

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

# راهنمای آبکشی در معادن

ضابطه شماره ۵۷۳

وزارت صنعت، معدن و تجارت  
معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری

[www.mimt.gov.ir](http://www.mimt.gov.ir)

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
  - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
  - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
  - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علیشاه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور،

امور نظام فنی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email: info@nezamfanni.ir

nezamfanni.ir





شماره:	۹۳/۱۳۶۲۴۵	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۳/۱۱/۰۷	

موضوع: راهنمای آبکشی در معادن

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۵۷۳ امور نظام فنی، با عنوان «**راهنمای آبکشی در معادن**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۴/۰۴/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی این معاونت دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت



## بسمه تعالی

### پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد. آبکشی و آبرسانی در عموم کارهای مهندسی و از جمله مهندسی معدن جزو مسایل مهم به حساب می‌آید. مساله آبکشی در معادن با افزایش عمق معدنکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در معادن عمیق و آبدار مشکلات آبکشی بر روند تولید اثر گذاشته و سبب کاهش تولید می‌شود. یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای طراحی سیستم آبکشی معادن، اطلاعات مربوط به وضعیت آب‌های محدوده معدن و شدت جریان آب ورودی به معادن است. بر اساس شدت جریان آب ورودی و روش استخراج، سیستم آبکشی انتخاب و تاسیسات مربوطه تعیین می‌شود.

برآورد شدت جریان آب در بخش‌های مختلف معدن با استفاده از روش‌های تجربی، تحلیلی و عددی انجام می‌شود. پس از تعیین شدت جریان ورودی باید برای انتقال آب در تونل‌های افقی و طبقات معادن روباز، در کف تونل یا پله معدن روباز جوی باریکی موسوم به غنو احداث و به کمک آن آب را به محل مخزن هدایت کرد. انتخاب محل و اندازه مخزن تابع میزان آب و شرایط استخراج است. آب هدایت شده به مخزن باید به وسیله پمپ و یا سایر روش‌ها (نظیر احداث تونل-های آب‌بر) به بیرون معدن منتقل شوند. رعایت مسایل زیست‌محیطی و کنترل کیفیت آب‌های خروجی از معدن نیز از اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم آبکشی برخوردار است.

این ضابطه با عنوان «**راهنمای آبکشی در معادن**» در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن با هدف آرایه اطلاعات لازم برای طراحی سیستم آبکشی در معادن و فضاهای زیرزمینی در راستای اهداف وزارت صنعت، معدن و تجارت و با همکاری سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، تهیه شده است با همه‌ی تلاش انجام شده قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که این‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پایان، از تلاش و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی همچنین جناب آقای دکتر جعفر سرقینی مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

دی ۱۳۹۳



### مجری طرح

آقای جعفر سرقینی

معاون امور معادن و صنایع معدنی - وزارت صنایع و معادن

### تهیه پیش‌نویس اصلی

آقای مهندس حسین‌علی طاهری

### اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

کارشناس ارشد مهندسی صنایع	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور	فرزانه آقا رمضانعلی
کارشناس ارشد مهندسی صنایع	وزارت صنعت، معدن و تجارت	سیف ... امیری
کارشناس مهندسی معدن	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	بهروز برنا
کارشناس ارشد مهندسی معدن	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور	محمد پری‌زادی
کارشناس ارشد زمین‌شناسی	معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور	عبدالعلی حقیقی
دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	جعفر سرقینی
کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	علیرضا غیاثوند
کارشناس ارشد مهندسی معدن	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	حسن مدنی

### اعضای کارگروه اکتشاف به ترتیب حروف الفبا

کارشناس ارشد مهندسی معدن	سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران	علی اصغرزاده
کارشناس مهندسی معدن	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	بهروز برنا
کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	علیرضا غیاثوند
دکترای پترولوژی	دانشگاه تربیت مدرس	نعمت ... رشیدنژادعمران
دکترای زمین‌شناسی اقتصادی	دانشگاه تربیت معلم	عبدالمجید یعقوب‌پور

### اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	آقای مهدی ایران‌نژاد
دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	بهرام رضایی
کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	علیرضا غیاثوند
کارشناس ارشد مهندسی معدن	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	حسن مدنی
دکترای زمین‌شناسی اقتصادی	دانشگاه خوارزمی	بهزاد مهرابی

### اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

رئیس گروه امور نظام فنی	خانم فرزانه آقارضانعلی
رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی	آقای علیرضا غیاثوند
کارشناس معدن امور نظام فنی	آقای اسحق صفرزاده



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - کلیات طراحی سیستم آبکشی
۳	۱-۱- آشنایی
۳	۲-۱- انتخاب سیستم آبکشی
۳	۳-۱- برآورد شدت جریان آبهای ورودی به معدن
۴	۴-۱- هدایت آبها در تونل‌های افقی
۶	۵-۱- احداث مخزن یا مخازن آب
۶	۶-۱- انتخاب لوله‌های انتقال آب
۶	۷-۱- انتخاب تلمبه یا تلمبه‌های آبکشی
۶	۸-۱- احداث تاسیسات آبکشی
۷	فصل دوم - دستورالعمل برآورد شدت جریان آب در بخش‌های مختلف معدن
۹	۱-۲- آشنایی
۹	۲-۲- روش‌های تجربی
۹	۱-۲-۲- مطالعه رژیم آب‌های منطقه
۱۱	۲-۲-۲- تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان
۱۲	۳-۲-۲- روش مقایسه طولی
۱۲	۴-۲-۲- روش مقایسه سطحی
۱۳	۵-۲-۲- روش مقایسه مرکب
۱۳	۳-۲- روش‌های تحلیلی
۱۳	۱-۳-۲- رابطه دوپویی
۱۴	۲-۳-۲- رابطه گودمن
۱۵	۳-۳-۲- رابطه فریز و چری



۱۵	۲-۳-۴- رابطه هیوور
۱۶	۲-۳-۵- رابطه گودمن برای جریان های اولیه
۱۶	۲-۳-۶- رابطه تیم
۱۷	۲-۳-۷- رابطه لی
۱۷	۲-۳-۸- رابطه کارلسرود
۱۸	۲-۳-۹- رابطه التانی
۱۸	۲-۳-۱۰- رابطه بهینه شده التانی
۱۹	۲-۴-۴- روش های عددی
۲۱	<b>فصل سوم-دستورالعمل طراحی غنوها</b>
۲۳	۳-۱-۱- آشنایی
۲۳	۳-۲-۲- مشخصات مقطع غنو
۲۳	۳-۲-۱- مساحت مقطع (A)
۲۳	۳-۲-۲- محیط خیس (P)
۲۳	۳-۲-۳- شعاع هیدرولیکی (R)
۲۳	۳-۲-۴- عمق متوسط (DM)
۲۳	۳-۲-۵- شیب غنو (S)
۲۴	۳-۳-۳- رابطه اساسی جریان یکنواخت در غنوها- فرمول چزی
۲۵	۳-۴-۴- محاسبه ضریب C در رابطه چزی
۲۵	۳-۴-۱- رابطه گانگیه- کوتر
۲۶	۳-۴-۲- فرمول بازن
۲۶	۳-۴-۳- فرمول مانینگ
۲۶	۳-۵-۵- طراحی غنو در حالی که محدودیتی وجود نداشته باشد.
۲۷	۳-۵-۱- شرط ماکزیمم شدن شعاع هیدرولیکی



۲۸	۲-۵-۳- طراحی مقطع بهینه
۲۸	۶-۳- حالتی که در طراحی غنو محدودیت وجود داشته باشد.
۲۹	۱-۶-۳- روش دستی
۲۹	۲-۶-۳- استفاده از برنامه‌های کامپیوتری
۳۱	<b>فصل چهارم- دستورالعمل انتخاب موقعیت و ابعاد مخزن</b>
۳۳	۱-۴- آشنایی
۳۳	۲-۴- انتخاب محل مخزن
۳۳	۳-۴- تعیین ظرفیت مخزن
۳۵	۱-۳-۴- روش توقف تدریجی تلمبه‌ها
۳۶	۲-۳-۴- روش توقف هم‌زمان تلمبه‌ها
۳۷	۴-۴- تجهیزات و تاسیسات مخزن
۳۷	۱-۴-۴- ارتباط مخزن و تلمبه به وسیله لوله
۳۸	۲-۴-۴- ارتباط مستقیم مخزن و تلمبه
۳۹	۵-۴- نحوه احداث مخزن
۴۱	<b>فصل پنجم- دستورالعمل انتخاب مشخصات لوله انتقال آب</b>
۴۳	۱-۵- آشنایی
۴۳	۲-۵- تعیین شدت جریان آبکشی
۴۳	۳-۵- تعیین قطر لوله‌ها
۴۵	۴-۵- انتخاب جنس لوله‌ها
۴۵	۵-۵- بررسی لوله از نظر تحمل فشار
۴۵	۶-۵- نحوه نصب لوله
۴۷	<b>فصل ششم- دستورالعمل محاسبه افت در خط لوله</b>
۴۹	۱-۶- آشنایی





۴۹	۲-۶- تعیین رژیم جریان آب در لوله
۵۰	۳-۶- رابطه عمومی محاسبه افت در لوله‌ها
۵۱	۴-۶- جداول عمومی محاسبه افت در لوله‌ها
۵۳	۵-۶- محاسبه ضریب افت در جریان آرام
۵۳	۶-۶- محاسبه ضریب اصطکاک لوله‌های صاف در جریان مغشوش
۵۳	۱-۶-۶- رابطه کوناکوف
۵۳	۲-۶-۶- رابطه بلوزیوس
۵۳	۳-۶-۶- رابطه هرمان
۵۳	۴-۶-۶- رابطه نیکورادزه
۵۴	۷-۶- محاسبه ضریب اصطکاک لوله‌های زبر در جریان مغشوش
۵۴	۱-۷-۶- رابطه آتشول
۵۴	۲-۷-۶- رابطه کلبروک
۵۴	۳-۷-۶- رابطه کارمان
۵۵	۸-۶- محاسبه افت موضعی در لوله‌ها
۵۵	۱-۸-۶- گشاد شدن ناگهانی لوله
۵۶	۲-۸-۶- گشاد شدن تدریجی لوله
۵۶	۳-۸-۶- تنگ شدن ناگهانی لوله
۵۷	۴-۸-۶- تنگ شدن تدریجی لوله
۵۷	۵-۸-۶- زانویی
۵۸	۶-۸-۶- شیرفلکه
۵۸	۹-۶- محاسبه افت دینامیکی

۶۱

## فصل هفتم- دستورالعمل انتخاب و نصب تلمبه

۶۳

۱-۷- آشنایی



- ۶۳ ۲-۷- تعیین شدت جریان آبکشی
- ۶۳ ۳-۷- تعیین فشار کلی تلمبه
- ۶۳ ۴-۷- محاسبه توان تلمبه
- ۶۴ ۵-۷- نحوه میزان تلمبه
- ۶۴ ۱-۵-۷- استفاده از منحنی مشخصه تلمبه
- ۶۵ ۲-۵-۷- استفاده از نمودار مدل‌های تلمبه
- ۶۵ ۳-۵-۷- استفاده از جدول مشخصات
- ۶۵ ۶-۷- احداث تلمبه خانه
- ۶۸ ۷-۷- تاسیسات کنترل خودکار تلمبه
- ۶۸ ۸-۷- استفاده از چندین تلمبه

## ۷۱ فصل هشتم- دستورالعمل احداث تاسیسات برای جلوگیری از ورود آب به معدن

- ۷۳ ۱-۸- آشنایی
- ۷۳ ۲-۸- جلوگیری از ورود آب‌های سطحی به معدن
- ۷۳ ۳-۸- جلوگیری از ورود آب به داخل چاه
- ۷۳ ۴-۸- احداث سدهای زیرزمینی
- ۷۴ ۵-۸- پایین بردن سطح ایستابی

## ۷۷ فصل نهم- دستورالعمل جلوگیری از آلودگی آب‌های معدن و خنثی‌سازی

- ۷۹ ۱-۹- آشنایی
- ۷۹ ۲-۹- فرآیند تشکیل اسید در معادن
- ۸۰ ۳-۹- پیش‌بینی پتانسیل تشکیل زهاب اسیدی
- ۸۱ ۴-۹- جلوگیری از تولید زهاب اسیدی
- ۸۱ ۵-۹- خنثی کردن آب‌های اسیدی

## ۸۳ فصل دهم- دستورالعمل آبکشی موضعی



۸۵	۱-۱۰- آشنایی
۸۵	۲-۱۰- تلمبه‌های برقی
۸۵	۳-۱۰- تلمبه‌های هوای فشرده
۸۵	۴-۱۰- تلمبه‌های هواران
۸۶	۵-۱۰- تلمبه‌های مونو
۸۶	۶-۱۰- آبکشی در چاه
۸۶	۷-۱۰- آبکشی در معادن روباز
۸۷	۱-۷-۱۰- آبکشی به وسیله تلمبه
۸۷	۲-۷-۱۰- آبکشی به وسیله تونل
۸۸	۳-۷-۱۰- آبکشی به وسیله سیفون



# فصل ۱

---

---

## کلیات طراحی سیستم آبکشی





### ۱-۱-۱- آشنایی

مقصود از طراحی سیستم آبکشی، ارائه طرحی است که بر اساس آن بتوان آب‌هایی را که در حفاریات معدن جریان می‌یابد، به خارج از معدن هدایت کرد. برای این منظور مراحل زیر باید انجام گیرد:

الف- برآورد شدت جریان آب‌های ورودی به معدن

ب- انتخاب سیستم آبکشی

پ- هدایت آب در تونل‌های افقی

ت- احداث مخازن آب

ث- انتخاب لوله‌های انتقال آب

ج- انتخاب تلمبه یا تلمبه‌های آبکشی

چ- تاسیسات آبکشی

### ۱-۲- برآورد شدت جریان آب‌های ورودی به معدن

برآورد شدت جریان آبی که در معدن به جریان می‌افتد، اولین مرحله در طراحی سیستم آبکشی است. برای برآورد شدت جریان در هر یک از طبقات معدن می‌توان از روش‌های تجربی، تحلیلی و عددی استفاده کرد.

### ۱-۳- انتخاب سیستم آبکشی

بسته به مشخصات معدن، سیستم آبکشی آن متفاوت است. اگر معدن به وسیله تونل افقی گشایش یافته باشد، در آن صورت با احداث جوی‌های انتقال در یک طرف تونل به نام غنو، بدون صرف انرژی می‌توان آب را به خارج هدایت کرد.

اگر معدن به وسیله چاه یا تونل مورب گشایش یافته و فقط دارای یک طبقه باشد، باید در حوالی چاه یا تونل مورب، مخزن آب احداث و به وسیله تلمبه آب را به بیرون معدن هدایت کرد.

در حالت کلی، معدن از طبقات مختلف تشکیل شده است که هر طبقه ممکن است تونل‌های افقی متعددی داشته باشد. در چنین مواردی باید آب‌های موجود در هر طبقه را در یک منبع جمع‌آوری و در مرحله بعد آن‌ها را به کمک تلمبه از درون چاه یا تونل‌های مورب به خارج هدایت کرد. اگر یک یا چند طبقه از معدن مستقیماً به وسیله تونل افقی به سطح زمین مرتبط باشد، آب این طبقات از طریق این تونل‌ها به خارج هدایت می‌شود.

از آنجا که معادن بزرگ چندین طبقه دارند و عموماً به وسیله چاه یا تونل مورب گشایش یافته‌اند لذا بسته به مورد باید به یکی از روش‌های زیر عمل کرد:

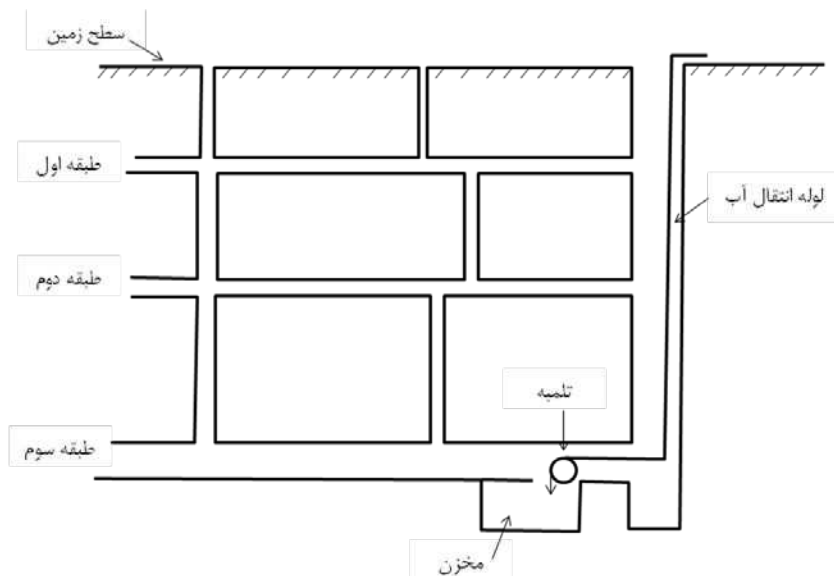
الف- برای هر طبقه از معدن یک مخزن آب جداگانه احداث و با نصب تلمبه در آن آب را به بیرون هدایت کرد.

ب- در پایین‌ترین طبقه معدن، یک مخزن اصلی احداث و با نصب یک تلمبه مرکزی آب را به خارج فرستاد. در این صورت، آب



هر یک از طبقات به وسیله غنو تا مخزن آب در حوالی چاه هدایت و از آنجا به وسیله لوله و بدون نیاز به تلمبه، به مخزن اصلی منتقل می‌شود (شکل ۱-۱).

پ- در هر طبقه یک مخزن آب احداث و آب هر طبقه به وسیله تلمبه به طبقه بالاتر هدایت می‌شود. در این گزینه، مخزن اصلی در بالاترین طبقه احداث می‌شود و تلمبه اصلی، آب را از این مخزن به بیرون معدن انتقال می‌دهد (شکل ۲-۱).



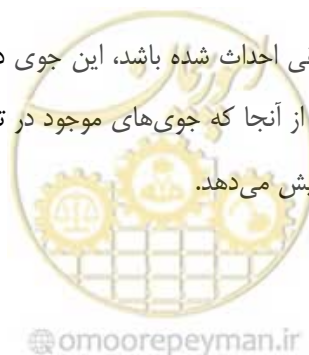
شکل ۱-۱- سیستم آبکشی با احداث یک مخزن اصلی در پایین‌ترین طبقه معدن

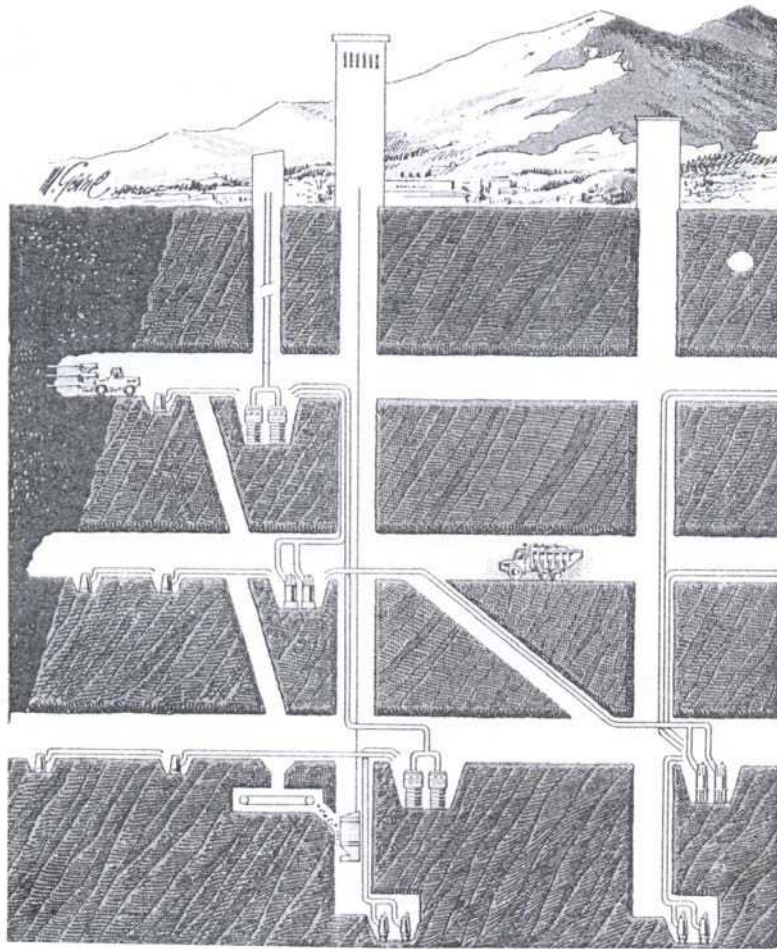
انتخاب سیستم آبکشی به میزان آب، ارتفاع طبقات و امکانات موجود بستگی دارد. هر یک از روش‌های یاد شده مزایا و معایبی دارند. توصیه می‌شود که در مورد هر معدن، هر یک از گزینه‌های آبکشی بررسی و هزینه آن‌ها محاسبه و از مقایسه آن‌ها با یکدیگر و نیز با توجه به امکانات موجود، گزینه مناسب انتخاب شود.

