابرجایی [۱۰]**

رده‌بندی اولیه لوفر، بعدها توسط افراد زیادی تکمیل شد که از آن جمله می‌توان به تحقیقات پاشر[۱] و همکارانش در سال ۱۹۷۴ میلادی اشاره کرد. این تحقیقات، بخشی از نگرش عمومی‌تونل‌سازی موسوم به روش جدید اتریشی را تشکیل می‌دهد [۹].

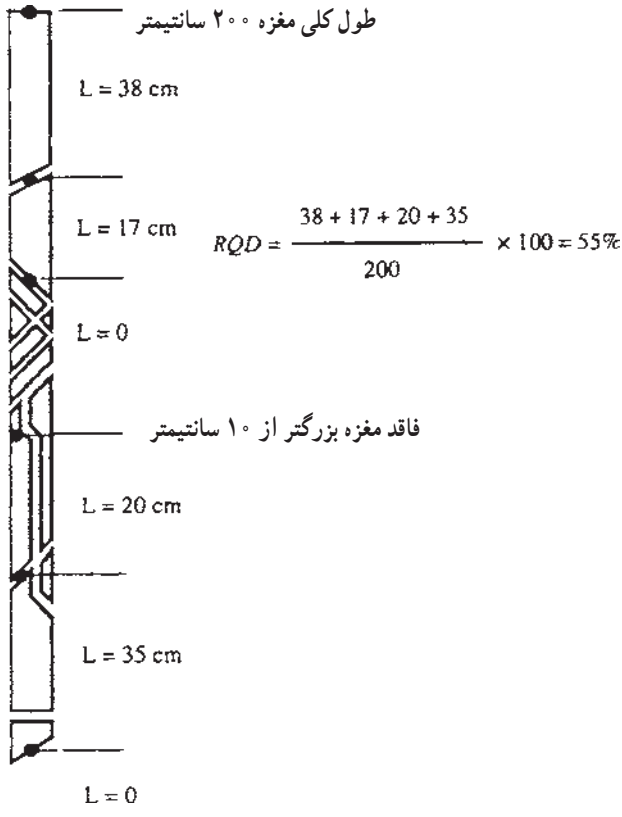
اهمیت روش رده بندی بر مبنای زمان پابرجایی از این واقعیت منشأ می‌گیرد که هرچقدر دهانه فعال تونل زیادترباشد، فرصت نصب سیستم نگهداری تونل کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال در حالی که یک تونل کوچک پیشاهنگ را عملاً می‌توان بدون نیاز به سیستم نگهداری به آسانی احداث کرد، در عین حال در همان سنگ، یک تونل با دهانه بزرگ ممکن است بلافاصله پس از حفر، نیاز به نصب سیستم نگهداری داشته باشد.

**۴ــ۲ــ۳ــ رده‌بندی براساس شاخص کیفیت سنگ[۲] (RQD):** رده‌بندی سنگها براساس شاخص کیفیت سنگ که به نام رده بندی RQD معروف است، در سال ۱۹۶۷ میلادی توسط دیر[۳] و همکارانش ارایه شد [۹]. شاخص RQD بر اساس وضعیت مغزه‌های حاصل از حفر گمانه‌های اکتشافی در سنگ‌ها، به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$RQD = \frac{\text{جمع طول قطعات سالم مغزه‌های با طول ۱۰ سانتیمتر یا بیشتر}}{\text{طول کلی گمانه}} \times ۱۰۰ \quad (۴ــ۱)$$

۱ــ Pacher ۲ــ Rock Quality Designation ۳ــ Deere

دراین رده بندی، گمانه بایدبه وسیله مته NX حداقل به قطر ۵۴/۷ میلیمتر (۲/۱۵ اینچ) و به‌کمک مغزه گیرهای دو جداری حفر شده باشد [۹]. در شکل (۴ــ۳)، مثالی از نحوه محاسبه شاخص RQD نشان داده شده است.




**شکل ۴ــ۳ــ مثالی از نحوه محاسبه شاخص RQD [۹]**

طبق نظر پالم استروم[۱] (۱۹۸۲) در موردی که مغزه‌های سالم در دسترس نباشد اما در رخنمونهای سطحی و یا حفریات اکتشافی، آثار شکستگی در سنگ مشخص باشد، شاخص RQD را می‌توان از روی تعداد ناپیوستگی‌های موجود در واحد حجم سنگ و براساس رابطه زیر تعریف کرد [۹] :

$$RQD = ۱۱۵ - ۳/۳Jv \qquad (۲ــ۴)$$

که در آن Jv تعداد کل درزه‌ها و ناپیوستگی‌های موجود در واحد طول در مورد تمام مجموعه درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ است و به نام شمارش حجمی‌درزه‌های سنگ نامیده می‌شود. باید

۱ــ Palmstrom

توجه داشت که در حالت کلی، شاخص RQD وابسته به جهت حفر گمانه است و امکان دارد که‌اندازه آن در امتدادهای مختلف، در حد قابل توجهی تغییر کند. در مواردی که تعداد درزه‌ها در امتدادهای مختلف متفاوت باشد، استفاده از رابطه ۴ــ۲، تا حد زیادی نقش امتداد را در تعیین شاخص RQD کلی سنگ، کاهش می‌دهد.

شاخص RQD برای بیان کیفیت سنگ به حالت برجا، بسیار مفید است و برای تعیین آن، باید درزه‌های حاصل از حفر گمانه و جابه‌جایی مغزه‌ها را شناسایی کرد و در محاسبه تعداد درزه‌ها در رابطه ۴ــ۲، آنها را کنار گذاشت تا شاخص کیفیت واقعی سنگ به دست آید. درزه‌های ناشی از آتشباری در سنگها نیز مشمول این قانون هستند.

توصیه شده که بهتر است شاخص RQD برای هر دو متر از مغزه‌ها، به طور مجزا محاسبه شود [۱۰]. براساس شاخص RQD، سنگها را مطابق جدول (۴ــ۱) تقسیم بندی می‌کنند [۱۰].

**جدول ۴ــ۱ــ تقسیم‌بندی کیفی سنگها براساس شاخص RQD** [۱۰]

| شاخص RQD ــ درصد | کیفیت سنگ |
|---|---|
| کمتر از ۲۵ | خیلی ضعیف |
| ۲۵ تا ۵۰ | ضعیف |
| ۵۰ تا ۷۵ | مناسب |
| ۷۵ تا ۹۰ | خوب |
| ۹۰ تا ۱۰۰ | خیلی خوب |

با معلوم بودن شاخص RQD، با مراجعه به جدولها و نمودارها، می‌توان سیستم نگهداری لازم برای تونل را برآورد کرد.

## ۴ــ۳ــ رده‌بندی ژئومکانیکی (RMR)[۱]

در سال ۱۹۷۶ میلادی، بینیاوسکی[۲] از مرکز مطالعات علمی‌و صنعتی آفریقای جنوبی (CSIR)[۳] طبقه‌بندی جدیدی از سنگها را بر مبنای ویژگیهای ژئومکانیکی آنها ارایه داد که به‌روش RMR یا

---

۱ــ Rock Mass Rating (RMR)
۲ــ Bieniawski
۳ــ South African Council for Scientific and Industrial Research

CSIR معروف است و به عنوان یکی از موفق‌ترین سیستمهای رده‌بندی سنگها در مسائل تونل‌سازی و معدنی به کار می‌رود. بعدها، در سال ۱۹۸۹ میلادی، بینیاوسکی رده بندی اولیه خود را اصلاح کرد و آنچه در زیر خواهد آمد، بر مبنای رده‌بندی تجدید نظر شده وی است.

در تقسیم بندی RMR، برای رده بندی سنگها از ۶ پارامتر زیر استفاده می‌شود [۹] :

الف ــ مقاومت فشاری تک‌محوری توده سنگ

ب ــ شاخص RQD

ج ــ فاصله‌داری درزه‌ها

د ــ وضعیت ناپیوستگی‌های سنگ

هـ ــ وضعیت آبهای زیرزمینی

ز ــ جهت یافتگی ناپیوستگی سنگ نسبت به امتداد تونل

در این رده بندی، توده سنگ از نظر ساختاری به چند ناحیه تقسیم شده و هر ناحیه به طور مجزا رده‌بندی می‌شود. مرز نواحی یاد شده با یک پدیده ساختاری مثلاً وجود یک گسل و یا تغییر محسوس در نوع سنگ، مشخص می‌شود. در بعضی موارد، تغییرات مهم و قابل توجه در وضعیت ناپیوستگیها در یک نوع سنگ واحد نیز سبب می‌شود که توده سنگ، به چند ناحیه کوچکتر تقسیم شود. برای اینکه ارزش عددی هر سنگ در رده بندی RMR مشخص شود، به ازای هر وضعیت از ۶ پارامتر اصلی یاد شده، نمره‌ای تعلق می‌گیرد که برای تعیین ارزش عددی آنها باید به جدولهایی که در این زمینه موجود است مراجعه کرد [۱۱]. پس از تعیین ارزش عددی هر یک از ۶ پارامتر یادشده، از مجموع آنها عددی حاصل می‌شود که شاخص RMR سنگ نام دارد.

## مطالعه آزاد

در سال ۱۹۸۹ میلادی، بینیاوسکی دستورالعمل‌هایی را برای انتخاب سیستم نگهداری تونلها براساس شاخص RMR منتشر ساخت. این دستورالعمل، در جدول ۴ــ۲ آمده است.

باید توجه داشت که این دستورالعمل برای تونلهای با شرایط زیر تنظیم شده است :

شکل : نعل اسبی

دهانه فعال : ۱۰ متر

روش حفاری : آتشباری

تنش قائم مؤثر بر سنگها : کمتر از ۲۵MPa (عمق کمتر از ۹۰۰ متر از سطح زمین).

به عنوان مثال فرض می‌کنیم که شاخص RMR یک توده سنگی معادل ۵۹ باشد با مراجعه به جدول ۴ــ۲ با این پیشنهاد مواجه می‌شویم که تونل باید به صورت پله‌ای حفر شود و قسمت بالای جبهه کار جلوتر از بقیه قسمتها باشد و پله‌های بعدی به فاصله ۱/۵ تا ۳ متر از آن حفر شوند. پس از هر نوبت آتشباری، باید سیستم نگهداری نصب شود و فاصله سیستم نگهداری تا جبهه کار تونل از حداکثر ۱۰ متر تجاوز نکند. در این مورد استفاده از پیچ سنگهای به قطر ۲۰ میلیمتر و فاصله ۱/۵ تا ۲ متر در تاج و دیواره تونل توصیه شده است. همچنین استفاده از سیستم بتن پاشی به ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر در تاج و ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها توصیه شده است.

شاخص RMR معادل ۵۹، نشانگر آن است که سنگ در مرز دو رده سنگهای مساعد و خوب قرار دارد. بنابراین در مراحل اولیه طراحی، توصیه می‌شود که سیستم نگهداری تونل براساس رده مساعد انتخاب شود. پس از پیشروی مقداری از تونل، در صورتی که سیستم نگهداری انتخابی مناسب بود و هیچگونه مشکلی از نظر نگهداری پیش نیامد، به تدریج می‌توان سیستم نگهداری را مطابق سنگ خوب تعدیل کرد. از سوی دیگر، اگر مدت زمان استفاده از تونل کوتاه باشد، در این صورت پیشنهاد می‌شود که سیستم نگهداری براساس سنگ خوب انتخاب شود که فاصله‌دارتر و ارزان‌تر است.

## ۴ــ۴ــ رده‌بندی براساس شاخص کیفیت تونل‌سازی Q

بارتون[۱] و همکارانش از انستیتو ژئوتکنیک نروژ (NGI)[۲] بر مبنای ارزیابی تعداد زیادی از حفریات زیرزمینی، شاخصی موسوم به شاخص کیفیت تونل‌سازی[۳] را ارایه کردند که به‌نام شاخص Q معروف است. این رده بندی برای طراحی سیستم نگهداری تونلها به کار می‌رود. شاخص Q با رابطه ریاضی زیر تعریف می‌شود واندازه عددی آن که به صورت مقیاس لگاریتمی تغییر می‌کند، بین ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰ در تغییر است [۹] :

---

۱ــ Barton

۲ــ Norwegian Geotechnical Institute (NGI)

۳ــ Tunnelling Quality Index

**جدول ۴ــ۲ــ دستورالعمل انتخاب سیستم نگهداری برای تونلی با دهانه فعال ۱۰ متر براساس شاخص RMR [۹]**

| شاخص RMR | نوع سنگ | سیستم حفاری | پیچ سنگ به قطر ۲۰ میلیمتر و محکم شده به‌وسیله دوغاب سیمان | بتن‌پاشی (شاتکریت) | قابهای فولادی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۰۰تا۸۱ | I<br>خیلی خوب | ماشینهای تمام مقطع با ۳ متر پیشروی در هرنوبت | درحالت کلی نیازی به نصب سیستم نگهداری نیست و در بعضی موارد پیچ سنگهای منفرد | | |
| ۸۰تا۶۱ | II<br>خوب | ماشینهای تمام مقطع با پیشروی ۱ تا ۱/۵ متر در هر نوبت به فاصله ۲۰ متری از جبهه کار سیستم نگهداری دایم نصب شود. | به‌طور موضعی در قسمت تاج تونل پیچ سنگهایی به طول ۳ متر و به فاصله ۲/۵ متر و گاه نیز همراه با توری فلزی نصب شود. | در موارد لزوم ضخامت ۵۰ میلیمتر در قسمت تاج | لازم نیست |
| ۶۰تا۴۱ | III<br>نسبتاً خوب | تونل به صورت پله‌ای حفرشود و پله قسمت فوقانی ۱/۵ تا ۳ متر جلوتر باشد. پس از هر نوبت آتشباری سیستم نگهداری موقت نصب شود. به فاصله ۱۰ متری از جبهه کار سیستم نگهداری نصب شود | شبکه پیچ سنگهای منظم به طول ۴ متر و فاصله ۱/۵ تا ۲ متر در قسمت تاج و دیواره در قسمت تاج شبکه فلزی نیز نصب شود. | ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر در قسمت تاج و ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها | لازم نیست |
| ۴۰تا۲۱ | IV<br>ضعیف | تونل به صورت پله‌ای حفرشود و پله قسمت فوقانی ۱ تا ۱/۵متر جلوتر باشد. فاصله سیستم نگهداری دایم تا جبهه کار حداکثر ۱۰ متر | شبکه پیچ سنگهای منظم به طول ۴ تا ۵ متر و به فاصله ۱ تا ۱/۵ متر در تاج و دیواره همراه با توری فلزی | ضخامت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در تاج و ۱۰۰ میلیمتر در دیواره‌ها | قابهای سبک تا متوسط فولادی به فاصله ۱/۵ متر در موارد لزوم |
| کمتر از ۲۰ | V<br>خیلی ضعیف | به صورت گالری‌های چندگانه حفر شود که فاصله جبهه کار آنها ۰/۵ تا ۱/۵متر باشد. همراه با حفاری، سیستم نگهداری نیز نصب شود. بلافاصله پس از آتشباری عملیات بتن پاشی انجام گیرد | شبکه منظم پیچ سنگها به طول ۵ تا ۶ متر و به فاصله ۱ تا ۱/۵ متر در تاج و دیواره یا توری فلزی | ضخامت ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر در تاج و ۱۵۰ میلیمتر در دیواره‌ها و ضخامت ۵۰ میلیمتر در جبهه کار | قابهای متوسط تا سنگین به فاصله ۷۵ سانتیمتر همراه با لارده‌های فلزی |

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \qquad (۴_۴)$$

که در آن :

RQD = شاخص RQD سنگ

$J_n$ = ضریب مربوط به تعداد درزه‌ها

$J_r$ = ضریب مربوط به زبری درزه‌ها

$J_a$ = ضریب مربوط به دگرسانی درزه‌ها

$J_w$ = ضریب مربوط به کاهش آب درزه‌ها

SRF = ضریب مربوط به کاهش تنش

برای تعیین شاخص Q در مورد هر سنگ، ابتدا باید مقادیر عددی هر یک از ضرایب را از جدولهایی که در این زمینه وجود دارد به‌دست آورد و در رابطه **۴ــ۴** قرار داد تا شاخص Q سنگ به‌دست آید [۱۱].

برای اینکه بتوان از روی شاخص Q، سیستم نگهداری مناسب را برای تونل برگزید، بارتون و همکارانش پارامتر دیگری موسوم به بعد معادل (De)[۱] را به شرح زیر تعریف کردند :

$$De = \frac{\text{دهانه، ارتفاع و یا قطر تونل (برحسب متر)}}{\text{نسبت نگهداری تونل ESR}} \qquad (۴_۵)$$

نسبت نگهداری تونل[۲] (ESR) به نحوه استفاده از تونل و نیز اینکه تا چه درجه‌ای از ناپایداری تونل قابل قبول است، بستگی دارد. اندازه ضریب ESR در وضعیت‌های مختلف در جدول **۴ــ۳** درج شده است.

با معلوم بودن شاخص Q و بعد معادل، با مراجعه به نمودارهایی که در این مورد تهیه شده است، می‌توان وضعیت نگهداری تونل را ارزیابی کرد. درشکل **۴ــ۴** نمودار اولیه بارتون و در شکل **۴ــ۵** نمودار اصلاح شده آن درسال **۱۹۹۳** میلادی نشان داده شده است.

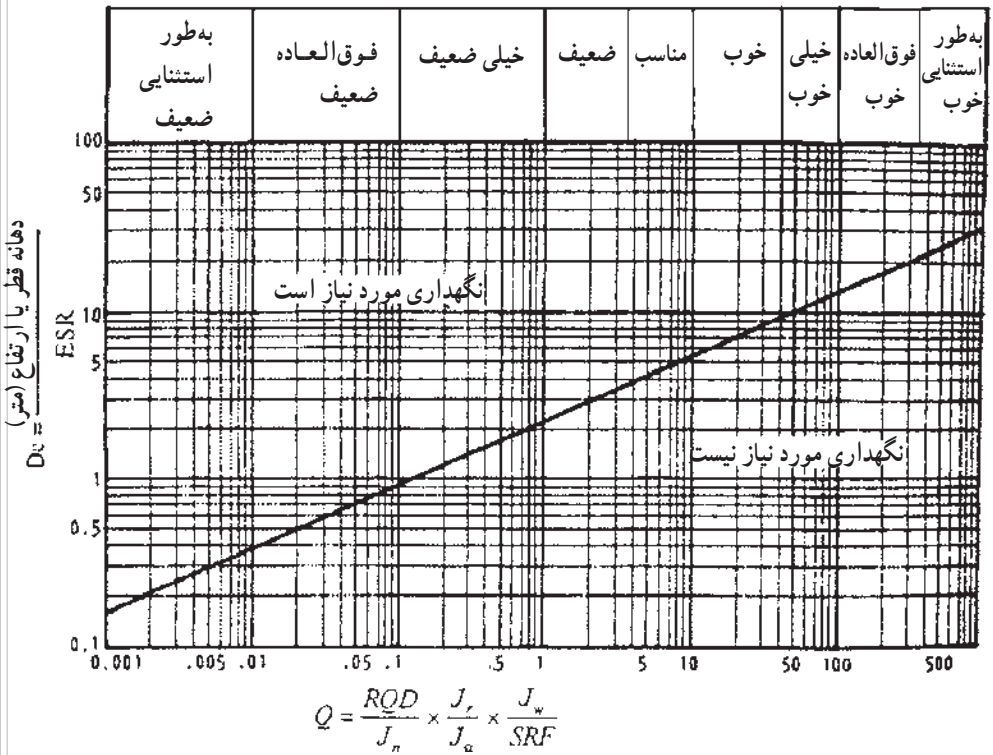
برای روشن شدن نحوه استفاده از شاخص Q در ارزیابی سیستم نگهداری به‌شرح مثالی در این زمینه می‌پردازیم. بدین منظور فرض می‌کنیم که شاخص RQD

۱ــ Equivalent dimension

۲ــ Excavation Support Ratio (ESR)

سنگها معادل ۹۰ درصد و بقیه مشخصه‌ها به شرح زیر باشد :

$J_n = ۴$ $J_r = ۳$ $J_a = ۱$ $J_w = ۱$ $SRF = ۱۵$




**شکل ۴ــ۴ــ رابطه بین حداکثر بعد معادل De یک تونل بدون نصب وسیله نگهداری و ضریب Q [۱۰]**

با جایگذاری این مقادیر در رابطه ۴ــ۴ خواهیم داشت :

$$Q = \frac{۹۰}{۴} \times \frac{۳}{۱} \times \frac{۱}{۱۵} = ۴/۵$$

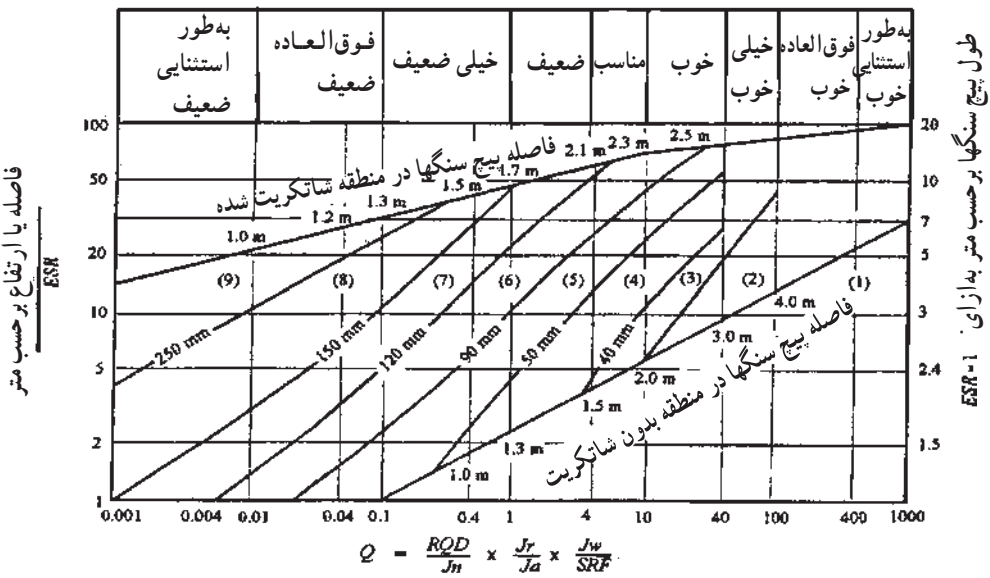
با مراجعه به جدول ۴ــ۳، ضریب ESR معادل ۱/۶ به‌دست می‌آید. بنابراین بعد معادل خواهد شد :

$$De = \frac{۱۵}{۱/۶} = ۹/۴$$

اکنون با مراجعه به شکل ۴ــ۵، با نقل مقادیر $De = ۹/۴$ و $Q = ۴/۵$، جایگاه این سنگ در منطقه ۴ نمودار مشخص می‌شود که نگهداری آن مستلزم استفاده از پیچ سنگ به فواصل ۲/۳ متر و ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر شاتکریت معمولی است.

**جدول ۴ــ۳ــ اندازه عددی ضریب RMR در وضعیت‌های مختلف [۹ و ۱۰]**

| رده | حفریات زیرزمینی | اندازه عددی ESR |
|---|---|---|
| الف | تونلهای معدنی موقت | ۳ تا ۵ |
| ب | تونلهای معدنی دایمی، تونلهای آبرسانی به نیروگاههای برق آبی (به استثنای تونلهای تحت فشار)، تونلهای پیشاهنگ، تونلهای دنباله رو، تونلهای پیشاهنگ حفریات بزرگ | ۱/۶ |
| ج | انبارهای زیرزمینی، تصفیه خانه‌های زیرزمینی، تونلهای فرعی راه و یا راه آهن، تونلهای دسترسی | ۱/۳ |
| د | نیروگاههای برقی زیرزمینی، تونلهای اصلی راه و یا راه آهن، پناهگاههای عمومی‌زیرزمینی، ورودی تقاطع‌های زیرزمینی | ۱ |
| هـ | نیروگاههای هسته‌ای زیرزمینی، ایستگاههای راه آهن، مراکز عمومی‌و ورزشی زیرزمینی، کارخانجات زیرزمینی | ۰/۸ |




**شکل ۴ــ۵ــ برآورد رده نگهداری تونلها براساس شاخص Q و حداکثر بعد معادل [۹]**

۱ــ بدون سیستم نگهداری
۲ــ پیچ سنگ نقطه‌ای
۳ــ پیچ سنگ منظم
۴ــ پیچ سنگ منظم همراه با ۴۰ تا ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت غیرمسلح
۵ــ پیچ سنگ همراه با شاتکریت مسلح به ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میلیمتر
۶ــ پیچ سنگ همراه با شاتکریت مسلح به ضخامت ۹۰ تا ۱۲۰ میلیمتر
۷ــ پیچ سنگ همراه با شاتکریت مسلح به ضخامت ۱۲۰ تا ۱۵۰ میلیمتر
۸ــ شاتکریت مسلح به ضخامت بیش از ۱۵۰ میلیمترهمراه با پیچ سنگ
۹ــ دیوارسازی بتنی

# فصل پنجم

## تنش در حفریات معدنی[1]

### ۵ــ۱ــ آشنایی

از آنجا که در این فصل و فصلهای دیگر، با مفهوم تنش[2] و تنجش[3] سر وکار خواهیم داشت لذا در ابتدا به شرح این مشخصه‌ها می‌پردازیم :

هنگامی‌که جسمی‌تحت تأثیر نیروهای خارجی قرار گیرد، در مقاطع مختلف آن نیروهایی موسوم به نیروهای داخلی به وجود می‌آید که با نیروهای خارجی در حال تعادل‌اند و همین نیروهای داخلی است که تغییرشکل جسم را سبب می‌شوند.

شدت نیروهای داخلی مؤثر بر هر مقطع یعنی حاصل تقسیم نیروی داخلی بر سطح مقطع به نام تنش نامیده می‌شود. اگر تنش به حالت عمودی بر سطح اثر کند آن را تنش عمودی ($\sigma$) و در حالتی که مماس بر آن عمل کند، به نام تنش برشی ($\tau$) خوانده می‌شود. اگر تنش عمودی سبب به هم فشردن جسم شود، آن را تنش فشاری و در حالتی که باعث جداشدن قطعات آن شود، آن را تنش کششی می‌گویند. تنش برشی سبب بریده شدن در امتداد تنش اعمالی می‌شود.

از سوی دیگر، جسمی‌که تحت تأثیر تنش قرار گیرد، تغییرشکل می‌دهد. اگر طول اولیه جسم l باشد و پس از اینکه تحت تأثیر تنش قرار گرفت، طول آن به اندازه $\Delta l$ تغییر کند (اعم از کوتاه یا بلندشدن )، طبق تعریف نسبت $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ را تغییرشکل نسبی یا تنجش می‌گویند. اگر جسمی‌را در امتداد محورش بکشیم، تنجش طولی آن $\varepsilon$ خواهد بود و در عین حال جسم در امتداد عمود بر محور خود کوتاه می‌شود. اگر تنجش عرضی را با $\varepsilon'$ نشان دهیم، طبق تعریف $\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$ را نسبت پواسون می‌گویند.

اگر منحنی تغییرات تنش اعمال شده نسبت به تنجش حاصله را رسم کنیم،

---

۱ــ این فصل جزءِ برنامه درسی نیست و برای تکمیل اطلاعات علمی هنرجویان علاقه‌مند آورده شده است. همکاران محترم می‌توانند متناسب با درک و فهم هنرجویان کلیاتی از درس را در کلاس بیان نمایند.

۲ــ Stress ۳ــ Strain

منحنی تنش ــ تنجش حاصل می‌شود. اگر این تغییرات به شکل خط مستقیم باشد، تغییرشکل را الاستیک[1] یا کشسان می‌گویند. این امر به معنی آن است که اگر تنش را حذف کنیم، جسم به حالت اولیه خود برمی‌گردد و تغییرشکل یا تنجش در آن باقی نمی‌ماند.

اگر تنش اعمالی از این حد بیشتر شود، تغییرشکل حاصله دیگر الاستیک نیست یعنی با حذف تنش نیز بخشی از آن در جسم باقی می‌ماند. این مرحله را تغییرشکل خمیری[2] یا مومسان می‌گویند. حداکثر تنشی را که جسم می‌تواند تحمل کند، مقاومت نهایی آن می‌گویند و اگر تنش مؤثر از این حد هم تجاوز کند، جسم می‌شکند.

در حالت کلی، در توده‌های سنگی موجود در اعماق زمین، تنشهایی موسوم به‌تنشهای برجا[3] اثر می‌کنند. عامل اصلی تنشهای برجا، وزن طبقات و فعالیتهای تکتونیکی منطقه است. پس از احداث تونل یا حفریات دیگر، وضعیت تنشهای موجود به هم می‌خورد و وضعیت تنش در اطراف حفره، آرایش جدیدی پیدا می‌کند که با وضعیت اولیه آن متفاوت است. تنشهای حاصله در اثر حفر تونل را تنشهای القایی[4] می‌گویند.

آگاهی از وضعیت تنشهای برجا و القایی، از جمله ضرورتهای اصلی طراحی تونل و سایر سازه‌های زیرزمینی است زیرا در بسیاری موارد، ممکن است اندازه تنشهای القایی، از حد مقاومت سنگ تجاوز کند و اگر فکری برای آن نشود، امکان دارد که خرابی سازه را درپی داشته باشد.

واضح است که این امر یعنی اغتشاش در وضعیت تنشهای برجا، فقط تا فاصله معینی از محور حفره ادامه دارد که این فاصله را شعاع تأثیر می‌گویند و در ماورای آن، وضعیت تنشها همچنان دست نخورده باقی می‌ماند. باید توجه داشت که علاوه بر شکل و ابعاد حفره، شیوه و سرعت حفر آن و همچنین مرحله بندی حفر اجزای مختلف مقطع (در مواردی که مقطع حفره در چند مرحله حفر می‌شود) نیز در آرایش تنشهای القایی مؤثراند و سیستم حفاری باید به گونه‌ای طراحی شود که کمترین ناپایداری را درپی داشته باشد.

اگر بخشی از یک توده سنگ را به شکل مکعب مستطیل، مجزا از بقیه توده سنگ درنظر گیریم، در حالت کلی بر سطوح آن هم تنش عمودی و هم‌تنش برشی اثر می‌کنند (شکل ۵ــ۱). اگر این قطعه به گونه‌ای در داخل توده سنگ توجیه شود که بر سطوح آن فقط تنشهای عمودی اثر کند، در این صورت این تنشهای عمودی را به نام

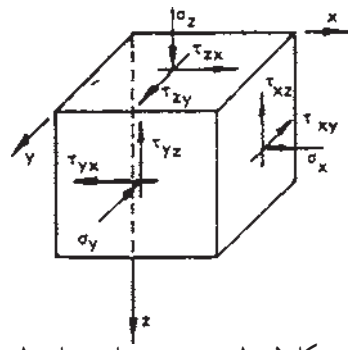
۱ــ Elastic
۲ــ Plastic
۳ــ Insitu
۴ــ Induced

تنشهای اصلی می‌خوانند و امتداد سطوح مکعب مستطیل در این حالت، به نام سطوح اصلی خوانده می‌شوند. تنشهای اصلی را با $\sigma_1$ ، $\sigma_2$ و $\sigma_3$ نشان می‌دهند که به ترتیب تنشهای اصلی ماکزیمم، متوسط و مینیمم نام دارند.

## ۵ــ۲ــ تنشهای برجا

منشأ اصلی تنشهای برجای مؤثر بر توده‌های سنگی، وضعیت و تاریخ زمین‌شناختی آن است. البته عواملی همچون فرسایش، ایزوستازی، سردشدن توده‌های مذاب و تبلور دوباره نیز در این مورد نقش دارند. در بین این عوامل، عمق سنگ نسبت به سطح زمین، وضعیت توپوگرافی زمین، و وضعیت ساختاری، نقش اصلی را به عهده دارند. وجود ناپیوستگی‌ها در توده‌های سنگی نیز از جمله عوامل دیگری است که در آرایش تنشهای برجا نقش دارد و چه بسا که به علت متفاوت بودن شرایط ساختاری دو توده سنگی که در عمق یکسانی قرار دارند، وضعیت تنشهای برجا به کلی متفاوت باشد.

برای توجیه وضعیت تنشهای برجا، می‌توان مؤلفه‌های آنرا نسبت به یک دستگاه محورهای مختصات سه بعدی مشخص کرد. با معلوم بودن این مؤلفه‌ها، می‌توان تنشهای اصلی برجا را نیز مشخص ساخت (شکل ۵ــ۱).




شکل ۵ــ۱ــ توجیه تنشهای برجا [۱۰]

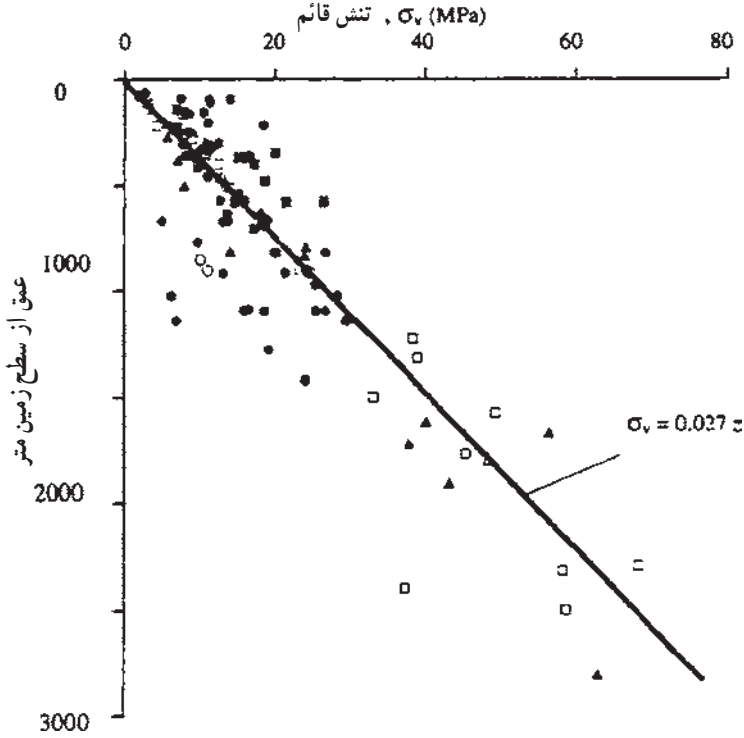
### ۵ــ۲ــ۱ــ مقادیر تئوری تنشهای برجا:

***الف ــ تنشهای قائم:*** از آنجا که عامل اصلی تنشهای قائم، وزن سنگهای رویی (روباره) است لذا مقادیر این تنشها را می‌توان از رابطه زیر پیش‌بینی کرد :

$$\sigma_z = \gamma Z \qquad (۱ــ۵)$$

که در آن $\gamma$ وزن مخصوص سنگ و Z عمق آن نسبت به سطح زمین است. به‌عنوان مثال اگر یک توده سنگی در عمق ۱۰۰۰ متری زمین واقع باشد و وزن مخصوص متوسط سنگهای روباره آنرا $۲/۷ t/m^3$ فرض کنیم، اندازه تنشهای قائم معادل ۲۷MPa خواهد بود (MPa به معنی مگاپاسکال و یا یک میلیون پاسکال است ).

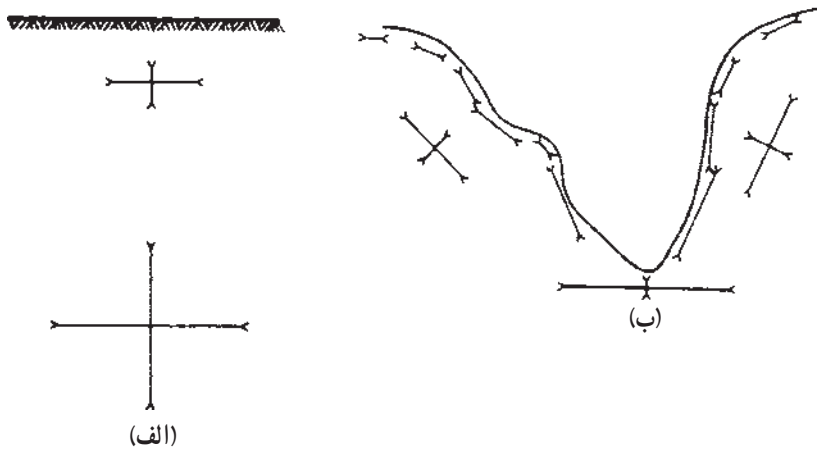
بررسیهایی که درمورد اندازه گیری تنشهای قائم انجام شده، نشانگر آن است که رابطه ۵ــ۱ به خوبی قادر است تخمین واقعی از تنشهای قائم را به دست دهد (شکل ۵ــ۲). در این شکل، نقاط مختلف، نتیجه اندازه‌گیری‌هایی است که در نقاط مختلف دنیا انجام گرفته و بهترین خط، بر آنها برازش داده شده است.




**شکل ۵ــ۲ــ تغییرات تنش قائم برجا نسبت به عمق [۹]**

از آنجا که بر سطح زمین تنشهای برشی اثر نمی‌کند، بنابراین همواره سطح زمین را می‌توان به‌عنوان سطح اصلی در نظر گرفت که یکی از تنشهای اصلی بر آن عمود است. بدین‌ترتیب، در زمینهای افقی، در اعماق کم، یکی از تنشهای اصلی برجا قائم و تنش اصلی دیگر افقی هستند. معمولاً فرض برآن است که در این موارد، این تنشها

درعین حال تنشهای افقی و قایم برجا نیز هستند (شکل ۵ــ۳ــ الف).



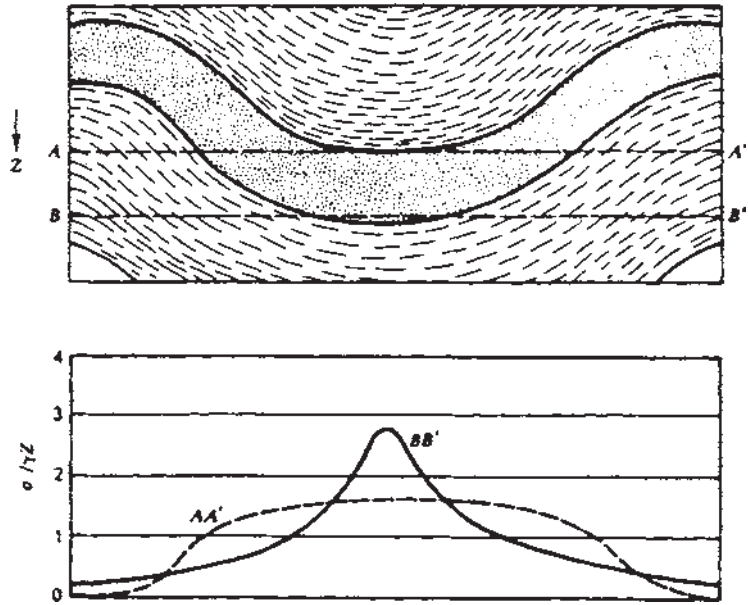

**شکل ۵ــ۳ــ نقش توپوگرافی در تنشهای برجا [۱۴]**

این فرضیات که برای ساده‌تر شدن مطلب و کاهش مقدار مجهولات فرض می‌شود، درعمل نیز نتایج قابل قبولی به دست داده است.

باید توجه داشت که در مورد زمینهای غیرافقی، مثلا دامنه دره‌ها، فرض قائم بودن یکی از تنشهای اصلی، صحیح نیست (شکل ۵ــ۳ــ ب). در این موارد، چون سطح زمین (سطح اصلی ) شیب‌دار است لذا یکی از تنشهای اصلی، عمود بر سطح دره و معادل صفر است ودو تنش اصلی دیگر به حالت مورب قرار دارند (شکل ۵ــ۳ــ ب). در مواردی که شیب دامنه دره محدب و به سمت بالا باشد، این تنشها نیز اندک‌اند و به سمت صفر میل می‌کنند اما درمواردی که مقعر و رو به بالا باشد، مقدار آنها بیشتر می‌شود [۱۴]. گرچه رابطه ۵ــ۱ دربسیاری موارد قادر است مقدار تنش قائم را در اعماق مختلف به دست دهد اما اگر عمق سنگها کم و پدیده ساختاری مهمی‌نیز وجود داشته باشد، با وجود ثابت بودن عمق، ممکن است اندازه تنش قائم در نقاط مختلف یک سطح افقی تغییر کند. به‌عنوان مثال در شکل ۵ــ۴، منحنی تغییرات نسبت $\frac{\sigma}{\gamma Z}$ در امتداد دو سطح افقی $AA'$ و $BB'$ نشان داده شده است و به‌طوری که دیده می‌شود، به علت وجود یک ناودیس، این نسبت ثابت نیست. به عنوان مثال در امتداد سطح افقی $AA'$ ، اندازه تنش قائم از حدود ۶۰ درصد بیش از $\gamma Z$ در حوالی

محور ناودیس تا حوالی صفر تغییر می‌کند. اگر تونلی در امتداد BB′ حفر شود، در محدوده شیل، با سنگهای کم تنش مواجه خواهد بود حال آنکه وقتی تونل به محدوده ماسه سنگ برسد، با سنگهایی که تحت تنشهای بالایی قرار دارند، روبرو خواهد شد.

از آنجا که وجود پدیده‌های ساختاری ممکن است میزان تنشهای قائم و جهت تنشهای اصلی را تغییر دهد لذا قبل از احداث سازه‌های زیرزمینی، باید ساختارهای زمین شناختی را به دقت بررسی و شناسایی کرد.




شکل ۵ــ۴ــ نقش ساختارهای زمین شناختی در تنش قائم [۱۴]

***ب ــ تنشهای افقی:*** تعیین تنشهای افقی برجا به‌سادگی تنشهای قائم نیست. در سال ۱۹۵۲ میلادی، ترزاقی و ریچارت سعی کردند که بر مبنای قوانین الاستیسیته، رابطه بین تنشهای قائم و افقی را به‌دست آورند. براساس مطالعات آنها هرگاه مکعبی از سنگ را مطابق شکل ۵ــ۱ درنظر گیریم و آنرا متجانس و همسانگرد فرض کنیم، تنشهای افقی از رابطه زیر به‌دست می‌آیند [۱۲ و ۱۳] :

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_z \qquad (۲ــ۵)$$

در این رابطه $\nu$ نسبت پواسون است. اگر ضریب پواسون متوسط سنگهای

منطقه را ۰/۲۵ فرض کنیم، خواهیم داشت :

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\sigma_z}{۳} \qquad (۳_۵)$$

در عمل، تنشهای افقی اندازه‌گیری شده در بسیاری از نقاط دنیا، با آنچه که از رابطه ۵ــ۲ یا ۵ــ۳ به‌دست می‌آید، چندان سازگار نیست و این روابط امروزه کاربردی ندارند. بنابراین درحالت کلی باید رابطه بین تنشهای افقی و قائم را به شکل زیر نوشت :

$$\sigma_h = K\sigma_v \qquad (۴_۵)$$

در این رابطه $\sigma_h$ تنش متوسط افقی، $\sigma_v$ تنش متوسط قائم و K نسبت تنش افقی متوسط به تنش قائم متوسط است.

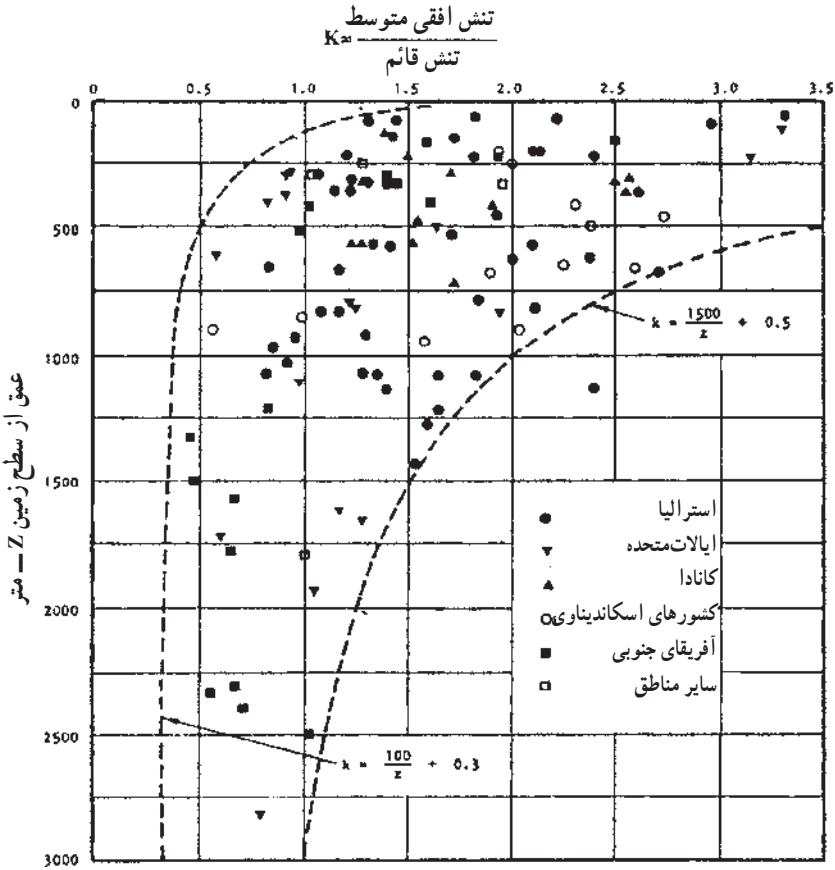
برای تعیین ضریب K کوششهای فراوانی انجام گرفته است. برای تعیین این ضریب، در نقاط مختلف زمین، تنشهای افقی و قائم اندازه‌گیری شده که حاصل آنها به‌صورت نموداری در شکل ۵ــ۵ آمده است.

مطابق شکل، در اعماق کمتر از ۵۰۰ متر، تنشهای افقی بیش از تنشهای قائم است (برخلاف روابط ۵ــ۲ و ۵ــ۳). در اعماق حدود ۱۰۰۰ متر، ضریب K به‌سمت واحد میل می‌کند و بنابراین در این اعماق، تنشهای افقی و قائم تقریباً مساوی‌اند. این امر از مدتها پیش در سال ۱۹۱۲ میلادی تحت عنوان قانون هیم[۱] توسط وی ارایه شد. مطابق این قانون، طی دوره‌های زمین شناختی، وضعیت تنشهای مؤثر بر سنگ به‌گونه‌ای است که در اعماق، تنشهای افقی و قائم به حال تعادل می‌رسند و با هم برابر می‌شوند. قانون هیم در سنگهای ضعیف نظیر زغال سنگ وبعضی سنگهای تبخیری نتایج خوبی به‌دست داده است و به نظرمی‌رسد که در مورد سایر سنگها نیز در اعماق بیش از ۱۰۰۰ متر، معتبر باشد [۱۰]. شکل ۵ــ۵، نشانگر آن است که ضریب K در محدوده‌ای قرار دارد که ازرابطه زیر پیروی می‌کند [۱۰] :

$$\frac{۱۰۰}{Z} + ۰/۳ < K < \frac{۱۵۰۰}{Z} + ۰/۵ \qquad (۵_۵)$$

**۵ــ۲ــ۲ــ اندازه‌گیری عملی تنشهای برجا:** برای اندازه‌گیری تنشهای برجا، بسته به امکانات موجود، روشهای متفاوتی وجود دارد که به‌طور مفصل در کتابهای مکانیک سنگ مورد بحث قرار می‌گیرد. در زیر دو تا از این روشها را به‌اختصار بررسی می‌کنیم.

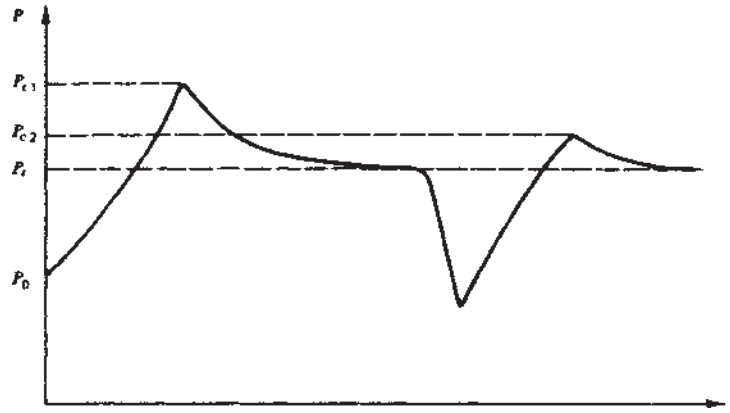
۱ــ Heim




**شکل ۵ــ۵ــ تغییرات ضریب K نسبت به عمق در نقاط مختلف [۱۰]**

***الف ــ روش شکافت هیدرولیکی (آب شکافت)*:** با شکافت هیدرولیکی[۱]، می‌توان تنشهای برجای سنگ را در اعماق قابل توجه با استفاده از گمانه‌ها برآورد کرد. در این روش، آب به داخل بخشی از گمانه که با مجرابندهایی مجزا شده است، پمپاژ می‌شود. به موازات افزایش فشار آب، تنشهای فشاری اولیه مؤثر بر دیواره‌های گمانه کاهش می‌یابد و در بعضی نقاط به حالت کششی درمی‌آید. وقتی که میزان تنش به $-T_0$ می‌رسد، ترک خوردگی اتفاق می‌افتد و فشار آب در پایین گمانه در این نقطه، $P_{c1}$ است (شکل ۵ــ۶). اگر پمپاژ آب به داخل گمانه ادامه یابد، این ترک گسترش می‌یابد و در نهایت فشار در قسمت پایین گمانه به میزان مقدار ثابت $P_s$ که گاه آن را «فشار انسداد» می‌نامند،افت می‌کند.

۱ــ Hydraulic Fracturing



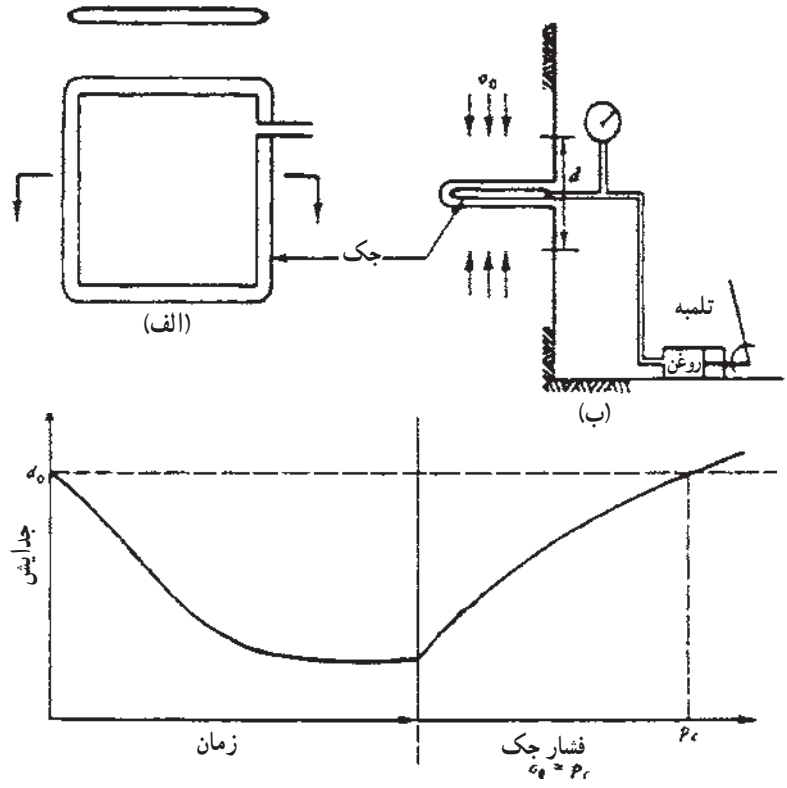

**شکل ۵ــ۶ــ تغییرات فشار نسبت به زمان در طول پمپاژ آب به داخل گمانه [۱۴]**

با استفاده از فشار انسداد و به کمک بعضی از روابط ریاضی که شرح آنها موضوع این کتاب نیست، می‌توان تنشهای برجای موجود در محدوده آزمایش را به‌دست آورد.

**ب ــ *روش جک تخت*[1]:** روش شکافت هیدرولیکی را فقط می‌توان در داخل گمانه‌ها اجرا کرد. اگر جبهه کار سنگ، مثلاً دیواره یک تونل قابل دسترسی باشد، می‌توان تنش برجا را با استفاده از روش ساده و مطمئن جک تخت برآورد کرد. در این روش جکهای هیدرولیکی تختی که از دو ورق فولادی جوشکاری شده از لبه و یک گریس‌خور برای ورود روغن به فضای میانی آنها تشکیل شده‌اند، به کار می‌روند. با این جکها، می‌توان به فشاری معادل ۳۴۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع یا حتی بیشتر دست یافت. مرحله ابتدایی کار، برقراری یک یا چند مجموعه نقاط اندازه‌گیری (نشانه) در جبهه کار سنگ است. فاصلهٔ این نقاط معمولاً ۱۵ سانتیمتر است ولی به هر حال باید با طول کشیدگی سنجهای[2] موجود مطابقت کند. سپس شکاف عمیقی، عمود بر سطح سنگ در بین نقاط مرجع ایجاد می‌شود (شکل ۵ــ۷ــ ب ). این شکاف عمیق را می‌توان با حفر چالهای مجاور هم به کمک چالزن، با به کارگیری یک شابلون برای هدایت مته و یا توسط ارهٔ الماسی ایجاد کرد. در نتیجهٔ ایجاد این شکاف، اگر سنگ تحت فشارش اولیه‌ای عمود بر سطح شکاف واقع باشد، فاصلهٔ دقیق بین نقاط از $d_0$ به مقادیر کوچکتری کاهش می‌یابد (شکل ۵ــ۷ــ ج ).اگر ثابتهای الاستیک سنگ معلوم

۱ــ Flat Jack ۲ــ Extensometer

باشد، تنشهای قائم اولیه را می‌توان به کمک جابه جایی نشانه‌ها، محاسبه کرد. پس از ایجاد شکاف، جک تخت را در شکاف جاسازی و آن را با دوغاب سیمان در جای خود محکم می‌کنند و تحت فشار قرار می‌دهند. وقتی که نقاط نشانه به فاصله اولیهٔ خود، $d_0$ بازگشتند، فشار درون جک ($P_c$) به تنش اولیه عمود بر سطح جک نزدیک می‌شود. از لحاظ تئوری، به خاطر تنش اولیه موازی با شیار و تفاوتهای هندسی بین داخل جک و داخل شکاف، یک ضریب تصحیح مورد نیاز است. اما این تصحیح در بیشتر موارد، در محدودهٔ عدم اطمینان قرار دارد، و چنانچه از شکافهایی استفاده شود که با ارهٔ الماسه ایجاد شده‌اند، مقدار تصحیح مذکور در حد قابل چشم‌پوشی کم و کوچک می‌شود. بنابراین $P_c$ یعنی فشار درون جک، برآورد قابل قبولی از متوسط تنش اولیه مؤثر بر سطح شکاف است.



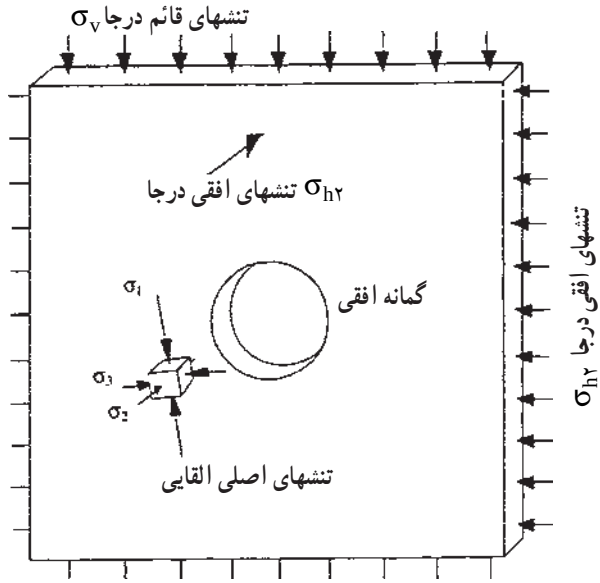

**شکل ۵ــ۷ــ آزمایش جک تخت [۱۴]**

آزمون جک تخت روشی کلی، تقریبی و کم هزینه برای محاسبهٔ یک مؤلفهٔ تنش از تانسور تنش است. این وسیلهٔ اندازه‌گیری تنش را می‌توان درجا ساخت و عملاً خراب نشدنی است ؛ نکته‌ای که خود مسئلهٔ مهمی‌در هر کار ابزاربندی یا برنامهٔ اندازه‌گیری زیرزمینی به شمار می‌آید. محدودیت مهم این روش آن است که تنش اندازه‌گیری شده، در ناحیهٔ به هم خورده تونل مورد نظر برای اندازه‌گیری قرار دارد.

## ۵ــ۳ــ تنش در تونلها

وقتی که در داخل توده سنگی که تحت تأثیر تنشهای برجا قرار دارد، تونل یا هر حفره زیرزمینی دیگر احداث شود، وضعیت تنش مؤثر بر سنگها در مجاورت این تونل، به هم می‌خورد و توزیع جدیدی می‌یابد. خارج قسمت تنش جدید در هر نقطه بر تنشی که قبل از احداث تونل در آن نقطه وجود داشت، به نام تمرکز تنش[۱] خوانده می‌شود.

برای تشریح مسئله فرض می‌کنیم که در داخل یک توده سنگ متجانس و همسانگرد که تحت تأثیر تنشهای افقی $\sigma_h$ و قائم $\sigma_v$ قرار دارد، یک گمانه افقی حفر شود. برای بررسی وضعیت تنشها، ورقه قائمی‌از این توده سنگی را به حالت عمود بر محور گمانه مطابق شکل ۵ــ۸ درنظر می‌گیریم.



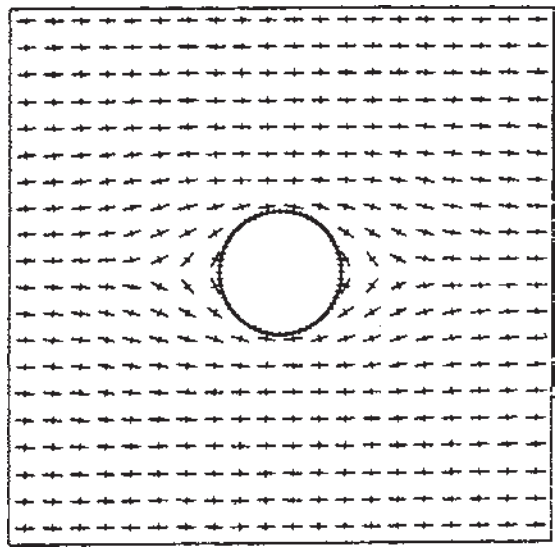

شکل ۵ــ۸ــ وضعیت تنشهای اصلی در یک گمانه افقی [۹]

۱ــ Stress Concentration

قبل از احداث گمانه، تنشهای برجای $\sigma_v$ ، $\sigma_{h1}$ و $\sigma_{h2}$ به حالت یکنواخت در ورقه یاد شده، توزیع شده بودند. پس از حفر بخشی از سنگها و ایجاد گمانه مورد نظر، وضعیت تنشها در این ورقه به هم می‌خورد و تنشهای جدیدی در اطراف حفره به وجود می‌آید. هرگاه جزء کوچکی از ورقه را مطابق شکل ۵ــ۸ در نظر گیریم، تنشهای اصلی مؤثر بر آن $\sigma_1$ ، $\sigma_2$ و $\sigma_3$ خواهد بود.

در مکانیک سنگ، تنشهای فشاری را مثبت و تنشهای کششی را منفی در نظر می‌گیرند. همچنین بزرگترین تنش اصلی را با $\sigma_1$ (بدون در نظر گرفتن علامت ) و کوچکترین آنها را با $\sigma_3$ نشان می‌دهند.

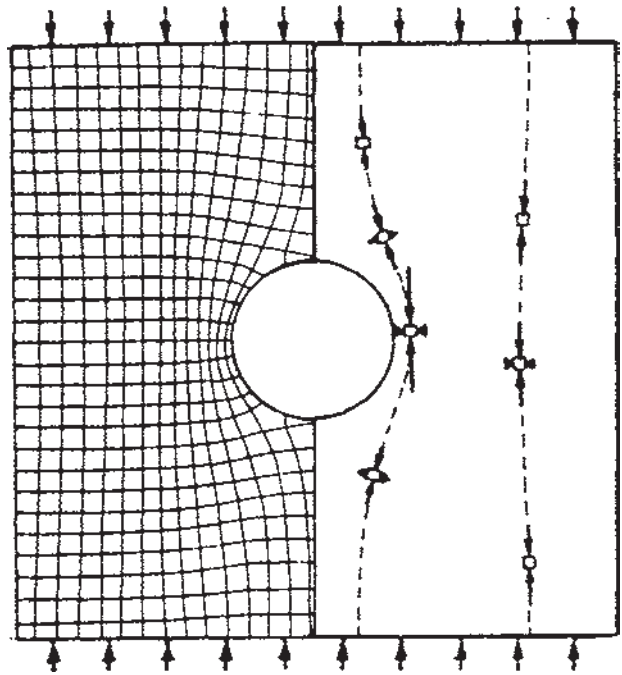
سه تنش اصلی مؤثر بر جز مورد بررسی بر هم عموداند اما وضعیت آنها نسبت به تنشهای برجا ممکن است موازی یا متمایل باشد. این امر در شکل ۵ــ۹ تشریح شده و طی آن جهت تنشهای اصلی مؤثر بر سنگها در اطراف گمانه مورد نظر نشان داده شده است. در اینجا فرض شده که تنشهای افقی برجا ($\sigma_{h1}$) سه برابر تنشهای قائم برجا ($\sigma_v$) باشد. در شکل ۵ــ۹، خطوط بزرگتر در هر منطقه نشانگر تنش ماکزیمم $\sigma_1$ و خطوط کوتاه نشانگر تنش مینیمم $\sigma_3$ است. در این مثال خاص، تنش متوسط $\sigma_2$ با تنش برجای $\sigma_{h2}$ موازی است اما تنشهای اصلی نسبت به $\sigma_{h2}$ و $\sigma_v$ ، حالت مورب دارند.



**شکل ۵ــ۹ــ جهت تنشهای اصلی در توده سنگ در اطراف یک گمانه افقی. در این مورد تنشهای برجای افقی سه برابر تنشهای برجای قائم فرض شده است [۹]**

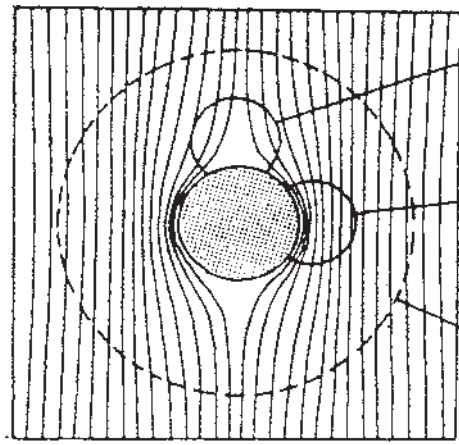
یکی از روشهای نمایش وضعیت تنش پس از احداث حفره‌های زیرزمینی، نمایش مسیر تنشهای اصلی، قبل و بعد از احداث حفره است. مقصود از مسیر تنشهای اصلی خطوط فرضی است که تنشهای اصلی در امتداد آن اثر می‌کنند.

قبل از حفر سازه زیرزمینی، مسیر تنشهای اصلی به صورت خطوط منظم و موازی عمود بر هم است اما پس از احداث تونل، این خطوط دچار اغتشاش می‌شوند. در شکل ۵ــ۱۰ مسیر تنشهای اصلی ماکزیمم و مینیمم در یک توده سنگی متجانس و همسانگرد که تحت تنش الاستیک تک‌محوری قرار دارد، نشان داده شده است. در سمت راست این شکل، دو امتداد مسیر تنشهای اصلی به صورت خط‌چین نشان داده شده است. به‌طوری که دیده می‌شود، در فاصله کافی از محور تونل، مسیر تنشهای اصلی به حالت اولیه دست نخورده باقی مانده، حال آنکه در نزدیکی تونل، مسیر منحرف شده است. در این خطوط، اندازه تنشهای اصلی ماکزیمم و مینیمم متناسب با طول بردارها، نشان داده شده است.



**شکل ۵ــ۱۰ــ وضعیت مسیر تنشهای اصلی ماکزیمم و مینیمم در اطراف یک تونل دایره‌ای در توده سنگی متجانس و همسانگرد که تحت تأثیر تنش یک محوره قرار دارد [۱۰]**

مسیر تنشهای اصلی را می‌توان با وضعیت خطوط جریان یک سیال، شبیه‌سازی کرد. در داخل سیالی که با جریان آرام و یکنواخت حرکت می‌کند، خطوط جریان به‌صورت خطوط موازی هم‌اند اما وجود یک مانع در مسیر حرکت جریان سبب می‌شود که خطوط جریان از حالت موازی خارج شوند و مانع را دور بزنند و پس از عبور از آن دوباره به حالت اولیه خود باز گردند (شکل ۵ــ۱۱).




**شکل ۵ــ۱۱ــ انحراف خطوط جریان در اطراف یک مانع [۱۰]**

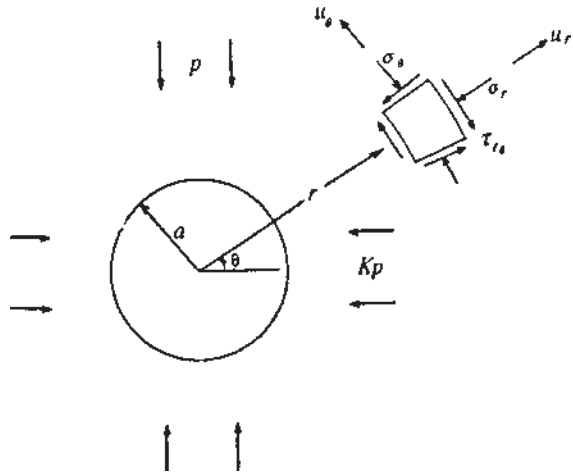
شکل ۵ــ۱۱ نشانگر آن است که در بالا دست و پایین دست مانع، سرعت آب کم می‌شود و خطوط جریان از هم فاصله می‌گیرند و پخش می‌شوند. در مورد وضعیت تنش در اطراف تونلها نیز چنین وضعی کمابیش صادق است و در این مناطق یعنی سقف و کف تونل، تنش کششی اثر می‌کند. در دو طرف مانع، خطوط جریان به هم نزدیک و فشرده می‌شوند که معادل با مناطق تحت فشار در دیواره تونلها است.

شکل ۵ــ۱۱ این نکته را نیز نشان می‌دهد که در فاصله تقریباً سه برابر شعاع مانع، خطوط جریان تقریباً به حالت اولیه خود درمی‌آیند و این امر نیز در مورد تونلها هم‌صادق است یعنی در فاصله تقریباً سه برابر شعاع تونل، وضعیت تنش در توده سنگ، همانند حالت دست نخورده قبل از احداث تونل است [۱۰].

## ۵ــ۴ــ وضعیت تنش در تونلهای مختلف

برای سهولت کار، در ابتدا فرض می‌کنیم که توده سنگی مورد مطالعه، متجانس، همسان‌گرد و الاستیک باشد. با این فرضیات، موضوع ساده می‌شود و می‌توان روابط ساده‌ای به‌دست آورد. از آنجا که شکل تونل نیز نقش عمده‌ای در توزیع تنش دارد، لذا مسئله را در مورد مقاطع مختلف بررسی خواهیم کرد.

**۵ــ۴ــ۱ــ تونلهای دایره‌ای:** مطابق شکل ۵ــ۱۲، فرض می‌کنیم که در داخل توده سنگی متجانس، همسان‌گرد و الاستیک، که تحت‌تأثیر تنشهای قائم $\sigma_v = p$ و افقی $\sigma_h = kp$ قرار دارد، تونلی افقی به شعاع a حفر شود.



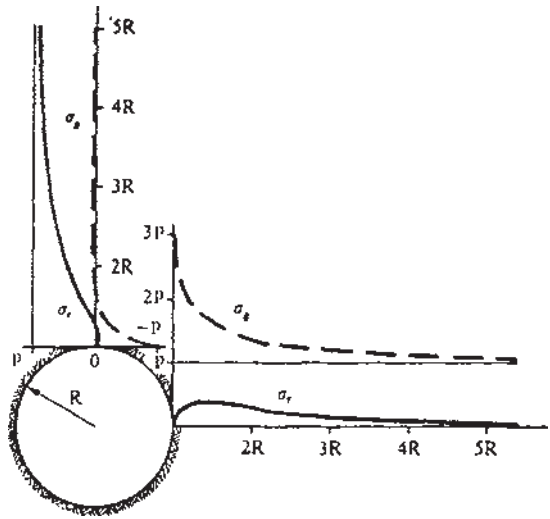

شکل ۵ــ۱۲ــ تنش در اطراف تونلهای دایره ای [۱۳]

برای بررسی وضعیت تنش، قطعه کوچکی از سنگ را با مختصات قطبی r و $\theta$ مطابق شکل در نظر می‌گیریم و تنشهای عمودی مؤثر بر سطوح این قطعه را $\sigma_r$ (تنش شعاعی) و $\sigma_\theta$ (تنش مماسی) می‌نامیم.

اکنون مسئله را در دو حالت تنشهای یک محوره و دومحوره بررسی می‌کنیم.

***الف ــ تنش یک‌محوره:*** درحالتی که توده سنگها فقط تحت تأثیر بار قائم واقع باشند (حالت تنش یک محوره )، در این حالت $k = 0$ و منحنی تغییرات تنش مطابق شکل ۵ــ۱۳ خواهد بود [۱۹]. در این شکل تغییرات مولفه‌های $\sigma_r$ و $\sigma_\theta$ در امتداد خطوط قائم و افقی نسبت به محور تونل نشان داده شده است. به طوری که دیده

می‌شود، در این حالت مولفه شعاعی تنش ($\sigma_r$) در محیط تونل در امتداد هر دو خط قائم و افقی صفر است و این وضعیت در مورد تمام نقاط محیطی تونل مصداق دارد. در فواصل کاملاً دور از محور تونل، اندازه تنش $\sigma_r$ درامتداد محور افقی به سمت صفر و در امتداد محور قائم به سمت p میل می‌کند. علت آن واضح است زیرا قبل از احداث تونل، تنشهای افقی و قائم به‌ترتیب برابر صفر و p بود و بنابراین با فاصله گرفتن از محور تونل، تنشها به سمت مقادیر اولیه خود میل می‌کنند.



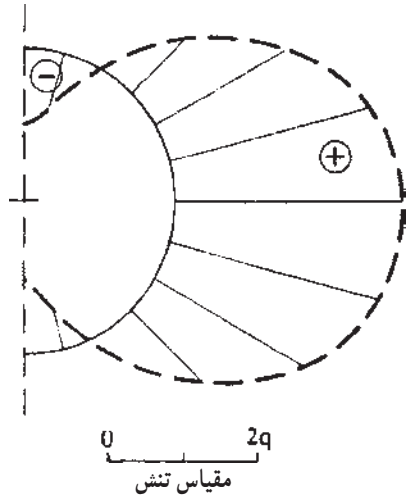

**شکل ۵ــ۱۳ــ توزیع تنش در اطراف یک تونل دایره‌ای در حالت تنش یک محوره [۱۹]**

از سوی دیگر، اگرچه مولفه‌های تنش مماسی ($\sigma_\theta$) نیز با افزایش فاصله، به‌سوی مقادیر اولیه خود تمایل می‌یابند اما در امتداد افقی و مجاورت تونل، اندازه آن به حدود ۳P یعنی سه برابر تنشهای اولیه می‌رسد و در طول این خط به تدریج کاهش می‌یابد تا به حد p یعنی اندازه اولیه تنش برسد. در امتداد قائم نیز مقدار این تنش در مجاورت تونل P- است و با افزایش فاصله از محور تونل، مقدار آن به صفر می‌رسد. به طوری که دیده می‌شود، احداث تونل سبب تغییرات مهمی‌در این تنش، نسبت به تنشهای اولیه شده است.

به علت متقارن بودن شکل تونل و نحوه بارگذاری، توزیع تنشها در سمت چپ تونل نیز همانند سمت راست آن است. این وضعیت در مورد سنگهای زیر تونل نیز صادق است یعنی توزیع تنش در زیر تونل، همانند بالای آن خواهد بود.

با توجه به مطالب یاد شده، چنین نتیجه گیری می‌توان کرد که تمرکز تنش ایجاد شده در محدوده تونل، با افزایش فاصله از محور آن، به سرعت کاهش می‌یابد و حداکثر تنشهای مثبت و منفی ایجاد شده به ترتیب $3p$ و $p-$ است که در دیواره تونل اعمال می‌شود. بنابراین اندازه تنش مماسی در دیواره تونل از نقطه نظر پایداری آن بسیار اهمیت دارد. نکته مهم آن است که نه وضعیتِ توزیع و نه اندازه بحرانی، به ابعاد تونل بستگی ندارند.

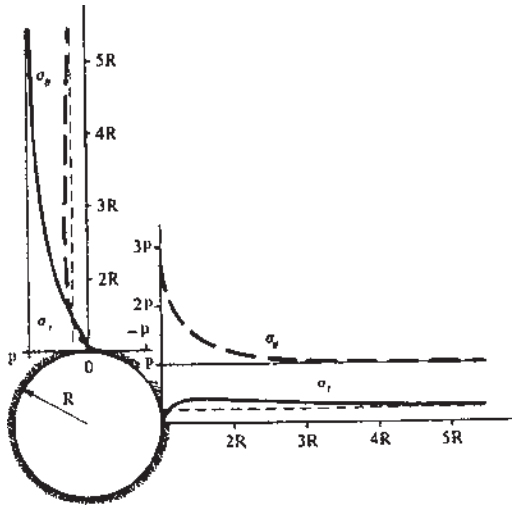
در شکل ۵ــ۱۴، توزیع تنش‌های مماسی در دیواره تونل یعنی در مرز تونل و سنگهای اطراف آن نشان داده شده است. در این شکل، اندازه تنش در هر نقطه با طول خطی شعاعی که محیط دایره تونل را به منحنی خط‌چین بیرونی آن مرتبط می‌سازد، مشخص می‌شود. قسمتهایی که در داخل و خارج دایره قرار می‌گیرند به‌ترتیب تحت کشش (علامت منفی )، و فشارش (علامت مثبت) قرار دارند [۱۹].




**شکل ۵ــ۱۴ــ توزیع تنشهای مماسی در مرز یک تونل دایره‌ای درحالت تنش یک محوره [۱۹]**

***ب ــ تنش دومحوره:*** در حالت تنش دومحوره یعنی مواردی که توأماً تنشهای برجای قائم و افقی وجود داشته باشند، بسته به مقدار $k$، منحنی‌های توزیع تنش وضعیت‌های مختلفی خواهد داشت. به عنوان مثال وضعیت توزیع تنشها به ازای $k = ۰/۲۵$ در شکل ۵ــ۱۵ نشان داده شده است. در این مورد نیز وضعیت کمابیش مشابه حالت تنش یک محوره است و همان نتایج را می‌توان بیان کرد. البته تنشها از

نظر مقدار در این دو حالت متفاوت‌اند. در این مورد، تنشهای مماسی در مرز بالای تونل ۰/۲۵P− و در مرزهای کناری آن ۲/۷۵P است [۱۹].




**شکل ۵ــ۱۵ــ توزیع تنش در اطراف یک تونل دایره‌ای در حالت تنش دو محوره K=۰/۲۵ [۱۹]**

اگر $k=1$ باشد، به معنی آن است که توده سنگ تحت تأثیر تنش همه‌جانبه (هیدروستاتیک) قرار دارد و روابط تنش به شرح ساده زیر در می‌آیند :

$$\sigma_r = p(1-\frac{a^2}{r^2}) \qquad (۶ــ۵)$$

$$\sigma_\theta = p(1+\frac{a^2}{r^2}) \qquad (۷ــ۵)$$

$$\tau_{r\theta} = 0 \qquad (۸ــ۵)$$

در این حالت طبق رابطه ۵ــ۶، اندازه تنش شعاعی در هر نقطه از مرز تونل (r=a) برابر صفر و اندازه تنش مماسی طبق رابطه ۵ــ۷ برابر ۲p خواهد بود.

ازمقایسه دوحالت $k=0$ و $k=1$ چنین نتیجه می‌توان گرفت که با افزایش k از صفر تا ۱، اندازه تنشهای بحرانی در جدار تونل از ۳p به ۲p و از p− به ۲p تغییر می‌کند [۱۹].

به‌ازای مقادیر دیگر k نیز می‌توان وضعیت تنشها را بررسی کرد. که شرح آن از سطح این کتاب خارج است.