## ۱-۴- هدایت آب‌ها در تونل‌های افقی

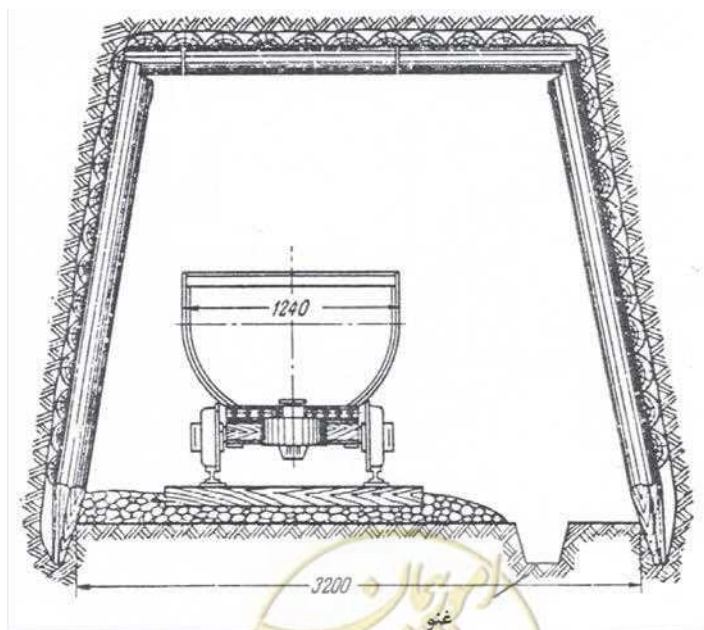
از آنجا که تونل‌ها به طرف بیرون یا چاه شیب دارند لذا آبی که در داخل آن‌ها جمع می‌شود، به طرف دهانه تونل یا به سمت چاه حرکت می‌کند. برای هدایت آب در داخل تونل، در کف آن و نزدیک یکی از دیوارها، باید جوی‌های مخصوص احداث کرد که به نام غنو خوانده می‌شود (شکل ۱-۳). در مورد تونل‌های کوچک، غنو با حفر کف تونل احداث می‌شود ولی در مورد تونل‌های اصلی، پس از حفر جوی، باید کف و دیواره‌های آن را قالب‌بندی و در آن بتن‌ریزی کرد. برای این که از تمام فضای تونل استفاده شود، باید روی جوی را به وسیله تخته یا بلوک‌های بتنی پوشاند و بدین وسیله فضای مفید تونل را افزایش داد.

در مواردی که شبکه معدن با استفاده از تونل افقی احداث شده باشد، این جوی در بیرون تونل نیز ادامه دارد و بنابراین مخارج آبکشی از معدن منحصر به احداث این جوی‌ها است. از آنجا که جوی‌های موجود در تونل‌ها در واقع نوعی مجرای بازاند، لذا انتخاب شکل مقطع و ابعاد مناسب، قابلیت آبرسانی آن را افزایش می‌دهد.





شکل ۱-۲- سیستم آبکشی با احداث مخزن و تلمبه خانه در هر یک از طبقات و انتقال به طبقه بالاتر



شکل ۱-۳- احداث غنو برای هدایت آبها



### ۱-۵- احداث مخزن یا مخازن آب

بسته به سیستم آبکشی انتخابی برای معدن، باید یک یا چند مخزن آب احداث و آبی را که به وسیله غنو انتقال می‌یابد، به داخل آن هدایت کرد و با نصب تلمبه، آب را به بیرون معدن فرستاد.

اگر چه احداث مخزن، هزینه‌هایی را به سیستم آبکشی تحمیل می‌کند اما وجود مخزن، این حسن را دارد که اگر برای مدتی شدت جریان آب‌های داخل معدن زیاد شود و از حد قدرت تخلیه تلمبه تجاوز کند، اشکالی پیش نمی‌آید زیرا آب اضافی، در مخزن ذخیره می‌شود. از سوی دیگر، اگر به عللی تلمبه برای مدتی از کار بیفتد نیز اشکالی در آبکشی معدن پیش نخواهد آمد.

### ۱-۶- انتخاب لوله‌های انتقال آب

لوله‌هایی که برای هدایت آب‌ها به خارج معدن انتخاب می‌شود باید ضمن تحمل فشار و مقاومت در برابر خوردگی آب‌های معدن، کمترین افت انرژی را باعث شود.

### ۱-۷- انتخاب تلمبه یا تلمبه‌های آبکشی

انتخاب تلمبه‌های آبکشی از جمله حساس‌ترین مراحل طراحی سیستم آبکشی است.

### ۱-۸- احداث تاسیسات آبکشی

برای این که آبکشی به نحو مطلوبی انجام شود، باید بعضی اقدامات جانبی را نیز به عمل آورد که از جمله مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

الف- جلوگیری از ورود آب به معدن

ب- جلوگیری از آلودگی آب‌های معدن و خنثی‌سازی آن



# فصل ۲

---

---

**دستورالعمل بر آورد شدت جریان**

**آب در بخش‌های مختلف معدن**





## ۲-۱- آشنایی

یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای طراحی معدن، اطلاعات مربوط به وضعیت آب‌های محدوده معدن است. این امر از دو جنبه اهمیت دارد. یکی آنکه باید تعیین شود در مراحل مختلف معدنکاری، چه مقدار آب در حفریات معدنی به جریان می‌افتد تا بر اساس آن سیستم آبکشی معدن طراحی شود. دیگر آنکه حجم و کیفیت آب‌های محل چگونه است تا بتوان برای مقاصد مختلف صنعتی و ایجاد فضای سبز معدن از آن‌ها استفاده کرد. برای هر دو منظور، باید کیفیت آب‌های محل تعیین شود، زیرا مصرف آب برای مقاصد مختلف، به کیفیت آن بستگی دارد و از سوی دیگر، خط لوله آبکشی و تاسیسات مربوط به آن باید به گونه‌ای انتخاب شود که در برابر خوردگی احتمالی آب معدن مقاوم باشد.

برآورد شدت جریان آب در بخش‌های مختلف معدن با استفاده از روش‌های تجربی، تحلیلی و عددی انجام می‌شود. بسته به مورد و اطلاعات موجود، ممکن است بتوان از هر یک از روش‌های بالا استفاده کرد. نظر به اهمیتی که این برآورد دارد توصیه می‌شود که شدت جریان قابل انتظار با تمام روش‌های ممکن برآورد شده و مقدار مناسب به عنوان شدت جریان احتمالی در نظر گرفته شود.

## ۲-۲- روش‌های تجربی

در این روش‌ها، بر اساس مطالعات آب‌شناسی که طی مرحله اکتشاف تفصیلی انجام می‌گیرد، شدت جریان قابل انتظار از طریق مقایسه حجم حفریات معدنی با حفریات اکتشافی برآورده می‌شود. شرط استفاده از این روش‌ها، مطالعه دقیق رژیم آب‌های منطقه در مرحله اکتشاف است.

### ۲-۲-۱- مطالعه رژیم آب‌های منطقه

هدف از مطالعه رژیم آب‌های منطقه، بررسی وضعیت سطح ایستابی و نوسان‌های آن، بررسی شدت جریان چشمه‌ها و قنات‌ها، مطالعه تغییرات کمی و کیفی آب در طول سال و مسایل مشابه آن‌ها است. بدین منظور باید موقعیت کلیه چاه‌ها، گمانه‌ها، قنات‌ها، چشمه‌ها و تونل‌های موجود در منطقه بر روی نقشه‌ای مشخص شده و مشخصات آب‌شناسی آن‌ها از قبیل سطح ایستابی، شدت جریان و دما به طور مرتب اندازه‌گیری شود.

برای این که اطلاعات کافی راجع به وضعیت آب‌شناسی منطقه به دست آید، باید شدت جریان و مشخصات آب چشمه، قنات‌ها، گمانه‌ها و چاه‌ها را به طور مداوم و در هر ماه حداقل دو بار اندازه‌گیری کرد و این امر باید در تمام طول عملیات اکتشافی ادامه یابد. مطالعاتی که در این زمینه باید انجام گیرد به شرح زیر است:

#### الف- مطالعه رژیم چشمه‌ها و قنات‌ها

بررسی وضعیت آب‌شناسی چشمه‌ها و قنات‌های منطقه نه تنها از نقطه نظر مطالعه آبخیزهای منطقه مفید است بلکه با داشتن اطلاعات کافی در مورد کیفیت و کمیت آن‌ها، می‌توان امکان استفاده از آن‌ها را به ویژه برای مقاصد آشامیدنی بررسی کرد و این مطلب، به هنگام طراحی معدن بسیار مهم است.



برای انجام این مطالعات، ابتدا باید موقعیت تمام چشمه‌ها و قنات‌هایی را که در محدوده کانسار وجود دارند، بر روی بزرگ مقیاس‌ترین نقشه موجود پیاده کرد. از آنجا که در مرحله اکتشاف تفصیلی، نقشه زمین‌شناسی حداقل به مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه می‌شود، لذا باید از این نقشه‌ها به عنوان نقشه مبنای کارهای آب‌شناسی استفاده کرد. اگر در مراحل اولیه مطالعات نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس در دسترس نباشد، می‌توان از نقشه‌های توپوگرافی معمولی استفاده کرد و پس از تکمیل نقشه زمین‌شناسی، اطلاعات آب‌شناسی را بر روی آن منتقل ساخت زیرا به هنگام تعبیر و تفسیر وضعیت آبخوان و سازندهای تشکیل دهنده آن، اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مورد نیاز است.

پس از مشخص شدن موقعیت چشمه‌ها و قنات‌های منطقه، باید برنامه‌ای تنظیم کرد که حداقل هر دو ماه بار، شدت جریان و دمای آب آن‌ها اندازه‌گیری شود.

برای تعیین شدت جریان قنات‌ها، معمولاً از جریان‌سنج‌های پروانه‌ای استفاده می‌شود. این دستگاه پروانه‌ای دارد که برابر جریان آب قرار داده می‌شود. سرعت زاویه‌ای پروانه، تابعی از سرعت آب است و با تعیین سرعت زاویه‌ای، به کمک جداول موجود می‌توان آن را به سرعت خطی تبدیل کرد. پس از تعیین سرعت، از حاصل ضرب سرعت متوسط در سطح مقطع، شدت جریان به دست می‌آید. دمای آب چشمه‌ها و قنات‌ها به کمک دماسنج‌های معمولی تعیین می‌شود.

### ب- بررسی شدت جریان تونل‌های اکتشافی

بررسی دقیق تغییرات شدت جریان تونل‌های اکتشافی موجود در منطقه بسیار مهم است زیرا یکی از روش‌های تعیین شدت جریان آبی که در مراحل مختلف معدنکاری در حفاریات معدنی به جریان می‌افتد از طریق مقایسه با شدت جریان تونل‌های موجود است. علاوه بر این، بررسی کیفیت آب‌های موجود در تونل‌ها برای بررسی امکان استفاده از آن به منظور انتخاب خط لوله آبکشی مقاوم ضروری است.

از آنجا که شدت جریان تونل‌ها باید به طور مداوم (دو بار در ماه) و با دقت کافی اندازه‌گیری شود لذا در مسیر غنو در بیرون تونل، باید سرریزی احداث کرد تا اندازه‌گیری شدت جریان آسان‌تر انجام شود. در مورد تونل‌ها باید علاوه بر تعیین شدت جریان، دما و در صورت امکان pH آب نیز اندازه‌گیری شده و به منظور بررسی کیفیت آب، از آن نمونه‌برداری شود. پس از آنکه شدت جریان آب موجود در تونل در زمان‌های مختلف به دست آمد، باید با رسم منحنی تغییرات شدت جریان نسبت به زمان، منحنی آب‌نمای<sup>۱</sup> (هیدروگراف) تونل را رسم کرد.

### پ- بررسی تغییرات سطح ایستابی

به منظور بررسی تغییرات سطح ایستابی در آبخوان، باید عمق سطح آب در گمانه‌های اکتشافی با استفاده از عمقیاب‌های الکتریکی به طور مرتب اندازه‌گیری شود. برای به دست آوردن اطلاعات کافی، باید هر ماه یک بار این اندازه‌گیری انجام و نتایج در جداولی درج شود.



## ۲-۲-۲- تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

مهم‌ترین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان ضریب نفوذپذیری، ضریب انتقال و ضریب مخزن‌اند. در مواردی که سنگ‌های تشکیل دهنده آبخوان محکم باشد و بتوان مغزه‌های سالمی از آن‌ها تهیه کرد، نمونه‌های حاصله را در آزمایشگاه بررسی و ضریب نفوذپذیری آن را محاسبه می‌کنند. از آنجا که مشخصات سنگ‌ها به حالت برجا تا حدودی با نمونه‌هایی که در آزمایشگاه بررسی می‌شود متفاوت است لذا باید ضرایب نفوذپذیری و انتقال منطقه را مستقیماً و به کمک آزمایش پمپاژ محاسبه کرد.

### الف- تعیین ضریب نفوذپذیری سنگ‌ها در آزمایشگاه

نحوه محاسبه ضریب نفوذپذیری سنگ‌ها در آزمایشگاه در نشریه شماره ۱۸۸ سازمان برنامه و بودجه تحت عنوان دستورالعمل آزمایش‌های تراوایی درج شده است که باید بر اساس آن عمل شود.

### ب- تعیین ضرایب آب‌شناسی به کمک آزمایش‌های پمپاژ

در بسیاری موارد، وضعیت مواد تشکیل دهنده آبخیز به گونه‌ای است که اولاً نمی‌توان از آن نمونه سالم و کاملی تهیه کرد و ثانیاً اگر نمونه از محل خود به آزمایشگاه حمل شود، دیگر خواص اولیه خود را نخواهد داشت و معرف شرایط آبخوان نخواهد بود. حتی در مواردی که تهیه نمونه‌های سالم نیز آسان باشد، باز هم از آنجا که شرایط آزمایشگاه با شرایط واقعی آبخوان متفاوت است لذا نتیجه حاصل در آزمایشگاه، به هر حال تقریبی خواهد بود. بدین دلیل باید ضرایب آب‌شناسی آبخوان یعنی ضرایب نفوذپذیری و انتقال مخزن را به حالت برجا و در محل به دست آورد.

در مواردی که در کنار چاهی که در حال پمپاژ است، چاه آزمایشی و یا گمانه‌ای هم وجود داشته باشد، با اندازه‌گیری مداوم سطح ایستابی در چاه مشاهده‌ای و بررسی تغییرات آن نسبت به زمان، می‌توان ضرایب یاد شده را به روش‌های مختلف به دست آورد که معروف‌ترین آن‌ها روش‌های تیس<sup>۱</sup>، جاکوب<sup>۲</sup> و چو<sup>۳</sup> است.

با توجه به آنکه ضریب انتقال از حاصل ضرب ضریب نفوذپذیری در ضخامت آبخوان حاصل می‌شود، بنابراین با در دست داشتن این دو مشخصه می‌توان ضریب انتقال سفره را محاسبه کرد.

برای محاسبه مستقیم ضریب انتقال می‌توان از اطلاعات حاصل از آزمایش پمپاژ نیز استفاده کرد. برای این کار، پس از پایان مرحله اول آزمایش پمپاژ یعنی هنگامی که سطح آب در داخل گمانه به حد ثابتی رسید، باید آبکشی را متوقف کرد و بالا آمدن سطح آب در گمانه را اندازه گرفت. در این مورد نیز ابتدا فواصل زمانی اندازه‌گیری کم است و به تدریج زیاد می‌شود. اگر در هر نوبت اندازه‌گیری،  $t_1$  زمان از شروع آزمایش پمپاژ،  $t_2$  زمان از لحظه متوقف شدن آبکشی و  $\Delta h$  اختلاف سطح آب در لحظه اندازه‌گیری تا سطح اولیه آن در داخل گمانه باشد در این حالت رابطه تغییرات نسبت به زمان‌های اندازه‌گیری به شکل زیر است:

$$\Delta h = \frac{2.3026Q}{4\pi T} \log \frac{t_1}{t_2} \quad (۱-۲)$$

- 1- Theis
- 2- Jacob
- 3- Chow



در این رابطه  $T$  ضریب انتقال و  $Q$  شدت جریان است. بنابراین اگر تغییرات  $\Delta h$  به نسبت  $\log \frac{t_1}{t_2}$  رسم شود، خط مستقیمی حاصل خواهد شد. پس از رسم خط یاد شده، اگر  $\alpha$  زاویه شیب این خط و  $\Delta h'$  میزان افت به ازای یک چرخه لگاریتمی باشد، ضریب انتقال از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{2.3026Q}{4\pi\Delta h'} = 0.1832 \frac{Q}{\Delta h'} \quad (2-2)$$

### ۲-۲-۳- روش مقایسه طولی

در این روش، شدت جریان آب در تونل‌های اکتشافی موجود به طور مداوم اندازه‌گیری شده و بر اساس اطلاعات حاصل از این تونل‌ها، شدت جریان آبی که در تونل‌های معدنی به جریان خواهد افتاد، پیش‌بینی می‌شود. اگر شدت جریان آب در تونل اکتشافی  $Q_1$  و طول کلی مجموع راسته تونل و انشعابات آن  $L_1$  باشد، در آن صورت شدت جریان مخصوص تونل یعنی شدت جریان به ازای واحد طول تونل را از رابطه زیر محاسبه می‌کنند:

$$q = \frac{Q_1}{L_1} \quad (3-2)$$

اگر طول کلی تونل‌های معدنی  $L_2$  باشد، شدت جریان آبی که در آن‌ها به جریان خواهد افتاد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_2 = q \times L_2 \quad (4-2)$$

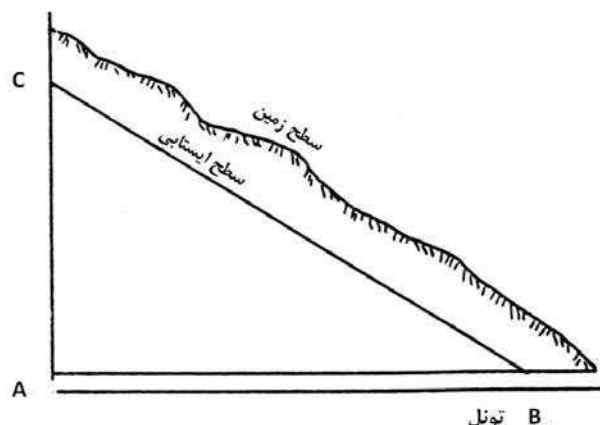
### ۲-۲-۴- روش مقایسه سطحی

این روش برای برآورد شدت جریان قنات‌ها نیز به کار می‌رود. به تجربه ثابت شده است که شدت جریان آبی که در یک کانال (تونل و یا قنات) به جریان می‌افتد، با مساحت محصور بین سطح ایستابی و کانال یاد شده متناسب است. مثلاً در شکل ۲-۱، شدت جریان آب تونل با مساحت مثلث  $ABC$  متناسب است. با رسم نیمرخ سطح ایستابی در امتداد تونل اکتشافی، به آسانی می‌توان مساحت این مثلث را به دست آورد.

اگر  $A_1$  و  $Q_1$  به ترتیب سطح مقطع سطح ایستابی و شدت جریان آب در تونل اکتشافی باشد و شدت جریان آب در تونل دیگری که در اعماق پایین‌تر حفر خواهد شد مورد نیاز باشد، باید نیمرخ سطح ایستابی را در امتداد تونل و حفاریات معدنی منشعب از آن رسم کرد و مساحت واقع بین سطح ایستابی و تونل را به دست آورد. اگر این سطح  $A_2$  باشد، شدت جریان مورد انتظار در تونل دوم ( $Q_2$ ) خواهد شد:

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \quad \Rightarrow \quad Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (5-2)$$





شکل ۲-۱- تعیین شدت جریان آب تونل‌ها به روش مقایسه سطحی

### ۲-۲-۵- روش مقایسه مرکب

این روش نیز بر اساس اندازه‌گیری مداوم شدت جریان آب در یک تونل اکتشافی بنا شده است. اگر شدت جریان آب در تونل اکتشافی در دست باشد، شدت جریان آب در تونل دیگر از رابطه سیرووادکو<sup>۱</sup> به شرح زیر به دست می‌آید:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2 H_2}{A_1 H_1} \quad (۲-۶)$$

که در آن:

$Q_1$  = شدت جریان در تونل اکتشافی

$Q_2$  = شدت جریان در تونل مورد بررسی

$A_1$  = مجموع مساحت افقی تونل اکتشافی و انشعابات آن

$A_2$  = مجموع مساحت افقی تونل مورد بررسی و انشعابات آن

$H_1$  = ارتفاع متوسط سطح آب نسبت به تونل اکتشافی

$H_2$  = ارتفاع متوسط سطح آب نسبت به تونل مورد بررسی

### ۲-۳- روش‌های تحلیلی

روش‌های تحلیلی عمدتاً بر مبنای رابطه دارسی بنا شده‌اند و حاصل آن‌ها روابط مختلف است. هر یک از این روابط، تنها در شرایط خاصی قابل استفاده‌اند و بنابراین بسته به وضعیت حفاریات معدنی، باید از رابطه مناسب با آن استفاده کرد. مهم‌ترین روابط تحلیلی به شرح زیراند.

### ۲-۳-۱- رابطه دوپویی

بر اساس بررسی‌های دوپویی، شدت جریان قابل انتظار در حفاریات معدنی از رابطه زیر به دست می‌آید:

1- M.Syrovadko





$$Q = K.L \frac{b^2}{r} \quad (۷-۲)$$

که در آن:

$Q$  = نشت جریان بر حسب متر مکعب در روز

$K$  = ضریب نفوذپذیری متوسط ناحیه بر حسب متر در روز

$L$  = طول کلی حفريات معدنی بر حسب متر

$b$  = ضخامت طبقات آبدار بر حسب متر

$r$  = حد منطقه‌ای که بر روی آبدهی حفريات معدنی تاثیر دارد و یا به عبارت دیگر عرض منطقه تامین کننده آب بر حسب متر

برای محاسبه  $r$  از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$r = \sqrt{\frac{K}{W}} b^2 \quad (۸-۲)$$

که در آن:

$K$  = ضریب نفوذپذیری بر حسب متر در روز

$b$  = ضخامت طبقات آبدار بر حسب متر

$W$  = میزان متوسط تغذیه آبخوان به وسیله بارش بر حسب متر در روز

## ۲-۳-۲- رابطه گودمن<sup>۱</sup>

این رابطه در مورد تونل‌هایی که در زیر سطح ایستابی قرار دارند عبارتست از:

$$Q_L = \frac{2\pi KH_0}{Ln\left(\frac{2z}{r}\right)} \quad (۹-۲)$$

که در آن:

$H_0$  = فاصله مرکز تونل تا سطح ایستابی

$Z$  = فاصله مرکز تونل تا بالای سنگ پوشش تونل

$r$  = شعاع تونل

$K$  = نفوذپذیری در امتداد طول تونل

$Q_L$  = شدت جریان قابل انتظار در واحد طول تونل

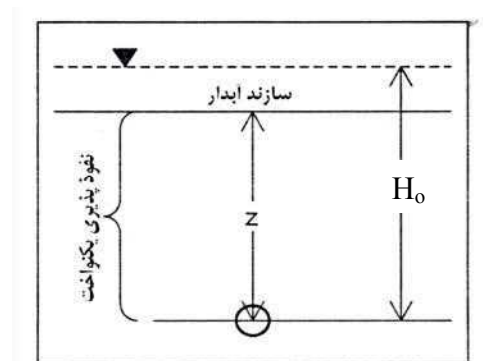
پارامترهای رابطه گودمن در شکل ۲-۲ تشریح شده‌اند.

این رابطه فقط در مورد جریان‌های دائم<sup>۲</sup> در طول تونل کاربرد دارد و برای جریان‌های ناگهانی و اولیه به هنگام حفر تونل‌ها

کاربرد ندارد.

1 - Goodman  
2- Steady State Inflow





شکل ۲-۲- پارامترهای رابطه گودمن

مهم‌ترین پارامتر رابطه گودمن نفوذپذیری معادل<sup>۱</sup> است که در تخمین آن باید دقت زیادی به کار برد.

### ۲-۳-۳- رابطه فریز و چری<sup>۲</sup>

بر اساس مطالعات انجام شده، شدت جریان واقعی ورود آب به تونل‌ها در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد، با آنچه که از معادله گودمن به دست می‌آید متفاوت است. بنابراین با جایگزینی  $H_0$  با  $z$  رابطه جدیدی به شرح زیر ارائه شد:

$$Q = \frac{2\pi KH_0}{Ln\left(\frac{2H_0}{r}\right)} \quad (۱۰-۲)$$

که در آن:

$Q$  = شدت جریان آب ورودی به تونل

$K$  = نفوذپذیری معادل در امتداد طول تونل

$r$  = شعاع تونل

$H_0$  = فاصله مرکز تونل تا سطح ایستابی

در واقع در این حالت، سطح ایستابی به عنوان یک منبع تغذیه بی‌نهایت مدلسازی شده و تخمینی که از این رابطه به دست می‌آید، پایین‌تر از تخمین مدل گودمن است زیرا  $H_0$  از  $z$  بزرگتر است.

### ۲-۳-۴- رابطه هیوور<sup>۳</sup>

با اعمال ضریب  $\frac{1}{4}$  به وسیله هیوور که به نام ضریب کاهش هیوور معروف است، شکل جدیدی از رابطه گودمن ارائه می‌شود:

- 1- Equivalent Permeability
- 2 - Freez and Chery
- 3- Heuer



$$Q_L = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left(\frac{2z}{r}\right)} \times \frac{1}{8} \quad (11-2)$$

تمامی پارامترهای این رابطه همان پارامترهای رابطه گودمن هستند. رابطه هیوور در مورد تونل‌های نسبتاً کم عمق که کمتر از ۱۰۰ متر زیر سطح ایستابی قرار دارند، نتایج مناسبی به دست می‌دهد ولی در مورد تونل‌های عمیق‌تر، میزان ورود آب افزایش می‌یابد و به معادله گودمن نزدیک‌تر می‌شود. تمامی شرایطی که در مورد معادله گودمن ارائه شد در این مورد نیز صادق است یعنی جریان به صورت شعاعی و به حالت دایم فرض می‌شود و در مورد جریان‌های ناگهانی و اولیه صادق نیست.

### ۲-۳-۵- رابطه گودمن برای جریان‌های اولیه

این رابطه که برای برآورد شدت جریان آب به هنگام حفر تونل‌ها ارائه شده، به شرح زیر است:

$$Q_t = \left(\frac{2C}{3} \frac{KH^3S}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (12-2)$$

که در آن:

$C$  = ثابتی که بر اساس فرضیات دوپویی - فورشمایر محاسبه شده و عموماً معادل ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود ولی با تکیه بر محاسبات آزمایشگاهی مقدار این ضریب ۰/۷۵ پیشنهاد می‌شود.

$S$  = ضریب مخزن

$t$  = فاصله زمانی بین آغاز جریان آب به داخل حفریه تا زمانی که جریان به حالت پایدار می‌رسد.

$H$  = فاصله مرکز تونل تا سطح ایستابی

$K$  = ضریب نفوذپذیری

### ۲-۳-۶- رابطه تیم<sup>۱</sup>

رابطه اولیه تیم برای حرکت دایم شعاعی آب به داخل چاه‌هایی که به طور کامل در آبخوان اعم از محصور یا نامحصور نفوذ کرده‌اند، به شرح زیر ارائه شده است:

$$Q = \left[ \frac{2\pi T(H_2 - H_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right] \quad (13-2)$$

که در آن:

$H_1$  و  $H_2$  = ارتفاع سطح ایستابی یا پیژومتریک آبخوان در دو نقطه که به فواصل  $r_1$  و  $r_2$  از محور چاه قرار دارند.

$T$  = ضریب انتقال آبخوان

طبق این رابطه، با چرخاندن چاه از حالت قائم به وضعیت افقی، می‌توان چاه را به عنوان تونل در نظر گرفت و از این معادله برای



تونل‌ها نیز استفاده کرد. نفوذپذیری در امتداد تونل بسیار متغیر است و ضریب انتقال افقی در طول تونل (T) برابر با حاصل ضرب طول تونل (L) در نفوذپذیری متوسط در امتداد تونل ( $K_{avg}$ ) است.

اگر توده سنگ کاملاً متجانس و همسانگرد باشد، در آن صورت نفوذپذیری در همه جای تونل برابر نفوذپذیری متوسط است اما از آنجا که در امتداد مسیر تونل‌ها توده سنگ‌هایی با نفوذپذیری‌های متفاوت وجود دارند، لذا توزیع نفوذپذیری در امتداد تونل از حالت نرمال خارج شده و به توزیع لاگ نرمال نزدیک می‌شود. به همین دلیل در محاسبه  $K_{avg}$  باید از میانگین هندسی به جای میانگین حسابی استفاده کرد.

### ۲-۳-۷- رابطه لی

این رابطه برای جریان دایم ارایه شده و به شکل زیر است:

$$Q = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left[\frac{H_0}{r} + \sqrt{\left(\frac{H_0}{r}\right)^2 - 1}\right]} \quad (۱۴-۲)$$

که در آن:

$Q$  = شدت جریان آب ورودی به داخل تونل در واحد طول (متر مکعب در ثانیه بر متر)

$K$  = ضریب نفوذپذیری معادل محیط (متر در ثانیه)

$H_0$  = فاصله محور تونل تا سطح ایستابی (متر)

$r$  = شعاع تونل (متر)

### ۲-۳-۸- رابطه کارلسرود<sup>۱</sup>

این رابطه به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$Q = \left( \frac{2\pi KH_0}{\ln\left[\left(\frac{2H_0}{r}\right) - 1\right]} \right) \quad (۱۵-۲)$$

پارامترهای این رابطه همان پارامترهای رابطه گودمن‌اند (شکل ۲-۲).

استفاده از این رابطه برای تونل‌های کم عمق توصیه می‌شود و در تونل‌های عمیق، نتایج معادلات گودمن به واقعیت نزدیک‌ترند.

این رابطه با توجه به فرضیات زیر ارایه شده است:

الف- تونل در توده سنگ‌های متجانس و همسانگرد حفر شده و نفوذپذیری توده سنگ در تمامی جهات یکسان است.

ب- سطح ایستابی ثابت است و تحت تاثیر نشت آب به داخل تونل قرار ندارد.



پ- نسبت  $\frac{H_0}{r}$  در حد ۳ تا ۴ باشد.

### ۲-۳-۹- رابطه التانی<sup>۱</sup>

استفاده این رابطه برای تونل‌های بدون پوشش داخلی که در آن‌ها، حفر تونل‌ها باعث پایین افتادن سطح ایستابی نشده است،

توصیه می‌شود:

$$Q = 2\pi K H O \frac{1-3\left(\frac{r}{2H_0}\right)^2}{\left[1-\left(\frac{r}{2H_0}\right)^2\right] \ln \frac{2H_0}{r} - \left(\frac{r}{2H_0}\right)^2} \quad (16-1)$$

پارامترهای این رابطه نیز همان پارامترهای رابطه گودمن است (شکل ۲-۲). این رابطه با توجه به فرضیات زیر ارائه شده است:

الف- جریان به صورت ۲ بعدی و مقطع تونل دایره است.

ب- محیط اطراف حفریات همسانگرد و متجانس است.

پ- مقطع تونل به طور کامل در زیر سطح ایستابی قرار دارد.

این رابطه برای جریان دایم و در مورد تونل‌های عمیق صادق است و در مورد جریانات اولیه و ناگهانی به هنگام حفر تونل نتایج

قابل قبولی به دست نمی‌دهد.

### ۲-۳-۱۰- رابطه بهینه شده التانی

مطابق این رابطه، شدت جریان ورودی به تونل به ازای واحد آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = 2\pi K \left( \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1} \right) \left( \frac{H_0}{\ln \lambda} \right) \quad (17-2)$$

که در آن:

$K$  = نفوذپذیری معادل در امتداد طول تونل

$H_0$  = فاصله محور تونل تا سطح ایستابی

$\lambda$  = پارامتری که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda = \frac{HO}{r} \sqrt{\frac{H_0^2}{r^2} - 1} \quad (18-1)$$

این رابطه در حالتی صادق است که سطح ایستابی به صورت افقی در نظر گرفته شود. از آنجا که در بسیاری حالات سطح

ایستابی از حالت افقی خارج می‌شود لذا رابطه کلی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$Q = 2\pi K \left( \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1} \right) \left( \frac{H_0}{\ln \lambda} \right) \cos \alpha \quad (19-2)$$



که در آن  $\alpha$  شیب سطح ایستایی است. خلاصه روابط یاد شده در جدول ۱-۲ درج شده است.

جدول ۱-۲ - خلاصه روابط محاسبه شدت جریان آب در تونل‌ها

مرجع	رابطه	توضیحات
گودمن	$Q_L = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left(\frac{2z}{r}\right)}$	نتایج به دست آمده از این مدل برای تونل‌هایی که نسبت $r/h$ در آن‌ها کمتر از $0.4$ است دقت قابل قبولی دارد.
فریز و چری	$Q = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left(\frac{2H_0}{r}\right)}$	با جایگزینی $Z$ به جای $H_0$ در رابطه گودمن این رابطه تصحیح می‌شود. نتایج به دست آمده از این رابطه در تونل‌های عمیق دقت بیشتری دارد.
هیوور	$Q_L = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left(\frac{2z}{r}\right)} \times \frac{1}{8}$	۱- مناسب برای تونل‌های حفر شده در سنگ‌های کربناته به ویژه دولومیت‌ها ۲- برای تونل‌های نسبتاً کم عمق و کمتر از $100$ متر زیر سطح ایستایی، معادله اصلاح شده هیوور نتایج مناسبی می‌دهد ولی برای تونل‌های عمیق‌تر، نتایج گزارشات نشان می‌دهد که میزان هجوم افزایش می‌یابد و به معادله گودمن بسیار نزدیک‌تر است.
لی	$Q = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left[\frac{H_0}{r} + \sqrt{\left(\frac{H_0}{r}\right)^2 - 1}\right]}$	این معادله دارای سه پیش فرض اساسی و اولیه زیر است؛ جریان شعاعی، عدم تغییرات قابل توجه لایه‌بندی و اعمال صحیح نفوذپذیری معادل محیط
کارلسرود	$Q = \left(\frac{2\pi KH_0}{\ln\left[\left(\frac{2H_0}{r} - 1\right)\right]}\right)$	موارد کاربرد در تونل‌هایی است که $(h/r) > 3-4$ باشد و جریان به صورت شعاعی وارد تونل شود.
التانی	$Q = 2\pi KH_0 \frac{1 - 3\left(\frac{r}{2H_0}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{r}{2H_0}\right)^2\right] \ln \frac{2H_0}{r} - \left(\frac{r}{2H_0}\right)^2}$	جریان به صورت دو بعدی در نظر گرفته شود و مقطع تونل به صورت دایره‌ای باشد.
بهینه شده التانی	$Q = 2\pi K \left(\frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1}\right) \left(\frac{H_0}{\ln \lambda}\right) \cos \alpha$ $\lambda = \frac{H_0}{r} \sqrt{\frac{H_0^2}{r^2} - 1}$	مقایسه نتیجه به دست آمده از این رابطه و مشاهدات واقعی، نشان دهنده این موضوع است که این رابطه نتایج قابل قبولی را در شرایط مختلف به دست می‌دهد.

## ۲-۴- روش‌های عددی

روش‌های عددی بر اساس روش‌هایی نظیر عناصر محدود<sup>۱</sup> و تفاضل محدود<sup>۲</sup> بنا شده‌اند و به کمک آن‌ها می‌توان وضعیت آبخوان را شبیه‌سازی کرد، اما توانایی این روش‌ها محدود است و به آسانی نمی‌توان شرایط مختلف آبخوان مانند جریان اشباع، غیراشباع، جریان محصور، نامحصور و ویژگی‌های هیدرولیکی غیرخطی لایه‌های نفوذپذیر را مدل کرد. نرم‌افزارهای متعددی برای این منظور توسعه یافته‌اند که به کمک آن‌ها می‌توان به روش‌های عددی تحلیل کرد.

1- Finite Element Method  
2- Finite Difference Method





# فصل ۳

---

---

## دستور العمل طراحی غنوها







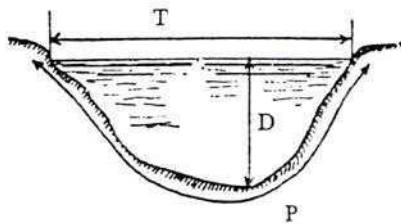
## ۳-۱- آشنایی

برای انتقال آب در تونل‌های افقی و طبقات معادن روباز، باید در کف تونل یا پله معدن روباز جوی باریکی موسوم به غنو احداث و به کمک آن آب را به محل مخزن هدایت کرد. اگر شیب و مقطع غنو در تمام طول آن ثابت باشد، سرعت متوسط آب در تمام مقاطع آن ثابت است و جریان به نام جریان یکنواخت<sup>۱</sup> خوانده می‌شود و در مواردی که مقطع و شیب غنو و در نتیجه سرعت آب در قسمت‌های مختلف آن متغیر باشد، به نام جریان غیریکنواخت<sup>۲</sup> و یا جریان متغیر<sup>۳</sup> موسوم است. همچنین جریان آب در غنو، ممکن است به حالت آرام یا مغشوش، دایم و یا غیردایم باشد. از آنجا که جریان آب غنوها عموماً یکنواخت است لذا در این دستورالعمل، فقط این شیوه جریان مد نظر قرار گرفته است.

## ۳-۲- مشخصات مقطع غنو

## ۳-۲-۱- مساحت مقطع (A)

بخشی از سطح مقطع غنو که در زیر سطح آزاد آب واقع است به نام مساحت مقطع خوانده می‌شود (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱ - مشخصات مقطع

## ۳-۲-۲- محیط خیس (P)

طول خط تقاطع صفحه مقطع با سطح خیس مجرا به نام محیط خیس نامیده می‌شود (شکل ۳-۱).

## ۳-۲-۳- شعاع هیدرولیکی (R)

شعاع هیدرولیکی طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$R = \frac{A}{P} \quad (۳-۱)$$

که در آن A سطح مقطع، P محیط خیس و R شعاع هیدرولیکی است.

- 
- 1- Uniform Flow
  - 2- Nonuniform Flow
  - 3- Varied Flow



۳-۲-۴- عمق متوسط ( $D_M$ )

عمق متوسط طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$D_M = \frac{A}{T} \quad (2-3)$$

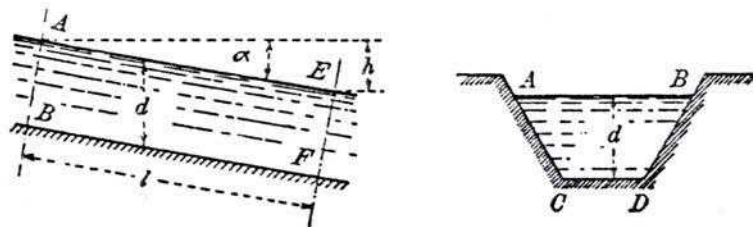
که در آن  $A$  سطح مقطع و  $T$  عرض فوقانی است.

۳-۲-۵- شیب غنو ( $S$ )

در مورد حرکت یکنواخت، شیب سطح آزاد آب با شیب کف غنو مساوی است و از رابطه زیر به دست می‌آید (شکل ۲-۳):

$$S = \frac{h}{l} \quad (3-3)$$

که در آن  $h$  تغییر ارتفاع و  $l$  تغییر طول است.



شکل ۲-۳- شیب مجرا

۳-۳- رابطه اساسی جریان یکنواخت در غنوها- فرمول چزی<sup>۱</sup>

در جریان یکنواخت سرعت متوسط جریان در تمام مقاطع مجرا مساوی و سطح مقطع غنو در تمام طول آن از نظر شکل و عمق یکسان است. در چنین حالتی، سطح آزاد آب با کف بستر، موازی است. رابطه اصلی حرکت یکنواخت آب در مجاری باز و غنوها که به نام رابطه چزی خوانده می‌شود به شرح زیر است:

$$V = C\sqrt{RS} \quad (4-3)$$

که در آن:

$V$  = سرعت آب

$R$  = شعاع هیدرولیکی غنو

$S$  = شیب غنو

$C$  = ضریبی که به زبری سطح غنو و بعضی عوامل دیگر، از جمله عدد رینولدز بستگی دارد.