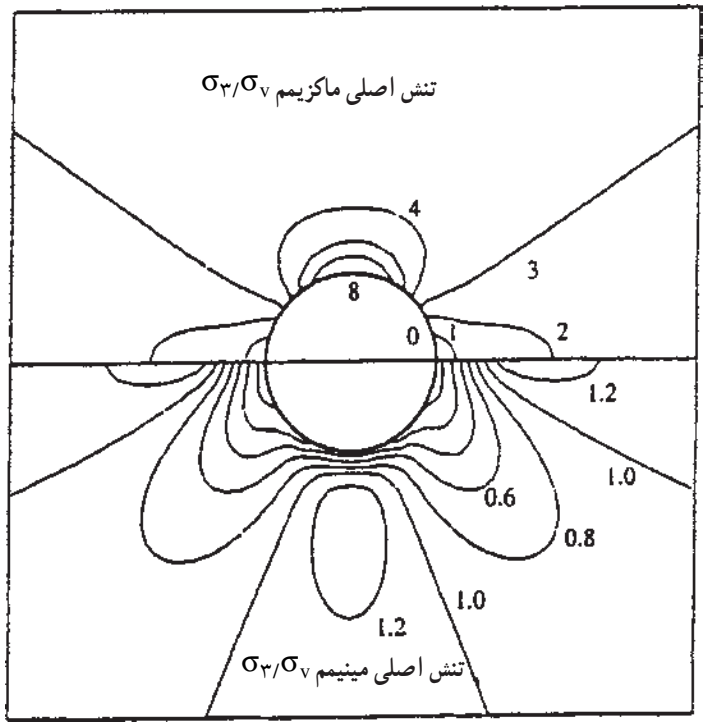
در مرز و جدار تونل یعنی در فاصله r=a تنشهای شعاعی $\sigma_r$ و برشی $\tau_{r\theta}$ هر دو صفراند لذا مهمترین مؤلفه تنش در جدار تونلها، تنش مماسی در جدار است.

به‌ازای $k = ۰$ ، تنشهای مماسی در سقف و کف تونل از نوع کششی‌اند. به‌ازای $k = ۰/۳۳$ تنش در سقف و کف تونل صفر است و به‌ازای مقادیر $k > ۰/۳۳$ ، تنش مماسی مؤثر بر جدار تونل از نوع فشاری است. در دیواره‌های تونل نیز تنش از ۳p به‌ازای $k = ۰$ تا ۲p به ازای $k = ۱$ تغییر می‌کند [۱۰].

***ج ــ نتایج کلی در مورد وضعیت تنش در تونلهای دایره‌ای:*** از آنچه که تاکنون گفتیم می‌توان نتایج کلی زیر را در مورد وضعیت تنش در یک تونل دایره‌ای که در سنگهای همگن، همسان‌گرد و الاستیک حفر شده است، بیان کرد [۱۰] :

- ــ وضعیت تنش در چهار ربع یک تونل دایره‌ای حالت متقارن دارد. به بیان دیگر محورهای تونل، محورهای تقارن تنشها نیز هستند و بنابراین بررسی در یکی از ربع‌ها و به‌ازای مقادیر $\theta = ۰$ تا $\theta = ۹۰^\circ$ کافی است تا اطلاعات کاملی از وضعیت تنشها به‌دست دهد.
- ــ به شرطی که سنگهای اطراف تونل الاستیک فرض شوند، توزیع تنش مستقل از جنس آنها است.
- ــ در روابط ریاضی مربوط به توزیع تنش، شعاع تونل به طور مستقل دخالت ندارد بلکه در این فرمولها، پارامتر بدون بعد $\frac{a}{r}$ یعنی نسبت شعاع تونل به فاصله، دخالت می‌کند. به بیان دیگر وضعیت توزیع تنش در تونلی به قطر ۵ متر و تونلی به قطر ۱۰ متر کمابیش یکسان است. باید توجه داشت که این تعبیر فقط در موردی که سنگها همگن، همسان‌گرد و الاستیک فرض شده‌اند، اعتبار دارد و در عمل که سنگها این خواص را ندارند، قابل تعمیم نیست.

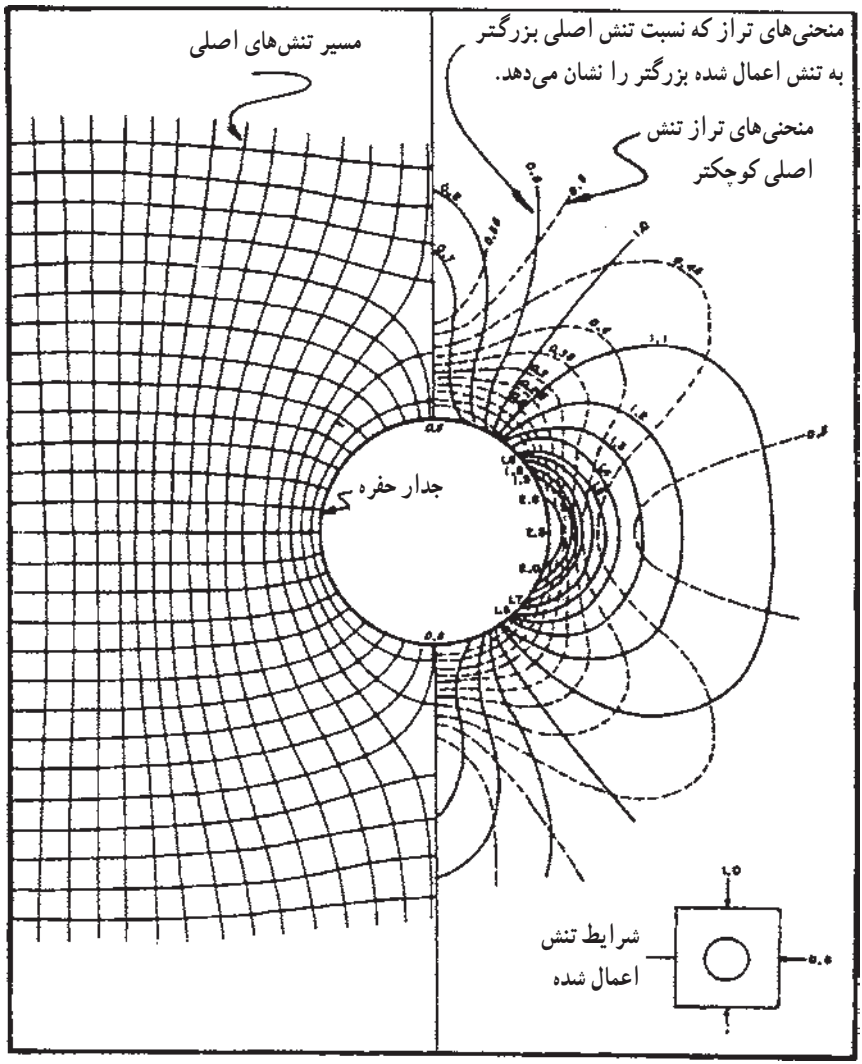
***د ــ منحنی‌های تراز تنش اصلی در اطراف تونلهای دایره‌ای:*** یکی از راههای نمایش وضعیت تنش در اطراف تونلهای دایره‌ای، رسم منحنی‌های تراز تنش اصلی ماکزیمم و مینیمم در اطراف تونل است زیرا پایداری سنگها تا حد زیادی به مقدار این دو تنش بستگی دارد. در شکل ۵ــ۱۶ نمونه‌ای از منحنی‌های تراز تنشهای ماکزیمم و مینیمم در اطراف یک تونل دایره‌ای درحالت $k = ۳$ نشان داده شده است.




**شکل ۵ــ۱۶ــ منحنی‌های تراز تنشهای اصلی ماکزیمم و مینیمم در اطراف یک تونل دایره‌ای که در سنگهای همگن، همسان‌گرد و الاستیک و با وضعیت ۳= k حفر شده است [۹]**

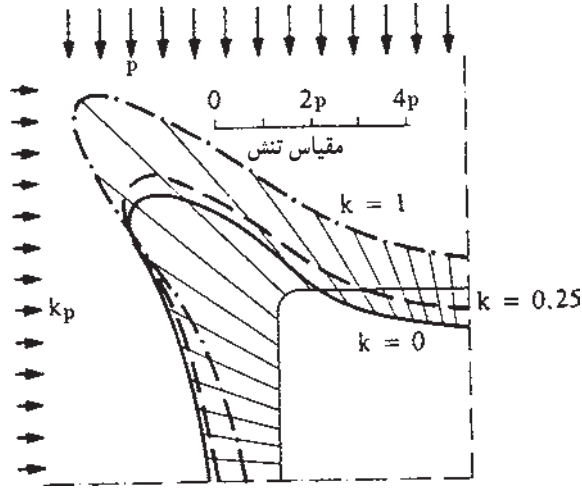
در شکل ۵ــ۱۷ نیز نمونه دیگری از منحنی‌های تراز تنشهای اصلی همراه با مسیر آنها نشان داده شده است. در این حالت $k = ۰/۵$ و اعداد مندرج در منحنی‌های تراز، نسبت تنشهای اصلی به یکی از دو تنش اعمالی است که از دیگری بزرگتر است.

**۵ــ۴ــ۲ــ تونلهای با مقاطع چهارگوش:** توزیع تنش در اطراف تونلهای با مقاطع مربع و مستطیل به نحوه جهت‌یافتگی آنها نسبت به تنشهای اصلی، شعاع انحنای گوشه‌ها و نسبت عرض به ارتفاع مقطع بستگی دارد. از نظر تئوری، در یک گوشه قائمه از مقطع چهارگوش تنش به سمت بینهایت میل می‌کند (زیرا شعاع انحنای این گوشه‌ها صفر است ). بنابراین، در عمل از گوشه‌های گرد شده استفاده می‌شود و شعاع انحنای این گوشه‌ها را نسبت به یکی از اضلاع مقطع می‌سنجند [۱۹].




**شکل ۵ــ۱۷ــ منحنی‌های تراز تنشهای اصلی ماکزیمم و مینیمم در اطراف یک تونل دایره‌ای به ازای k=۰/۵ همراه با مسیر آنها [۱۰]**

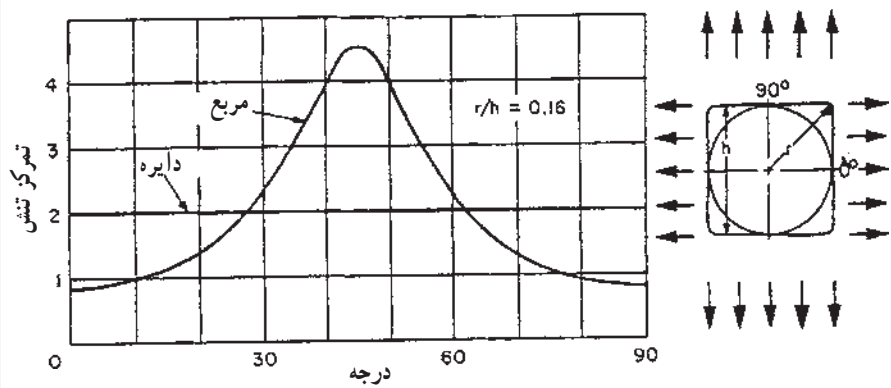
در شکل ۵ــ۱۸، توزیع تنشهای مماسی در مرز یک مقطع مربع با گوشه‌های گرد، به ازای مقادیر مختلف ضریب k نشان داده شده که در این مورد، شعاع گوشه‌ها ۰/۰۶ ضلع مربع است. در این شکل به علت متقارن بودن مقطع، وضعیت توزیع تنش فقط در یک گوشه آن نشان داده شده است.




**شکل ۵ــ۱۸ــ توزیع تنش‌های مماسی در مرز یک تونل مربع شکل [۱۹]**

در شکلهای ۵ــ۱۹ و ۵ــ۲۰ نیز توزیع تنش در مورد مقاطع چهارگوش در میدانهای تنش هیدروستاتیک و یک محوره نشان داده شده است. به منظور بررسی وضعیت تمرکز تنش درمورد مقاطع مستطیل، مقادیر عددی تمرکز تنش در اطراف یک تونل با مقطع مستطیل و با نسبت ابعاد (عرض به ارتفاع ) مختلف، در جدول ۵ــ۱ درج شده است.

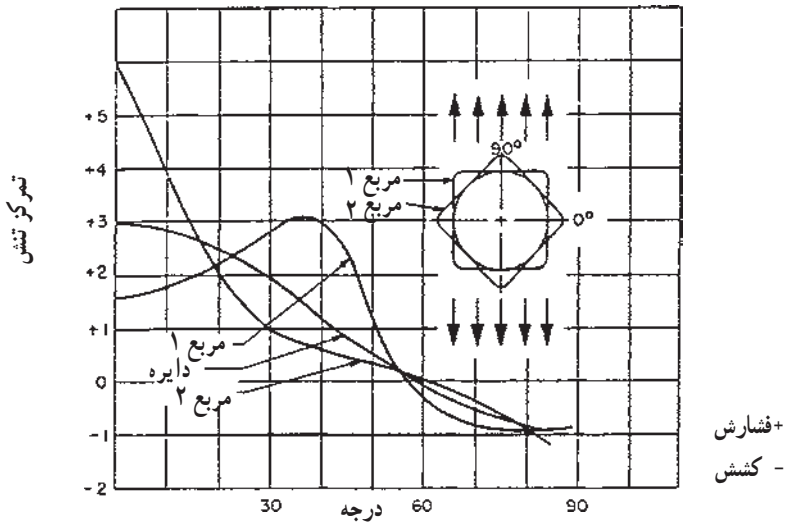
وضعیت مقطع نسبت به تنشهای اصلی و زوایای $\theta$ و $\alpha$ در شکل ۵ــ۲۱ نشان داده شده است. جدول ۵ــ۲ نیز نشانگر تمرکز تنش در تونلهای با مقاطع مختلف و ابعاد متفاوت، در یک میدان تنش یک محوره است.




**شکل ۵ــ۱۹ــ توزیع تنش در اطراف یک تونل مربع شکل با گوشه‌های گرد در میدان تنش هیدروستاتیک [۱۲]**

**۵ــ۴ــ۳ــ مقایسه مقاطع مختلف:** نتایج مربوط به مقطع دایره را می‌توان کمابیش در مورد سایر مقاطع نیز به‌کاربرد. براساس این روابط، هرچقدر شعاع انحنا ($A$ و $B$) کمتر باشد، تنش مرزی حاصله زیادتر است.

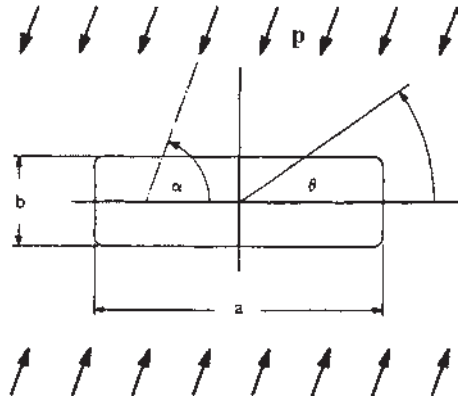
مسئله گرد بودن گوشه‌ها در مورد مقاطع چهارگوش بسیار مهم است. مناسب‌ترین وضعیت تنش در مورد گوشه‌های یک مقطع مستطیل وقتی حاصل می‌شود که شعاع انحنای گوشه‌ها حداکثر مقدار خود را که نصف ارتفاع مقطع است، داشته باشند و در این حالت مقطع مستطیل در واقع به حالت تخم مرغی در می‌آید [۱۰].




**شکل ۵ــ۲۰ــ توزیع تنش در اطراف تونل مربع شکل با گوشه‌های گرد در میدان تنش یک محوره [۱۲]**

**جدول ۵ــ۱ــ مقادیر تمرکز تنش ($\frac{\sigma_t}{P}$) برای مقطع مستطیل در حالتهای مختلف [۱۹]**

| Q | W / H = ۳/۲ | | W / H = ۵ | |
|---|---|---|---|---|
| | a = ۹۰ | a = ۰ | a = ۹۰ | a = ۰ |
| ۰ | ۲/۱۵ . | ۰/۷۷ . | ۲/۴۲ . | ۰/۷۷ . |
| ۲۰ | ۴/۲۶ . | ۰/۶۹ . | ۸/۰۵ . | ۰/۱۵ . |
| ۲۵ | ۶/۲۰ . | ۰ | ۷/۰۳ . | ۲/۶۹ . |
| ۳۰ | ۵/۵۱ . | ۲/۶۱ . | ۱/۳۴ . | ۲/۸۱ . |
| ۴۰ | ۰/۹۱ . | ۲/۳۹ . | ۰/۶۴ . | ۱/۵۶ . |
| ۹۰ | ۰/۹۸ . | ۱/۳۴ . | ۰/۹۴ . | ۱/۱۹ . |




**شکل ۵ــ۲۱ــ مقطع مستطیل در میدان تنش یک محوره [۱۹]**

**جدول ۵ــ۲ــ تمرکز تنش ($\frac{\sigma}{P}$) در تونلهای با مقاطع مختلف در میدان تنش یک‌محوره [۱۴]**

| شکل مقطع | نسبت ارتفاع به عرض | تمرکز تنش در سقف | تمرکز تنش در دیواره‌ها |
|---|---|---|---|
| بیضی | ۰/۵ | ـ۱ | ۵ |
| تخم‌مرغی | ۰/۵ | ـ۰/۹ | ۳/۴ |
| مستطیلی با گوشه‌های گرد | ۰/۵ | ـ۰/۹ | ۲/۵ |
| دایره | ۱ | ـ۱ | ۳ |
| بیضی | ۲ | ـ۱ | ۲ |
| تخم‌مرغی | ۲ | ـ۰/۹ | ۱/۶ |
| مستطیل | ۲ | ـ۱ | ۱/۷ |

با توجه به آنچه که گفتیم، می‌توان مسایل کلی زیر را در مورد شکل مقاطع تونلها بیان کرد [۱۰]:

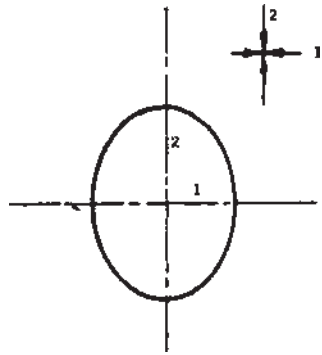
الف ــ با کاهش نسبی شعاع انحنای گوشه‌ها، تمرکز تنش افزایش می‌یابد. بنابراین حتی‌المقدور باید از مقاطع با گوشه‌های تیز پرهیز کرد.

ب ــ با توجه به آنکه کمترین تمرکز تنشهای مرزی مربوط به نقاط با شعاع انحنای ماکزیمم است، لذا بهترین شکل مقطع تونل برای میدان تنش هیدروستاتیک ($k=1$)، مقطع دایره است.

ج ــ در مورد سایر میدانهای تنش ($k \neq 1$)، کمترین تنشهای مرزی مربوط

به‌مقاطع تخم‌مرغی است.

د ــ اگر مقطع بیضی به گونه‌ای توجیه شود که نسبت محورهای اصلی تنش متناظر با نسبت محورهای مقطع باشد، کمترین تنش مرزی را خواهیم داشت (شکل ۵ــ۲۲).



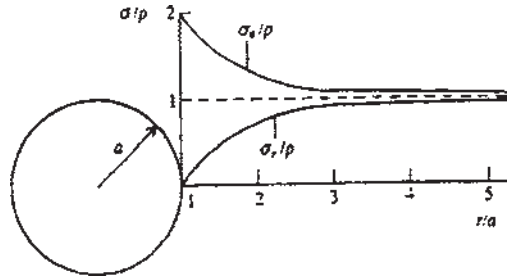

**شکل ۵ــ۲۲ــ توجیه مقطع بیضی نسبت به محورهای اصلی تنش به منظور مینیمم کردن تنشهای مرزی [۱۰]**

هـ ــ در مواردی که ضریب k خیلی کوچک باشد، در جدار تمام مقاطع، تنش کششی مؤثر خواهد بود و این امر، مادام که k کمتر از $\frac{۱}{۳}$ باشد صادق است اما با افزایش k از این حد، تنشها به نوع فشاری تبدیل می‌شوند.

**۵ــ۴ــ۴ــ منطقه تأثیر تونلها:** آگاهی از منطقه تأثیر تونل، از جمله مواردی است که به هنگام طراحی مورد نیاز است. مقصود از منطقه تأثیر، محدوده‌ای در اطراف تونل است که در اثر احداث تونل، وضعیت تنشها در آن به هم می‌خورد.

در مورد یک تونل دایره‌ای که در توده سنگهایی با میدان تنش هیدروستاتیک احداث شده تغییرات تنشهای $_r$ . و . در شکل ۵ــ۲۳ نشان داده شده است. به‌طوری که در این شکل دیده می‌شود، در فاصله $r = ۵a$ ، هر دو منحنی . و $_r$ . بر خط مجانب $\frac{\cdot}{p} = ۱$ مماس‌اند. به بیان دیگر، شعاع تأثیر چنین تونلی، ۵ برابر شعاع تونل و در ماورای آن، وضعیت تنش به همان حالت اولیه است.

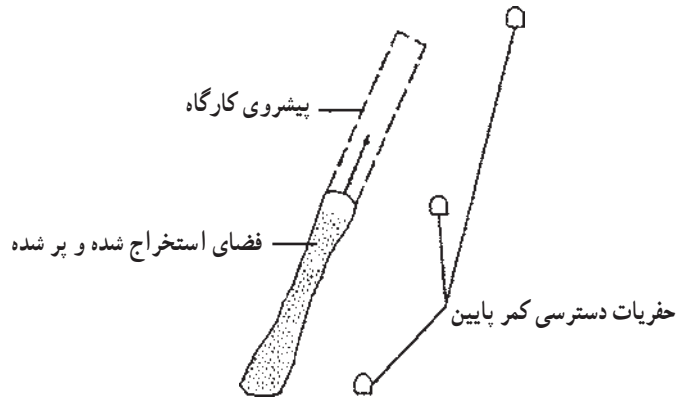
در این مثال، اگر تونل دایره‌ای شکل دیگری به شعاع a در خارج از منطقه تأثیر تونل اول حفر شود، وضعیت تنش در تونل اخیر نیز مشابه تونل اول خواهد بود و این دو تونل، تأثیری بر یکدیگر نخواهند داشت.




**شکل ۵ــ۲۳ــ توزیع تنشها در اطراف یک تونل دایره‌ای در میدان تنش هیدروستاتیک [۱۳]**

به عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت که منطقه تأثیر تونلها به شکل تونل و محورهای اصلی تنش منطقه بستگی دارد.

شکل ۵ــ۲۴، یک حفره شکاف مانند (مثلاً کارگاه استخراج یک‌رگه ) را همراه با سه تونل کوچک دسترسی نشان می‌دهد. هر یک از تونلهای کوچک ممکن است ضمن آنکه در منطقه تأثیر شکاف بزرگ قرار دارد، در عین حال، خارج از منطقه تأثیر تونلهای کوچک دیگر باشد. در چنین مواردی می‌توان وضعیت تنش در اطراف شکاف را با فرض آنکه یک حفره مجزا است، برآورد کرد. از سوی دیگر، تنشهای مرزی تونلهای کوچک را باید با توجه به آنکه در محدوده تأثیر شکاف قرار دارند، مورد بررسی قرار دارد [۱۳].

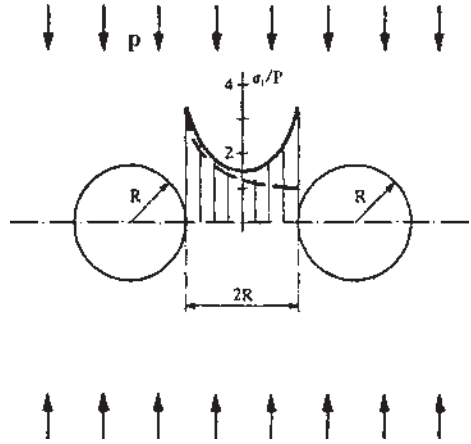



**شکل ۵ــ۲۴ــ حفره شکاف مانند و تونلهای دسترسی به آن [۱۳]**

**۵ــ۴ــ۵ــ تونلهای چندگانه:** در بعضی موارد دو یا چند تونل در مجاورت هم به‌گونه‌ای حفر می‌شوند که در منطقه تأثیر یکدیگر قرار دارند. در این‌گونه موارد،

توزیع تقریبی تنش در پایه بین تونل‌ها را می‌توان با فرض الاستیک بودن محیط، با استفاده از اصل برهم نهی[1] به‌دست آورد [۱۹]. به عنوان مثال، نحوه توزیع تنشهای مماسی در پایه بین دو تونل دایره‌ای که در میدان تنش یک بعدی قرار دارند، در شکل ۵ــ۲۵ نشان داده شده است.

برای رسم منحنی توزیع تنش در این حالت، ابتدا منحنی توزیع تنش در مورد هر



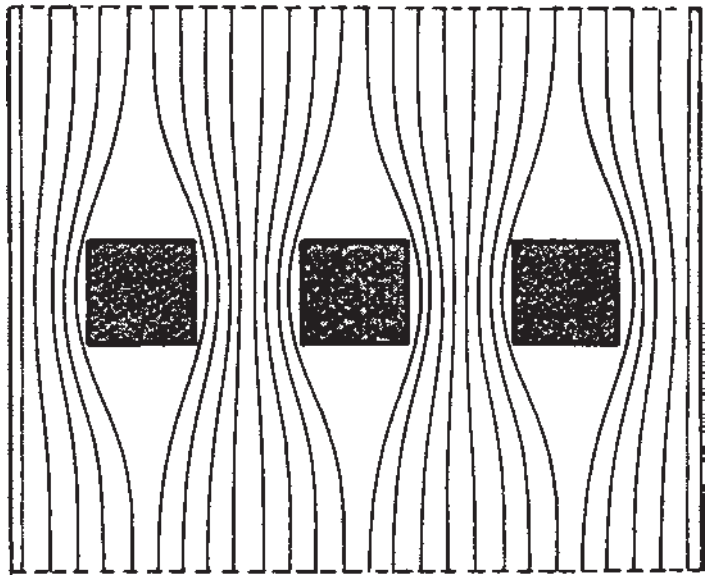

شکل ۵ــ۲۵ــ توزیع تنش مماسی در پایه بین دو تونل دایره ای [۱۹]

یک از تونلها با فرض مجزا بودن رسم شده و از برآیند آنها، منحنی کلی به‌دست آمده است. بدیهی است با این روش، فقط وضعیت تقریبی توزیع تنش در پایه‌ها به‌دست می‌آید. البته همانگونه که قبلاً هم گفتیم، اگر فاصله بین دو تونل از ۵ برابر شعاع آنها بیشتر باشد، هر یک را می‌توان به‌عنوان یک تونل جداگانه درنظر گرفت و منحنی توزیع تنش هرکدام را رسم کرد.

وضعیت توزیع تنش در پایه‌ها را می‌توان با وضعیت خطوط جریان آرام آب از دهانه‌های یک پل چند دهانه مقایسه کرد (شکل ۵ــ۲۶). در حالت اخیر برای این که آب از دهانه‌ها عبور کند، خطوط جریان به هم نزدیک می‌شوند و سرعت جریان آب افزایش می‌یابد که این افزایش سرعت به نسبت عرض جریان به مجموع فواصل بین پایه‌ها بستگی دارد [۱۰].

---

۱ــ Principle of superposition



**شکل ۵ــ۲۶ــ وضعیت خطوط جریان آب به هنگام عبور از دهانه پلها [۱۰]**

به طور کلی می‌توان گفت که توزیع تنش در پایه‌های بین تونلهای مجاور به دو عامل عمده زیر وابسته است [۱۰] :

الف ــ تنش متوسط مؤثر بر پایه که به نسبت سطح کل حفاری شده به سطح کل باقی مانده بستگی دارد.

ب ــ تمرکز تنش که تابعی از شکل و فاصله پایه‌ها است.

## ۵ــ۵ــ تنش در کارگاه استخراج

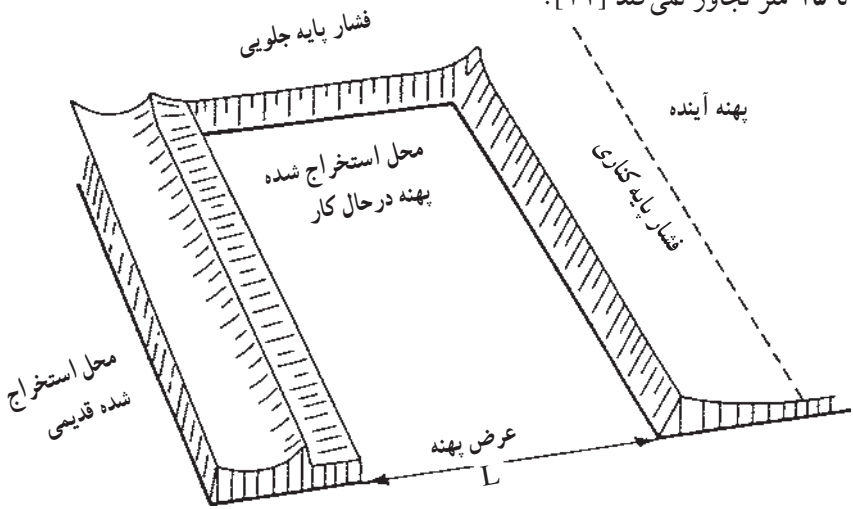
برای بررسی وضعیت تنش در کارگاه استخراج، کارگاه موسوم به جبهه کار بلند[۱] را که ازجمله متداولترین کارگاههای استخراج، به ویژه در مورد زغال سنگ است، در نظر می‌گیریم. برای احداث چنین کارگاهی پس از محدود کردن بخشی از ماده معدنی به وسیله دو تونل دنباله رو در بالا و پایین و آماده شدن قطعه یا پهنه برای استخراج، ابتدا یک دویل یا بالارو در داخل ماده معدنی حفر و عملیات استخراج را از طریق آن شروع می‌کنند. بدین ترتیب، در آغاز کار، نحوه توزیع تنش در کارگاه استخراج نیز مشابه تنش در تونلها است. به‌تدریج که جبهه کارگاه به جلو می‌رود و دهانه حفره زیاد

۱ــ Long wall

می‌شود، وضعیت تنشهای مؤثر بر قسمتهای مختلف به شرحی که در زیر خواهد آمد، تغییر می‌کند. باید توجه داشت که تنش در کارگاههای استخراج در حال کار، به ندرت استاتیک است بلکه وضعیت آن با تغییر شرایط معدنکاری، مثلاً آتشباری، ممکن است تغییر کند. تغییر عمق حفریات و نیز تغییر ضخامت روباره هم در این مورد تأثیر می‌گذارد.

براساس اندازه‌گیری‌هایی که انجام شده، در اعماق ۳۰۰ تا ۴۰۰ متری در یک کارگاه استخراج جبهه کار بلند، جبهه کار استخراجی را می‌توان با استفاده از سیستم‌های نگهداری به قدرت ۲۰ تا ۵۰ تن برمترمربع نگهداری کرد که این عدد در مقایسه با وزن روباره مؤثر در این عمق ناچیز است و از یک تا دو درصد آن تجاوز نمی‌کند [۲۱].

علت این امر آن است که وزن طبقات روباره به جلو و پشت کارگاه استخراج و نیز طرفین آن یعنی لنگه‌های بالا و پایین کارگاه منتقل می‌شود. البته بخشی از بار که به‌جلو کارگاه استخراج منتقل می‌شود بسیار زیاد است و به همین جهت، یک بخش پرفشار در این قسمت به‌وجود می‌آید (شکل ۵ــ۲۷). این امر، همانند یک پل در منطقه استخراج شده عمل می‌کند، به‌گونه‌ای که یک پایه پل را ماده معدنی استخراج نشده جلو کارگاه و پایه دیگر آن را مواد پرکننده در قسمت استخراج شده تشکیل می‌دهند. بدین‌ترتیب، هر دو پایه این پل به نوعی تحت فشار قرار دارند و لذا سیستم نگهداری کارگاه استخراج، تنها باید بخش اندکی از روباره را تحمل کند که ضخامت آنها از ۱۰ تا ۱۵ متر تجاوز نمی‌کند [۲۱].

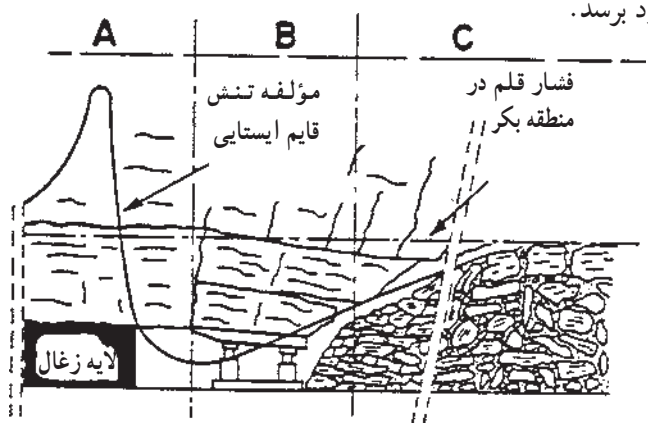



شکل ۵ــ۲۷ــ توزیع تنش در یک کارگاه استخراج جبهه کار بلند [۲۱]

برای تشریح بهتر این مطلب، شکل ۵ــ۲۷ را در نظر می‌گیریم. به‌طوری که دیده می‌شود، توزیع دوباره تنشها در کارگاه استخراج سبب بروز تمرکزهای تنش شدید در نقاط متعددی در اطراف جبهه کار می‌شود.

به طوری که در شکل ۵ــ۲۹ پیداست، در این موارد، سه نوع فشار پایه‌ای می‌توان تشخیص داد که به نام فشار پایه‌ای جلو، فشار پایه‌ای پهلو و فشار پایه‌ای عقب نامیده می‌شود. میزان فشار پایه‌ای جلو، در فاصله ۱ تا ۳ متری جلو جبهه کار تا حد ۵ برابر فشار اولیه می‌رسد. این فشار اوج، خود مسئله مهمی‌در امر نگهداری راهروهای بالا و پایین کارگاه استخراج، محسوب می‌شود.

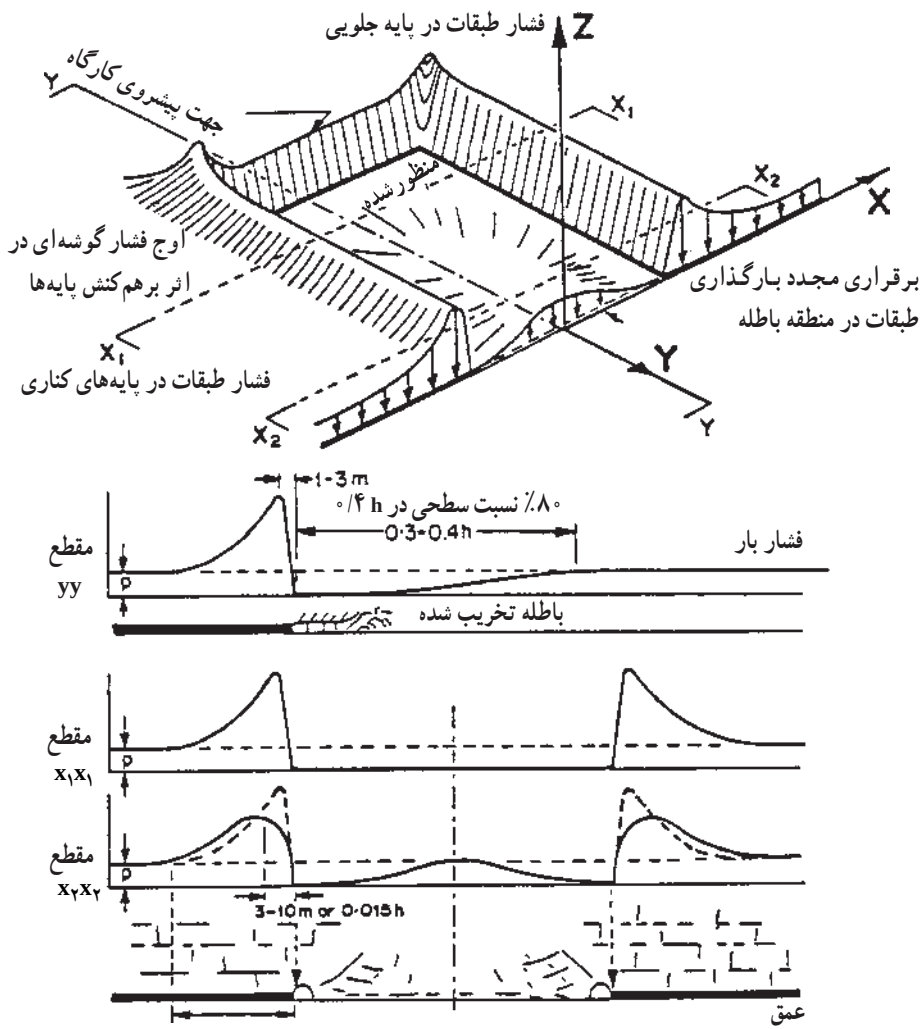
در گذشته، بعضی از محققین براین باور بودند که فشار پایه‌ای عقب، به مراتب بیشتر از فشار روباره اولیه (قبل از احداث کارگاه ) است. البته این عقیده امروزه طرفداری ندارد. در شکل ۵ــ۲۸، وضعیت فشار مؤثر بر پایه‌ها براساس باور امروزی نشان داده شده است. مطابق شکل، در منطقه A که به فاصله تقریباً ۳۰ متری جبهه کار قرار دارد، مؤلفه قائم تنشها ابتدا به آهستگی و با آهنگی کند، نسبت به فشار روباره اولیه افزایش می‌یابد و سپس اوج می‌گیرد تا به حد ماکزیمم خود برسد. منطقه B، یک منطقه کاهش تنش است و این در حالی است که بار مؤثر بر سقف این قسمت به مراتب کمتر از بار اولیه ناشی از روباره است. پس از اینکه بار در حدفاصله مناطق A و B به‌حداقل خود رسید، مطابق شکل، مجدداً به آهستگی افزایش می‌یابد. در منطقه C، این افزایش بار ادامه دارد تا در فاصله چند صدمتری از جبهه کار، مجدداً به مقدار اولیه خود برسد.




شکل ۵ــ۲۸ــ توزیع فشار در قسمتهای مختلف کارگاه استخراج [۲۱]

باید توجه داشت که موقعیت نقطه اوج فشار در پایه جلوی کارگاه استخراج، از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر می‌کند و تابع ویژگیهای طبقات روباره است. به‌عنوان مثال، در معادن زغال انگلستان، نقطه اوج فشار در پایه جلویی نزدیک به جبهه کار و در فاصله ۱ تا ۳ متری آن است، حال آنکه در معادن زغال ناحیه روهر آلمان، این فاصله به‌حدود ۱۰ متر می‌رسد و در معادن زغال ایالت ویرجینیای غربی آمریکا حدود ۵ تا ۹ متر است [۲۱].

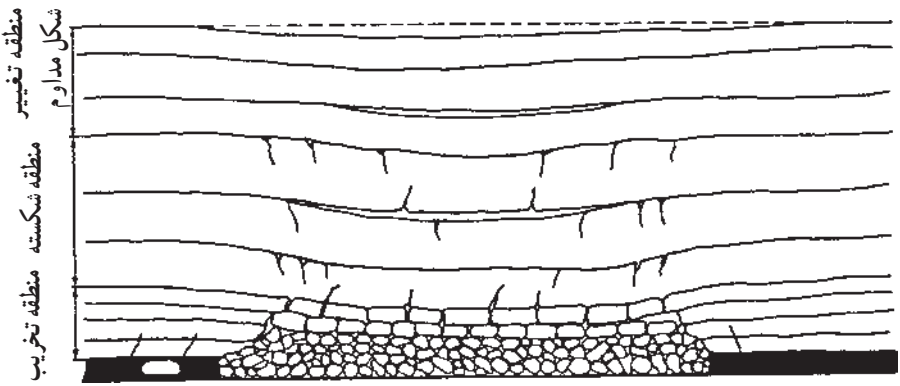
در شکل ۵ــ۲۹، وضعیت تنش در کارگاههای استخراج جبهه کار بلند آمریکا




شکل ۵ــ۲۹ــ توزیع تنش در پایه‌های اطراف یک پهنه زغالی ایالات متحده آمریکا [۲۱]

نشان داده شده است و به‌طوری که دیده می‌شود، این وضعیت با توزیع تنش معادن انگلستان و آلمان تفاوت دارد. یکی از دلایل اصلی این تفاوت، تفاوت حفریات آماده‌سازی در اطراف پهنه‌های زغالی در این کشورها است.

**۵ــ۵ــ۱ــ مناطق مختلف روباره:** در شکل ۵ــ۳۰، سه منطقه اغتشاش در طبقات روباره، در اثر احداث کارگاه استخراج جبهه کار بلند، نشان داده شده است. مطابق شکل، سه منطقه زیر را می‌توان تشخیص داد [۲۱] :




**شکل ۵ــ۳۰ــ مناطق اغتشاش در طبقات روباره در اثر احداث کارگاه استخراج [۲۱]**

***الف ــ منطقه تخریب شده***[۱]: این منطقه، درواقع همان سقف بلافصل[۲] است که ریزش کرده و ضخامت آن ۲ تا ۸ برابر ارتفاع کارگاه استخراج (و یا ضخامت لایه ماده معدنی ) است. در این منطقه، قطعات سنگ از سقف کارگاه ریزش می‌کند و از آنجا که حجم ظاهری سنگهای تخریب شده به مراتب بیش از حجم آنها به حالت برجا است لذا به زودی فضای خالی شده ناشی از استخراج را پر می‌کنند (به طوری که خواهیم دید، تخریب یکی از روشهای نگهداری قسمتهای استخراج شده کارگاه استخراج است ). درواقع تخریب و ریزش سنگها تا حدی ادامه می‌یابد که این فضای خالی پر شود.

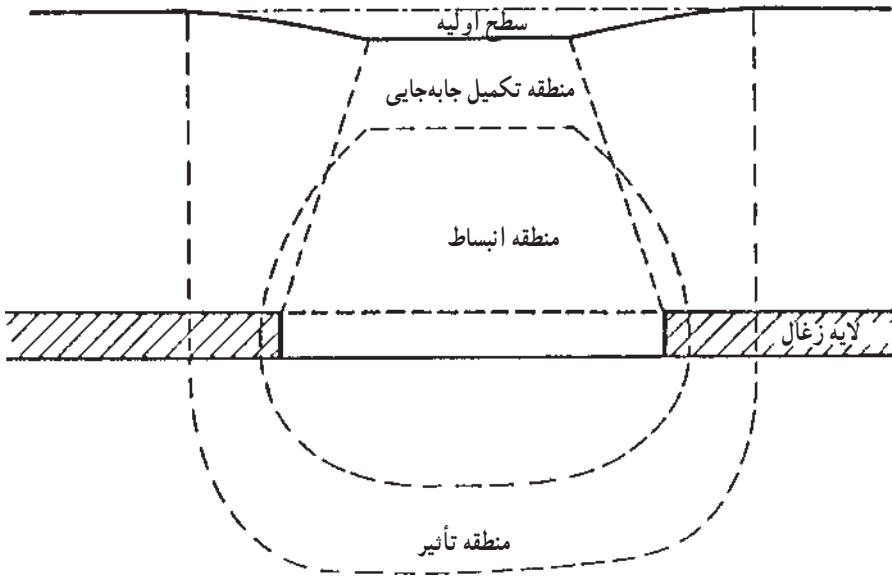
***ب ــ منطقه شکسته***[۳]: این منطقه در بالای منطقه تخریب شده قرار دارد. در این منطقه، سنگها در اثر ترکهای تقریباً قائم و افقی، به قطعات بزرگ تقسیم می‌شوند. به علت تماس سنگها در امتداد این شکستگی‌های قائم، بر قطعات سنگ نیروهای افقی

۱ــ Caved zone ۲ــ Immediate roof ۳ــ Fractured zone

اثر می‌کند و مانع حرکت آزادانه آنها می‌شود. ضخامت این منطقه ۲۸ تا ۴۲ برابر ارتفاع کارگاه است و بنابراین مجموع ضخامت دو منطقه تخریب شده و شکسته، بین ۳۰ تا ۵۰ برابر ارتفاع کارگاه تغییر می‌کند [۲۱].

***ج ــ منطقه تغییرشکل پیوسته***[1]: این منطقه در حدفاصل منطقه شکسته و سطح زمین قرار دارد. در این منطقه، طبقات بدون آنکه شکستگی مهمی‌در آنها رخ دهد، تغییرشکل می‌دهند و بنابراین رفتار سنگها در این منطقه همچون محیطهای پیوسته است.

**۵ــ۵ــ۲ــ حرکت سنگها در اطراف کارگاه استخراج:** مطابق شکل ۵ــ۳۱، سنگهای اطراف کارگاه استخراج را از نظر نوع حرکات به سه منطقه زیر تقسیم می‌کنند :




**شکل ۵ــ۳۱ــ مناطق مختلف حرکت سنگها در اطراف کارگاه استخراج [۲۱]**

***الف ــ منطقه انبساط***[2]: در این منطقه، در اثر شکستگی سنگها، حجم آنها حدود ۱٪ افزایش می‌یابد. سنگهای این منطقه دچار تغییر شکل دایمی و برگشت‌ناپذیر می‌شوند. ارتفاع این منطقه نسبت به کارگاه استخراج، حدود ۵۰ برابر ارتفاع کارگاه

۱ــ Continuous deformation zone ۲ــ dilution zone

استخراج است. همچنین حد پایین آن نسبت به کارگاه ۳ تا ۹ متر زیر کمر پایین لایه، برآورد شده است [۲۱].

**ب ــ *منطقه جابه جایی کامل*[1]:** این منطقه در بالای منطقه انبساط واقع است و سنگهای آن حتی در مواردی که استخراج پهنه مجاور آنها تمام شده باشد، دیگر جابه‌جایی ندارند. از نظر نگهداری، نکته مهم آن است که وزن سنگهای این منطقه در قسمت استخراج شده، باید به‌وسیله سیستم نگهداری، تحمل شود.

**ج ــ *منطقه تأثیر*:** سنگهای این منطقه در حالت تغییر شکل الاستیک قرار دارند.

**۵ــ۵ــ۳ــ سقف بلافصل:** طبقاتی را که در بالای ماده معدنی قرار دارند (کمر بالا)، به نام سقف بلافصل می‌نامند. وزن سقف بلافصل، باید به‌وسیله سیستم نگهداری جلو کارگاه استخراج، تحمل شود. از نظر مقاومت سقف بلافصل را به سه گروه تقسیم می‌کنند [۲۱] :

***الف ــ سقف بلافصل ناپایدار*:** این سقفها شامل سنگهایی همچون سنگهای کربناتی نرم یا ضعیف، شیل سیاه و شیل ماسه‌ای درزه‌دار هستند. اگر چنین سقفی پس‌از حفر ماده معدنی نگهداری نشود، در زمان کوتاهی (کمتر از ۱۰ دقیقه ) ریزش خواهد کرد. در منطقه استخراج شده نیز چنین سقفی بلافاصله پس از کشیدن پایه‌ها، ریزش می‌کند و قطعات سنگهای ریزش کرده کوچک است.

***ب ــ سقف بلافصل نیمه پایدار*:** سنگهایی از قبیل شیل سخت، شیل ماسه‌ای و ماسه سنگ ضعیف، در این رده جای می‌گیرند. در این سنگها درزه‌ها و شکستگی‌های مهمی وجود ندارد. در شرایط عادی، این سقف‌ها تا مدت معینی بدون سیستم نگهداری پایدار می‌مانند. در قسمت استخراج شده، در زمان کوتاهی پس از بیرون کشیدن پایه‌ها، این سقفها ریزش می‌کنند و ابعاد قطعات ریزش کرده نسبتاً بزرگ است.

***ج ــ سقف بلافصل پایدار*:** شیل‌های ماسه‌ای و ماسه سنگهای ضخیم، جزو این رده از سقفها به‌شمار می‌آیند. این سقف به مدت ۵ تا ۸ ساعت پس از حفر ماده معدنی، همچنان پایدار می‌ماند. در قسمت استخراج شده نیز این نوع سقف مدتها پایدار می‌ماند.

در تقسیم‌بندی دیگر، سقفهای بلافصل را براساس وسعتی از سقف که بدون

---

۱ــ Complete displacement zone

نصب سیستم نگهداری پایدار می‌ماند، به ۵ رده مطابق جدول ۵ــ۳ تقسیم می‌کنند.

**جدول ۵ــ۳ــ تقسیم‌بندی سقف بلافصل براساس سطح پایدار**

| ردیف | رده سقف | سطحی از سقف که بدون سیستم نگهداری پایدار می‌ماند (مترمربع) |
|---|---|---|
| ۱ | خیلی ضعیف | ۱ |
| ۲ | کمی پایدار | ۱ تا ۲ |
| ۳ | پایدار متوسط | ۲ تا ۵ |
| ۴ | پایدار | ۵ تا ۸ |
| ۵ | خیلی محکم | بیش از ۸ |

سقف‌ها را از نظر شاخص کیفیت سنگ (RMR) و زمان پابرجایی نیز رده بندی می‌کنندکه نمونه‌ای از آنها را قبلاً در فصل چهارم دیدیم.

# فصل ششم

# مصالح لازم برای نگهداری حفریات معدنی

## ۶ــ۱ــ آشنایی

مصالحی که برای نگهداری حفریات معدنی مختلف به‌کار می‌رود، در ساختمانهای سطحی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما از آنجا که حفریات زیر زمینی شرایط ویژه‌ای دارند، از این مصالح بایستی به روش‌های مخصوصی استفاده کرد. مثلاً فشار وارده به این وسایل در طول زمان تغییر می‌کند و از طرف دیگر آبهای زیرزمینی و هوای معدن نیز بر آنها بی‌تأثیر نیستند. بدین‌ترتیب، به هنگام طراحی وسایل نگهداری در زیرزمین، بایستی ضرایب اطمینان زیادتری برای آنها درنظر گرفت.

در این فصل به شرح مصالح نگهداری از قبیل سنگهای طبیعی، آجر، آهک، گچ، چوب و فولاد می‌پردازیم. نحوه کاربرد و وسایل نگهداری در تونل‌ها، کارگاه استخراج و چاه را طی فصول جداگانه‌ای بررسی خواهیم کرد.

## ۶ــ۲ــ سنگهای طبیعی

سنگهای طبیعی از جمله مصالحی هستند که برای نگهداری قسمت‌های مختلف معدن به‌ویژه تونلها به‌کار می‌روند.

**۶ــ۲ــ۱ــ انواع سنگهای طبیعی:** به طورکلی سنگهای طبیعی را به سه دسته سنگهای آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌کنند.

***الف ــ سنگهای آذرین***[1]: این سنگها در اثر سردشدن ماگما تشکیل می‌شوند.

***ب ــ سنگهای رسوبی***[2]: سنگهای رسوبی در نتیجه رسوب موادی که از فرسایش قسمتهای مختلف زمین حاصل شده است، حاصل می‌شوند.

***ج ــ سنگهای دگرگونی***[3]: این سنگها در اثر دگرگونی سنگهای آذرین یا رسوبی به وجود می‌آیند. بدین معنی که اگر سنگهای رسوبی یا آذرین، تحت‌تأثیر یک یا چند عامل از سه عامل فشار، دما و مواد مذابی که در زیر زمین وجود دارد، قرارگیرند، به سنگهای دگرگونی تبدیل می‌شوند.

---

۱ــ Igneous rocks ۲ــ Sedimentary rocks ۳ــ Metamorphic rocks

**۶ــ۲ــ۲ــ نحوه استخراج سنگها:** برای استخراج سنگها در طبیعت، روش‌های مختلفی وجود دارد که انتخاب آن در هر مورد به ویژگیهای سنگ مثل سختی و مقاومت و نیز شکل و ابعاد لازم برای کاربرد قطعات سنگ بستگی دارد.

در مواردی که توده سنگ نزدیک سطح زمین باشد، می‌توان آن را به صورت روباز استخراج کرد ولی در مواردی که سنگ در اعماق نسبتاً زیاد واقع باشد بایستی به‌وسیله حفر تونل آنها را به‌شکل معادن زیرزمینی استخراج کرد. در مواردی که سنگ به صورت قطعات خردشده موردنیاز است، استخراج را می‌توان به کمک چکش مکانیکی و یا مواد منفجره انجام داد.

اگر در عمل قطعات بزرگ سنگ موردنیاز باشد (مثل سنگهای نما) می‌توان از دستگاه‌های مخصوص برش سنگ استفاده کرد. قسمت اصلی این دستگاه‌ها، یک صفحه یا کابل برنده افقی یا قائم است که روی ماشین نصب می‌شود و ماشین می‌تواند روی ریل یا چرخ به اطراف حرکت کند. نحوه استخراج این سنگها را در درس تکنولوژی استخراج معدن ۲ بررسی خواهیم کرد.

باید توجه داشت که ممکن است در قسمت‌های مختلف یک معدن، مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ در حد زیادی تغییر کند. در چنین مواردی بایستی از هر قسمت معدن نمونه‌هایی تهیه کرد و مورد آزمایش قرار داد تا بتوان سنگ مناسب را انتخاب کرد.

**۶ــ۲ــ۳ــ تقسیم بندی سنگها براساس خواص فیزیکی و مکانیکی:** براساس وزن مخصوص ظاهری، سنگها را به دسته‌های زیر تقسیم می‌کنند :

الف ــ سنگهای سبک با وزن مخصوص مساوی یا کمتر از ۱/۸ گرم بر سانتیمترمکعب که از این سنگها در دیوارسازی استفاده می‌شود.

ب ــ سنگهای سنگین با وزن مخصوص بیش از ۱/۸ گرم بر سانتیمترمکعب که معمولاً از آنها در پی‌سازی و ساختمانهای سنگین استفاده می‌شود.

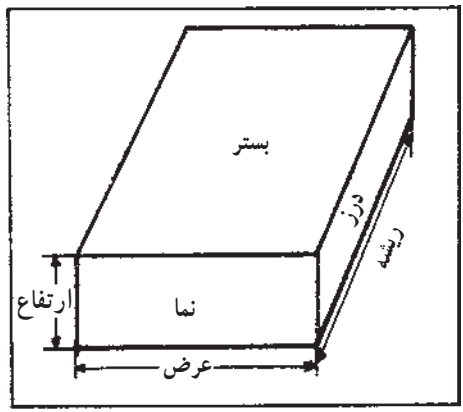
براساس مقاومت فشاری، سنگها را به انواع زیر تقسیم می‌کنند :

الف ــ سنگهای با مقاومت کم که حد گسیختگی آنها کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع است.

ب ــ سنگهای با مقاومت زیاد که مقاومتشان بیش از ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع است.

**۶ــ۲ــ۴ــ نحوه استفاده از سنگها:** به طور کلی سنگها را به دو منظور به‌کار می‌برند : یکی به‌عنوان مصالح و دیگری به‌عنوان سنگ نما، ولی در حفریات معدنی از آنها تنها به‌عنوان مصالح استفاده می‌شود. این دسته سنگها به شکلهای گوناگون در قسمت‌های مختلف معدن به‌کار می‌روند و کاربرد آنها معمولاً با استفاده از ملاتهای مختلف است. گاهی نیز، به‌صورت خشکه چین استعمال

می‌شوند. سطوح و یالهای مختلف سنگ، نامهای متفاوتی دارند که در شکل ۶ــ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۶ــ۱ــ قسمت‌های مختلف سنگ [۲۶]**

از نظر شکل سنگها را به انواع زیر تقسیم می‌کنند [۲۶] :

***الف ــ لاشه سنگ***[1]**:** قطعات بزرگ سنگ را که مستقیماً از معدن استخراج شده‌اند (به وزن ۲۰ تا ۴۰ کیلوگرم ) به این نام می‌خوانند. جنس این سنگها ممکن است آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و ندرتاً گرانیت یا سنگهای آذرین دیگر باشد. این دسته سنگها، که معمولاً در پی‌سازی‌ها و جاهایی که در معرض دید نیست به کار می‌روند، بایستی عاری از مواد رسی باشند.

***ب ــ سنگ‌های رگه‌ای***[2]**:** ابعاد سنگهای رگه‌ای، از هر نوع که باشند به‌نحوی است که یک نفر کارگر می‌تواند به‌تنهایی آن را بلند کند و در محل کار قرار دهد. وزن چنین سنگهایی ۵ تا ۲۵ کیلوگرم است. ریشه و ارتفاع این سنگها به‌ترتیب نباید از ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر کمتر باشد. اصولاً سطح تماس سنگها، حتی‌المقدور بایستی صاف باشد زیرا در غیر اینصورت، پستی و بلندی موجود در سطح اتصال، خرد و سطح تماس آن صاف می‌شود و بدین‌ترتیب سازه نشست خواهد کرد.

بسته به نوع تراش، سنگهای رگه‌ای خود به انواع زیر تقسیم می‌شوند :

**اول ــ سنگ رگه‌ای معمولی :** این سنگها، به وسیله تیشه صاف می‌شوند و خود بنّا به هنگام کار آن را صاف می‌کند. مورد استعمال آنها در پی سازی است و فشار وارد بر آنها نبایستی از ۸ کیلوگرم بر سانتیمترمربع تجاوز کند.

**دوم ــ سنگ‌های رگه‌ای کلنگی :** در این نوع سنگها، دیواره‌های قائم سنگ، تراش داده

---

۱ــ Quarry stone ۲ــ Mallon

می‌شود و می‌توان فشاری برابر ۱۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع به آنها وارد کرد.

**سوم ــ سنگ‌های رگه‌ای تیشه‌ای:** این سنگ‌ها در مواردی که فشار وارده زیاد است به‌کار می‌روند. ریشه این نوع سنگ معمولاً حدود ۳۵ سانتیمتر است و حداقل ۲۰ سانتیمتر از طول ریشه آن بایستی تراش داده شود. این دسته سنگها می‌توانند تا فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع را تحمل کنند.

**چهارم ــ سنگ رگه‌ای خُرده چین :** تقریباً تمام سطوح این سنگ‌ها کمابیش دارای تراش است و طبعاً سطوح مربی آن تراش بیشتری دارد. به این سنگ‌ها می‌توان فشاری در حد ۴۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع وارد کرد.

***ج ــ سنگهای تمام تراش:*** این سنگها را به طور کامل تراش می‌دهند و ابعاد آنها برحسب نقشه دقیقاً مشخص است و نباید هیچگونه زدگی یا کسری ابعاد داشته باشد. مقاومت فشاری این سنگها به ۵۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع می‌رسد.

## ۶ــ۳ــ آجر

آجر یکی از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی است و از زمانهای قدیم در ایران مصرف می‌شده است. در بسیاری از بناهای تاریخی مثل طاق کسری، مسجد جامع اصفهان و گنبدکاووس، آجر به‌کار رفته است. با وجودی که این آجرها با وسایل ابتدایی تهیه می‌شده ولی دوام خوبی را دارا است، به‌طوری که بعد از سالیان دراز همچنان سالم باقی مانده است.

**۶ــ۳ــ۱ــ مشخصات آجر:** مهمترین مشخصات آجر عبارتند از :

***الف ــ ابعاد:*** در قدیم در ایران آجرها به ابعاد ۲۰×۲۰ و به ضخامت ۳ تا ۴ سانتیمتر ساخته می‌شد و آجرهای بزرگتر از این به‌ترتیب به‌نام ختایی و نظامی معروف بود.

از آنجا که به هنگام کار، آجر به صورت کله و راسته چیده می‌شود لذا همیشه بایستی بین طول (L) و عرض (l) آن رابطه زیر برقرار باشد :

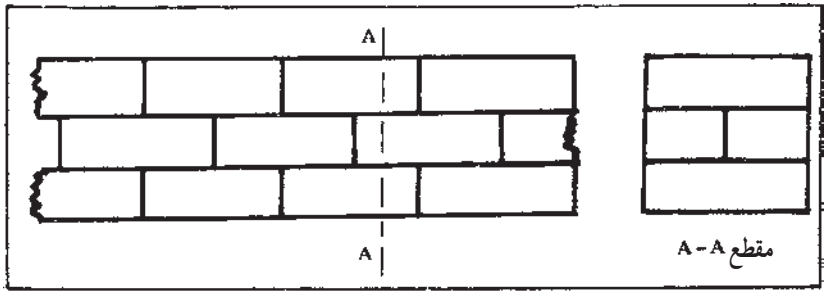
$$L = 2l + 1 \text{ سانتیمتر} \qquad (۱ــ۶)$$

آجرهای بنایی دارای طول ۲۲، عرض ۱۰/۵ و ضخامت ۵ تا ۶ سانتیمتر است.

***ب ــ خواص فیزیکی و مکانیکی:*** قدرت جذب آب آجر بایستی از ۸٪ کمتر و از ۱۸٪ بیشتر نباشد. وزن مخصوص آجر معمولاً بین ۱/۷ تا ۱/۹ گرم بر سانتیمترمکعب تغییر می‌کند و مقاومت فشاری آن بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع متغیر است.

**۶ــ۳ــ۲ــ نحوه استعمال آجر:** آجر را عموماً به‌صورت کله و راسته مطابق شکل ۶ــ۲

می‌چینند. در صورتی که جنس آجر خوب باشد، مقاومت فشاری دیوار آجری با ملات آهکی ۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع و با ملات سیمانی تا ۸/۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در محاسبات در نظر گرفته می‌شود.




**شکل ۶ــ۲ــ نحوه چیدن آجر**

برای محاسبه تعداد آجر در یک مترمکعب بنا، $\frac{۲}{۳}$ آن را آجر و $\frac{۱}{۳}$ بقیه را ملات درنظر می‌گیرند و معادل $\frac{۱}{۳}$ ملات موردنظر نیز، سیمان در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۶ــ۱ تعداد آجر موردنیاز برای یک مترمکعب بنا در مورد آجرهای با ابعاد مختلف درج شده است.

**جدول ۶ــ۱ــ تعداد آجر موردنیاز برای یک مترمکعب بنا [۲۶]**

| ابعاد آجر به میلیمتر | | | تعداد مورد نیاز برای یک مترمکعب |
|---|---|---|---|
| طول | عرض | ضخامت | |
| ۲۲۰ | ۱۰۵ | ۵۵ | ۵۸۵ عدد |
| ۲۲۰ | ۱۰۵ | ۶۰ | ۵۵۰ عدد |
| ۲۲۰ | ۱۰۵ | ۶۵ | ۵۲۰ عدد |
| ۲۲۰ | ۱۱۰ | ۵۵ | ۵۸۰ عدد |
| ۲۲۰ | ۱۱۰ | ۱۱۰ | ۳۱۵ عدد |
| ۳۰۰ | ۱۵۰ | ۸۰ | ۲۳۵ عدد |
| ۴۴۰ | ۲۲۰ | ۵۰ | ۱۶۵ عدد |

**۶ــ۳ــ۳ــ عیوب آجر:** مهمترین عیب‌های آجر عبارتند از [۲۷] :

***الف ــ آلوئک:*** اگر در خاک رس اولیه قطعات درشت سنگ آهک موجود باشد، پس از

پخته شدن، آهک به صورت اکسید کلسیم درمی‌آید و هنگامی‌که آجر در معرض رطوبت قرار گیرد، اکسید کلسیم آب جذب می‌کند و حجمش زیاد می‌شود که ممکن است باعث ترکانیدن آجر شود. این عمل به‌نام آلویک آجر نامیده می‌شود.

برای رفع این عیب، اولاً خاک رس باید فاقد قطعات سنگ آهک باشد و ثانیاً قبل از مصرف آجر، می‌توان آن را توسط آب خیس کرد. آجرهایی که آهک داشته باشند ترک می‌خورند و بدین‌ترتیب می‌توان آنها را از آجرهای سالم جدا کرد.

**ب ــ *سفیدک:*** آثار سفید رنگی است که در بعضی موارد پس از ریزش باران روی دیوارهای آجری نوساز، ظاهر می‌شود و دیوار را بدنما می‌کند.

## ۶ــ۴ــ آهک

آهک یکی از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی است. ایرانیان از زمانهای خیلی قدیم شفته آهکی (ملات آهک و خاک ) و نیز ساروج (ملات آهک و خاکستر) را می‌شناخته‌اند. آهک،جسمی است سفیدرنگ که از پختن سنگ آهک حاصل می‌شود. پس از پختن آهک آن را شکفته کرده و به‌صورت شفته یا ملات از آن استفاده می‌کنند. بایستی توجه داشت که اگر این نوع آهک در زیر آب قرار داده شود هیچوقت سخت نخواهد شد و حتماً بایستی آن را در قسمت‌هایی به کار برد که در مجاورت هوا قرار داشته باشد.

برای تهیه آهک بایستی سنگ آهک را در کوره‌های مخصوص حرارت داد تا آهک زنده به‌دست آید.

**۶ــ۴ــ۱ــ شکفتن آهک:** آهکی که از کوره آهک‌پزی به دست می‌آید ($CaO$) و به‌نام‌های آهک زنده یا آهک آب ندیده نیز خوانده می‌شود، میل ترکیبی زیادی با آب دارد و پس از ترکیب شدن با آب، به آهک شکفته $Ca(OH)_2$ تبدیل می‌شود که آن را به نام آهک آب دیده یا آهک کُشته نیز می‌نامند.

در این تبدیل، مقداری حرارت تولید می‌شود :

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 15/6 k.Cal \qquad (۶ــ۲)$$

در اثر شکفتن، آهک به‌صورت ذرات فوق‌العاده ریزی درمی‌آید و بدین‌ترتیب در بین انواع مواد چسباننده این خاصیت را داراست که بدون آسیاب کردن نیز قابل استفاده است.

برای شکفتن آهک، دو طریقه کلی معمول است که به نام طریقه‌های خشک و تر نامیده می‌شوند و در درس کارگاه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

**۶ــ۴ــ۲ــ سخت شدن آهک:** ملات یا شفته آهک پس از مدتی تبدیل به جسم سختی می‌شود که نتیجه سخت شدن آهک است.

ملات یک به سه گرد آهک شکفته و ماسه، پس از ۱۲ تا ۲۴ ساعت، آغاز به گرفتن می‌کند و تقریباً در مدت ۲۸ روز، کاملاً سخت می‌شود.

سخت شدن آهک بسته به جنس آن و موادی که ضمن مصرف با آن مخلوط شده است به دو حالت انجام می‌گیرد :

***الف ــ سخت شدن در نتیجه تشکیل*** $CaCO_3$ **:** این نوع سخت شدن که در مورد آهک خالص و یا ملات آهک و ماسه انجام می‌گیرد، نتیجه دو عمل همزمان زیر است :

اول ــ تبخیر مکانیکی آب که همراه $Ca(OH)_2$ است و در نتیجه، تبلور تدریجی آن.

دوم ــ تشکیل $CO_3Ca$ در نتیجه ترکیب $CO_2$ هوا با آهک در مجاورت آب.

$$Ca(OH)_2 . CO_2 . nH_2O .. \quad CaCO_3 . (n . 1)H_2O \qquad (۳ــ۶)$$

تبلور $Ca(OH)_2$ به آهستگی انجام می‌شود. در نتیجه تبخیر تدریجی آب، ذرات ریز $Ca(OH)_2$ به یکدیگر می‌چسبند و بلورهای درشت را به‌وجود می‌آورند.

باید توجه داشت که هرچند در ابتدای سخت شدن آهک، ترکیب $CO_2$ با آن سریع است و به‌سهولت انجام می‌شود اما بعد از تشکیل قشر رویی $CaCO_3$ ، وجود این قشر از نفوذ $CO_2$ به‌قسمتهای زیر جلوگیری می‌کند و تقریباً عمل کربناتاسیون متوقف می‌ماند و آنچه بعد از این مرحله انجام می‌شود، نتیجه تبلور هیدرات کلسیم است.

***ب ــ سخت شدن در نتیجه تشکیل سیلیکات کلسیم:*** سخت شدن آهک در این حالت، نظیر سخت شدن آهک‌های آبی، در نتیجه ترکیب آهک یا سیلیس موجود در خاک رس و تشکیل سیلیکات کلسیم است و در این حالت نیازی به $CO_2$ نیست.

**۶ــ۴ــ۳ــ مشخصات آهک:** مهمترین مشخصات آهک به شرح زیر است :

***الف ــ مشخصات فیزیکی:*** آهک زنده (CaO) جسم سفیدرنگی است که وزن مخصوص آن بین ۳/۰۸ تا ۳/۳ گرم بر سانتیمترمکعب تغییر می‌کند و پس از شکفتن، وزن مخصوص آن به ۲/۲ گرم بر سانتیمترمکعب می‌رسد.

***ب ــ مشخصات مکانیکی:*** به طوری که گفتیم، آهک معمولاً به صورت ملات یا شفته به‌کار می‌رود. مقاومت فشاری ملات ۱ به ۳ آهک و ماسه بعد از ۲۸ روز در حدود ۱۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع و مقاومت فشاری شفته ۱ به ۳ آهک و خاک بعد از ۱۸ روز در حدود ۳۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع است.

**۶ــ۴ــ۴ــ نگهداری و انبارکردن آهک:** در صورتی که آهک به صورت زنده (CaO) نگهداری شود، بایستی از رسیدن رطوبت به آن جلوگیری کرد و بنابراین باید آن را در محلهای مخصوصی دور از رطوبت نگهداشت. معمولاً این نوع آهک‌ها را در کیسه‌های مخصوصی که ضدرطوبت است به محل مصرف حمل می‌کنند. اگر آهک پس از شکفته شدن انبار شود، بایستی از معرض هوا دور باشد (برای جلوگیری از عمل کربناته شدن) و برای این کار، گودالی را با گل‌اندود می‌کنند و آهک را در آن می‌ریزند سپس روی آن را با یک قشر خاک رس و کاهگل می‌پوشانند و بدین ترتیب آهک را از دسترس هوا دور نگه می‌دارند.

## ۶ــ۵ــ گچ

گچ معمولی از پختن سنگ گچ طبیعی در دمای کم ( ۱۵۰ C تا ۱۶۰ C) حاصل می‌شود. محصول پخته شده را بایستی آسیاب و مصرف کرد. به‌طوری که می‌دانیم، این جسم جزو مواد چسباننده هوایی است و تنها در مجاورت هوا سخت می‌شود.

**۶ــ۵ــ۱ــ سخت شدن گچ:** اگر پودر گچ را به آهستگی با آب مخلوط کنیم، خمیر حاصل به‌سرعت سخت می‌شود و به اصطلاح می‌بندد. این نوع گچ، به نام گچ زنده معروف است. اگر ضمن مخلوط کردن پودر گچ با آب، آن را مرتباً به هم بزنیم، خمیر حاصله گچ کشته نام دارد و سخت شدن آن مدتی به طول می‌انجامد.

براساس مطالعاتی که انجام شده است، سخت شدن گچ را می‌توان به نحو زیر توجیه کرد. هنگامی‌که گچ پخته شده را با آب مخلوط کنیم، ذرات آن براساس فرمول زیر، آب جذب می‌کنند و مجدداً به ژیپس تبدیل می‌شوند :

$$CaSO_4,\frac{1}{2}H_2O\ .\ \frac{3}{2}H_2O\ ..\qquad CaSO_4,2H_2O \qquad (۴ــ۶)$$

ذرات ژیپس، متبلور شده و بدین ترتیب، مجدداً به جسم سختی تبدیل می‌شوند.

بایستی توجه داشت که خشک شدن فیزیکی گچ نباید در دمای بالاتر از ۶۵ تا ۷۰ درجه سانتیگراد انجام گیرد زیرا در غیر این صورت، گچ مجدداً مقداری از آب خود را از دست خواهد داد.

**۶ــ۵ــ۲ــ نحوه استفاده از گچ:** گچ در قسمت‌های مختلف ساختمانها کاربرد دارد. مخلوط خاک و گچ، در اندود روی دیوار و ساختن طاقهای ضربی به‌کار می‌رود. گچ را بایستی در محل‌هایی که دور از دسترس برف و باران و رطوبت باشد انبار کرد. باید توجه داشت که حتی در

مواردی که شرایط نگهداری گچ مناسب باشد پس از مدتی، خاصیت گرفتن آن کاهش می‌یابد.

## ۶ــ۶ــ سیمان

سیمان به‌طور عام به کلیه موادی گفته می‌شود که خاصیت چسبندگی داشته باشند.

به‌طور خاص تحت عنوان سیمان، منظور جسمی‌است که مواد تشکیل دهنده آن آهک و خاک رس است. سیمان در امور ساختمانی برای چسباندن و پیوستن سنگها، شن، ماسه، آجر، بلوکها و غیره به‌کار می‌رود.

سیمان را به دو روش خشک و تر تهیه می‌کنند. در روش خشک مواد اولیه به حالت خشک و در روش تر به‌وسیله آب با هم مخلوط می‌شوند. مواد اولیه آماده شده را در کوره‌های ویژه‌ای حرارت می‌دهند تا دانه‌های گردی موسوم به کلینکر حاصل شود. این دانه‌ها را آسیاب کرده و در پاکت‌های کاغذی به بازار عرضه می‌کنند.

همانند دیگر مصالحی که تاکنون بررسی کردیم، هدف ما از بررسی مصالح چگونگی استفاده از آنها در کارهای ساختمانی مختلف معدن است بنابراین در مورد روش تهیه آن به‌همین حد اکتفا می‌کنیم و در زیر به شرح مشخصاتی از آن که برای ما مهم است، می‌پردازیم.

**۶ــ۶ــ۱ــ سخت شدن سیمان و عوامل مؤثر در آن:** هرگاه مقداری سیمان را با آب مخلوط کنیم، پس از مدتی به جسم سختی تبدیل می‌شود. سیمان علاوه بر اینکه در برابر هوا سخت می‌شود، در مجاورت آب نیز به‌خوبی محکم می‌شود.

برای اینکه عمل سخت شدن سیمان سریع یا کند شود، موادی به آن اضافه می‌کنند که در زیر آنها را شرح می‌دهیم :

***الف ــ شتاب دهنده‌ها:*** به‌عنوان شتاب‌دهنده‌های سخت شدن سیمان، از کلرید سدیم و کلریدکلسیم استفاده می‌کنند. این دو جسم، موجب سریع‌تر شدن فعل و انفعالات سیمان و آب می‌شود و زمان گرفتن سیمان را کوتاه می‌کند. از سوی دیگر، مقاومت اولیه سیمان در نتیجه بندش سریعتر، بالا می‌رود. مقدار کلریدکلسیم و کلریدسدیم نبایستی بیش از شش درصد وزن سیمان باشد، در غیراین صورت، این دو ماده، نه‌تنها به‌عنوان شتاب‌دهنده اثر نخواهند کرد بلکه موجب کندی عمل گرفتن سیمان نیز می‌شوند.

***ب ــ کندکننده‌ها:*** این مواد عمل سخت شدن را به تعویق می‌اندازند و مقاومت اولیه سیمان را پایین می‌آورند. معروفترین مواد کندکننده عبارت از شکر، کربوهیدراتها، نمکهای محلول روی، لینوسولفونات کلسیم و کربوکسی متیل ــ هیدروکسی اتیل سلولز است.

مقدار کربوکسی متیل ــ هیدروکسی اتیل سلولز نبایستی از نیم درصد تجاوز کند چون درغیر این صورت، به مقداری آب اضافی احتیاج خواهد بود.

**۶ــ۶ــ۲ــ انواع سیمان و مصارف آنها:** سیمان‌های معمولی که برای تهیه آنها مواد اضافی به‌کار نمی‌رود و هر چهار نوع کلینکر در ترکیب آنها موجود است، پس از مخلوط شدن با آب و سخت شدن به رنگی شبیه رنگ سنگهای جزیره پرتلند درمی‌آیند. به همین جهت این سیمان‌ها را سیمان پرتلند می‌گویند.

مطابق استاندارد ASTM-C-150 پنج نوع سیمان پرتلند وجود دارد که به اختصار آنها را بررسی می‌کنیم :

***الف ــ سیمان پرتلند نوع I:*** سیمان نوع I در مواردی به کار می‌رود که شرایط خاص ساختمانی مثل مقاومت در مقابل آبهای سولفات دار، کارهای ساختمانی در دریا و نظایر آنها وجود نداشته باشد. موارد استعمال عمده سیمان پرتلند I عبارت از ساختمانهای بتنی، پل‌سازی، کانال‌کشی، مخازن آب، آجر و بلوک‌های بتنی است.

***ب ــ سیمان پرتلند نوع II:*** این سیمان کندتر از سیمان نوع I سخت می‌شود. به همین‌جهت، در قسمت‌هایی به کار می‌رود که مستقیماً در مقابل نور خورشید قرار می‌گیرند. سیمان پرتلند II در مقابل آبهای سولفات دار، مقاومت بیشتری دارد.

***ج ــ سیمان پرتلند نوع III:*** طرز تهیه پرتلند III با پرتلند I تفاوت زیادی ندارند. فقط در مورد پرتلند III مواد اولیه با دقت بیشتری تهیه می‌شود. به علاوه کلینکر این سیمان را معمولاً دوباره از کوره می‌گذرانند تا آهک موجود در مواد خام کاملاً با سایر مواد ترکیب شود و به‌صورت آزاد وجود نداشته باشد. همچنین ذرات آن را ریزتر می‌کنند.

به این ترتیب، سیمان نوع III با توجه به اینکه سریعتر سخت می‌شود و خود را می‌گیرد، باید جاهایی مصرف شود، که گیرش سریع سیمان و مقاومت اولیه زیادتر موردنظر است (مثل مواردی که قالب می‌بایست زودتر برداشته شود و یا در هوای سرد).

گیرش این سیمان را می‌توان با افزودن مواد شتاب‌دهنده سریع‌تر کرد.

***د ــ سیمان پرتلند نوع IV:*** سرعت ترکیب این سیمان با آب، از سیمان نوع II نیز کمتر است.

از آنجا که گرمای تولیدی به هنگام سخت شدن این سیمان کم است، برای ساختمان سدها از آن استفاده می‌شود.

***هـ ــ سیمان پرتلند نوع V:*** این سیمان نسبت به آب‌های سولفات‌دار مقاوم است. بنابراین سیمان نوع V در مواردی مصرف می‌شود که سازه تحت اثر آبهای سولفات دار قرار داشته باشد.

**۶ــ۶ــ۳ــ انبارکردن و حمل و نقل سیمان:** سیمان را معمولاً در پاکت‌هایی که محتوی ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم سیمان است بسته‌بندی و یا به صورت فله‌ای حمل و نقل می‌کنند. انبارکردن سیمان بایستی در محلی دور از رطوبت انجام گیرد و نیز تعداد کیسه‌هایی که روی‌هم چیده می‌شود از ارتفاع دو متر تجاوز نکند زیرا در غیر این صورت، باعث سخت شدن سیمان و از دست رفتن خواص آن می‌شود.

**۶ــ۶ــ۴ــ کاربرد سیمان در معادن:** در بعضی موارد آبهای درون معدن حاوی املاحی هستند که برای سیمان معمولی مضر است و باعث خورده شدن آن می‌شود. برای جلوگیری از تخریب سیمان در نتیجه این گونه آبها، از انواع مخصوص سیمان برای مقاصد زیرزمینی استفاده می‌کنند. ازجمله این سیمان‌ها می‌توان سیمان‌های با آلومین زیاد و سیمان‌های حاصله از سرباره کوره بلند را نام برد.

نوع بخصوصی از سیمان که در معادن مورد استعمال زیاد دارد، به نام سیمان منبسط‌شونده معروف است. ازجمله مشخصات این سیمان آن است که پس از سخت شدن در برابر هوا یا آب، حجمش افزایش می‌یابد. علاوه براین، سیمان یادشده سنگین و در برابر آب نیز غیرقابل نفوذ است.

## ۶ــ۷ــ ملاتها

ملات، مخلوطی از یک ماده چسباننده، آب و ماسه است که معمولاً برای چسباندن مصالحی نظیر سنگهای طبیعی، آجر، بلوکهای بتنی و نظایر آنها به‌کار می‌رود.

بسته به مورد استعمال، ملاتهای با ترکیب مختلف ساخته می‌شود. از نظر ماده چسباننده، ملاتها را می‌توان به ملات سیمان، ملات آهک و ملات آهک ــ سیمان تقسیم کرد. بسته به نحوه سخت شدن ملاتها، آنها را به ملاتهای هوایی و آبی تقسیم می‌کنند که اولی در هوا و دومی در مجاورت آب نیز سخت می‌شود.

**۶ــ۷ــ۱ــ اجزای تشکیل‌دهنده ملات:** به طوری که گفتیم، اجزای اصلی ملات ماده چسباننده، آب و مواد دانه ریز (ماسه ) است. علاوه براین، برای اینکه ملات خواص ویژه‌ای را دارا شود، مواد دیگری نیز به آن اضافه می‌کنند. ملاتهای معمولی را از مخلوط یک قسمت سیمان و سه قسمت ماسه می‌سازند. در زیر اجزای ملات را شرح می‌دهیم :

***الف ــ ماده چسباننده:***

مواد چسباننده‌ای که برای تهیه ملات به کار می‌روند مختلف و شامل آهک معمولی، آهک آبی، گچ و انواع مختلف سیمان است.

***اول ــ آهک:*** برای اینکه ملات آهک خوب باشد، بایستی قطعات سنگهای آهکی موجود در

آهک را که پخته نشده‌اند، از آن جدا کرد. برای این کار، معمولاً آهک را به‌طریقه خشک شکفته و آن را سرند می‌کنند. قطعات سنگ آهک پخته نشده در روی سرند باقی می‌ماند و بدین‌ترتیب از آهک جدا می‌شود.

***دوم ــ گچ:*** گچ خیلی به ندرت برای تهیه ملات به کار می‌رود و معمولاً آن را برای کارهای ساختمانی در محیطهای خشک به کار می‌برند. گاهی نیز مقدار کمی‌از آن را در ملات آهکی به‌کار می‌گیرند که این امر سبب افزایش مقاومت و زود گرفتن آن می‌شود.

***سوم ــ سیمان:*** ملات سیمان از جمله متداول ترین ملاتها در عملیات ساختمانی است. معمولاً برای تهیه ملات سیمانی، از سیمان‌هایی که زمان گرفتن نسبتاً طولانی دارند، استفاده می‌کنند. در بعضی موارد نیز مخلوطی از آهک و سیمان را برای تهیه ملات به‌کار می‌برند.

***ب ــ مواد دانه ریز:***

ماده دانه‌ریزی که برای تهیه ملات به کار می‌رود معمولاً ماسه و از جنس کوارتز و یا فلدسپات است.

ماسه‌ای که برای ملات به کار می‌رود بایستی فاقد گرد و غبار و مواد رسی باشد و میزان این مواد برای ملاتهای خوب از ۱۰٪ و برای ملاتهای متوسط از ۲۰٪ تجاوز نکند.

برای تهیه ملاتهای سبک، از ماسه‌هایی از جنس توف[1]، پوکه معدنی و سایر مواد سبک استفاده می‌کنند.

ابعاد ماسه به نوع کاربرد ملات و مصالح بستگی دارد. مثلاً برای سنگ کاری حداکثر ابعاد مجاز آن ۵ میلیمتر است در صورتی که برای آجرکاری ابعاد آن نبایستی از ۲/۵ میلیمتر بزرگتر باشد. برای اینکه ماسه با ابعاد یکنواخت به دست آورند، ماسه‌ها را از سرندهایی که ابعاد آنها بستگی به نوع کاربرد ملات دارد، عبور می‌دهند.

**۶ــ۷ــ۲ــ مشخصات ملات:** مهمترین مشخصات ملات عبارت است از :

***الف ــ تحرک:*** برای اینکه ملات، درز بین آجر یا سنگ را پر کند و همچنین به عنوان آستر نیز چسبندگی کافی داشته باشد، بایستی تحرک مناسبی داشته باشد.

***ب ــ میزان آب:*** ملات خوب بایستی به اندازه کافی آب در خود نگهدارد، زیرا اگر میزان آب آن کافی نباشد، سبب خردشدن ملات می‌شود. از طرف دیگر به هنگام سنگ‌کاری و یا آجرکاری، مقدار قابل‌توجهی از آب ملات به وسیله مصالح جذب می‌شود. بنابراین اگر میزان آب ملات کافی نباشد، قسمت اعظم آن به وسیله مصالح یادشده جذب خواهد شد و آب باقیمانده برای سخت شدن

۱ــ Tuff

خود ملات کافی نخواهد بود.

تحرک و میزان آب ملات به اجزای تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. مثلاً ملاتی که از مخلوط سیمان، آب و ماسه تهیه می‌شود، به‌ویژه اگر میزان سیمان کافی نباشد که دور دانه‌های ماسه را بگیرد، سفت خواهد بود. از سوی دیگر چون شکل‌پذیری آهک نسبت به سیمان زیادتر است، لذا ملات آهکی نرم‌تر و شکل‌پذیرتر از ملات سیمان است.

برای اینکه تحرک و ظرفیت نگهداری آب ملات سیمان را افزایش دهند، مقداری آهک، خاک رس یا مواد شیمیایی به آن اضافه می‌کنند.

***ج ــ مقاومت ملات:*** مقاومت ملات به فعالیت ماده چسباننده و نسبت ماده چسباننده به آب بستگی دارد.

برای تعیین مقاومت ملات، برحسب ترکیب اجزای تشکیل دهنده آن، فرمول‌های مختلفی ارایه شده است. ازجمله فرمول‌های معروفی که برای محاسبه مقاومت ملات سیمان به کار می‌رود، فرمول پوپوف به شرح زیر است [۶] :

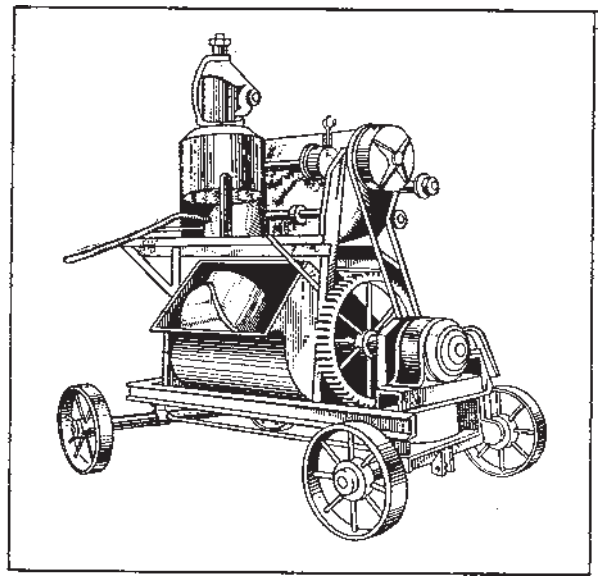
$$R_m = ۰/۲۵R_{ce}(\frac{C}{W} . ۰/۴) \qquad (۵ــ۶)$$

که در آن $R_m$ مقاومت ملات سخت شده برحسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع، $R_{ce}$ فعالیت سیمان به کار رفته برحسب کیلوگرم بر سانتیمترمربع و $\frac{C}{W}$ نسبت وزنی سیمان به آب است.

مقاومت ملاتهای مختلف در مقیاس وسیعی متغیر است و مقاومت انواع مختلف آن از ۲ تا ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع تغییر می‌کند ؛ اما مقاومت ملاتهای معمولی ۱۰ تا ۲۵ کیلوگرم بر سانتیمترمربع است.

برای تعیین مقاومت ملات، مکعب‌هایی از آن را تهیه می‌کنند و پس از ۲۸ روز، آن را در پرس‌های مخصوص تحت فشارش قرار می‌دهند تا خرد شود. از تقسیم نیروی اعمال شده در لحظه خرد شدن بر سطح نمونه، مقاومت ملات به دست می‌آید.

**۶ــ۷ــ۳ــ طرز تهیه ملات:** گرچه در ایران، در بسیاری موارد برای تهیه ملات، ماسه و سیمان را به حالت خشک با هم مخلوط و به آن آب اضافه می‌کنند ولی برای تهیه ملات مناسب و متجانس، مواد تشکیل دهنده ملات را در دستگاه‌های مخلوط کن مخصوص می‌ریزند و به کمک آن، ملات متجانس به دست می‌آورند (شکل ۶ــ۳). این مخلوط کن‌ها را معمولاً در ظرفیت‌های ۱۵۰، ۳۷۵ و ۷۵۰ لیتر می‌سازند.



**شکل ۶ــ۳ــ دستگاه مخلوط کن برای تهیه ملات [۲۹]**

مدت زمان لازم برای تهیه ملات با دستگاه‌های مخلوط کن ۱/۵ تا ۲/۵ دقیقه است. برای تهیه ملات‌های سبک، این زمان به ۲/۵ تا ۳/۵ دقیقه می‌رسد و در صورتی که مواد دیگری نیز به ملات اضافه شده باشد، زمان آن ممکن است تا ۵ دقیقه برسد.

**۶ــ۷ــ۴ــ انواع مختلف ملات:** به‌طوری که گفتیم، بسته به مورد کاربرد، انواع مختلف ملات ساخته می‌شود که مهمترین آنها به شرح زیر است :

***الف ــ ملات آهک هوایی:*** این ملات همانطوری که از اسمش پیداست، فقط در مجاورت هوا سخت می‌شود و از جمله متداول ترین ملاتهای دیوارسازی است.

اجزای اصلی ملات آهکی را، آهک، آب و ماسه تشکیل می‌دهد. برای این منظور، آهک ممکن است به حالت پودر یا به شکل خمیر به‌کار رود.

ملات آهک شکل پذیری عالی دارد و به خوبی به آجر و سنگهای طبیعی می‌چسبد. اگر در تعیین ترکیب این ملات دقت شود، ترکهای ناشی از خشک شدن در آن به وجود نخواهد آمد. عیب مهم آن این است که نسبتاً خود را دیر می‌گیرد.

پس از اینکه ملات در معرض هوا قرار گرفت، دی اکسیدکربن هوا با آهک ترکیب می‌شود و روی آن قشری از کربنات کلسیم به‌وجود می‌آید. بنابراین قسمت‌های داخلی ملات، در نتیجه تبلور تدریجی آب آهک سخت می‌شود. ملاتی که با گرد آهک تهیه شده، خیلی سریع‌تر از ملاتی که با خمیر

آن تهیه شده است سخت می‌شود.

ملات آهک در بسیاری موارد برای دیوارسازی در مناطق خشک به کار می‌رود. معمولاً آن قسمت از دیوار که از سطح زمین بالاتر است با این ملات ساخته می‌شود.

**ب ــ *ملات آبی:*** این ملات برای محیطهای مرطوب تهیه می‌شود. اجزای اصلی ملات، شامل یک ماده چسباننده مثل سیمان یا آهک آبی، ماسه و آب است.

برای افزایش شکل پذیری این ملات، که معمولاً با سیمان تهیه می‌شود، موادی نظیر آهک، رس، خاک تریپولی (یک نوع خاک که درصد سیلیس آن زیاد است ) به آن اضافه می‌کنند.

برای دیوارسازی در مجاورت آب، ملات را با استفاده از سیمان و افزودن مواد آبی و یا سیمان سرباره کوره می‌سازند.

**ج ــ *ملات غیرقابل نفوذ*[1]:** برای اینکه دیوارها را در برابر آب غیرقابل نفوذ سازند، آنها را به‌وسیله ملاتهای مخصوص آستر می‌کنند.

برای تهیه ملات غیرقابل نفوذ، از ماسه‌های با ابعاد معین و سیمان استفاده می‌کنند. این ملات را به کمک ملات پاش‌های مخصوص، که با هوای فشرده کار می‌کنند، با سرعت به دیواره‌ای که مقصود غیرقابل نفوذ کردن آن است، می‌پاشند. این آستر، به خوبی قادر است که تا فشار ۲۰ آتمسفر نیز در برابر آب مقاومت کند ولی عیب آن این است که همیشه ۳۰ تا ۵۰ درصد از ملات به زمین می‌پاشد و هدر می‌رود.

## ۶ــ۸ــ بتن[2]

بتن نوعی سنگ مصنوعی است، که از مخلوط یک ماده چسباننده (معمولاً سیمان )، آب، ماسه و شن یا خرده سنگ به دست می‌آید، به عبارت دیگر بتن مخلوط ملات با شن یا خرده سنگ است.

از بین اجزای تشکیل‌دهنده بتن، ماده چسباننده و آب، نقش اصلی را به‌عهده دارند و سبب چسبانیدن دو جزء دیگر به هم می‌شوند.

در بعضی موارد در داخل بتن میله‌های فولادی کار می‌گذارند که پس از سخت شدن جسم یک پارچه‌ای را تشکیل می‌دهد. این بتن، که به نام بتن مسلح خوانده می‌شود، طی بحث جداگانه‌ای بررسی خواهد شد.

تهیه بتن براساس ضوابط استاندارد انجام می‌گیرد و در هر مورد بایستی با توجه به نوع بتن

---

۱ــ Water proof ۲ــ Concrete

لازم، ترکیب مناسبی از اجزای تشکیل دهنده را در نظر گرفت و علاوه براین، در مواقع لزوم، مواد فرعی دیگری نیز به آنها اضافه کرد.

برای استفاده از بتن، محل موردنظر را قالب بندی و داخل قالب‌ها را با بتن پر می‌کنند و به‌وسیله لرزاننده‌های مخصوصی قالب را به ارتعاش درمی‌آورند تا تمام فضای موجود را پر کند. پس از سخت شدن بتن، قالب‌ها را باز می‌کنند.

بتن از جمله مهمترین مصالحی است که برای نگهداری حفریات معدنی مختلف به کار می‌رود و به طوری که خواهیم دید، در بسیاری موارد، تونل‌ها و چاه، به کمک دیواره‌های بتنی نگهداری می‌شود.

**۶ــ۸ــ۱ــ انواع بتن:** بتن را از نظرهای مختلف مثل وزن مخصوص، نوع ماده چسباننده، موارد استعمال، مقدار اجزای تشکیل‌دهنده و نظایر آن تقسیم‌بندی می‌کنند که در زیر آنها را شرح می‌دهیم :

***الف ــ تقسیم‌بندی براساس وزن مخصوص:*** از این نقطه نظر، بتن‌ها را به انواع زیر تقسیم می‌کنند :

**اول:** بتن معمولی یا بتن سنگین که وزن مخصوص آن حدود ۱/۸ گرم بر سانتیمترمکعب و بیشتر است.

**دوم:** بتن سبک که وزن مخصوص آن بین ۰/۶ تا ۱/۸ گرم بر سانتیمترمکعب است.

**سوم:** بتن عایق حرارتی که وزن مخصوص آن کمتر از ۰/۶ گرم برسانتیمتر مکعب است.

***ب ــ تقسیم‌بندی براساس نوع ماده چسباننده:*** از نظر نوع ماده چسباننده نیز می‌توان بتن‌های زیر را تشخیص داد :

**اول:** بتن هیدرولیکی که ماده چسباننده آن سیمان و یا مواد چسباننده هیدرولیکی دیگر است.

**دوم:** بتن آهکی که در تهیه آن آهک به کار رفته است.

**سوم:** بتن گچ که برای ساختن آن از گچ و انیدریت استفاده می‌شود.

**چهارم:** بتن‌هایی که ماده چسباننده آن از انواع آلی مثل قیر، آسفالت و نظایر آنها است.

***ج ــ تقسیم‌بندی براساس مورد استعمال:*** از نظر مورد استعمال، بتن‌ها را به انواع زیر تقسیم می‌کنند :

**اول:** بتن معمولی که به صورت ساده یا به صورت بتن مسلح در مورد ساختمانهای معمولی به‌کار می‌رود.

**دوم:** بتن‌های آبی[۱] که برای احداث سدها، کانال‌های آبی، ساختمانهای دریایی و نظایر آنها

---

۱ــ Hydrotechnical

به‌کار می‌رود.

**سوم:** بتن‌هایی که برای تهیه لوله‌ها، بلوک و نظایر آن به‌کار می‌رود.

**چهارم:** بتن‌های سبک که برای دیوارهای فوقانی و سقف‌ها به کار می‌رود.

***د ــ تقسیم‌بندی براساس مقدار سیمانی که در تهیه بتن به‌کار می‌رود:*** براساس مقدار سیمانی که برای تهیه بتن به‌کار می‌رود، آن را به اسامی زیر می‌خوانند :

**اول:** بتن قوی که در هر مترمکعب آن بیش از ۲۵۰ کیلوگرم سیمان به‌کار می‌رود.

**دوم:** بتن متوسط که هر مترمکعب آن دارای ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم سیمان است.

**سوم:** بتن لاغر یا ضعیف که میزان سیمان موجود در هر مترمکعب آن کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم است.

***هـ ــ تقسیم‌بندی براساس میزان آب موجود در بتن:*** از این نقطه‌نظر، بتن‌ها را به انواع زیر تقسیم می‌کنند :

**اول:** بتن سفت که میزان آب آن ۶ تا ۶/۵ درصد وزنی است.

**دوم:** بتن خمیری که ۶/۵ تا ۸ درصد وزن آن را آب تشکیل می‌دهد.

**سوم:** بتن شُل که درصد آب آن ۸ تا ۱۲ درصد است.

**۶ــ۸ــ۲ــ اجزای تشکیل‌دهنده بتن:** بتن معمولی که برای احداث سازه‌های مختلف به‌کار می‌رود، بایستی مقاومت و زمان سخت شدن معینی داشته و به‌آسانی قابل کار باشد.

***الف ــ سیمان:*** برای تهیه بتن معمولی، به‌عنوان ماده چسباننده از سیمان پرتلند استفاده می‌شود. از آنجا که مقاومت بتن تابع مقاومت سیمان آن است، لذا بسته به نوع بتنی که موردنظر است باید سیمان مناسبی برای تهیه آن به‌کار برد.

از آنجا که آبهای داخل معدن املاح مختلف دارند که ممکن است باعث خورده شدن بتن شوند، لذا برای تهیه بتن ویژه حفریات معدنی، باید از سیمانهای مخصوص استفاده کرد.

***ب ــ آب:*** آبی که برای تهیه بتن به کار می‌رود همان آب آشامیدنی معمولی است. این آب بایستی فاقد ناخالصی‌های مضره از قبیل اسیدها، سولفاتها، چربی، روغن‌های گیاهی، قند و نظایر آنها باشد. برای اینکه با اطمینان بتوان آب را برای تهیه بتن به کار برد، بایستی قبل از استعمال، مواد مضره احتمالی آن را در آزمایشگاه مشخص کرد. آب موجود در باتلاقها، فاضلابها و پس آب کارخانجات را نمی‌توان برای تهیه بتن به‌کار برد.

آبی که برای تهیه بتن به‌کار می‌رود نبایستی خاصیت اسیدی داشته باشد و به هر صورت همواره pH آن بالاتر از ۴ باشد.

***ج ــ ماسه:*** به‌طورکلی ماسه را می‌توان به عنوان ذراتی از سنگها به ابعاد ۰/۱۴ تا ۵ میلیمتر

که درنتیجه تخریب طبیعی (ماسه طبیعی) و یا خردکردن مصنوعی آنها (ماسه مصنوعی) حاصل می‌شوند، تعریف کرد.

مناسب‌ترین ماسه برای تهیه بتن، ماسه‌های از جنس کوارتز است. بایستی توجه داشت که در طبیعت ماسه کوارتزی خالص وجود ندارد بلکه همواره همراه آن مقداری ماسه از جنس فلدسپات، میکا و سایر کانی‌ها نیز موجود است.

در مواردی که از ماسه‌های آهکی استفاده می‌شود، قبلاً بایستی نمونه‌های بتن تهیه شده از آنها را تحت آزمایش قرار داد و مقاومت آنها را تعیین کرد.

قبل از به‌کار بردن ماسه، بایستی آن را به‌خوبی با آب شست تا گرد وخاک آن برطرف شود.

یکی از مهمترین عواملی که در مقاومت بتن مؤثر است، دانه‌بندی اجزای تشکیل‌دهنده آن است. بنابراین قبل از استفاده از ماسه، بایستی وضعیت دانه بندی آن را مشخص ساخت.

مهمترین ماده مضر همراه با ماسه، خاک رس است که ذرات ماسه را به‌صورت پوششی فرامی‌گیرد. وجود خاک رس در اطراف دانه ماسه سبب کاهش چسبندگی آن با سیمان و در نتیجه کاهش مقاومت بتن می‌شود.

برای اینکه بتوان ماسه را برای تهیه بتن به‌کار برد، میزان خاک رس و سیلت آن نبایستی از ۵ درصد وزنی بیشتر باشد.

یکی از مهمترین خصوصیات ماسه، ترکیب دانه‌بندی آن است، ماسه‌ای که برای تهیه بتن به‌کار می‌رود، بایستی دارای ابعاد مختلف (از ۰/۱۴ تا ۵ میلیمتر) باشد تا فضای خالی موجود در آن به‌حداقل برسد.

**د ــ *قطعات درشت:*** به طوری که گفتیم، برای تهیه بتن، علاوه بر سیمان، آب و ماسه، از قطعات درشت نیز استفاده می‌شود که این قطعات معمولاً شن یا خرده‌سنگ است که در زیر آنها را شرح می‌دهیم :

**اول ــ شن:** عبارت از قطعات نسبتاً ریز سنگهاست ذرات شن کمابیش به حالت کروی‌اند.

از نقطه نظر ابعاد، شن‌ها را به دسته‌های ۳ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۷۰ و بیشتر از ۷۰ میلیمتر تقسیم می‌کنند.

مقاومت دانه‌های شن نیز در هر مورد بستگی به نوع بتن دارد و بایستی به‌گونه‌ای باشد که مقاومت موردنظر را جهت بتن تأمین کند.

شن بایستی در برابر عوامل ساینده و نیز در برابر ضربه مقاوم باشد.

از نقطه نظر ابعاد می‌توان گفت که شن‌های با ابعاد بزرگتر برای تهیه بتن مناسب‌ترند زیرا در این

حالت، سطح کلی ذرات آن کمتر است و بنابراین برای تهیه بتن، به سیمان کمتری احتیاج خواهد بود. ماکزیمم مجاز ابعاد شن و خرده سنگ تابع ابعاد محل‌های بتن‌ریزی است به طوری که می‌توان گفت حداکثر ابعاد شن، نبایستی از $\frac{۱}{۴}$ مینیمم ابعاد محل‌های بتن‌ریزی، زیادتر باشد.

در مورد بتن مسلح، ابعاد شن نبایستی از حداقل فاصله بین میله‌های فولادی بزرگتر باشد. در مورد بتن‌ریزی سقف و یا کف، استفاده از شن‌های درشت‌تر مجاز است اما در این موارد نیز ابعاد دانه‌های شن نبایستی از نصف ضخامت قشر بتن تجاوز کند.

در مورد شن نیز اگر توده شن حاوی دانه‌های با ابعاد مختلف باشد، بتن مقاوم‌تری به‌دست می‌آید زیرا در این حالت فضای خالی مخلوط بتن کمتر است.

**دوم ــ خرده‌سنگ:** خرده‌سنگ عبارت است از قطعاتی از سنگ که در اثر خردکردن آنها در سنگ‌شکن‌های مخصوص تولید می‌شود. ابعاد این خرده‌سنگها معمولاً بین ۳۰ تا ۷۰ میلیمتر است و در بعضی موارد به ۱۵۰ میلیمتر نیز می‌رسد.

به هنگام تهیه خرده‌سنگ به وسیله سنگ‌شکن‌های مخصوص، علاوه بر خرده‌سنگ، قطعات ریزی نیز تولید می‌شود که از آنها می‌توان به‌عنوان شن و ماسه استفاده کرد.

خرده‌سنگ‌هایی که به‌وسیله سنگ‌شکن تولید می‌شوند، شکل نامنظم و زوایای تیزی دارند. همین امر سبب می‌شود که خرده‌سنگها به‌خوبی به سیمان بچسبند اما تحرک و روانی چنین بتنی، از بتنی که به‌وسیله شن‌های کمابیش صیقلی تهیه می‌شود، کمتر است.

خرده‌سنگها را از نقطه‌نظر مقاومت در برابر سایش و ضربه نیز تقسیم‌بندی می‌کنند که در هر مورد خرده‌سنگ بایستی مقاومت لازم را دارا باشد.

خرده‌سنگی که برای تهیه بتن به‌کار می‌رود، همانند شن، بایستی فاقد مواد رسی و گردوغبار باشد.

**۶ــ۸ــ۳ــ مقاومت بتن:** پس از گذشت مدت زمان معینی (معمولاً ۲۸ روز) از تهیه بتن، باید مقاومت لازم را به‌دست آورد. همچنین سایر خواص موردنظر از جمله غیرقابل نفوذ بودن، مقاومت در مقابل یخبندان و نظایر آنها را دارا باشد. به علاوه، تحرک و روانی بتن نیز بایستی در حد معینی باشد تا بتوان آن را حمل‌ونقل کرد و به قسمت‌های بتن‌ریزی منتقل ساخت.

در قسمت‌های مختلف یک سازه، بتن ممکن است تحت تنش‌های مختلف فشارشی، کششی و برشی واقع شود ولی از آنجا که مقاومت فشارشی بتن به مراتب بیش از سایر مقاومت‌های آن است، لذا از آن به‌نحوی استفاده می‌کنند که فقط تحت فشارش قرار گیرد.

مقاومت فشارشی بتن به مقاومت سیمان، نسبت سیمان به آب، مقاومت و ترکیب شن و ماسه، میزان متراکم کردن بتن، شرایط سخت شدن بتن و بسیاری مسایل دیگر بستگی دارد. در بین این عوامل، مهمترین آنها مقاومت سیمان و نسبت سیمان به آب است. هرچقدر مقاومت سیمانی که برای تهیه بتن به‌کار می‌رود بیشتر باشد، مقاومت بتن زیادتر است، اما اگر بتن‌های مختلف از یک نوع سیمان، اما با نسبت سیمان به آب متفاوت تهیه شود، مقاومت آنها متفاوت خواهد شد.

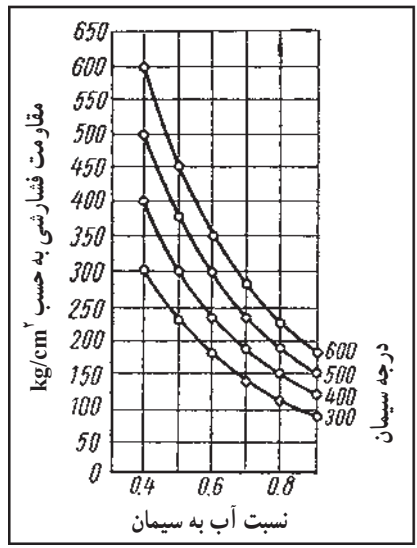
گرچه برای خمیرشدن سیمان،از نظر شیمیایی ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی آن آب کافی است ولی معمولاً نسبت وزنی آب (W) به سیمان (C) را در مورد بتن‌های مختلف به شرح زیر درنظر می‌گیرند [۲۹] :

$$\frac{W}{C} = ۰/۴ \text{ تا } ۰/۷ \qquad (۶_۶)$$

آب اضافی که در تهیه بتن به‌کار می‌رود، تبخیر می‌شود و جای آن در بتن خالی می‌ماند و درنتیجه، متخلخل شدن و کاهش مقاومت بتن را درپی دارد. بنابراین برای افزایش مقاومت بتن بایستی نسبت آب به سیمان را کم کرد و تراکم آن را بالا برد.

در شکل ۶ــ۴ تغییرات مقاومت بتن به ازای تغییرات نسبت آب به سیمان در مورد سیمانهای با مقاومت مختلف نشان داده شده است.

برای پیش‌بینی مقاومت بتن نسبت به درصد اجزای تشکیل‌دهنده آن، کوشش‌های فراوانی انجام گرفته و براساس آن فرمول‌های تجربی متعددی ارایه شده است که می‌توان آنها را در کتابهای بتن مطالعه کرد.




شکل ۶ــ۴ــ تغییرات مقاومت بتن به ازای تغییر نسبت آب به سیمان [۲۹]

## مطالعه آزاد

**۶ــ۸ــ۴ــ تعیین ترکیب بتن:** مقصود از تعیین ترکیب بتن آن است که میزان اجزای مختلف آن یعنی سیمان، آب، ماسه یا خرده‌سنگ لازم را به نحوی تعیین کنیم که خواص موردنظر را دارا باشد.

ترکیب بتن معمولاً به یکی از دو صورت زیر بیان می‌شود :

***الف ــ روش نسبی:*** در این روش، ترکیب بتن را به صورت رابطه زیر بیان می‌کنند :

$$۱:X:Y:Z=\frac{W}{C} \qquad (۶ــ۷)$$

که در آن ۱ وزن سیمان، X وزن ماسه، Y وزن شن یا خرده‌سنگ و $Z=\frac{W}{C}$ نسبت وزن آب به‌سیمان است. مثلاً یکی از ترکیبات معمول بتن به شرح زیر است :

$$۱:۲/۴:۴/۵:\frac{W}{C}=۰/۶۵ \qquad (۶ــ۸)$$

***ب ــ روش مطلق:*** در این روش، وزن سیمان، ماسه و شن یا خرده سنگ و آب لازم برای تهیه یک مترمکعب از بتن را به‌صورت درصد بیان می‌کنند. مثلاً یکی از ترکیبات متداول بتن به‌شرح زیر است :

| | |
|---|---|
| سیمان | ۲۷۰ کیلوگرم در مترمکعب |
| ماسه | ۷۰۰ کیلوگرم در مترمکعب |
| خرده سنگ | ۱۲۶۰ کیلوگرم در مترمکعب |
| آب | ۱۷۰ کیلوگرم در مترمکعب |
| جمع | ۲۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب |

تعیین ترکیب بتن از جمله مهمترین مراحل تهیه آن است. قبل از اینکه میزان اجزای مختلف بتن تعیین شود، بایستی هرکدام را جداگانه آزمایش کرد.

به‌طورکلی می‌توان گفت برای اینکه بتن حاصله حداقل خواص موردنظر را دارا باشد، برای تهیه هر مترمکعب آن، در مواردی که بتن در مجاورت هوا خشک می‌شود ۲۵۰ کیلوگرم، برای آب و هوای مرطوب ۲۲۰ کیلوگرم و برای بتنی که به‌وسیله لرزاننده به ارتعاش درآمده است بایستی ۲۰۰ کیلوگرم سیمان به کار رود [۲۹].

یکی از روش‌های تعیین ترکیب بتن معمولی به نام روش حجم مطلق موسوم

است. اساس این روش بر این فرض استوار است که وزن مخصوص بتن معمولی، هنگامی‌که به‌خوبی لرزانده شود، به‌حد مطلق خود نزدیک می‌شود (صرفنظر از میزان فضای خالی اندکی که در آن باقیمانده است). بنابراین مجموع حجم اجزای آن که برای تهیه یک مترمکعب بتن به‌کار می‌رود، بایستی برابر یک مترمکعب شود. بدین ترتیب اگر C، W، S و G به‌ترتیب وزن سیمان، آب، ماسه و شن یا خرده سنگ لازم برای تهیه یک مترمکعب بتن برحسب کیلوگرم و $\cdot C$ ، $\cdot W$ ، $\cdot S$ و $\cdot G$ به‌ترتیب وزن مخصوص آنها برحسب کیلوگرم بر مترمکعب باشد، رابطه زیر برقرار خواهد بود :

$$\frac{C}{\cdot C}\cdot\frac{W}{\cdot W}\cdot\frac{S}{\cdot S}\cdot\frac{G}{\cdot G}=1 \qquad (۹ــ۶)$$

مراحل مختلف محاسبه ترکیب بتن به شرح زیر است :

**اول:** محاسبه نسبت سیمان به آب

**دوم:** محاسبه درصد آب

**سوم:** محاسبه درصد سیمان

**چهارم:** محاسبه میزان ماسه و شن یا خرده سنگ

پس از این مراحل، ترکیب حاصله را از نقطه نظر مقاومت و تحرک کنترل می‌کنند. شرح مراحل اول تا چهارم ازجمله مطالب تخصصی است که بایستی آن را در کتابهای بتن مطالعه کرد.

**۶ــ۸ــ۵ــ طرز تهیه بتن:** بتن معمولاً در دستگاه‌های مخصوصی که اجزای آن را به‌طور کامل با هم مخلوط می‌کند و به نام مخلوط کننده[۱] موسوم است، تهیه می‌شود. مخلوط‌کننده‌ها را به‌دو دسته متناوب و مداوم تقسیم می‌کنند.

در مخلوط‌کننده‌های متناوب، عملیات ریختن مواد، مخلوط کردن و تخلیه، در مقاطع زمانی معین انجام می‌شود ؛ یعنی ابتدا مواد اولیه را وارد دستگاه می‌کنند و آن را به حرکت درمی‌آورند و در مرحله بعد، بتن آماده شده را تخلیه می‌کنند و عملیات مجدداً تکرار می‌شود.

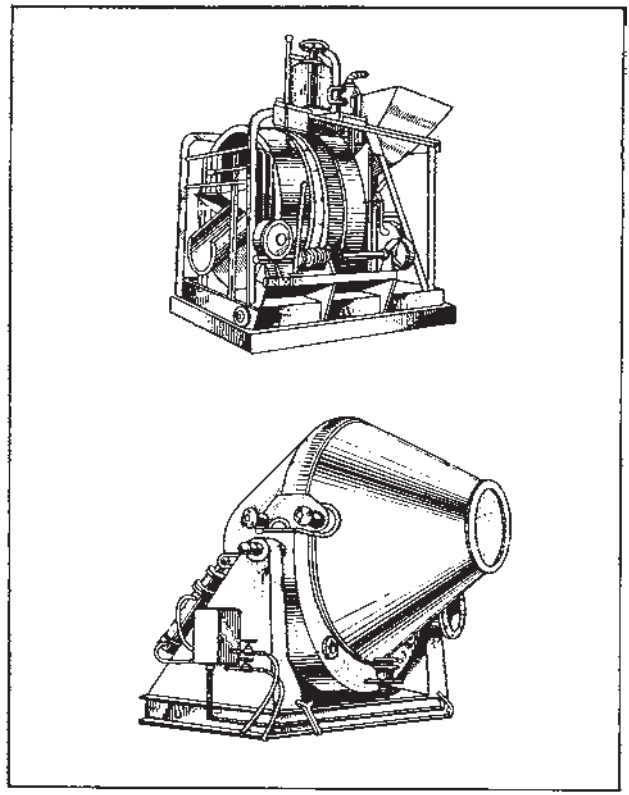
در دستگاه‌های مخلوط کننده مداوم، سه مرحله یادشده به طور مداوم انجام می‌شود یعنی همواره مواد اولیه از یک قسمت دستگاه وارد و پس از مخلوط شدن، از قسمت دیگر تخلیه می‌شود.

از نظر نحوه عمل نیز مخلوط کننده‌ها را به دو دسته تقسیم می‌کنند. در دسته اول، مخزن اصلی

---

۱ــ Mixer

دستگاه، که سطح داخلی آن پره‌هایی دارد، دوران می‌کند و ضمن دوران، مواد تشکیل‌دهنده بتن نیز تا حدی بالا می‌روند و آنگاه سقوط می‌کنند و بدین‌ترتیب، مخلوط متجانسی از مواد اولیه بتن تهیه می‌شود (شکل ۶ــ۵). این مخلوط‌کن‌ها را که در ضمن متداول‌ترین آنها هستند، در ظرفیت‌های ۱۰۰، ۲۵۰، ۴۲۵، ۱۲۰۰، ۲۴۰۰ و ۴۵۰۰ لیتری می‌سازند. باید توجه داشت که ظرفیت مخلوط‌کن برحسب حجم بتن تهیه شده نیست بلکه آن را براساس حجم مجموع مواد اولیه‌ای که به داخل دستگاه ریخته می‌شود، بیان می‌کنند.



**شکل ۶ــ۵ــ مخلوط کننده بتن [۲۹]**

در مخلوط‌کن‌های نوع دوم، مواد اولیه را در داخل مخزن می‌ریزند و آنگاه محوری که در داخل مخزن قرار دارد و پره‌هایی به آن متصل است، به دوران درمی‌آید و بدین‌ترتیب، مواد اولیه آن با یکدیگر مخلوط می‌شود. این قبیل مخلوط‌کن‌ها را معمولاً در ظرفیت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ لیتری می‌سازند [۲۹].

بتن‌های خیلی سفت را در مخلوط کن‌های مخصوصی تهیه می‌کنند که در آنها، هم مخزن و هم محور پره‌دار داخل آن دوران می‌کند ولی حرکت این دو، در خلاف جهت یکدیگر است. مدت زمان گردش دستگاه به نوع بتن و مواد تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. هر چقدر تحرک بتن کمتر و ظرفیت مخلوط کن زیادتر باشد، مدت زمان تهیه آن زیادتر است.

**۶ــ۸ــ۶ــ حمل و نقل بتن:** تهیه بتن با مخلوط کن‌های معمولی و یا در مراکز بتن‌سازی کوچک مقرون به‌صرفه نیست زیرا در این موارد، از مخلوط کن‌ها و سایر ماشین‌ها، با حداکثر راندمان استفاده نمی‌شود و همچنین نمی‌توان تمام مراحل بتن‌سازی را خودکار کرد. همچنین در این موارد نیروی انسانی لازم زیاد است و تمام این عوامل سبب گران تهیه شدن بتن می‌شود. برای اینکه بتن ارزان‌تر تهیه شود، معمولاً آن را در مراکز بتن سازی بزرگ تهیه و آن را به محل مصرف حمل می‌کنند. برای حمل بتن، بسته به فاصله محل تهیه تا محل مصرف آن، از وسایل مختلف مثل اتومبیل‌های مخصوص، نوار نقاله، تلمبه‌های بتن، لوله و هر وسیله دیگری که بتن را در ضمن حمل و نقل از آسیب باد و باران و برف و غیره حفظ کند، استفاده می‌کنند.

یکی از وسایل متداول جهت حمل و نقل بتن، کامیونهایی است که بر روی آنها مخلوط کن نصب شده است و ضمن حمل و نقل، مخلوط کن آن نیز کار می‌کند.

بسته به دمای آبی که از بتن خارج می‌شود، مدت زمان حمل و نقل آن از لحظه تهیه تا زمان مصرف نبایستی از آنچه که در جدول ۶ــ۲ درج شده است تجاوز کند.

**جدول ۶ــ۲ــ حداکثر زمان مجاز حمل و نقل بتن‌های مختلف [۲۹]**

| دمای آب خارج شده از بتن درجه سانتیگراد | زمان حمل و نقل مجاز دقیقه |
|---|---|
| ۲۰ـ۳۰ | ۴۵ |
| ۱۰ـ۱۹ | ۹۰ |
| ۵ـ۹ | ۱۲۰ |

باید توجه داشت که بتن حمل شده را بدون افزودن آب، نبایستی بلافاصله در محل موردنظر مصرف کرد.

**۶ــ۸ــ۷ــ بتن‌ریزی:** بتن تهیه شده را بایستی در محل موردنظر، درون قالبی که قبلاً تهیه شده است، ریخت و این عمل را بتن‌ریزی می‌نامند.

امروزه عملیات بتن‌ریزی و توزیع بتن در داخل قالب‌ها به کمک ماشین‌های مخصوص انجام

می‌گیرد. مهمترین نکته‌ای که در بتن‌ریزی بایستی رعایت شود آن است که بتن تمام فضای قالب را پر کند و هیچ قسمت آن، به‌ویژه گوشه‌های قالب، خالی نماند. برای نیل به این منظور، پس از بتن‌ریزی، آن را متراکم می‌کنند. در قدیم این امر با کوبیدن بتن به‌وسیله میله‌های چوبی یا فلزی انجام می‌گرفت ولی امروزه این مقصود به کمک ماشین‌های ویژه انجام می‌گیرد. برای این منظور، روش‌های مختلفی ازجمله ارتعاش، ارتعاش توأم با ضربه، استفاده از نیروی گریز از مرکز، تولید خلأ در داخل بتن و... وجود دارد که متداول‌ترین آنها ایجاد ارتعاش و لرزش در بتن است.

برای ایجاد ارتعاش در بتن، از لرزاننده‌های[1] مختلف استفاده می‌کنند. لرزاننده‌ها را به انواع الکترومکانیکی، الکترومغناطیسی و هوای فشرده تقسیم می‌کنند که متداول‌ترین آنها نوع الکترومغناطیسی است. جزییات بتن‌ریزی در درس کارگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**۶ــ۸ــ۸ــ عملیات بعد از بتن‌ریزی:** برای اینکه بتن ریخته شده مقاومت کافی پیدا کند، بایستی دما و رطوبت محیط خشک شدن آن مناسب باشد. همچنین محل بتن‌ریزی شده را بایستی از گزند ضربات مکانیکی حفظ کرد.

در تابستانها، بایستی از خشک شدن سریع آن جلوگیری کرد و در فصول بارندگی، در چند ساعت اول، بایستی آن را از شسته شدن توسط آب باران محفوظ داشت. بعد از اینکه بتن سخت شد و خود را گرفت، روی آن را با یک قشر ماسه ریز یا خاک اره می‌پوشانند و مرتباً آن را با آب مرطوب می‌کنند. در پاره‌ای موارد، سطح بتن را با قشری از مواد مخصوص می‌پوشانند که آن را در برابر تبخیر آب داخلی محافظت می‌کند. دیواره‌های قایم را نیز به کمک پارچه‌هایی که مرتباً روی آنها آب می‌ریزند، در برابر خشک شدن سریع محافظت می‌کنند.

مدت زمانی که بتن بایستی مرطوب باشد به شرایط محیط بستگی دارد. در هوای گرم، زمان آن به دو هفته می‌رسد در صورتی که در هوای سرد، چند روز کافیست.

در فصول سرد، بایستی بتن را از سرد شدن و یخ زدن، به ویژه در چند ساعت اولیه حفظ کرد.

**۶ــ۸ــ۹ــ بلوک‌های بتنی:** بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی را در ابعاد و وزن‌های مختلف می‌سازند. در موارد عادی برای تهیه بلوک می‌توان از سیمان‌های معمولی استفاده کرد ولی برای جلوگیری از خورندگی آن به‌وسیله آبهای معدنی، برای تهیه این بلوکها، از سیمان‌های مخصوص استفاده می‌کنند.

برای دیوارهای قایم، بلوک به‌صورت مکعب مستطیل ساخته می‌شود و برای استفاده در طاقها، اشکال گوه‌ای آن را نیز تهیه می‌کنند.

---

۱ــ Vibrator

بسته به نوع کارگذاری، وزن قطعات بتنی متفاوت است. در مواردی که بلوکها به‌وسیله دست نصب می‌شوند، وزنشان ۳۰ تا ۳۵ کیلوگرم است ولی در مواردی که برای کار گذاشتن آنها از ماشین‌های مخصوص و جرثقیل استفاده می‌شود، وزنشان ممکن است به ۳۰۰ الی ۴۰۰ کیلوگرم هم برسد.

برای تهیه بلوک‌های بتنی، پس از تهیه بتن در مخلوط کننده، آن را در قالب‌های مخصوص می‌ریزند و پس از سخت شدن، قالب‌ها را باز کرده و از آنها استفاده می‌کنند.

بلوک‌های بتنی ممکن است از بتن معمولی و یا استفاده از میله‌های فولادی به‌صورت بتن مسلح تهیه شود.

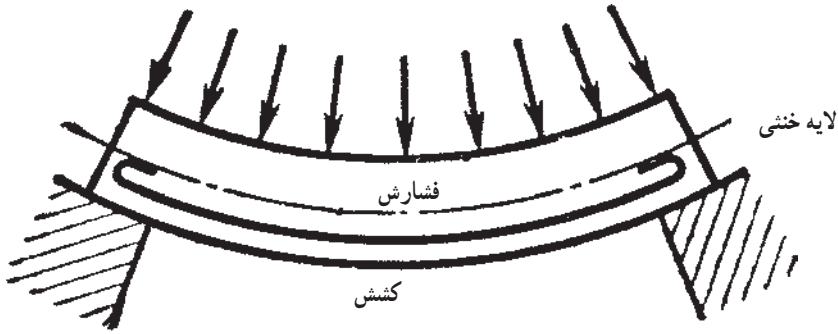
## ۶ــ۹ــ بتن مسلح[۱]

بتن مسلح ترکیبی از بتن و میله‌های فولادی است. علت انتخاب این ترکیب آن است که بتن نیز همانند سنگهای طبیعی، گرچه مقاومت فشارشی خوبی دارد ولی جسم شکننده‌ای است و مقاومت کششی آن در مقایسه با مقاومت فشارشی ناچیز و ۱۰ تا ۱۵ برابر از آن کمتر است. بدین ترتیب از بتن ساده، در مواردی که مصالح تحت کشش قرار می‌گیرند، نمی‌توان استفاده کرد. در مقابل بتن، فولاد جسمی‌است که مقاومت کششی آن عالی است. بنابراین در قسمت‌هایی از بتن که تحت کشش قرار می‌گیرد میله‌های فولادی کار می‌گذارند و بدین‌ترتیب ضعف آن را در برابر کشش برطرف می‌کنند.

معمولاً قسمت‌هایی از سازه را که تحت خمش واقع می‌شود از بتن مسلح می‌سازند زیرا به‌طوری که می‌دانیم، تیرها تحت دو تنش مختلف کششی و فشارشی واقع می‌شوند. مثلاً هرگاه مطابق شکل ۶ــ۶ تیری را که تحت خمش قرار گرفته است مطالعه کنیم، مشاهده خواهیم کرد که قسمت‌هایی از تیر که در بالای محور آن موسوم به لایه خنثی قرار گرفته تحت فشارش و قسمت‌های زیر آن تحت کشش واقع شده است. از آنجا که مقاومت کششی بتن کم است، لذا اگر تیر به همین نحو تحت خمش قرار گیرد، بزودی در قسمت کشش آن ترک‌هایی تولید می‌شود و این ترکها به‌سرعت توسعه می‌یابد و بالاخره سبب خرد شدن تیر می‌شود. اما اگر مطابق شکل، در قسمت کشش آن میله‌های فولادی قرار دهیم، این میله‌ها تنش‌های کششی را متحمل می‌شوند و بنابراین تیر در برابر خمش مقاومت خواهد کرد.

علت انتخاب فولاد برای تقویت کردن مقاومت کششی بتن آن است که بتن به خوبی به‌میله‌های فولادی می‌چسبد و با آن جسم یکپارچه ای را تشکیل می‌دهد. بنابراین، تغییرشکل این هر دو جسم

۱ــ Reinforced concrete




**شکل ۶ــ۶ــ تیر بتنی تحت تنش [۲۹]**

یکسان خواهد بود. ضریب انبساط حرارتی هر دو جسم نیز تقریباً یکسان است و این امر نیز از جمله امتیازات فولاد برای تهیه بتن مسلح به‌شمار می‌آید. از سوی دیگر، بتن نه تنها هیچ‌گونه اثر سویی بر فولاد ندارد بلکه آن را در برابر خوردگی نیز محافظت می‌کند. جمع این مشخصات سبب می‌شود که بتن مسلح به‌صورت یکی از مهمترین و بهترین مصالح ساختمانی به‌شمار آید.

**۶ــ۹ــ۱ــ انواع بتن مسلح:** به‌طورکلی انواع بتن مسلح را به سه دسته اصلی زیر تقسیم می‌کنند :

***الف ــ بتن مسلح معمولی:*** که شرح آن گذشت.

***ب ــ بتن مسلح پیش ساخته***[1]**:** بتن پیش ساخته قطعات بتنی است که معمولا از بتن مسلح و گاهی هم از بتن معمولی به ابعاد و اشکال مختلف ساخته می‌شود.

***ج ــ بتن مسلح پیش تنیده***[2]**:** فلسفه وجودی این نوع بتن به شرح زیر است :

در بتن‌های مسلح معمولی، با کار گذاشتن میله‌های فولادی در قسمت کششی بتن، تحمل آن را در برابر این تنش‌ها افزایش می‌دهند. اما این روش، از بروز تَرَک در قسمت کششی بتن جلوگیری نمی‌کند زیرا قابلیت کشش بتن بیش از ۱ الی ۲ میلیمتر در هر متر نیست در صورتی که این ویژگی فولاد، چندین برابر زیادتر است و همین امر سبب می‌شود که خیلی زود در آن قسمت از بتن که تحت کشش واقع شده است، ترک به وجود آید. وجود این ترک‌ها کاهش کیفیت بتن را در پی دارد زیرا این ترکها از سویی میزان خمش تیرها را افزایش می‌دهند و از سوی دیگر باعث می‌شوند که گازها و رطوبت به داخل بتن نفوذ کند و سبب خوردگی میله‌های فولادی شود.

با توجه به آنچه که گفته شد، باید ترتیبی اتخاذ کرد که از بروز ترک در بتن مسلح جلوگیری شود و این هدف با پیش تنیده کردن (پیش فشرده کردن ) بتن حاصل می‌شود. برای تهیه بتن پیش تنیده، در

---

۱ــ Prefabricated

۲ــ Prestressed reinforced concrete

قسمت کششی بتن، تعدادی میله‌های فولادی که به حالت کشش قرار دارند، نصب و آنگاه بتن را تهیه می‌کنند. پس از اینکه بتن سخت شد، میله‌ها را از حالت کششی آزاد می‌کنند و چون میله‌ها تمایل به‌برگشت به‌حالت اولیه دارند، بنابراین بتن را تحت فشارش قرار می‌دهند. بدین‌ترتیب، قسمت کششی بتن، قبل از بارگذاری تحت فشارش است و پس از اینکه تحت بار واقع شد، کشش حاصله از موقعیت جدید و فشارش قبلی خنثی می‌شود و این قسمت از بتن تقریباً بدون تنش باقی می‌ماند و در آن ترک به‌وجود نمی‌آید.

در نوع دیگری از بتن پیش تنیده، در ابتدا تعدادی سوراخ سرتاسری در قسمت کششی بتن احداث و بتن را تهیه می‌کنند. پس از سخت شدن بتن، در این سوراخها میله‌های فولادی نصب می‌کنند و آنها را تحت کشش قرار می‌دهند و بدین‌ترتیب بتن پیش تنیده به‌دست می‌آورند.

**۶ــ۹ــ۲ــ حمل و نقل و انبارکردن قطعات بتن مسلح:** گرچه قطعات بتن مسلح از نظر مقاومت قابل توجه‌اند، اما در عین حال بسیار شکننده‌اند و بنابراین انبار کردن و حمل و نقل آنها بایستی با احتیاط کامل انجام گیرد.

قطعات بتن را باید در انبار به‌طور منظم و در ردیف‌های معین چید. معمولاً در زیر این قطعات الوارهای تخته‌ای قرار می‌دهند.

به هنگام حمل و نقل قطعات در داخل کامیونها و یا واگونها بایستی آنها را به‌گونه‌ای قرار داد که محور بزرگشان به موازات جهت حرکت قرار گیرد تا از سقوط آن ضمن حمل و نقل جلوگیری شود.

## ۶ــ۱۰ــ چوب

چوب یکی از مهمترین مصالحی است که برای نگهداری حفریات معدنی مختلف به کار می‌رود. مقاومت خوب، وزن مخصوص کم و عمر طولانی آن سبب شده است که بتوان آن‌را در تمام قسمت‌های معدن به‌کار برد.

در مقابل این امتیازات، می‌توان مشخصاتی از چوب نظیر متفاوت بودن مقاومت آن در امتدادهای مختلف، قابلیت جذب و تبخیر آب و در نتیجه انبساط و انقباض آن، پوسیدن و تغییرات وسیع مقاومت انواع مختلف و حتی یک نوع آن‌را، به‌عنوان معایب چوب ذکر کرد.

**۶ــ۱۰ــ۱ــ انواع چوب‌های معدنی:** از جمله متداول‌ترین چوب‌هایی که در سیستم نگهداری معادن به‌کار می‌رود، می‌توان چوب‌های کاج، صنوبر، بلوط، شاه بلوط و سایر درختان جنگلی را نام برد. به‌طورکلی تمام چوب‌هایی را که به اندازه کافی مقاوم و در برابر رطوبت داخل معدن پایدارند،

می‌توان در معدن به‌کار برد.

متداول‌ترین چوبهایی که در معادن به کار می‌رود چوب کاج و بلوط است منتهی کاج از بلوط ضعیف‌تر و قیمت آن نیز ارزان‌تر است. بدین‌جهت، برای نگهداری حفریات معدنی، که برای مدت زمان کوتاه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، از کاج و برای نگهداری حفریات دایم، از بلوط استفاده می‌کنند. پایداری انواع چوب در شرایط آب و هوایی مختلف نیز متفاوت است و بدیهی است که این مصالح در قسمت‌هایی از معدن که هوای تمیزی دارد، مدت زیادتری دوام خواهند آورد. مثلاً دوام چوب کاج در هوای خوب حدود ۵ سال است در صورتی که در قسمت‌هایی از معدن که هوای کثیف و مرطوب دارد، بیش از یکسال دوام نمی‌آورد [۲۹].

باید توجه داشت که حتی در مواردی که از چوب واحدی استفاده می‌شود، بسته به محل کاربرد آن، نیروهای مجاز آن متفاوت است. مثلاً از آنجا که چوب خشک نسبت به چوب مرطوب مقاومت زیادتری دارد، لذا نیروهای مجاز چوب در شرایط خشک و مرطوب با یکدیگر متفاوت است.

**۶ــ۱۰ــ۲ــ شکل و ابعاد چوبهای معدنی:** چوب را معمولاً به‌حالت طبیعی و به‌صورت استوانه به‌کار می‌برند. گاهی نیز آن را به‌صورت تخته درمی‌آورند. بسته به ابعاد و محل مصرف، چوب به اسامی‌مختلف نامیده می‌شود. ازجمله این اسامی‌می‌توان ستون، کلاهک و دستک را ذکر کرد. بسته به ابعاد حفریات معدنی، طول استوانه‌های چوب متفاوت است و قطر آن بین ۶ تا ۳۰ سانتیمتر تغییر می‌کند.

چوبهای نازک که به نام لارده موسوم است، برای پرکردن فضای بین وسیله نگهداری و دیواره کار معدنی مصرف می‌شود.

از آنجا که چوبهای معدنی ایران بیشتر از استانهای گیلان و مازندران تأمین می‌شود، لذا در بسیاری موارد این چوبها به نامهای محلی خوانده می‌شوند. مثلاً چوبهای کوتاهی را که در کارگاه استخراج به‌کار می‌رود، به نام «گِرده قوزی» می‌نامند و آن دسته از چوبهای کوتاه و ضخیم، که بیشتر برای تهیه تخته‌های معدنی مصرف می‌شوند، «گرده کاتین» نام دارند.

**۶ــ۱۰ــ۳ــ مشخصات فیزیکی و مکانیکی چوب:** مهمترین مشخصات فیزیکی و مکانیکی چوب به شرح زیر است :

***الف ــ رطوبت:*** یکی از مهمترین عوامل مؤثر در مشخصات چوب، میزان رطوبت آن است. برای تعیین میزان رطوبت چوب، نمونه‌ای از آن را وزن ($G_1$) و آنگاه آن را به دقت خشک کرده و مجدداً وزن می‌کنند ($G_2$). درصد رطوبت چوب (W) از رابطه زیر حاصل می‌شود :

$$W = \frac{G_1 \cdot G_2}{G_2} \times 100 \qquad (۱۰ـ۶)$$

درصد رطوبت چوب در شرایط معمولی حدود ۱۵ درصد است و در مورد چوبهای اشباع شده به ۲۳ درصد هم می‌رسد.

***ب ــ ازدیاد و کاهش حجم چوب:*** بعد از اینکه مدتی از بریده شدن چوب گذشت، مقداری از آب آن تبخیر می‌شود و بدین‌ترتیب، حجم آن کاهش می‌یابد. در حالت عکس، یعنی هنگامی‌که چوب در محیط مرطوب قرار گیرد و آب جذب کند حجم آن اضافه می‌شود.

باید توجه داشت، که چون چوب جسمی ناهمگن و ناهم‌سانگرد است، لذا این انقباض و انبساط در تمام جهات یکسان نیست و تغییر ابعاد چوب در جهات مختلف متفاوت است.

***ج ــ وزن مخصوص:*** وزن مخصوص حقیقی چوبها، یعنی وزن مخصوص آنها بدون درنظر گرفتن فضای خالی، معمولاً از یک بیشتر و به‌طور متوسط ۱/۵۵ گرم بر سانتیمترمکعب است. اما وزن مخصوص ظاهری آنها، در بسیاری موارد کمتر از یک گرم بر سانتیمتر مکعب است.

وزن مخصوص ظاهری چوب (که این وزن مخصوص از نظر کاربرد آن در مصارف صنعتی مختلف اهمیت دارد) تابع وزن مخصوص حقیقی، درصد فضای خالی و مقدار رطوبت آن است.

***د ــ مقاومت فشارشی:*** معمولاً مقاومت فشارشی چوب در دو جهت مختلف، یکی به موازات الیاف و دیگری عمود بر آن، اندازه‌گیری می‌شود. در مواردی که از چوب به عنوان ستون استفاده می‌شود، مقاومت فشارشی آن در امتداد الیاف مهم است، در صورتی که برای استفاده از جرزهای چوبی، مقاومت آن در جهت دیگر اهمیت دارد. مقاومت فشارشی چوب تابع جنس چوب، وزن مخصوص و میزان رطوبت آن است و در مورد چوبهای مختلف بین ۳۵۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع تغییر می‌کند و به‌طور متوسط می‌توان آن را ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع درنظر گرفت (مقاومت در امتداد موازی با الیاف).

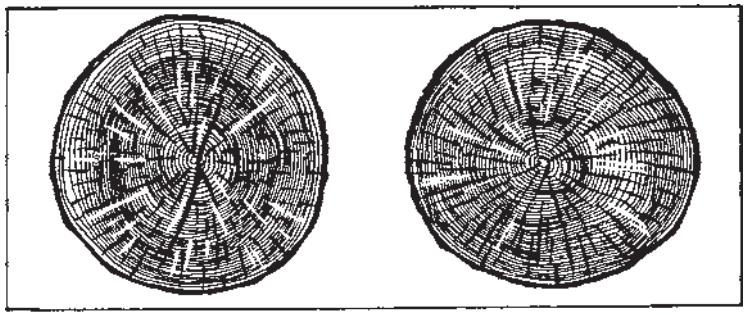
برای تعیین مقاومت فشارشی چوب، نمونه‌ای از آن را به‌وسیله پرس‌های مخصوص تحت فشارش قرار می‌دهند و نیرو را آنقدر زیاد می‌کنند که به شکستن نمونه منتهی شود. از تقسیم نیرو بر سطح نمونه، مقاومت فشارشی چوب به‌دست می‌آید.

***هـ ــ مقاومت کششی:*** معمولاً مقاومت کششی چوب در امتداد الیاف آن اندازه‌گیری می‌شود و برای این‌کار، نمونه‌ای از آن را انتخاب می‌کنند و تحت کشش قرار می‌دهند.

مقاومت کششی چوبهای مختلف در امتداد الیاف آن بین ۸۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع و در امتداد عمود بر الیاف آن، بین ۱۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع در تغییر است.

**۶ــ۱۰ــ۴ــ عیب‌های چوب:** مهمترین عیب‌های چوب به شرح زیر است :

***الف ــ ترکهای چوب:*** یکی از متداولترین عیوبی که در چوب‌ها دیده می‌شود، ترک‌های موجود در آن است (شکل ۶ــ۷). این ترکها را نه‌تنها در چوب، بلکه در بعضی موارد در درخت زنده نیز می‌توان مشاهده کرد. در بسیاری موارد ترکها نتیجه خشک شدن غیریکنواخت چوب است و در هر صورت از مقاومت آن می‌کاهد.



**شکل ۶ــ۷ــ ترک‌های چوب [۲۹]**

***ب ــ گره‌ها:*** محل اتصال شاخه‌ها به تنه یا شاخه‌های فرعی به شاخه‌های اصلی به نام گره خوانده می‌شود. وجود گره سبب ناهمگن شدن ساختمان چوب و خم شدن الیاف چوب در حوالی آن می‌شود و در نتیجه مقاومت چوب، بخصوص مقاومت کششی آن را کاهش می‌دهد.

میزان کاهش مقاومت چوب از این بابت، به تعداد، موقعیت و اندازه گره‌ها بستگی دارد و در پاره‌ای حالات سبب می‌شود که مقاومت چوب چندین برابر کم شود.

***ج ــ پوسیدن چوب:*** یکی از بزرگترین عیوب چوب، پوسیدن آن است که معمولاً در نتیجه تأثیر قارچها انجام می‌گیرد. چوبی که مورد هجوم قارچ‌ها قرار گیرد، وزن، ابعاد و مقاومت خود را از دست می‌دهد.

برای رشد قارچهایی که سبب پوسیدن چوب می‌شود، وجود اکسیژن، رطوبت و دمای مناسب ضروری است و اگر میزان رطوبت چوب کمتر از ۲۰٪ باشد، معمولاً فاسد نمی‌شود.

بعضی از قارچها در مجاورت درختان زنده وجود دارند، عده‌ای فقط در محیط چوبهای خشک زندگی می‌کنند، بالاخره برخی از آنها در هر دو محیط یادشده می‌توانند رشد یابند. به همین جهت در بسیاری موارد، قارچهایی که به هنگام زندگی درخت همراه آن بوده‌اند، وقتی که درخت بریده و تبدیل به چوب می‌شود نیز همچنان به رشد خود ادامه می‌دهند و موجب فساد چوب می‌شوند.

***د ــ تأثیر حشرات:*** در بسیاری موارد حشرات مختلف، چوب را سوراخ می‌کنند و سوراخهای متعددی در آن به‌وجود می‌آورند. وجود سوراخهای ناشی از فعالیت حشرات نیز سبب کاهش مقاومت و ارزش چوب می‌شود.

**۶ــ۱۰ــ۵ــ محافظت چوب:** مهمترین اشکالی که در مورد چوب وجود دارد پوسیدن آن است. برای اینکه دوام چوب از این بابت زیادتر شود، سعی می‌کنند که هوای معدن با انجام تهویه مناسب بهتر و از نفوذ آب به چوب جلوگیری شود زیرا به طوری که گفتیم، اگر میزان رطوبت چوب کمتر از ۲۰٪ باشد، چوب فاسد نمی‌شود. بدیهی است جلوگیری از جذب آب به وسیله چوب در محیط معدن، که معمولا مرطوب است و آب فراوانی وجود دارد، چندان ساده نیست و بنابراین برای جلوگیری از فساد چوب بایستی تمهیدات دیگری را به کار برد.

متداولترین روشی که برای این منظور وجود دارد، ضدعفونی کردن چوب به کمک مواد مختلف است که جزییات آن در درس کارگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**۶ــ۱۰ــ۶ــ حفاظت چوب در برابر آتش:** یکی از بزرگترین عیوب چوب آن است که به‌آسانی در برابر شعله می‌سوزد و سبب سرایت و توسعه آتش می‌شود. برای رفع این عیب، روش‌های مختلفی وجود دارد که در زیر به اختصار به شرح آنها می‌پردازیم :

***الف ــ پوشش چوب با مواد عایق حرارت:*** برای این منظور، مخلوطی از مواد عایق حرارتی تهیه می‌کنند و چوب را با آن می‌پوشانند. این مخلوط، از ترکیب موادی نظیر ماسه کوارتزی، چاک و منیزیت با آب شیشه (سیلیکات سدیم) به‌دست می‌آید.

***ب ــ پوشش با مواد ضدآتش:*** برای این منظور، روی چوب را به کمک برس‌های نقاشی با قشری از رنگ‌های ضدآتش می‌پوشانند.

***ج ــ ضدآتش کردن چوب به طریقه اشباع:*** در این طریقه، محلولی از مواد عایق کننده حرارت، نظیر آمونیوم فسفات، آمونیوم سولفات و... را تهیه و چوب را در آن اشباع می‌کنند.

**۶ــ۱۰ــ۷ــ انبارکردن چوب:** معمولاً چوب را از سایر نقاط کشور و یا کشورهای دیگر به‌محل معدن حمل می‌کنند. مثلاً قسمتی از چوبهای موردنیاز معادن زغال سنگ کرمان از جنگل‌های شمال و مقداری از آن از کشور روسیه وارد می‌شود، بنابراین همواره بایستی مقداری چوب درحوالی معدن به‌صورت ذخیره موجود باشد.

در مواردی که انبارهای سقف دار موجود باشد، بهتر است چوب را در این انبارها نگهداری کرد ولی معمولاً در معادن، انبار سرپوشیده برای چوب وجود ندارد و آنها را در انبارهای روباز

نگهداری می‌کنند.

چوب‌ها را بایستی به‌طریقی در انبار نگهداشت که همواره بتوان از قدیمی‌ترین چوبهای موجود استفاده کرد. از آنجا که چوب، جسمی قابل اشتعال است لذا در اطراف انبار چوب بایستی از آتش‌افروزی خودداری کرد و وسایل آتش نشانی کافی را در محل مهیا ساخت.

## ۶ــ۱۱ــ فولاد

فولاد یکی از مهمترین مصالحی است که به شکل‌های مختلف مثل تیرآهن، قابهای فلزی، پیچ و مهره و اشکال دیگر، برای نگهداری حفریات معدنی به کار می‌رود.

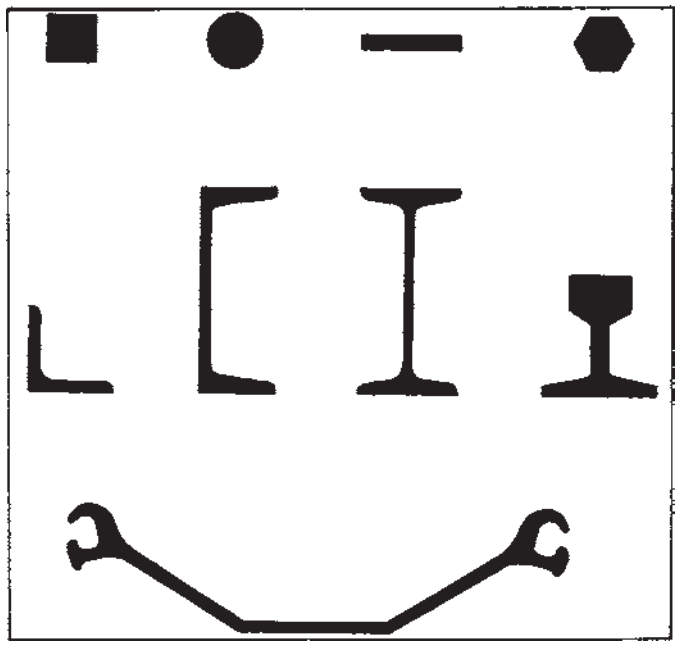
بسته به میزان کربن فولاد، آن را به انواع زیر تقسیم می‌کنند :

الف ــ فولاد کم کربن یا فولاد نرم که کربن آنها ۰/۰۹ تا ۰/۲۵ درصد است.

ب ــ فولاد متوسط با میزان کربن ۰/۲۵ تا ۰/۵۵ درصد.

ج ــ فولاد با کربن زیاد یا فولاد خشکه که بین ۰/۶ تا ۱/۲ درصد کربن دارد.

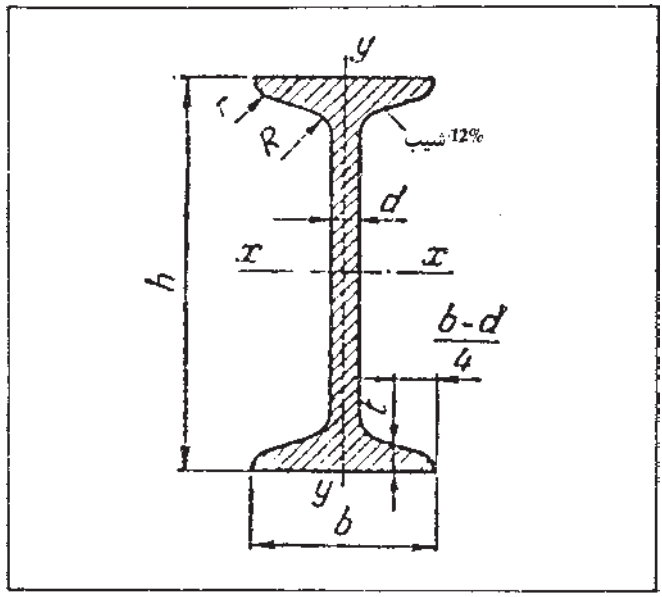
**۶ــ۱۱ــ۱ــ نیمرخ‌های مختلف فولاد:** فولاد به شکلهای مختلف، که به‌نام نیمرخ‌های فولادی مختلف معروفند، به بازار عرضه می‌شود و متداولترین آنها درشکل ۶ــ۸ نشان داده شده است.



**شکل ۶ــ۸ــ نیمرخ‌های مختلف فولاد [۳۰]**

نیمرخ‌های معمولی به‌نام نیمرخ I یا تیرآهن، نیمرخ U یا ناودانی، نبشی، سپری، ورق، تسمه و میله خوانده می‌شوند. طول شاخه نیمرخ‌های مختلف فولادی معمولاً ۶ متر است. در زیر به شرح مختصر نیمرخ‌های فولادی می‌پردازیم.

**۶ــ۱۱ــ۲ــ نیمرخ I یا تیرآهن:** این نیمرخ از جمله متداول‌ترین نیمرخ‌های فولادی است (شکل ۶ــ۹). تیرآهن‌ها را با شماره‌ای که معرف ارتفاع نیمرخ آن (h) حسب سانتیمتر است، مشخص می‌کنند. مثلاً تیرآهن نمره ۱۴ تیرآهنی است که ارتفاع نیمرخ آن برابر ۱۴ سانتیمتر است. قسمت‌های بالا و پایین تیرآهن به نام بال و قسمت میانی آن به نام جان تیر خوانده می‌شود.




**شکل ۶ــ۹ــ نیمرخ I یا تیرآهن [۳۱]**

معروفترین نیمرخ‌های I به شرح زیر است :

***الف ــ نیمرخ معمولی یا INP:*** این نیمرخ برای تحمل خمش مناسب و سبک است. نیمرخ معمولی در شماره‌های ۸ تا ۶۰ ساخته می‌شود.

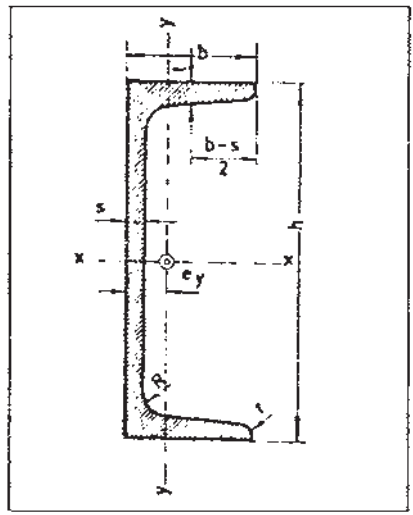
***ب ــ نیمرخ IPE:*** این نیمرخ نسبت به نیمرخ معمولی دارای بالهای پهن تر و از آن مناسب‌تر است.

***ج ــ نیمرخ بال پهن IPB:*** این نیمرخ، همان‌طوری که از نامش پیداست، دارای بالهای پهن‌تر

و برای قطعات فشاری مناسب است. نیمرخ بال پهن را در شماره‌های ۱۰ تا ۱۰۰ می‌سازند.

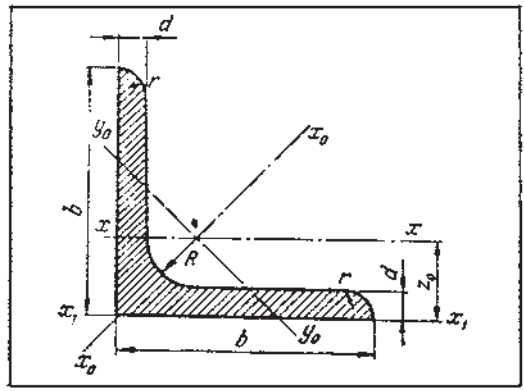
**د ــ *نیمرخ ذوب آهن اصفهان IPA:*** این نیمرخ که ساخت کارخانه ذوب آهن اصفهان است معمولاً در شماره‌های ۱۰ تا ۳۰ ساخته می‌شود.

**۶ــ۱۱ــ۳ــ نیمرخ U یا ناودانی:** این نیمرخ به شکل U است و معمولاً با ارتفاع دهانه آن (h در شکل ۶ــ۱۰) مشخص می‌شود. نیمرخ U تا ارتفاع ۴۰ سانتیمتر ساخته می‌شود و در صنعت آن را به‌صورت UNP نشان می‌دهند.




شکل ۶ــ۱۰ــ ناودانی [۳۱]

**۶ــ۱۱ــ۴ــ نیمرخ نبشی یا L:** نبشی نیز ازجمله دیگر نیمرخ‌هایی است که در قسمت‌های مختلف به کار می‌رود (شکل ۶ــ۱۱).




شکل ۶ــ۱۱ــ نبشی [۳۱]

نبشی با ارتفاع بال و ضخامت جان مشخص می‌شود. در بعضی از انواع نبشی، طول هر دو بال مساوی و در انواع دیگر، مختلف است. برای نشان دادن مشخصات نبشی از فرم $LX \times Y \times Z$ استفاده می‌کنند که در آن X و Y ارتفاع بالها و Z ضخامت جان است.

**۶ــ۱۱ــ۵ــ نیمرخ سپری یا T:** این نیمرخ که در ایران به نام نبشی سه پهلو نیز خوانده می‌شود، به شکل T است (شکل ۶ــ۱۲). سپری را معمولاً در دو نوع می‌سازند : در نوع اول آن، قاعده دوبرابر ارتفاع است (شکل ۶ــ۱۲ــ الف ) و در نوع دیگر، ارتفاع و قاعده با یکدیگر مساوی‌اند (شکل ۶ــ۱۲ــ ب).

شکل ۶ــ۱۲ــ نیمرخ سپری [۳۰]

**۶ــ۱۱ــ۶ــ ورق و تسمه:** ورق عبارت از صفحات فولادی است که معمولاً در سه استاندارد ۲×۱، ۳×۱/۵ و ۶×۱/۶ متر ساخته می‌شوند. ضخامت ورق‌های مختلف نیز متفاوت است و بین چند میلیمتر تا چندین میلیمتر تغییر می‌کند.