شدت جریان آب در غنو ( $Q$ ) از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Q = VA = CA\sqrt{RS} \quad (5-3)$$

1- Chezy



که در آن  $A$  سطح مقطع غنو تا حدی است که آب در آن جریان دارد. مهم‌ترین نکته در مورد حرکت یکنواخت آب در مجراها، تعیین ضریب  $C$  آن‌ها است که برای تعیین آن روابط متعددی ارائه شده است. از آنجا که ضریب  $C$  بعد فیزیکی دارد، لذا اندازه آن در سیستم‌های مختلف، متفاوت است.

### ۳-۴- محاسبه ضریب $C$ در رابطه چزی

برای تعیین ضریب  $C$  فرمول‌ها و جداول مختلفی به شرح زیر ارائه شده است:

#### ۳-۴-۱- رابطه گانگیه - کوتر<sup>۱</sup>

این رابطه به شکل زیر است:

$$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (۳-۶)$$

که در آن  $S$  شیب غنو،  $R$  شعاع هیدرولیکی و  $n$  ضریب زبری که اندازه آن از جدول ۳-۱ به دست می‌آید.

جدول ۳-۱- اندازه ضریب  $n$  برای استفاده از رابطه گانگیه - کوتر

مقدار متوسط	دامنه تغییرات	پوشش سطح غنو
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲-۰/۰۱۵	چدن پوشش نشده
۰/۰۱۲	۰/۰۱۲-۰/۰۱۳	چدن پوشش شده
۰/۰۱۵	۰/۰۱۳-۰/۰۱۷	فولاد پرچ شده
۰/۰۱۳	۰/۰۱۰-۰/۰۱۷	لوله فاضلاب صاف
۰/۰۱۵	۰/۰۱۲-۰/۰۱۷	آجر با ملات سیمان
۰/۰۱۱	۰/۰۱۰-۰/۰۱۳	سیمان صاف
۰/۰۱۳	۰/۰۱۱-۰/۰۱۵	ملات سیمانی
۰/۰۱۳	۰/۰۱۲-۰/۰۱۶	لوله بتونی
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲-۰/۰۱۸	مجرای بتونی
۰/۰۲۳	۰/۰۱۷-۰/۰۳۰	قلوه سنگ با ملات سیمانی
۰/۰۳۰	۰/۰۲۵-۰/۰۳۵	قلوه سنگ خشکه چینی
۰/۰۲۲۵	۰/۰۱۷-۰/۰۲۵	جوی خاکی، مستقیم و یکنواخت
۰/۰۳۳	۰/۰۲۵-۰/۰۳۵	جوی احداث شده در سنگ، صاف و یکنواخت
۰/۰۴۰	۰/۰۳۵-۰/۰۴۵	جوی احداث شده در سنگ، دنداندار و نامنظم
۰/۰۳۲	۰/۰۲۵-۰/۰۳۳	جوی حفر شده در خاک



۳-۴-۲- فرمول بازن<sup>۱</sup>

این رابطه به شکل زیر است:

$$C = \frac{86.9}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (۷-۳)$$

که در آن:

$R$  = شعاع هیدرولیکی

$m$  = ضریب زبری سطح غنو که اندازه آن از جدول ۳-۲ به دست می‌آید.

جدول ۳-۲- اندازه ضریب  $m$  برای غنوهای مختلف

ضریب $m$	نوع پوشش غنو
۰/۰۶۰	پوشش سیمانی خیلی صاف
۰/۱۶۰	پوشش بتنی یا آجری صاف
۰/۴۶۰	پوشش سنگ چینی
۰/۸۵۰	غنوهای حفر شده در زمین در شرایط خیلی مناسب
۱/۳۰۶	غنوهای حفر شده در زمین‌های معمولی
۱/۷۵	غنوهای حفر شده در زمین‌های سنگی و ناصاف

۳-۴-۳- فرمول مانینگ<sup>۲</sup>

این رابطه به شکل زیر است:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \sqrt{RS} \quad (۸-۳)$$

در مقایسه روابط مانینگ و چزی، ضریب  $C$  رابطه چزی در این رابطه به شکل زیر است:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (۹-۳)$$

در این فرمول نیز  $n$  ضریب زبری سطح مجرا است و مقدار آن از جدول ۳-۱ به دست می‌آید.

## ۳-۵- طراحی غنو

با توجه به نقش شعاع هیدرولیکی در توانایی انتقال آب، غنوها را باید به گونه‌ای طراحی کرد که تا حد امکان شعاع هیدرولیکی

آن‌ها حداکثر شود زیرا با یک سطح مقطع ثابت و در نتیجه حجم حفاری ثابت، هر چقدر شعاع هیدرولیکی غنو بیشتر باشد، قابلیت

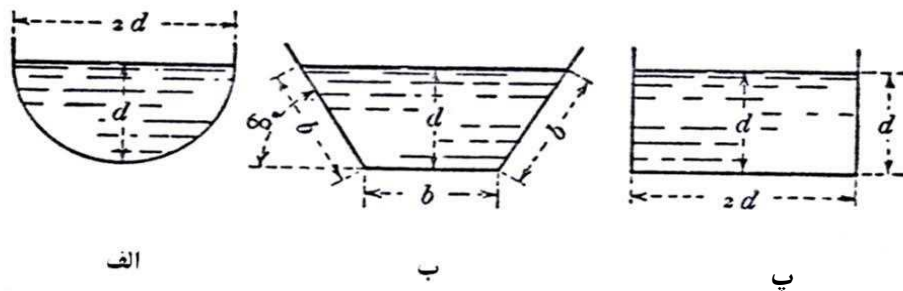
انتقال آب آن زیادتر است.



در بین سه مقطع متداول دایره، دوزنقه و مستطیل، شعاع هیدرولیکی به ترتیب کاهش می‌یابد، بنابراین از نقطه نظر شعاع هیدرولیکی تا حد امکان باید به ترتیب از مقاطع یاد شده استفاده کرد. مسایل دیگری از قبیل امکانات حفر و نگهداری دیوارهای غنو نیز باید مورد توجه قرار گیرد و با توجه به تمام نکات، مناسب‌ترین مقطع انتخاب شود. از آنجا که احداث غنوهای دایره‌ای مشکل است و حتماً به دیوارسازی نیاز دارد لذا معمولاً از این مقطع به عنوان غنو استفاده نمی‌شود، مگر آنکه بدین منظور، لوله‌های سیمانی به حالت نیمه‌پر به کار رود. مقطع دوزنقه به علت سهولت حفر و نگهداری و نیز نزدیک بودن به نیمه‌دایره، از جمله مقاطعی است که برای انتقال آب در تونل‌ها و معادن روباز توصیه می‌شود.

### ۳-۵-۱- شرط ماکزیمم شدن شعاع هیدرولیکی

شعاع هیدرولیکی هر یک از سه مقطع متداول دایره، دوزنقه و مستطیل تنها در شرایط خاصی که نسبت معینی بین اضلاع آن برقرار باشد، ماکزیمم می‌شود و مقدار این شعاع هیدرولیکی ماکزیمم به شرح زیر است (شکل ۳-۳):



شکل ۳-۳- مقاطع مناسب برای غنوها

#### الف- مقطع دایره

شعاع هیدرولیکی این مقطع هنگامی ماکزیمم است که عمق آب در آن برابر شعاع دایره باشد (شکل ۳-۳- الف) و در این وضعیت، شعاع هیدرولیکی برابر با  $\frac{d}{2}$  یعنی نصف عمق آب است.

#### ب- مقطع دوزنقه

شعاع هیدرولیکی این مقطع هنگامی که دوزنقه متساوی‌الساقین باشد و هر یک از ساق‌ها برابر قاعده پایین و شیب آن‌ها ۶۰ درجه باشد، ماکزیمم و برابر با  $\frac{d}{2}$  یعنی نصف عمق آب است (شکل ۳-۳- ب).

#### پ- مقطع مستطیل

شعاع هیدرولیکی مقطع مستطیل هنگامی ماکزیمم است که عمق آب در آن نصف عرض مقطع باشد (شکل ۳-۳- پ) و در این حالت، شعاع هیدرولیکی برابر با  $\frac{d}{2}$  یعنی نصف عمق آب است.



## ۳-۵-۲- طراحی مقطع بهینه

در مواقعی که هیچ گونه محدودیتی وجود نداشته باشد، ابعاد مقطع غنو را باید به گونه‌ای در نظر گرفت که شعاع هیدرولیکی آن ماکزیمم شود. ابعاد بهینه در مورد مقاطع مختلف به شرح زیر است:

## الف- مقطع دایره

اگر شعاع مقطع دایره ایده‌آل  $d$  باشد، اندازه بهینه آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$d = \sqrt[2.66]{\frac{4.04nQ}{S^{0.5}}} \quad (10-3)$$

که در آن:

$d$  = شعاع دایره مقطع

$n$  = ضریب زبری مقطع که از جدول ۳-۱ به دست می‌آید.

$Q$  = شدت جریانی که باید از غنو عبور کند.

$S$  = شیب غنو

## ب- مقطع دوزنقه

اگر عمق آب در غنو  $d$  باشد، اندازه آن از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$d = \sqrt[2.66]{\frac{1.344nQ}{S^{0.5}}} \quad (11-3)$$

در این رابطه نیز  $n$ ،  $Q$  و  $S$  همان مفاهیم رابطه ۳-۱۰ را دارند. با تعیین  $d$ ، طول ساق‌ها که مساوی قاعده پایینی است، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$b = 1.1547d \quad (12-3)$$

## پ- مقطع مستطیل

ارتفاع بهینه آب در مورد مقطع مستطیل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$d = \sqrt[2.66]{\frac{0.7933nQ}{S^{0.5}}} \quad (13-3)$$

در این رابطه نیز  $n$ ،  $Q$  و  $S$  همان مفاهیم رابطه ۳-۱۰ را دارند، با تعیین  $d$ ، عرض غنو ( $b$ ) از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$b = 2d \quad (14-3)$$

## ۳-۶- طراحی غنو با وجود محدودیت

در طراحی غنو تونل‌ها، معمولاً محدودیتی از نظر عرض وجود دارد زیرا وجود دو رشته راه آهن و بعضی تاسیسات دیگر، مانع از



آن است که عرض ایده‌آل برای غنو در نظر گرفته شود. در این موارد، نمی‌توان شعاع هیدرولیکی را به حالت ماکزیمم در نظر گرفت بلکه باید ابعاد آن را به گونه‌ای محاسبه کرد که بتواند شدت جریان مورد نظر را عبور دهد. از آنجا که در این موارد به علت مشخص نبودن ابعاد غنو، سطح مقطع و شعاع هیدرولیکی هر دو نامعلوم است لذا نمی‌توان مستقیماً این دو را محاسبه کرد بلکه باید از روش سعی و خطا کمک گرفت. در این موارد می‌توان روش‌های دستی و یا برنامه‌های کامپیوتری را به کار برد.

### ۳-۶-۱- روش دستی

در این روش، ابتدا یک مقدار فرضی برای  $R$  در نظر گرفته شده و به کمک آن ابعاد سطح مقطع محاسبه می‌شود و آنگاه با استفاده از فرمول مانینگ، شدت جریان آبی که قادر به عبور است به دست می‌آید و با مقایسه این شدت جریان محاسبه‌ای با شدت جریان مورد نظر، بسته به کمتر یا بیشتر بودن این شدت جریان، بار دیگر مقدار جدیدی برای  $R$  در نظر گرفته شده و محاسبات تکرار می‌شود این عمل آن قدر ادامه می‌یابد تا شدت جریان محاسبه‌ای با شدت جریان مورد نظر در حد قابل قبولی مطابقت داشته باشد. برای این که تعداد تکرارها کاهش یابد، بسته به شکل مقطع، می‌توان راهنمای اولیه‌ای برای انتخاب اولین  $R$  به دست آورد. به عنوان مثال در مورد غنوه‌های مستطیلی به عرض  $b$  شعاع هیدرولیکی باید در رابطه زیر صدق کند:

$$R < \frac{b}{2} \quad (3-15)$$

بنابراین مقادیری که برای  $R$  انتخاب می‌شود، باید همواره کمتر از نصف عرض آن باشد و بدین ترتیب اولین  $R$  را می‌توان به کمک این رابطه انتخاب و محاسبات را تکرار کرد تا به نتیجه برسد. در مواردی که محدودیتی برای سایر مشخصات غنو از قبیل شیب و پوشش سطح وجود داشته باشد نیز به همین ترتیب عمل می‌شود.

### ۳-۶-۲- استفاده از برنامه‌های کامپیوتری

برای طراحی مشخصات غنوها اعم از حالتی که محدودیتی وجود داشته یا نداشته باشد، برنامه‌های کامپیوتری مختلفی تهیه شده است که با استفاده از آن‌ها، طراحی را می‌توان با دقت و سرعت انجام داد.







# فصل ۴

---

---

## دستور العمل انتخاب موقعیت و ابعاد مخزن





#### ۴-۱- آشنایی

آب طبقات مختلف معادن زیرزمینی که به وسیله چاه یا تونل مورب گشایش یافته‌اند، باید به مخزن یا مخازن آب منتقل شده و از آنجا به وسیله خط لوله و تلمبه، به بیرون معدن هدایت شود. انتقال آب در تونل‌ها به محل مخزن از طریق غنوهایی است که در کف تونل احداث می‌شوند.

در معادن روباز نیز آب پله‌ها را باید به کمک غنوهایی، به مخزن آب اصلی هدایت کرد و از آنجا با استفاده از تلمبه و یا به روش‌های دیگری که امکان داشته باشد (مثل احداث تونل آب‌بر) به بیرون فرستاد.

#### ۴-۲- انتخاب محل مخزن

اگر میزان آب معدن زیاد نباشد (کمتر از ۱۵ لیتر در ثانیه)، چاه اصلی معدن کمی عمیق‌تر حفر می‌شود و فضایی که به این ترتیب به دست می‌آید، برای جمع‌آوری آب‌ها در نظر گرفته می‌شود. اگر آب بیش از ۱۵ لیتر در ثانیه باشد، باید محل جداگانه‌ای برای این منظور احداث کرد. محل مخزن باید کمی از چاه اصلی فاصله داشته باشد تا کف چاه خشک یا حداقل کم آب بماند. این کار سبب می‌شود که عمیق کردن چاه در موارد لازم، به آسانی انجام گیرد. گرچه در حالت کلی، مخزن آب در نزدیکی چاه اصلی احداث می‌شود ولی اگر منشا اصلی آب‌های معدن در محلی دور از چاه واقع باشد، بهتر است مخزن در این محل احداث و آب را به کمک خط لوله به چاه هدایت کرد.

در معادن زغال‌سنگ، که قسمت عمده آب از لایه‌های زغال‌سنگ منشا می‌گیرد، محل‌های گودی که در تونل‌های دنباله‌رو (دنبال لایه) قرار دارد، خود محل تجمع آب است و به کمک آبکشی فرعی، آب از این مخازن به مخزن اصلی هدایت می‌شود. در حالت کلی، مخزن آب به شکل تونل هلالی شکل، در حوالی انتهای چاه یا تونل مورب احداث می‌شود.

در معادن عمیق، که آب از عمیق‌ترین نقاط معدن به سطح زمین پمپاژ می‌شود، ممکن است گزینه بهتر، احداث مخازن جداگانه برای هر یک از طبقات باشد. در این صورت، آب هر مخزن به مخزن بالایی پمپاژ می‌شود و در نهایت به سطح زمین می‌رسد. این امر سبب می‌شود که ارتفاع رانش هر تلمبه کاهش یابد. عیب این روش نیاز به مخازن و تلمبه‌های متعدد است. در صورتی که اگر تمام آب‌ها به پایین‌ترین نقطه معدن هدایت و از آنجا به وسیله یک تلمبه قوی پمپاژ شود، فقط به یک مخزن نیاز است. در این روش نیز می‌توان به جای یک تلمبه قوی، از چندین تلمبه به حالت سری استفاده کرد.

#### ۴-۳- تعیین ظرفیت مخزن

ظرفیت مخزن به مقدار آب ورودی به معدن، قدرت، مدت زمان کار و تعداد تلمبه‌ها بستگی دارد. معمولاً تلمبه در تمام شبانه‌روز کار نمی‌کند و در فواصل زمانی معینی به کار می‌افتد. در صورتی که میزان آب معدن خیلی زیاد باشد، تلمبه‌ها باید دایماً کار کنند و در این صورت، تلمبه‌خانه باید یک یا چند تلمبه یدکی داشته باشد. ظرفیت مخزن تا حد امکان باید به اندازه حجم آب یک شبانه‌روز باشد تا در صورتی که در تلمبه‌ها یا خط لوله اشکالی پیش آید، توقف آبکشی مشکلاتی به بار نیاورد.

در مواردی که آب ورودی به مخزن گل‌آلود باشد، ممکن است حجم قابل توجهی از مخزن از گل و لای پر شود و در این موارد، مخزن باید به گونه‌ای ساخته شود که بتوان قسمت‌هایی از آن را از ورود آب معدن مصون نگه داشت و بدین ترتیب آن را لایروبی کرد. همچنین می‌توان قسمت ورودی آن را به صورت شیب‌دار ساخت تا قسمت بیشتر مواد در این قسمت ته‌نشین شود و در این حالت لایروبی این قسمت آسان است.

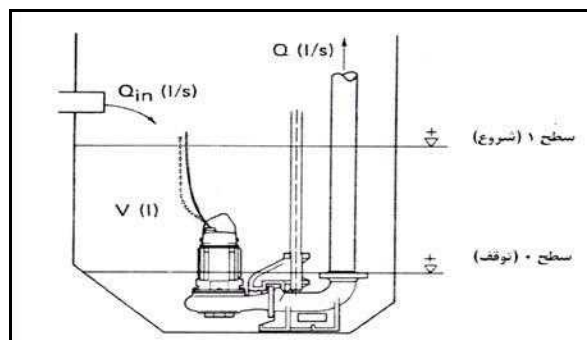
اگر آبکشی فقط با یک تلمبه انجام شود، حداقل حجم مخزن آب، تابع مدت زمان کار تلمبه و به عبارت دیگر، تعداد دفعات خاموش و روشن شدن تلمبه است. در این موارد که تلمبه به طور دائم کار می‌کند، تعداد دفعات به کار افتادن آن در هر ساعت باید برای ۱۰ تا ۱۵ دفعه تنظیم شود. بدین ترتیب اگر تعداد دفعات به کار افتادن آن ۱۰ نوبت باشد، تلمبه باید هر ۶ دقیقه یک بار به کار افتد.

مطابق شکل ۴-۱ در مورد مخازنی که در آن‌ها فقط یک تلمبه نصب شده باشد، بین حداقل حجم مخزن لازم یعنی حجم لازم بین حداقل و حداکثر سطح آب در مخزن ( $V$ )، شدت جریان آب ورودی به مخزن ( $Q_{in}$ )، شدت جریات تلمبه ( $Q$ ) و مدت زمان بین دو شروع متوالی تلمبه ( $T$ ) رابطه زیر برقرار است (شکل ۴-۱):

$$T = T_s + T_p = \frac{V}{Q_{in}} + \frac{V}{Q - Q_{in}} \quad (4-1)$$

که در آن  $T_s$  زمان توقف تلمبه و  $T_p$  زمان پمپاژ است.

بدین ترتیب با در دست داشتن زمان تناوب کار تلمبه (که معمولاً ۴ تا ۶ دقیقه در نظر گرفته می‌شود)، شدت جریان آب ورودی به مخزن و شدت جریان تلمبه، می‌توان حداقل حجم مخزن را به دست آورد و با توجه به ضریب اطمینان (حداقل ۲۰ درصد)، حجم نهایی را انتخاب کرد.

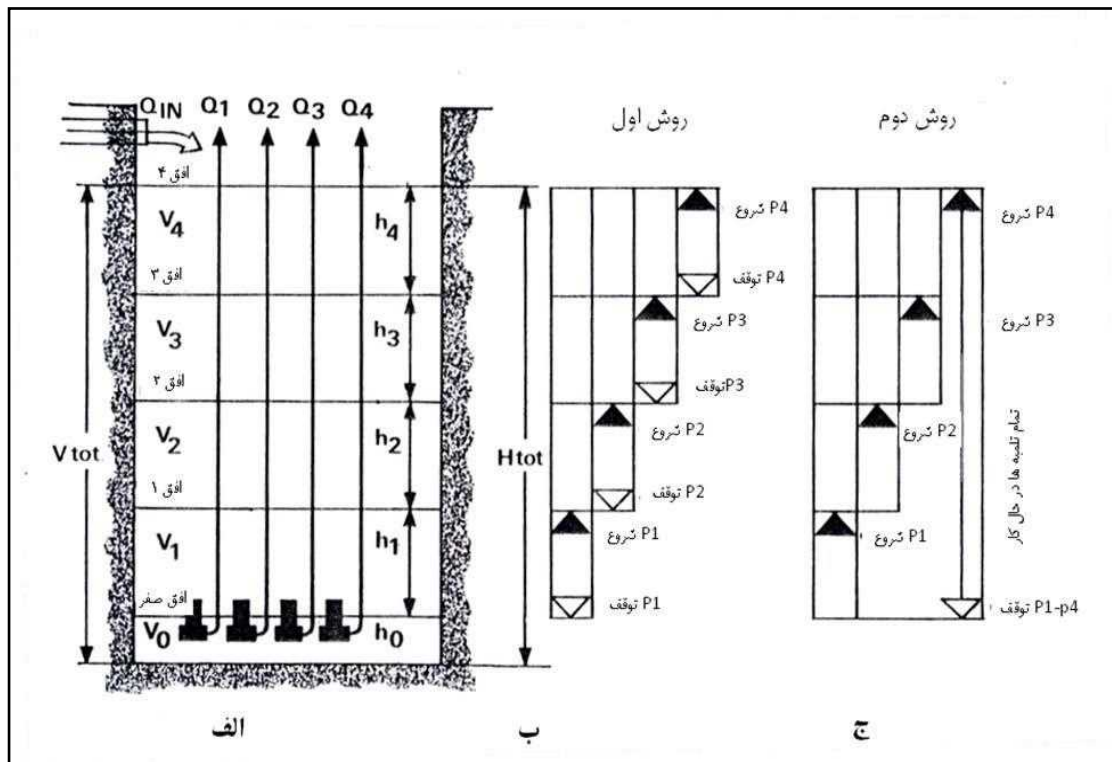


شکل ۴-۱- مخزن با یک تلمبه

در مواردی که چندین تلمبه به طور هم‌زمان کار می‌کنند، بسته به چگونگی کار کردن و توقف آن‌ها، حداقل حجم لازم متفاوت است (شکل ۴-۲). در این موارد، باید از یکی از دو روش زیر استفاده شود:

در روش اول، تلمبه‌ها یکی پس از دیگری به ترتیب به کار می‌افتند و پس از آنکه تمام آن‌ها در مدار وارد شدند، به ترتیب خاموش می‌شوند (شکل ۴-۲-ب) در صورتی که در روش دوم، تلمبه‌ها یکی پس از دیگری به کار می‌افتند و همه با هم کار می‌کنند

و پس از این که سطح آب به حداقل لازم رسید، همه با هم خاموش می‌شوند (شکل ۴-۲-ج).



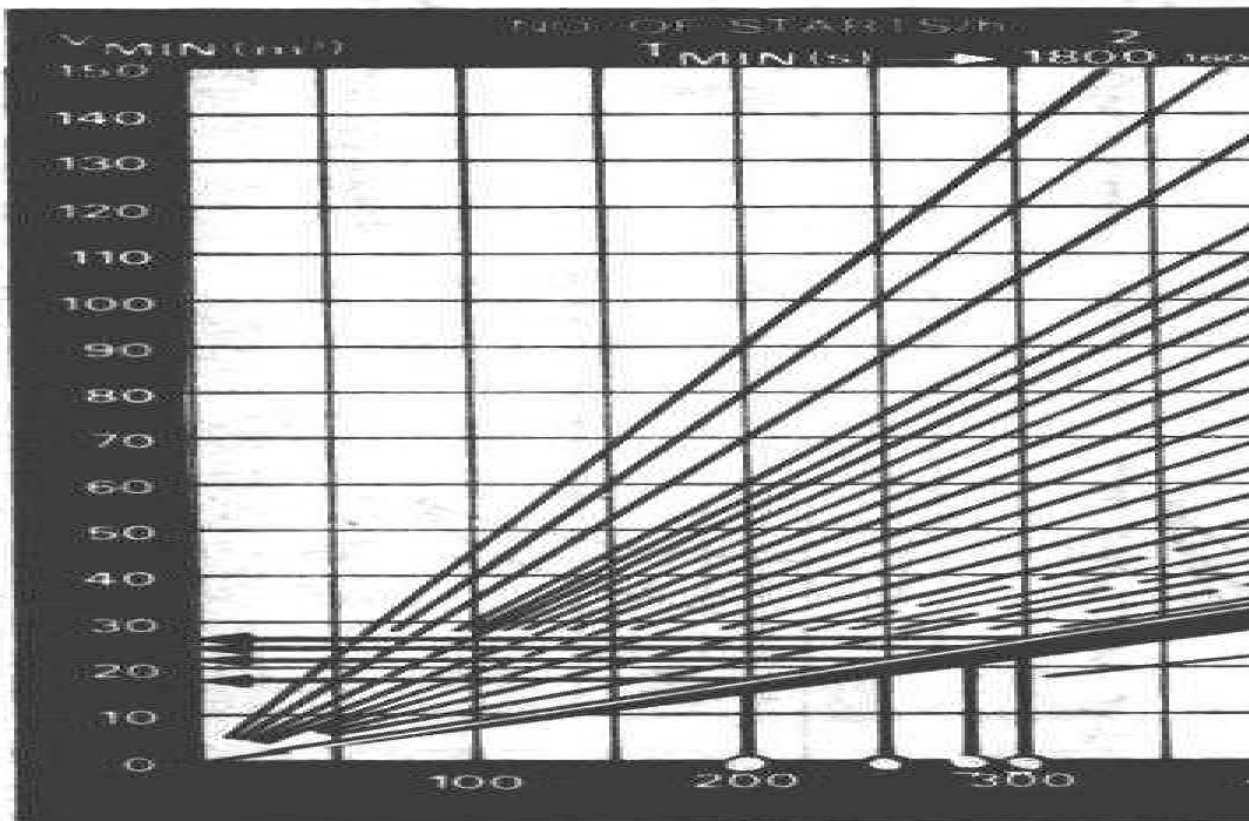
شکل ۴-۲- مخزن با تلمبه‌های متعدد

در هر دو روش، شدت جریانی که هر تلمبه به تنهایی در لوله به جریان می‌اندازد، با شدت جریانی که هر یک در حالت هم‌زمان به جریان می‌اندازند، متفاوت و بیشتر از آن است. نحوه محاسبه حجم مخزن در دو روش یاد شده به شرح زیر است:

#### ۴-۳-۱- روش توقف تدریجی تلمبه‌ها

برای محاسبه حجم مخزن در این روش، می‌توان از نمودار ۳-۴ استفاده کرد. در این نمودار در محور قائم، حداقل حجم بر حسب متر مکعب و در محور افقی، شدت جریان تلمبه بر حسب لیتر در ثانیه آورده شده است. همچنین تعداد دفعات شروع به کار تلمبه در ساعت و نیز زمان بین دو شروع متوالی (بر حسب ثانیه) با خطوط مورب نشان داده شده است.





شکل ۴-۳- محاسبه حجم مخزن در روش توقف تدریجی تلمبه‌ها

به عنوان مثال اگر چهار تلمبه به تناوب کار کنند و شدت جریان آن‌ها به حالت تنهایی و مشترک به ترتیب ۲۵۰، ۲۸۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ لیتر در ثانیه باشد، برای تعیین حجم مربوط به هر مرحله، باید از شدت جریان نظیر هر تلمبه خط قائمی رسم کرد تا خط مورب نظیر تعداد دفعات شروع تلمبه را (که در این مثال ۱۰ بار در ساعت و یا به فواصل زمانی هر ۶ دقیقه است) قطع کند. از محل تلاقی، خط افقی رسم می‌شود تا محور حجم را قطع کند. در این حالت حجم مربوطه به دست می‌آید. بنابراین حداقل حجم مخزن، با توجه به شکل ۴-۲ و بر اساس رابطه زیر برابر است با:

$$V = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = V_0 + 27 + 25 + 22 + 18 = V_0 + 92 \quad \text{متر مکعب}$$

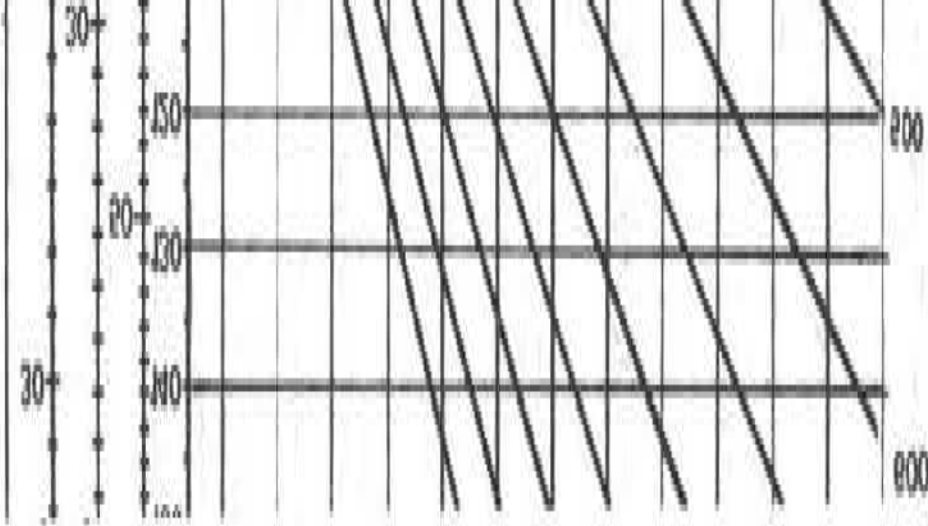
در این رابطه  $V_0$  حداقل حجم مخزن برای نصب تلمبه است.

#### ۴-۳-۲- روش توقف همزمان تلمبه‌ها

برای محاسبه حجم مخزن در این روش، از نمودار ۴-۴ استفاده می‌کنند. در این نمودار، حجم هر مرحله در محور قائم، فاصله زمانی شروع تلمبه‌ها در محور افقی و شدت جریان تلمبه‌ها روی خطوط مورب آورده شده است. برای محاسبه حجم مخزن هر مرحله، از نقطه نظیر فاصله زمانی (که در این مثال ۶ دقیقه است) خط قائمی رسم می‌شود تا محور قائم را در نقطه نظیر حجم مربوطه قطع کند. به عنوان مثال، با همان اطلاعات تلمبه‌های قبلی، حجم هر مرحله به شرح زیر خواهد شد:



$$Q^1 = 3001^2$$



فصل

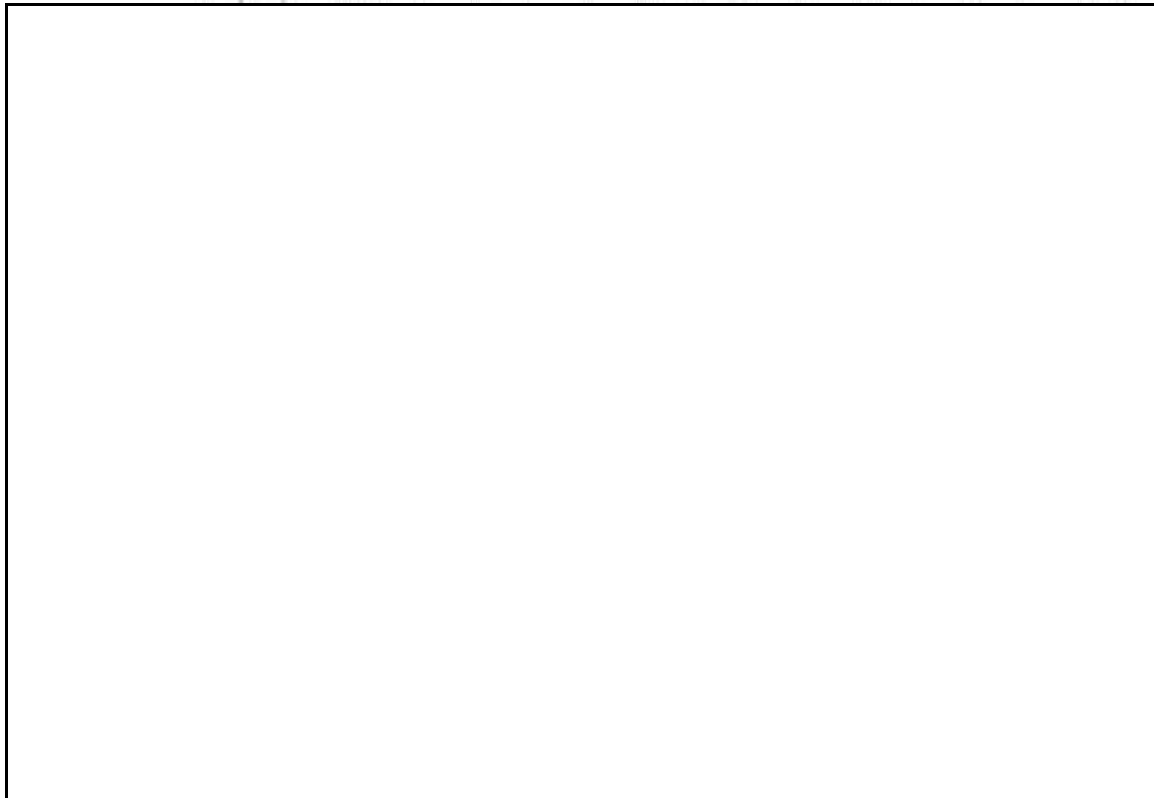
۳۷

$V_1 :$

م

$V =$

و



شکل ۴-۴- نمودار محاسبه حجم مخزن در روش توقف همزمان تلمبه‌ها

#### ۴-۴- تجهیزات و تاسیسات مخزن

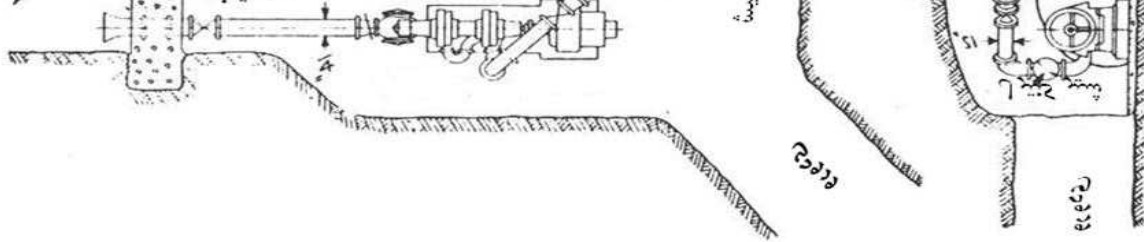
شکل و ابعاد مخزن آب، تابع امکانات و وضعیت معدن است. در جلو مخزن آب، تلمبه‌خانه قرار دارد و بسته به نوع تلمبه‌ها، ارتباط تلمبه با مخزن به یکی از دو روش زیر انجام می‌گیرد:

#### ۴-۴-۱- ارتباط مخزن و تلمبه به وسیله لوله

این روش در مواردی به کار می‌رود که برای آبکشی از تلمبه‌هایی که به حالت افقی نصب شده‌اند استفاده شود (شکل ۴-۵). مطابق شکل، تلمبه‌خانه به وسیله دیوار بتنی از مخزن آب جدا شده و لوله مکش تلمبه، از زیر این دیوار، به مخزن آب مرتبط می‌شود. تمام تلمبه‌ها و از جمله تلمبه یدکی با مخزن آب ارتباط دارند.



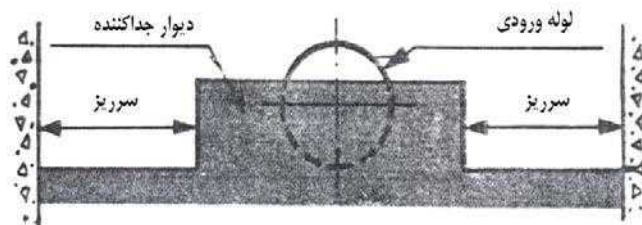




شکل ۴-۵- ارتباط مخزن آب و تلمبه‌خانه

#### ۴-۴-۲- ارتباط مستقیم مخزن و تلمبه

در مواردی که از تلمبه‌های مستغرق<sup>۱</sup> استفاده می‌شود، اگر چه مخزن و تلمبه‌خانه به وسیله دیوار حایلی از یکدیگر جدا هستند ولی در زیر دیوار و در مقابل هر تلمبه، سوراخی احداث می‌شود که آب از طریق آن مستقیماً وارد چشم تلمبه می‌شود. دیواره حایل، مخزن را به دو بخش، محفظه آب ورودی و محفظه تلمبه تقسیم می‌کند. معمولاً ارتفاع دیواره در جلو لوله ورودی کمی بلندتر از ارتفاع لوله و در اطراف کمی کوتاه‌تر است. در مواردی که آب ورودی زیاد باشد، آب به حالت سرریز از روی آن عبور می‌کند (شکل ۴-۶).

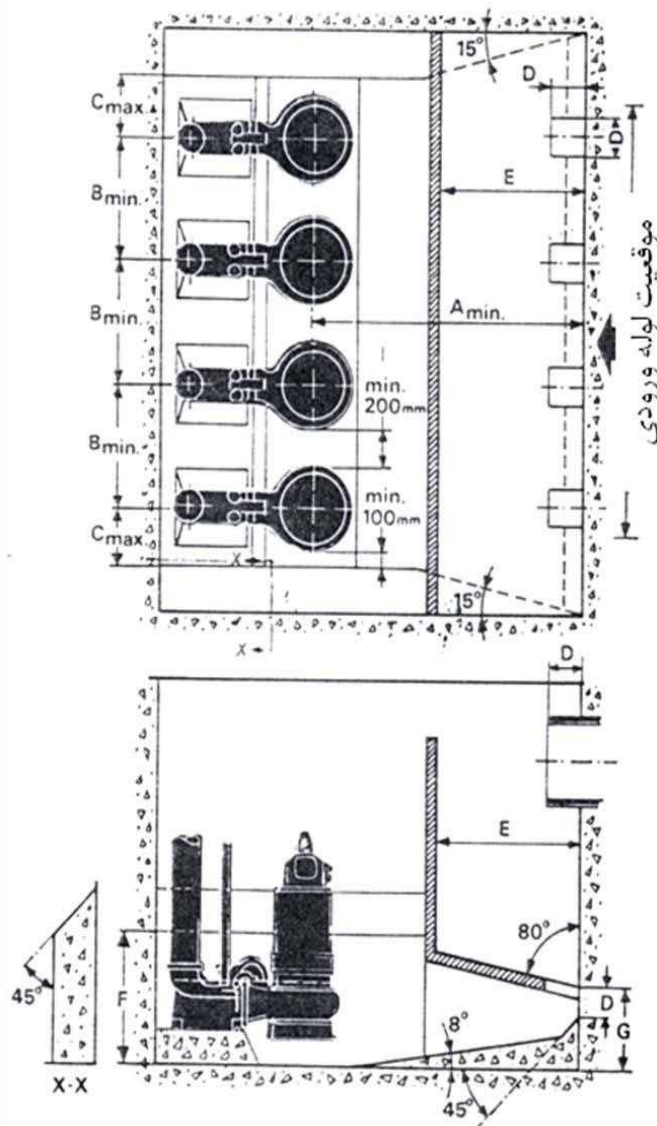


شکل ۴-۶- دیواره حایل بین محفظه‌های آب ورودی و تلمبه

1-Submersible



در شکل ۴-۷ تصاویر افقی و قائم مخزن و تلمبه‌خانه با چهار تلمبه نشان داده است. ابعاد قسمت‌های مختلف این مخزن را می‌توان از نمودار ۴-۸ به دست آورد. به هنگام محاسبه ابعاد مخزن با استفاده از این نمودار ابعاد  $B$  و  $C$  یعنی فاصله بین دو تلمبه آخری تا دیواره تلمبه‌خانه نباید به ترتیب از ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد.