ورق‌هایی را که عرضشان کمتر از ۱۶ سانتیمتر است به نام تسمه می‌خوانند. ابعاد مقطع تسمه‌ها ۵×۱۰ تا ۶۰×۱۵۰ میلیمتر و طولشان معمولاً ۶ متر است.

**۶ــ۱۱ــ۷ــ میله‌های فولادی:** میله‌های فولادی را به شکلهای مختلف (مربع، شش گوش، دایره و...) و به‌صورت ساده یا آج‌دار می‌سازند. میله‌های با مقطع گرد به قطر ۵ تا ۲۲۰ میلیمتر، نیمرخهای چهارگوش به ضلع ۶×۶ تا ۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر و مقاطع شش ضلعی به ابعاد ۱۳ تا ۱۰۳ میلیمتر ساخته می‌شود.

# فصل هفتم

# نگهداری در تونل‌ها

## ۷ــ۱ــ آشنایی

در این فصل روش‌های مختلف نگهداری در تونل‌ها را بررسی می‌کنیم. باید توجه داشت که مقصود از تونل در این فصل، معنی عام آن است و بدین‌ترتیب نگهداری دویل، میان‌بر و تونل‌های مورب نیز در این فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۷ــ۲ــ لق‌گیری

پس از خاتمه آتشباری و قبل از نصب سیستم نگهداری، باید قطعات سنگهای معلق و ناپایدار را از سقف و دیواره‌های تونل جدا کرد تا به هنگام نصب سیستم نگهداری، اشکالی به‌وجود نیاید. بدین‌ترتیب همواره در پیشاپیش گروه نگهداری، باید افراد ماهری که مسئولیت لق‌گیری را به‌عهده دارند، این عمل را انجام دهند. متأسفانه به‌علت عدم توجه به این نکته، سوانح بسیاری رخ داده است که در صورت توجه لازم، به آسانی می‌شد از بروز آنها جلوگیری کرد.

بسته به نوع سنگهای معلق و ناپایدار، لق گیری ممکن است به وسیله چکش دستی و یا با استفاده از چکشهای مکانیکی (پیکور) انجام گیرد. آنچه در این مورد مهم است، تجربه کافی گروه لق‌گیری و مجهز بودن آنها به کلاه و پوتین‌های مخصوص با زره فلزی است که در صورت سقوط سنگ، آنها را محافظت کند.

تجهیزات ایمنی مربوط به این افراد، نیز سایر تجهیزات ایمنی، در درس خدمات فنی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۷ــ۳ــ نگهداری به‌وسیله چوب

به طورکلی نگهداری تونل به وسیله چوب، که به نام چوب بندی یا چوب بست معروف است، فقط در مواردی که تونل برای مدت زیاد مورد بهره برداری نباشد انجام می‌گیرد.

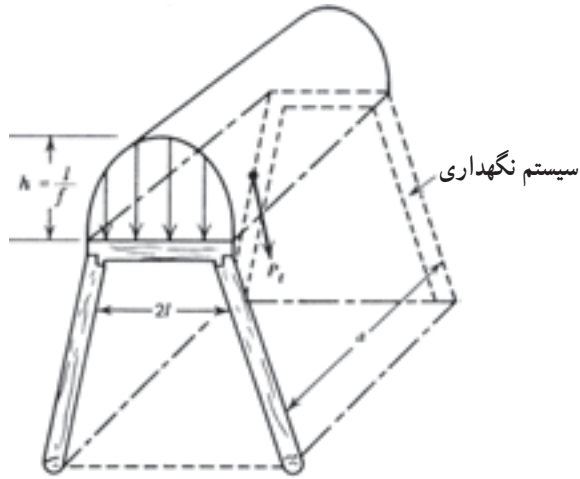
از آنجا که ابعاد چوبها محدود است، لذا چوب بست تنها در تونل‌هایی به کار می‌رود که سطح

مقطعشان کمتر از ۹ مترمربع باشد.

چوب بست را بعد از برداشتن مواد کنده شده در اثر آتشباری، و نیز لق‌گیری جبهه کار، نصب می‌کنند.

به هنگام انتخاب و نصب چوب بست، نه تنها بایستی میزان فشارهای وارده را درنظر داشت بلکه جهت این فشارها را نیز بایستی مورد توجه قرار داد.

البته طراحی سیستم نگهداری موضوع این کتاب نیست ولی به‌طور ساده اشاره می‌کنیم که در هر مورد، از آن جمله نگهداری به‌وسیله چوب، ابتدا باید نیروهای وارده بر بخشهای مختلف یک سیستم نگهداری را برآورد کرد و براساس آن، ابعاد چوب‌ها را به گونه‌ای درنظر گرفت که در برابر نیروهای وارده مقاومت لازم را داشته باشد. به عنوان مثال، در شکل ۷ــ۱، بارهای وارد بر قسمت‌های مختلف یک قاب چوبی در تونل نشان داده شده است.




شکل ۷ــ۱ــ برآورد بارهای وارد بر قاب چوبی [۳۴]

مطابق شکل، بار وارده بر قاب از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۳۴] :

$$P_t = \frac{۴}{۳} Lha\gamma \qquad (۷ــ۱)$$

که در آن :

$P_t$ = بار وارده بر قاب بر حسب تن

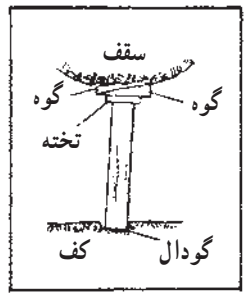
a = فاصله بین قابهای متوالی برحسب متر

L = نصف دهنه بالایی قاب برحسب متر

$\gamma$ = وزن مخصوص سنگهای بالای تونل برحسب تن بر مترمکعب

**۷ــ۳ــ۱ــ روش‌های چوب بندی:** بسته به موقعیت تونل، می‌توان آن را به‌وسیله یک، دو، سه یا چهار قطعه چوب نگهداری کرد.

***الف ــ نگهداری به‌وسیله یک چوب:*** در این روش، فقط یک چوب، که به‌نام پایه یا شمع نامیده می‌شود، برای نگهداری به‌کار می‌رود (شکل ۷ــ۲).

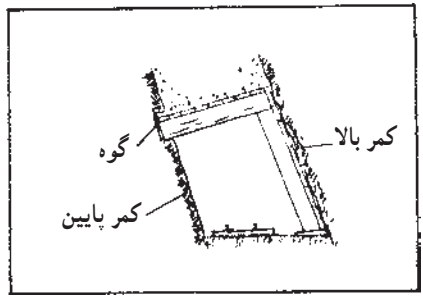



**شکل ۷ــ۲ــ نگهداری به وسیله یک چوب [۱]**

برای نصب شمع، ابتدا یک گودال کوچک در کف تونل احداث می‌کنند و پایه را در آن قرار می‌دهند. سپس یک قطعه تخته در بالای پایه قرار می‌دهند و آنگاه به وسیله یک یا چند گوه چوبی آن را محکم می‌کنند. قرار دادن تخته در بالای شمع به این علت است که فشار به طور یکنواخت به تمام مقطع آن منتقل شود.

طول شمع به ارتفاع تونل بستگی دارد و در هر مورد نسبت طول به قطر آن بایستی در حدی باشد که از خطر کمانه کردن محفوظ بماند.

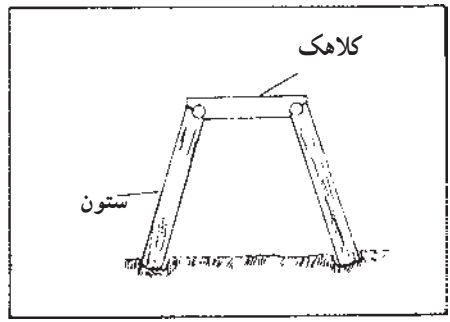
***ب ــ نگهداری به‌وسیله دو قطعه چوب:*** روش چوب‌بندی با دو قطعه چوب در شکل ۷ــ۳ نشان داده شده است.




**شکل ۷ــ۳ــ نگهداری به وسیله دو قطعه چوب [۱]**

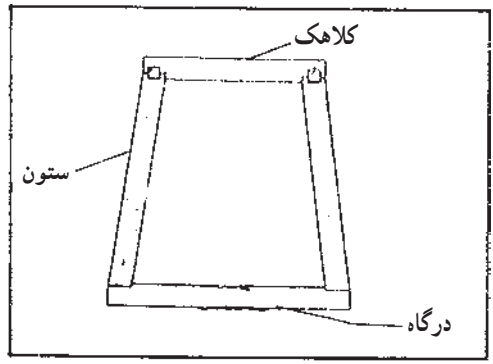
قطعه بالایی به‌نام کلاهک و قطعه پایینی به‌نام ستون نامیده می‌شود.

***ج ــ نگهداری به‌وسیله سه قطعه چوب:*** در این روش، که معمولی ترین روش چوب بندی در تونل‌هاست، برای نگهداری تونل از سه قطعه چوب استفاده می‌شود که این قطعات مطابق شکل ۷ــ۴ به نامهای مختلف نامیده می‌شوند. بسته به شکل مقطع تونل، شکل کلی چوب بست که به‌نام قاب معروف است، متفاوت و معمولاً به شکل مستطیل یا ذوزنقه است.




**شکل ۷ــ۴ــ نگهداری به وسیله سه قطعه چوب [۱]**

***د ــ نگهداری به‌وسیله چهار قطعه چوب:*** در مواردی که از کف تونل نیز فشار وارد شود و یا در حال آماس باشد، علاوه بر سه چوب یادشده، یک چوب نیز در قسمت پایین قاب نصب می کنند (شکل ۷ــ۵).



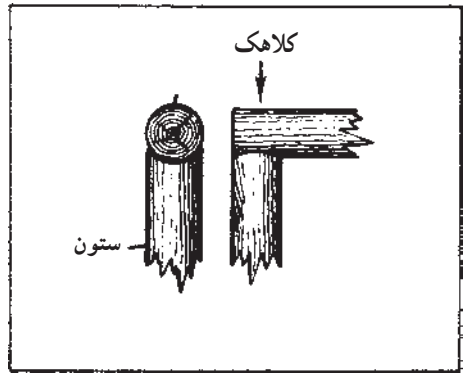

**شکل ۷ــ۵ــ نگهداری به وسیله چهار قطعه چوب [۱]**

**۷ــ۳ــ۲ــ نحوه نصب قابهای چوبی:** به‌طوری که گفتیم، معمولاً یک دست قاب چوبی از دو ستون و یک کلاهک تشکیل می‌شود. بعد از اینکه طول لازم برای ستونها و کلاهک انتخاب شد،

بایستی آنها را به هم متصل و در تونل نصب کرد.

اتصال ستون به کلاهک با استفاده از زبانه‌های مخصوص انجام می‌گیرد. اتصال، انواع مختلف دارد و بسته به‌حالت آن به اسامی زیر نامیده می‌شود :

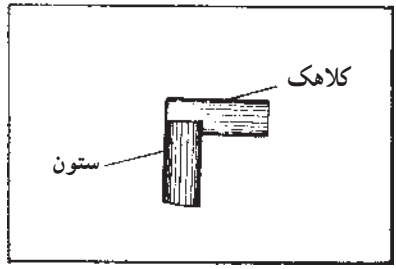
***الف ــ اتصال گلوگرگی:*** در این نوع اتصال، قسمت بالایی ستون را به حالت قوسی می‌برند و کلاهک را داخل گودی آن قرار می‌دهند (شکل ۷ــ۶).




**شکل ۷ــ۶ــ اتصال گلوگرگی [۳۲]**

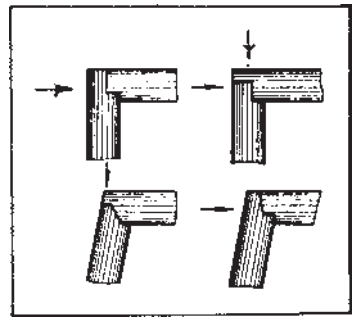
به هنگام اتصال ستون و کلاهک به روش گلوگرگی، باید توجه داشت که قوس ستون متناسب با قطر کلاهک باشد زیرا اگر قطر کلاهک بیشتر از قطر قوس ستون باشد، باعث ترکیدن ستون و درحالت عکس، باعث لقی قاب می‌شود.

***ب ــ اتصال ساده:*** در این اتصال، یک برش ساده در کلاهک ایجاد می‌کنند و آن‌را روی ستون قرار می‌دهند (شکل ۷ــ۷).




**شکل ۷ــ۷ــ اتصال ساده [۲]**

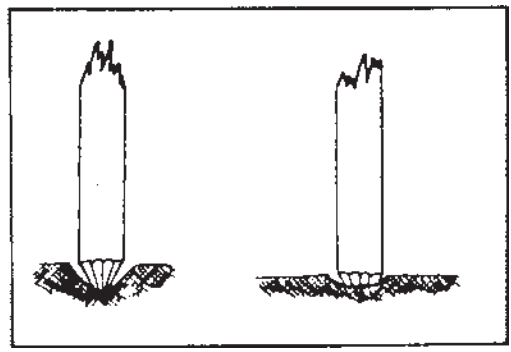
***ج ــ اتصال مضاعف:*** در این نوع اتصال، در هر یک از ستون و کلاهک‌ها، یک برش زبانه مانند ایجاد و آنها را به‌یکدیگر متصل می‌کنند (شکل ۷ــ۸).



شکل ۷ــ۸ــ اتصال مضاعف [۲]

زبانه‌ها بایستی به نحوی ایجاد شود که دو چوب، در تماس کامل با یکدیگر قرار گیرند. باید توجه داشت که هر یک از این اتصالات، برای تحمل فشارهای خاصی مناسب است. مثلاً اتصال گلوگرگی و ساده، در حالاتی به‌کار می‌رود که فشارهای وارده قایم باشند ولی در مواردی که فشارها هم دارای مؤلفه قائم و هم افقی‌اند، اتصال مضاعف مناسب‌تر است.

بعد از اینکه زبانه‌های لازم (بسته به نوع اتصال) در ستونها و کلاهک ایجاد شد، ابتدا دو گودی کوچک در کناره‌های تونل احداث می‌کنند و پایه‌ها را در آن قرار می‌دهند. در معادن ایران این گودی را فولیه می‌گویند. معمولاً انتهای پایه را کمی‌می‌تراشند و آنگاه آن را در داخل این گودی‌ها قرار می‌دهند (شکل ۷ــ۹). این عمل از شکسته شدن قاب در مواردی که فشار وارده زیاد شود، جلوگیری می‌کند، زیرا هرگاه فشار زیاد شود، پایه از این قسمت نشست کرده و بدین‌ترتیب، تاحدودی فشار وارده را خنثی می‌کند. در هر صورت، پس از قرار دادن پایه‌ها، کلاهک را نیز روی آن قرار می‌دهند.



شکل ۷ــ۹ــ نحوه نصب پایه‌ها [۲۲]

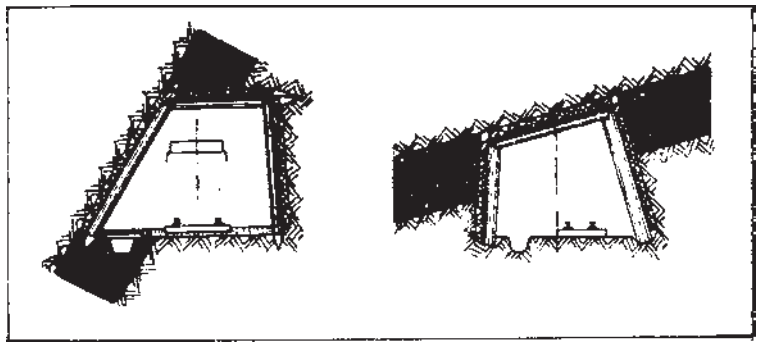
معمولاً در ابتدای کار، یک فضای خالی بین قاب و جدار داخلی تونل باقی می‌ماند که این قسمت را به‌وسیله چوبهای نازک موسوم به لارده پر می‌کنند. بعد از اینکه مدتی از نصب قابها گذشت، فشار وارده از طرف سنگها، به وسیله این لارده‌ها به‌طور یکنواخت به قاب وارد می‌شود.

بسته به نوع سنگهای تونل، فاصله بین دو قاب متوالی بین ۰/۵ تا ۲ متر تغییر می‌کند و معمولاً در حدود یک متر است. برای توزیع فشارهای وارده، فاصله قابهای متوالی را به‌وسیله لارده‌های چوبی پر می‌کنند.

در مواردی که فشار خیلی زیاد باشد، قابها را نزدیک به هم و حتی چسبیده به هم نصب می‌کنند زیرا فشار زیاد، ممکن است چوبها را بشکند.

**۷ــ۳ــ۳ــ چوب بست در تونل‌های دنباله‌رو:** درحالت کلی چوب بست در تونل‌های دنباله‌رو نیز مشابه تونل‌های معمولی است اما در بسیاری موارد شکل این تونل‌ها تابع ضخامت و شیب لایه یا رگه است و بنابراین بایستی شکلهای خاصی از چوب بست را برای نگهداری آن به‌کار برد.

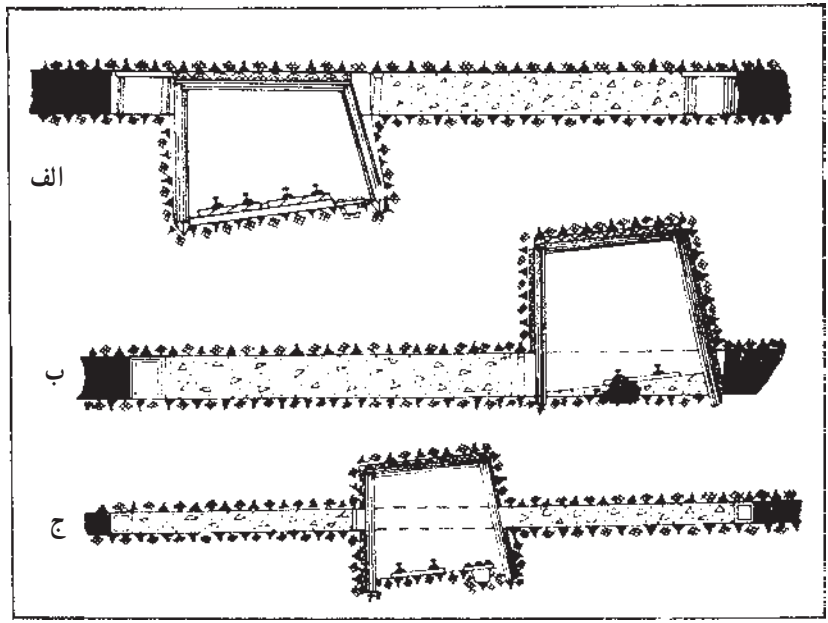
در مواردی که شیب لایه یا رگه زیاد نباشد، می‌توان تونل را مطابق شکل ۷ــ۱۰ چوب‌بست کرد.



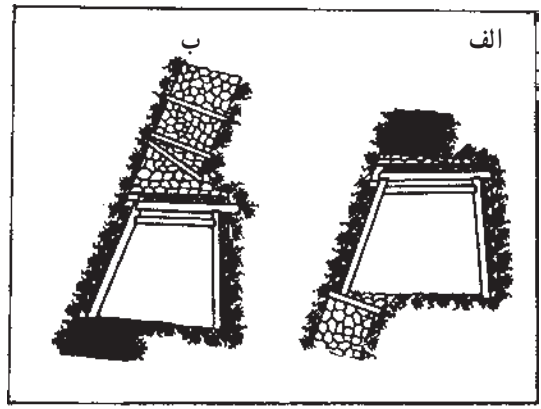
**شکل ۷ــ۱۰ــ چوب بست در تونل دنباله رو [۳]**

در شکل ۷ــ۱۱ نیز روش‌های دیگری برای چوب بست تونل‌های دنباله‌رو با شیب کم نشان داده شده است.

در مواردی که شیب لایه زیاد باشد، بسته به اینکه قسمت بالا یا پایین لایه برای استخراج استفاده شود، آن را مطابق شکل ۷ــ۱۲ چوب‌بست می‌کنند.

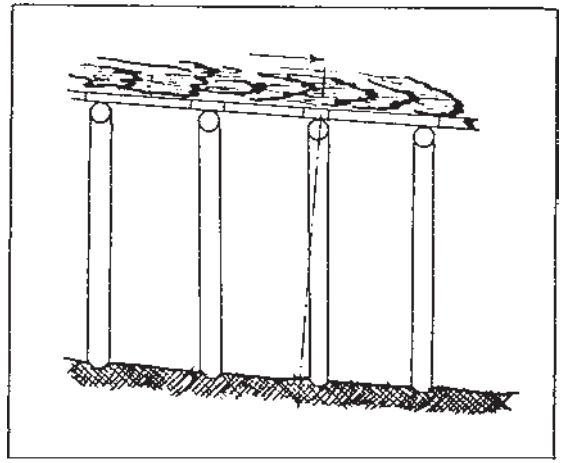



**شکل ۷ــ۱۱ــ چوب بست در تونلهای دنباله رو [۳]**




**شکل ۷ــ۱۲ــ چوب بست در تونلهای دنباله رو لایه‌های پرشیب [۳]**

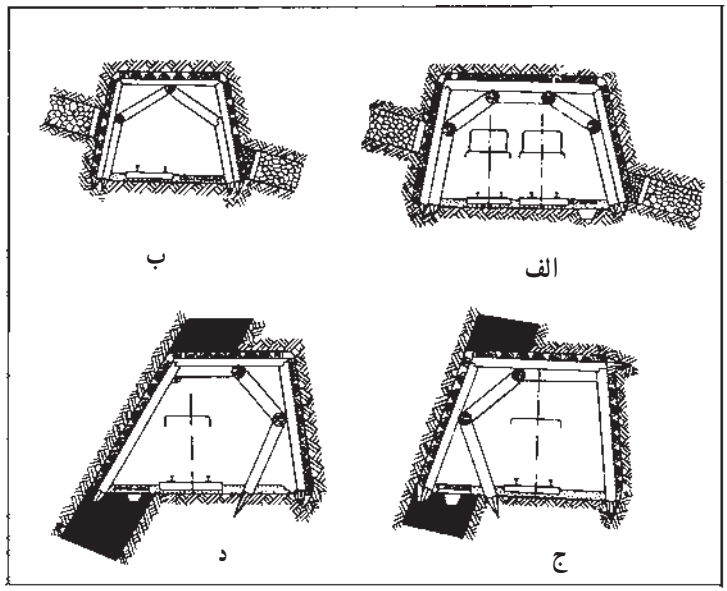
**۷ــ۳ــ۴ــ چوب بست در تونل‌های مورب:** چوب‌بست در تونل‌های شیب‌دار نیز مشابه سایر تونل‌هاست، منتها در این نوع تونل‌ها، سطح قاب عمود بر خط بزرگترین شیب تونل نصب می‌شود (شکل ۷ــ۱۳).



شکل ۷ــ۱۳ــ چوب بست در تونل‌های مورب [۲۲]

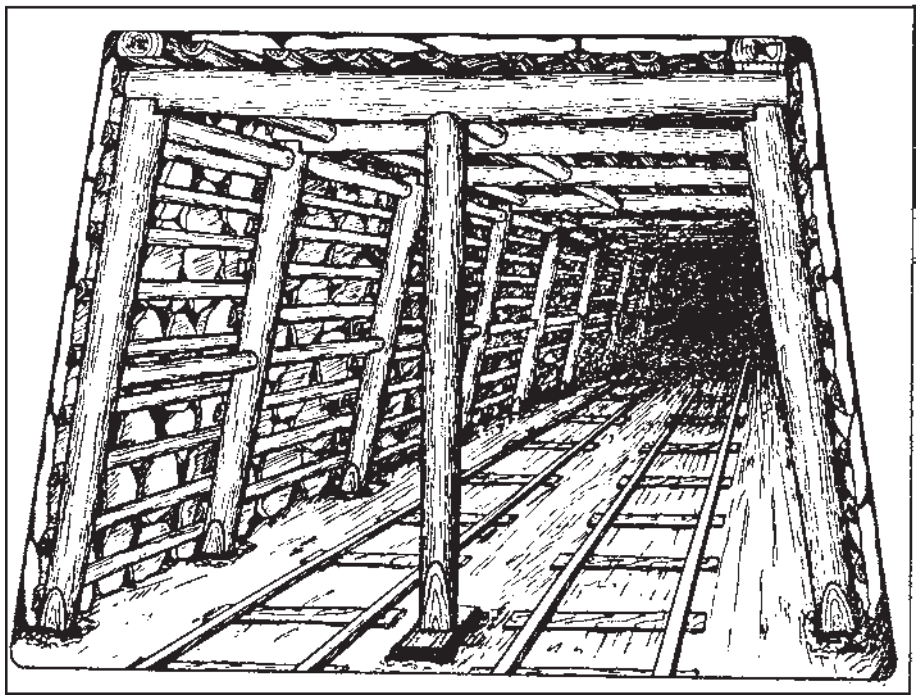
در عمل، سطح قاب کاملاً عمود بر امتداد خط بزرگترین شیب نیست بلکه نسبت به آن کمی به‌سمت بالا منحرف است. علت این امر آن است که هرگاه در اثر فشارهای وارده امتداد سطح قاب تغییر کند، از سقوط آن جلوگیری می‌شود.

**۷ــ۳ــ۵ــ تقویت چوب بست:** در مواردی که فشار سنگها زیاد و یا اینکه مدت زمان بهره‌برداری از تونل طولانی باشد، چوب بست را تقویت می‌کنند. روش‌های مختلف تقویت چوب‌بست در شکل ۷ــ۱۴ نشان داده شده است. به‌طوری که دیده می‌شود، تقویت چوب‌بست با استفاده از چند قطعه چوب و اتصال آن به قاب اصلی انجام می‌گیرد.

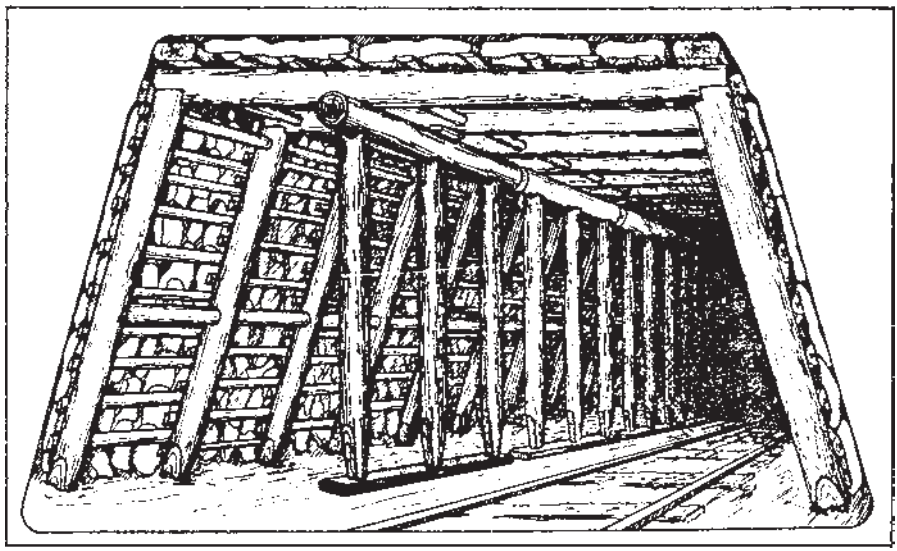



شکل ۷ــ۱۴ــ تقویت چوب بست [۳]

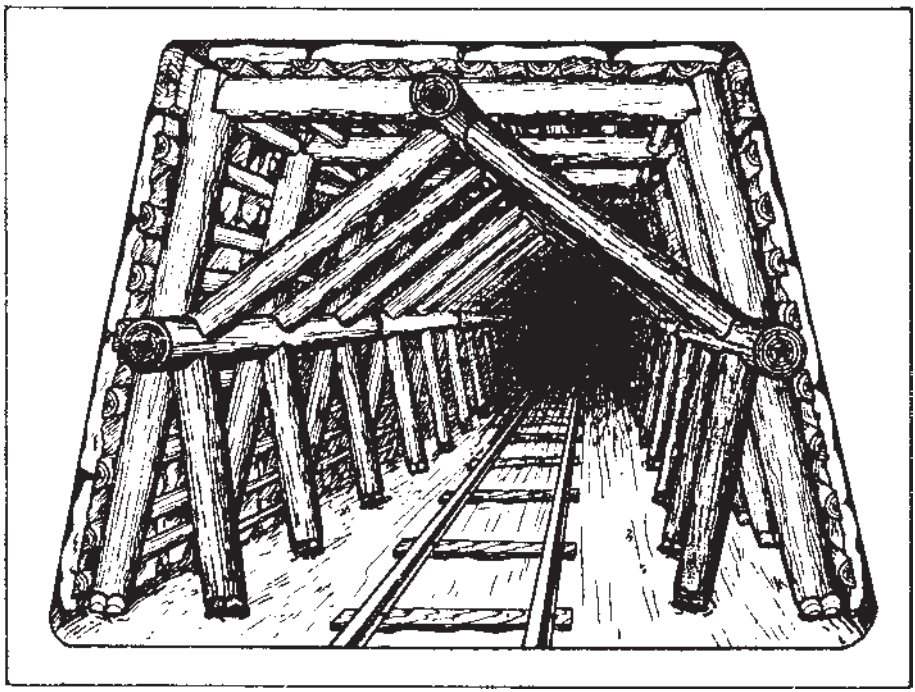
در بعضی موارد، که عرض تونل زیاد و خمش کلاهک نیز زیاد است، یک شمع اضافی در وسط کلاهک نصب و آن را تقویت می‌کنند. شکلهای ۷ــ۱۵ تا ۷ــ۱۹ نمونه‌های دیگری از تقویت چوب‌بست در تونلها را نشان می‌دهد.



**شکل ۷ــ۱۵ــ نصب یک ستون قایم به منظور تقویت کلاهک تحت فشار [۳۲]**



**شکل ۷ــ۱۶ــ تقویت چوب بست تونل در یک امتداد تحت فشارهای قائم [۳۲]**



شکل ۷ــ۱۷ــ نصب ستونهای تقویتی به منظور خنثی کردن فشارهای اضافی جانبی و قائم [۳۲]

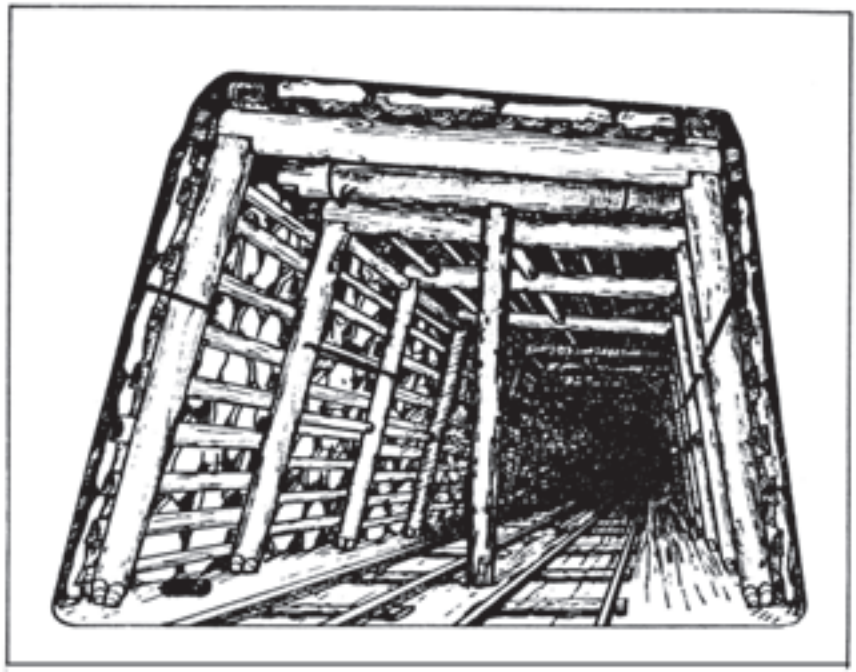
**۷ــ۳ــ۶ــ چوب بست در انشعاب‌ها:** ازجمله مهمترین مسایل نگهداری، چوب‌بست تونل‌ها در نقاط انشعاب یعنی نقاطی است که تونل به دو یا چند شعبه تقسیم می‌شود. به هنگام چوب‌بست در انشعاب‌ها، به‌تدریج که به محل انشعاب نزدیک می‌شوند، طول کلاهک را افزایش می‌دهند و آن را به‌وسیله یک یا چند دست قاب مورب، تقویت می‌کنند (شکل ۷ــ۲۰).

## ۷ــ۴ــ نگهداری به‌وسیله قابهای فلزی

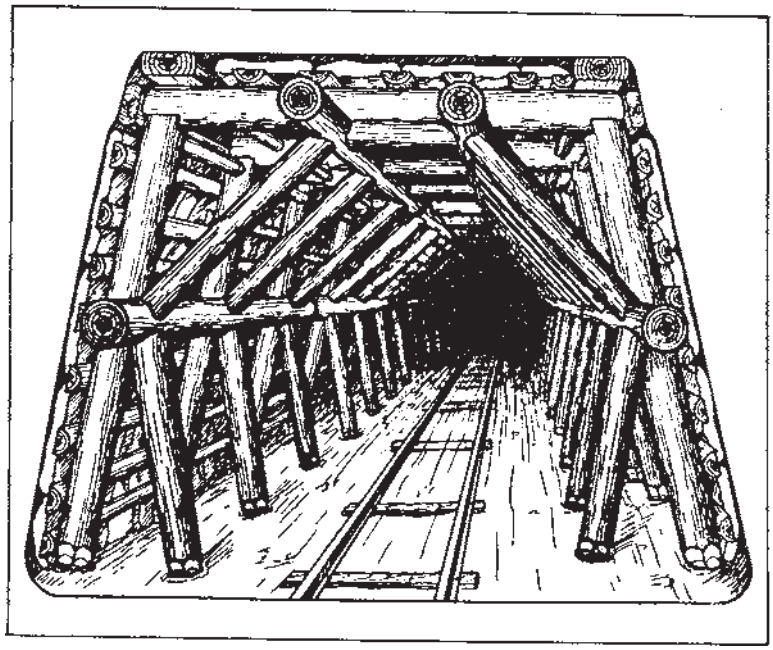
مهمترین امتیاز نگهداری به‌وسیله مصالح فلزی نسبت به چوب بست، باصرفه‌تر بودن و نیز دوام بیشتر آن است.

قابهای فلزی معمولاً به دو صورت قابهای ثابت و قابهای کشویی یا قوسی ساخته می‌شوند که در زیر آنها را شرح می‌دهیم.

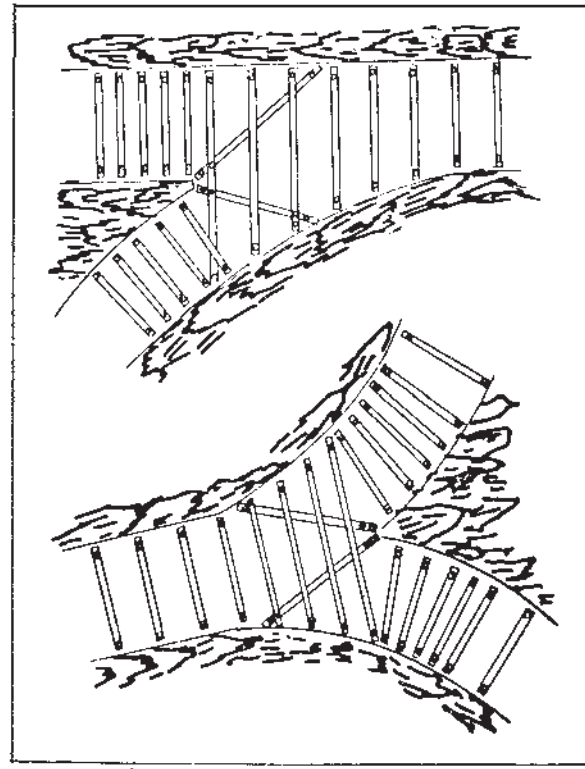
**۷ــ۴ــ۱ــ قابهای فلزی ثابت:** این قابها، مانند قابهای چوبی از دو یا سه قطعه فلزی ساخته می‌شوند که آنها را به‌وسیله پیچ و مهره به یکدیگر متصل می‌سازند (شکل ۷ــ۲۱).



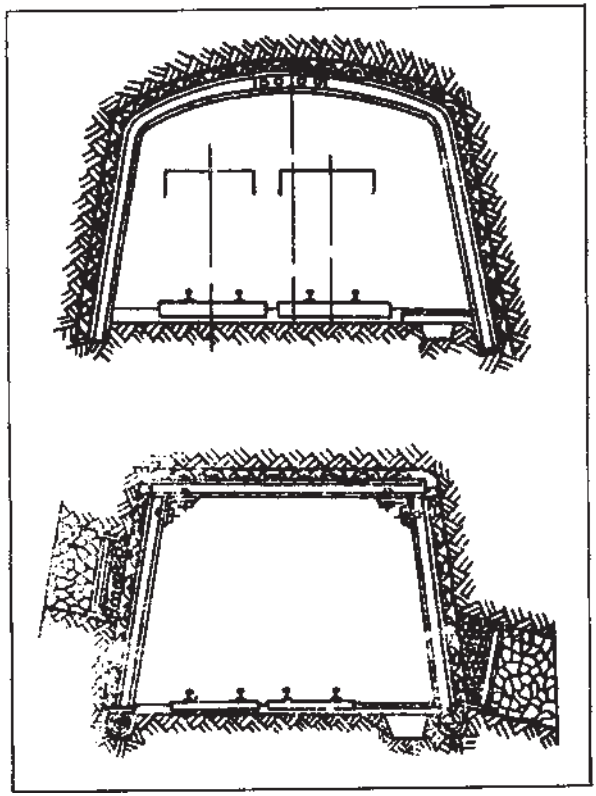
شکل ۷ــ۱۸ــ نصب ستون وکلاهک به منظور تثبیت و تقویت نگهداری در یک موضع خاص [۳۲]



شکل ۷ــ۱۹ــ نصب ستونهای تقویتی به منظور کنترل فشارهای جانبی و قائم [۳۲]

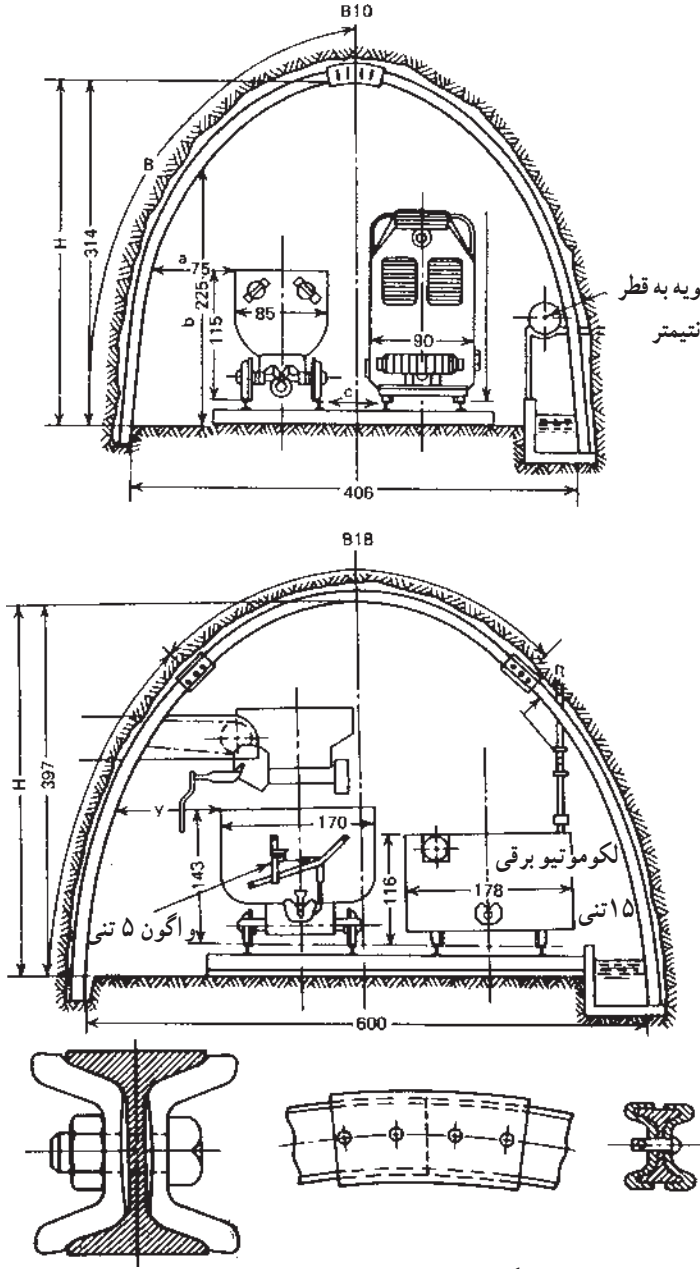


شکل ۷ــ۲۰ــ چوب بست در انشعاب‌ها [۲۲]



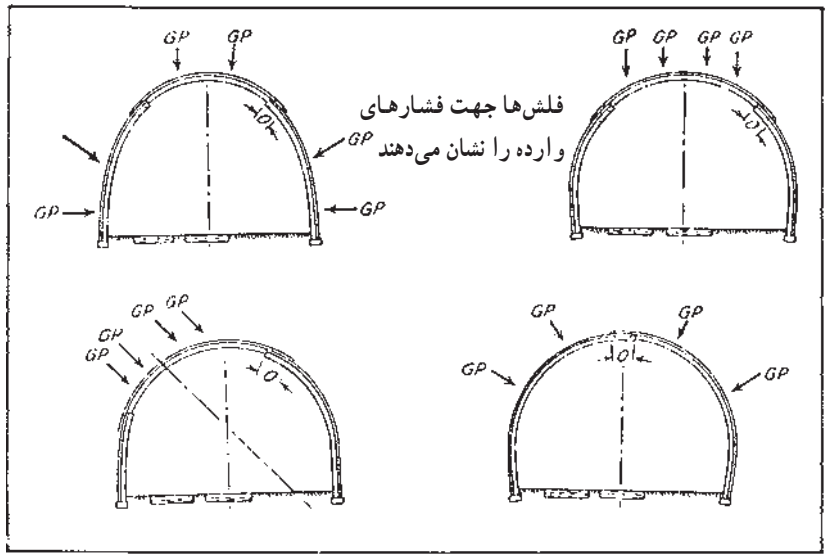
شکل ۷ــ۲۱ــ قابهای فلزی ثابت [۳]

شکل این قابها مختلف است و در انواع ذوزنقه، هلالی، دایره و نظایر آن ساخته می‌شود. باید توجه داشت که اینگونه قابها زیاد معمول نیست و امروزه بیشتر از قابهای قوسی یا کشویی استفاده می‌شود. در شکل ۷ــ۲۲ انواع دیگری از قابهای فلزی ثابت نشان داده شده است.




**شکل ۷ــ۲۲ــ دو نوع قاب فلزی ثابت [۳۴]**

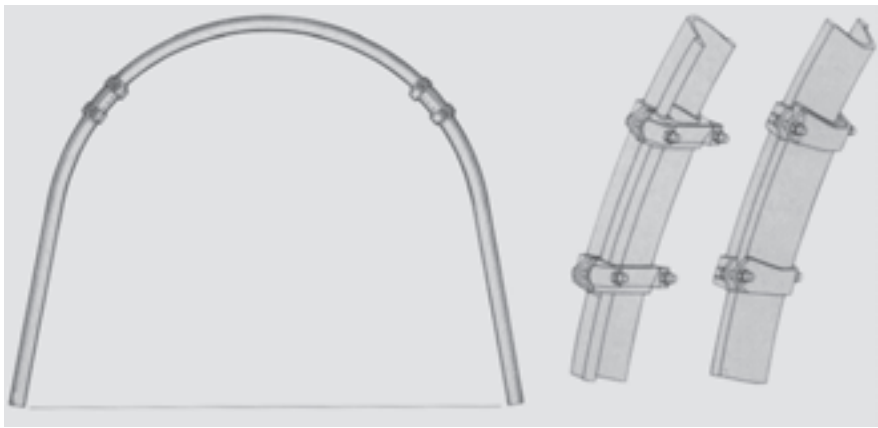
**۷ــ۴ــ۲ــ قابهای کشویی یا قوسی:** این قابها از جمله متداول‌ترین وسایل نگهداری تونل‌ها هستند و درحالت کلی دو یا سه قطعه‌اند، که به‌وسیله کریی به یکدیگر متصل می‌شوند. شکل قابها به‌شکل تونل بستگی دارد و انواع آن در شکل ۷ــ۲۳ نشان داده شده است.




**شکل ۷ــ۲۳ــ انواع قابهای کشویی [۱]**

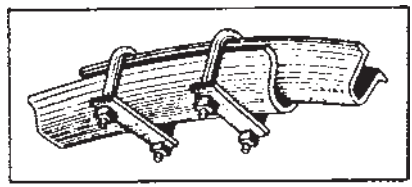
قابهای معمول در معادن ایران، قوسی شکل و از سه قطعه تشکیل یافته است. قطعه بالایی به‌نام کلاهک و دو قطعه پایینی به‌نام پایه معروفند.

مقطع هر یک از قطعات قاب به شکل U و مقطع کلاهک کمی کوچکتر از مقاطع پایه‌ها است و بدین‌ترتیب، به آسانی داخل این دو قسمت قرار می‌گیرد (شکل ۷ــ۲۴).



**شکل ۷ــ۲۴ــ نحوه اتصال قطعات قاب [۳]**

بعد از اینکه کلاهک داخل پایه‌ها قرار گرفت، در هر قسمت آن را به وسیله دو کربی به‌پایه‌ها متصل می‌کنند (شکل ۷ــ۲۵). طول قسمتی از کلاهک که داخل پایه‌ها قرار می‌گیرد نبایستی از ۴۰ سانتیمتر کمتر باشد.



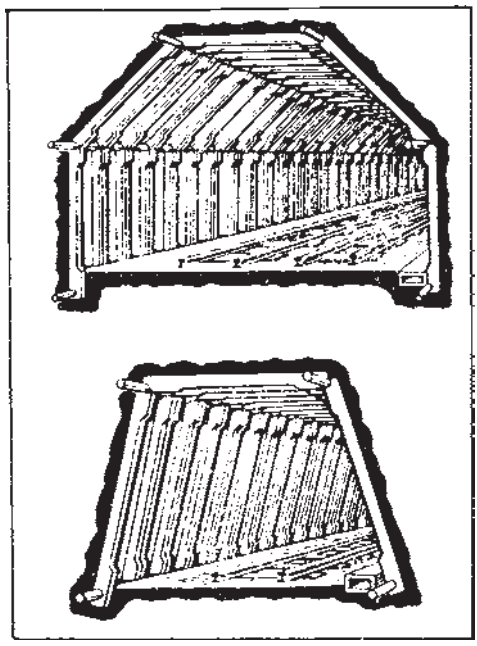
شکل ۷ــ۲۵ــ نحوه اتصال کلاهک به ستون [۲۳]

مزیت این نوع اتصال آن است که هنگامی‌که فشار وارده بر قاب زیاد شود، کلاهک داخل پایه‌ها می‌لغزد و بدین‌ترتیب، فشار وارده به‌وسیله تغییرشکل خنثی می‌شود.

فاصله بین دو قاب متوالی به فشارهای وارده بستگی دارد و در هر صورت این فاصله را به‌وسیله لارده‌های چوبی یا بتنی می‌پوشانند.

برای پایداری قابها، قابهای متوالی را به وسیله تسمه‌های فلزی به یکدیگر متصل می‌سازند.

قابها را معمولاً برحسب سطح مقطعشان نامگذاری می‌کنند. مثلاً قاب شماره ۱۴ قابی است که مقطع مفید آن پس از نصب، ۱۴ مترمربع است.



شکل ۷ــ۲۶ــ نگهداری به وسیله قابهای بتنی [۳]

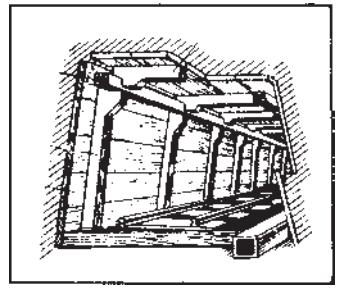
## ۷ــ۵ــ نگهداری به‌وسیله قابهای بتنی

در بسیاری موارد، بخصوص در مواقعی که از تونل به مدت طولانی بهره‌برداری می‌شود، از قاب‌های بتنی استفاده می‌کنند.

قاب بتنی نیز معمولاً از سه یا چند قطعه بتنی تشکیل می‌شود که آنها را مانند قابهای چوبی به‌یکدیگر متصل می‌کنند (شکل ۷ــ۲۶).

در بعضی موارد مانند شکل ۷ــ۲۶ قاب‌ها را در تماس با یکدیگر نصب می‌کنند ولی دربسیاری حالات، قابها با فاصله از یکدیگر

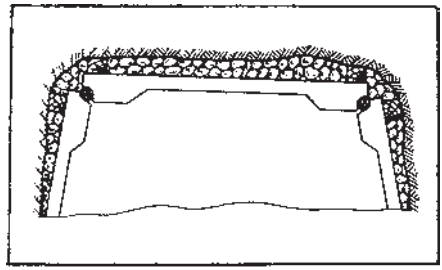
نصب می‌شوند و بین آنها لارده‌های بتنی نصب می‌کنند (شکل ۷ــ۲۷).



**شکل ۷ــ۲۷ــ نصب لارده‌های بتنی در تونل [۲۳]**

هر یک از قطعات قاب، قبلاً جداگانه در بیرون معدن ساخته می‌شود و معمولاً حاوی چندین میله فولادی است.

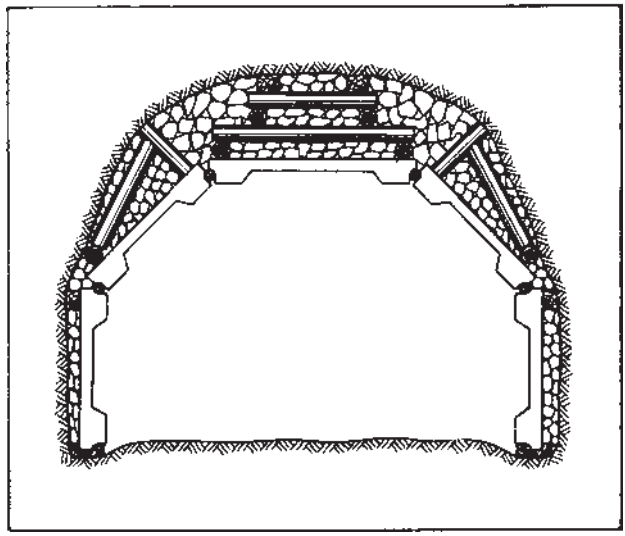
به هنگام اتصال ستون به کلاهک، بین زبانه‌ها یک قطعه چوب گرد یا با مقطع مستطیل قرار می‌دهند (شکل ۷ــ۲۸). با این عمل، قاب تا حدودی تغییر شکل پذیر می‌شود و فشارهای وارده را خنثی می‌کند.



**شکل ۷ــ۲۸ــ قراردادن چوب بین قطعات قاب بتنی [۳]**

در شکل ۷ــ۲۹ نیز نحوه نصب قطعات یک قاب با مقطع چندضلعی نشان داده شده است. به‌طوری که دیده می‌شود، فضای خالی بین قاب و جدار تونل را با قطعات چوب و خرده سنگ پر می‌کنند.

قاب‌های بتنی را در انواع مختلف تونل‌ها می‌توان به‌کار برد. به هنگام نصب این قابها در تونل‌های مورب، مسایلی را که در مورد نصب چوب‌بست در این قبیل تونل‌ها گفته شد، در این مورد نیز مراعات می‌کنند.



شکل ۷ــ۲۹ــ نصب قاب بتنی چند ضلعی [۳]

## ۷ــ۶ــ دیوارسازی در تونل

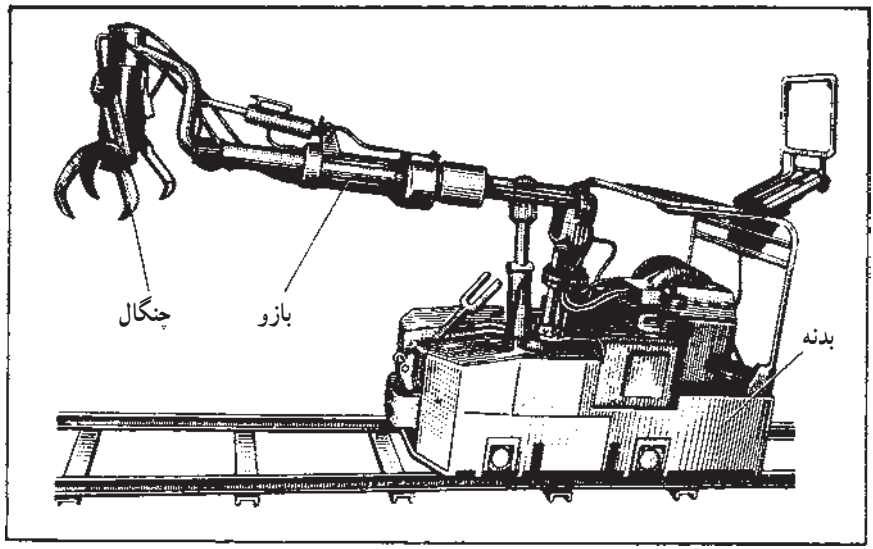
در بسیاری موارد و در تونل‌هایی که مدت زمان بهره‌برداری از آنها زیاد است، با احداث دیوار داخلی، تونل را نگهداری می‌کنند.

برای دیوارسازی، می‌توان از سنگهای طبیعی، بلوک‌های پیش ساخته بتنی و ندرتاً از آجر استفاده کرد.

برای اینکه دیوارسازی در قسمت سقف نیز مطابق شکل موردنظر انجام گیرد، ابتدا تعدادی قالب مشابه با قوس تونل تهیه می‌کنند و آنگاه سنگ‌کاری را انجام می‌دهند.

برای دیوارسازی، ابتدا دیوارهای طرفین را می‌سازند و آن را بالا می‌آورند. آخرین قطعه سنگ یا بلوک در بالای سقف نصب و به‌وسیله گوه‌های چوبی در محل محکم می‌شود. فاصله پشت دیوار و جدار تونل را نیز با خرده‌سنگ و در بعضی موارد با ملات پر می‌کنند.

در مواردی که دیوارسازی به‌وسیله بلوک‌های سنگین انجام می‌گیرد، برای سهولت حمل و جاگذاری این بلوک‌ها، از ماشین‌های مخصوص که روی ریل حرکت می‌کنند استفاده می‌شود (شکل ۷ــ۳۰). این ماشین چنگال مخصوصی دارد که قطعات را از زمین بلند می‌کند و در جای خود قرار می‌دهد.

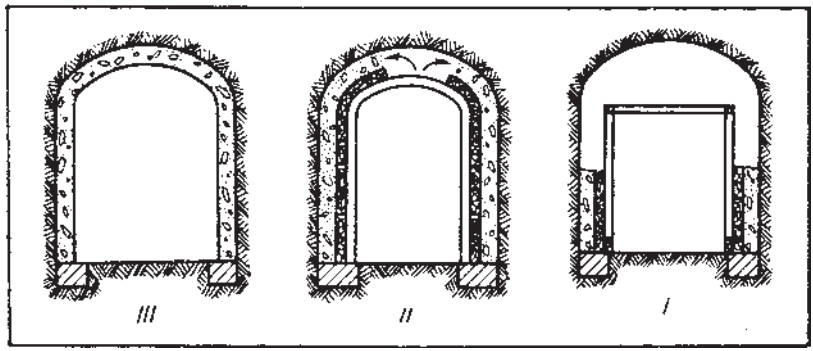



شکل ۷ــ۳۰ــ ماشین نصب بلوک‌های سنگین [۲۳]

## ۷ــ۷ــ دیواره بتنی

با استفاده از دیواره بتنی، می‌توان تونلهای مختلف را نگهداری کرد. پوشش بتنی که به‌نام آستر بتنی نیز معروف است، در تماس کامل با سنگهای اطراف قرار می‌گیرد و تمام فضای خالی را پر می‌کند و بدین‌ترتیب، انتقال نیروها به‌طور یکنواخت انجام می‌شود.

برای پوشش دیواره تونل با بتن، مقطع تونل را در فواصل معین، قالب‌بندی و پشت قالب را با بتن پر می‌کنند. بدیهی است در ابتدا قسمت‌های پایینی و سپس قسمت‌های بالا را قالب‌بندی و پر می‌کنند. مراحل مختلف دیوارسازی یک تونل طی شماره‌های I تا III در شکل ۷ــ۳۱ نشان داده شده است.




شکل ۷ــ۳۱ــ مراحل نصب پوشش بتنی [۲۳]

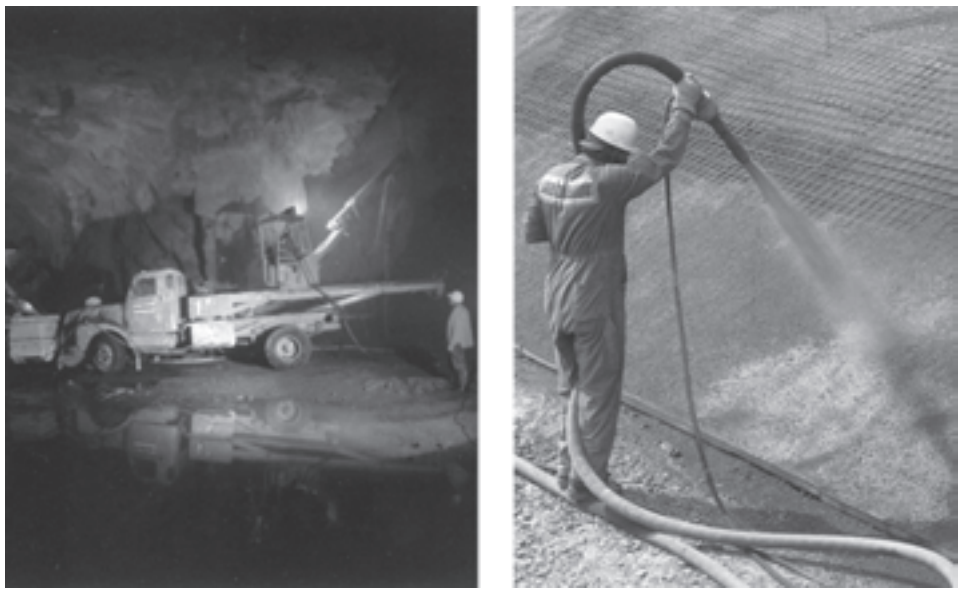
برای اینکه از قالب سازی مکرر اجتناب شود، معمولاً یک قالب فلزی می‌سازند و آن را روی یک ارابه که روی ریل حرکت می‌کند سوار می‌کنند. بدین‌ترتیب، با قرار دادن این قالب متحرک در قسمت‌های مختلف تونل، می‌توان آن را بتن‌ریزی کرد. اگر حجم بتن‌ریزی زیاد باشد، کارگاه بتن‌سازی را در بیرون تونل احداث و بتن آماده را به‌وسیله لوله‌های مخصوص و به کمک پمپ به محل کار هدایت می‌کنند و آن را به‌کار می‌برند.

بدیهی است در این مورد نیز به منظور تراکم بتن از لرزاننده‌های مخصوص استفاده می‌کنند. پس از خشک شدن بتن، قالب را باز کرده و آن را در قسمت دیگری نصب و بتن‌ریزی می‌کنند.

## ۷ــ۸ــ شاتکریت یا بتن‌پاشی

برای نگهداری موقت بعضی از تونلها مانند تونلهای مترو شهری و بعضی از تونلهای راه، بلافاصله پس از حفاری و احداث تونل، آن را با لایه‌ای از بتن موسوم به شاتکریت می‌پوشانند. بدین‌منظور، بتن به‌وسیله تلمبه‌های ویژه‌ای به‌داخل لوله بتن پاش هدایت می‌شود و با چرخاندن این لوله در قسمت‌های مختلف تونل، سطح داخلی آن را با قشری از بتن می‌پوشانند.

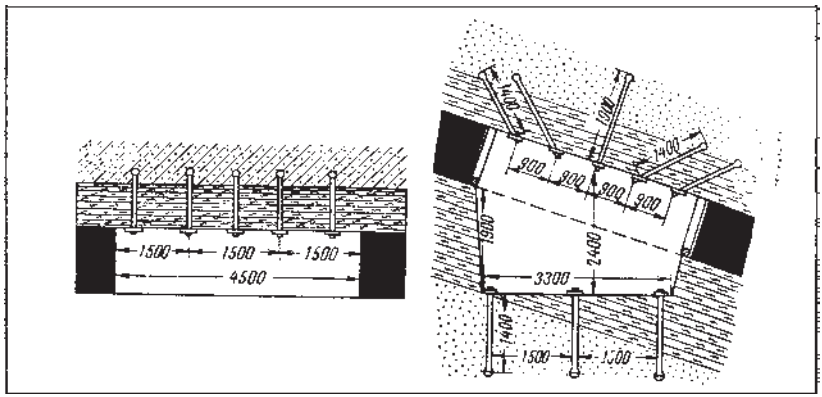
گرچه در بسیاری موارد بتن به‌صورت ساده به‌کار می‌رود ولی در بعضی حالات نیز ابتدا در سطح داخل تونل یک لایه توری فلزی به کمک پیچ سنگ نصب می‌کنند و سپس بتن را می‌پاشند. این دو سبب می‌شود یک لایه بتن مقاوم ایجاد شود (شکل ۷ــ۳۲).



**شکل ۷ــ۳۲ــ ایجاد یک لایه بتن با سیستم شاتکریت**

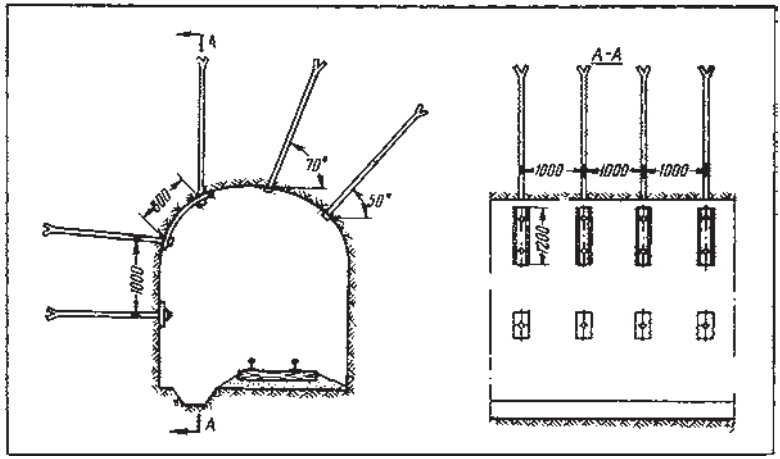
## ۷ــ۹ــ نگهداری به‌وسیله پیچ سنگ

هرگاه در بالای سقف بلافصل، لایه‌های محکمی‌وجود داشته باشد، می‌توان با استفاده از پیچ‌هایی که در سنگهای سقف اصلی محکم می‌شوند و به‌نام پیچ سنگ[۱] موسومند، سقف بلافصل را به این سنگها متصل ساخت و از ریزش آنها جلوگیری کرد. این شیوه برای نگهداری سقف تونلها و کارگاه استخراج به‌کار می‌رود (شکل ۷ــ۳۳).




**شکل ۷ــ۳۳ــ اتصال لایه‌های ضعیف به لایه‌های محکم به وسیله پیچ سنگ [۳]**

حتی درمواردی که لایه‌های بالای سقف بلافصل چندان هم قوی نباشند، اصولاً اتصال چندین لایه به هم، باعث افزایش مقاومت آنها می‌شود. در این مورد، آنچه که اهمیت دارد، محکم شدن پیچ‌ها در محل است که این امر با روشهای مختلف امکان‌پذیر است (شکل ۷ــ۳۴).

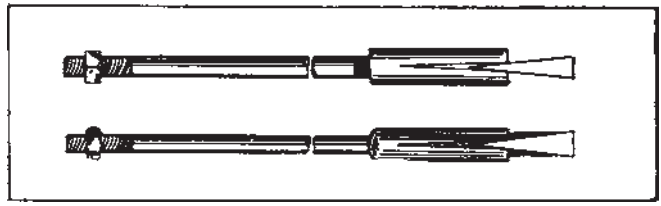



**شکل ۷ــ۳۴ــ نگهداری سقف تونل به وسیله پیچ و مهره [۲۳]**

۱ــ Rockbolt

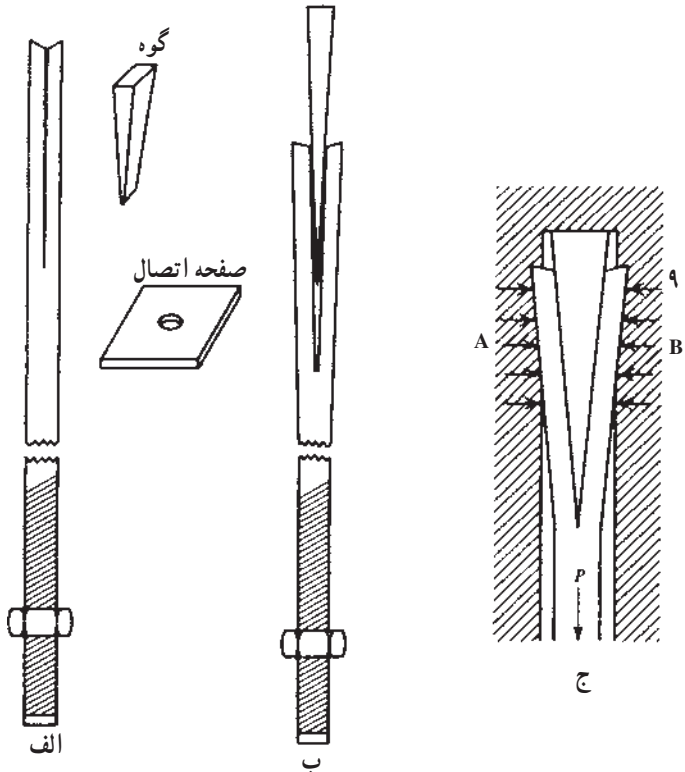
برای محکم کردن پیچ سنگها در محل خود، از روشهای زیر استفاده می‌شود :

**۷ــ۹ــ۱ــ روش شکاف و گوه:** در این روش، در انتهای پیچ که داخل چال فرومی‌رود، یک شکاف ایجاد می‌کنند و داخل آن یک گوه قرار می‌دهند (شکل ۷ــ۳۵). هنگامی‌که پیچ به داخل چال فشرده شود، گوه در داخل شکاف فرومی‌رود و باعث گیر کردن آن در انتهای چال می‌شود.



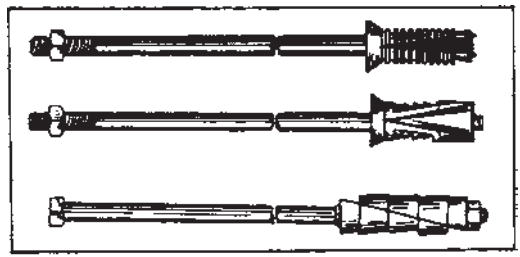
**شکل ۷ــ۳۵ــ محکم کردن پیچ در چال به وسیله گوه [۳]**

در شکل ۷ــ۳۶ نمونه دیگری از پیچ سنگهایی که به روش شکاف و گوه محکم می‌شوند، نشان داده شده است.



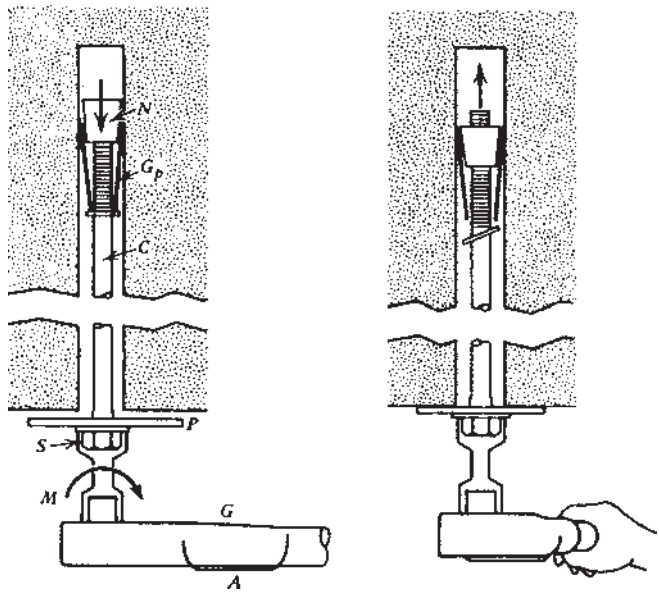

**شکل ۷ــ۳۶ــ نمونه دیگری از پیچ سنگهای شکاف و گوه [۳۴]**

**۷ــ۹ــ۲ــ روش گیره منبسط‌شونده:** در این روش، در انتهای پیچ، گیره مخصوصی وجود دارد که بعد از اینکه پیچ در داخل چال قرار گرفت با پیچاندن آن، گیره انتهایی از هم باز می‌شود و به دیواره چال گیر می‌کند (شکل ۷ــ۳۷).



**شکل ۷ــ۳۷ــ محکم کردن پیچ در چال به وسیله گیره منبسط شونده [۳]**

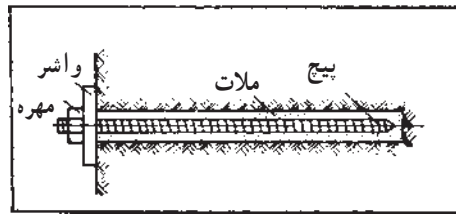
در شکل ۷ــ۳۸، نمونه دیگری از پیچ سنگهای با گیره منبسط‌شونده نشان داده شده است.




**شکل ۷ــ۳۸ــ نمونه‌ای از پیچ سنگهای با گیره منبسط شونده [۳۴]**

**۷ــ۹ــ۳ــ اتصال سرتاسری به‌وسیله دوغاب:** در این روش، ابتدا چال را از دوغاب سیمان مخصوص پر کرده و سپس ساقه پیچ را که از جنس میله فولادی آجدار است داخل آن فرو می‌کنند. برای جلوگیری از بیرون ریختن دوغاب، چال را به‌وسیله درپوش‌های مخصوص می‌بندند.

بعد از سفت شدن دوغاب، در انتهای دیگر پیچ یک واشر قرار می‌دهند و به‌وسیله مهره، آن را محکم می‌بندند (شکل ۷ــ۳۹).




**شکل ۷ــ۳۹ــ محکم کردن پیچ در چال به کمک ملات [۲]**

طول و قطر پیچ‌هایی که برای این نوع نگهداری به‌کار می‌رود مختلف است و در هر مورد بسته به میزان فشار و مقاومت کششی پیچ، بایستی قطر مناسب را انتخاب کرد.

**۷ــ۹ــ۴ــ روش استفاده از چسب‌های مخصوص:** با توجه به اشکالاتی که در زمینه محکم کردن سرتاسری پیچ سنگها در داخل چال وجود داشت، به‌تدریج روشهایی به‌کار گرفته شد که گیرش سرتاسری را تأمین کند. گرچه استفاده از دوغاب این خواسته را برآورده می‌کند اما، زمان سخت شدن آن طولانی است و چه بسا که طی این مدت، لایه‌ها تا حدی از هم جدا شوند.

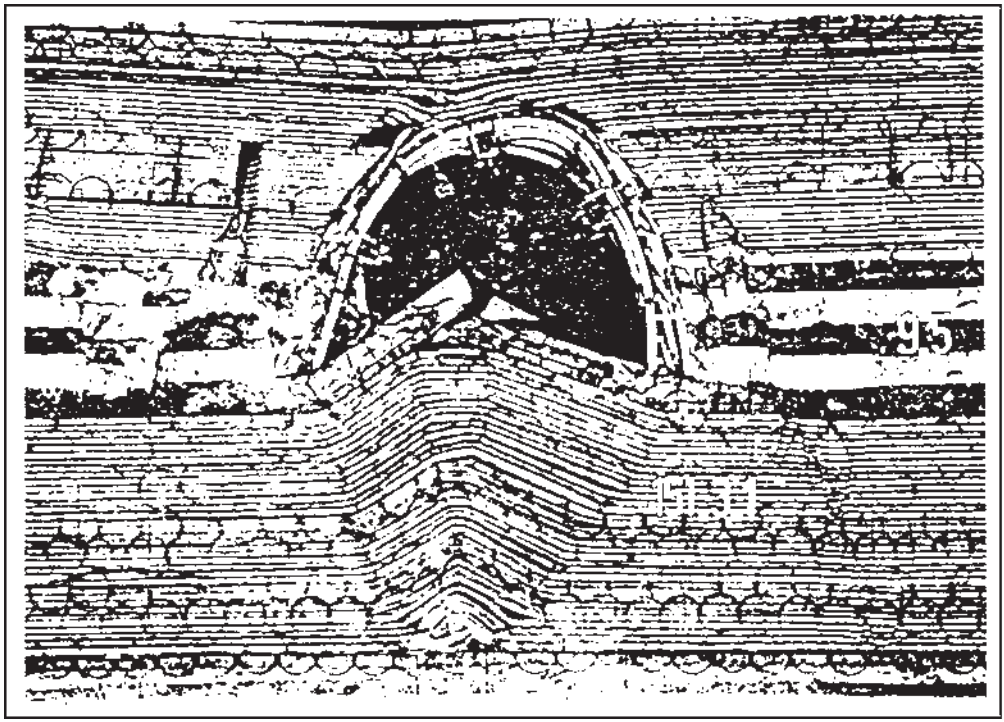
امروزه بدین‌منظور چسب‌های ویژه‌ای ساخته شده است که ظرف چند دقیقه سفت می‌شوند و به کمک آنها می‌توان میله پیچ را در سرتاسر طول آن در داخل چال محکم کرد.

## ۷ــ۱۰ــ تعمیرات سیستم نگهداری تونل

به‌علت وجود فشارهای فعال، تعمیرات سیستم نگهداری در تونل‌های معدنی امری اجتناب‌ناپذیر است و در این ارتباط برخلاف تونل‌های راه که نمی‌توانند به آسانی تونل را تعطیل کنند، معدنکاران کارهای ترمیمی و تعمیرات تونل‌ها را در شیفت‌های شب و یا روزهای تعطیل انجام می‌دهند. از آنجا که تونل‌های معدنی برای عمر کوتاهی طراحی و احداث می‌شوند بنابراین شکل و وضعیت آنها در طول مدت بهره برداری از معدن بارها دچار تغییر می‌شود و تعمیرات و بازسازی‌هایی را ایجاب می‌کند. در ناحیه معدنی روهر آلمان به ازای هر یکصد تن زغال استخراج شده حدود۲/۵۴ نفر ــ شیفت برای انجام عملیات تعمیراتی تونل‌ها به کار مشغول هستند [۳۲].

آماس و بالا آمدن کف تونل، بخصوص در معادن عمیق، آنجا که تونل در سنگهای نرم حفر شده است، امری عادی به‌شمارمی‌آید (شکل ۷ــ۴۰). آماس کف تونل گاه باعث می‌شود که کف تونل را چندین بار بکنند تا تونل قابل‌استفاده بماند و اخیراً وسیله‌ای به نام کف‌کن نیز ساخته شده است که

به کمک آن می‌توان کف تونل را به طور مکانیزه تسطیح کرد. البته اگر باربری در معدن توسط نوار یا ریل‌های آویزان موسوم به تک ریل[1] انجام گیرد صاف بودن کف تونل ضرورتی ندارد.



**شکل ۷ــ۴۰ــ آماس کف تونل در نتیجه فشارهای وارده [۳۲]**

۱ــ Monorail

# فصل هشتم

# نگهداری در چاه

## ۸ــ۱ــ آشنایی

بعد از حفر هر قسمت از چاه، بایستی در آن وسایل نگهداری نصب کرد. در ابتدای کار، وسایل نگهداری موقت و در مرحله بعد، وسایل دایم در چاه نصب می‌شود.

بسته به وضعیت زمین‌های اطراف چاه و شدت جریان آبهای زیرزمینی ورودی به چاه، سیستم نگهداری ممکن است قابل نفوذ و یا غیرقابل نفوذ انتخاب شود.

معمولاً نگهداری موقت چاه با استفاده از چوب‌بست و پوشش دایم آن با استفاده از بلوکهای بتنی پیش‌ساخته و یا دیوارسازی بتنی انجام می‌شود.

## ۸ــ۲ــ نگهداری به‌وسیله چوب

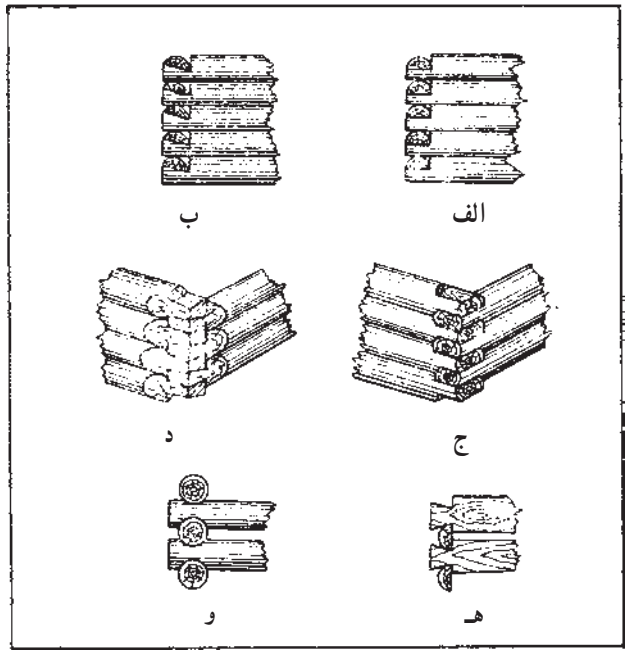
انواع مختلف چوبهایی راکه شرحشان قبلاً گذشت، می‌توان برای نگهداری چاه به‌کار برد ولی معمولاً به این منظور،از چوبهای کاج و بلوط استفاده می‌شود. چوبها را به‌حالت طبیعی و با مقطع گرد و یا به‌صورت تراش داده شده به‌کار می‌برند.

باید توجه داشت که فقط در چاههایی که مقطع مستطیل شکل دارند از چوب‌بست استفاده می‌کنند و نگهداری چاههای گرد بایستی به وسیله حلقه‌های فلزی که شرحشان در مبحث حفر چاه در درس چالزنی و حفاری خواهد آمد، انجام می‌گیرد.

هر قاب چوبی از چهار قطعه چوب تشکیل می‌شود و بسته به میزان فشار دیواره‌های چاه، قابها را در تماس با یکدیگر و یا با فاصله ۰/۷۵ تا یک متر از هم، نصب می‌کنند. بدیهی است در حالت اخیر، بایستی فاصله بین قابهای متوالی را به‌وسیله تخته یا لارده چوبی پرکرد.

برای اتصال قطعات قاب، روشهای مختلفی وجود دارد و انواع آن در شکل ۸ــ۱ نشان داده شده است.

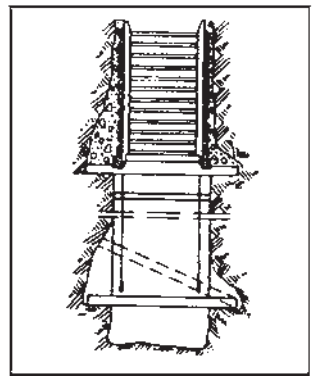
معمولاً قطعات قاب چوبی را در سطح زمین سوار می‌کنند و آنرا به داخل چاه می‌فرستند. نصب چوب در داخل چاه از پایین به بالا است و در مورد زمین‌های سست، هر ۳ تا ۵ متر و در مورد




**شکل ۸ــ۱ــ روشهای اتصال چوبها در چاه [۳]**

زمین‌های سخت هر ۵ تا ۱۰ متر یکبار انجام می‌شود.

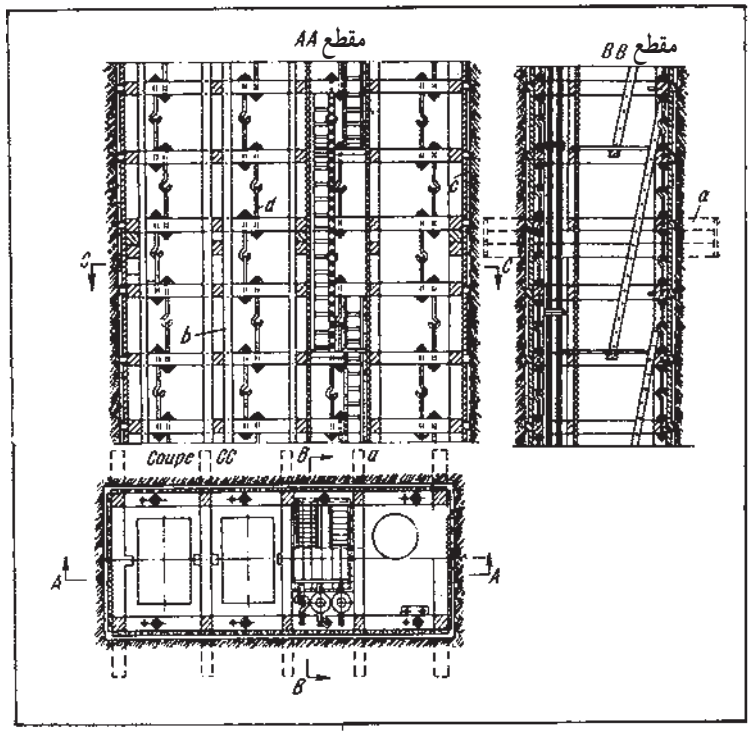
در هر قطعه از چاه، اولین قابی که نصب می‌شود بایستی دارای چوبهای محکم‌تری باشد و با استفاده از گوه‌های چوبی در داخل چاه محکم شود. قابهای بعدی، روی این قاب قرار می‌گیرند و بایستی آنها را به‌دقت و به‌حالت افقی نصب کرد. برای کنترل نصب، معمولاً تعدادی شاغول در چاه آویزان کرده و نصب قابها را به‌وسیله آنها کنترل می‌کنند (شکل ۸ــ۲).



**شکل ۸ــ۲ــ نصب قابهای چوبی در چاه [۳]**

بعد از نصب دقیق قابها، فاصله خالی بین لارده یا تخته‌های پشت قاب و جدار داخلی چاه، را به وسیله خرده‌سنگ پر می‌کنند.

در بعضی از معادن فلزی، نصب قابهای چوبی از بالا به پایین انجام می‌گیرد و در چنین مواردی، قابها را به وسیله قلابهای فلزی به یکدیگر آویزان می‌کنند (شکل ۸ــ۳).




شکل ۸ــ۳ــ نصب معلق قابهای چوبی [۳]

## ۸ــ۳ــ نگهداری به‌وسیله قابهای فلزی

به طوری که قبلاً نیز اشاره شد، نگهداری موقت چاه به وسیله حلقه‌های فلزی انجام می‌گیرد ؛ بدین ترتیب که ضمن حفر هر قسمت از چاه، آنرا به وسیله چند حلقه فلزی، که هریک به وسیله قلابی به حلقه بالایی آویزان است، نگهداری می‌کنند.

برای سهولت حمل و نقل این حلقه‌ها در چاه، هر حلقه از چهار تا شش قطعه جداگانه تشکیل شده است که قطعات را به‌داخل چاه می‌فرستند و در داخل چاه این قطعات را به یکدیگر متصل می‌کنند و یک حلقه واحد به‌دست می‌آورند.

حلقه‌های فلزی را معمولاً از آهن ناودانی شماره ۱۴، ۱۶ و ۱۸ می‌سازند و بعد از نصب

حلقه‌ها، پشت آنرا با لارده چوبی پر می‌کنند.

به هنگام نصب پوشش دایمی‌چاه، به تدریج این حلقه‌های فلزی را باز می‌کنند. در بعضی موارد،که زمین اطراف چاه سست است، بیرون آوردن این حلقه‌ها مقدور نیست و در این موارد، حلقه‌ها در داخل پوشش دایمی‌چاه باقی می‌ماند.

## ۸ــ۴ــ دیوارسازی چاه

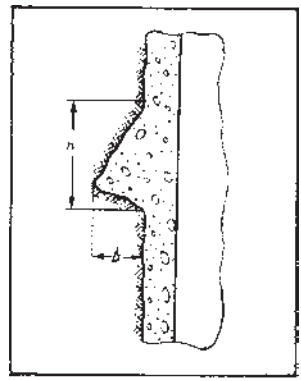
در بعضی موارد، پوشش دایمی‌چاه با دیوارسازی انجام می‌گیرد. برای ساختن دیوار، از آجر یا بلوک‌های بتنی استفاده می‌کنند و اتصال آنها به‌وسیله ملات ماسه و سیمان انجام می‌گیرد.

آجر یا بلوک را به‌وسیله سطل‌های مخصوص به داخل چاه می‌برند و ملات معمولاً به‌وسیله لوله‌های ویژه‌ای به‌محل کار حمل می‌شود.

برای اینکه دیوارسازی به‌طور قایم انجام شود، در اطراف محیط چاه تعدادی شاغول آویزان کرده و وضعیت دیوار را به کمک آنها کنترل می‌کنند.

به‌طوری که قبلاً نیز اشاره شد، نصب دیوار چاه، قسمت به قسمت و از پایین به بالا انجام می‌گیرد. بنابراین قبل از ساختن هر قطعه از دیوار، ابتدا در محلی که سنگها محکم است، یک دیواره زایده‌دار (شکل ۸ــ۴) بنا کرده و دیوار را روی آن احداث می‌کنند.

دیوارسازی چاه از روی سکوی معلق، که شرح آن در مبحث حفر چاه گفته می‌شود، انجام می‌گیرد.



شکل ۸ــ۴ــ دیواره زایده دار در چاه [۳]

## ۸ــ۵ــ نگهداری با استفاده از آستری بتنی

این روش از جمله متداولترین روشهای پوشش داخل چاه است و طی آن سرتاسر چاه به‌وسیله

یک آستر بتنی[1] پوشش می‌شود.

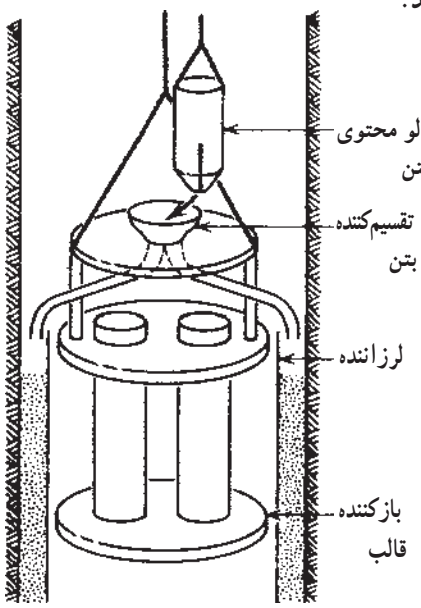
پوشش بتنی نیز قسمت به قسمت و از پایین به بالا انجام می‌گیرد و بدین ترتیب، قبل از احداث هر قسمت، ابتدا یک دیواره زایده دار مطابق شکل ۸ــ۴ احداث می‌کنند.

بدیهی است قبل از بتن‌ریزی، بایستی داخل چاه را قالب‌بندی کرد. قالب‌ها ندرتاً چوبی و معمولاً فولادی است و برای سهولت حمل و نقل، معمولاً از چند قطعه جداگانه تشکیل می‌شود که از وصل آنها به هم، یک قالب دایره‌ای به‌دست می‌آید.

ارتفاع قالب معمولاً حدود یک متر است. اولین قالب، روی سکوی مخصوص چوبی بنا می‌شود و بعد از آماده شدن آن، فضای بین پشت قالب و دیواره چاه را به‌وسیله بتن پر می‌کنند. بتن به‌وسیله لوله‌های ویژه‌ای به محل کار حمل می‌شود و برای متراکم کردن آن از لرزاننده‌های مخصوص استفاده می‌کنند.

بعد از بتن‌ریزی قالب اول، روی آن قالب دیگری نصب می‌کنند و این کار را تا تمام شدن طول قطعه مورد نظر از چاه،ادامه می‌دهند.

در این مورد نیز عملیات مختلف آسترکاری از روی سکوهای معلق انجام می‌شود و برای کنترل و نصب صحیح قالب‌ها، از شاغول استفاده می‌کنند.




شکل ۸ــ۵ــ وسیله مخصوص بتن ریزی در چاه [۳۴]

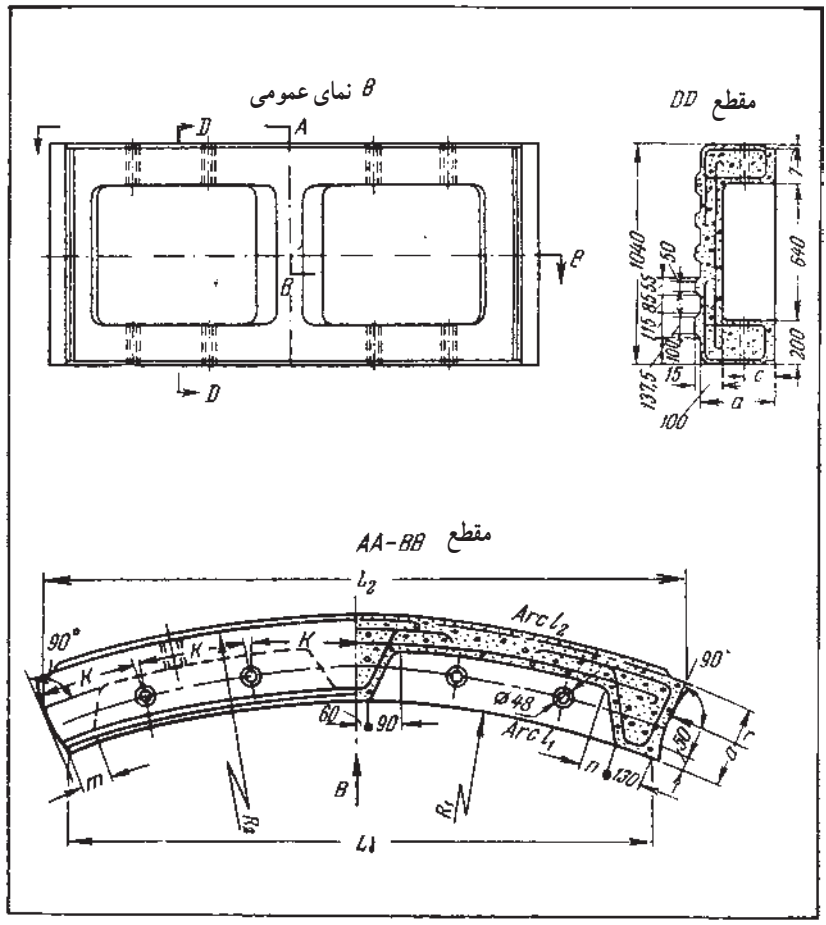
امروزه برای کاهش زمان نصب و برچیدن قالب‌ها و نصب سریع دیوار بتنی از وسیله مخصوصی مطابق شکل ۸ــ۵ استفاده می‌کنند. این وسیله یک قالب فولادی متحرک (۲) دارد که می‌توان آن را به‌وسیله جرثقیل مخصوصی بالا و پایین برد. در بالای دستگاه، مخزن بتن (۴) و ناودان حلقوی (۳) وجود دارد که به وسیله آن می‌توان در تمامی قسمت‌های قالب، بتن‌ریزی کرد. برای تهیه بتن، از سیمان زودبند استفاده می‌کنند، به‌طوری که مقاومت آن بعد از ۱/۵ الی دو ساعت به حدود ۷۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع می‌رسد. بدیهی است در این مورد نیز پس از اینکه پشت قالب با بتن پر شد، آنرا به وسیله لرزاننده‌های مخصوص متراکم می‌کنند.

۱ــ Lining

## ۸ــ۶ــ نگهداری به‌وسیله قطعات بتنی

نصب دیواره به کمک قطعات بتنی نیز روش دیگری برای نگهداری دیواره چاه است. حسن این روش این است که به‌آسانی می‌توان دیوارسازی را از بالا به پایین انجام داد. با توجه به روش نصب این قطعات، می‌توان عملیات حفاری و دیوارسازی چاه را همزمان انجام داد. در این روش، فاصله محل دیوارسازی از جبهه کار چاه، در بعضی موارد به‌قدری کم است که می‌توان از نصب دیواره موقت صرفنظر و مستقیماً پوشش اصلی را در چاه نصب کرد.

اندازه قطعات بتنی برای پوشش چاههای با قطر مختلف متفاوت است. مثلاً در مورد چاهی به‌قطر ۹ متر، یک حلقه کامل آن از ۷ قطعه تشکیل می‌شود که وزن هر کدام در حدود ۹۰۰ کیلوگرم و ابعاد آن در شکل ۸ــ۶ نشان داده شده است.



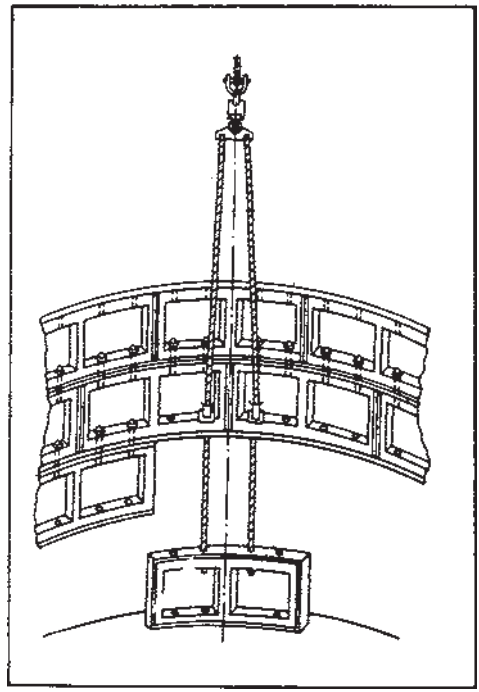

شکل ۸ــ۶ــ ابعاد قطعات بتنی برای پوشش چاه [۳]

به هنگام پوشش چاه با این قطعات، بایستی دقت کرد که قطر چاه دقیقاً مطابق با آنچه از اول درنظر گرفته شده است باشد زیرا در غیر این‌صورت، کار گذاشتن قطعات، به دشواری و با صرف وقت زیاد انجام خواهد گرفت.

بعد از اینکه با کار گذاشتن قطعات مختلف یک حلقه کامل تشکیل شد، پشت آن را به‌وسیله ملات ماسه و سیمان پرمی‌کنند.

برای حمل قطعات مختلف در داخل چاه، قلاب مخصوصی را به‌کار می‌برند. برای کار گذاشتن هر قطعه، دو رشته از کابل جرثقیل مخصوص را از سوراخهای قطعه بالایی عبور می‌دهند و به دو سوراخ نظیر قطعه مورد نظر وصل می‌کنند (شکل ۸ــ۷). سپس کابل را بالا می‌کشند تا قطعه در محل خود قرار گیرد. آنگاه به وسیله دو پیچ، قطعه را به قطعه بالایی متصل و بعد از بستن پیچها، کابل را از قطعه باز می‌کنند و در این سوراخها نیز دو پیچ دیگر می‌بندند.

برای اینکه دیواره چاه در برابر آب غیرقابل نفوذ شود، تمام درزهای آنرا به‌وسیله دوغاب سیمان مخصوص می‌بندند.



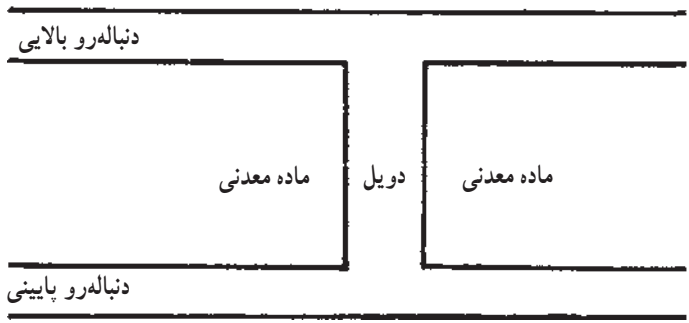
**شکل ۸ــ۷ــ نحوه نصب قطعات بتنی در چاه [۳]**

# فصل نهم

# نگهداری در کارگاه استخراج

## ۹ــ۱ــ آشنایی

به طوری که قبلاً هم گفتیم، در بسیاری موارد برای احداث کارگاه استخراج، ابتدا در داخل ماده معدنی یک دویل حفر و بدین ترتیب، تونل‌های دنباله‌رو بالا و پایین آنرا به هم وصل می‌کنند. سپس با حفر ماده معدنی، کارگاه استخراج را به جلو می‌برند (شکل ۹ــ۱).




شکل ۹ــ۱ــ منظره عمومی کارگاه استخراج

در ابتدای کار، کارگاه استخراج نیز مشابه یک تونل است اما همزمان با پیشرفت جبهه کار، وسعت قسمت استخراج شده اضافه می‌شود و بنابراین بایستی با نصب وسایل نگهداری شرایط ایمنی را برقرار ساخت.

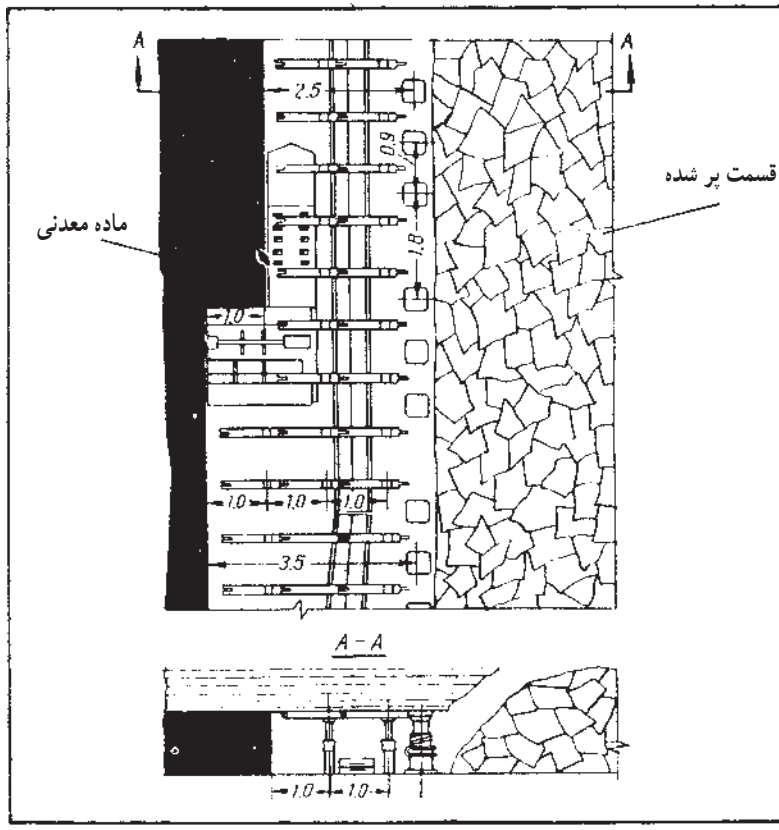
در حوالی جبهه کار، یعنی در فاصله ۲ تا ۴ متری از ماده معدنی، فشار وارده چندان زیاد نیست، و می‌توان آنرا به وسیله پایه‌های چوبی یا فلزی نگهداری کرد. وسیله نگهداری ای که در این قسمت نصب می‌شود بایستی به‌نحوی باشد که از ریزش سقف کارگاه در آن محل جلوگیری کند و در عین حال بین این وسایل و جبهه کار، فضای کافی به‌منظور نصب ماشین‌آلات استخراج، ناو، و کار کارگران وجود داشته باشد. این قبیل وسایل، به‌نام وسایل نگهداری جبهه کار موسوم‌اند.

در پشت جبهه کار، یعنی در فاصله ۲ تا ۴ متری آن (بسته به مقاومت سقف کارگاه) فشار وارده

زیادتر است و بنابراین برای نگهداری این قسمت، بایستی وسایل مقاوم‌تری از قبیل جرزهای چوبی و فلزی به‌کار برد.

کمی‌دورتر از این قسمت، فشار سقف به‌حدی زیاد است که هیچگونه وسایل نگهداری قادر به‌تحمل آن نیست. برای نگهداری این قسمت از کارگاه معمولاً به دو روش عمل می‌کنند. در روش اول، با بیرون کشیدن پایه‌های نصب شده و یا به‌وسیله آتشباری، باعث تخریب سقف می‌شوند. در این حالت، قطعات کنده شده از سقف، باعث پرشدن محل خالی می‌شود و بنابراین در مقابل فشارهای وارده مقاومت می‌کند. در روش دوم، محل استخراج شده را به وسیله خرده سنگها و خاکهایی که از بیرون به محل کارگاه حمل می‌شود، پر کرده و بدین‌طریق سقف را نگهداری می‌کنند.

با توجه به آنچه که گفتیم، پس از مدتی که از استخراج مواد معدنی گذشت، شکل عمومی کارگاه همانند (شکل ۹ــ۲) خواهد بود.




شکل ۹ــ۲ــ وضعیت کلی کارگاه استخراج [۳۲]

وسایل نگهداری که در جلو جبهه کار نصب می‌شود بایستی دارای خصوصیات زیر باشد :

الف ــ بایستی به‌اندازه کافی مقاوم باشد و بتواند در برابر فشارهای وارده ایستادگی کند.

ب ــ به هنگام تخریب سقف، بایستی پایداری خود را حفظ کند.

ج ــ در مواردی که سقف به‌تدریج نشست می‌کند، بایستی طول آن قابل تغییر باشد و بدون کاهش مقاومت، از ارتفاعش کاسته شود.

د ــ بایستی در جلو آن فضای کافی وجود داشته باشد و نیز، شکل آن به نحوی باشد که در برابر حرکت هوا مقاومت زیادی نداشته باشد.

هـ ــ ساختمان آن باید به گونه‌ای باشد که نصب آن به آسانی انجام گیرد.

در زیر روشهای مختلف نگهداری در قسمت‌های مختلف کارگاه استخراج را شرح می‌دهیم.

## ۹ــ۲ــ چوب‌بست در کارگاه استخراج

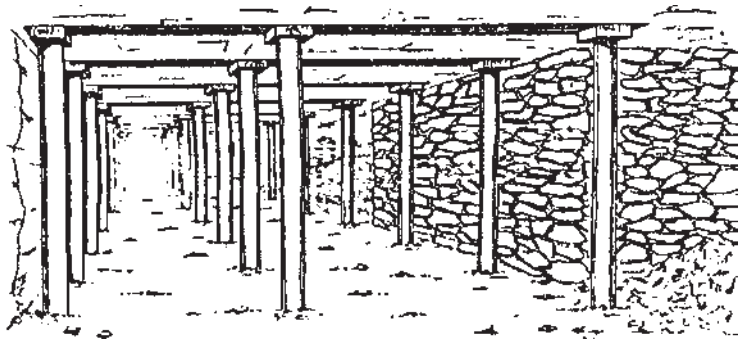
برای نگهداری جبهه کار به‌وسیله چوب، از انواع چوبها می‌توان استفاده کرد. این چوبها بایستی در مقابل تنش‌های فشاری مقاوم و نسبت طول به قطر آنها به‌نحوی باشد که خطر کمانه کردن نداشته باشند. ارتفاع چوبها تابع ارتفاع کارگاه و به عبارت بهتر تابع ضخامت ماده معدنی است.

چوبی که در کارگاه استخراج به‌کار می‌رود بایستی از نوعی باشد که قبل از شکسته شدن، تا حدودی تغییر شکل دهد و به هنگام خردشدن، صدایی تولید کند. این امر به ایمنی کار کمک می‌کند زیرا شنیدن صدای خرد شدن چوب، خود به منزله اعلام خطر است و باعث می‌شود که کارکنان معدن از محل خطر دور شوند.

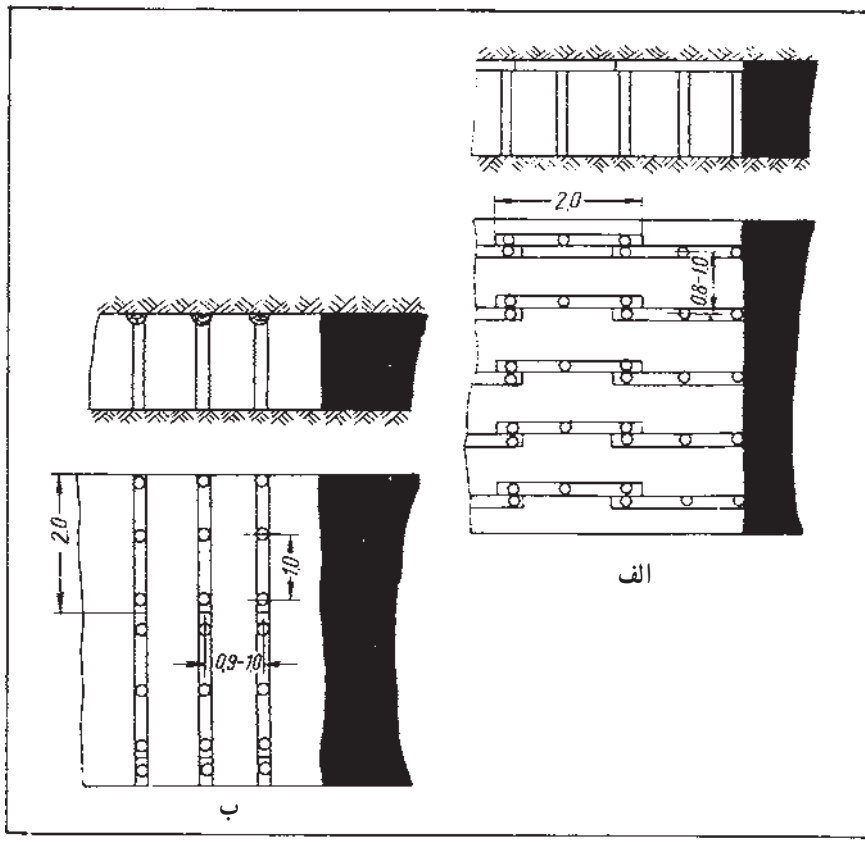
چوب‌بست در کارگاه استخراج معمولاً از چند پایه که زیر یک کلاهک قرار گرفته‌اند تشکیل می‌شود (شکل ۹ــ۴ــ الف ). در بعضی موارد که سقف کارگاه محکم است، می‌توان از ستونهای مجزا که در بالای آنها تخته‌های کوچکی قرار دارد استفاده کرد (شکل ۹ــ۴ــ ب).اگر سقف کارگاه ضعیف باشد، بایستی فاصله بین دو قاب متوالی را به وسیله لارده چوبی پر کرد تا از ریزش آن جلوگیری شود.

قابهای چوبی را می‌توان در امتداد کارگاه (شکل ۹ــ۴ــ الف ) و یا در جهت عمود برآن (شکل ۹ــ۴ــ ب) نصب کرد. هر یک از این روش‌ها مزایایی دارند که بایستی با توجه به شرایط محل، نوع آنرا انتخاب کرد.

از آنجا که کارگران به هنگام عبور و مرور در کارگاه به چوب‌بست‌ها تکیه می‌کنند، لذا بایستی به هنگام نصب، آنها را به‌وسیله گوه‌های چوبی کاملاً محکم کرد.



شکل ۹ــ۳ــ چوب بست در کارگاه استخراج [۳۶]



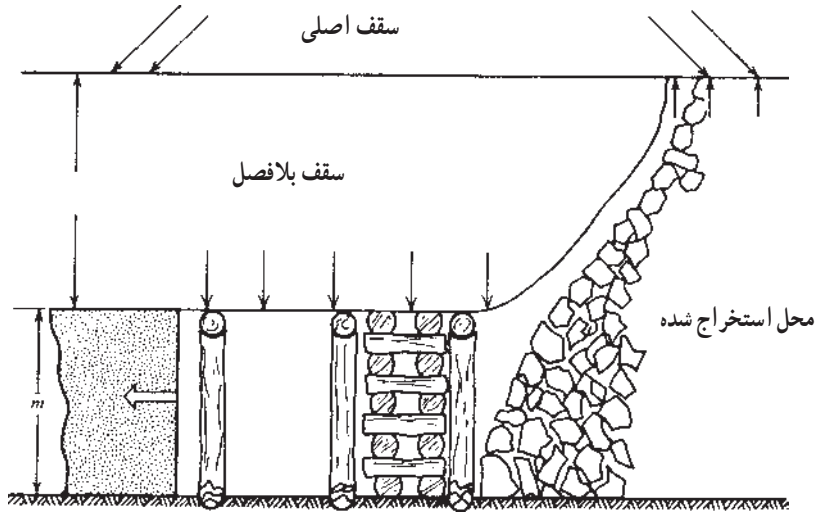

شکل ۹ــ۴ــ روشهای مختلف چوب بست در کارگاه استخراج [۳۲]

برای نصب چوب در کارگاه، ابتدا چوب را به‌طول چند سانتیمتر بیش از ارتفاع کارگاه می‌بُرند و سپس انتهای آنرا کمی تیز می‌کنند و در چاله کوچکی که در کف کارگاه احداث می‌شود، قرار

می‌دهند و پس از قرار دادن کلاهک در بالای ستون، با پتک آنرا در جای خود محکم می‌کنند. این امر باعث می‌شود که چوب محکم شود و به پایین نیفتد. بدیهی است پس از مدتی، فشار سقف باعث می‌شود که چوب کاملاً در جای خود محکم شود.

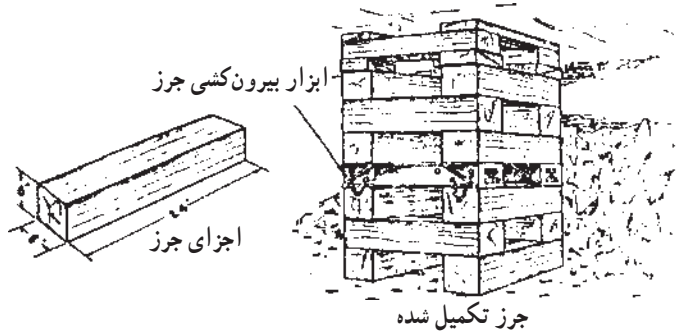
## ۹ــ۳ــ جرز چوبی

جرز چوبی برای نگهداری پشت کارگاه استخراج، یعنی حدفاصل قسمت‌های تخریب شده و جبهه کار مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۹ــ۵).




شکل ۹ــ۵ــ نصب جرز چوبی در کارگاه استخراج [۳۴]

برای نصب جرز در کارگاه، تعدادی تخته چهارگوش و یا چوب گرد را مطابق شکل ۹ــ۶ رویهم می‌چینند و بدین‌ترتیب، فاصله بین سقف و کف کارگاه را پر و آنرا به وسیله گوه چوبی محکم می‌کنند.




شکل ۹ــ۶ــ جرز چوبی [۳۶]

جرزهای چوبی را به فاصله چندمتر از هم در یک یا چند ردیف به موازات کارگاه استخراج نصب می‌کنند که فاصله جرزها در یک ردیف و نیز فاصله ردیفها، به نوع سنگ و فشار سقف بستگی دارد.

## ۹ــ۴ــ پایه‌های فلزی

کاربرد پایه‌های فلزی مختلف در کارگاههای استخراج معادن زغال سنگ بسیار متداول است. بایستی توجه داشت که استفاده از این پایه‌ها فقط در مورد لایه‌های با شیب ملایم مقدور است و در مورد لایه‌های پرشیب نمی‌توان از آنها استفاده کرد.

گرچه پایه‌های فلزی به مراتب گرانتر از انواع چوبی است ولی با توجه به اینکه از این پایه‌ها مجدداً می‌توان استفاده کرد و چندین بار متوالی آنها را به‌کار برد، و نیز سهولت و سرعت نصب آنها، پایه‌های فلزی اقتصادی‌تر از چوب است.

به‌طورکلی هر پایه فلزی از یک پایه موسوم به قنداق و یک استوانه موسوم به سمبه، که می‌تواند داخل آن حرکت کند، تشکیل شده است. بدین‌ترتیب، بسته به وضعیت سمبه درون قنداق، طولهای مختلفی برای پایه حاصل می‌شود. هر پایه دارای یک طول حداقل و یک طول حداکثر است که به‌وسیله دو عدد مشخص می‌شود.

محکم کردن سمبه درون قنداق با استفاده از اصطکاک و یا به‌وسیله فشار هیدرولیکی تأمین می‌شود.

بسته به نحوه کار، پایه‌های فلزی را به انواع زیر تقسیم می‌کنند :

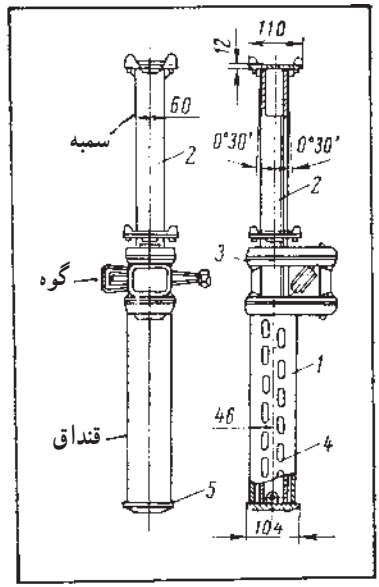
**۹ــ۴ــ۱ــ پایه‌های مالشی:** پایه مالشی مطابق شکل ۹ــ۷، از سه قسمت قنداق (۱)، سمبه (۲) و قفل (۳) تشکیل شده است. قنداق سوراخهایی دارد که بسته به‌وضعیت سمبه، گوه قفل داخلی یکی از آنها فرو می‌رود و سمبه را نسبت به قنداق محکم می‌کند.

گوه را با استفاده از پتک نصب می‌کنند (شکل ۹ــ۸). برای اینکه طول پایه بعد از نصب تا حدودی قابل تغییرباشد و بدین‌ترتیب بتواند بارهای زیاد را تحمل کند، سمبه طی زاویه کوچکی به‌حالت مخروطی است و بدین‌ترتیب، بسته به میزان فشار وارده، طول آن کمی تغییر می‌کند.

به‌طوری‌که در مبحث استخراج (تکنولوژی استخراج ۲) خواهیم دید، در جبهه کار، ماشین‌های استخراج و نیز وسایل باربری نصب می‌شود و بایستی فضای کافی برای این وسایل در جلو جبهه کار وجود داشته باشد.

از سوی دیگر، در این قسمت نیز فشار سنگها ممکن است باعث ریزش قطعات سنگ و خراب

شدن سقف در این محل شود. برای اینکه هم فضای کافی برای کار دستگاه‌ها وجود داشته باشد و هم سقف کارگاه در این قسمت محافظت شود، از دستکهای فلزی استفاده می‌کنند. دستک فلزی یک قطعه فلزی است که به وسیله گوه به دستکهای قبلی وصل می‌شود (شکل ۹ــ۹). بنابراین، بعد از هر دوره پیشروی در کارگاه استخراج، یک پایه یا دستک جدید نصب می‌کنند و بدین‌ترتیب، سقف کارگاه از نظر ریزش محفوظ می‌ماند.



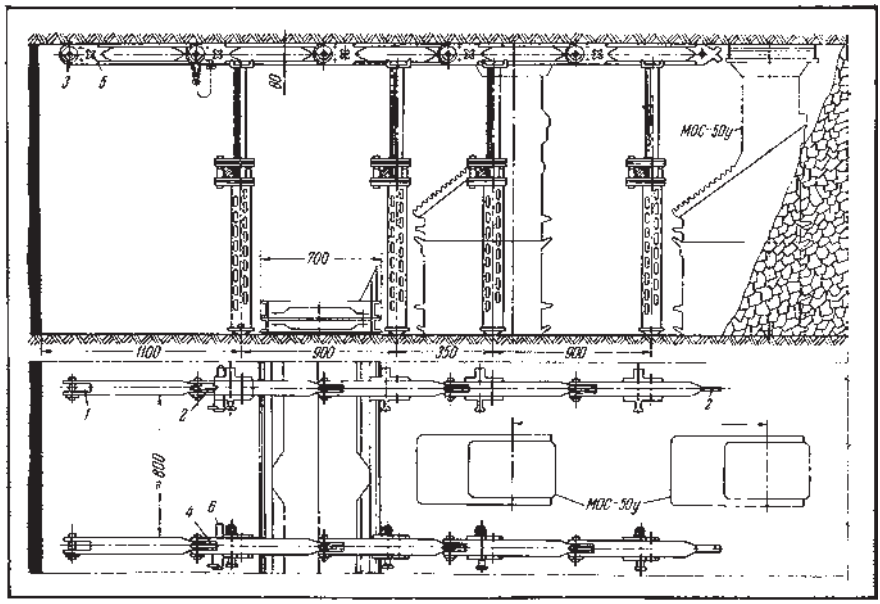

شکل ۹ــ۷ــ قسمتهای مختلف پایه فلزی [۶]

**۹ــ۴ــ۲ــ پایه‌های هیدرولیکی:** پایه‌های هیدرولیکی از یک سیلندر که داخل آن یک پیستون قرار دارد تشکیل شده است که با حرکت پیستون در داخل سیلندر، طولهای متفاوتی برای پایه حاصل می‌شود.

طرز کار پایه‌های هیدرولیکی مانند جک هیدرولیکی اتومبیل است. هنگامی‌که روغن به‌وسیله پمپ دستی از قسمت بالای پایه به قسمت پایین آن داخل شود، طول پایه اضافه می‌شود و هنگامی‌که با باز کردن سوپاپ، روغن به قسمت بالای پایه هدایت شود از طول آن کاسته شده و پایه آزاد می‌شود.

در شکل ۹ــ۱۰ یک پایه هیدرولیکی ونحوه نصب آن درکارگاه استخراج نشان داده شده است.

شکل ۹ــ۸ــ نحوهٔ نصب پایه‌های فلزی

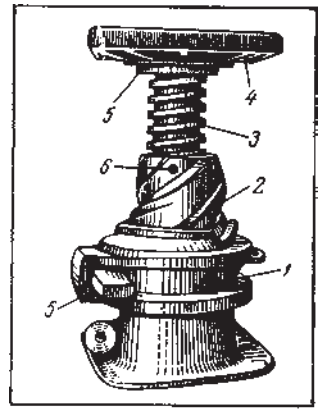



شکل ۹ــ۹ــ نحوهٔ نصب دستک‌ها [۳]

شکل ۹ــ۱۰ــ نصب پایه‌های هیدرولیکی در کارگاه استخراج

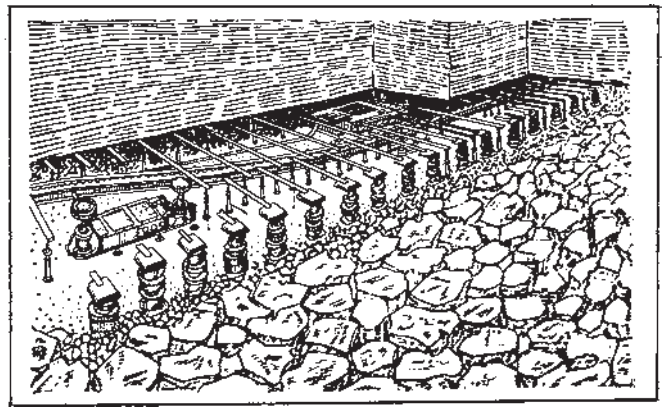
## ۹ــ۵ــ جرزهای فلزی

این پایه‌ها قادرند فشارهای فوق‌العاده زیادی را تحمل کنند و برای نگهداری کارگاه در فاصله بین جبهه کار و محل پر شده یا تخریب شده، به‌کار می‌روند (شکل ۹ــ۱۱). مطابق شکل، این پایه‌های از بدنه (۱)، پیچ اصلی (۲)، پیچ فرعی (۳) و سینی (۴) تشکیل شده است. برای نصب این پایه‌ها، ابتدا پیچ اصلی را می‌پیچانند و براثر آن طول پایه را اضافه می‌کنند. پایه را به وسیله دستگیره مخصوصی که در سوراخ (۶) فرو می‌رود می‌پیچانند. سپس پیچ فرعی را نیز می‌پیچانند و بدین ترتیب پایه در محل محکم می‌شود.




شکل ۹ــ۱۱ــ جرز فلزی [۳]

برای ثابت ماندن پایه، گوه (۵) را در محل خود قرار می‌دهند. برای باز کردن پایه، ابتدا گوه را از محل خود در می‌آورند و سپس پیچ را در جهت عکس می‌پیچانند. در شکل ۹ــ۱۲ نحوه نگهداری سقف کارگاه با این پایه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۹ــ۱۲ــ نحوهٔ نگهداری کارگاه با جرز فلزی [۶]

## ۹ــ۶ــ پایه‌های قدرتی[۱]

پس از تکامل پایه‌های هیدرولیکی، انواع ترکیبی آنها موسوم به پایه‌های قدرتی یا پایه‌های هیدرولیکی خودکار، به بازار آمد که برای نگهداری کارگاه‌های استخراج زغال در روش جبهه کار بلند، به‌کار می‌رود. یکی از دلایل اصلی اختراع و به‌کارگیری این دستگاهها، ضرورت استخراج کارگاه با آهنگ سریع بود بدین‌معنی که در هر شیفت، باید جبهه کار کارگاه چند متر و در چند نوبت

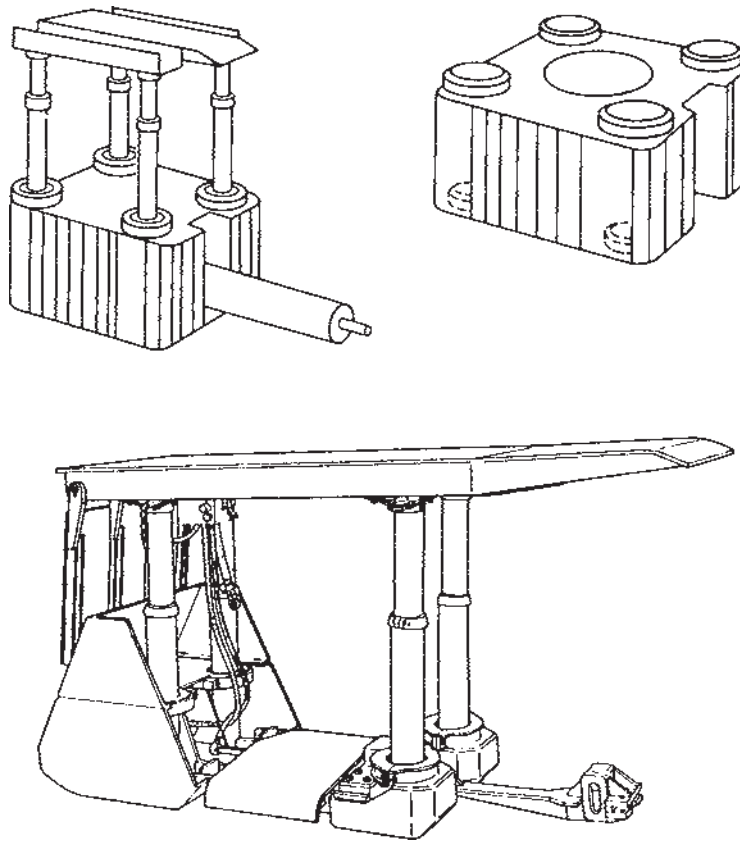
۱ــ Powered Supports

پیشروی می‌کرد و این امر با به‌کارگیری پایه‌های قدیمی عملاً ممکن نبود.

در پایه‌های قدرتی، چند پایه هیدرولیکی که سپر محافظی به آنها متصل است، یک واحد را تشکیل می‌دهند. این پایه‌ها از یک طرف به سیستم حفرکننده ماده معدنی (معمولاً دستگاههای زغال‌تراش) و از طرف دیگر، به ناو زنجیری متصل‌اند و گاه آنها را به‌نام پایه‌های قدم‌زن می‌نامند.

نسل اولیه پایه‌های قدرتی موسوم به گوه[1] در شکل ۹ــ۱۳ نشان داده شده است و مطابق شکل، دارای چهارپایه هیدرولیکی قائم که به یک سینی افقی متصل‌اند و یک جک هیدرولیکی افقی دارد. پایه‌های هیدرولیکی قائم وزن سقف را تحمل می‌کنند و جک افقی باعث راندن ناو زنجیری به‌جلو می‌شود. در شکل ۹ــ۱۳، پایه قدرتی با ۶ پایه هیدرولیکی قائم نشان داده شده است.

نسل دوم این پایه‌های موسوم به پایه‌های قالبی[2] در شکل ۹ــ۱۴ دیده می‌شود. مطابق شکل،

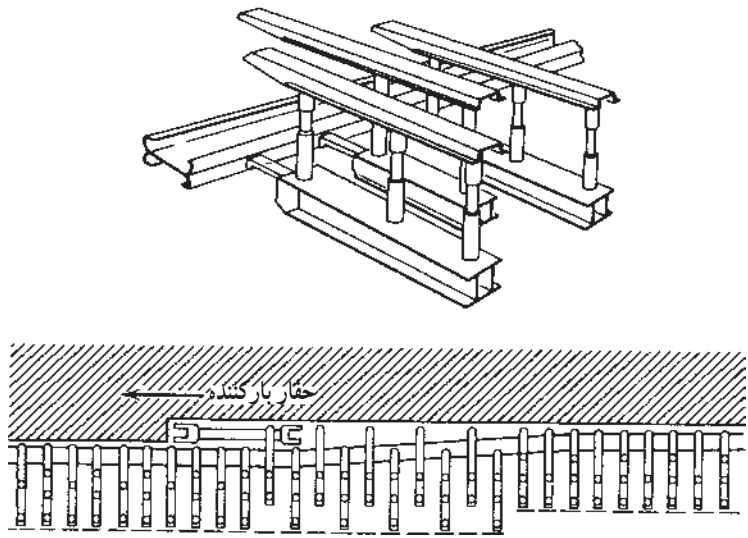


شکل ۹ــ۱۳ــ نسل اولیه پایه‌های قدرتی موسوم به گوه [۳۴]

۱ــ Chock

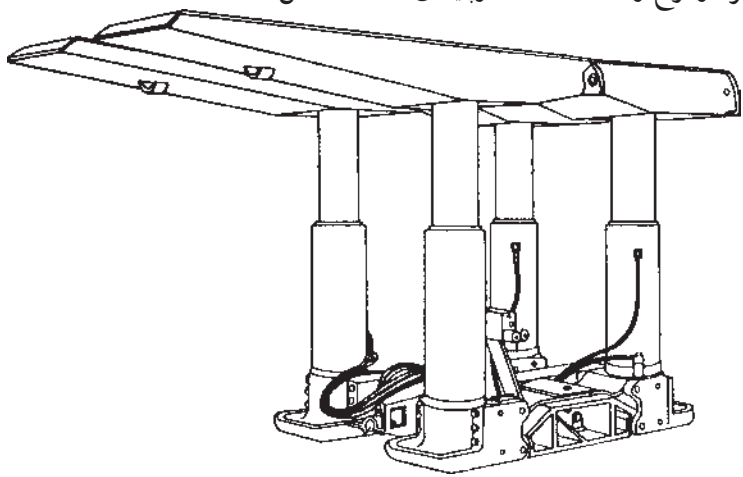
۲ــ Frame Support

دستگاه از دو نوع واحد دو پایه‌ای و سه پایه‌ای ساخته شده است. واحد دوپایه‌ای، به ناو زنجیری متصل است و با حرکت سیستم حفر زغال، ناو را به جلو جبهه کار می‌راند.



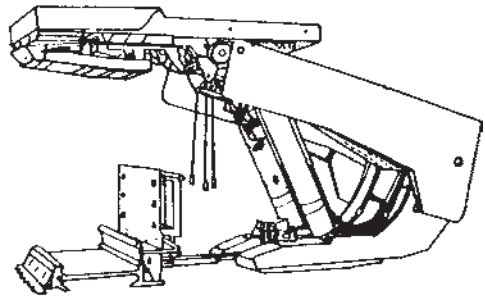

**شکل ۹ــ۱۴ــ نسل دوم پایه‌های قدرتی موسوم به پایه‌های قالبی [۳۴]**

واحد سه پایه‌ای نیز وظیفه نگهداری سقف را پس از عبور ماشین حفار به عهده دارد و پس از آنکه برش کامل شد، این واحد نیز به جلو می‌رود و عمل تکرار می‌شود. در نوع مدرن‌تر این دستگاهها، هر دو نوع واحد دستگاه، دوپایه‌ای هستند (شکل ۹ــ۱۵).

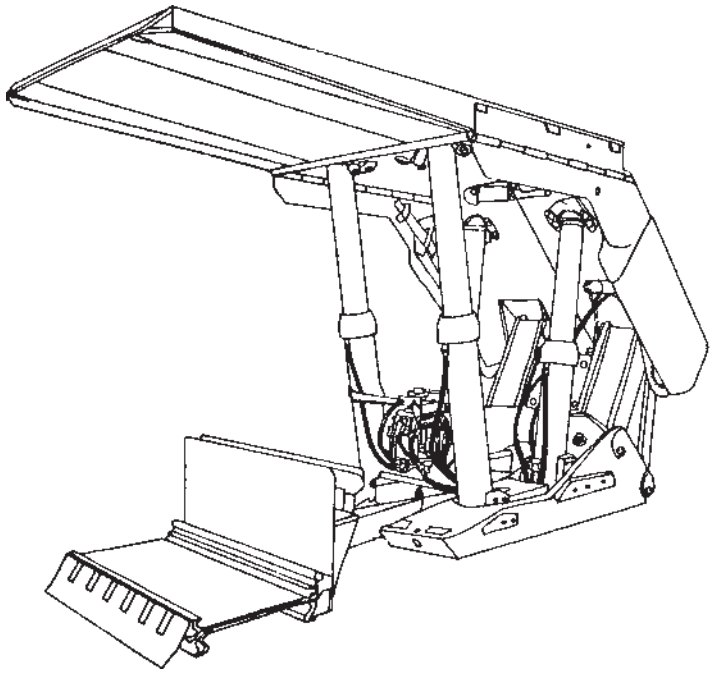


**شکل ۹ــ۱۵ــ پایه قدرتی با واحدهای دوپایه‌ای [۳۴]**

سومین نسل پایه‌های قدرتی به‌نام پایه‌های سپری[1] موسوم‌اند. در این پایه‌ها، علاوه بر صفحه فلزی افقی محافظ که در بالای پایه‌ها قرار دارد، یک صفحه فلزی مورب نیز وجود دارد که قسمت پایین آن به صفحه پایه‌ها و قسمت بالایی آن به صفحه افقی سقف لولا شده است (شکل ۹ـ۱۶). مدلهای اولیه این پایه‌ها دو پایه هیدرولیکی داشتند اما امروزه معمولاً چهار جک هیدرولیکی دارند (شکل ۹ـ۱۷).



**شکل ۹ـ۱۶ـ نسل سوم پایه‌های قدرتی موسوم به پایه‌های سپری [۳۴]**

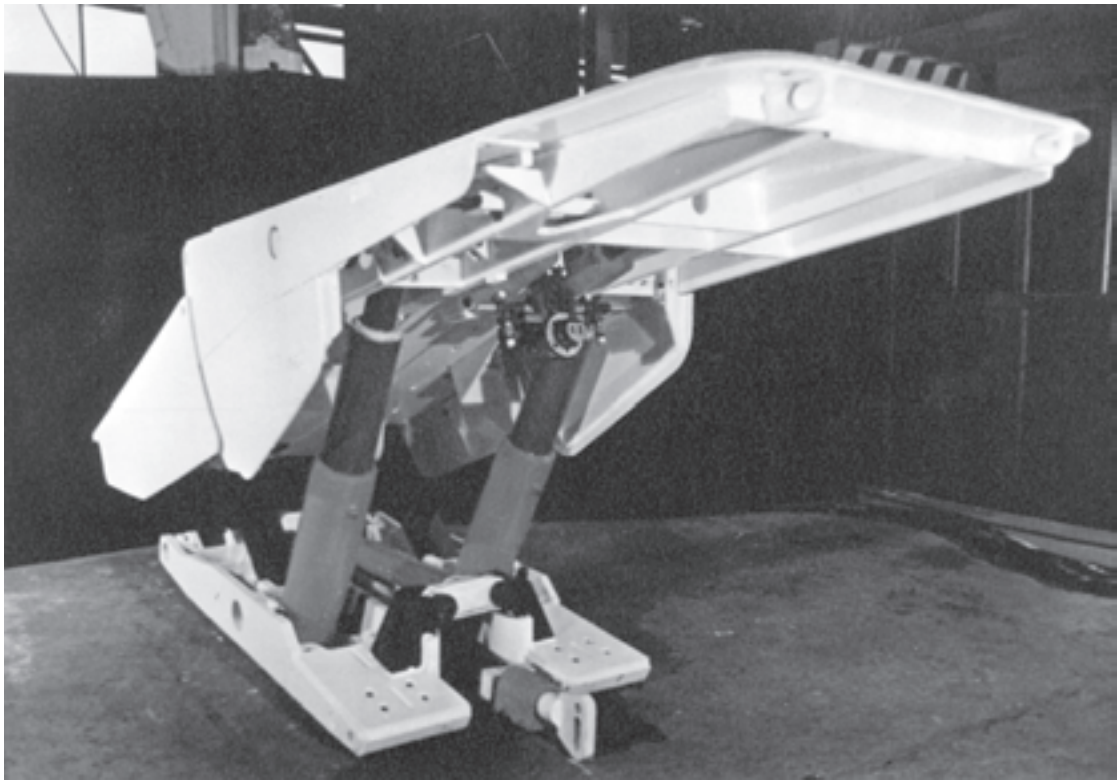


**شکل ۹ـ۱۷ـ پایه سپری با چهار جک هیدرولیکی [۳۴]**

۱ـ Sheild Support

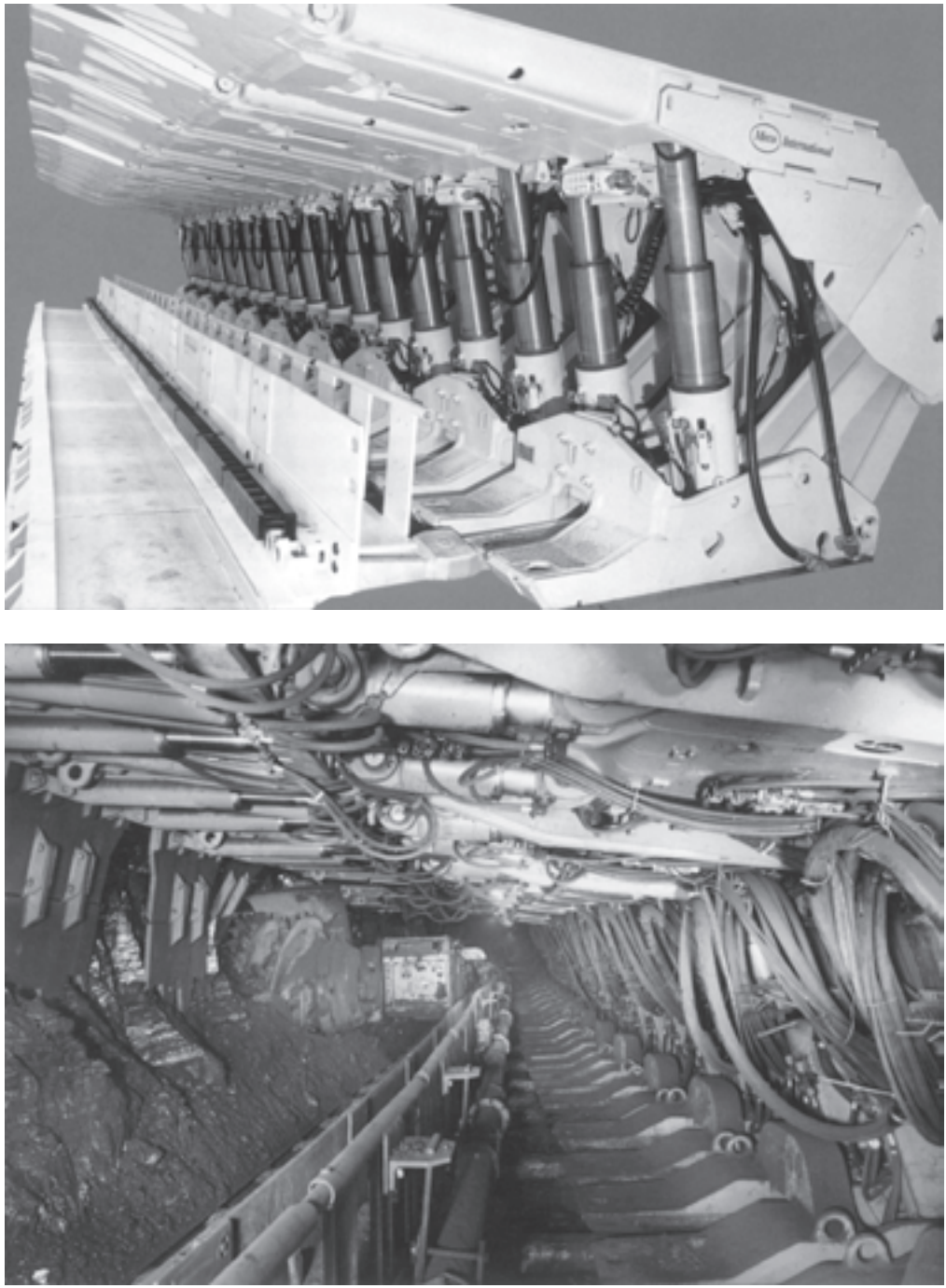
گرچه عملکرد انواع مختلف پایه‌های قدرتی متفاوت است اما در تمامی آنها، پس از حفر قسمتی از کارگاه استخراج، یک واحد از جکهای دستگاه کوتاه می‌شود و به‌جلو می‌رود پس از استقرار در محل جدید، مجدداً جک بالا می‌رود و صفحه سینی را به سقف می‌چسباند. بدین‌ترتیب قطعات ناو به تدریج به جلو رانده می‌شود و نیازی نیست که هر بار قطعات آن باز شده و مجدداً متصل شوند.

در شکلهای ۹ــ۱۸ تا ۹ــ۲۰ نمونه‌هایی از پایه‌های قدرتی نشان داده شده است.



**شکل ۹ــ۱۸ــ نوعی پایه قدرتی**

**شکل ۹ــ۱۹ــ پایه قدرتی در کارگاه استخراج**



شکل ۹ــ۲۰ــ پایه قدرتی در کارگاه استخراج

## ۹ــ۷ــ پر کردن محل استخراج شده

به طوری که گفتیم، بعد از مدتی که از استخراج ماده معدنی گذشت، فشار وارده به قسمت‌های استخراج شده به‌حدی است که با هیچ وسیله‌ای نمی‌توان آنرا نگهداری کرد.

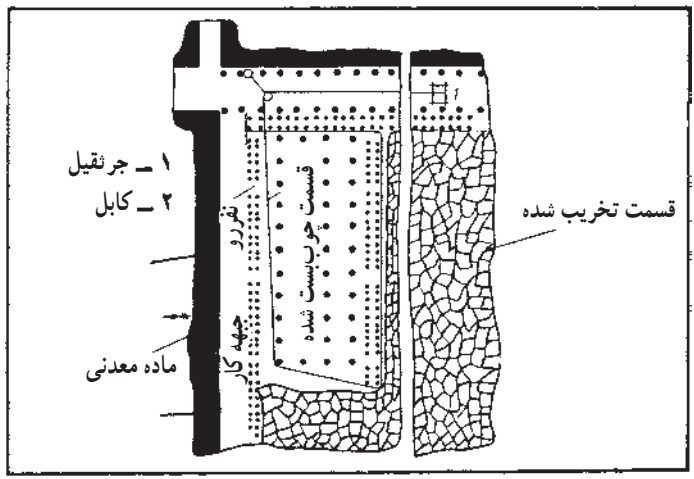
برای نگهداری قسمت‌های استخراج شده بایستی به‌نحوی این محل‌های خالی را پر کرد. برای این منظور دو روش کلی موسوم به تخریب و خاکریزی معمول است که در زیر آنها را شرح می‌دهیم :

**۹ــ۷ــ۱ــ تخریب:** در مواردی که ضخامت ماده معدنی زیاد نباشد و موقعیت سنگهای اطراف نیز مناسب باشد، با بیرون کشیدن پایه‌هایی که در قسمت پشت جبهه کار نصب شده است، سقف کارگاه ریزش کرده و سنگهای حاصله از آن، خود به خود محل استخراج شده را پر می‌کنند.

در بعضی موارد که جنس سقف یک پارچه و ریزش قطعات آن مقدور نباشد، با انجام آتشباری باعث ریزش سقف در این قسمت و پر شدن محل استخراج شده می‌شوند.

معمولاً این روش در مورد کانسارهای لایه‌ای (مثلاً زغال) به کار می‌رود و از آنجا که سنگهای اطراف لایه‌ها چندان مقاوم نیستند لذا تنها با بیرون کشیدن پایه‌ها، عمل تخریب انجام می‌شود. فاصله قسمت تخریب شده از جبهه کار در هر مورد به مشخصات کانسار بستگی دارد و بایستی این فاصله را به نحوی انتخاب کرد که تخریب سقف باعث ریزش در قسمت جبهه کار نشود.

از آنجا که فشار سقف باعث محکم شدن پایه‌ها می‌شود بنابراین برای بیرون کشیدن ستون‌های چوبی، از دور آنها یک کابل محکم رد می‌کنند و به وسیلهٔ جرثقیل مخصوصی، کابل را می‌کشند (شکل ۹ــ۲۱). در نتیجه این عمل پایه‌ها از جا کنده شده و سقف تخریب می‌شود.



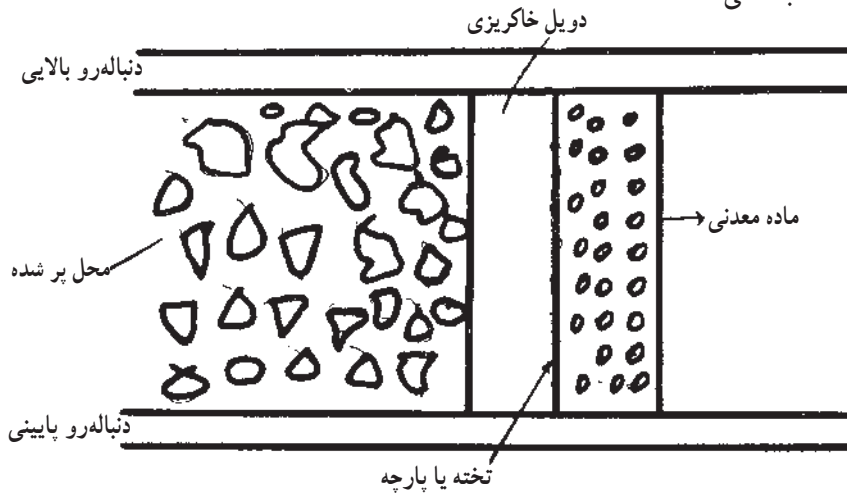

**شکل ۹ــ۲۱ــ تخریب سقف با بیرون کشیدن پایه‌ها [۶]**

**۹ــ۷ــ۲ــ خاکریزی:** در این روش، محل استخراج شده را به وسیله مخلوطی از خاک و سنگ، که معمولاً از بیرون معدن تأمین می‌شود، پرمی‌کنند.

نوع سنگ و خاکی که برای پر کردن محل استخراج شده به کار می‌رود از جمله مسایل مهم است و این مواد بایستی به نحوی انتخاب شود که به آسانی فضای خالی را پر کنند.

در معادن زغال‌سنگ پابدانا و باب نیزو واقع در حوضه زغالی کرمان، معدن سنگ مخصوصی وجود دارد که خرده سنگهای لازم برای پر کردن کارگاه را تأمین می‌کند. قطعات سنگ را پس از استخراج از معدن سنگ، به‌وسیله سنگ‌شکن‌های مخصوصی خرد کرده و آنرا به محل مصرف حمل می‌کنند.

برای خاکریزی محل استخراج شده معمولاً از تونل دنباله‌رو بالای کارگاه استفاده می‌کنند (شکل ۹ــ۲۲). خرده‌سنگها را به‌وسیله واگون یا نوار نقاله به تونل دنباله رو بالایی حمل می‌کنند و از طریق دویل خاکریزی آنرا به محل استخراج شده می‌ریزند. برای اینکه سنگها به داخل جبهه کار نیفتد و به ستونها برخورد نکند، به‌وسیله تخته‌کوبی یا با استفاده از پارچه‌هایی نظیر گونی، دویل خاکریزی را از آن قسمت جدا می‌کنند.




**شکل ۹ــ۲۲ــ خاکریزی در کارگاه استخراج**

در معادن ایران معمولاً خاکریزی به وسیله کارگر انجام می‌شود اما برای خاکریزی در معادن بزرگ، روشهای مکانیکی مختلفی وجوددارد. یکی از روشهای متداول دراین معادن، استفاده از هوای فشرده است. ذرات خاک و سنگ با استفاده از هوای فشرده و به‌وسیله لوله‌های مخصوصی، به داخل کارگاه ریخته می‌شود و فضای خالی آنرا به‌خوبی پر می‌کند.

# بخش سوم

# حمل و نقل در معادن

سنگهای باطله‌ای که در اثر حفریات معدنی حاصل می‌شود و همچنین مواد معدنی استخراج شده را بایستی از داخل معدن به بیرون حمل کرد. به علاوه، کارکنان معدن را که درقسمتهای مختلف کار می‌کنند، بایستی توسط وسایل نقلیه مخصوص به محل کارشان برد ویا آنها را به بیرون باز گردانید.

بدیهی است در مورد مواد باطله و مواد استخراج شده، ابتدا بایستی این مواد را داخل وسایل نقلیه بارگیری و آنگاه نسبت به حمل آنها اقدام کرد.

حمل و نقل در داخل معدن را می‌توان به مراحل مختلفی از جمله حمل و نقل در کارگاه استخراج، حمل و نقل در بیرون معدن تقسیم کرد.

طی فصول این بخش ابتدا به شرح وسایل بارگیری می‌پردازیم و آنگاه وسایل باربری راشرح می‌دهیم و در پایان، روش‌های حمل و نقل در کارگاه استخراج، تونل‌ها، چاه و بیرون معدن را بررسی خواهیم کرد.

# فصل دهم

# بارگیری

## ۱۰ــ۱ــ آشنایی

قبل از آغاز عملیات باربری، بایستی مواد باطله و مواد معدنی مفید را در قسمت وسایل مختلف، بارگیری[۱] کرد. وسایلی را که برای بارگیری به کار می‌روند به طور کلی به نام بارکننده[۲] می‌خوانند. در حقیقت وظیفه بارکننده‌ها، تغذیه وسایل باربری مختلف است و آنها را می‌توان از نظرهای مختلف مثل نحوه کار، نحوه کاربرد، نحوه تأمین نیروی محرکه و نظایر آنها تقسیم‌بندی کرد.

در این فصل وسایل مختلف بارگیری را براساس محل کاربردشان تقسیم‌بندی می‌کنیم و به بررسی آنها می‌پردازیم.

از آنجا که بارگیری در کارگاه استخراج به‌وسیله ماشین‌های حفار بارکننده، یعنی ماشین‌های مخصوص استخراج انجام می‌گیرد لذا شرح بارگیری در کارگاه استخراج و ماشین‌های مربوط به آن در فصل ماشین‌های استخراج در درس تکنولوژی استخراج معدن (۲)خواهد آمد.

## ۱۰ــ۲ــ بارگیری در تونل‌ها

وسایل بارگیری در تونلها را می‌توان به دو دسته کلی بار کننده‌های متناوب و دایم تقسیم‌بندی کرد. به طوری که از اسم این نوع تقسیم‌بندی پیداست، در بارکننده‌های متناوب، عملیات بارگیری پیوسته و مداوم نیست بلکه در زمانهای خاص انجام می‌گیرد. از جمله این وسایل می‌توان وسایل بارگیری دستی، بیل مکانیکی و اسکریپر را نام برد. در نوع دوم از وسایل بارگیری، عمل بارگیری به طور مداوم انجام می‌گیرد.

در زیر وسایل مختلف بارگیری در تونل‌ها را بررسی می‌کنیم.

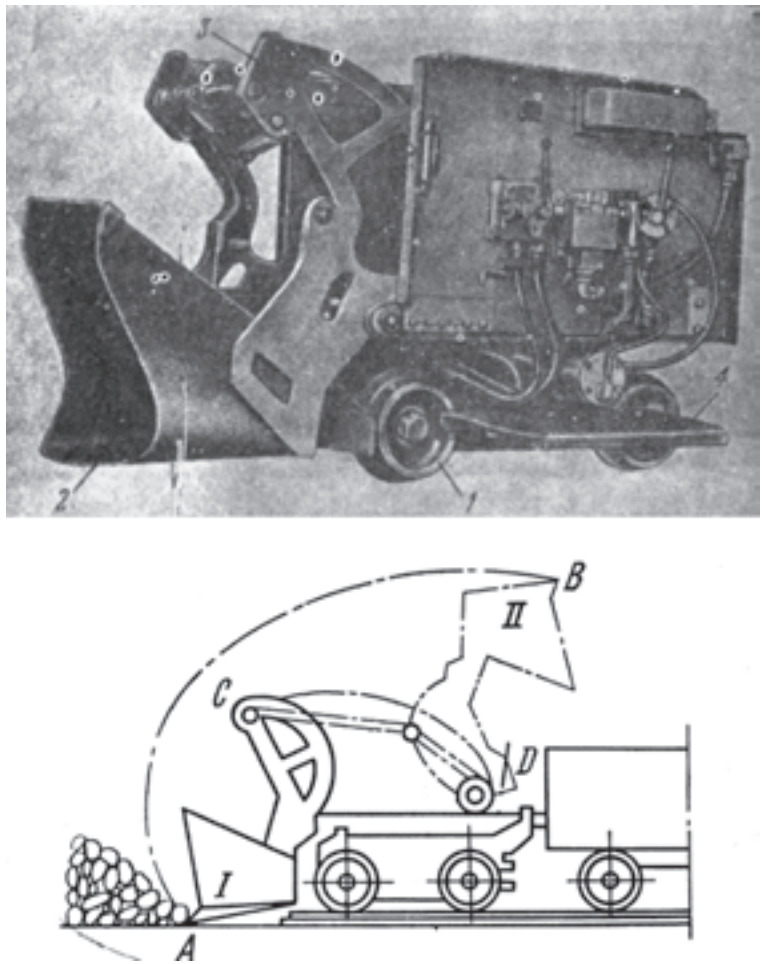
**۱۰ــ۲ــ۱ــ وسایل بارگیری دستی:** بارگیری دستی به‌وسیله بیل معمولی و توسط کارگر انجام می‌گیرد. در این روش، معمولاً دونفر کارگر به‌وسیله بیل، مواد حفر شده را در داخل واگون‌های معدنی یا فرعون بارگیری می‌کنند.

---

۱ــ Loading ۲ــ Loader

گرچه راندمان این روش پایین است ولی در بسیاری ازمعادن ایران معمول است و در بعضی موارد که ابعاد تونل کوچک باشد و نتوان از ماشین‌های بارگیری استفاده کرد، روش منحصر به فرد به‌شمار می‌آید.

**۱۰ــ۲ــ۲ــ بارکننده مکانیکی:** بارکننده مکانیکی معمولاً یک شاسی و چهار چرخ دارد که چرخ‌های آن ممکن است فولادی، زنجیری یا لاستیکی باشد و به‌وسیله این چرخها، حرکت بیل در قسمت‌های مختلف تأمین می‌شود (شکل ۱۰ــ۱). بارکننده دارای صندوقه‌ای است (۲) که ضمن حرکت به سمت جلو، در داخل مواد کنده‌شده نفوذ می‌کند و از این مواد پر می‌شود. پس از پر شدن صندوقه، دستگاه آن‌را به‌وسیله بازوی (۳) بلند می‌کند و مواد محتوی آنرا در واگون معدنی یا نوار باربری که پشت بارکننده واقع است تخلیه می‌کند.




شکل ۱۰ــ۱ــ بارکننده مکانیکی [۲]

نیروی محرکه دستگاه متفاوت و ممکن است به‌وسیله موتور هوای فشرده، موتور الکتریکی و یا موتور دیزل تأمین شود.