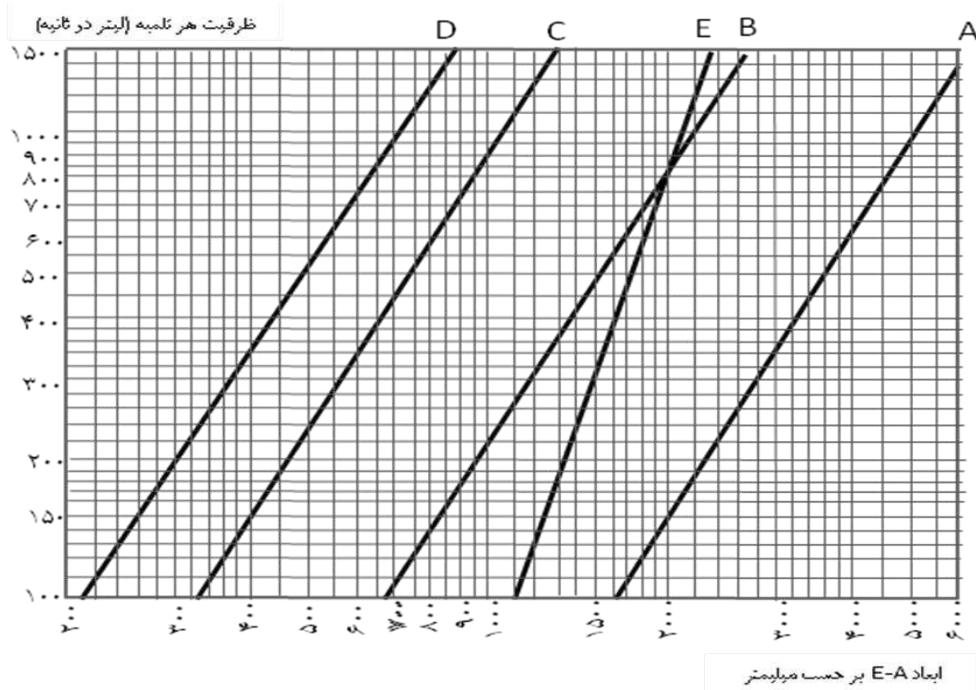


شکل ۴-۷- تصاویر افقی و قائم مخزنی با چهار تلمبه

#### ۴-۵- نحوه احداث مخزن

اولین قدم در آماده‌سازی محل، توجیه و پیاده کردن محل مخزن و سپس حفر آن است پس از آماده شدن محل، باید دیوارهای آن را به وسیله بلوک‌های بتنی یا بتن‌پاشی نگهداری و کف مخزن را نیز بتن‌ریزی کرد. پس از آماده شدن مخزن، باید محل تلمبه‌خانه را که معمولاً در جلو مخزن است، مشخص و دیوار حایل را احداث کرد. مرحله بعد، احداث فونداسیون تلمبه و موتور آن

است. طول و عرض قشر بتن زیر تلمبه و موتور باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر از ابعاد موتور و تلمبه بزرگتر و ضخامت آن حدود ۱۰ سانتی‌متر باشد.



شکل ۴-۸- نمودار محاسبه ابعاد مخزن شکل ۴-۷



# فصل ۵

---

---

## دستور العمل انتخاب مشخصات

### لوله انتقال آب





### ۵-۱- آشنایی

آبی که از طریق غنو در مخزن آب جمع می‌شود، باید از طریق خط لوله و به کمک تلمبه، به بیرون معدن انتقال یابد. خط لوله باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

الف- باید قادر به تحمل فشارهای موثر باشد که در بعضی موارد ممکن است به چند ده بار برسد. همچنین باید نوسانات فشار را نیز تحمل کند.

ب- خط لوله باید به گونه‌ای احداث شود که در موارد لزوم، به سهولت بتوان قطعات آن را جدا، تعمیر یا تعویض کرد.

پ- از آنجا که آب‌های معدنی حاوی مواد شیمیایی مختلف‌اند، لذا داخل و خارج خط لوله باید در مقابل خوردگی مقاوم باشد.

ت- از نظر مکانیکی نیز خط لوله باید مقاوم باشد و در اثر ضربات احتمالی، آسیب نبیند.

از آنجا که شدت جریان آبکشی از جمله عوامل مهم در تعیین قطر و سایر مشخصات خط لوله است لذا ابتدا باید شدت جریان آبکشی مشخص شده و در پی آن، مشخصات خط لوله تعیین شود.

### ۵-۲- تعیین شدت جریان آبکشی

شدت جریان آبی که باید از لوله‌ها عبور کند تابع مقدار آب موجود در معدن است و نیز به قدرت تلمبه و مدت زمانی که از آن استفاده می‌شود بستگی دارد. حجم مخزن آب داخل معدن نیز عامل دیگری در تعیین این شدت جریان است.

یکی از مسایل مهم در این مورد، آن است که شدت جریان و زمان آبکشی به گونه‌ای انتخاب شود که از نظر مصرف انرژی با صرفه‌ترین باشد. بعضی از مصرف‌کننده‌های انرژی در معدن مثل بادبزن اصلی، روشنایی داخل معدن، دستگاه‌های حمل و نقل و حفاری دائمی هستند. بعضی از مصارف انرژی نیز مانند روشنایی محوطه بیرون معدن و منازل مسکونی الزاما باید در زمان معینی انجام شود. معمولاً در طول ساعات ۲۲ شب تا ۶ صبح، مصارف متفرقه وجود ندارد و از نظر متعادل شدن مصرف برق در شبانه‌روز، می‌توان آبکشی را در این مدت انجام داد. بنابراین نحوه تامین انرژی برق معدن نیز از جمله مسایل مهمی است که در تعیین شدت جریان آبکشی تاثیر دارد.

با توجه به آنکه در مرحله اکتشاف، میزان آبی که در مراحل مختلف معدنکاری در معدن به جریان می‌افتد تعیین می‌شود لذا در مرحله طراحی سیستم آبکشی معدن با توجه به این داده‌ها، باید شدت جریان مناسب را انتخاب کرد. در حالت کلی، توصیه می‌شود که شدت جریان آبکشی به گونه‌ای انتخاب شود که طی یک شیفت کاری (ترجیحاً ساعت ۲۲ شب تا ۶ صبح) بتوان کل آب یک شبانه‌روز را به بیرون معدن انتقال داد.

### ۵-۳- تعیین قطر لوله‌ها

انتخاب قطر لوله تابع شدت جریان، سطح مقطع چاه یا تونل مورب و محدودیت انرژی است، زیرا خط لوله آبکشی قسمتی از فضای مفید حفاریه را می‌گیرد. اگر فقط لوله‌های معینی در دسترس و استفاده از آن‌ها الزامی باشد، باید خط لوله را محاسبه و با توجه



به اختلاف ارتفاع و افت حاصله، تلمبه مناسب را برای آن انتخاب کرد. در بسیاری موارد، از نقطه نظر انتخاب تلمبه محدودیت وجود دارد یعنی در بازار تلمبه‌هایی موجود است که به ناچار باید از آن‌ها استفاده کرد. در چنین حالاتی قطر لوله را باید متناسب با تلمبه انتخاب کرد.

اگر هیچ محدودیتی وجود نداشته باشد، قطر لوله را باید بر اساس سرعت مجاز انتخاب کرد. سرعت آب در لوله باید به گونه‌ای باشد که فشار دینامیکی آب بتواند مواد موجود در آب را به بالا حرکت دهد و بنابراین بسته به نوع ذرات و مواد همراه با آب، این سرعت متفاوت است (جدول ۵-۱). از آنجا که لوله‌ها در قطرهای استاندارد تهیه می‌شوند لذا باید لوله‌ای را انتخاب کرد که سرعت آب در آن به سرعت مورد نظر نزدیکتر باشد. استاندارد قطر لوله‌ها بر حسب اینچ به شرح جدول ۵-۲ است.

جدول ۵-۱- سرعت مناسب آب در لوله در حالت‌های مختلف (اعداد بزرگتر مربوط به لوله‌های قائم است)

سرعت مناسب - متر در ثانیه	نوع مواد و ذرات همراه با آب
۱/۵-۲/۱	پساب کارخانه کانه‌آرایی
۲/۴-۳	ماسه ریز
۳/۴-۳/۷	ماسه معمولی
۳/۷-۴	ماسه درشت تمیز
۴/۳-۴/۵	شن و خرده سنگ

جدول ۵-۲- استاندارد لوله‌های صنعتی

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
قطر اسمی بر حسب اینچ	۱/۲	۳/۴	۱	۱ ۱/۴	۱ ۱/۲	۲	۲ ۱/۲	۳	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸
قطر اسمی بر حسب میلی‌متر	۱۲/۷	۱۹/۰۵	۲۵/۴	۳۱/۷۵	۳۸/۱	۵۰/۸	۶۳/۵	۷۶/۲	۱۰۱/۶	۱۵۲/۴	۲۰۳/۲	۲۵۴	۳۰۴/۸	۳۵۵/۶	۴۰۶/۴	۴۵۷/۲

اگر مخزن آب به اندازه کافی بزرگ باشد که گل و لای همراه با آب در آن ته‌نشین شود، سرعت ۱/۵ متر در ثانیه از نظر افت انرژی سرعت مناسبی است که توصیه می‌شود قطر محاسبه‌ای لوله بر اساس آن و از رابطه زیر انتخاب شود:

$$d = \sqrt{0.8488Q} \quad (۱-۵)$$

که در آن:

$d$  = قطر لوله بر حسب متر

$Q$  = شدت جریان آبکشی بر حسب متر مکعب در ثانیه

پس از مشخص شدن قطر محاسبه‌ای، باید با مراجعه به جدول ۵-۲، نزدیک‌ترین قطر به قطر محاسبه‌ای انتخاب و محاسبات بر اساس آن انجام شود.



### ۵-۴- انتخاب جنس لوله‌ها

لوله‌های فولادی جدار ضخیم از جمله بهترین لوله‌هایی هستند که در آبکشی معدن به کار می‌روند. معمولاً قطر لوله‌های فشار قوی بیشتر از ده اینچ نیست زیرا در غیر این صورت، قطعات آن سنگین شده و نصب و تعویض آن‌ها در داخل چاه مشکل می‌شود. برای آبکشی‌های موضعی، اگر فشار موثر بر خط لوله زیاد نباشد از لوله‌های ساخته شده از مواد پلیمری می‌توان استفاده کرد. مثلاً لوله‌های از جنس پلی‌اتیلن نرم تا فشار ۱۰ اتمسفر را به خوبی تحمل می‌کنند. لوله‌های ساخته شده از پلی‌اتیلن سخت نیز تا ۱۰ اتمسفر را تحمل می‌کنند و بسیار سبک‌تر از لوله‌های فولادی‌اند.

از آنجا که در معادن عمیق، ارتفاع آبکشی و در نتیجه فشار موثر بر لوله‌ها زیاد است لذا در این موارد، باید از لوله‌های فولادی بدون درز استفاده کرد. انتخاب نهایی لوله مشروط بر آن است که از نظر تحمل فشار به شرطی که در بند ۵-۵ آمده است، کنترل شود.

### ۵-۵- بررسی لوله از نظر تحمل فشار

پس از تعیین حداکثر فشار موثر بر لوله مشخصات آن باید در رابطه زیر صدق کند:

$$\frac{P \times r}{\delta} < f\sigma \quad (۲-۵)$$

که در آن:

$P$  = حداکثر فشار موثر بر لوله بر حسب پاسکال

$r$  = شعاع داخلی لوله بر حسب میلی‌متر

$\delta$  = ضخامت جدار لوله بر حسب میلی‌متر

$f$  = ضریب ایمنی

$\sigma$  = تنش کششی مجاز لوله بر حسب پاسکال

اگر مشخصات لوله در این رابطه صادق نباشد، باید یا لوله‌های مقاوم‌تری را انتخاب کرد یا با احداث ایستگاه‌های فرعی پمپاژ، فشار موثر بر لوله را کاهش داد تا رابطه ۲-۵ برقرار شود.

### ۵-۶- نحوه نصب لوله

نحوه نصب لوله به جنس و مشخصات آن بستگی دارد. لوله‌هایی که از پلی‌اتیلن ساخته شده‌اند، به صورت قرقره‌اند و در بعضی موارد طول قرقره به چند ده متر می‌رسد. این لوله‌ها چندان نیازی به اتصالات ندارند و به علت سبکی به آسانی قابل نصب‌اند.

لوله‌های فولادی فشار قوی به وسیله فلانچ به یکدیگر متصل می‌شوند. در این نوع اتصال، واشر بین فلانچ نیز باید از جنسی باشد که فشار وارده را تحمل کند. معمولاً چندین شاخه لوله را در بیرون به یکدیگر متصل کرده و آنگاه آن‌ها را داخل چاه می‌کنند. به کمک قفس و جرثقیل معدن می‌توان تا ۱۰۰ متر لوله سنگین را داخل چاه حمل و آن را نصب کرد.

وزن لوله‌ها به وسیله تیرآهن‌هایی که در فواصل معین با بتن در داخل چاه محکم شده‌اند، تحمل می‌شود. در بعضی موارد، لوله‌ها از سرچاه پایین داده می‌شوند و همانند چاه‌های آب، از بالا، لوله‌های جدیدی به آن جوش داده می‌شوند و یا به وسایل دیگر متصل



می‌شوند. لوله‌های به طول چند ده متر نیز با این روش قابل نصب است. اتصال لوله‌ها به هر نحو که باشد، در طول هر قطعه آزاد آن باید حداقل یک اتصال قابل انبساط و انقباض موجود باشد تا به هنگام تغییر دما، اشکالی پیش نیاید.



# فصل ۶

---

---

## دستور العمل محاسبه افت در خط لوله





## ۶-۱- آشنایی

پس از تعیین شدت جریان آبکشی و انتخاب قطر و جنس لوله، باید افت انرژی در خط لوله طی مراحل زیر محاسبه شود:

الف- تعیین رژیم جریان آب

ب- محاسبه ضریب اصطکاک با استفاده از جدول‌های عمومی

پ- محاسبه ضریب اصطکاک در جریان آرام

ت- محاسبه ضریب اصطکاک در لوله‌های صاف

ث- محاسبه ضریب اصطکاک در لوله‌های زبر

ج- محاسبه افت‌های موضعی

چ- محاسبه افت دینامیکی

## ۶-۲- تعیین رژیم جریان آب در لوله

از آنجا که در بسیاری از فرمول‌های محاسبه افت، نوع جریان و عدد رینولدز دخالت دارند لذا ابتدا باید عدد رینولدز جریان از رابطه

زیر محاسبه شود:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (۱-۶)$$

که در آن:

$Re$  = عدد رینولدز (بدون بعد)

$V$  = سرعت آب در لوله که از تقسیم شدت جریان آبکشی بر سطح مقطع لوله به دست می‌آید.

$d$  = قطر لوله

$\nu$  = ضریب گرانیوی سینماتیکی آب

ضریب گرانیوی سینماتیکی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (۲-۶)$$

که در آن:

$\mu$  = ضریب گرانیوی دینامیکی

$\rho$  = جرم مخصوص

در کاربرد روابط ۶-۱ و ۶-۲ باید تمام اجزای فرمول طی سیستم آحاد یکسانی عددگذاری شوند. در جدول ۶-۱ ضریب گرانیوی

دینامیکی آب در سیستم آحاد C.G.S داده شده است.

اگر عدد رینولد محاسبه شده بیش از ۲۳۰۰ باشد (که عموماً خیلی بیش از این مقدار است)، جریان در لوله به حالت معشوش است



که باید از روابط مربوط به جریات مغشوش استفاده کرد و در غیر این صورت جریان به حالت آرام است.

جدول ۶-۱- ضریب گرانیروی دینامیکی آب در دماهای مختلف

ضریب گرانیروی دینامیکی سانتی پواز	دما درجه سانتی گراد
۱/۷۹۷	۰
۱/۵۲۸	۵
۱/۳۰۷	۱۰
۱/۱۴۰	۱۵
۱/۰۰۴	۲۰
۰/۸۹۵	۲۵
۰/۸۰۳	۳۰
۰/۶۵۵	۴۰
۰/۵۵۱	۵۰
۰/۴۷۰	۶۰

### ۶-۳- رابطه عمومی محاسبه افت در لوله‌ها

رابطه عمومی محاسبه افت در لوله‌ها موسوم به رابطه داریسی - ویسباخ<sup>۱</sup> به شرح زیر است:

$$h_f = \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (۳-۶)$$

که در آن:

$h_f$  = ارتفاع نظیر افت در لوله

$\lambda$  = ضریب اصطکاک لوله (بدون بعد)

$l$  = طول لوله

$d$  = قطر لوله

$V$  = سرعت آب در لوله

$g$  = شتاب جاذبه

این رابطه به صورت زیر نیز نوشته می‌شود:

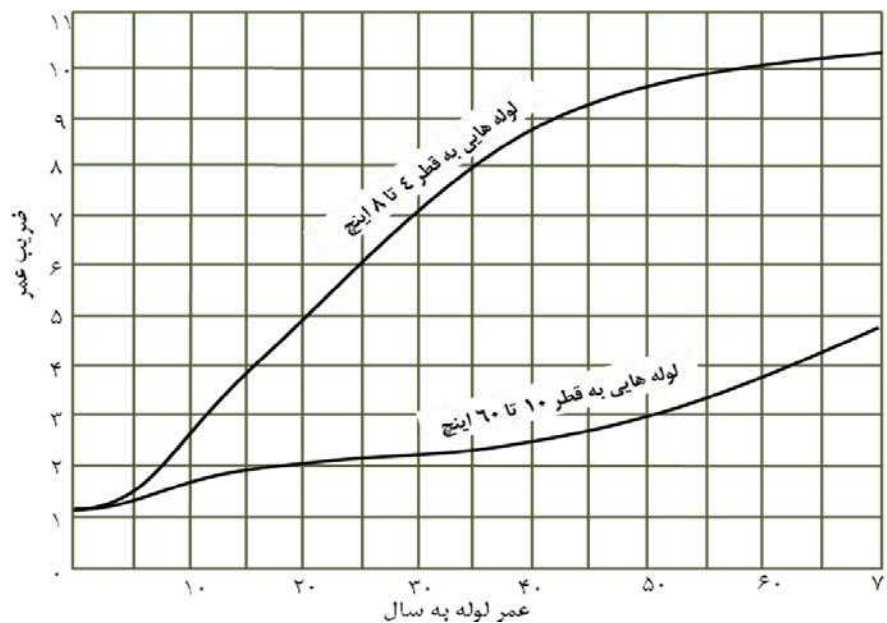
$$S = \frac{h_f}{l} = \frac{\lambda}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (۴-۶)$$



که در آن  $K$  افت حاصله به ازای واحد طول لوله است. مهم‌ترین مساله در مورد محاسبه افت در لوله‌ها، تعیین ضریب اصطکاک مربوط به آن‌ها است که در حالت کلی تابع عدد رینولدز و زبری داخلی لوله است اما عامل زمان نیز در این ضریب موثر است که باید در نظر گرفته شود. ضریب اصطکاک لوله‌هایی که مدتی کار کرده‌اند به مراتب بیش از لوله‌های نو است زیرا به مرور زمان، سطح داخلی لوله فرسوده شده و زبری آن زیادتر می‌شود.

در طراحی لوله‌ها، بسته به مدت استفاده از لوله باید ضریب اصطکاک را بیشتر در نظر گرفت تا در آینده نیز استفاده از خط لوله به اشکال برنخورد. بدین منظور می‌توان از شکل ۶-۱ که در آن ضریب عمر متوسط لوله نسبت به سال‌های مختلف نشان داده شده است استفاده کرد.

تاثیر زمان در مورد لوله‌های کوچک به مراتب زیادتر از تاثیر آن در مورد لوله‌های بزرگ است زیرا زبری نسبی حاصله در مورد لوله‌های با قطر کوچک، اثر زیادتری دارد. در هر مورد می‌توان به کمک منحنی ۶-۱، ضریب عمر لوله را تعیین کرد و از حاصل ضرب آن در ضریب اصطکاک لوله، ضریب اصطکاک واقعی آن را به دست آورد.



شکل ۶-۱ - ضریب عمر متوسط لوله نسبت به سال‌های استفاده از آن

## ۶-۴ - جدول‌های عمومی محاسبه افت در لوله‌ها

صرف نظر از نوع جریان، بسته به نوع لوله‌ها می‌توان ضریب افت  $f$  را از جدول‌های عمومی به دست آورد. جدول ۶-۳ نمونه‌ای از این جداول است که بسته به نوع لوله، از آن می‌توان استفاده کرد.



## جدول ۶-۳- ضریب اصطکاک برای لوله‌های مختلف

(عدد حاصل از جدول را باید در  $10^{-4}$  ضرب کرد تا ضریب اصطکاک حاصل شود. این ضرایب فقط برای آب در دمای ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد معتبر است.)