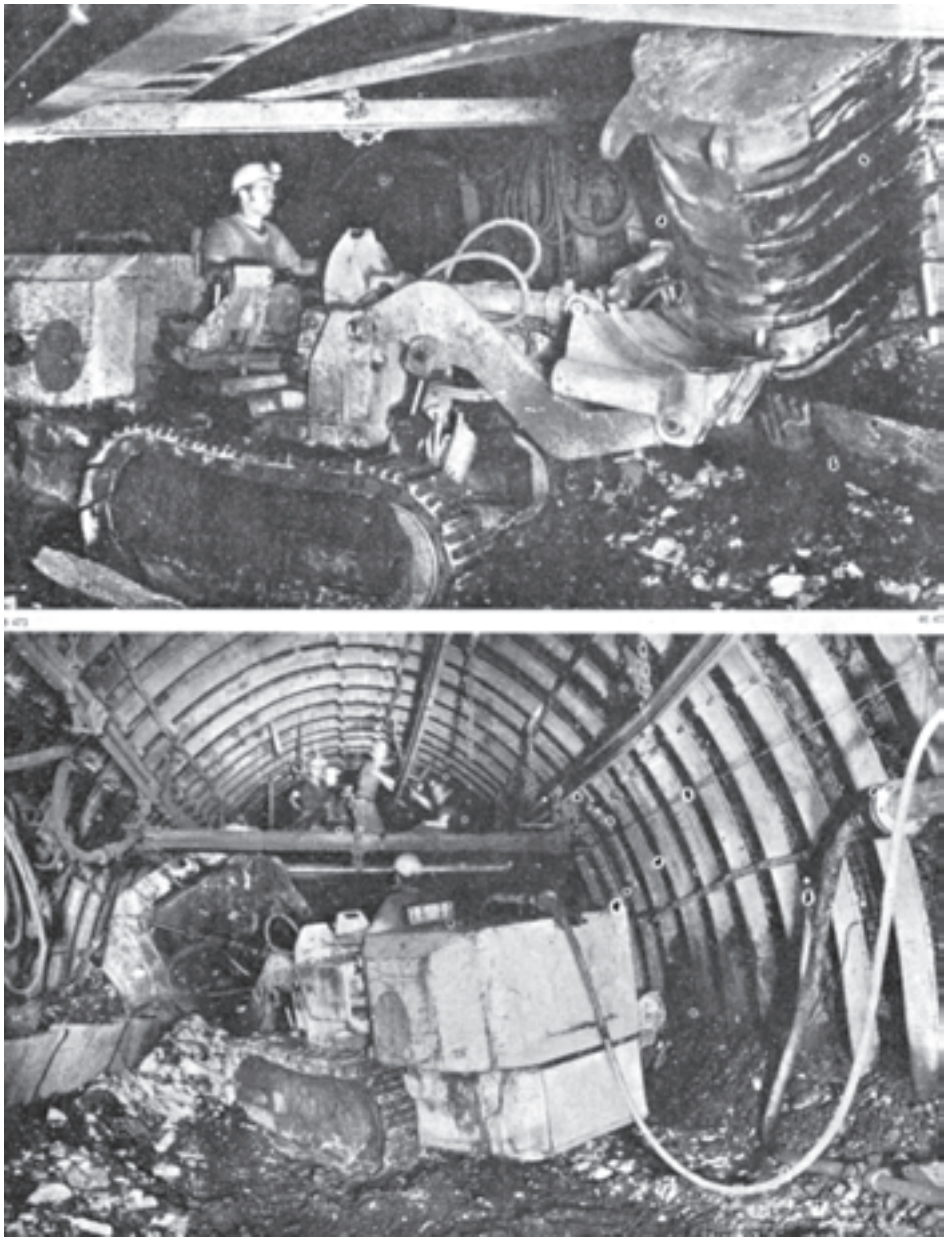
بعضی از بارکننده‌ها در قسمت عقب محفظه مخصوصی دارند که مواد داخل صندوقه مستقیماً به داخل آن ریخته می‌شود و پس از پر شدن محفظه، بیل حرکت می‌کند و آنرا در داخل واگون‌های بزرگ و یا به داخل نوار نقاله‌ای که در پشت جبهه کار قرار گرفته است، تخلیه می‌کند (شکل ۱۰ــ۲). متصدی بار کننده معمولاً روی رکابی که در کنارهٔ آن قرار دارد، می‌ایستد و از روی آن عملیات مختلف دستگاه را هدایت می‌کند.

شکل ۱۰ــ۲ــ طرز کار بارکننده مکانیکی

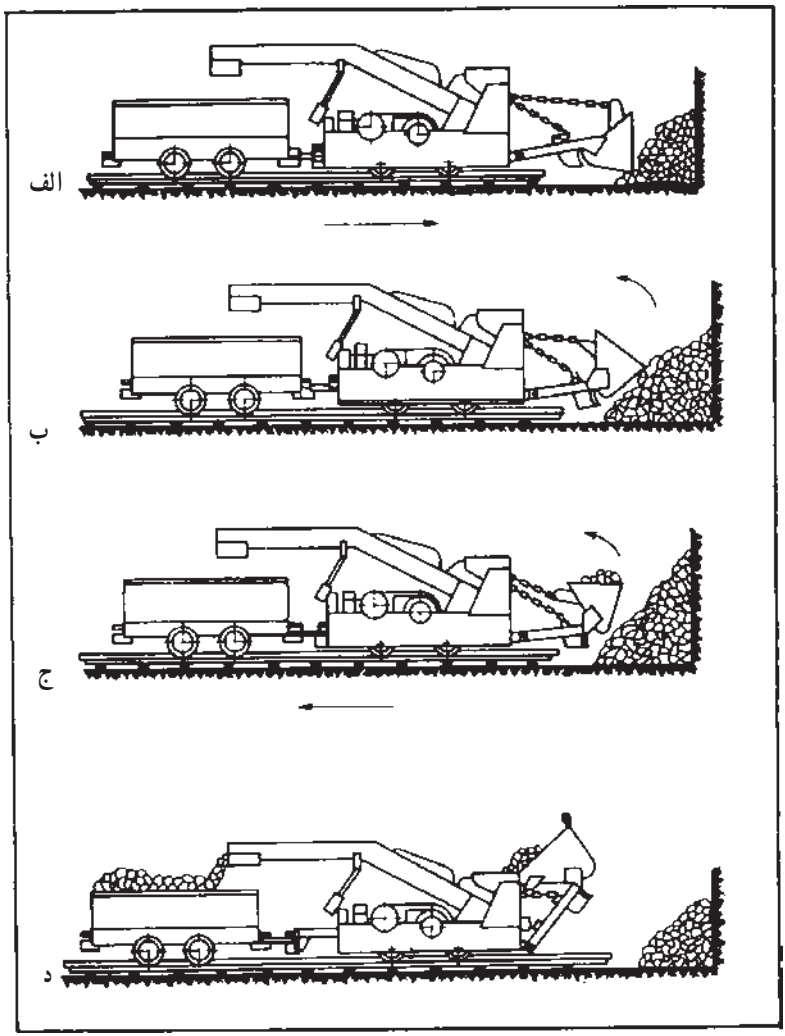
از جمله ویژگی‌های بارکننده‌ها، نحوه تخلیه صندوقهٔ آنهاست. دستگاههای جدید به‌گونه‌ای طراحی شده است که در مقاطع کم نیز بتواند به‌خوبی بارگیری کند. شکل ۱۰ــ۳ نحوه کار بارکننده در تونل را نشان می‌دهد.

برای اینکه عمل بارگیری دستگاه بهتر انجام شود، معمولاً در قسمت پشت دستگاه، یک نوار

نقاله کوچک قرار می‌دهند که مواد داخل صندوقه روی آن تخلیه شده و توسط آن به داخل واگونهای معدنی یا نوار باربری اصلی ریخته می‌شود. در شکل ۱۰ــ۴ مراحل مختلف کار این نوع بارکننده‌ها نشان داده شده است.



**شکل ۱۰ــ۳ــ نحوه کار بارکننده در تونل**

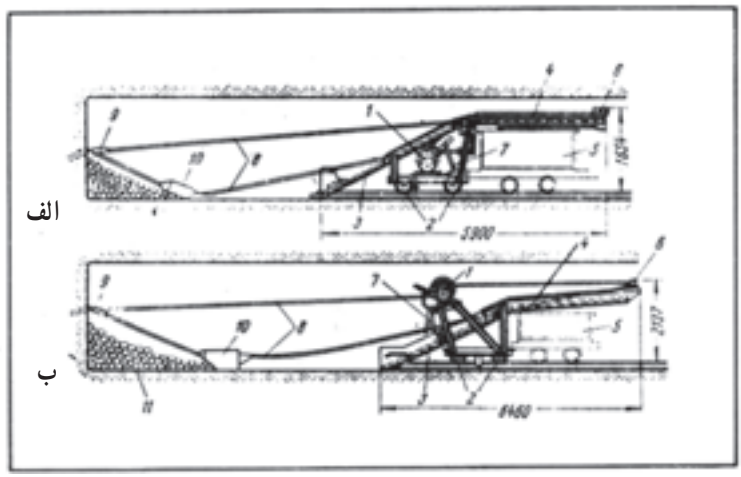



**شکل ۱۰ــ۴ــ مراحل مختلف کار بارکننده مکانیکی [۳]**

از آنجا که به هنگام کار بعضی از این دستگاه‌ها، صندوقه از روی بدنه آن عبور می‌کند، لذا ارتفاع تونل بایستی به اندازه‌ای باشد که دستگاه بتواند کار کند. بدیهی است این مسئله بایستی به هنگام طراحی تونل در نظر گرفته شود.

**۱۰ــ۲ــ۳ــ اسکریپر**[۱]: این دستگاه برای بارگیری در انواع تونل‌های افقی و نیز تونل‌های شیب‌دار به‌کار می‌رود و به‌وسیله آن می‌توان مواد موجود در جبهه کار را به داخل واگون‌های معدنی یا نوار نقاله بارگیری کرد (شکل ۱۰ــ۵).

۱ــ Scraper




شکل ۱۰ــ۵ــ اسکریپر [۲]

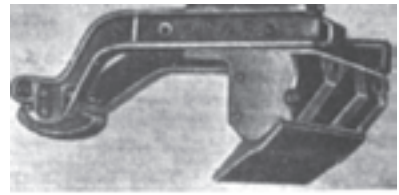
دستگاه یک کج بیل (۱۰) دارد که به‌وسیله کابل (۸) روی زمین کشیده می‌شود و به هنگام حرکت به سمت عقب، مواد کنده‌شده را باخود حمل می‌کند و پس از عبور از یک سطح شیب‌دار (۳) آنها را روی سطح مسطح (۴) می‌ریزد و از طریق دریچه موجود در این سطح، به داخل واگون (۵) که در پشت دستگاه قرار دارد، تخلیه می‌کند.

برای اینکه حرکت رفت و برگشت کج بیل انجام شود، ابتدا یک قلاب (۹) را در جبهه کار محکم می‌کنند و کابل را از دور آن عبور می‌دهند. کابل اخیر و نیز کابلی که به انتهای دیگر کج بیل متصل است، به دور دو استوانه جرثقیل (۱) پیچیده شده است. ساختمان جرثقیل به‌گونه‌ای است که هنگامی که یکی از استوانه‌ها در اثر موتور دستگاه حرکت می‌کند، استوانه دیگر آزاد است و انتهای کابل به آسانی از آن باز می‌شود. جرثقیل ممکن است مستقیماً روی شاسی دستگاه سوار باشد (شکل ۱۰ــ۵ــ الف ) و یا اینکه به‌وسیله سکوی مخصوصی در بالای دستگاه تعبیه شود (شکل ۱۰ــ۵ــ ب ). بدیهی است نوع اول تعادل پایدارتری دارد.

نیروی محرکه لازم برای دستگاه به‌وسیله موتور الکتریکی یا موتور هوای فشرده تأمین می‌شود.

شکل کج بیل دستگاه نیز بستگی به نوع مواد حفر شده دارد. مثلاً برای بارگیری مواد سخت و درشت آنرا مطابق شکل (۱۰ــ۶ــ الف) انتخاب و برای جابه جا کردن مواد نرم، از کج بیل صندوقه‌ای (شکل ۱۰ــ۶ــ ب ) استفاده می‌کنند.

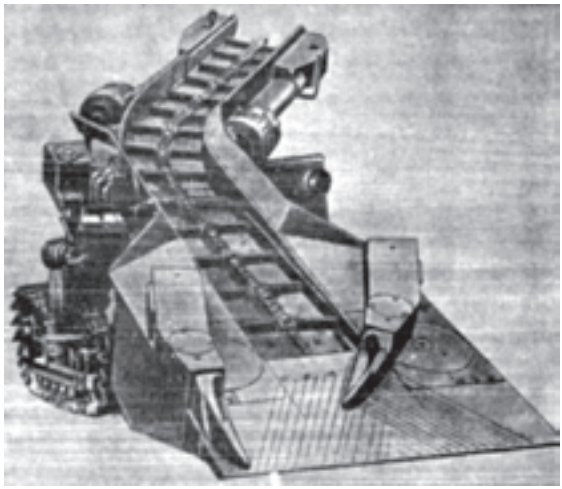
**۱۰ــ۲ــ۴ــ بارکننده مداوم با بازوی جمع کننده:** این دستگاه در قسمت جلو دو چرخ گردنده دارد که به هریک از آنها، یک بازو به طور خارج از محور متصل است (شکل ۱۰ــ۷).



الف

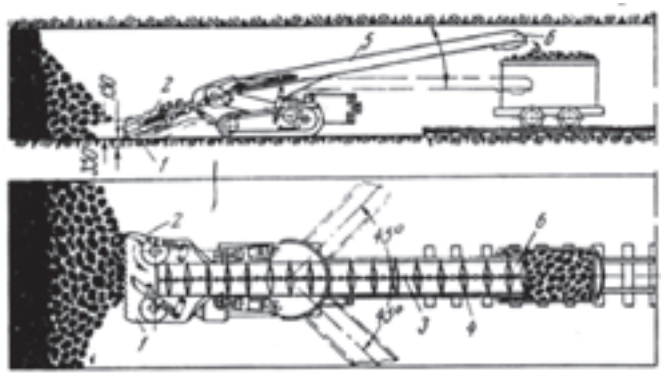
ب

شکل ۱۰ــ۶ــ کج بیل [۲]



شکل ۱۰ــ۷ــ بارکننده مداوم با بازوی جمع کننده [۱۵]

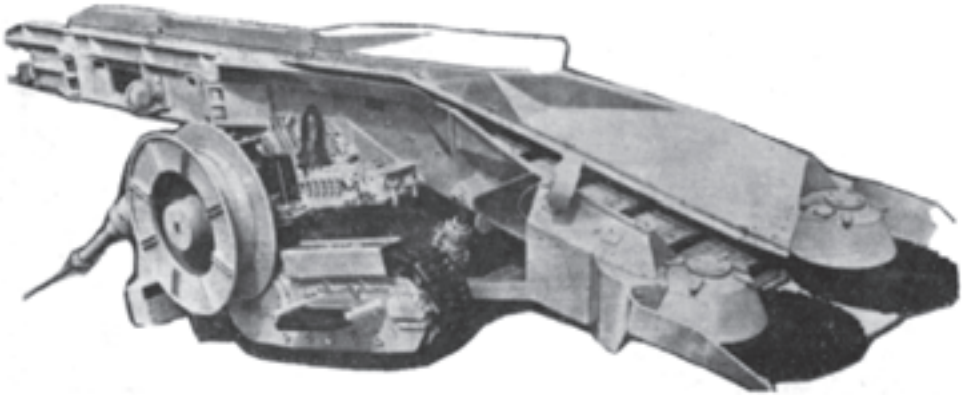
هنگامی که چرخها به گردش درمی‌آیند، بازوها حرکتی شبیه حرکت پای قورباغه انجام می‌دهند و در نتیجه مواد کنده‌شده را جمع می‌کنند و به داخل یک ناو زنجیری که در پشت دستگاه قرار دارد، می‌ریزند. مواد پس از عبور از ناو زنجیری، در داخل واگون یا هر وسیله نقلیه دیگری که در عقب دستگاه قرار دارد، تخلیه می‌شود. در شکل ۱۰ــ۸ طرز کار دستگاه نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ۸ــ طرز کار بارکننده مداوم با بازوی جمع کننده [۳]

در این مورد نیز نیروی محرکه دستگاه به‌وسیله موتور الکتریکی یا هوای فشرده تأمین می‌شود.

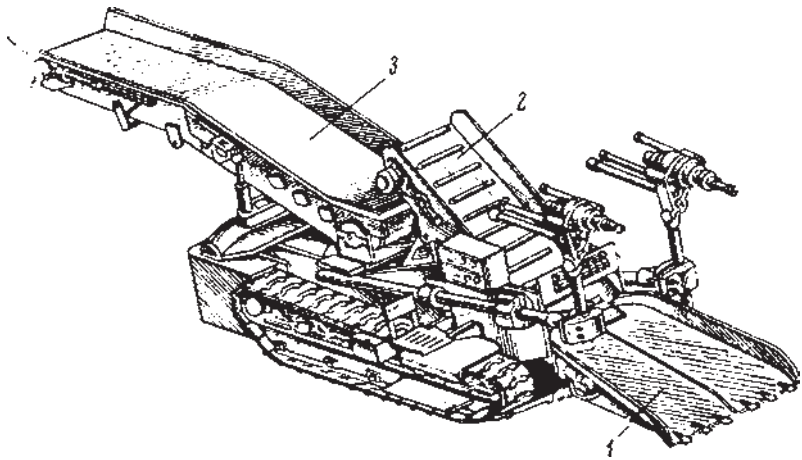
**۱۰ــ۲ــ۵ــ بارکننده مداوم با دیسک گردان:** در قسمت جلو این دستگاه یک یا دو دیسک چرخنده وجود دارد که حرکت آنها نیز به صورت خارج از محور است، و در اثر چرخش آنها، مواد حفر شده به درون ناو زنجیری دستگاه هدایت می‌شود (شکل ۱۰ــ۹) و موادی را که بدین ترتیب



شکل ۱۰ــ۹ــ بارکننده مداوم با دیسک گردان

به داخل ناو زنجیری هدایت می‌شود، درون واگون‌های موجود در پشت دستگاه تخلیه می‌کند.

**۱۰ــ۲ــ۶ــ بارکننده مداوم با سینی لرزان:** این دستگاه در قسمت جلو یک سینی لرزان (۱) دارد که به زیر مواد کنده‌شده فرو می‌رود (شکل ۱۰ــ۱۰). سطح سینی دارای آج‌هایی است که حرکت مواد را تنها در یک جهت امکان پذیر می‌سازد. در اثر ارتعاش سینی، مواد به طرف بالا حرکت می‌کنند و از آنجا به داخل ناو زنجیری (۲) می‌ریزند و به‌وسیله آن در نوار نقاله انتهای دستگاه (۳) تخلیه می‌شوند. در آخرین مرحله، مواد از درون این نقاله، به داخل واگون‌های معدنی،که در پشت دستگاه قرار دارند، تخلیه می‌شود.

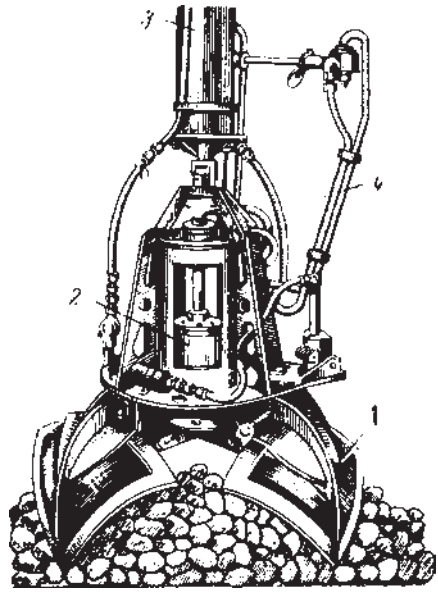



شکل ۱۰ــ۱۰ــ بارکننده مداوم با سینی لرزان [۲]

## ۱۰ــ۳ــ بارگیری در چاه

بارگیری مواد حفر شده در داخل چاه از جمله عملیات مهم حفر چاه است و به طور متوسط ۶۰ درصد از زمان هردوره کار را به خود اختصاص می‌دهد.

متداول‌ترین وسیله بارگیری در داخل چاه، بارکننده چنگالی است که تقریباً در تمام چاهها از آن استفاده می‌شود (شکل ۱۰ــ۱۱).




شکل ۱۰ــ۱۱ــ بارکننده چنگالی [۲]

این دستگاه چهار فک (۱) دارد که به‌وسیله سیستم مخصوص (۲)، که با هوای فشرده کار می‌کند، باز و بسته می‌شود. به هنگام کار، فک‌های دستگاه از هم باز است و به‌وسیله جرثقیل (۳) آنرا پایین می‌آورند. فک‌ها در اثر وزن خود، به داخل مواد حفر شده فرو می‌روند و بعد از اینکه کاملاً در این مواد نفوذ کردند، فک‌های دستگاه در اثر حرکت وسیله (۲) جمع می‌شود. بدین ترتیب، مواد در داخل چنگال جمع می‌شود و در مرحله بعد، چنگال را به بالای سطل خاک‌کشی می‌برند و با باز کردن فکها، آنها را در داخل این سطل‌ها خالی می‌کنند. به کمک این دستگاهها، به طور متوسط می‌توان ۱۰ متر مکعب مواد کنده شده را ظرف یکساعت بارگیری کرد.

عملیات بارگیری در چاه به‌وسیله متصدی دستگاه، که در آخرین طبقه سکوی معلق مستقر شده است، انجام می‌گیرد و معمولاً نیروی محرکه آن به‌وسیله هوای فشرده تأمین می‌شود. وسیله بارگیری

دیگر در چاه، نوع قاشقی آنست که به‌وسیله متصدی دستگاه، که در اطاقک معلقی مستقر است، کنترل می‌شود (شکل ۱۰ــ۱۲).

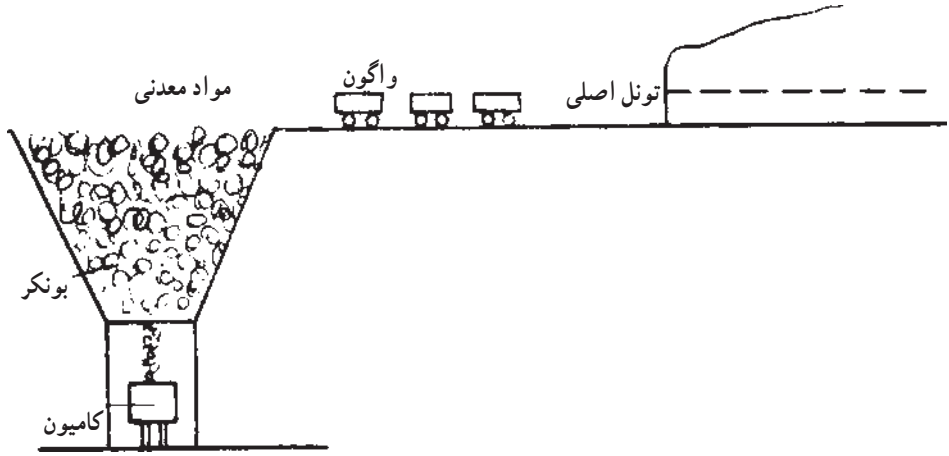
**شکل ۱۰ــ۱۲ــ بارکننده قاشقی در چاه**

## ۱۰ــ۴ــ بارگیری در خارج معدن

مواد باطله‌ای را که از معدن به بیرون حمل می‌شود، معمولاً در کنار محوطه تونل تخلیه می‌کنند ولی در مواردی که این محوطه جای کافی نداشته باشد، بایستی آنها را به منطقه‌ای واقع در خارج از محدوده معدن حمل کرد. همچنین مواد معدنی استخراج شده را نیز معمولاً به‌وسیله کامیون در خارج معدن حمل می‌کنند.

برای بارگیری کامیونها در خارج معدن، معمولاً موادی را که از تونل یا چاه به بیرون حمل

می‌شود، در انبارهای مخصوصی، که به نام بونکر نامیده می‌شود، تخلیه می‌کنند. بونکر محفظه‌ای فلزی یا بتنی است که حجم آن متناسب با میزان استخراج ماده معدنی است و به نحوی احداث می‌شود که به سهولت بتوان مواد را از داخل واگون‌ها یا نوار نقاله به داخل آن تخلیه کرد (شکل ۱۰ــ۱۳).




**شکل ۱۰ــ۱۳ــ بونکر**

در زیر بونکر بایستی فضای کافی برای قرار گرفتن کامیونها وجود داشته باشد.

برای بارگیری، کامیونها را در زیر بونکر قرار می‌دهند و آنگاه دریچه مخصوص زیر بونکر را باز و بدین ترتیب کامیون را بارگیری می‌کنند.

# فصل یازدهم

# وسایل حمل و نقل مداوم

## ۱۱ــ۱ــ آشنایی

در این فصل وسایل حمل و نقل مداوم مواد معدنی را مورد بررسی قرار می‌دهیم و کاربرد این وسایل اعم از مداوم یا راه‌آهن را طی فصل چگونگی حمل و نقل در قسمت‌های مختلف معدن (کارگاه استخراج، تونل‌ها و چاه ) مورد بررسی قرار خواهیم داد.

به طور کلی وسایل حمل و نقل مواد معدنی را به دو دسته کلی تقسیم می‌کنند :

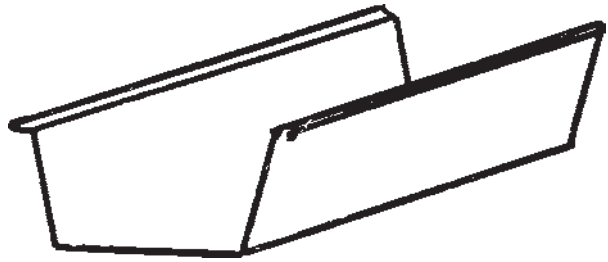
الف ــ وسایل حمل و نقل مداوم ــ این دسته از لوازم آنهایی هستند که حمل مواد معدنی در آنها به طور مداوم انجام می‌گیرد که از جمله آنها انواع ناوها و نوارهای باربری را می‌توان ذکر کرد.

ب ــ راه‌آهن ــ در این روش حمل و نقل به‌وسیله واگون‌هایی که روی ریل حرکت می‌کنند انجام می‌گیرد.

از نظر اهمیتی که راه‌آهن در حمل و نقل معادن به عهده دارد، آنرا طی فصل جداگانه‌ای بررسی می‌کنیم و در این فصل به شرح وسایل حمل و نقل مداوم می‌پردازیم :

## ۱۱ــ۲ــ ناو ثابت

ناو ثابت که ساده ترین وسیله باربری مواد است، از تعدادی قطعات فلزی با مقطع ذوزنقه تشکیل شده است که با وصل چند قطعه از آنها به یکدیگر، ناو باطول مورد نظر را به دست می‌آورند (شکل ۱۱ــ۱). هرگاه ناو ثابت را در سطوح شیب‌داری قرار دهند، موادی که درون آن ریخته



شکل ۱۱ــ۱ــ یک قطعه از ناو ثابت

می‌شود در اثر نیروی ثقل به پایین حرکت می‌کند. بنابراین از ناو ثابت فقط در محل‌هایی می‌توان استفاده کرد که سطحی که ناو در آن قرار گرفته، شیب کافی داشته باشد.

می دانیم که اگر شیب سطح زمین مثلاً سطح کمر پایین یک لایه زغال، بیش از ۴۰ درجه باشد، قطعات خرد شده زغال در اثر وزن خود به پایین سرازیر می‌شوند، در صورتی که اگر در همین سطح ناو ثابت نصب شود، با شیب ۲۵ درجه نیز مواد به پایین حرکت می‌کنند و اگر سطح ناو کاملاً صیقلی باشد، لغزش مواد در شیب‌های پایین‌تر نیز انجام می‌گیرد.

ناو ثابت بیشتر در کارگاههای استخراج و تونل‌های مورب به‌کار می‌رود. گاهی نیز برای حمل‌و نقل بعضی از وسایل در قسمت‌های شیب‌دار سطح زمین، از آنها استفاده می‌شود.

در ایران در بعضی از معادن کوچک، بشکه‌های فلزی را از جهت طولی به دو نیم می‌کنند و با وصل آنها به هم، یک ناو ثابت به دست می‌آورند. گاه نیز، از لوله‌های فلزی به عنوان ناو ثابت استفاده می‌شود. به عنوان مثال، قسمتی از مسیر حمل باریت در معدن باریت دره کاشان را لوله فلزی تشکیل می‌دهد. این بخش از مسیر، شیب خیلی زیادی دارد و عبور کامیون سنگین از این قسمت بسیار دشوار است اما با تعبیه ناو ثابت، حمل مواد در این بخش از مسیر به آسانی انجام می‌گیرد.

## ۱۱ــ۳ــ ناو زنجیری[۱]

ساده‌ترین ناو زنجیری از دو ناو ثابت، که رویهم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. درداخل ناو، یک یا دو رشته زنجیر بی‌انتها در حرکت و به آنها پره‌هایی متصل است. پره‌ها با کف ناو بالایی در تماس‌اند و در ضمن حرکت، مواد موجود در ناو را به قسمت انتهایی ناو منتقل می‌کنند (شکل ۱۱ــ۲).

در دو انتهای ناو، دو استوانه وجود دارد که زنجیر از دور آنها عبور می‌کند. معمولاً یکی از استوانه‌ها نیروی محرکه دارد و حرکت ناو را سبب می‌شود. استوانه دیگر، به صورت هرزه گرد است و حرکت زنجیر را در قسمت زیرین ناو امکان پذیر می‌سازد.

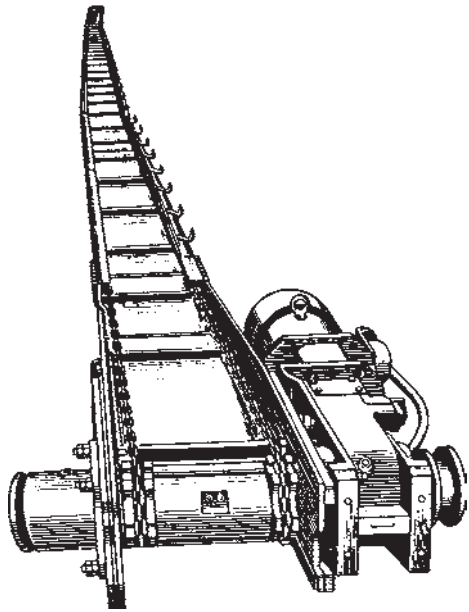
**۱۱ــ۳ــ۱ــ قسمت‌های مختلف دستگاه:** قسمت‌های مهم دستگاه به شرح زیر است :

***الف ــ بدنه ناو:*** بدنه ناو معمولاً از دو قطعه تیرآهن که نیمرخ Σ دارند، تشکیل می‌شود که این دو قسمت به توسط یک صفحه فولادی به یکدیگر متصل‌اند (شکل ۱۱ــ۳).

بدنه، از قطعات مختلف که به نام بند نامیده می‌شود، تشکیل یافته است. طول هر کدام از این بندها معمولاً ۱/۵ متر است و اتصال آنها به‌گونه‌ایست که دو بند متوالی در عین اتصال محکم، قادرند

---

۱ــ Chain Conveyor



شکل ۱۱ــ۲ــ ناو زنجیری [۷]

شکل ۱۱ــ۳ــ بدنه ناو زنجیری

که ۳ درجه در امتداد افقی و ۵ درجه در جهت قائم نسبت به یکدیگر تغییر وضعیت دهند. به طوری که خواهیم دید، این نحوه اتصال، باعث سهولت جابه‌جا شدن ناو می‌شود.

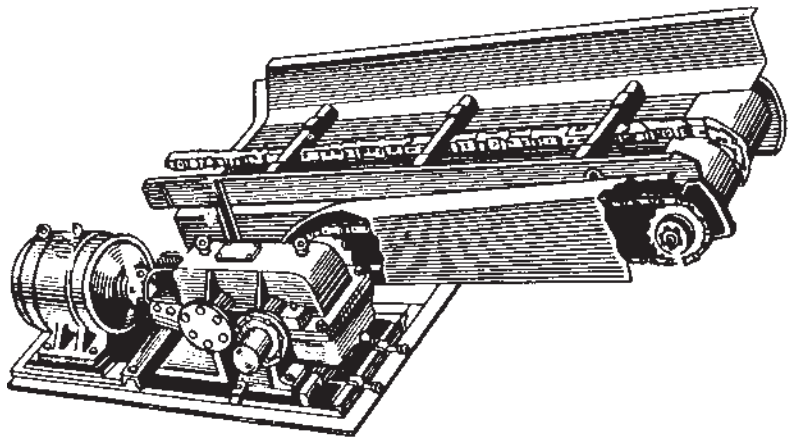
عرض ناوها مختلف و اندازه معمولی آن حدود ۴۰ سانتیمتر و ارتفاع آن کم و معمولاً در حدود ۱۵ سانتیمتر است.

***ب ــ زنجیر و پره‌ها:*** به طوری که گفتیم، در طول ناو یک یا دو رشته زنجیر بی‌انتها، با پره‌های متصل به آن، در حال حرکت است. فاصله بین پره‌ها به نوع ناو بستگی دارد و اتصال قطعات آن به‌وسیله قفل‌های مخصوصی انجام می‌گیرد (شکل ۱۱ــ۴).

**شکل ۱۱ــ۴ــ زنجیر و پره‌های ناو**

***ج ــ حرکت دهنده دستگاه:*** زنجیرهای ناو، در دو انتهای آن از دور دو استوانه خاردار عبورمی‌کنند و بدین ترتیب با گردش یکی از این استوانه‌ها، حرکت زنجیر در طول ناو تأمین می‌شود.

گردش استوانه انتهایی ناو معمولاً به‌وسیله یک موتورالکتریکی تأمین می‌شود(شکل۱۱ــ۵).



**شکل ۱۱ــ۵ــ حرکت دهنده ناو زنجیری [۷]**

مطابق شکل، انرژی دورانی موتور از طریق جعبه دنده کاهش دهنده و به‌وسیله زنجیر مخصوص یا چرخ دنده، به استوانه متحرک دستگاه منتقل و گردش آنرا سبب می‌شود. در بعضی موارد، ممکن است هر دو استوانه دارای نیروی محرکه باشند.

**۱۱ــ۳ــ۲ــ جابه‌جا کردن دستگاه:** از آنجا که بندهای ناو در عین اتصال، تا حدودی نسبت به یکدیگر قابل تغییر است، لذا ناو را می‌توان بدون باز کردن قطعات، به تدریج جابه جا کرد. برای این کار، بندهای مختلف را به‌وسیله جک‌های مخصوص و یا به کمک دست به جلو فشار می‌دهند و آنرا جابه‌جا می‌کنند.

در مواردی که بخواهند ناو را در مسافت زیادی تغییر مکان دهند، قطعات آنرا باز و پس از قرار دادن در محل جدید، بندها را به یکدیگر متصل می‌کنند.

**۱۱ــ۳ــ۳ــ انواع ناو زنجیری:** ناوهای زنجیری را از نقطه نظرهای مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند. مثلاً از نظر نحوه کاربرد، می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد : دسته اول شامل ناوهایی است که فقط برای باربری ساخته شده‌اند و نمی‌توان وسایل دیگر معدنی (مثل انواع ماشینهای حفر زغال ) را به آنها متصل کرد، اما دسته دوم از این ناوها، طوری ساخته می‌شوند که می‌توان دستگاههای یاد شده را روی آنها سوار کرد.

از نقطه نظر تعداد رشته‌های زنجیر نیز این ناوها را به دو دسته ناوهای یک زنجیره و ناوهای دو زنجیره تقسیم می‌کنند.

نحوه دیگر تقسیم‌بندی ناوها براساس قابلیت انتقال آنهاست. به طوری که اشاره کردیم، بعضی از ناوها را می‌توان بدون جدا کردن بندها، از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل ساخت در صورتی که برای انتقال دسته دیگر، بایستی ابتدا قطعات آنرا از هم جدا و در محل جدید، مجدداً آنها را به یکدیگر متصل کرد.

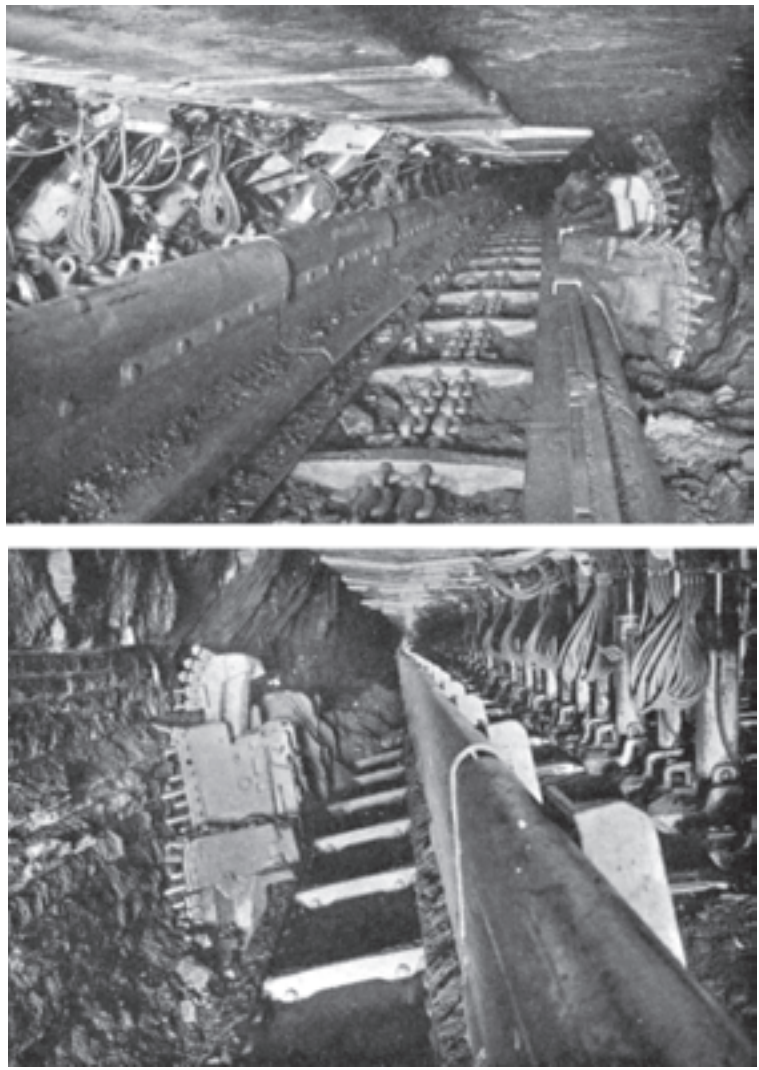
تقسیم‌بندی دیگر بر مبنای یکطرفه یا دوطرفه بودن ناو است. در ناوهای دو طرفه، زنجیر و پره‌ها در هر دو سو قابل حرکتند در صورتی که در ناوهای یکطرفه، حرکت آنها فقط در یک جهت امکان پذیر است.

**۱۱ــ۳ــ۴ــ مزایای ناو زنجیری:** مهمترین امتیاز ناو زنجیری نسبت به سایر وسایل باربری، کم بودن ارتفاع آنست و این امر علاوه بر اینکه بارگیری درون آنرا آسان می‌کند، باعث می‌شود که بتوان آنرا در کارگاه‌های استخراج با ارتفاع کم نیز به کار برد.

بسیاری از ماشین‌های استخراج مثل ماشین‌های زغال بر و رنده را، می‌توان بر روی ناو زنجیری سوار کرد و آنها را در طول ناو حرکت داد.

از ناو زنجیری می‌توان در سطوح ناصاف نیز استفاده کرد. همچنین می‌توان آنها را در سطوح شیب‌دار تا شیب ۳۰ درجه به کار برد.

**۱۱ــ۳ــ۵ــ موارد استعمال ناو زنجیری:** انواع مختلف ناوهای زنجیری را می‌توان درکارگاههای استخراج، بخصوص کارگاههای زغال به کاربرد. برای لایه‌های مختلف باشیب و ضخامت متفاوت، ناوهایی ساخته شده است که در هر مورد بایستی از ناو مناسب استفاده کرد. در شکل ۱۱ــ۶، دو منظره از چگونگی کاربرد ناو در کارگاه استخراج زغال، نشان داده شده است.



**شکل ۱۱ــ۶ــ دومنظره از کاربرد ناو زنجیری در کارگاه استخراج زغال**

## ۱۱ــ۴ــ نوار باربری[۱]

نوار باربری در حقیقت یک تسمه لاستیکی متحرک است که در دو انتها از دور دو استوانه عبور می‌کند و بدین ترتیب، در اثر گردش یکی از استوانه‌ها، در نتیجه اصطکاک بین دو نوار و استوانه، حرکت دایمی آن تأمین می‌شود (شکل ۱۱ــ۷).

**شکل ۱۱ــ۷ــ نوار باربری**

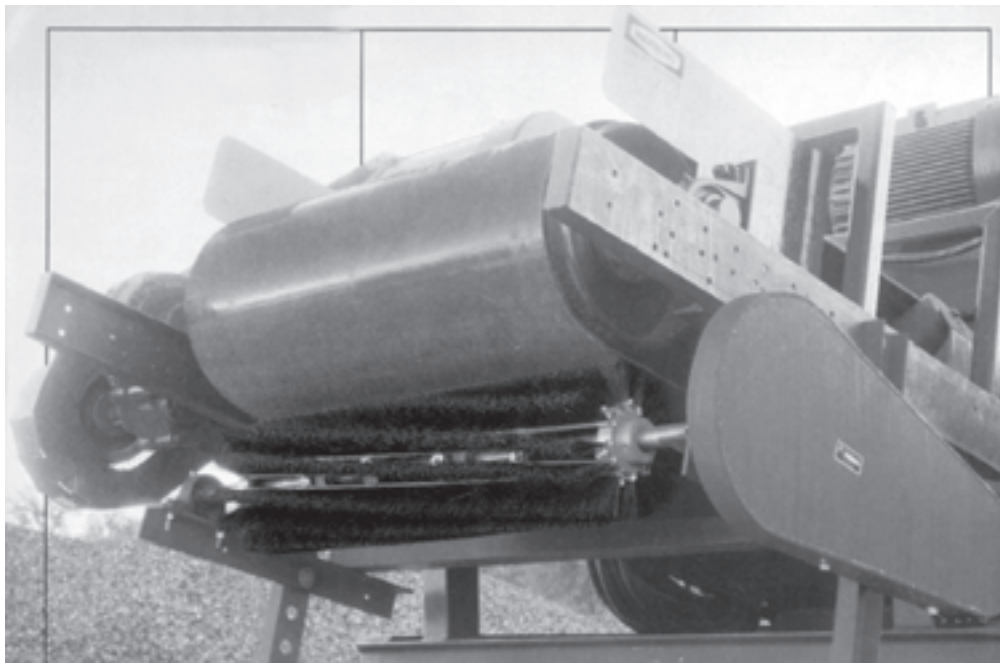
بدین ترتیب، نوار دارای دو تسمه بالایی و پایینی است که حرکت آنها درخلاف جهت هم است. موادی که در تسمه بالایی نوار ریخته می‌شود، در اثر حرکت آن، به قسمت انتهایی منتقل و در آنجا تخلیه می‌شود (شکل ۱۱ــ۸).

طول نوار باربری متفاوت است و در بعضی موارد، به ۴ کیلومتر نیز می‌رسد.

مهمترین قسمتهای نوار نقاله عبارت از اسکلت، نوار و قسمت حرکت دهنده است که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم :

---

۱ــ Belt Conveyor

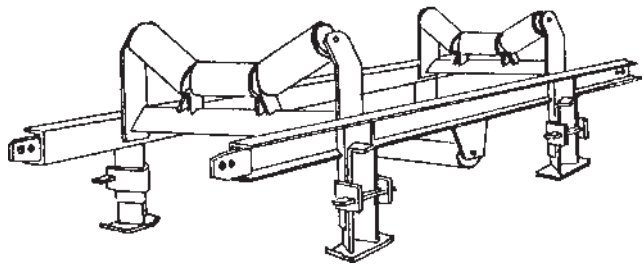


**شکل ۱۱ــ۸ ــ تخلیه نوار باربری**

**۱۱ــ۴ــ۱ــ اسکلت:** اسکلت نوار، خود از دو قسمت شاسی و قرقره‌ها تشکیل شده است.

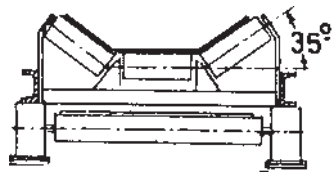
***الف ــ شاسی:*** شاسی از قطعات تیرآهن، نبشی و یا لوله ساخته می‌شود و بسته به وزن نوار و موادی که در آن حل می‌شوند، در فواصل معین دارای پایه است.

در بسیاری موارد پایه‌های نوار قابل تنظیم است و با تغییر آنها، می‌توان ارتفاع دستگاه را تغییر داد (شکل ۱۱ــ۹).



**شکل ۱۱ــ۹ــ شاسی [۳]**

**ب ــ قرقره‌ها** : به فواصل ۱ تا ۱/۵ متر روی شاسی دستگاه، تعدادی قرقره استوانه‌ای قرار دارد که آزادانه قابل گردش‌اند و باعث تسهیل حرکت نوار، که روی آنها قرار می‌گیرد می‌شوند. هر سری قرقره، از سه قرقره تشکیل شده که محور قرقره وسطی افقی است و محور قرقره‌های اطراف، تحت زاویه ۲۰ تا ۳۵ درجه نسبت به آن قرار گرفته است (شکل ۱۱ــ۱۰).




**شکل ۱۱ــ۱۰ــ قرقره‌ها [۳۵]**

علاوه بر سری قرقره‌های یاد شده در قسمت زیرین نوار نیز به فواصل ۲ تا ۳ متر، تعدادی قرقره‌های افقی، که طولشان حداقل برابر عرض نوار است، وجود دارد که باعث سهولت حرکت تسمه زیرین نوار می‌شوند.

قرقره‌ها از جمله قسمت‌های مهم نوارند و هر چند وقت یکبار بایستی کنترل شوند و محور آنها روغن کاری شود.

**۱۱ــ۴ــ۲ــ نوار:** نوار از چندین لایه پارچه پنبه‌ای یا الیاف مصنوعی، که به‌وسیله قشرهای لاستیکی به یکدیگر چسبیده شده‌اند، تشکیل شده است. برای محافظت نوار، در قسمت بالا و پایین آن نیز دو قشر لاستیکی نصب می‌کنند.

در حقیقت هریک از قشرهای نوار وظیفه ویژه‌ای را عهده‌دار است. مثلاً الیاف پنبه‌ای یا مواد مصنوعی، باعث استحکام نوار در برابر نیروهای کششی می‌شوند و قشرهای لاستیکی رویی و زیری، مقاومت آنرا در برابر ضربات ناشی از مواد مختلف افزایش می‌دهند.

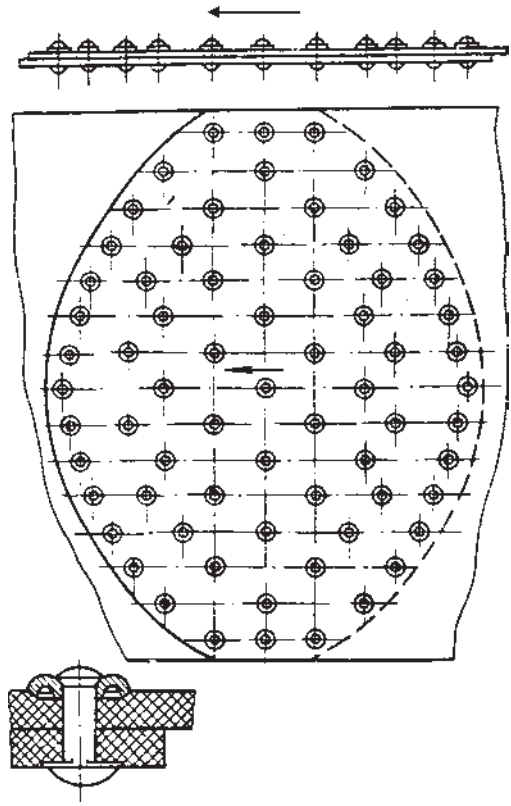
در بعضی موارد نیز با قرار دادن مفتول‌های فولادی نازک در نوار، مقاومت آنرا بالا می‌برند.

نوار در عرض‌های استاندارد ۷۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ میلیمتر ساخته می‌شود و تعداد قشرها و در نتیجه ضخامت آن، نسبت به عرض نوار و نیز خصوصیات باربری متفاوت است.

نوار در کلافهایی به طول ۱۵۰ تا ۱۸۰ متر به بازار عرضه می‌شود و بنابراین برای تهیه طول دلخواه از نوار بایستی چند قطعه از آنرا به یکدیگر متصل کرد و نوار واحدی به دست آورد.

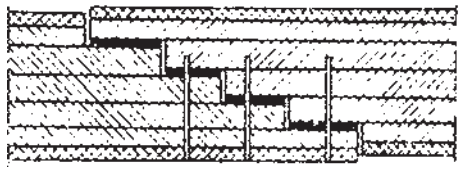
همچنین پس از تعیین طول لازم، بایستی دو سر نوار را به یکدیگر متصل کرد. اتصال قطعات نوار به روشهای مختلف انجام می‌گیرد، متداول‌ترین روش اتصال نوار در کارهای زیرزمینی، استفاده

از میخ پرچ است. برای اینکار، دو لایه از نوار را رویهم قرار می‌دهند و به کمک میخ پرچ و واشر، آنها را به یکدیگر متصل می‌سازند (شکل ۱۱ــ۱۱).



**شکل ۱۱ــ۱۱ــ اتصال قطعات نوار به‌وسیله میخ پرچ [۳۸]**

علاوه براین روش، در بعضی موارد، دو سر نوار را به‌وسیله عمل ولکانیزاسیون به هم متصل می‌سازند. برای این کار، دو انتهای نوار را به صورت پلکانی نازک می‌کنند و دو قطعه را رویهم قرارمی‌دهند و پس ازقراردادن قشری از چسب، آنرا در دستگاه مخصوصی قرار می‌دهند (شکل ۱۱ــ۱۲). دو انتهای نوار در این دستگاه در اثر حرارت، به یکدیگر می‌چسبند.

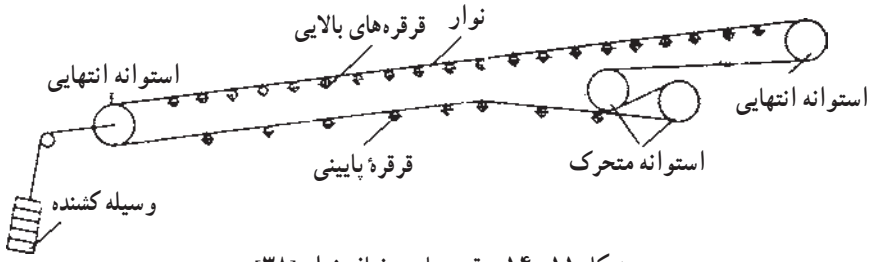


**شکل ۱۱ــ۱۲ــ اتصال قطعات نوار به‌وسیله ولکانیزاسیون [۳۸]**

برای جلوگیری از سرخوردن مواد روی نوار، سطح رویی آن را از لاستیک آج دار می‌سازند. در مواردی که نوار برای باربری در سطوح شیب‌دار استفاده می‌شود، سطح آن دارای زواید مخصوص است (شکل ۱۱ــ۱۳).

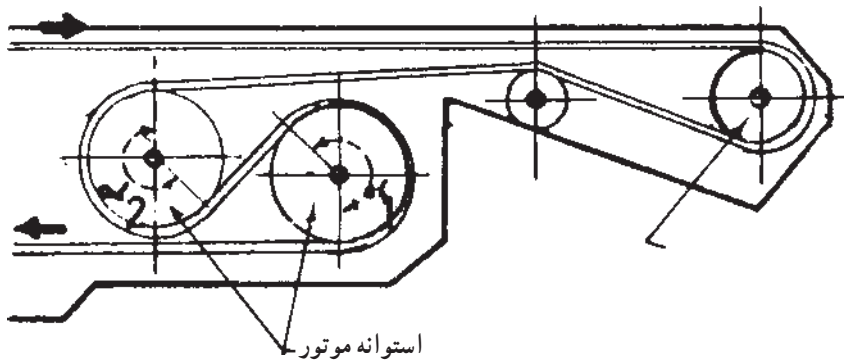
**شکل ۱۱ــ۱۳ــ نوار با سطح آج دار**

**۱۱ــ۴ــ۳ــ حرکت دهنده نوار:** وسایل حرکت دهنده نوار مرکب از موتور الکتریکی، جعبه دنده کاهش دهنده سرعت، استوانه متحرک، استوانه‌های انتهایی و قسمت کشنده است که به‌طور ساده در شکل ۱۱ــ۱۴ نشان داده شده است.




**شکل ۱۱ــ۱۴ــ قسمتهای مختلف نوار [۳۸]**

به طوری که دیده می‌شود، استوانه متحرک ۲ در نتیجه حرکت موتور می‌چرخد و در اثر اصطکاکی که این استوانه با نوار دارد، حرکت آن را سبب می‌شود. با استفاده از دو استوانه انتهایی ۳ و ۴، حرکت دایمی نوار تأمین می‌شود. برای اینکه همواره نوار به حالت کشیده بماند و اصطکاک لازم بین آن و استوانه متحرک تأمین شود، می‌توان محور یکی از استوانه‌ها، مثلاً استوانه (۳) را به‌وسیله دستگاه کشنده (۷) به خارج کشید و بدین ترتیب نوار را محکم کرد. برای افزایش اصطکاک، نوار را مطابق شکل ۱۱ــ۱۵ از دور استوانه‌های متحرک عبور می‌دهند و در نتیجه طول تماس و میزان اصطکاک آنرا بالا می‌برند.




**شکل ۱۱ــ۱۵ــ افزایش اصطکاک نوار [۳۵]**

قدرت موتور دستگاه، که معمولاً موتور الکتریکی است، بسته به مشخصات نوار متفاوت است و در هر مورد بایستی قدرت لازمه را محاسبه کرد. جعبه دنده، سرعت موتور را تا حد لزوم پایین می‌آورد و آنرا به استوانه‌های متحرک منتقل می‌کند.

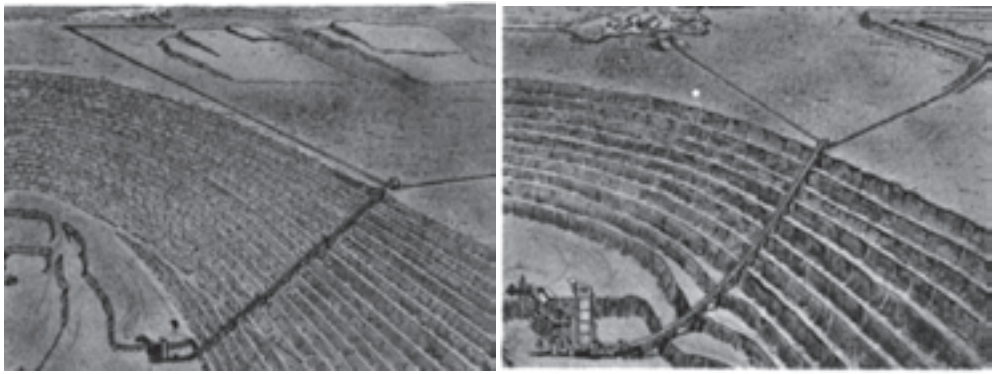
**۱۱ــ۴ــ۴ــ موارد استعمال نوار باربری:** کاربرد نوار باربری در قسمت‌های مختلف معادن بسیار متداول است. از این وسیله می‌توان برای باربری در تونل‌های افقی، تونل‌های مورب، بیرون معدن، داخل کارخانه تغلیظ و سایر موارد استفاده کرد. در بعضی موارد نیز از این وسیله برای باربری در کارگاه استخراج استفاده می‌شود.

مهمترین مسئله‌ای که کاربرد این دستگاهها را محدود می‌سازد، آنست که از این وسایل فقط در مواردی می‌توان استفاده کرد که تصویر افقی مسیر آن، خط مستقیم باشد. به عبارت دیگر، گرچه از نوار باربری می‌توان در سطوح با شیب‌های مختلف استفاده کرد ولی در مواردی که امتداد افقی محل باربری تغییر می‌کند، این وسایل را نمی‌توان به کار برد.

در قسمت‌هایی که از نوار استفاده می‌شود، بایستی فضای کافی بین دیوارها و نوار وجود

داشته و این فاصله از ۵۰ سانتیمتر کمتر نباشد.

امروزه نوارهایی ساخته شده است که از آنها می‌توان در شیب‌های تند استفاده کرد که نمونه آنها در شکلهای ۱۱ــ۱۶ و ۱۱ــ۱۷، نشان داده شده است.



**شکل ۱۱ــ۱۶ــ استفاده از نوار نقاله در معادن روباز**

**شکل ۱۱ــ۱۷ــ نوار باربری پرشیب**

# فصل دوازدهم

# راه‌آهن

## ۱۲ــ۱ــ آشنایی

باربری به‌وسیله راه‌آهن یکی از متداول ترین روش های باربری در معادن است و بخصوص در معادن ایران، باربری غالباً به‌وسیله راه‌آهن انجام می‌شود.

برای اینکه بتوان باربری را به‌وسیله راه‌آهن انجام داد، ابتدا بایستی مسیر را زیرسازی و سپس ریل‌ها را نصب کرد. در مرحله بعد، می‌توان با قرار دادن واگونهای معدنی برروی ریل، باربری را انجام داد. برای کشیدن واگونها در مسیر خط آهن از وسایل و روشهای مختلف استفاده می‌کنند که در جای خود مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

## ۱۲ــ۲ــ احداث خط آهن

مراحل مختلف احداث خط آهن بالاست ریزی، تراورس گذاری و نصب ریل‌ها است که در زیر به بررسی آنها می‌پردازیم.

**۱۲ــ۲ــ۱ــ بالاست ریزی:** قبل از ریل گذاری، بایستی مسیر راه را آماده کرد و بدین منظور، ابتدا مسیر را مسطح و ناهمواریهای آنرا برطرف می‌کنند و آنگاه برای اینکه نیروهای وارده در نتیجه وزن قطار حتی المقدور در سطح وسیع‌تری از زمین توزیع شود، قشری از بالاست[۱] در مسیر می‌ریزند.

بالاست، مجموعه خرده سنگهایی است که ابعاد آنها ۲ تا ۴ سانتیمتر است. این خرده‌سنگها بایستی به اندازه کافی مقاوم و ابعاد آنها نیز در حدود مشخصی باشد تا به کمک آنها بتوان یک قشر بالاست محکم فراهم کرد.

ضخامت قشر بالاست به میزان باربری، وزن ریل و وزن قطار بستگی دارد و معمولاً بین ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر تغییر می‌کند.

عرض قسمتی از مسیر که در آن بالاست‌ریزی می‌شود، حداقل بایستی به اندازه طول

۱ــ Balast

تراورس‌ها باشد.

معمولاً مراحل مختلف احداث خط به طور متوالی انجام می‌گیرد و این امر باعث می‌شود که حمل و نقل بالاست و سایر لوازم به سهولت انجام گیرد.

در مورد خط آهن‌های کوچک، بالاست را توسط واگون به محل مصرف حمل و پس از تخلیه واگون، بالاست را با بیل در محل پهن می‌کنند ولی در مورد پروژه‌های بزرگ و در جاهایی که فضای لازم موجود باشد، بالاست‌ریزی به‌وسیله ماشین‌های مخصوص انجام می‌گیرد.

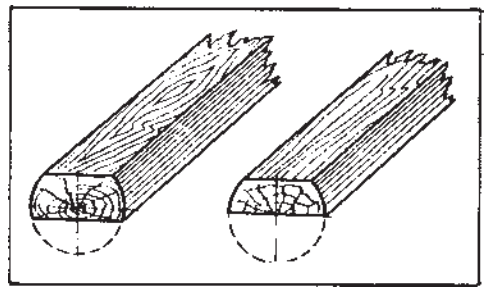
برای تهیه بالاست با دانه‌بندی موردنظر، معمولاً در بیرون معدن سنگ شکن مخصوصی وجود دارد که سنگها را خرد می‌کند و به اندازه دلخواه در می‌آورد.

**۱۲ــ۲ــ۲ــ تراورس گذاری:** تراورس در روی بالاست و زیر ریل قرار می‌گیرد و باعث می‌شود که وزن ریل و قطار در سطح وسیع‌تری توزیع شود و از فرورفتن ریل در بالاست جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، تراورس، باعث محکم شدن ریل‌ها شده و نیز باعث می‌شود که فاصله دو ریل همواره ثابت بماند. از سوی دیگر، چون تراورس تا حدودی در بالاست فرو می‌رود، لذا به طور کلی باعث ثابت ماندن خط‌آهن می‌شود.

تراورس ممکن است فلزی، چوبی و یا بتنی باشد.

تراورس فلزی معمولاً از نیمرخ ناودانی یا سایر نیمرخ‌های فولادی تهیه می‌شود و از آنجا که به سهولت در هوای معدن خورده می‌شود لذا کمتر مورد استعمال دارد.

تراورس چوبی، متداول‌ترین انواع تراورس و از بسیاری لحاظ برای این منظور مناسب است (شکل ۱۲ــ۱).



**شکل ۱۲ــ۱ــ تراورس چوبی [۳۷]**

مهمترین امتیازات تراورس چوبی، خاصیت ارتجاعی خوب، داشتن اصطکاک کافی با بالاست و ارزانی آن است. در مقابل این امتیازات، می‌توان مشخصاتی نظیر پوسیده شدن و عدم مقاومت در

برابر آتش را به عنوان معایب آن ذکر کرد. برای اینکه تراورس چوبی در برابر پوسیدگی مقاوم شود، قبلاً آنها را به شرحی که در مبحث حفاظت چوب مطرح شد، از مواد شیمیایی مختلف اشباع می‌کنند.

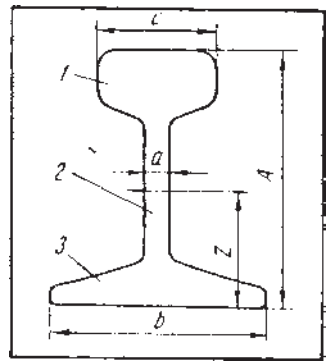
طول تراورس در هر مورد به عرض راه‌آهن بستگی دارد و از آنجا که عرض راه‌آهن‌های معدن معمولاً ۶۰ سانتیمتر است، لذا طول تراورس ها ۱۱۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر انتخاب می‌شود.

در مواردی که زمان بهره‌برداری از راه‌آهن طولانی باشد، استفاده از تراورس‌های بتنی باصرفه‌تر است.

برای تأمین استحکام لازم برای تراورس بتنی، بسته به شرایط کاربرد، چند میله فولادی نیز در آن به کار می‌برند و بدین‌وسیله آنرا تقویت می‌کنند.

**۱۲ــ۲ــ۳ــ ریل گذاری:** آخرین مرحله احداث خط‌آهن، نصب ریل‌ها است. مهمترین مشخصات ریل‌ها به شرح زیر است:

***الف ــ نیمرخ ریل:*** نیمرخ ریل مطابق شکل ۱۲ــ۲ است و قسمت‌های مختلف آن به نام قارچ (۱)، تیغه (۲) و صفحه (۳) خوانده می‌شود. معمولاً ریل را با وزن یک متر آن مشخص می‌کنند و آنرا با همان شماره می‌خوانند، مثلاً ریل شماره ۲۴ ریلی است که هر متر آن ۲۴ کیلوگرم وزن دارد.




شکل ۱۲ــ۲ــ نیمرخ ریل

ریل‌ها را معمولاً در شماره های ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۳ می‌سازند و این ریل‌ها به ترتیب به نام ریل سبک، متوسط، سنگین و خیلی سنگین نامیده می‌شوند. سایر ابعاد ریل بسته به شماره آن متفاوت است. در جدول ۱۲ــ۱ مشخصات ریل‌های متداول در معادن درج شده است.

انتخاب نوع ریل بستگی به وزن لکوموتیو و واگون‌هایی دارد که از روی آن عبور می‌کنند. معمولاً برای تونل‌های متوسط ریل ۱۸ کیلوگرمی و برای تونل‌های اصلی ریل ۲۴ کیلوگرمی به کار

جدول ۱۲ــ۱ــ مشخصات ریل‌های متداول در معادن

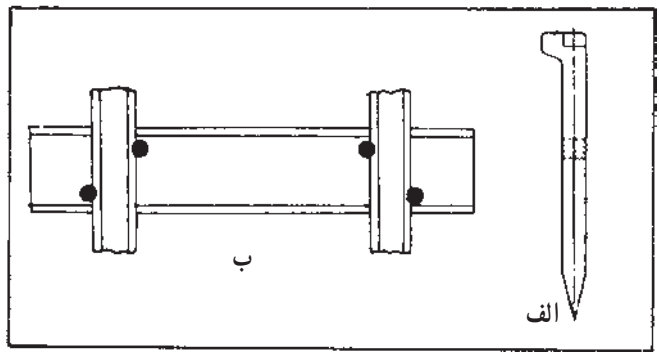
| شماره ریل | A میلیمتر | b میلیمتر | c میلیمتر | a میلیمتر | z میلیمتر | وزن واحد طول ریل کیلوگرم |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۸ | ۹۰ | ۸۰ | ۴۰ | ۱۰ | ۴۲/۹ | ۱۸/۰۶ |
| ۲۴ | ۱۰۷ | ۹۲ | ۵۱ | ۱۰/۵ | ۵۳/۶ | ۲۴/۰۴ |
| ۳۳ | ۱۲۸ | ۱۱۰ | ۶۰ | ۱۲ | ۵۷ | ۳۳/۱۰ |

می‌برند. در معادنی که میزان استخراج و در نتیجه باربری روزانه آنها بیش از ۲۰۰۰ تن باشد، از ریل‌های ۳۳ کیلوگرمی استفاده می‌کنند.

***ب ــ فاصله ریل‌ها:*** فاصله ریل در معادن سه استاندارد ۶۰ ، ۷۵ و ۹۰ سانتیمتری دارد که نوع معمول درایران فاصله ۶۰ سانتیمتری است. برای اینکه فاصله ریل‌ها دقیقاً در همه جا مساوی باشد، به هنگام اتصال ریل‌ها به تراورس، آنرا به‌وسیله شابلون مخصوص کنترل می‌کنند.

***ج ــ اتصال ریل ها به تراورس:*** برای اتصال ریل به تراورس های چوبی از میخ های سرکج مخصوص مطابق شکل ۱۲ــ۳ــ الف استفاده می‌کنند.

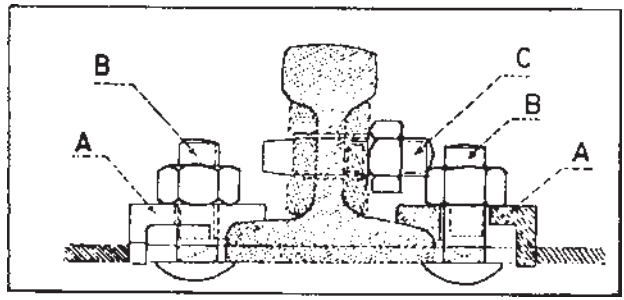
میخ سرکج در دوطرف ریل فرو می‌رود و بدین ترتیب، مطابق شکل ۱۲ــ۳ــ ب، هر تراورس به‌وسیله ۴ میخ به ریل متصل می‌شود.




شکل ۱۲ــ۳ــ اتصال ریل به تراورس چوبی

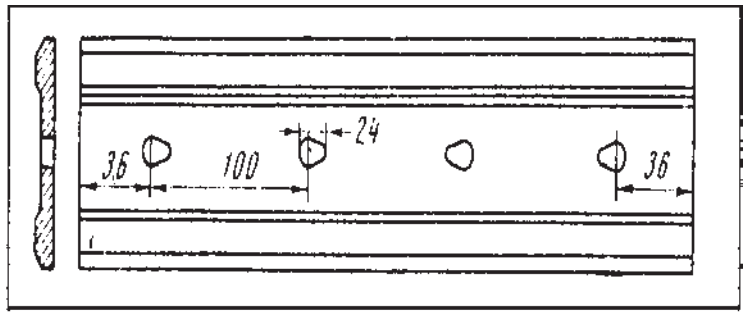
برای اتصال ریل به تراورس‌های فلزی، از پولک مخصوص (A) و پیچ و مهره (B) مطابق شکل ۱۲ــ۴ استفاده می‌کنند.

***د ــ اتصال ریل ها به یکدیگر:*** طول هر یک از شاخه های ریل معمولاً ۶ متر است و بنابراین برای احداث خط‌آهن، بایستی قطعات مختلف را به یکدیگر متصل کرد.



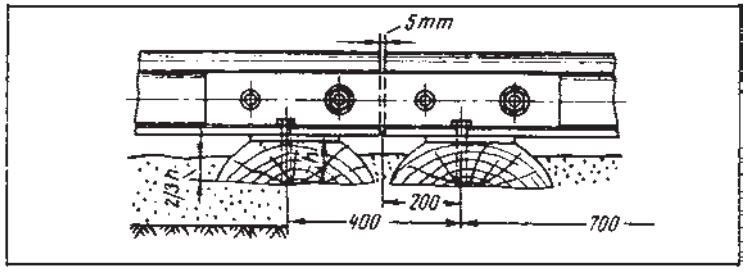

**شکل ۱۲ــ۴ــ اتصال ریل به تراورس فلزی [۳۵]**

متداول‌ترین روش اتصال ریل‌ها به یکدیگر، استفاده از پیچ و مهره و قطعات فلزی موسوم به بغل بند است (شکل ۱۲ــ۵).




**شکل ۱۲ــ۵ــ بغل بند [۳۶]**

هر شاخه ریل در قسمت انتهایی دو سوراخ دارد و پس از اینکه دو شاخه ریل را کنار هم قرار دادند، با استفاده از دو بغل بند، که در دو طرف ریل‌ها قرار می‌دهند، و به کمک ۴ پیچ و مهره، آنها را به یکدیگر متصل می‌سازند (شکل ۱۲ــ۶).




**شکل ۱۲ــ۶ــ اتصال ریل‌ها به یکدیگر [۳۲]**

برای جلوگیری از ایجاد تنش‌های داخلی ناشی از تغییرات دما، ریل‌ها کاملاً مماس با یکدیگر نیستند بلکه معمولاً بین آنها ۵ میلیمتر فاصله است. در شکل‌های ۱۲ــ۷ و ۱۲ــ۸، دو منظره از ریل‌گذاری در معادن ایران نشان داده شده است.

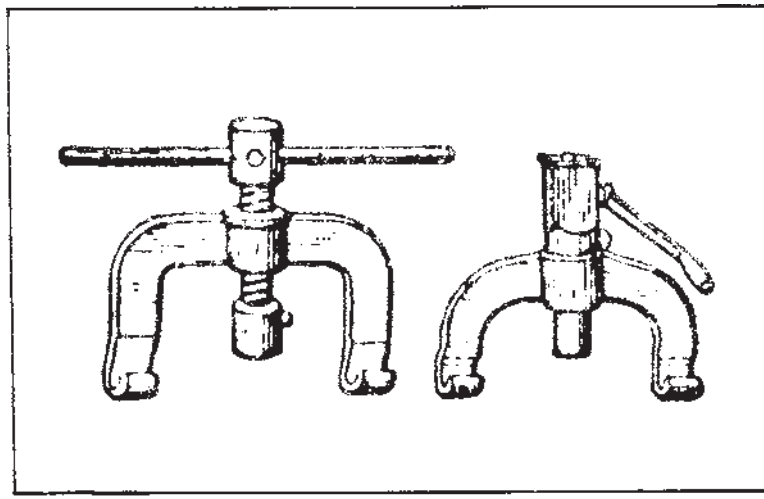
**شکل ۱۲ــ۷ــ ریل گذاری در معدن زغال سنگ پابدانا**

**شکل ۱۲ــ۸ــ ریل گذاری در معدن کرومیت فاریاب**

## ۱۲ــ۳ــ نقاط ویژه در مسیر خط‌آهن

در طول مسیر خط‌آهن، نقاط خاصی وجود دارد که ساختمان ریل در این نقاط بایستی به شیوه خاصی انجام گیرد. مهمترین نقاط یادشده عبارتند از :

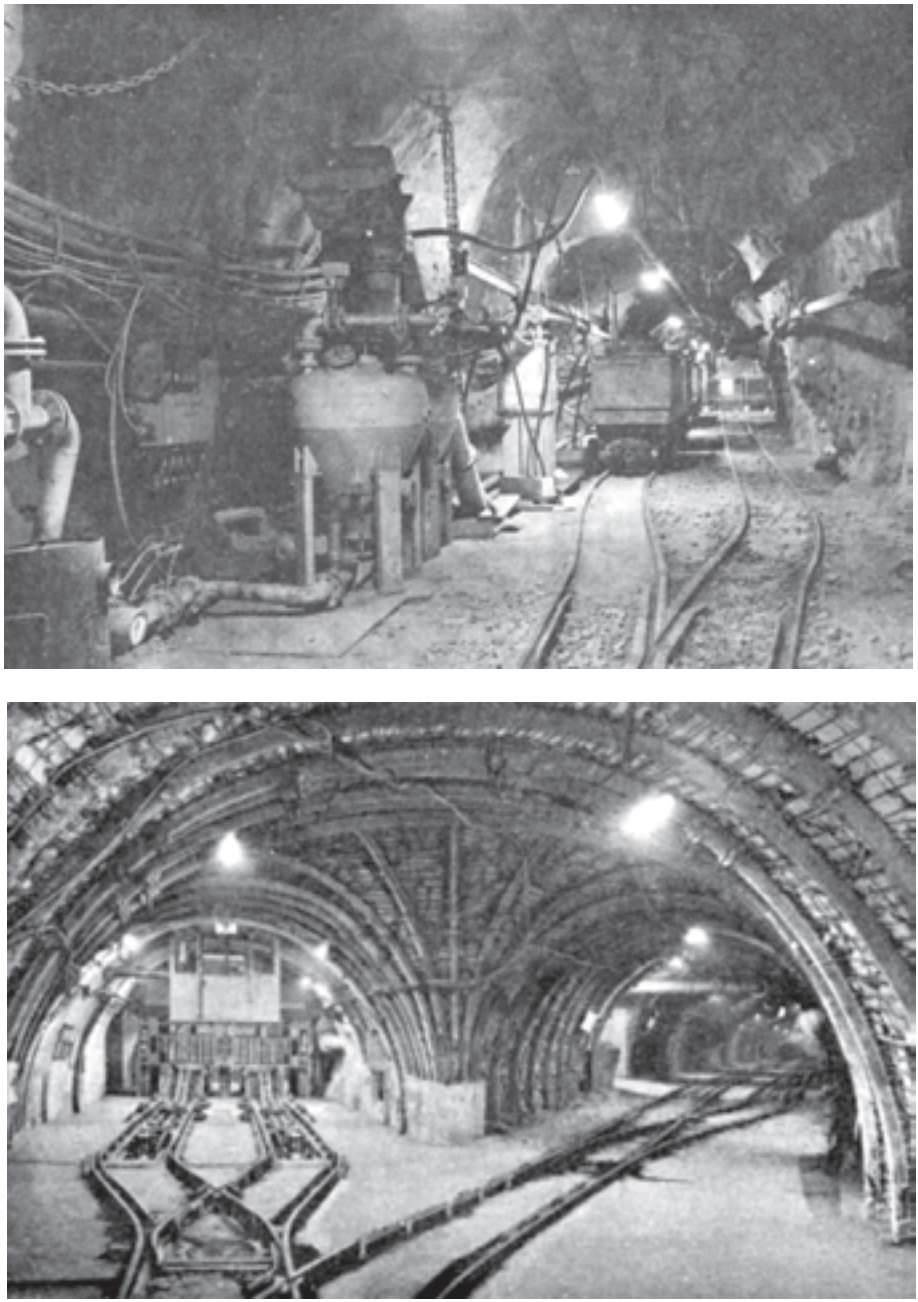
**۱۲ــ۳ــ۱ــ پیچ ها:** در مواردی که مسیر از حالت مستقیم خارج و خمیده می‌شود، ریل نیز بایستی به همان نحو خمیده شود. مهمترین مسئله در این مورد حفظ توازی دو خط است. برای خم کردن ریل‌ها ازدستگاه مخصوصی به نام «ریل خم کن» استفاده می‌کنند (شکل ۱۲ــ۹). این دستگاه دو گیره دارد که ریل را در داخل آنها قرار می‌دهند ریل به‌وسیله میله وسطی تحت خمش قرار می‌گیرد و بدین‌ترتیب، به میزان مورد نظر خم می‌شود.



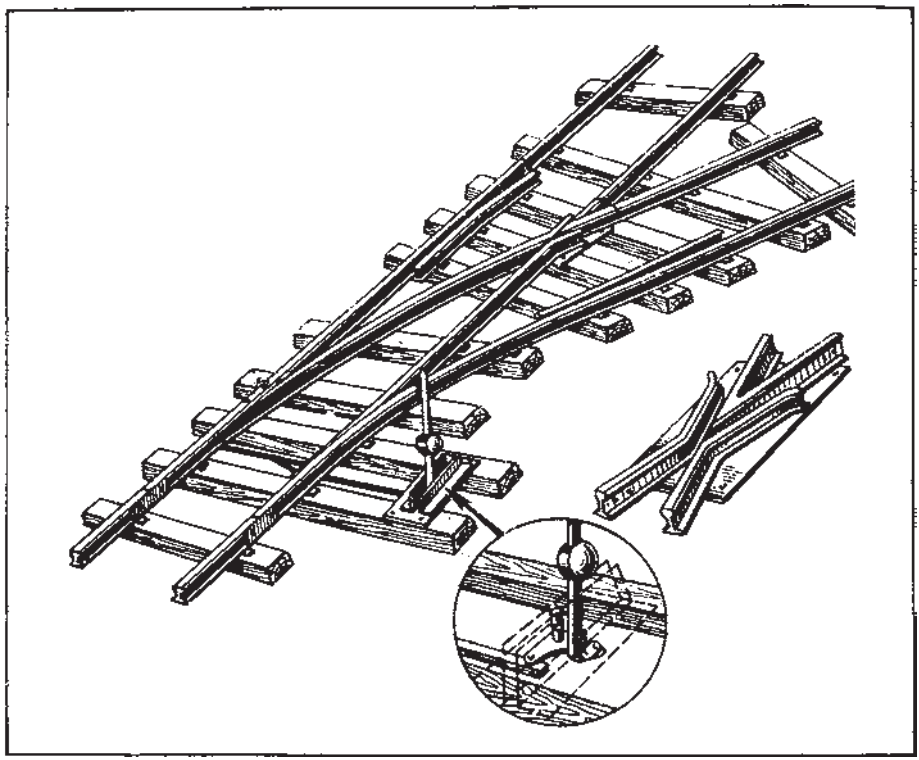
شکل ۱۲ــ۹ــ ریل خم کن [۲۰]

**۱۲ــ۳ــ۲ــ دوراهی:** در مواردی که تونل به دو شعبه تقسیم می‌شود، خط‌آهن مربوط به آن نیز بایستی منشعب گردد و این کار به‌وسیله دو راهی‌ها انجام می‌گیرد (شکل ۱۲ــ ۱۰). مطابق شکل ۱۲ــ۱۱، در کنار دوراهی سوزنی وجود دارد که با حرکت آن می‌توان مسیر را برای هر یک از دو شعبه خط‌آهن آزاد کرد. دو راهی در دو نوع چپ و راست ساخته می‌شود. مثلاً دو راهی‌ای که در شکل ۱۲ــ۱۲ نشان داده شده، دو راهی راست است.

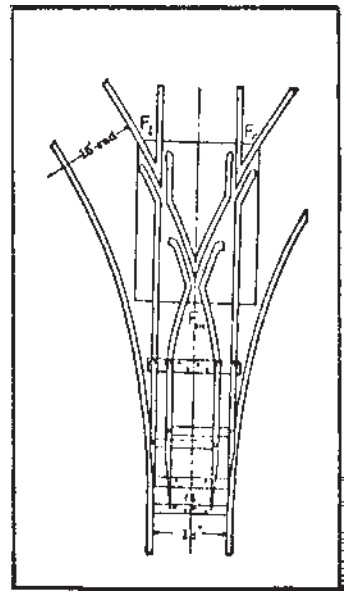
**۱۲ــ۳ــ۳ــ سه راهی:** در تقاطع‌ها برای تبدیل خط اصلی به خط عمود بر امتداد آن، از سه‌راهی استفاده می‌کنند (شکل ۱۲ــ۱۳). مطابق شکل، بسته به وضعیت سوزن، واگون یکی از سه مسیر مستقیم، چپ و یا راست را طی خواهد کرد.



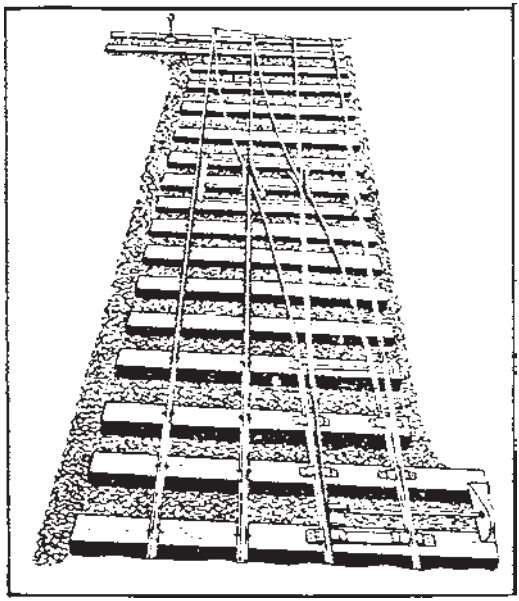
شکل ۱۲ــ۱۰ــ دو منظره از دوراهی در تونل ها



شکل ۱۲ــ۱۱ــ دوراهی [۳۲]



شکل ۱۲ــ۱۲ــ سه راهی [۲۰]



شکل ۱۲ــ۱۳ــ تبدیلی [۳۷]

**۱۲ــ۳ــ۴ــ تبدیلی:** در بسیاری از تونل‌ها، دو رشته خط‌آهن وجود دارد که معمولاً از یکی از این دو رشته به عنوان رفت و از دیگری به عنوان برگشت استفاده می‌شود. برای اینکه در موارد ضروری بتوان واگون‌ها یا لکوموتیو را از خطی به خط دیگر منتقل کرد، از تبدیلی استفاده می‌کنند (شکل ۱۲ــ۱۳). مطابق شکل، هر تبدیلی دارای دو سوزن است که با استفاده از آنها می‌توان هریک از خطوط را به دیگری تبدیل کرد.

**۱۲ــ۳ــ۵ــ تقاطع:** در مواردی که دوتونل یکدیگر را در زاویه تندی قطع کنند، استفاده از دوراهی برای انشعاب امکان ندارد و در چنین مواردی از سینی چرخان استفاده می‌کنند (شکل ۱۲ــ۱۴). سینی چرخان یک صفحه فلزی است که دارای دو قطعه ریل است و می‌تواند حول محور قائمی دوران کند. برای انتقال واگون از مسیر اول به مسیر دوم، که طی زاویه قائمه نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند، ابتدا واگون را به روی سینی منتقل می‌کنند و سپس با گردش سینی به اندازه ۹۰ درجه، آنرا در امتداد مسیر دوم قرار می‌دهند. بایستی توجه داشت که از این وسیله تنها در مواردی که کشش واگونها با دست تأمین می‌شود استفاده می‌کنند و در معادن بزرگ، که باربری به توسط لکوموتیو انجام می‌شود، قطعاً باید از دوراهی استفاده کرد.

**شکل ۱۲ــ۱۴ــ سینی در معدن فاریاب**

## ۱۲ــ۴ــ مشخصات فنی خط آهن

مهمترین مشخصات فنی خطوط آهن به شرح زیر است :

**۱۲ــ۴ــ۱ــ شیب طولی:** به طور کلی خطوط آهن در تمام موارد به طرف بیرون تونل و یا به طرف چاه (در مورد معادنی که با استفاده از چاه احداث شده‌اند)، شیب‌دارند.

این امر دو علت مختلف دارد. به طوری که می‌دانیم پس از حفر تونل، معمولاً مقداری آب زیرزمینی در داخل آن جمع می‌شود و به همین علت برای هدایت آب به خارج، تونل بایستی به طرف دهانه و یا چاه شیب داشته باشد.

دومین نکته‌ای که باعث می‌شود تونل به سمت خارج شیب داشته باشد آنست که معمولاً واگون‌های خالی از بیرون به داخل تونل می‌روند و واگون‌های پر (حاوی مواد معدنی یا سنگهای حفر شده ) به خارج برمی‌گردند. بدین ترتیب، اگر شیب تونل به طرف بیرون باشد، به هنگام حرکت قطار به سمت خارج، مؤلفه نیروی وزن باعث خواهد شد که با صرف نیروی کم، بتوان واگون‌ها را روی خط حرکت داد.

معمولاً شیبی که برای تونل درنظر گرفته می‌شود به‌گونه‌ای است که نیروی لازم برای کشیدن واگون‌های خالی (به سمت داخل معدن ) و واگون‌های پر (به سمت خارج ) یکسان باشد.

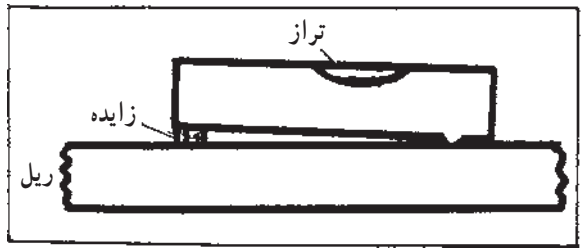
شیب خط‌آهن معمولاً بصورت زیر بیان می‌شود :

$$i = \frac{h}{L} \qquad (۱ــ۱۲)$$

در این رابطه i شیب، h اختلاف ارتفاع دو نقطه و L فاصله افقی بین دو نقطه است.

معمولاً فاصله L هزار متر در نظر گرفته می‌شود و بدین ترتیب شیب خط‌آهن به حسب چند در هزار بیان می‌شود و میزان متوسط آن ۳ تا ۵ در هزار است.

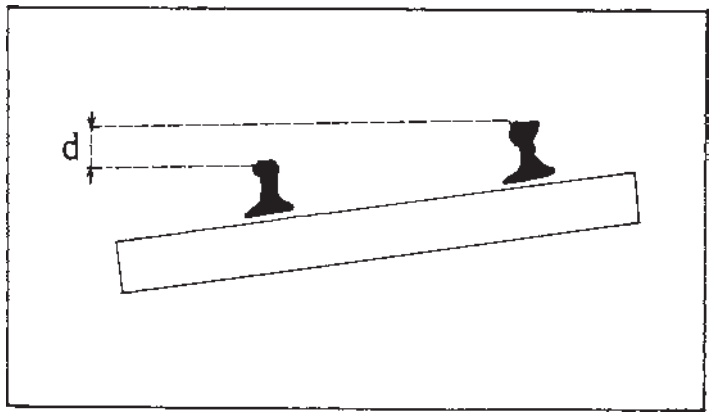
برای اینکه شیب موردنظر در مورد خط‌آهن تأمین شود، از یک تراز فلزی که به انتهای آن یک زایده متصل است، استفاده می‌کنند (شکل ۱۲ــ۱۵). ارتفاع این زایده به اندازه‌ای است که هرگاه تراز در وسط باشد، سطح زیرین تراز که منطبق بر سطح ریل است، شیب موردنظر را دارا می‌شود. معمولاً به هنگام نصب ریل، تراز را روی آن قرار می‌دهند و آنقدر آنرا بالا و پایین می‌برند که تراز در وسط بایستد. سپس ریل را در این موقعیت محکم می‌کنند.




شکل ۱۲ــ۱۵ــ تراز ویژه کنترل شیب خط‌آهن

**۱۲ــ۴ــ۲ــ شیب عرضی:** در مواردی که مسیر مستقیم باشد، ارتفاع هر دو شاخه ریل یکسان است ولی در قوس‌ها، به منظور پایداری واگون ضمن حرکت، ریل بیرونی کمی بالاتر نصب می‌شود (شکل ۱۲ــ۱۶). اختلاف ارتفاع دو شاخه ریل در قوس‌ها (d) به نام ریزعرضی خط‌آهن موسوم است و از تقسیم آن بر فاصله دو ریل، شیب عرضی خط به دست می آید.

اندازه شیب عرضی به شعاع قوس و سرعت حرکت واگون‌ها بستگی دارد و در هر مورد بایستی مقدار آنرا محاسبه کرد. فاصله d در موارد مختلف از ۱۰ تا ۳۵ میلیمتر تغییر می‌کند.




**شکل ۱۲ــ۱۶ــ شیب عرضی تونل [۳۵]**

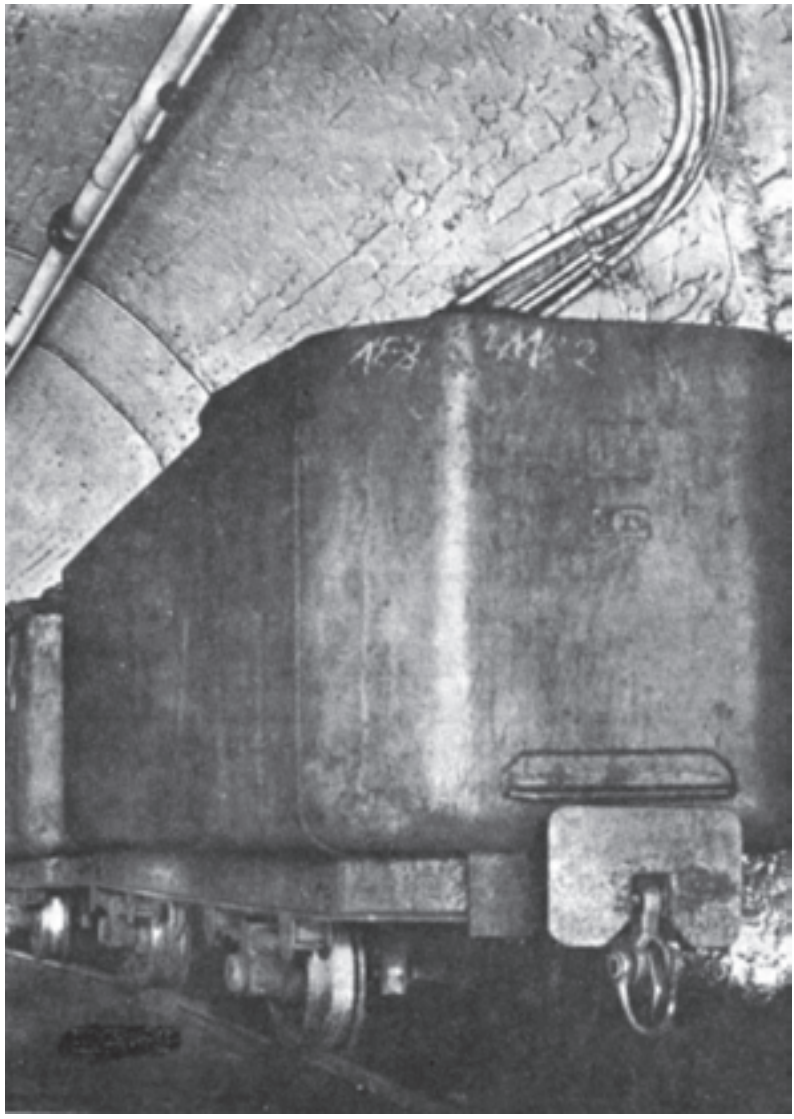
**۱۲ــ۴ــ۳ــ شعاع قوس‌ها:** به طوری که دیدیم، دو خط‌آهن که در دو تونل مختلف نصب شده‌اند، به‌وسیله قوس به یکدیگر مربوطند. انتخاب شعاع مسیر به نوع واگون‌ها و لکوموتیو و سرعت آنها بستگی دارد. در هر مورد بایستی آنرا طوری انتخاب کرد که از خارج شدن واگون‌ها و لکوموتیو از خط جلوگیری شود.

به طور کلی می‌توان گفت که در مواردی که سرعت قطار کمتر از ۱/۵ متر در ثانیه (۵/۴ کیلومتر در ساعت) است، شعاع قوس حداقل بایستی ۷ برابر فاصله دو محور واگون یا لکوموتیو باشد و در مواردی که سرعت بیش از این مقدار است، بایستی شعاع را حداقل ۱۰ برابر فاصله یاد شده در نظر گرفت.

**۱۲ــ۴ــ۴ــ فاصله دو رشته خط‌آهن:** در مواردی که در داخل تونل دو رشته خط‌آهن جداگانه نصب شده است، فاصله آنها بایستی به اندازه‌ای باشد که دو قطار به آسانی بتوانند از مقابل هم عبور کنند. برای تأمین این منظور، به هنگام عبور دو قطار از مقابل هم، حداقل فاصله بین دو لکوموتیو نبایستی از ۲۰ سانتیمتر کمتر باشد.

## ۱۲ــ۵ــ واگون‌های معدنی

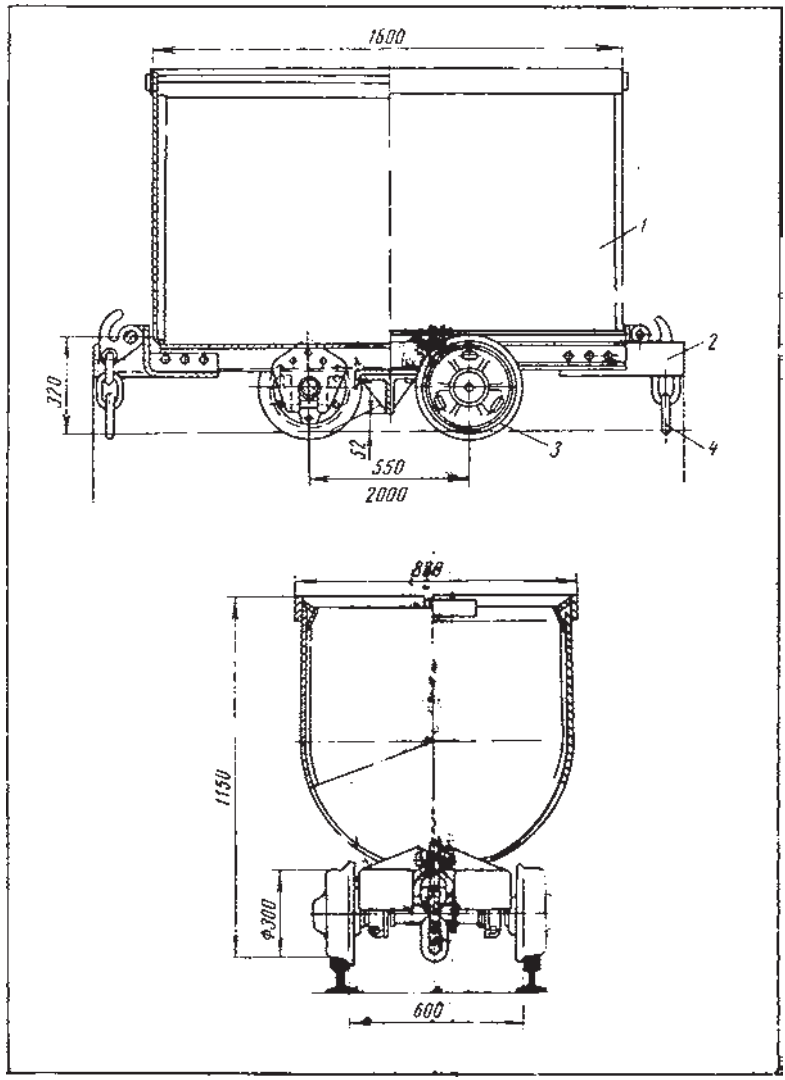
واگون‌ها، ارابه‌هایی هستند که روی ریل حرکت کرده و مواد مختلف را در داخل معدن حمل می‌کنند. در معادن کوچک معمولاً واگون‌ها به حالت تکی و به‌وسیله کارگر در روی خط حرکت می‌کنند ولی در معادن بزرگ، چند واگون را به یکدیگر متصل می‌کنند و آنها را یک‌جا و توسط وسایل کشنده مختلف در طول خط حرکت می‌دهند (شکل ۱۲ــ۱۷).



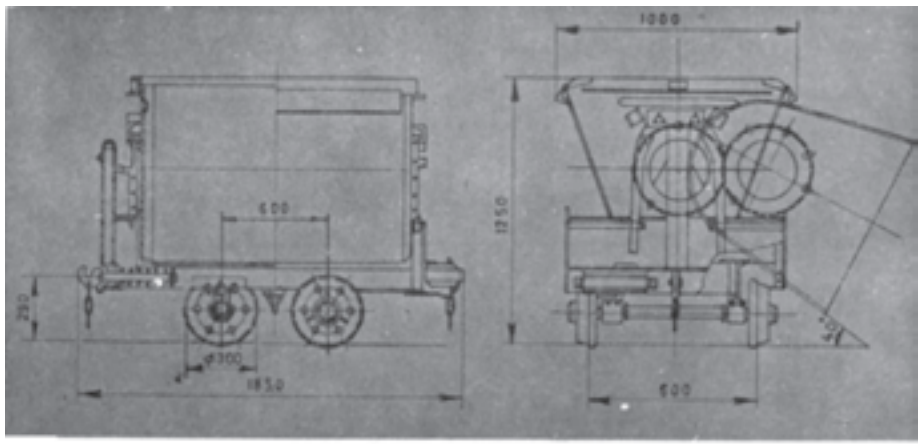
**شکل ۱۲ــ۱۷ــ واگون معدنی**

باید توجه داشت که برای حمل و نقل افراد در تونل‌ها نیز واگون‌های مخصوصی وجود دارد که آنها را طی مبحث جداگانه‌ای بررسی خواهیم کرد.

**۱۲ــ۵ــ۱ــ قسمتهای مختلف واگون:** مهمترین مشخصات واگون، ظرفیت صندوقه، فاصله بین دو چرخ یک محور و فاصله بین دو محور آن است. در شکل ۱۲ــ۱۸ ابعاد و اندازه‌های یاد شده در مورد یک واگون معدنی معمولی نشان داده شده است. شکل ۱۲ــ۱۹ نیز شکل ظاهری و ابعاد واگون‌های معدنی ساخت کارخانه ماشین سازی اراک را نشان می‌دهد.



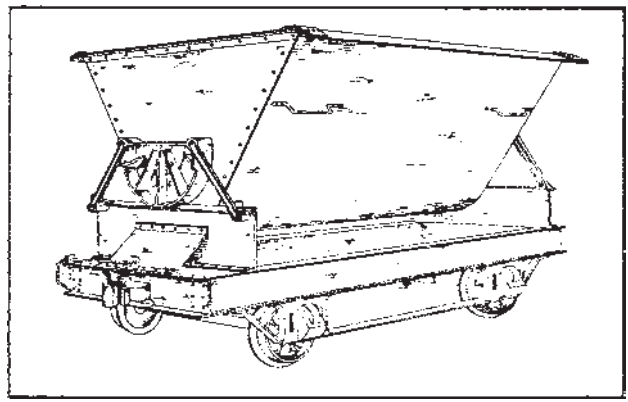

**شکل ۱۲ــ۱۸ــ مشخصات یک واگون معمولی**



**شکل ۱۲ــ۱۹ــ نمای ظاهری و مشخصات یک واگن معدنی ساخت کارخانه ماشین سازی اراک**

مطابق شکل ۱۲ــ۱۸، مهمترین قسمت‌های یک واگون صندوقه (۱)، شاسی و ضربه گیر(۲)، چرخ و محور (۳) و وسیله اتصال (۴) است که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم.

***الف ــ صندوقه:*** صندوقه محفظه‌ای است که مواد معدنی را در داخل آن می‌ریزند. این قسمت به‌وسیله ورقهای فولادی ساخته می‌شود و معمولاً به شکل یک منشور با قاعده مثلث و با قسمت پایین خمیده است (شکل ۱۲ــ۲۰). این ساختار باعث می‌شود که به سهولت بتوان واگون را تخلیه کرد.



**شکل ۱۲ــ۲۰ــ واگون معدنی [۱]**

ظرفیت صندوقه از جمله مهمترین مشخصات واگون است و معمولاً ظرفیت واگون‌های معادن ایران در حدود ۰/۸ متر مکعب است.

***ب ــ شاسی***[1]: قسمت اصلی شاسی قاب چهارگوشی است که از اتصال تیرآهن ها ساخته شده و به‌وسیله قطعات نبشی و ناودانی و نیز ورق فولادی تقویت شده است. صندوقه واگون به قسمت رویی و چرخها به قسمت زیرین شاسی متصل می‌شوند. وسایل اتصالی واگون و ضربه گیرها را نیز به قسمت انتهایی آن وصل می‌کنند.

***ج ــ ضربه گیر***[2]: در جلو و عقب شاسی، دو ضربه‌گیر وجود دارد که به هنگام برخورد دو واگون، ضربه‌ها را می‌گیرد و از بروز صدمه جلوگیری می‌کند. وسایل اتصال به انتهای ضربه‌گیر متصل‌اند (شکل ۱۲ــ۲۱).

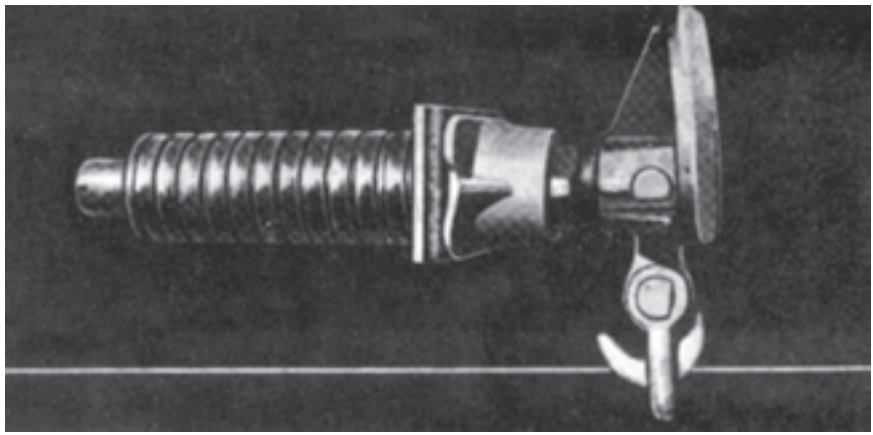
ضربه‌گیر غالباً از یک فنر لوله‌ای تشکیل شده است و وجود آن، انرژی ضربه را به میزان زیادی می‌گیرد.

***د ــ محور و چرخها:*** هر واگون دو محور دارد که به زیر شاسی متصل‌اند. هر محور دارای دو چرخ است که به‌وسیله بلبرینگ‌های مخصوصی به محور وصل و به آزادی قابل دوران‌اند.

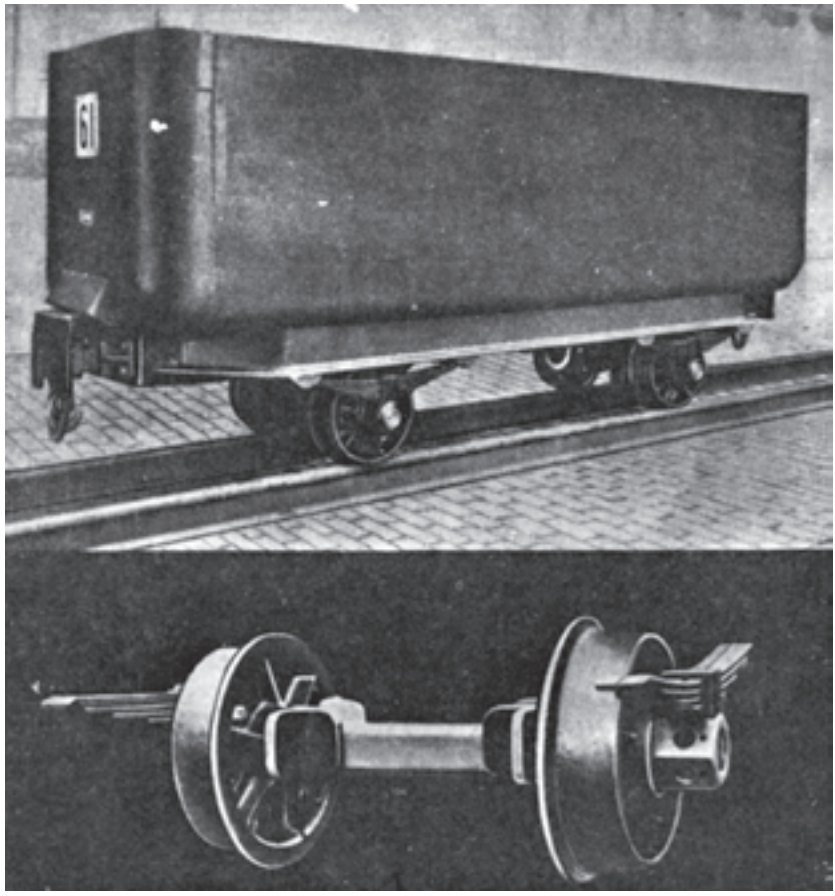
---

۱ــ Frame ۲ــ Buffer

محور واگونهای سنگین به کمک فنرهای مخصوص به شاسی متصل می‌شود (۱۲ـ۲۲).



شکل ۱۲ـ۲۱ـ ضربه گیر



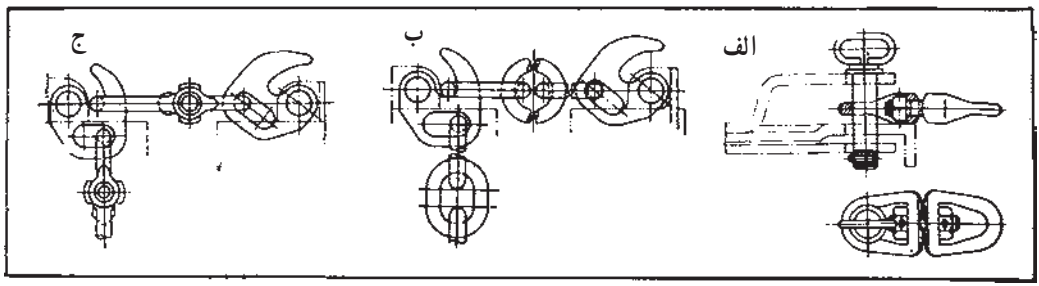
شکل ۱۲ـ۲۲ـ محور واگون

جنس چرخ از فولاد و قطر آن در واگون‌های معمولی ۳۰ سانتیمتر است. برای جلوگیری از فرسوده شدن بلبرینگ چرخها، هر چند وقت یکبار بایستی آنها را روغنکاری کرد.

فاصله دو محور واگون، از جمله مشخصات مهم آن است و بایستی به دقت انتخاب شود زیرا هر چقدر این فاصله بیشتر باشد، پایداری واگون زیادتر است و هر چقدر فاصله مزبور کمتر باشد، واگون در قوسهایی با شعاع کوچکتر قادر به حرکت خواهد بود. فاصله دو محور واگون‌های معمولی معدنی، ۵۵ سانتیمتر است.

***هـ ـ اتصالی‌ها:*** معمولاً چندین واگون را به یکدیگر متصل می‌کنند و مجموعه چند واگون را که به نام قطار خوانده می‌شود، به‌وسیله لکوموتیو یا جرثقیل روی خط می‌کشند.

برای الحاق واگونها به یکدیگر و نیز ارتباط قطار به لکوموتیو، اتصالی‌های مختلفی وجود دارد که چند نوع آن در شکل ۱۲ـ۲۳ نشان داده شده است.

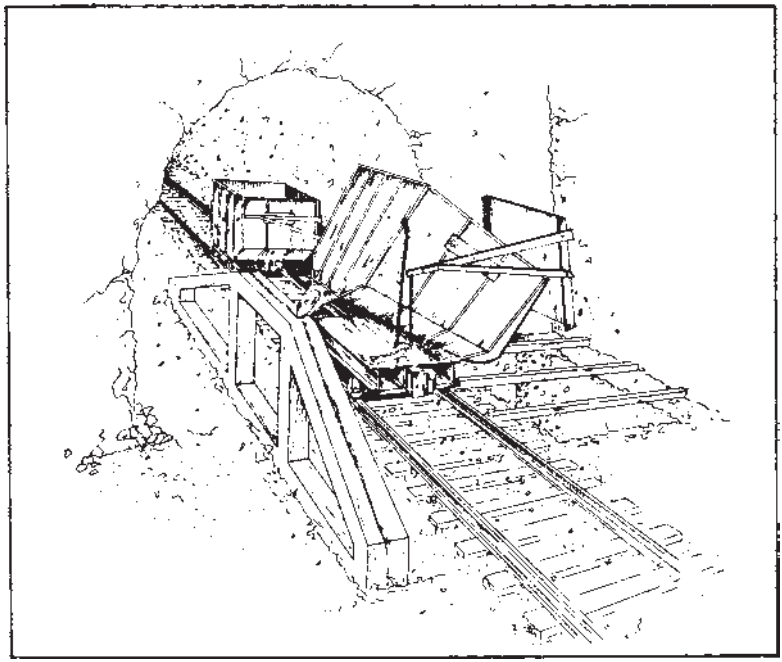



**شکل ۱۲ـ۲۳ـ انواع اتصالی‌ها [۳]**

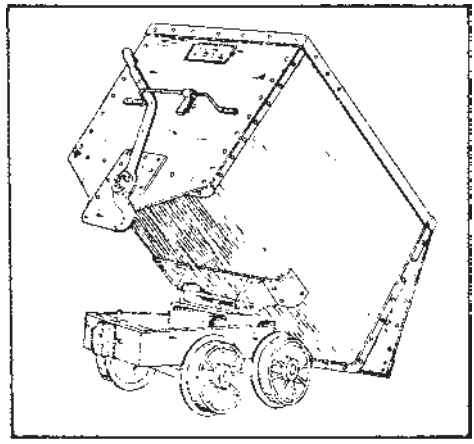
**۱۲ـ۵ـ۲ـ نحوه تخلیه واگون‌ها:** معمولاً کف صندوقه واگون‌ها قوسی شکل است و به‌هنگام حرکت، به توسط گوه مخصوصی بر روی شاسی ثابت می‌شود. برای تخلیه این واگون‌ها، ابتدا گوه را آزاد کرده و آنگاه باخم کردن صندوقه به یک طرف، آنرا تخلیه می‌کنند. این روش، متداول‌ترین طریقه تخلیه واگون‌ها در معادن ایران است.

دربسیاری موارد،برای تخلیه سریع واگون،درمحل تخلیه‌گاه، یک سکوی مخصوص احداث و به بدنه صندوقه نیز یک زایده یا چرخ نصب می‌کنند. به هنگام عبور واگون از برابر این سکو، زایده صندوقه ازروی این سکوعبورمی‌کندوباعث تخلیه واگون می‌شود (شکل ۱۲ـ۲۴).

در بعضی موارد نیز صندوقه در قسمت عقب لولا دارد و با بلند کردن آن، آنرا از سمت عقب تخلیه می‌کنند (شکل ۱۲ـ۲۵).



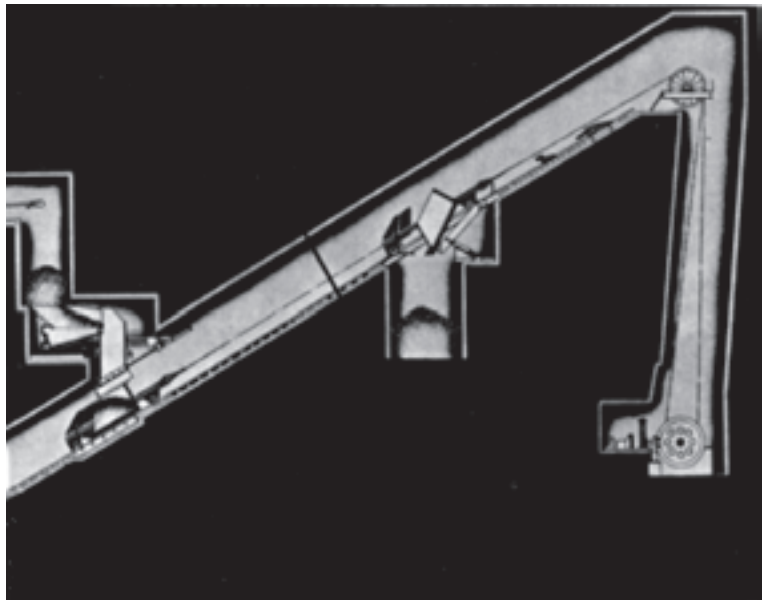
**شکل ۱۲ــ۲۴ــ تخلیه واگون‌ها از بغل [۱]**



**شکل ۱۲ــ۲۵ــ تخلیه واگون‌ها از عقب [۱]**

در معدن کوشک، واگون‌ها در انتهای مسیر حرکت خود در تونل مورب، از یک قسمت که شیب تندی دارد بالا می‌روند و به هنگام سرازیر شدن، مواد معدنی آنها تخلیه می‌شود (شکل ۱۲ــ۲۶). در شکل ۱۲ــ۲۷ نیز چگونگی تخلیه واگون در یک تونل مورب نشان داده شده است.

شکل ۱۲ــ۲۶ــ تخلیه واگون‌ها در معدن کوشک

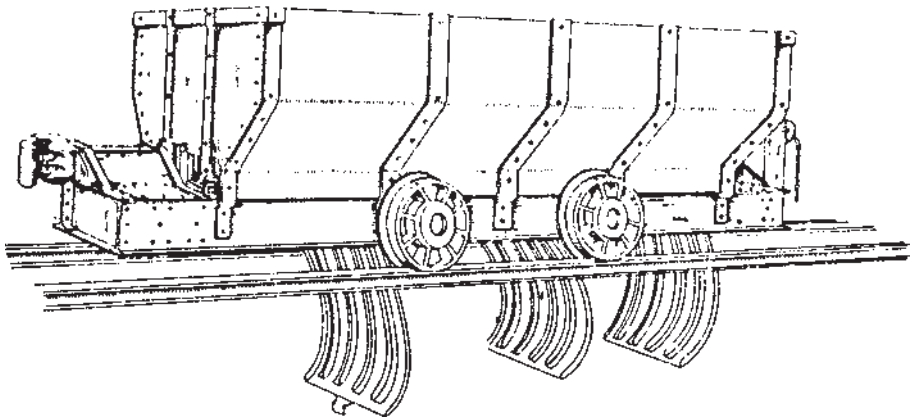


شکل ۱۲ــ۲۷ــ بارگیری و تخلیه واگون در تونل مورب

گاهی نیز در زیر صندوقه درب‌هایی تعبیه می‌کنند که با باز کردن این دربها، مواد داخل واگون تخلیه می‌شود (شکل ۱۲ــ۲۸). در چنین مواردی، معمولاً در قسمت تخلیه‌گاه، زوایدی وجود دارد که به هنگام عبور واگون از روی آن، به درب زیرین واگون گیر می‌کند و باعث باز شدن این در و تخلیه

واگون می‌شود. پس از عبور واگون از این محل، زواید دیگری تعبیه می‌کنند که ضمن عبور واگون از روی آن، درب زیرین، خود به خود بسته می‌شود.

روش دیگری که برای تخلیه واگون‌ها وجود دارد، استفاده ازدستگاههای واگون برگردان است. هنگامی که واگون برروی این دستگاه قرارگیرد، دو فک قوی، واگون را از طرفین می‌گیرد و آنرا یک دور کامل می‌گرداند و بدین ترتیب مواد درون واگون تخلیه می‌شود (شکل ۱۲ــ۲۹).



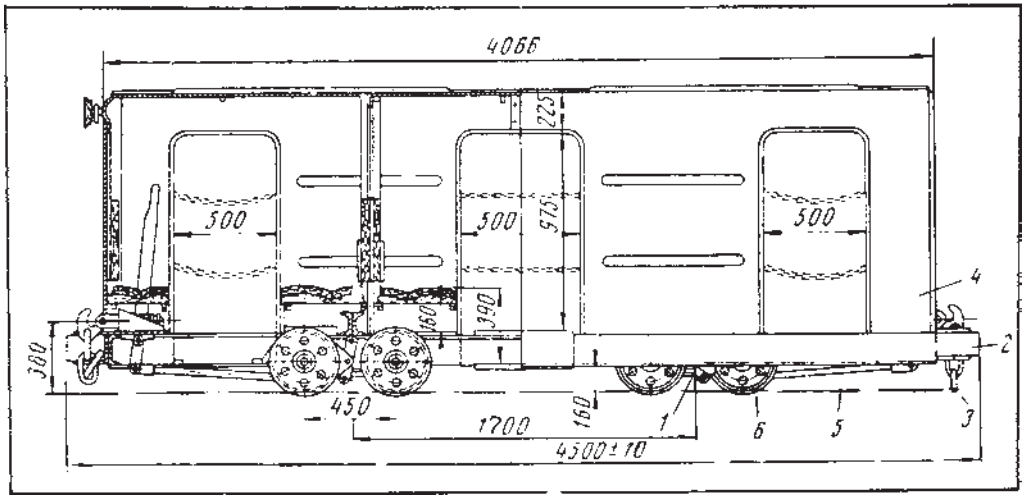
**شکل ۱۲ــ۲۸ــ تخلیه واگون از پایین [۱]**

**شکل ۱۲ــ۲۹ــ دستگاه واگون برگردان**

در بسیاری از معادن ایران و از آن جمله معدن زغال سنگ تزره، از این وسیله استفاده می‌شود.

**۱۲ــ۵ــ۳ــ واگون‌های مخصوص:** برای مقاصد خاص، واگون‌های ویژه‌ای ساخته می‌شود. مثلا برای حمل و نقل افراد در تونل‌های مختلف، واگون‌های خاصی وجود دارد که معمولاً دارای سه کوپه است و هر کوپه ظرفیت ۲ تا ۴ نفر را دارد (شکل ۱۲ــ۳۰).

همچنین برای حمل و نقل ریل، چوب و سایر مواد، واگون‌های مخصوصی وجود دارد که حمل لوازم مزبور را آسان می‌سازد.




شکل ۱۲ــ۳۰ــ واگون نفربر [۳۷]

## ۱۲ــ۶ــ لکوموتیوها

قطار مرکب از واگون‌های مختلف را بایستی به‌وسیله وسایل کشنده در طول خط حرکت داد. کشش لازم برای حرکت واگون و قطار را به روش‌های مختلف می‌توان تأمین کرد.

در معادن کوچک، کشش به توسط کارگر تأمین می‌شود ولی در معادنی که میزان استخراج قابل توجهی دارند، این کار به کمک لکوموتیوهای مختلف انجام می‌گیرد. در بعضی موارد نیز کشش لازم به‌وسیله جرثقیلهای مختلف تأمین می‌شود.

در روش کشش با دست که در معادن کوچک ایران مرسوم است، واگون توسط کارگر در طول خط حرکت می‌کند. با این روش در هر نوبت فقط یک واگون به‌وسیله کارگر کشیده می‌شود و بنابراین

راندمان کار بالا نیست.

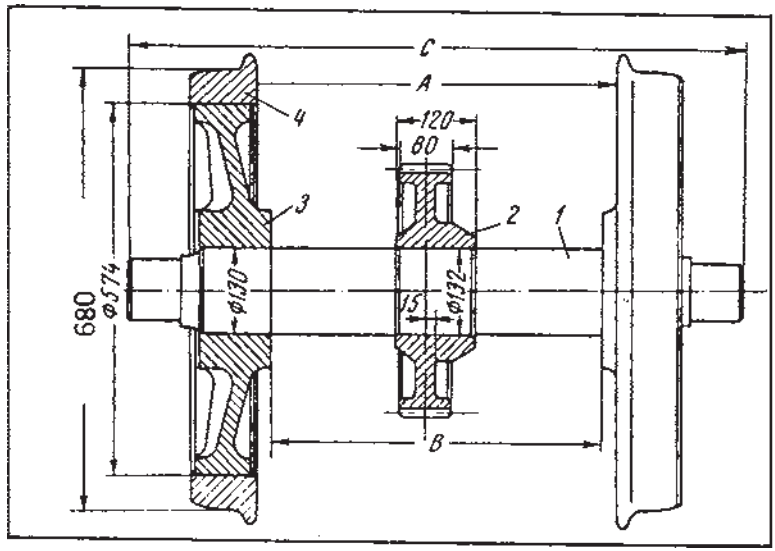
نیروی کششی که به‌وسیله انسان ایجاد می‌شود، بسته به قدرت افراد بین ۷ تا ۱۲ کیلوگرم تغییر می‌کند.

**۱۲ــ۶ــ۱ــ مشخصات عمومی لکوموتیوها:** مهمترین قسمت‌های یک لکوموتیو عبارتست از :

***الف ــ شاسی:*** شاسی قسمت اصلی هر لکوموتیو را تشکیل می‌دهد و تمام قسمت‌ها بر روی آن سوار می‌شود. شاسی معمولا از نیمرخ های فولادی مخصوصی ساخته می‌شود که در قسمت‌های مختلف به‌وسیله میله‌ها و ورقهای فولادی تقویت شده است.

در دو انتهای شاسی، وسایل ضربه‌گیر و ادوات اتصالی مطابق آنچه که در مورد واگون‌ها گفته شد، نصب می‌شود.

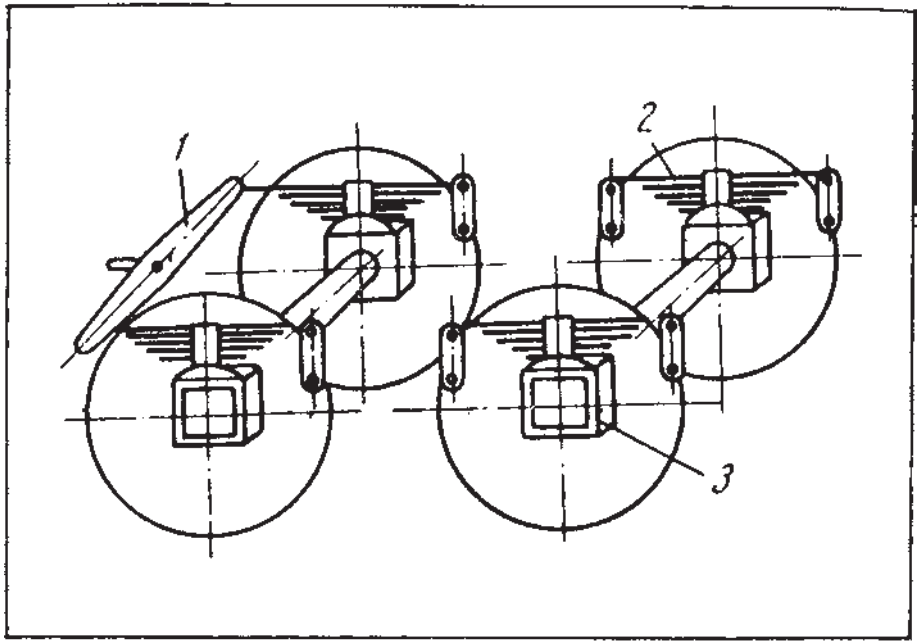
***ب ــ محور و چرخها:*** معمولاً لکوموتیوها چهار چرخ فولادی دارند که دو به دو روی یک محور سوار شده است (شکل ۱۲ــ۳۱). به طوری که دیده می‌شود، هر محور (۱) علاوه بر چرخهای طرفین، در وسط نیز دارای یک چرخ دندانه دار (۲) است.




**شکل ۱۲ــ۳۱ــ محور لکوموتیو [۳۷]**

چرخها نیز دارای دو قسمت بدنه (۳) و طوقه (۴)اند. طوقه چرخ دارای لبه‌ایست که از خروج چرخ از روی ریل جلوگیری می‌کند.

معمولاً هر چهار چرخ لکوموتیو قدرت محرکه دارند و محورها به‌وسیله فنرهای تیغه‌ای یا لوله‌ای، به زیر شاسی متصل می‌شوند (شکل ۱۲ــ۳۲).




شکل ۱۲ــ۳۲ــ چرخهای لکوموتیو [۳۷]

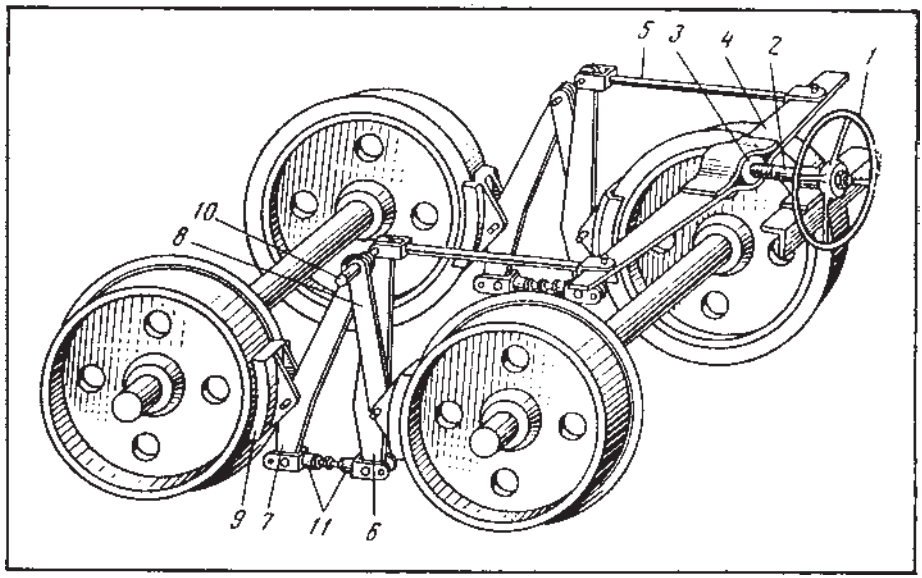
***ج ــ موتور و جعبه دنده:*** نیروی محرکه لازم برای لکوموتیو، به‌وسیله موتورهای الکتریکی،باتری‌دار، هوای فشرده و دیزلی تأمین می‌شود که هر کدام جداگانه مورد بررسی قرار خواهدگرفت.

از آنجا که حرکت لکوموتیو در داخل معادن آهسته است، لذا با استفاده از جعبه دنده‌های مختلف، سرعت موتورهای یاد شده را کاهش می‌دهند و به چرخها منتقل می‌کنند.

***د ــ ترمزها:*** ترمز از جمله مهمترین وسایل لکوموتیو است و ساختمان آن بایستی به نحوی باشد که در هر موقعیت بتوان قطار را متوقف کرد. به هنگام انتخاب ترمزها، نه تنها خود لکوموتیو، بلکه مشخصات قطار را نیز بایستی در نظر گرفت زیرا ترمز باید قادر به خنثی‌کردن نیروی اینرسی قطار نیز باشد.

لکوموتیو معمولاً به کمک کفشک‌هایی که در مجاورت چرخ نصب می‌شود، ترمز می‌کند. هنگامی که کفشک‌ها به محیط چرخ بچسبند، اصطکاک حاصله باعث توقف چرخ می‌شود.

نیروی لازم برای چسبیدن کفشک ترمز به چرخ به روشهای مختلف تأمین می‌شود. در شکل ۱۲ــ۳۳ نحوه کار یک ترمز که بادست کار می‌کند نشان داده شده است.



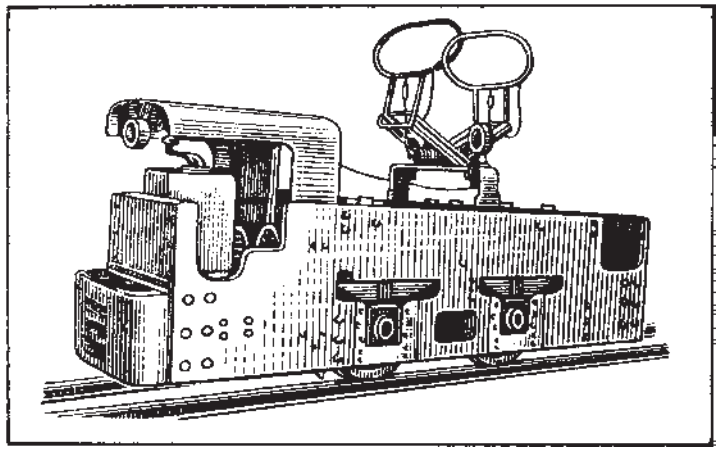

**شکل ۱۲ــ۳۳ــ ترمز لکوموتیو [۳۷]**

مطابق شکل، با گردش غربیلک (۱) صفحه (۴) به عقب کشیده می‌شود و در نتیجه اهرمهای (۵)، (۸) و (۱۱) حرکت می‌کند و باعث چسبیدن کفشک به چرخ می‌شود.

**۱۲ــ۶ــ۲ــ لکوموتیو برقی:** لکوموتیو برقی با صرفه‌ترین وسیله نقلیه در معدن است و بخصوص به علت نداشتن دود و صدای زیاد، بر لکوموتیو دیزلی برتری دارد. اما اشکال آن این است که ضمن حرکت، برقگیرها جرقه تولید می‌کنند و بنابراین از آنها نمی‌توان در معادن زغالی که دارای گاز یا گرد زغال زیاداند، استفاده کرد.

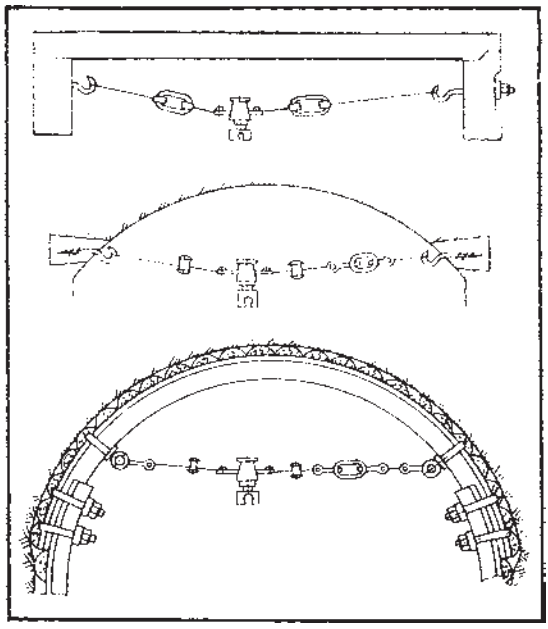
لکوموتیو برقی یک موتور الکتریکی با جریان دایم دارد که نیروی محرکه لازم را برای دستگاه فراهم می‌کند. مهمترین مسئله در مورد این نوع لکوموتیوها، رسیدن جریان برق به موتور است. برای این کار، در سقف تونل یک رشته سیم مسی لخت کشیده می‌شود و از این سیم به عنوان رفت جریان استفاده می‌کنند. در بالای لکوموتیو، یک وسیله برقگیر موسوم به پانتوگراف وجود دارد که برق لازم به‌وسیله آن به موتور الکتریکی دستگاه می‌رسد. ساختمان پانتوگراف طوری است که به‌وسیله فنرهای مخصوصی در تمام مدت حرکت لکوموتیو، با سیم سقف در تماس است و بنابراین جریان برق را از

سیم به موتور دستگاه منتقل می‌کند (شکل ۱۲ــ۳۴). برای برگشت جریان برق، از خط ریل استفاده می‌کنند و بنابراین در چنین مواردی، قطعات ریل بایستی حتماً به یکدیگر مرتبط و نسبت به هم هادی باشند.



شکل ۱۲ــ۳۴ــ لکوموتیو برقی [۳]

فشار جریان برق معمولاً ۲۲۰ تا ۲۵۰ ولت است و غالباً آنرا از یکسو کردن جریان برق سه فازه به دست می‌آورند.



شکل ۱۲ــ۳۵ــ نحوه نصب گیره سیم مسی در حالات مختلف [۳۲]

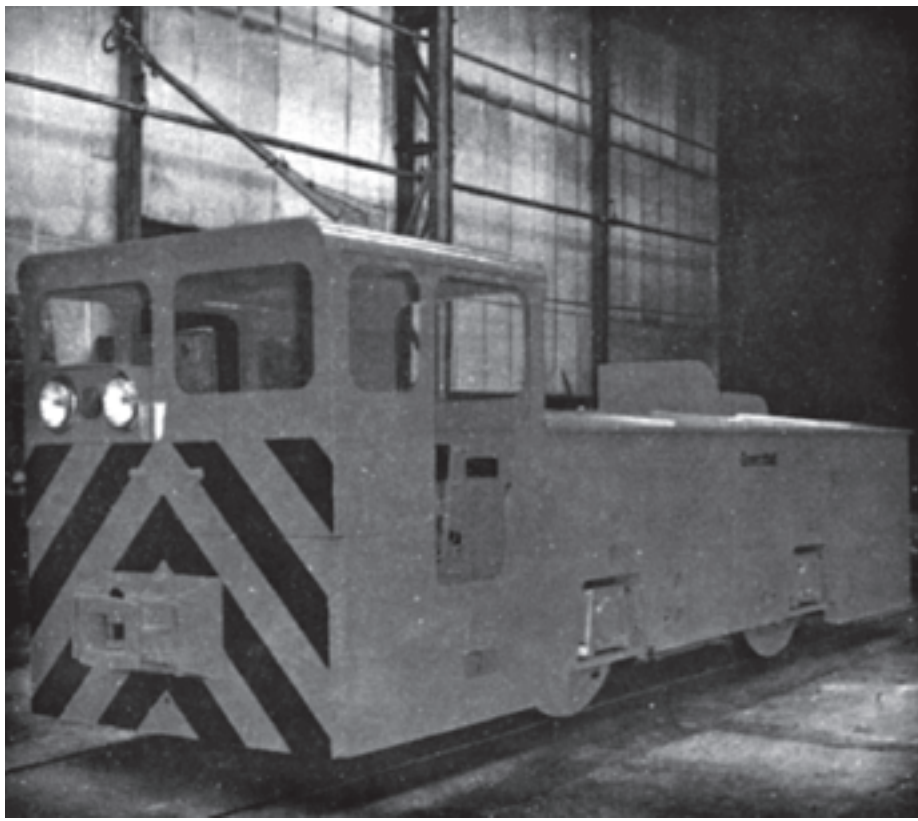
رشته سیم مسی به‌وسیله قلابهای مخصوصی در بالای تونل نصب می‌شود. قلابها به وسیله رشته سیم‌های عرضی، که به دیواره‌های تونل متصل است، آویزان می‌شوند. در شکل ۱۲ــ۳۵ طرز نصب این سیمهای عرضی در تونل‌هایی که به‌وسیله چوب، بتن و قاب فلزی نگهداری می‌شوند، نشان داده شده است.

به منظور رعایت مقررات ایمنی، ارتفاع سیم مسی از کف تونل نبایستی از ۲ متر کمتر باشد.

مقطع سیم مسی به قدرت موتور و سایر مشخصات بستگی دارد و در هر صورت نبایستی از ۵۰ میلیمتر مربع کمتر باشد.

قدرت موتور نیز به حجم باربری بستگی دارد و در هر مورد بایستی آنرا متناسب با ظرفیت قطار انتخاب کرد. نیروی محرکه موتور توسط جعبه دنده به چرخ دندانه داری که روی محور چرخها نصب شده است، منتقل و باعث حرکت آن می‌شود. معمولاً هر محور یک موتور جداگانه دارد.

در شکل ۱۲ــ۳۶، منظره کلی یک لکوموتیو برقی نشان داده شده است.



**شکل ۱۲ــ۳۶ــ نوعی لکوموتیو برقی**

**۱۲ــ۶ــ۳ــ لکوموتیو باتری‌دار:** به طوری که گفتیم، لکوموتیو برقی در ضمن حرکت، برق را از سیم بالایی می‌گیرد و از طریق چرخها به ریل منتقل می‌کند. بنابراین هم در قسمت بالا و هم در چرخها جرقه تولید می‌شود و بدین ترتیب نمی‌توان آنرا در معادن زغال گازدار یا دارای گرد زغال به کار برد و در چنین مواردی از لکوموتیو باتری‌دار استفاده می‌شود.

لکوموتیو باتری‌دار نیز مانند لکوموتیو الکتریکی، یک موتور الکتریکی جریان دایم دارد که به‌وسیله باتری تغذیه می‌شود.

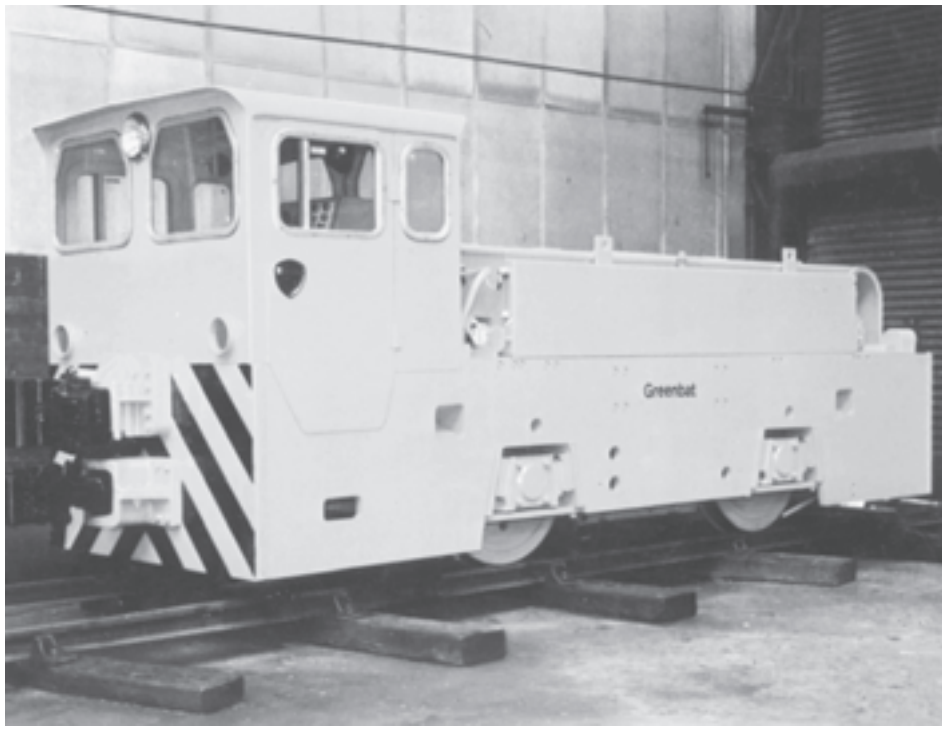
بدیهی است مدت کار باتری‌ها محدود است و پس از مدتی بایستی آنها را شارژ کرد. برای اینکه همواره بتوان از لکوموتیو باتری‌دار استفاده کرد، هر لکوموتیو حداقل دو باتری‌دارد که همواره یکی از آنها زیر شارژ و دیگری در حال کار است.

هر باتری از چندین سلول جداگانه تشکیل می‌شود که به حالت سری به یکدیگر متصل‌اند و در داخل یک جعبه فلزی قرار دارند.

برای شارژ باتری‌ها، کارگاه مخصوصی وجود دارد که در بیرون تونل یا در حوالی پذیرشگاه چاه واقع و ساختمان آن به نحوی است که لکوموتیو از یک طرف وارد و پس از تعویض باتری، از طرف دیگر خارج می‌شود.

باتری به‌وسیله دو رشته سیم به موتور مرتبط است و نحوه اتصال این سیمها به گونه‌ایست که به‌سهولت می‌توان آنرا از باتری کار کرده جدا و به باتری جدید وصل کرد.

شکل ۱۲ــ۳۷، نوعی لکوموتیو باتری‌دار را نشان می‌دهد.




**شکل ۱۲ــ۳۷ــ لکوموتیو باتری‌دار**

**۱۲ــ۶ــ۴ــ لکوموتیو دیزلی:** لکوموتیو دیزلی از جمله وسایل دیگری است که کشش راه‌آهن را تأمین می‌کند.

در مقایسه با لکوموتیوهای الکتریکی، این لکوموتیو احتیاج به تأسیسات اولیه از جمله سیم هوایی ندارد بنابراین به مراتب ارزان‌تر از نوع الکتریکی است. در عوض گازهایی که از لوله اگزوز موتور خارج می‌شود، عموماً حاوی گاز سمی مونواکسیدکربن و در بعضی موارد داغ و ممکن است باعث آتش سوزی در معادن زغال شود.

برای جلوگیری از تولید مونواکسیدکربن در موتور، نسبت هوا به سوخت را در حد بالادر نظر می‌گیرند. گرچه با این کار قدرت موتور کاهش می‌یابد ولی باعث سالم ماندن هوای معدن و بنابراین در مخارج تهویه صرفه جویی می‌شود.

برای سرد کردن گازهای حاصله از موتور و نیز جذب گازهای سمی آن، این گازها را پس از خروج از لوله اگزوز، به یک منبع آب هدایت می‌کنند و بدین ترتیب، ضمن سردشدن گازها، مواد سمی آن نیز تا حدودی جذب می‌شود.

در شکل ۱۲ــ۳۸، دو نوع لکوموتیو دیزلی نشان داده شده است.

**۱۲ــ۶ــ۵ــ لکوموتیو با هوای فشرده:** در این لکوموتیوها، نیروی محرکه به‌وسیله یک موتور هوایی که با هوای فشرده کار می‌کند تأمین می‌شود. برای تغذیه موتور، هوا را در حدود ۱۵۰ الی ۲۰۰ آتمسفر فشرده کرده و آنرا داخل کپسول‌های مخصوص نگهداری می‌کنند. از آنجا که موتور با هوای ۱۵۰ الی ۲۰۰ آتمسفر کار می‌کند، لذا به تدریج هوای فشرده از کپسول تخلیه می‌شود و هوای لازم برای گردش موتور را تأمین می‌کند.

معمولاً هر لکوموتیو ۶ کپسول هوای فشرده دارد که حجم هر کدام ۲۳۰ لیتر است. از آنجا که انبساط ناگهانی هوا یعنی کاهش فشار آن از ۱۷۵ به ۱۵ آتمسفر باعث سقوط دما می‌شود و ممکن است باعث یخ زدن روغن ماشین شود، لذا معمولاً هوایی را که از کپسول خارج می‌شود، ابتدا توسط دستگاههای مخصوص گرم می‌کنند و آنگاه به داخل موتور می‌فرستند.

مهمترین امتیاز لکوموتیوهای با هوای فشرده شرایط ایمنی آنها است زیرا این قبیل لکوموتیوها را می‌توان با اطمینان خاطر در معادن زغال حاوی گاز گرد زغال به کار برد. علاوه براین، هوای فشرده‌ای که به داخل موتور فرستاده می‌شود، پس از انجام کار مکانیکی منبسط و باعث تهویه هوای معدن می‌شود.

در برابر این امتیازات، می‌توان گرانی تأسیسات مربوط به تهیه هوای فشرده را به عنوان عیب اصلی این دستگاهها ذکر کرد. همچنین به طور کلی راندمان موتورهای هوای فشرده در مقایسه با

**شکل ۱۲ــ۳۸ــ دو نوع لکوموتیو دیزلی**

سایر روشهای تأمین انرژی ناچیز است و بنابراین کار مکانیکی انجام شده گرانتر از سایر روشها است.

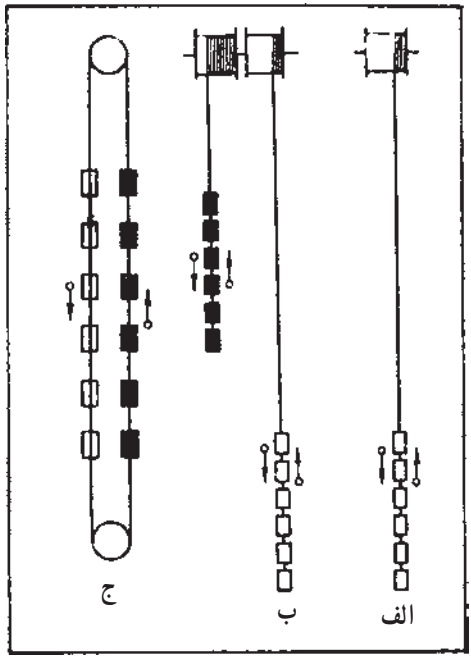
## ۱۲ــ۷ــ جرثقیل[۱]

در بعضی موارد و به ویژه در تونلهای مورب، کشش واگونها در روی خط‌آهن با استفاده از جرثقیل و کابل انجام می‌گیرد. برای حمل و نقل واگون‌ها به‌وسیله جرثقیل می‌توان از یک یادو رشته کابل و یا از یک کابل بی‌انتها استفاده کرد (شکل ۱۲ــ۳۹).

از جرثقیل یک کابله برای باربری درسطوح شیب‌داراستفاده می‌شود (شکل ۱۲ــ۳۹ــ الف). زیرا با این وسیله، فقط می‌توان واگون‌ها را به طرف جرثقیل کشید و حرکت واگون‌های خالی،در اثر نیروی وزن انجام می‌گیرد. در مواردی که در سطوح افقی از این نوع جرثقیل استفاده شود، واگون‌های خالی را بایستی به‌وسیله دست جابه جا کرد.

اگر جرثقیل دو استوانه و دو رشته کابل داشته باشد، با آن می‌توان واگون‌های پر و خالی را به طور همزمان جابه‌جا کرد (۱۲ــ۳۹ــ ب). به طوری که دیده می‌شود، دستگاه دو استوانه هم محور دارد و در هر مورد، واگون‌های پر به طرف جرثقیل کشیده می‌شوند و واگونهای خالی در اثر وزن خود، به طرف پایین سطح شیب‌دار حرکت می‌کنند. با استفاده از یک کابل بی انتها، که به دور دو استوانه پیچیده شده است، می‌توان حرکت واگون‌ها را در روی ریل در سطوح افقی نیز تأمین کرد (شکل ۱۲ــ۳۹ــ ج).

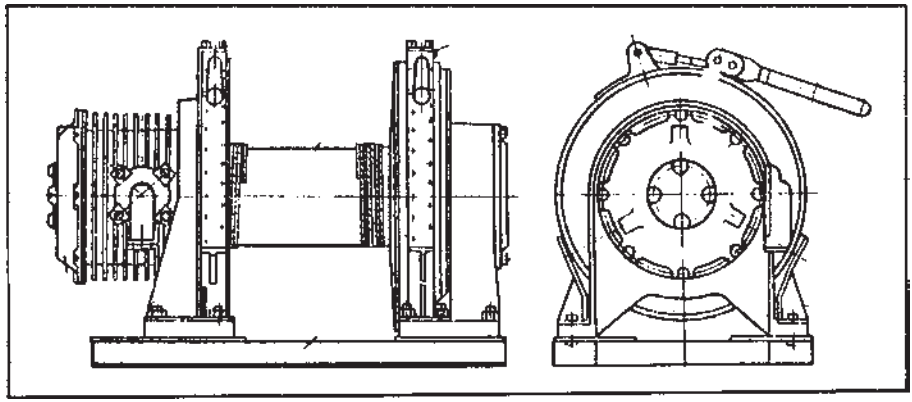
درمواردی که از دو رشته کابل و یا کابل بی‌انتها استفاده می‌شود،تونل حتماً بایستی دو رشته خط‌آهن داشته باشد که از روی یکی از آنها واگون‌های پر و از روی دیگری، واگون‌های خالی حرکت کنند.




شکل ۱۲ــ۳۹ــ حالت‌های مختلف جرثقیل [۳۸]

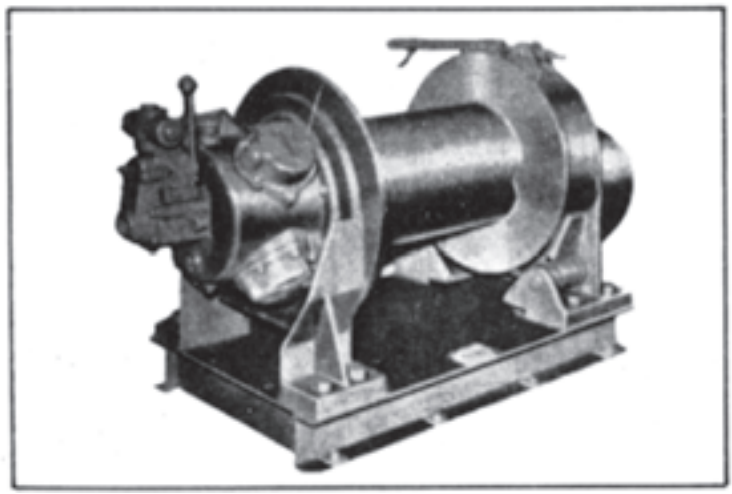
۱ــWinch

**۱۲ــ۷ــ۱ــ قسمتهای مختلف جرثقیل:** مهمترین قسمت‌های جرثقیل عبارت از موتور، جعبه دنده، استوانه، ترمز و کابل است که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم (شکل ۱۲ــ۴۰).

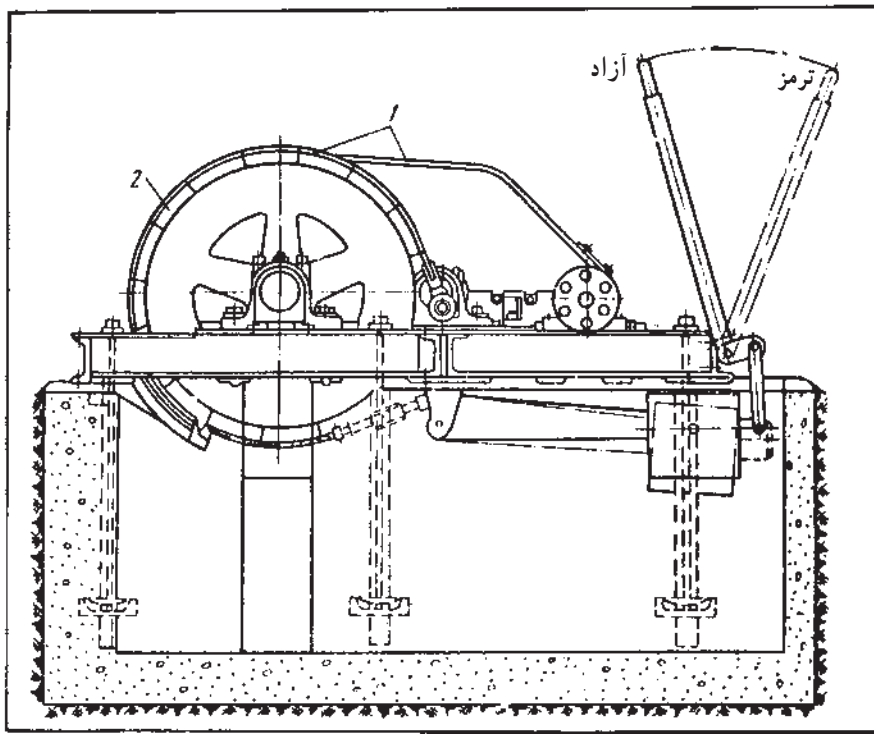


**شکل ۱۲ــ۴۰ــ قسمت‌های مختلف جرثقیل [۳۸]**

***الف ــ موتور:*** موتور جرثقیل بسته به موقعیت کاربرد آن، ممکن است از نوع الکتریکی، دیزلی یا هوای فشرده باشد. در معادن زغال حاوی گاز و گرد زغال، از نظر رعایت اصول ایمنی، معمولاً نوع هوای فشرده را به‌کار می‌برند (شکل ۱۲ــ۴۱) و مجموعه موتور، جعبه دنده و استوانه را روی پی بتنی در محل نصب می‌کنند. با استفاده از موتورهای الکتریکی ضدجرقه، می‌توان جرثقیل‌های برقی را نیز در معادن زغال گازدار به کاربرد. بدیهی است در معادن فلزی استفاده از انواع برقی باصرفه‌تر است (شکل ۱۲ــ۴۱).



**شکل ۱۲ــ۴۱ــ جرثقیل با موتور هوای فشرده**




**شکل ۱۲ــ۴۲ــ ترمز جرثقیل [۳۸]**

***ب ــ جعبه دنده:*** از آنجا که معمولاً سرعت موتورها زیاد است، لذا برای کاهش سرعت و امکان انتخاب سرعت‌های مختلف برای استوانه، از جعبه دنده استفاده می‌کنند. بدین ترتیب نیروی موتور از طریق جعبه دنده به استوانه منتقل می‌شود.

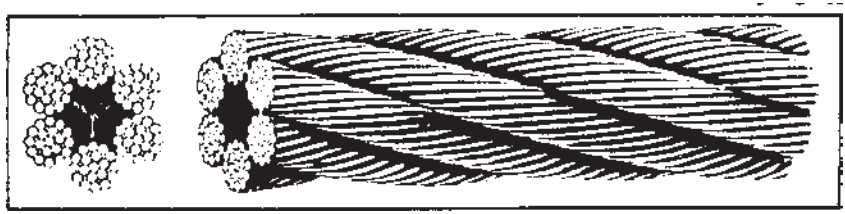
***ج ــ استوانه:*** استوانه قسمتی از دستگاه است که کابل به دور آن پیچیده شده و بدین ترتیب گردش این استوانه باعث کشیده شدن کابل می‌شود.

***د ــ ترمز:*** استوانه در دو طرف دارای لبه‌هاییست که در زیر آن کفشک‌های ترمز قرار دارد و با فشار دادن اهرم ترمز، کفشک‌ها به این قسمت از استوانه می‌چسبد و باعث توقف آن می‌شود (شکل ۱۲ــ۴۲).

توقف و چرخش جرثقیل توسط یک نفر متصدی انجام می‌گیرد.

***هـ ــ کابل:*** کابل از جمله مهمترین اجزای جرثقیل است و بایستی به طور دایم مورد بررسی قرار گیرد.

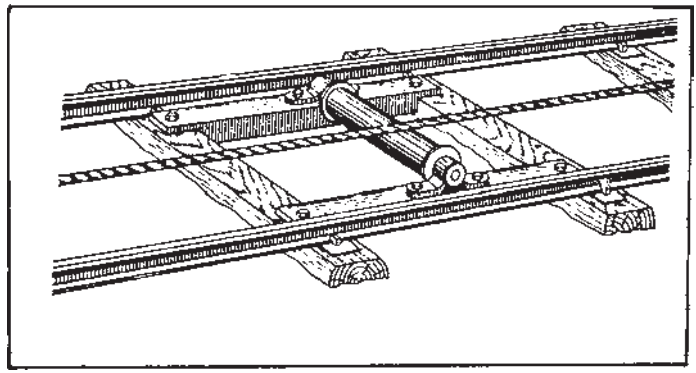
کابل از مفتول‌های فولادی که به یکدیگر پیچیده شده‌اند تشکیل می‌شود (شکل ۱۲ــ۴۳).