سرعت - متر در ثانیه											وضعیت لوله	قطر لوله اینچ
۹	۶	۴/۵	۳	۲/۴	۱/۸	۱/۵	۱/۲	۰/۹	۰/۶	۰/۳		
۲۵۰	۲۵۰	۲۶۰	۲۷۰	۲۸۰	۲۸۵	۲۹۰	۳۰۰	۳۱۰	۳۲۰	۳۵۵	معمولی	۴
۱۸۵	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰	۲۲۵	۲۳۰	۲۴۰	۲۵۰	۲۶۵	۳۰۰	نو	
۲۳۵	۲۴۰	۲۵۰	۲۶۰	۲۶۵	۲۷۵	۲۸۰	۲۸۵	۳۰۰	۳۱۰	۳۳۵	معمولی	۶
۱۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۵	۲۱۰	۲۲۰	۲۲۵	۲۴۰	۲۵۰	۲۷۵	نو	
۲۲۵	۲۳۵	۲۴۰	۲۵۰	۲۶۰	۲۶۵	۲۷۰	۲۸۰	۲۸۵	۳۰۰	۳۲۰	معمولی	۸
۱۷۰	۱۷۵	۱۸۵	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۵	۲۱۰	۲۲۰	۲۲۵	۲۴۰	۲۶۵	نو	
۲۲۵	۲۳۰	۲۴۰	۲۴۵	۲۵۵	۲۶۰	۲۶۵	۲۷۰	۲۸۰	۱۹۵	۳۱۵	معمولی	۱۰
۱۶۵	۱۷۰	۱۸۰	۱۸۵	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۵	۲۱۰	۲۲۰	۲۳۰	۲۶۰	نو	
۲۲۰	۲۲۵	۲۳۵	۲۴۰	۲۵۰	۲۵۵	۲۶۰	۲۶۵	۲۷۵	۲۸۵	۳۱۰	معمولی	۱۲
۱۶۰	۱۶۵	۱۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۰۵	۲۱۰	۲۲۵	۲۵۰	نو	
۲۱۰	۲۱۵	۲۲۵	۲۳۵	۲۴۰	۲۵۰	۲۵۵	۲۶۰	۲۶۵	۲۸۰	۳۰۰	معمولی	۱۶
۱۵۵	۱۶۰	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۰۵	۲۲۰	۲۴۰	نو	
۲۰۵	۲۱۵	۲۲۰	۲۳۰	۲۳۵	۲۴۵	۲۵۰	۲۵۵	۲۶۵	۲۷۵	۲۹۰	معمولی	۲۰
۱۵۰	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۱۰	۲۳۰	نو	
۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰	۲۲۵	۲۳۰	۲۴۰	۲۴۵	۲۵۰	۲۵۵	۲۶۵	۲۸۵	معمولی	۲۴
۱۵۰	۱۵۵	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۵	۱۹۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۲۵	نو	
۲۰۰	۲۰۵	۲۱۰	۲۲۰	۲۲۵	۲۳۰	۲۴۰	۲۴۵	۲۵۰	۲۶۵	۲۸۰	معمولی	۳۰
۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۵	۱۹۰	۱۹۵	۲۲۰	نو	
۱۹۵	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰	۲۲۵	۲۳۰	۲۳۵	۲۴۰	۲۴۵	۲۵۵	۲۷۵	معمولی	۳۶
۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۵	۱۹۵	۲۱۵	نو	
۱۹۰	۱۹۵	۲۰۰	۲۱۰	۲۱۵	۲۲۰	۲۲۵	۲۳۰	۲۴۰	۲۵۰	۲۶۵	معمولی	۴۸
۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۵	نو	



### ۶-۵- محاسبه ضریب افت در جریان آرام

در موارد نادری که عدد رینولدز کمتر از حد بحرانی ۲۳۰۰ و جریان آب در لوله به حالت آرام باشد، ضریب اصطکاک از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\lambda_f = \frac{64}{Re} \quad (۵-۶)$$

که در آن  $\lambda_f$ ، ضریب اصطکاک لوله و  $Re$ ، عدد رینولدز است.

### ۶-۶- محاسبه ضریب اصطکاک لوله‌های صاف در جریان مغشوش

اگر چه در عمل هیچ گاه لوله‌ها کاملاً صاف نیستند و دارای زبری هستند اما طبق پدیده لایه مرزی، به هنگام حرکت آب از درون لوله، قشری در جدار آن تشکیل می‌شود و مادامی که ضخامت این قشر از اندازه ناهمواری‌های سطح داخلی لوله زیادتر باشد، می‌توان لوله را به عنوان لوله صاف در نظر گرفت. برای محاسبه ضریب اصطکاک در لوله‌های صاف در جریان مغشوش روابط زیر قابل استفاده‌اند.

#### ۶-۶-۱- رابطه کوناکوف<sup>۱</sup>

در مواردی که عدد رینولدز در محدوده عدد رینولدز بحرانی (۲۳۰۰ و  $10^6$ ) باشد، استفاده از این رابطه توصیه می‌شود:

$$\lambda_f = \frac{1}{(1.8 \log Re - 1.5)^2} \quad (۶-۶)$$

#### ۶-۶-۲- رابطه بلوزیوس<sup>۲</sup>

در مواردی که عدد رینولدز بین ۲۳۰ تا  $10^5$  باشد، می‌توان این فرمول را به کار برد:

$$\lambda_f = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (۷-۶)$$

#### ۶-۶-۳- رابطه هرمان<sup>۳</sup>

در مواردی که عدد رینولدز جریان در بازه  $10^4$  تا  $2 \times 10^6$  تغییر کند، استفاده از این رابطه توصیه می‌شود:

$$\lambda_f = 0.0054 + \frac{0.396}{Re^{0.3}} \quad (۸-۶)$$

#### ۶-۶-۴- رابطه نیکورادزه<sup>۴</sup>

به ازای اعداد رینولدز در بازه  $10^4$  تا  $10^8$ ، می‌توان این فرمول را به کار برد:



1- Konakov  
2- Blasius  
3-Hermann  
4- Nikuradse



$$\lambda_t = 0.0032 + 0.221 Re^{-0.237} \quad (9-6)$$

### ۶-۷- محاسبه ضریب اصطکاک لوله‌های زبر در جریان مغشوش

در ضریب اصطکاک لوله‌های زبر در جریان مغشوش، دو عامل عدد رینولدز و زبری لوله دخالت دارند. زبری مطلق لوله به عنوان اندازه ناهمواری‌های آن بر حسب یک واحد دلخواه تعریف می‌شود و میزان آن با عمر لوله افزایش می‌یابد. زبری مطلق لوله‌ها در جدول ۶-۴ درج شده است.

باید توجه داشت که زبری مطلق لوله چندان موثر نیست بلکه عامل اصلی، زبری نسبی یعنی حاصل تقسیم اندازه ناهمواری‌ها بر شعاع یا قطر لوله است. برای محاسبه ضریب اصطکاک استفاده از روابط زیر توصیه می‌شود:

#### ۶-۷-۱- رابطه آتشلول

این رابطه به شکل زیر است:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_t}} = 1.8 \log \left( \frac{Re}{Re \frac{k}{d} + 7} \right) \quad (10-6)$$

که در آن  $d$ ، قطر لوله و  $k$ ، زبری مطلق لوله است.

#### ۶-۷-۲- رابطه کلبروک<sup>۱</sup>

این رابطه به شرح زیر است:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_t}} = 2 \log \left( \frac{3.71}{\frac{k}{d}} \right) \quad (11-6)$$

که در آن  $d$ ، قطر لوله و  $k$ ، زبری مطلق لوله است.

#### ۶-۷-۳- رابطه کارمان<sup>۲</sup>

رابطه کارمان به شرح زیر است:

$$\lambda_t = \frac{8}{(4.75 + 5.75 \log \frac{r}{k})^2} \quad (12-6)$$

که در آن  $d$ ، قطر لوله و  $k$ ، زبری مطلق لوله است.

1 - Colebrook  
2 - Karman



جدول ۶-۴- زبری مطلق لوله‌ها

جنس لوله	نوع لوله	زبری مطلق بر حسب میلی‌متر (e)
لوله بی‌درز فولادی	نو (متفاوت بر حسب درجه‌ی صیقلی)	۰/۰۱ تا ۰/۰۵
لوله فولادی با درز	نو	۰/۱۰ تا ۰/۰۵
	قشر نازک روی جدار لوله	۰/۲۰ تا ۰/۱۵
	قشر ضخیم روی جدار لوله	تا ۳
لوله فولادی پرچ شده	مختلف بر حسب طرز تهیه و نوع پرچ	۱ تا ۵ و حتی بیشتر تا حدود ۱۰
لوله آهنی گالوانیزه	نو	۰/۱۲ تا ۰/۱۵
لوله آهنگری شده	نو	۰/۰۵
	نو- روکش سیمان یا قیر (درون لوله)	۰ صیقلی تا ۰/۱۲
لوله چدنی از جمله لوله‌های ریخته‌گری شده با روش گریز از مرکز (اتصال پیچ و مهره- اتصال نر و ماده)	نو- بدون روکش	۰/۲۵
	زنگ‌زده	تا ۱/۵
	قشر ضخیم زنگ‌زدگی	تا ۳

### ۶-۸- محاسبه افت موضعی در لوله‌ها

افت موضعی در نتیجه پدیده‌های موضعی از قبیل تنگ شدن یا گشاد شدن ناگهانی یا تدریجی مقطع، زانویی، شیرفلکه و نظایر آن در خط لوله به وجود می‌آید. از آنجا که عموماً حرکت آب در لوله‌ها به حالت مغشوش است، لذا روابط، فقط برای محاسبه افت موضعی در حالت جریان مغشوش در لوله‌ها صادق است.

#### ۶-۸-۱- گشاد شدن ناگهانی لوله

اگر مقطع لوله به طور ناگهانی از  $A_1$  به  $A_2$  افزایش یابد، سرعت آن از  $V_1$  به  $V_2$  کاهش خواهد یافت و ارتفاع نظیر افت آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h_{exp} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (۶-۱۳)$$

که در آن

$A_1$  = سطح مقطع اولیه لوله

$A_2$  = سطح مقطع قسمت گشاد شده لوله

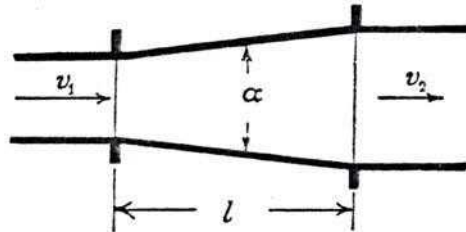
$V_1$  = سرعت در مقطع اولیه لوله

$V_2$  = سرعت در قسمت گشاد شده لوله



## ۶-۸-۲- گشاد شدن تدریجی لوله

اگر مقطع لوله تدریجا گشاد شده و قطر آن از  $d_1$  به  $d_2$  تبدیل شود، سرعت آن نیز از  $V_1$  به  $V_2$  کاهش می‌یابد (شکل ۶-۲). در این حالت اگر  $\alpha$  زاویه واگرایی باشد، ارتفاع نظیر افت حاصله در نتیجه این تغییر مقطع از رابطه زیر به دست می‌آید:



شکل ۶-۲- گشاد شدن تدریجی لوله

$$h_{\text{eff}} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (۱۴-۶)$$

اندازه ضریب  $\varphi$  در حالت‌های مختلف از جدول ۶-۵ به دست می‌آید.

جدول ۶-۵- ضریب  $\varphi$  برای زوایای واگرایی مختلف

زاویه $\alpha$ بر حسب درجه							$d_2/d_1$
۶۰	۵۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۴	
۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۲	۱/۲
۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۳	۱/۴
۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۱/۶
۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۴۴	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۴	۱/۸
۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۲
۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۴۸	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۲/۵
۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۳
۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۴۹	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۴
۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۵

## ۶-۸-۳- تنگ شدن ناگهانی لوله

در حالتی که مقطع لوله به طور ناگهانی کاهش یابد و قطر آن از  $d_1$  به  $d_2$  تغییر کند، اگر سرعت آب در قسمت باریک لوله  $V_2$  فرض شود ارتفاع نظیر افت حاصله از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_{\text{con}} = \frac{V_2^2}{2g} \quad (۱۵-۶)$$

اندازه ضریب  $\varphi_{\text{con}}$  از جدول ۶-۶ به دست می‌آید.



جدول ۶-۶- مقادیر ضریب  $\varphi_{con}$  به ازای نسبت‌های مختلف  $\frac{d_1}{d_2}$

۵	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۸	۱/۶	۱/۴	۱/۲	$\frac{d_1}{d_2}$
۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۸	$\varphi_{con}$

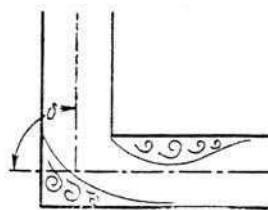
### ۶-۸-۴- تنگ شدن تدریجی لوله

اگر قطر لوله به تدریج از  $d_1$  به  $d_2$  کاهش یابد، سرعت آب در قسمت باریک لوله  $V_2$ ، زاویه تقارب  $\alpha$ ، نسبت سطح مقطع دو لوله  $n = \frac{A_2}{A_1}$  و ضریب افت لوله  $\lambda_f$  فرض شود، ارتفاع نظیر افت مربوط به آن از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$h_{red} = \frac{\lambda_f}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \frac{V_2^2}{2g} \quad (۱۶-۶)$$

### ۶-۸-۵- زانویی

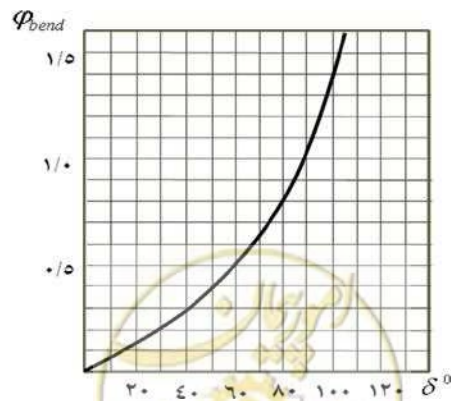
میزان افت زانویی تابع زاویه انحنای زانویی (زاویه  $\delta$ ) است و با افزایش آن افزایش می‌یابد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (شکل ۶-۳):



شکل ۶-۳- زانویی

$$h_{\theta_{end}} = \text{bend} \frac{V^2}{2g} \quad (۱۷-۶)$$

در مواردی که زاویه  $\delta$  حدود ۴۵ درجه باشد، ضریب  $\varphi_{bend}$  بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ متغیر و در مورد زانویی ۹۰ درجه، مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ است. برای تعیین ضریب افت زانویی می‌توان از شکل ۶-۴ استفاده کرد.



شکل ۶-۴- ضریب افت زانویی در حالات مختلف

## ۶-۸-۶- شیرفلکه

از آنجا که شیرفلکه در دو نوع کشویی و ساچمه‌ای ساخته می‌شود لذا بسته به مورد باید از رابطه مربوط به آن به شرح زیر استفاده کرد:

## الف- شیرفلکه کشویی

ارتفاع نظیر افت این نوع شیرفلکه در حالتی که شیر کاملاً باز باشد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_{\varphi_{val}} = \frac{V_{val}^2}{2g} \quad (۱۸-۶)$$

$\varphi_{val}$  ضریب افت شیرفلکه است که معمولاً بین ۰/۱ تا ۱ تغییر می‌کند و اندازه آن را در هر حال می‌توان از جدول ۶-۷ به دست آورد.

جدول ۶-۷- اندازه ضریب افت شیرفلکه کشویی برای قطرهای مختلف

۲	۱	$\frac{۳}{۴}$	$\frac{۱}{۲}$	قطر لوله بر حسب اینچ
۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۸	ضریب افت $\varphi_{val}$

برای شیرفلکه‌های به قطر بیش از ۲ اینچ، ضریب افت معادل ۰/۱۵ در نظر گرفته می‌شود.

## ب- شیرفلکه ساچمه‌ای

این شیرفلکه هنگامی که کاملاً باز هم باشد، افت قابل توجهی ایجاد می‌کند و در مقایسه با شیرفلکه نوع اول میزان افت آن زیادتر است و در مورد آن نیز همان رابطه ۶-۱۸ استفاده می‌شود. ولی ضریب  $\varphi_{val}$  در این حالت بزرگ است و بین ۶ تا ۱۵ تغییر می‌کند و به طور متوسط مقدار آن، ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. روابط مربوط به محاسبه افت موضعی به طور خلاصه در جدول ۶-۸ آمده است.

## ۶-۹- محاسبه افت دینامیکی

به هنگام خروج آب از لوله در زمان تخلیه آب در بیرون معدن، افت قابل توجهی حاصل می‌شود که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad (۱۹-۶)$$

که در آن:

$h_v$  = ارتفاع نظیر افت دینامیکی

$V$  = سرعت آب در زمان خروج از لوله

$g$  = شتاب جاذبه



جدول ۶-۸- افت‌های موضعی در جریان مغشوش

ملاحظات	ارتفاع نظیر افت	نوع پدیده موضعی
	$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$	گشاد شدن ناگهانی لوله
اندازه $\phi$ در جدول ۶-۵ درج شده است.	$h_{\phi} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$	گشاد شدن تدریجی لوله
مقادیر $\phi_{con}$ در جدول ۶-۶ درج شده است.	$h_{\phi} = \frac{V_2^2}{2g}$	گشاد شدن ناگهانی لوله
	$h_{\phi} = \frac{V^2}{2g}$	تنگ شدن تدریجی لوله
اندازه $\phi_{bend}$ بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ متغیر است.	$h_{\phi} = \frac{V^2}{2g}$	زانویی ۴۵
اندازه $\phi_{bend}$ بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ متغیر است.	$h_{\phi} = \frac{V^2}{2g}$	زانویی ۹۰
بین ۰/۱ تا ۱ متغیر است (طبق جدول ۶-۷).	$h = 0 / 15 \frac{V^2}{2g}$	شیرفلکه کشویی
	$h = 0 / 3 \frac{V^2}{2g}$	شیر یک طرفه
بین ۶ تا ۱۵ متغیر است (به طور متوسط ۱۰).	$h = 10 \frac{V^2}{2g}$	شیرفلکه ساچمه‌ای
	$h = 0.50 \frac{V^2}{2g}$	ورود آب از مخزن به لوله
	$h = \frac{V^2}{2g}$	ورود آب از لوله به مخزن





# فصل ۷

---

---

## دستور العمل انتخاب و نصب قلمبه







### ۷-۱- آشنایی

آبی را که در مخزن جمع می‌شود، باید به وسیله تلمبه یا تلمبه‌ها و از طریق خط لوله، به خارج معدن هدایت کرد. بدین منظور ابتدا باید شدت جریان آبکشی را انتخاب و بر اساس آن فشار کلی و در نتیجه توان تلمبه را محاسبه کرد. برای آنکه تلمبه بتواند مطابق برنامه تعیین شده آبکشی را انجام دهد، بعضی تجهیزات و تاسیسات نیز مورد نیاز است که در این فصل چگونگی انتخاب و احداث آن‌ها آمده است.

### ۷-۲- تعیین شدت جریان آبکشی

در حالت کلی، شدت جریان آبکشی را باید به گونه‌ای انتخاب کرد که ظرف مدت یک شیفت کاری ۸ ساعته، تمام آبی که در مدت یک شبانه روز در مخزن آب جمع می‌شود، به خارج معدن انتقال یابد. بنابراین اگر شدت جریان آب ورودی به مخزن  $q$  باشد، شدت جریان آبکشی به وسیله تلمبه ( $Q$ ) برابر است با:

$$Q = 3q \quad (1-7)$$

در مواردی که آب ورودی به معدن خیلی زیاد و یا تلمبه‌ای که ظرف مدت ۸ ساعت بتواند آب را انتقال دهد در دسترس نباشد، در آن صورت باید زمان آبکشی را بیشتر در نظر گرفت. در چنین مواردی، شدت جریان آبکشی با توجه به امکانات و وضعیت موجود انتخاب می‌شود.

### ۷-۳- تعیین فشار کلی تلمبه

فشار کلی تلمبه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h_t = h_s + h_f + h_v \quad (2-7)$$

که در آن:

$h_t$  = ارتفاع نظیر فشار کلی یا ارتفاع رانش کلی

$\Delta z$  = اختلاف ارتفاع بین مخزن آب و نقطه‌ای از سطح زمین که آب از لوله خارج می‌شود.

$h_f$  = مجموع ارتفاع نظیر افت‌های اصطکاکی و موضعی است. اگر جزییات خط لوله در دست باشد، توصیه می‌شود که افت‌های

موضعی جداگانه محاسبه شده و به افت اصطکاکی افزوده شود. اگر در زمان طراحی سیستم آبکشی جزییات خط لوله مشخص نباشد،

توصیه می‌شود که ده درصد به افت‌های اصطکاکی اضافه شده و به عنوان افت‌های موضعی منظور شود.

$h_v$  = ارتفاع نظیر سرعت یا افت دینامیکی است. در رابطه ۷-۲، تمام اجزای فرمول بر حسب متر آب محاسبه می‌شود.