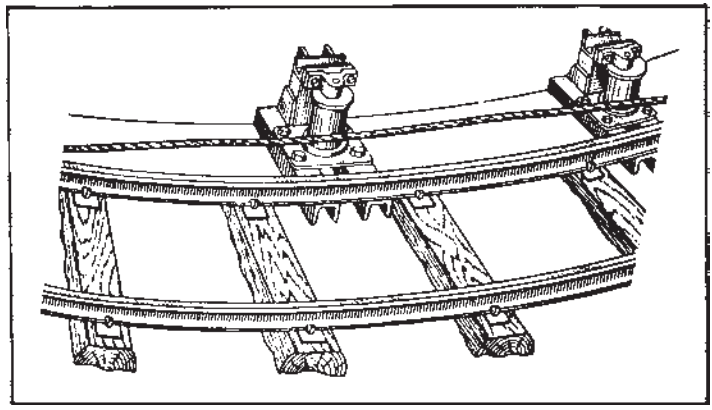
شکل ۱۲ــ۴۳ــ کابل [۱]

برای رعایت اصول ایمنی، کابل‌ها را بایستی مرتباً بررسی و در صورتی که دارای زدگی باشد، آنها را تعویض کرد.

**۱۲ــ۷ــ۲ــ تأسیسات ویژه خط جرثقیل:** برای اینکه ضمن کار جرثقیل، کابل به ریل و تراورس مالیده نشود و از بین نرود، در فواصل لازم بایستی تعدادی قرقره‌های هدایت کننده در سطح خط آهن نصب کرد (شکل ۱۲ــ۴۴). همچنین در مواردی که ریل خمیده باشد، برای جلوگیری از سایش کابل به دیواره‌ها، از قرقره‌های هرزگرد استفاده می‌کنند (شکل ۱۲ــ۴۵).

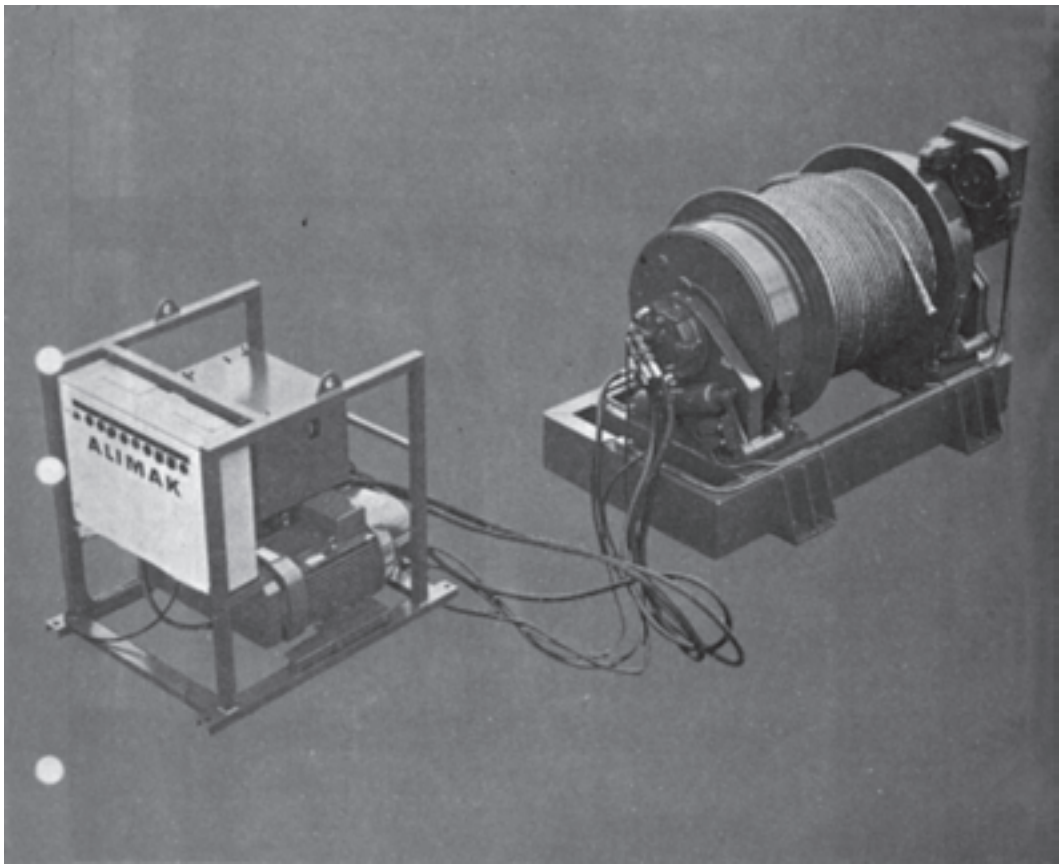


شکل ۱۲ــ۴۴ــ قرقره هدایت کننده [۳۸]



شکل ۱۲ــ۴۵ــ قرقره‌های هرزگرد در قوسها [۳۸]

**۱۲ــ۷ــ۳ــ جرثقیل‌های برقی ــ هیدرولیکی:** امروزه برای استفاده در قسمتهای مختلف معدن، جرثقیل‌هایی ساخته شده است که با یک موتور هیدرولیکی کوچک کار می‌کنند و این موتور هیدرولیکی، خود به‌وسیله موتور الکتریکی تغذیه می‌شود (شکل ۱۲ــ۴۶).

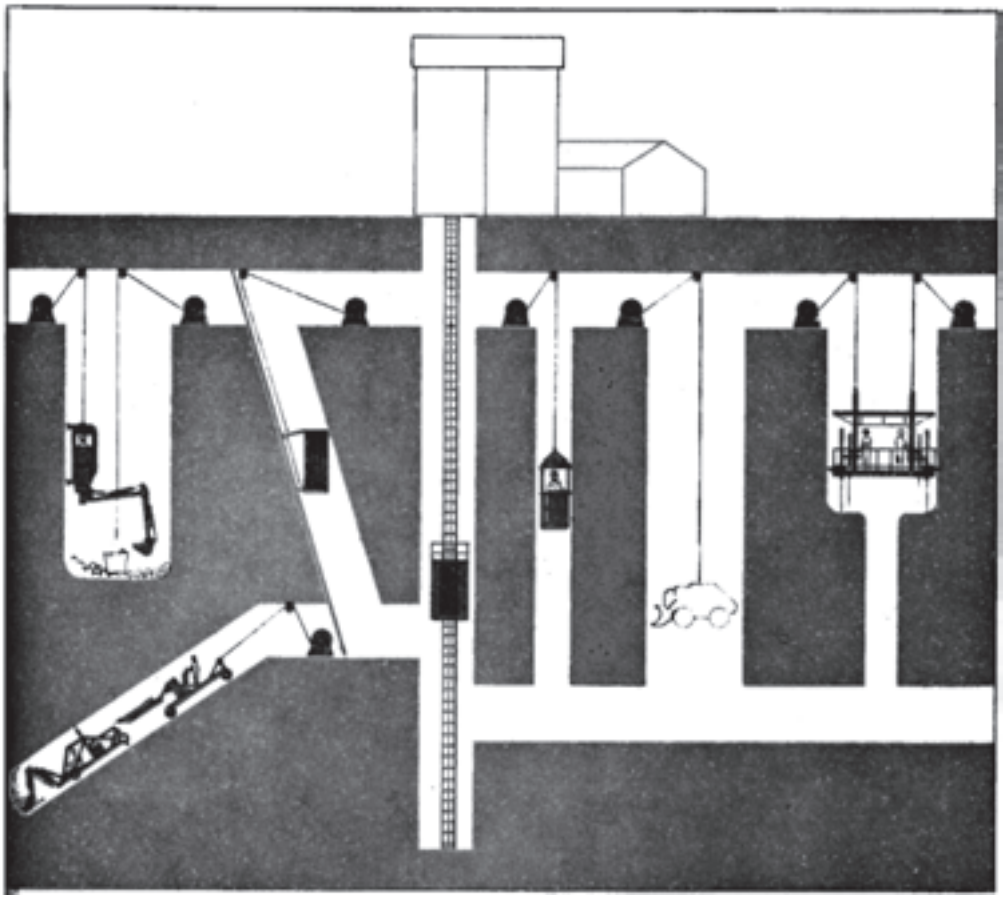



**شکل ۱۲ــ۴۶ــ جرثقیل برقی ــ هیدرولیکی**

این دستگاه سبک و قابل حمل و نقل است و در ضمن قدرت زیادی دارد و به آسانی می‌توان آنرا جابه‌جا کرد. از این دستگاه علاوه بر حمل و نقل در تونل‌های مورب، در نقاط دیگری از معدن نیز می‌توان استفاده کرد که موارد استعمال آن به طور ساده، در شکل ۱۲ــ۴۷، نشان داده شده است.

## ۱۲ــ۸ــ راه‌آهن‌های ویژه

علاوه بر راه‌آهن معمولی متداول در معادن، در سالهای اخیر راه‌آهن‌های ویژه‌ای نیز در معادن



**شکل ۱۲ــ۴۷ــ موارد استعمال جرثقیل برقی ــ هیدرولیکی**

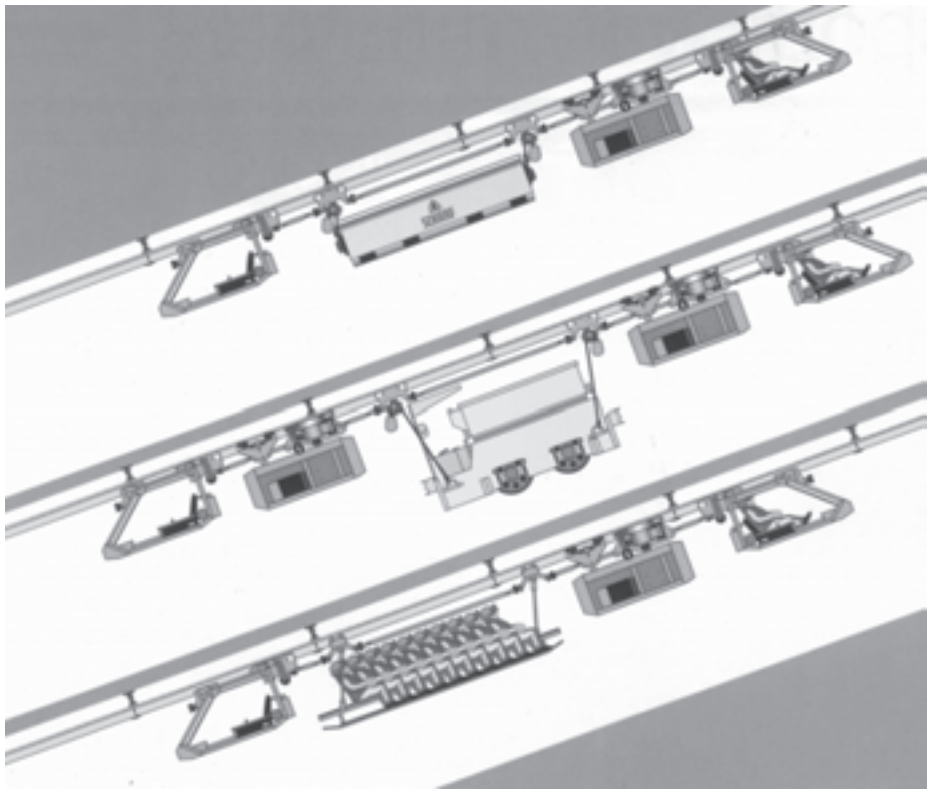
احداث می‌شود که در زیر به شرح دو نمونه آن می‌پردازیم :

**۱۲ــ۸ــ۱ــ راه‌آهن تک ریل**[۱]: این راه‌آهن، یک ریل دارد که در سقف تونل نصب می‌شود و بنابراین می‌توان آنرا همزمان با راه‌آهن معمولی یا نوار نقاله به کار برد.

ریل راه‌آهن در سقف و یا دیواره تونل محکم می‌شود و در شیار آن قرقره‌ها در طول ریل حرکت می‌کنند و از آنجا که آویزهایی به این قرقره‌ها وصل است، لذا به کمک این آویزها، می‌توان افراد و وسایل را در طول حفریات معدنی جابه‌جا کرد (شکل ۱۲ــ۴۸).

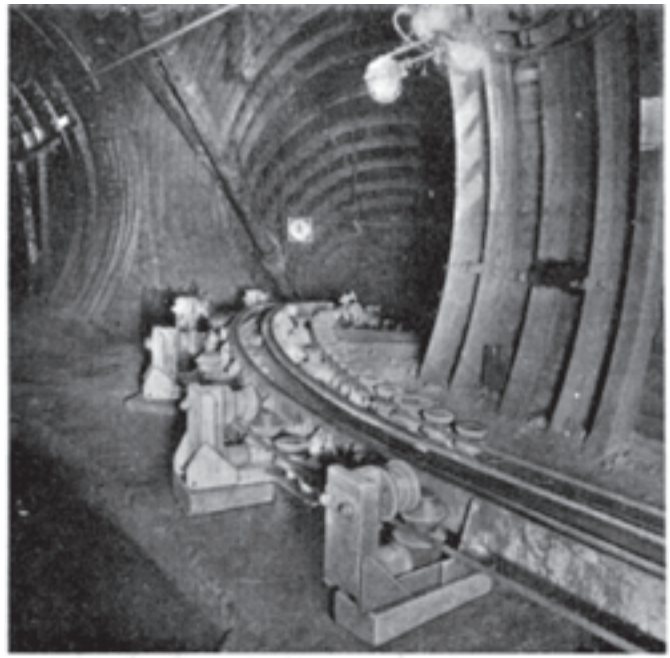
**۱۲ــ۸ــ۲ــ راه‌آهن کم عرض:** در این نوع راه‌آهن، فاصله ریلها کم و حدود ۲۰ سانتیمتر است و بنابراین فضای زیادی را اشغال نمی‌کند. واگون‌ها در روی ریل قرار می‌گیرند و به وسیله کابل

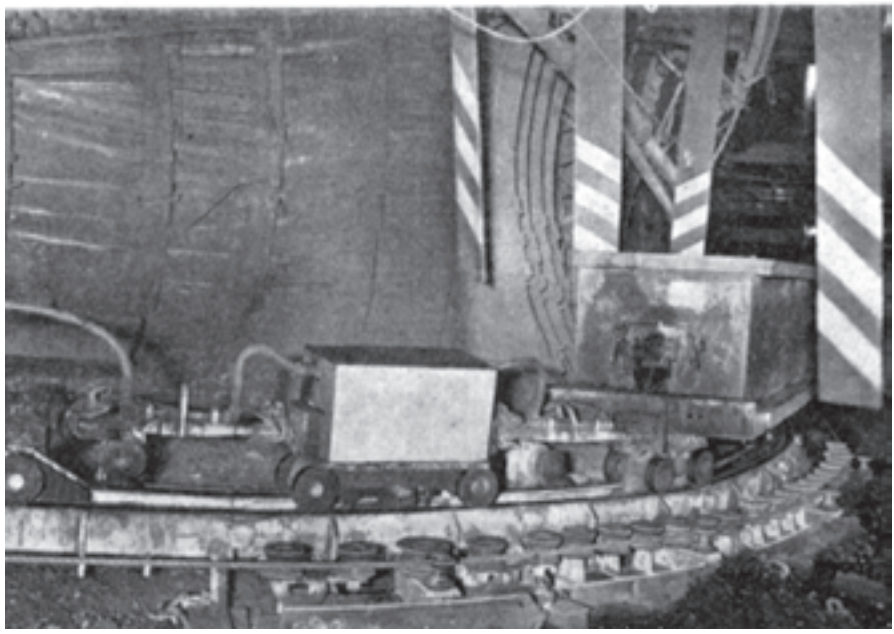
۱ــ Monorail



**شکل ۱۲ــ ۴۸ــ مناظری از راه‌آهن تک ریل در تونل‌ها**

در طول حفریات معدنی جابه‌جا می‌شوند (شکل ۱۲ــ۴۹).





**شکل ۱۲ــ۴۹ــ دو منظره از راه‌آهن کم عرض.**

از این وسیله می‌توان برای حمل و نقل وسایل و افراد در تونلهای افقی یا مورب استفاده کرد (شکل ۱۲ــ۵۰).

**شکل ۱۲ــ۵۰ــ حمل و نقل افراد در راه‌آهن کم عرض**

# فصل سیزدهم

# چگونگی حمل و نقل در قسمت‌های مختلف معدن

## ۱۳ــ۱ــ آشنایی

در قسمت‌های مختلف معدن حمل و نقل به روشهای مختلف و با استفاده از وسایل متفاوت انجام می‌گیرد. علت این امر آنست که مشخصات و ابعاد معدن در قسمت‌های مختلف آن یکسان نیست و بنابراین نمی‌توان در تمام قسمت ها از دستگاهها و روشهای واحدی استفاده کرد. مثلاً در داخل کارگاه استخراج، فضای کافی وجود ندارد در صورتی که در داخل تونل ها، فضا بیشتر است و در بیرون معدن، اصولاً محدودیتی از این نظر وجود ندارد.

یکی از مهمترین مسایلی که بایستی ضمن حمل و نقل در قسمت‌های مختلف معدن مورد توجه قرار گیرد آنست که حتی المقدور از بارگیری و تخلیه های متعدد اجتناب شود زیرا علاوه بر صرف زمان زیاد، تکرار این عملیات، باعث خرد شدن مواد معدنی می‌شود. بنابراین سعی می‌کنند که مثلاً واگونهای حاوی مواد معدنی، که در داخل تونل‌های مختلف درحال حرکتند، مستقیماً به داخل آسانسورهای چاه راه یابند و در بیرون نیز، همین واگونها ماده معدنی را به بونکر اصلی معدن برسانند.

در زیر چگونگی حمل و نقل در کارگاه استخراج، تونل‌های افقی، تونل‌های مورب، چاه و بیرون معدن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

## ۱۳ــ۲ــ حمل و نقل در کارگاه استخراج

وسایل حمل و نقل در کارگاه استخراج تا حد زیادی به شیب کارگاه و ضخامت ماده معدنی بستگی دارد.

در مواردی که شیب کارگاه زیاد باشد، مواد حفر شده بدون احتیاج به هیچگونه وسیله باربری، خود به خود به پایین سرازیر شده و به درون واگون یا نوار باربری موجود در تونل دنباله رو پایین کارگاه، تخلیه می‌شود.

در بعضی موارد، کارگران به هنگام حفر ماده معدنی، آنرا به‌وسیله پا، به قسمت پایین تر منتقل می‌کنند. هنگامی که شیب کارگاه کمتر باشد، با نصب ناو ثابت می‌توان باربری را در داخل کارگاه

انجام داد. در مواردی که شیب کارگاه خیلی کم باشد، بایستی از ناوهای متحرک برای باربری استفاده کرد و به طوری که قبلاً نیز اشاره کردیم، با توجه به ابعاد کم ناو زنجیری، معمولاً از این وسیله استفاده می‌کنند.

در شکل ۱۳ــ۱ نحوه کاربرد ناو زنجیری در یک کارگاه زغال سنگ نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، برای اینکه مواد معدنی به بیرون ناو نریزد، یک لبه آنرا با استفاده از صفحات فلزی یا پلاستیکی بلندتر می‌کنند.

**شکل ۱۳ــ۱ــ کاربرد ناو زنجیری در کارگاه استخراج**

از جمله مهمترین امتیازات ناو زنجیری آن است که می‌توان آنرا همراه با پیشروی کارگاه جابه‌جا کرد و بدین ترتیب، جدا و سوار کردن های متوالی در کار نیست و به میزان قابل ملاحظه‌ای در وقت صرفه جویی می‌شود.

## ۱۳ــ۳ــ حمل و نقل در تونل‌های افقی

در معادن کوچک، غالباً باربری در داخل تونل‌ها به‌وسیله فرغون و به‌وسیله کارگر انجام می‌گیرد. این روش دارای راندمان مناسب نیست ولی احتیاج به تأسیسات اولیه ندارد.

باربری به‌وسیله واگون و راه‌آهن از جمله متداول ترین روشهای باربری در تونل‌هاست. در بسیاری از معادن کوچک ایران، فقط یک رشته خط آهن در تونل کشیده شده است و واگونها به‌وسیله کارگر کشیده می‌شوند (شکل ۱۳ــ۲).

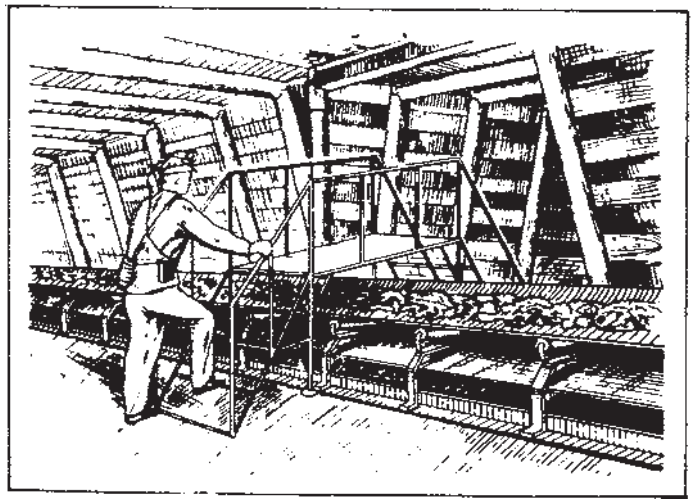
**شکل ۱۳ــ۲ــ حمل و نقل در معادن کوچک**

در معادن بزرگ، مثل معدن بزرگ پابدانا و معدن بزرگ تزره، دو رشته خط‌آهن در تونل کشیده شده است و باربری به‌وسیله لکوموتیو انجام می‌گیرد (شکل ۱۳ــ۳).

**شکل ۱۳ــ۳ــ حمل و نقل در معدن پابدانا**

استفاده از نوار باربری وسیله دیگری برای حمل و نقل در داخل تونل‌هاست. در چنین مواردی بایستی نوار در یک طرف تونل نصب شود تا فضای کافی برای عبور افراد وجود داشته باشد.

برای رعایت اصول ایمنی، در محل تلاقی تونل‌ها، یک پل ایمنی در روی نوار نصب می‌کنند تا افراد بتوانند به آسانی از روی آن عبور کنند (۱۳ــ۴).



**شکل ۱۳ــ۴ــ عبور افراد از روی نوار نقاله [۳۲]**

افراد معمولاً به حالت پیاده در تونل‌های افقی رفت و آمد می‌کنند ولی در مواردی که طول تونل زیاد باشد، برای رفت و آمد آنان از واگونهای مخصوص استفاده می‌شود.

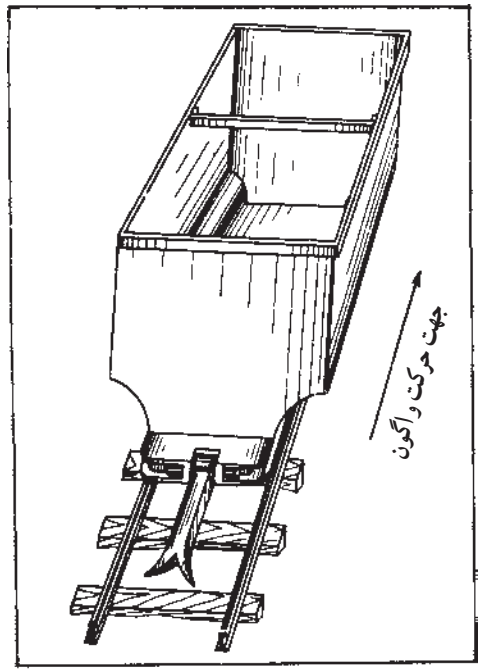
## ۱۳ــ۴ــ حمل و نقل در تونل‌های مورب

روش باربری در تونل‌های مورب تا حد زیادی بستگی به نحوه باربری در تونل‌های افقی مرتبط با آن دارد. مثلاً اگر باربری در تونل‌ها به‌وسیله نوار نقاله انجام می‌گیرد، در داخل این تونل نیز یک نوار باربری تعبیه می‌کنند و در حالتی که باربری در تونل‌های پایین به‌وسیله راه‌آهن انجام می‌شود، در سطح تونل مورب نیز یک یا دو رشته خط‌آهن نصب می‌کنند و باربری را به کمک جرثقیل انجام می‌دهند.

در بیشتر تونل‌های مورب برای باربری از واگون و جرثقیل استفاده می‌شود زیرا با این روش، ضمن بالا آوردن مواد معدنی، می‌توان لوازم ضروری معدن مثل چوب، ریل و وسایل نظیر آنرا نیز به‌وسیله واگونها به پایین فرستاد.

یکی از مهمترین مسایلی که ضمن حمل ونقل در تونل‌های مورب بایستی مورد توجه قرار گیرد، در نظر گرفتن شرایط احتیاطی به هنگام پاره شدن کابل است. البته بایستی همواره کابل را مورد بازدید قرار داد و آنرا کنترل و در صورت لزوم تعویض کرد. با این وجود، بایستی تدابیری را به‌کاربست که اگر کابل پاره شد، از سقوط واگون جلوگیری شود.

یکی از وسایل ایمنی برای واگونهایی که به طرف بالا حرکت می‌کنند در شکل ۱۳ــ۵ نشان داده شده است. به طوری که دیده می‌شود، به هنگام حرکت واگون به طرف بالا، زایده‌ای به دنبال آن کشیده می‌شود و هرگاه کابل پاره شود، این زایده به تراورس‌گیر کرده و از سقوط واگون جلوگیری می‌کند.

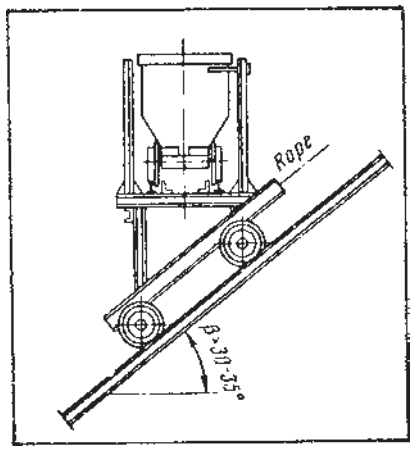



**شکل ۱۳ــ۵ــ وسیله ایمنی به منظور جلوگیری از سقوط واگون در حرکت سربالا [۳۲]**

همچنین در انتهای واگونهایی که به طرف پایین حرکت می‌کنند، چنگک‌های مخصوصی قرار می‌دهند که در حالت عادی در امتداد کابل یا زنجیری که به واگون متصل است کشیده می‌شود. اما هنگامی که کابل پاره شود، این چنگک به تراورس‌گیر می‌کند و واگون را ثابت نگه می‌دارد (شکل ۱۳ــ۶).

**شکل ۱۳ــ۶ــ وسیله ایمنی به منظور جلوگیری از سقوط واگون در حرکت سرازیر [۳۸]**

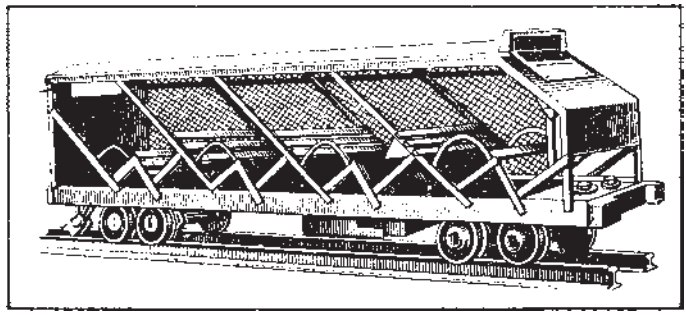
در مواردی که شیب تونل مورب کمتر از ۳۰ درجه باشد، واگونها مستقیماً روی ریل قرار می‌گیرند و به‌وسیله جرثقیل کشیده می‌شوند. اما اگر شیب از این مقدار تجاوز کند، برای جلوگیری از بیرون ریخته شدن مواد داخل واگون، آنرا روی ارابه مخصوصی قرار می‌دهند و بدین‌ترتیب واگون به حالت افقی حمل و نقل می‌شود ( شکل ۱۳ــ۷).




**شکل ۱۳ــ۷ــ ارابه مخصوص حمل واگون در شیب های تند [۳]**

افراد معمولاً پیاده در تونلهای مورب رفت و آمد می‌کنند. برای سهولت رفت و آمد، در کف تونل مورب و نزدیک به دیواره آن، تخته‌هایی که در فواصل معین روی آن چوبهای عرضی متصل شده است، نصب می‌کنند. در کنار دیوار نیز یک نرده چوبی برای دست گرفتن قرار می‌دهند و این امر باعث سهولت رفت و آمد افراد در تونل می‌شود.

در مواردی که طول تونل مورب زیاد باشد، برای رفت و آمد افراد، از واگونهای مخصوص نفربر استفاده می‌کنند (شکل ۱۳ــ۸). بدیهی است در مورد این واگونها نیز وسایل احتیاطی نصب می‌کنند تا در صورت پاره شدن کابل، صدمه‌ای به افراد وارد نشود.



**شکل ۱۳ــ۸ــ واگون نفربر [۳]**

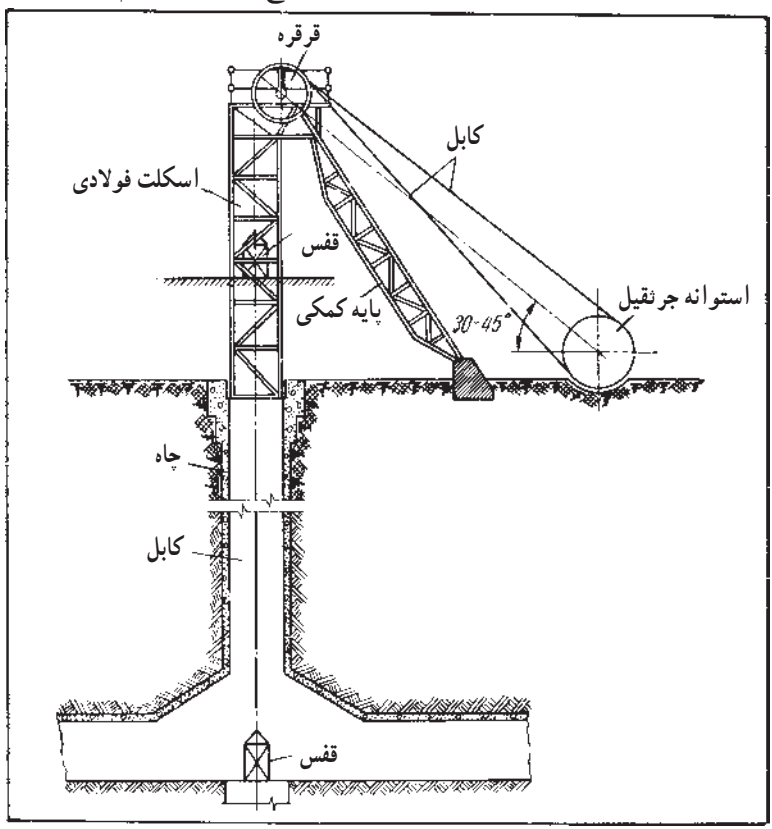
## ۱۳ــ۵ــ حمل و نقل در داخل چاه

در معادنی که به‌وسیله چاه گشایش یافته‌اند، باربری در چاه، آخرین مرحله باربری در داخل معدن را تشکیل می‌دهد.

به طوری که در مبحث روشهای استخراج خواهیم دید، پس از حفر چاه، در افق های مختلف، اقدام به حفر تونل کرده و بدین ترتیب، طبقات مختلف معدن را احداث می‌کنند.

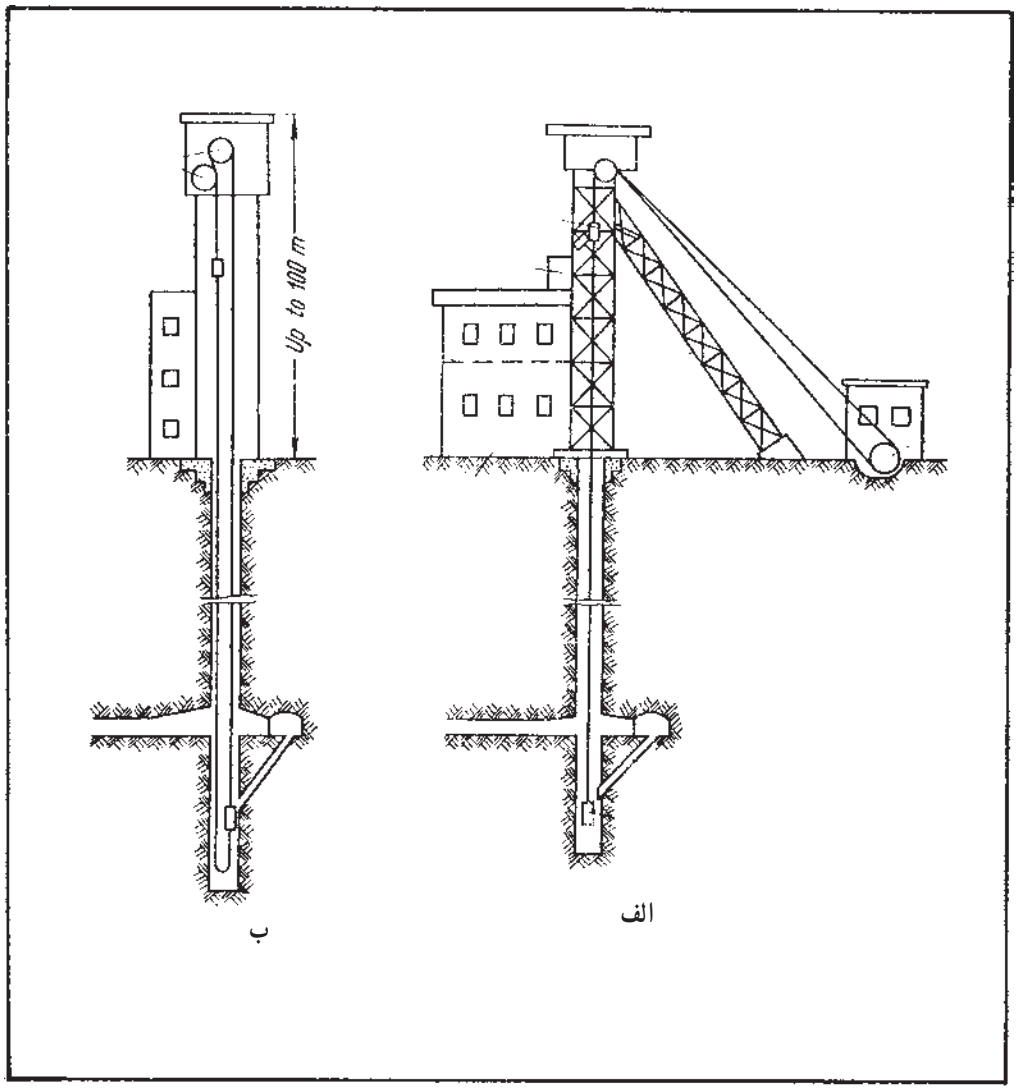
محل تلاقی تونل‌ها با چاه را به نام پذیرشگاه می‌خوانند و در این نقاط، مواد موجود در واگونها یا نوار باربری، به داخل قفس‌های چاه می‌ریزد و یا اینکه واگونها مستقیماً وارد این قفس‌ها شده و به‌وسیله آسانسور به بالا کشیده می‌شوند. در بالای دهانه چاه مواد از درون قفسها به داخل بونکرهای بیرون معدن تخلیه می‌شود و از درون آن به داخل کامیونهای معدنی ریخته شده و به‌وسیله آنها به کارگاه کانه آرایی یا محل مصرف حمل می‌شود.

**۱۳ــ۵ــ۱ــ وسایل حمل و نقل در چاه:** مهمترین وسایل حمل و نقل در چاه، دکل، جرثقیل، کابل و قفس است (شکل ۱۳ــ۹) که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم :




شکل ۱۳ــ۹ــ وسایل حمل و نقل در چاه [۳]

***الف ــ دکل:*** دکل، ساختمان برج مانندی است که در بالای چاه نصب می‌شود. دکل ممکن است از قطعات فولادی با نیمرخ مخصوص شکل ۱۳ــ۱۰ــ الف و یا از بتن مسلح شکل ۱۳ــ۱۰ــب ساخته شود.




**شکل ۱۳ــ۱۰ــ ساختمان دکل [۲]**

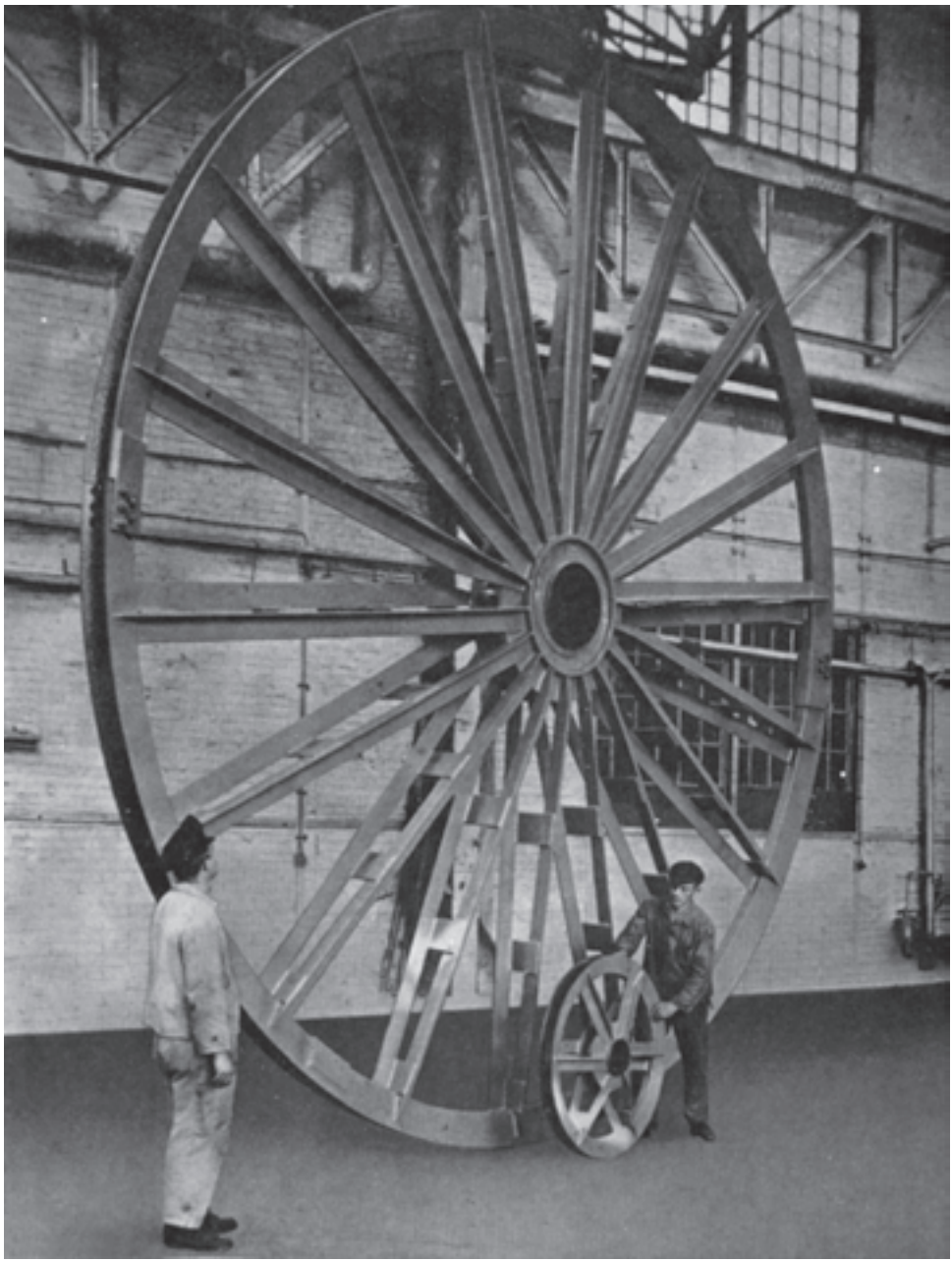
دکل بتنی معمولاً در مواردی به‌کار می‌رود که مدت بهره‌برداری از چاه طولانی و میزان حمل و نقل روزانه نیز زیاد باشد. دکلهای بلند را معمولاً از فولاد می‌سازند (شکل ۱۳ــ۱۱).

**شکل ۱۳ــ۱۱ــ دکل معدن**

در بالای دکل، تعدادی قرقره وجود دارد که کابل جرثقیل از دور آنها عبور می‌کند و بدینوسیله حرکت قفس‌ها را در داخل چاه ممکن می‌سازد (شکل ۱۳ــ۱۲). قرقره‌ها را معمولاً یکپارچه

**شکل ۱۳ــ۱۲ــ قرقره‌های بالای دکل**

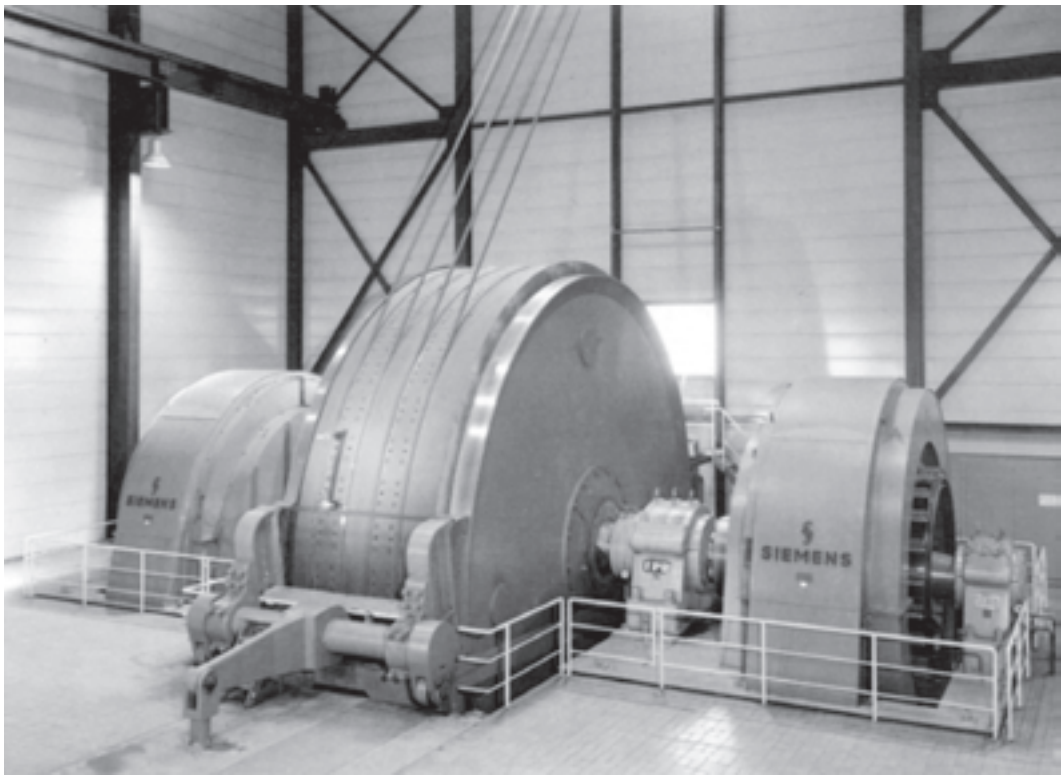
می‌سازند اما در مواردی که قرقره سنگین و حمل و نقل آن مشکل باشد، از قطعات مجزایی که به‌وسیله پیچ به یکدیگر متصل شده‌اند ساخته می‌شود (شکل ۱۳ــ۱۳).



**شکل ۱۳ــ۱۳ــ قرقره بالای دکل**

قطر قرقره به مشخصات باربری بستگی دارد و بعضی موارد ممکن است به ۴ الی ۵ متر نیز برسد.

**ب ــ *جرثقیل:*** ساختمان جرثقیل چاه نیز مشابه جرثقیل‌هایی است که قبلاً بررسی شد و قسمت‌های اصلی آن را موتور، جعبه دنده، استوانه و ترمز تشکیل می‌دهد. جرثقیل را در ساختمان مخصوصی در کنار چاه نصب کرده و برای هدایت آن، وسایل کنترل نصب می‌کنند (شکل ۱۳ــ۱۴).



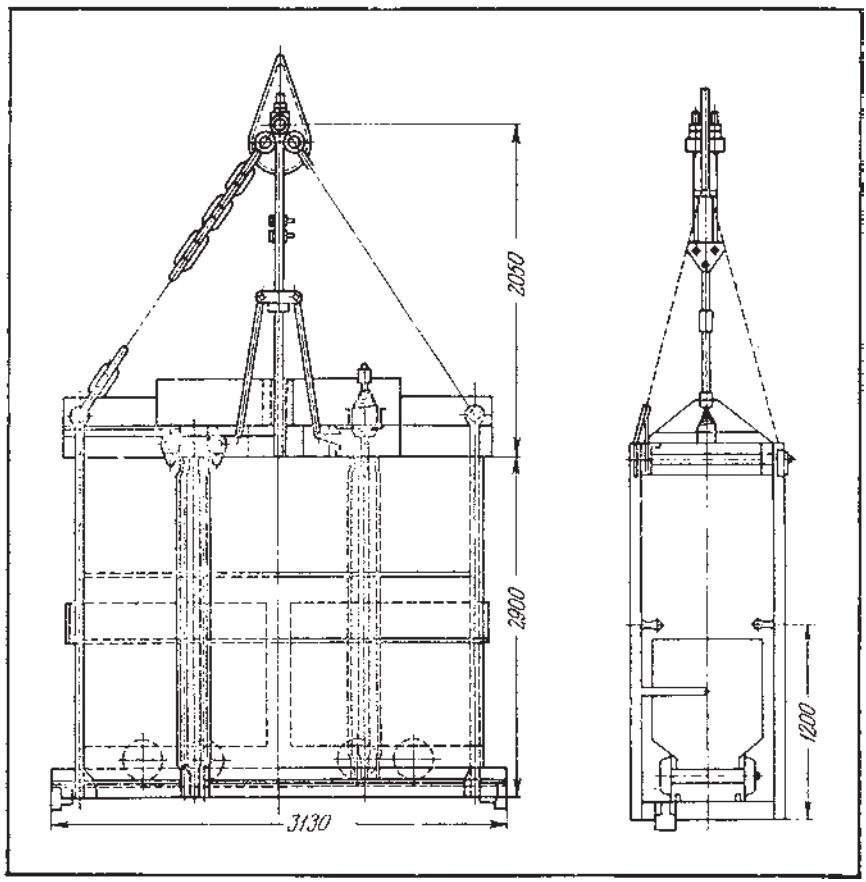

**شکل ۱۳ــ۱۴ــ ساختمان مخصوص جرثقیل [۳]**

معمولاً هر جرثقیل عمق نمایی دارد که در هر لحظه موقعیت قفس‌ها را در داخل چاه نشان می‌دهد. همچنین وسیله دیگری نیز وجود دارد که به طور خودکار قسمت‌هایی را که بایستی سرعت جرثقیل در آنجا کم شود نشان می‌دهد. از جمله وسایل دیگر جرثقیل می‌توان سرعت‌سنج آنرا نام برد.

**ج ــ *کابل:*** ساختمان کابل این نوع از جرثقیل ها نیز مشابه آنهایی است که قبلاً بررسی شد. باتوجه به اهمیتی که کابل از نظر ایمنی دارد، همواره بایستی مورد بررسی دقیق قرار گیرد. اصولاً پس از مدت زمان معینی، کابل جرثقیل را ولو اینکه سالم باشد، تعویض می‌کنند.

**د ــ قفس:** قفس وسیله‌ای است که کابل‌های جرثقیل به سقف آن متصل است و به‌وسیله آن مواد معدنی و افراد حمل و نقل می‌شوند.

قفس را در انواع مختلف می‌سازند. اگر بخواهند مستقیماً واگون‌ها را در داخل قفس حمل کنند، در کف آن ریل نصب کرده و بسته به ظرفیت قفس، یک یا دو واگون را به داخل آن هدایت می‌کنند و آنرا بالا می‌کشند (شکل ۱۳ــ۱۵).

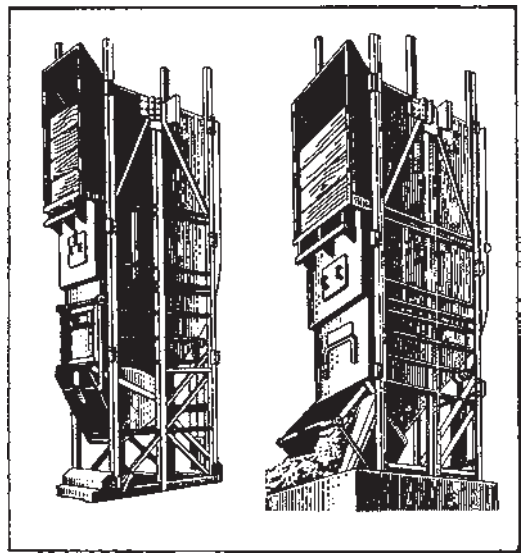



**شکل ۱۳ــ۱۵ــ قفس برای حمل واگون [۳]**

برای حمل مواد معدنی، قفس‌های مخصوصی به نام اسکیپ [۱] وجود دارد. مواد معدنی از بالا به داخل این اسکیپ‌ها می‌ریزد و برای تخلیه آن، دری وجود دارد که با بازکردن آن،مواد از زیر آن تخلیه می‌شود (شکل ۱۳ــ۱۶).

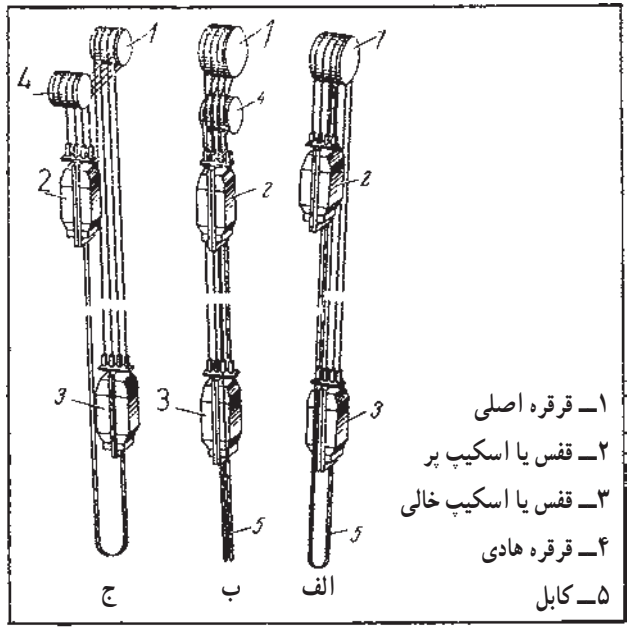
---

۱ــ Skip



شکل ۱۳ــ۱۶ــ اسکیپ [۳]

برای اینکه قفس‌ها با نیروی کمتری کشیده شوند، معمولاً دو قفس به‌وسیله کابل به یکدیگر مربوطند و با بالا رفتن یکی، دیگری پایین می‌آید و بدین ترتیب وزن خود قفس و واگون‌ها خنثی شده و برای حرکت دادن قفس نیروی کمتری لازم می‌شود (۱۳ــ۱۷).




شکل ۱۳ــ۱۷ــ نحوهٔ حرکت قفس در چاه [۳]

برای رفت و آمد افراد در داخل چاه نیز قفس‌های مخصوصی وجود دارد. در بعضی موارد از قفس‌هایی که برای حمل واگون‌ها ساخته شده، برای رفت و آمد کارکنان نیز استفاده می‌شود.

**۱۳ــ۵ــ۲ــ نحوه باربری در داخل چاه:** در مواردی که واگون‌های حاوی مواد معدنی مستقیماً در داخل قفس‌ها قرار می‌گیرند، در کنار قفس یک خط رابط وجود دارد که در پذیرشگاهها آنها را به حالت افقی قرار می‌دهند. واگون‌ها پس از عبور از روی آن، در داخل قفس جای می‌گیرند. در بالای چاه نیز به کمک این خط رابط، واگون‌های خالی را به داخل قفس می فرستند و واگون‌های پر را از طرف دیگر خارج می‌کنند. برای اینکه حرکت واگون‌ها به هنگام ورود و خروج از قفس به راحتی انجام شود، وسایل مخصوصی موسوم به کشنده واگون تعبیه می‌کنند که واگون‌ها را به طرف قفس می راند.

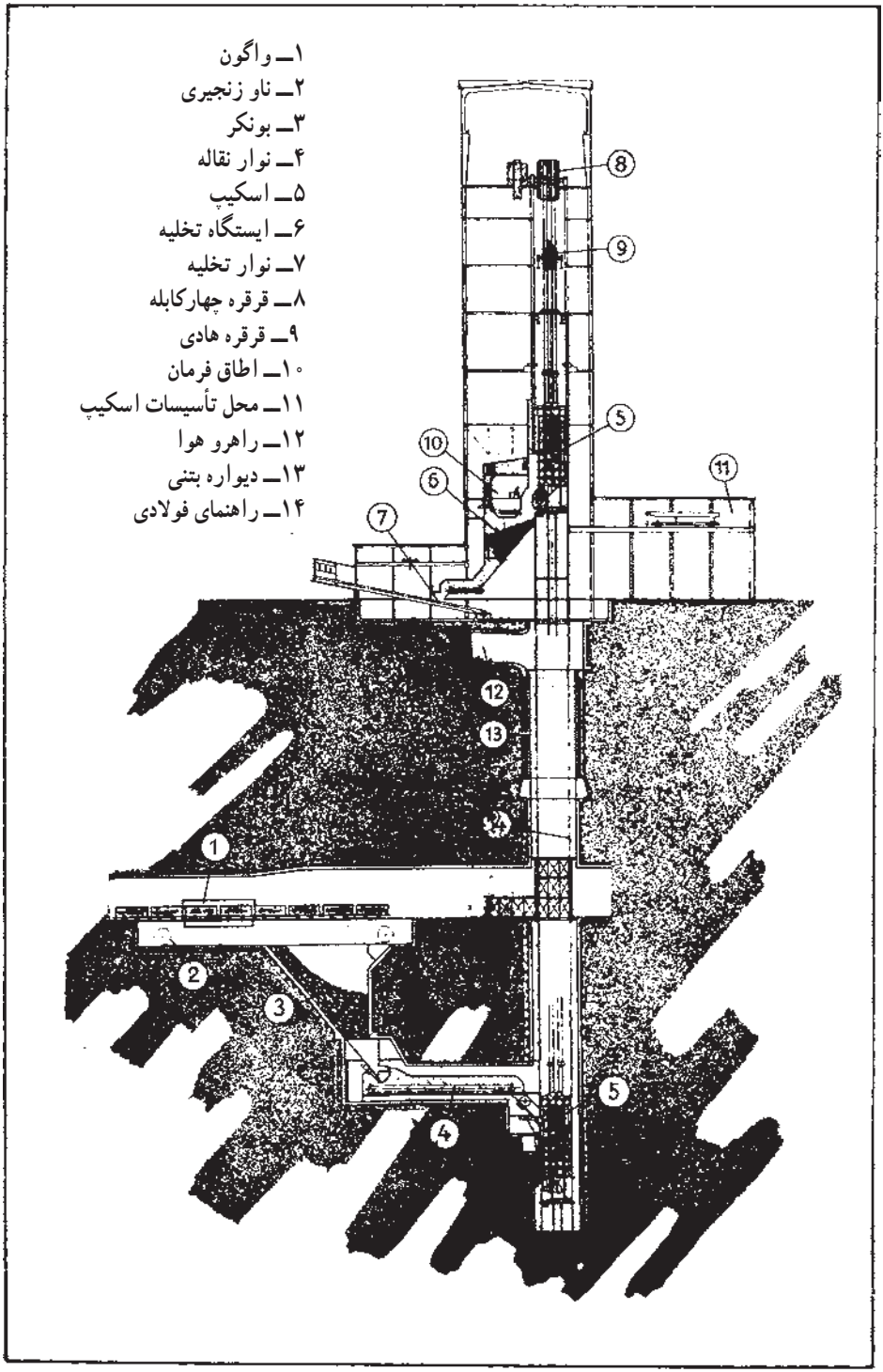
در مواقعی که حمل مواد معدنی به کمک اسکیپ انجام می‌گیرد، در پذیرشگاه، بونکر مخصوصی احداث می‌کنند که مواد معدنی از داخل واگون‌ها به درون آن تخلیه می‌شود (شکل ۱۳ــ۱۸). در سر چاه نیز مواد داخل اسکیپ به درون بونکر دیگری تخلیه می‌شود و به‌وسیله این بونکر و با استفاده از یک نوار نقاله، می‌توان آنرا در کامیونهای معدنی بارگیری کرد.

## ۱۳ــ۶ــ حمل و نقل در بیرون معدن

آخرین مرحله حمل و نقل، در بیرون معدن انجام می‌گیرد. معمولاً محصول معدن پس از خروج از چاه یا تونل اصلی به کارخانه تغلیظ و شستشو می‌رود و محصول کارخانه، به نقطه بارگیری حمل می‌شود. نقطه بارگیری نقطه‌ای است که محصول نهایی معدن را در واگون‌های بزرگ راه‌آهن یا کشتی بارگیری می‌کنند و آنها را به محل مصرف یا فروش می‌رسانند.

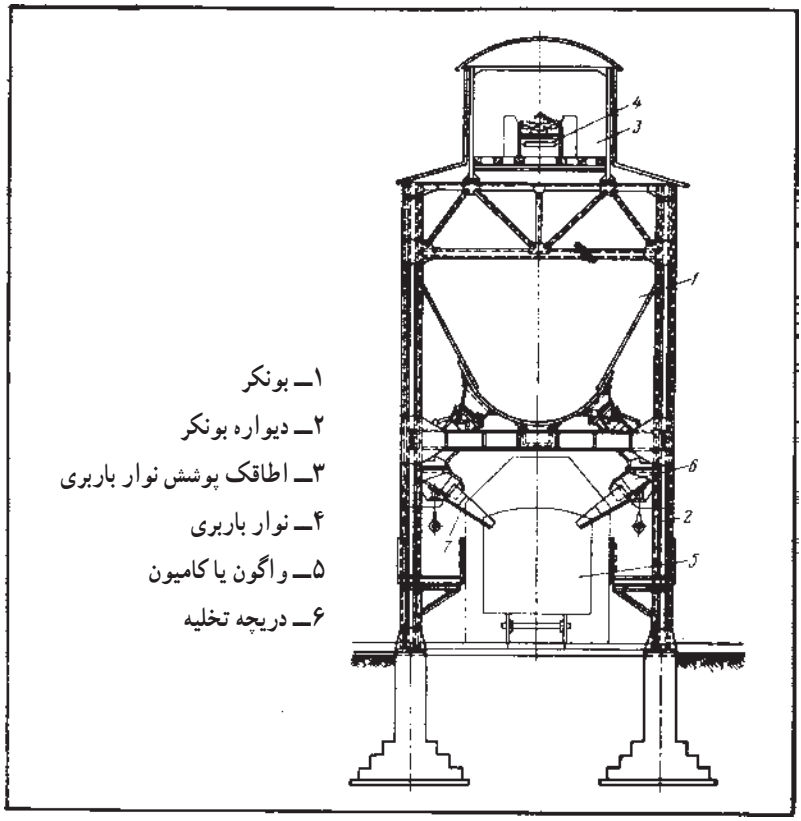
در بسیاری موارد، کارخانه کانه آرایی در خارج از محوطه معدن قرار دارد و بدین ترتیب، حمل و نقل در بیرون معدن را می‌توان به سه مرحله حمل و نقل از چاه یا تونل اصلی تا بونکر، از بونکر تا کارخانه کانه آرایی و از کارخانه تا نقطه بارگیری تقسیم کرد که در زیر به بررسی آن می‌پردازیم :

**۱۳ــ۶ــ۱ــ حمل و نقل از دهانه تونل یا چاه تا بونکر:** به طوری که دیدیم، معمولاً موادمعدنی به‌وسیله واگون یا نوار نقاله و یا اسکیپ به بیرون معدن می‌رسد. در صورتی که حمل این مواد با واگون انجام گیرد، مسافت دهانه تا بونکر را نیز بر روی خط‌آهن مخصوص طی می‌کند و در داخل بونکر تخلیه می‌شود. در مواردی که ماده معدنی به‌وسیله اسکیپ از چاه خارج می‌شود، یک نوار باربری این مواد را به داخل بونکر حمل می‌کند.




شکل ۱۳ــ۱۸ــ تأسیسات حمل و نقل در داخل چاه

بونکر یک ساختمان فلزی یا بتونی است که ظرفیت آن به میزان استخراج و قدرت باربری در بیرون معدن بستگی دارد و به شیوه‌ای بر روی پایه ها سوار می‌شود که در زیر فضای کافی برای قرار گرفتن کامیون یا واگون‌های بزرگ موجود باشد. مواد معدنی از طریق دریچه‌هایی که در زیر آن تعبیه شده است، به داخل وسایل یادشده تخلیه می‌شود (شکل ۱۳ــ۱۹).




**شکل ۱۳ــ۱۹ــ بونکر [۳]**

در بعضی موارد که معدن به‌وسیله تونلهای افقی گشایش یافته باشد و نیز برای حمل و نقل مواد در تونلهای افقی معادن بزرگ، از ماشینهای ویژه ای موسوم به ماشینهای بارکننده ــ بارکش (LHD) استفاده می‌کنند. ازجمله ویژگیهای این ماشینها، ارتفاع کم آنها است، به گونه‌ای که در تونلهای با ارتفاع کوتاه نیز قابل استفاده‌اند. این ماشینها همانند بارکننده‌ها، صندوقه‌ای دارند که با سیستم هیدرولیکی کار می‌کند و پس از فرورفتن داخل مواد حفرشده، پر می‌شود و سپس ماشین آن را به بیرون معدن و یا به اسکیپ حمل می‌کند (شکل ۱۳ــ۲۰).

شکل ۱۳ــ۲۰ــ ماشین بارکننده ــ بارکش (LHD)

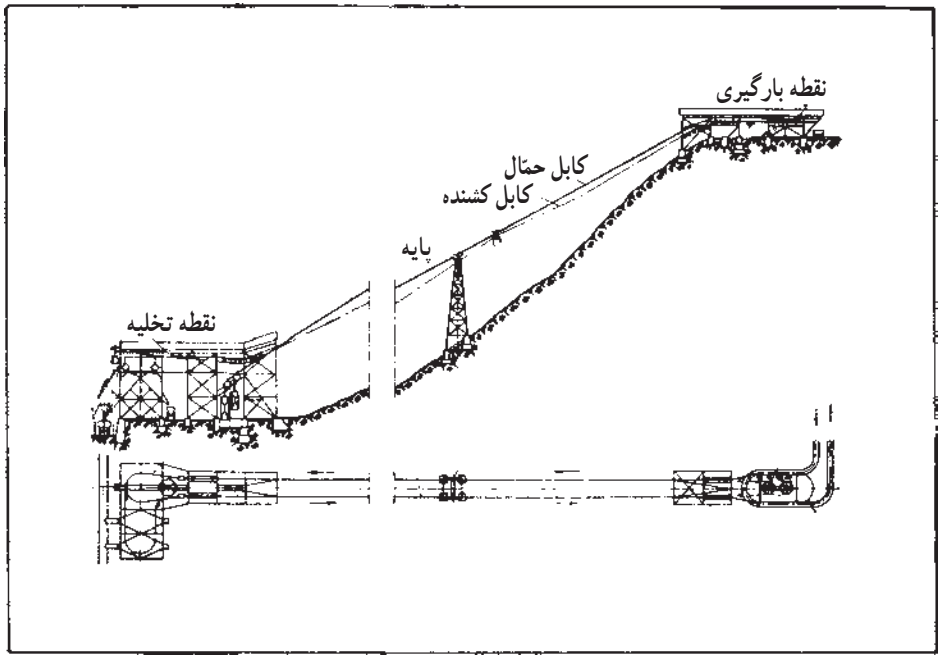
**۱۳ــ۶ــ۲ــ حمل و نقل از بونکر تا کارخانه کانه آرایی:** محصولی که از معدن استخراج می‌شود، معمولاً ابتدا به داخل کارخانه تغلیظ می‌رود و در آنجا پرعیار می‌شود. در بعضی معادن، این کارخانه در مجاورت محوطه معدن قرار دارد و در این صورت می‌توان ماده معدنی را مستقیماً از داخل واگون‌ها به داخل بونکر کارخانه تخلیه و یا به توسط نوار باربری آنرا از بونکر تا کارخانه حمل کرد. در بسیاری از معادن سرب و روی ایران، مثل معادن سرب و روی ایران کوه اصفهان، آهنگران ملایر، دونا و کوشک، کارخانه تغلیظ در مجاورت معدن قرار دارد.

در مورد معادن بزرگ، کارخانه تغلیظ معمولاً خود به فضای وسیعی احتیاج دارد و عموماً در فاصله دوری نسبت به محوطه معدن واقع است. به علاوه، در بسیاری موارد، یک کارخانه کانه آرایی بزرگ احداث و محصول چند معدن نزدیک به هم را به‌وسیله آن تغلیظ می‌کنند. مثلاً برای شستشوی زغال که از معادن پابدانا و باب نیزو واقع در حوضه زغالی کرمان استخراج می‌شود، یک کارخانه زغالشویی در زرند احداث شده است که محصول هردو معدن را تغلیظ می‌کند. به عنوان مثالی دیگر،

می‌توان معادن زغال ممدو و تزره واقع در حوضه زغالی شاهرود ــ دامغان را نام برد. زغال استخراج شده از این دو معدن، به‌وسیله کارخانه زغالشویی‌ای که در حوالی مهماندوست ایجاد شده است، شسته می‌شود.

**۱۳ــ۶ــ۳ــ حمل و نقل به‌وسیله سیم نقاله هوایی:** در بعضی موارد که محوطه بین بونکر معدن و کارخانه کوهستانی است و احداث جاده یا خط آهن به آسانی امکان پذیر نباشد، می‌توان از نقاله‌های هوایی استفاده کرد.

مسیر نقاله هوایی از دو رشته کابل موازی تشکیل می‌شود که در فواصل معینی روی پایه‌هایی قرارگرفته‌اند و در دو انتها، به‌وسیله دو قوس به یکدیگر متصل‌اند (شکل ۱۳ــ۲۱).

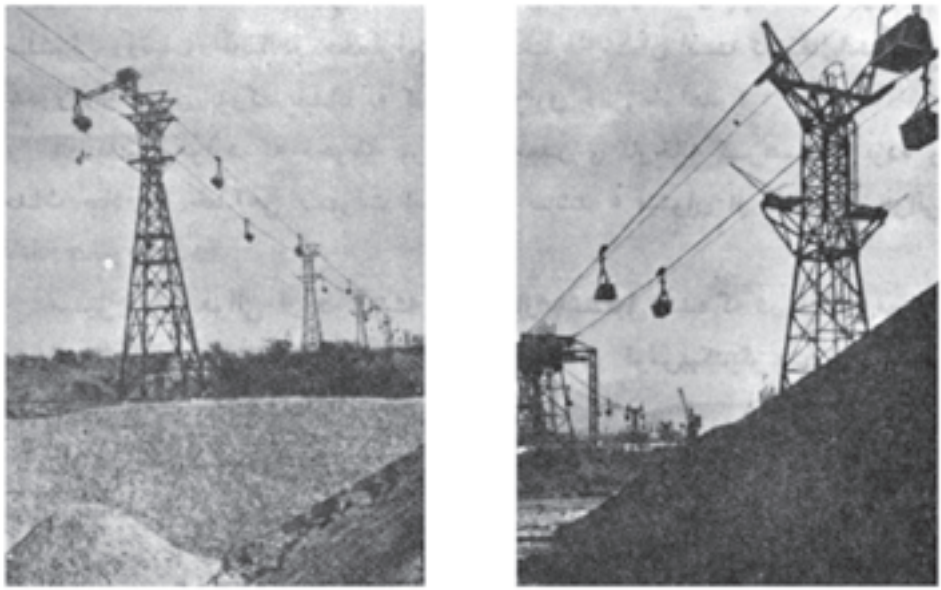



**شکل ۱۳ــ۲۱ــ نقاله هوایی [۳]**

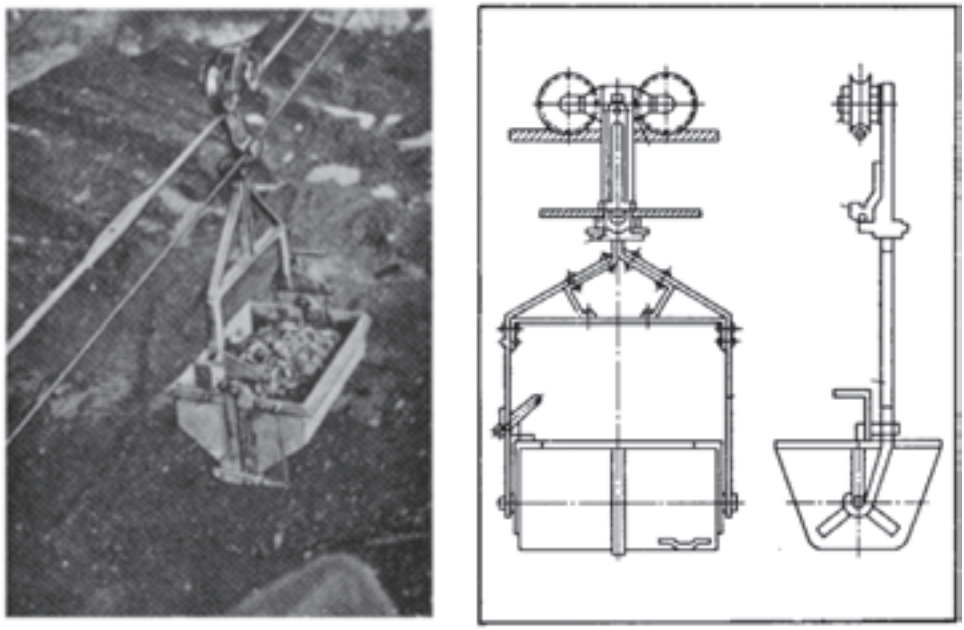
پایه‌ها معمولاً به صورت دکل‌های فولادی است و کابل را به نحوی از روی آنها عبور می‌دهند که واگون هوایی بتواند به سهولت از روی آن عبور کند (شکل ۱۳ــ۲۲).

واگون هوایی صندوقه‌ای است که یک بازوی فولادی دارد و به انتهای بازو، معمولاً دو قرقره متصل است که روی کابل قرار می‌گیرد (شکل ۱۳ــ۲۳).

برای کشیدن واگون‌ها در روی کابل، دو رشته کابل متحرک نیز وجود دارد که به واگون‌ها



**شکل ۱۳ــ۲۲ــ پایه نقاله هوایی**



**شکل ۱۳ــ۲۳ــ واگون نقاله هوایی [۳]**

متصل است و در دو انتها، از دور دو قرقره بزرگ عبور می‌کند و بنابراین، به صورت یک کابل بی‌انتها در حرکت است.

حرکت کابل به‌وسیله موتوری که قرقره را می چرخاند تأمین می‌شود. در اثر حرکت کابل کشنده، واگون‌ها نیز روی کابل حمّال حرکت می‌کنند و پس از رسیدن به مقصد و تخلیه مواد معدنی، به‌وسیله کابل به نقطه اولیه بر می‌گردند.

**۱۳ــ۶ــ۴ــ حمل و نقل از کارخانه کانه‌آرایی تا نقطه بارگیری:** به طوری که گفتیم، نقطه بارگیری نقطه‌ای است که در آنجا مواد معدنی به محل مصرف یا فروش حمل می‌شود. انتخاب نقطه بارگیری تابع وضعیت جغرافیایی منطقه، وجود شبکه‌های راه‌آهن، شاهراهها و بنادر کشور است. مثلاً نقطه بارگیری معادن فاریاب و اسفندقه در بندرعباس انتخاب شده است زیرا این معادن به بندر مزبور نزدیک‌اند. نقطه بارگیری معادن زغال سنگ کرمان در حوالی ایستگاه راه‌آهن زرند و نقطه بارگیری معادن زغال سنگ شاهرود در ایستگاه راه‌آهن زرین واقع است.

**شکل ۱۳ــ۲۴ــ نمونه ای از کامیونهای حمل و نقل مواد معدنی در بیرون معدن و معادن روباز**

حمل و نقل از کارخانه تا نقطه بارگیری نیز معمولاً به توسط کامیون انجام می‌گیرد و در مواردی که ممکن باشد، باربری را به‌وسیله واگون‌های بزرگ راه‌آهن انجام می‌دهند. در شکلهای ۱۳ــ۲۴ و ۱۳ــ۲۵ دو نمونه از کامیونهایی که بدین منظور و نیز در معادن روباز به کار می‌روند، نشان داده شده است.

**شکل ۱۳ــ۲۵ــ نمونه ای از کامیونهای حمل و نقل مواد معدنی در بیرون معدن و معادن روباز**

# فهرست منابع به ترتیب استفاده در متن کتاب


[1] Lewis,Robert (1964)
Elements of Mining
John Wiley and sons Inc.

[2] Tarasov, L. (1973)
Mining Practice
Mir Publishers,Moscow

[3] Boky B. (1967)
Mining
Mir Publishers - Moscow

[4] Shevyakov,L. (1966)
Mining of Mineral Deposits
Foreign Languages Publishing House - Moscow

[5] Amstutz. (1971)
Glossary of Mining Geology
Ferdinand Enke verlay Stuttgart

[6] Popov (1971)
The working of Mineral Deposits
Mir Publishers - Moscow

[7] Sololov,A. (1961)
Operation of Cutting and Cutting - Loading Machines
Higher school Publishing House – Moscow

[۸] محمودی، نصرالله (۱۳۴۴)
استخراج معادن ــ جلد اول
انتشارات دانشگاه تهران

[9] Hoek. E. Kaiser, P.K - Bawden W.F. (1995)
Support of Underground Excavation in Hard Rocks
A.A. Balkeman / Rotterdam / Brookfield

[۱۰] هوک و براون
سازه های زیرزمینی در سنگ
ترجمه دکتر احمد فهیمی فر (۱۳۷۶)
انتشارات آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری

[۱۱] مدنی، حسن (۱۳۷۹)
تونل‌سازی ــ جلد سوم : تحلیل پایداری
انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[12] Morrison, R.G.K. (1976)
A Philosophy of Ground Control
McGill university press

[13] Bell, F.G.(1994)
Engineering in Rock Masses
Butter worth Heinmann Ltd.

[14] Goodman, Richard E. (1989)
Introduction to Rock Mechanics
John Wiley & Sons Inc.

[15] Brady, B.G - Brown, E.T. (1985)
Rock Mechanics for Underground Mining
George Allen & Unwin (publishers) Ltd.

[۱۶] ر.ای. گودمن
مکانیک سنگ
ترجمه محمد دانش (۱۳۷۴)
مرکز انتشارات صنعت فولاد

[17] Roberts, A . (1977)
Geotechnology
Pergamon press

[18] Budavari, S. (1983)
Rock Mechanics in Mining Practice
The South African Institute of Mining and Metallurge

[19] Stacey, T.R - Page, C.H. (1986)
Practical Handbook for Underground Rock Mechanics
Trans Tech Publications

[20] Peele, Robert. (1945)
Mining Engineering Handbook vol. 1
John Wiley and sons, Inc.

[21] Bieniawski, Z.T. (1989)
Strata control in Mineral Engineering
John Wiley & sons Inc.

[۲۲] محمودی، نصرالله (۱۳۴۶)
استخراج معادن ــ جلد سوم
انتشارات دانشگاه تهران

[23] Tarasov, L. (1971)
Ore Mining
Higher school Publishing House - Moscow

[24] Robert, A. (1977)
Geotechnology
Pergamon Press Ltd

[25] Bell, F.G. (1975)
Method of Treatment of Unstable Ground
Butter Worth and co. (Publishers) Ltd. - London

[۲۶] کاشانی ثابت، محمدحسین (۱۳۴۵)
مصالح ساختمانی
انتشارات دانشکده فنی ــ دانشگاه تهران ــ جزوه درسی

[۲۷] حامی، احمد (۱۳۵۳)
مصالح ساختمان
ناشر مؤلف

[۲۸] مدنی، حسن (۱۳۵۵)
مصالح ساختمانی
انتشارات مدرسه عالی ساختمان ــ جزوه درسی

[29] Vorobyev, V.A. (1966)
Building Materials
Higher school Publishing House - Moscow

[۳۰] مگردیچیان، آرک (۱۳۵۳)
طرح و محاسبات ایستایی ــ جلد دوم
ناشر مؤلف

[31] Stepin, P. (1966)
Strength of Materials
Peace Publishers - Moscow

[32] Chermashentsev, J. - Kapelushnikov. (1971)
Fundamentals of safety
Higher school Publishing House - Moscow

[۳۳] مدنی، حسن (۱۳۵۶)
نگهداری در معادن

[34] Biron, Cemal - Arioglu, Ergin. (1983)
Design of supports in Mines
John Wiley & sons Inc.

[۳۵] محمودی، نصرالله (۱۳۴۷)
استخراج معادن ــ جلد چهارم
انتشارات دانشگاه تهران

[36] National Coal Board (1968)
The Support of the Roof at the coalface
N.C.B .Industrial Training Branch

[37] Virabov, A. (1971)
Mine Locomotive Driver
Higher school Publishing House

[38] Virabov, A. (1971)
Mine Transport Machines and Mechanism
Higher school Publishing House