### ۷-۴- محاسبه توان تلمبه

توان تلمبه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:



$$N = \frac{\gamma h_t Q}{1000 \eta_1 \eta_2} = \frac{P_t Q}{1000 \eta_1 \eta_2} \quad (3-7)$$

که در آن:

$N$  = توان تلمبه بر حسب کیلووات

$\gamma$  = وزن مخصوص آب بر حسب نیوتن بر متر مکعب

$Q$  = شدت جریان آبکشی بر حسب متر مکعب در ثانیه

$h_t$  = ارتفاع نظیر فشار کلی یا ارتفاع رانش کلی تلمبه بر حسب متر آب

$P_t$  = فشار کلی تلمبه که از حاصل ضرب وزن مخصوص آب در ارتفاع رانش کلی بر حسب پاسکال به دست می‌آید.

$\eta_1$  = راندمان تلمبه

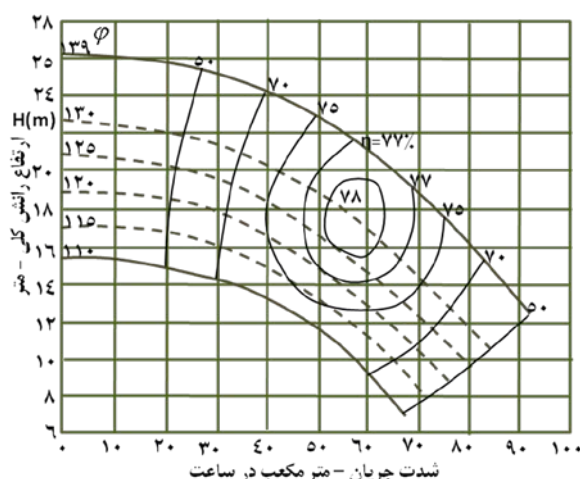
$\eta_2$  = راندمان الکتروموتور تلمبه

### ۷-۵- نحوه انتخاب تلمبه

تلمبه‌ای که برای آبکشی معدن انتخاب می‌شود باید در عین آن که فشار و شدت جریان لازم را تامین می‌کند، راندمان قابل قبولی (حداقل ۷۵٪) نیز داشته باشد. برای انتخاب تلمبه مناسب به یکی از شیوه‌های زیر می‌توان عمل کرد.

#### ۷-۵-۱- استفاده از منحنی مشخصه تلمبه

شرکت‌های سازنده، منحنی مشخصه تلمبه‌ها یعنی منحنی تغییرات فشار به ازای شدت جریان حاصله را همراه با منحنی‌های هم راندمان آن‌ها در اختیار متقاضیان قرار می‌دهند (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- نمونه‌ای از منحنی مشخصه تلمبه‌ها

برای انتخاب تلمبه مورد نظر، با مراجعه به منحنی مشخصه تلمبه‌ها و نقل شدت جریان و ارتفاع رانش کلی به ترتیب به عنوان طول و عرض دستگاه مختصات، نقطه نظیر آن (نقطه  $M$ ) در دستگاه محورهای مختصات مشخص می‌شود. اگر نقطه  $M$  دقیقاً بر

منحنی مشخصه نظیر یکی از تلمبه منطبق شد، به عنوان انتخاب اول در نظر گرفته شده و در صورتی که بین دو منحنی واقع شد، منحنی بالاتر به عنوان گزینه اول انتخاب می‌شود. حال با توجه به منحنی هم راندمان تلمبه که در محدوده نقطه  $M$  قرار دارند، راندمان تلمبه برای این شرایط عملکرد به دست می‌آید. اگر راندمان در محدوده قابل قبول (حداقل ۷۵ درصد) بود، تلمبه مورد نظر مناسب خواهد بود و در غیر این صورت باید به انواع دیگر تلمبه از همان شرکت سازنده و یا شرکت‌های دیگر مراجعه کرد.

### ۷-۵-۲- استفاده از نمودار مدل‌های تلمبه

بسیاری از سازندگان تلمبه‌ها، محدوده مجاز هر یک از تلمبه‌های خود را در دستگاه محورهای مختصات  $P$  و  $Q$  یعنی شدت جریان و فشار مشخص کرده‌اند و در اختیار متقاضیان قرار می‌دهند (شکل ۷-۲). با نقل  $P$  و  $Q$  مورد نظر در این دستگاه‌های مختصات، نقطه تلاقی آن‌ها در محدوده یکی از مدل‌های تلمبه قرار می‌گیرد که در این محدوده، تلمبه راندمان قابل قبول را دارد. اگر نقطه تقاطع  $P$  و  $Q$  در هیچ کدام از محدوده‌های تلمبه قرار نگیرد، این تلمبه‌ها برای آبکشی مورد نظر مناسب نخواهند بود و باید به مدل‌های دیگر یا سازندگان دیگر مراجعه کرد.

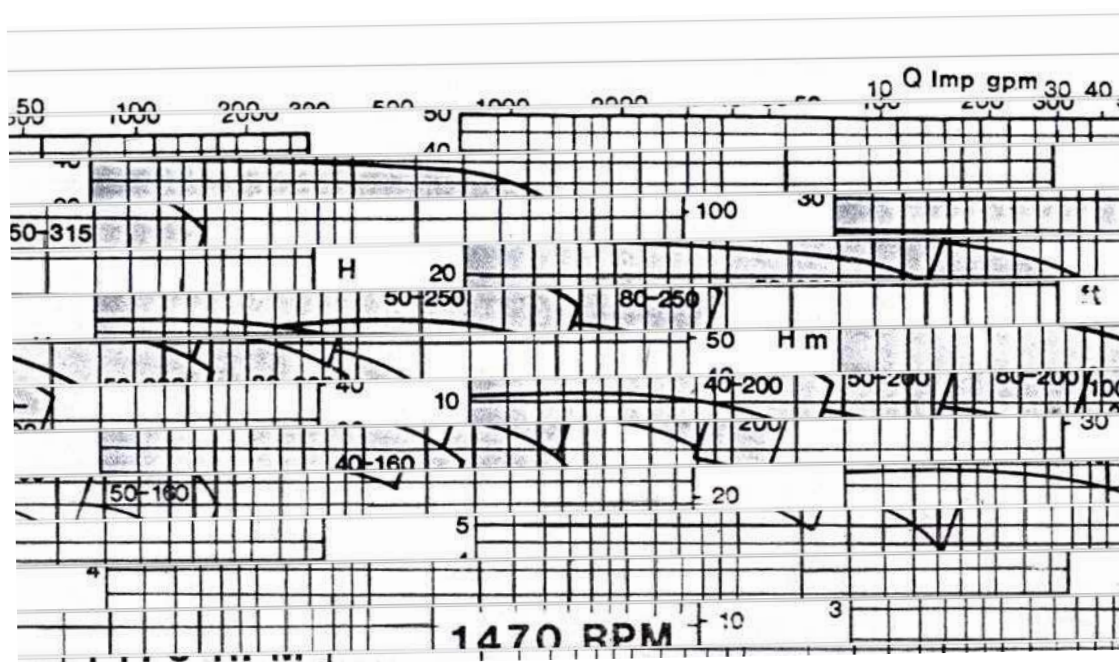
### ۷-۵-۳- استفاده از جدول مشخصات

بعضی از سازندگان، محدوده قابل قبول تلمبه‌های خود را در جدول‌هایی تنظیم کرده‌اند. به عنوان مثال در جدول ۷-۱، نمونه‌ای از این جدول‌ها که برای تلمبه‌های با سرعت دوران مشخص تنظیم شده نشان داده شده است. با نقل شدت جریان و ارتفاع رانش کلی در سطرها و ستون‌های این جدول، از محل تلاقی آن‌ها، مدل مورد نظر به دست می‌آید. در این مورد نیز اگر هیچ یک از خانه‌های جدول جوابگوی شدت جریان و یا ارتفاع رانش مورد نظر نباشد، باید به مدل‌های دیگر و یا شرکت‌های دیگر مراجعه کرد.

### ۷-۶- احداث تلمبه‌خانه

تلمبه‌خانه باید نزدیک به مخزن آب نصب شود و لوله مکش تا حد امکان کوتاه باشد. اگر مخزن حاوی سنگ‌ریزه و سایر ذرات باشد، باید با نصب صافی در ابتدای لوله مکش، از ورود آن‌ها به تلمبه جلوگیری کرد. در مواقعی که تلمبه بالاتر از سطح آب قرار دارد باید در انتهای لوله مکش یک شیر یک طرفه نصب کرد تا لوله مکش هیچ‌گاه خالی نماند. در بعضی موارد تلمبه، کمی پایین‌تر از مخزن نصب می‌شود. در این حالت آب به تلمبه سوار است و هیچ‌گاه تلمبه بدون آب نمی‌ماند. برای تلمبه‌های کوچک، معمولاً محفظه ساخته نمی‌شود. در مورد تلمبه‌های بزرگ، به ویژه هنگامی که زمین اطراف تلمبه مقاوم نباشد، تلمبه‌خانه باید با بتن مسلح ساخته شود. تلمبه‌خانه باید به اندازه کافی وسیع و مرتفع باشد و در سقف آن تعدادی جرثقیل سقفی متحرک نصب شود تا در موارد لزوم بتوان به سرعت، قطعات تلمبه یا موتور آن را تعویض کرد.





شکل ۷-۲- نمودار مدل‌های تلمبه یک شرکت سازنده

تلمبه‌خانه باید روشنایی کافی داشته باشد تا بتوان تمام اجزای تلمبه را به وضوح مشاهده کرد. همچنین فضای آن باید به نحو مناسبی تهویه شود. موتور تلمبه یا تلمبه‌های اصلی معدن عموماً الکتریکی سه فاز است که مستقیماً به شبکه برق معدن وصل می‌شود. انتخاب فشار الکتریکی موتور به قدرت موتور و نیز فشار الکتریکی شبکه معدن بستگی دارد.

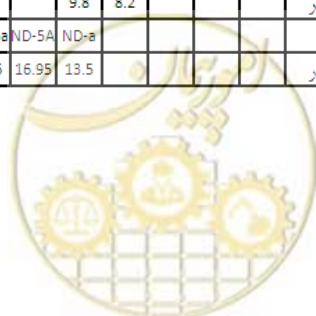
موتورهای با قفس سیم‌پیچی<sup>۱</sup> از جمله متداول‌ترین موتورهایی هستند که برای تلمبه اصلی به کار گرفته می‌شوند. در مسیر موتور باید رله‌های الکتریکی مناسبی نصب کرد تا در موارد لزوم بتواند موتور را قطع و از صدمه دیدن آن جلوگیری کند.

1- Squirrel-cage



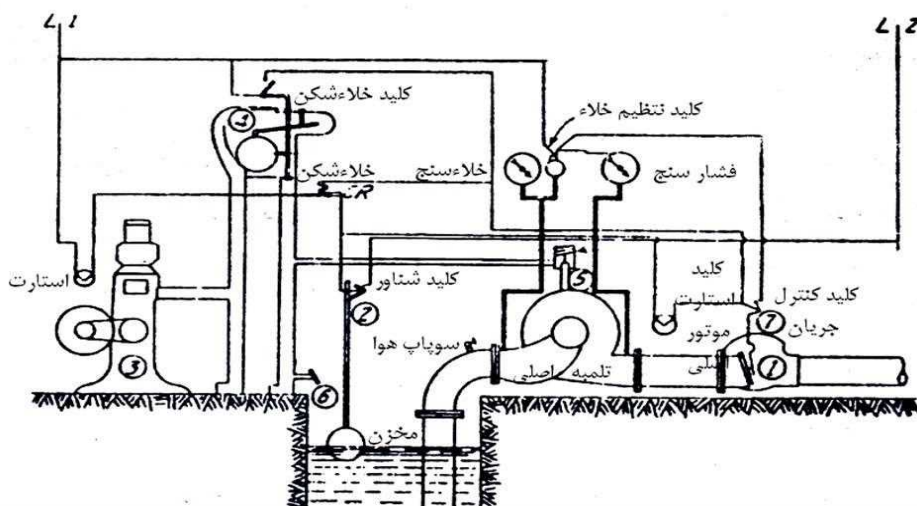
جدول ۷-۱ - جدول انتخاب تلمبه مناسب

ارتفاع کل آبدهی													آبدهی			
30	25	20	18	16	14	12	10	8	6	5	4	3	2	متر	گالن در دقیقه	لیتر در ثانیه
100	82/2	66	59/2	52/6	46	39/5	33	26/3	20	16/5	13/2	10	6/6	فوت		
												NA-2a	NA-2a	تیپ	۱۱	۵۰
												0.09	0.06	اسب بخار		
									NA-3a	NA-3a	NA-3a	NA-2a	NA-2a	تیپ	۲۲	۱۰۰
									0.26	0.22	0.17	0.14	0.12	اسب بخار		
									NA-3a	NA-3a	NA-3a	NA-3a	NA-3a	تیپ	۳۳	۱۵۰
									0.33	0.28	0.24	0.20	0.20	اسب بخار		
						NL-4	NL-4	NN-3a	NN-3a	NN-3a	NA-3a	NA-3a	NA-3a	تیپ	۴۴	۲۰۰
						1.1	0.9	0.75	0.45	0.41	0.39	0.33	0.35	اسب بخار		
									NN-3a	NN-3a	NN-3a			تیپ	۵۵	۲۵۰
									0.65	0.45	0.42			اسب بخار		
									NN-3a	NN-3a	NN-3a			تیپ	۶۶	۳۰۰
									0.65	0.55	0.45			اسب بخار		
									NN-3a	NN-3a	NN-3a			تیپ	۸۸	۴۰۰
									0.90	0.75	0.65			اسب بخار		
		NL-5	NL-5	NL-5	NL-5	NA-4	NA-4							تیپ	۱۱۰	۵۰۰
		4.5	4	3.3	2.8	2.3	2							اسب بخار		
		NL-5	NL-5	NL-5	NL-5	NA-4	NA-4							تیپ	۱۳۲	۶۰۰
		5	4.4	3.5	3.1	2.6	2.15							اسب بخار		
		NL-5	NL-5	NL-5	NL-5	NL-5	NA-4							تیپ	۱۷۵	۸۰۰
		6.3	5	4.4	3.8	3.3	2.6							اسب بخار		
		NA-5	NL-5	NL-5	NL-5	NN-4	NA-4	NA-4						تیپ	۲۲۰	۱۰۰۰
		7	6.5	5.7	5	4.1	3.3	2.7						اسب بخار		
NL-6	NL-6	NA-5	NA-5	NA-5	NA-5	NA-5	NN-4	NN-4	NG-4a	NG-4a				تیپ	۲۷۵	۱۲۵۰
14	10.6	8	7.2	6.5	5.6	4.8	4.0	3.3	2.4	2.0				اسب بخار		
NL-6	NL-6	NA-5	NA-5	NA-5	NA-5	NA-5	NN-4	NN-4	NG-4a	NG-4a				تیپ	۳۳۰	۱۵۰۰
15.8	12.5	9.1	8	7.3	6.5	6	4.5	3.7	2.7	2.38				اسب بخار		
NA-6	NL-6	NL-6	NA-5	NA-5	NA-5	NA-5	NN-4	NN-4	NN-4	NN-4	NN-4			تیپ	۳۸۵	۱۷۵۰
19.5	16	13	9.4	8.3	7.4	6.7	5.2	4.4	3.6	3.3	2.9			اسب بخار		
NA-6	NL-6	NL-6	NA-5	NA-5	NA-5	NN-5a	NG-4	NN-4	NN-4	NN-4	NN-4			تیپ	۴۴۰	۲۰۰۰
20.2	17.3	13.7	10.3	9.3	8	7.8	6.2	5	4.37	3.8	3.5			اسب بخار		
NA-6	NA-6				NN-5a	NN-5a	NN-5a	NG-4	NG-4	NG-4				تیپ	۵۵۰	۲۵۰۰
24	19.6				10.5	9.2	7.9	6	4.7	4.3				اسب بخار		
	NA-6				NN-5a	NN-5a	NG-4	NG-4	NG-4					تیپ	۶۶۰	۳۰۰۰
	22.8				10.84	9.2	7.3	5.9	5.2					اسب بخار		
									ND-3a	ND-3a				تیپ	۸۸۰	۴۰۰۰
									7.3	6.5				اسب بخار		
									ND-5a	ND-3a				تیپ	۱۱۰۰	۵۰۰۰
									9.8	8.2				اسب بخار		
					ND-5a	ND-5a	ND-5a	ND-5a	ND-a					تیپ	۱۳۲۰	۶۰۰۰
					25.0	22.0	19.6	16.95	13.5					اسب بخار		



### ۷-۷- تاسیسات کنترل خودکار تلمبه

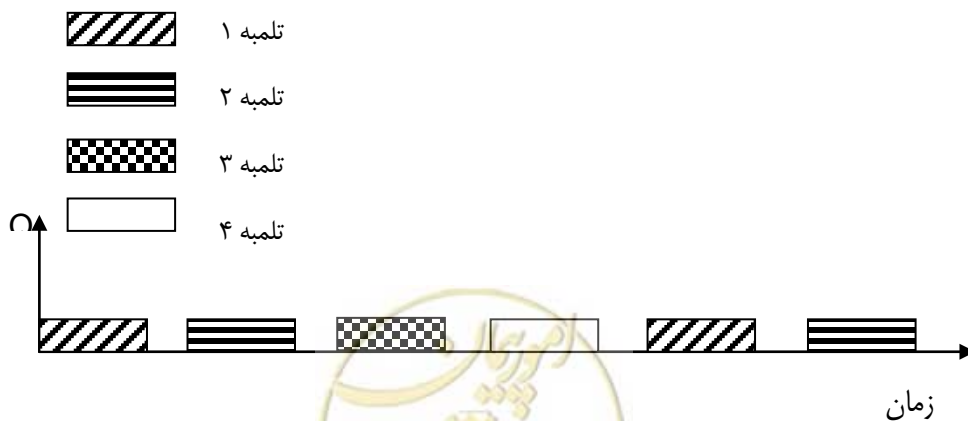
معمولا تلمبه یا تلمبه‌ها، به وسیله سیستم خودکار در مواقع معینی که آب در مخزن بالا می‌آید، به کار می‌افتند و هنگامی که سطح آب به حد معینی برسد، به طور خودکار خاموش می‌شوند. سیستم خودکار از این نظر مهم است که اگر تلمبه حتی برای مدت کوتاه بدون بار و بدون آب کار کند، خسارت می‌بیند. در شکل ۷-۳ نمونه‌ای از سیستم کنترل خودکار تلمبه نشان داده شده است.



شکل ۷-۳- سیستم کنترل خودکار تلمبه

### ۷-۸- استفاده از چندین تلمبه

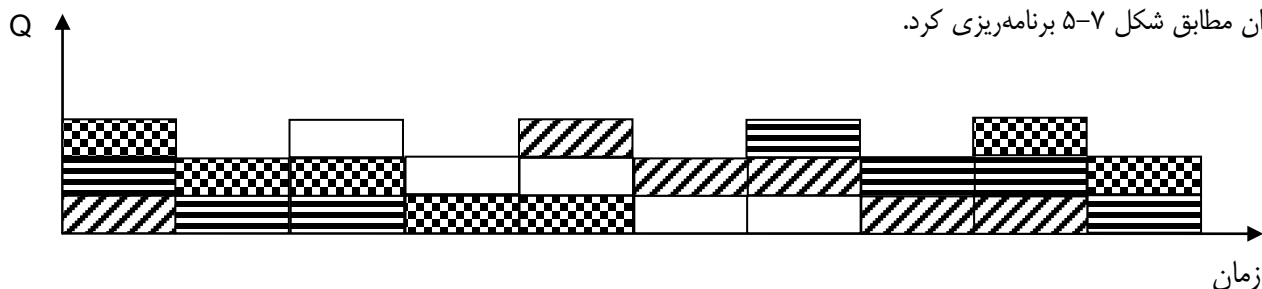
در مواردی که شدت جریات آب درون معدن زیاد باشد، می‌توان با استفاده از چندین تلمبه، آبکشی را به آسانی انجام داد. به عنوان مثال اگر در معدنی، چهار تلمبه مشابه هم نصب شده باشد، اگر شدت جریان آب ورودی به معدن کمتر از شدت جریانی باشد که هر تلمبه به تنهایی در لوله به جریان می‌اندازد، در این صورت می‌توان فقط به وسیله یک تلمبه و یا با استفاده از هر چهار تلمبه که در زمان‌های معینی هر یک از آن‌ها به نوبت به کار می‌افتند، آبکشی را انجام داد (شکل ۷-۴).



شکل ۷-۴- آبکشی به وسیله چهار تلمبه هنگامی که شدت جریان ورودی کمتر از شدت جریان یک تلمبه باشد.

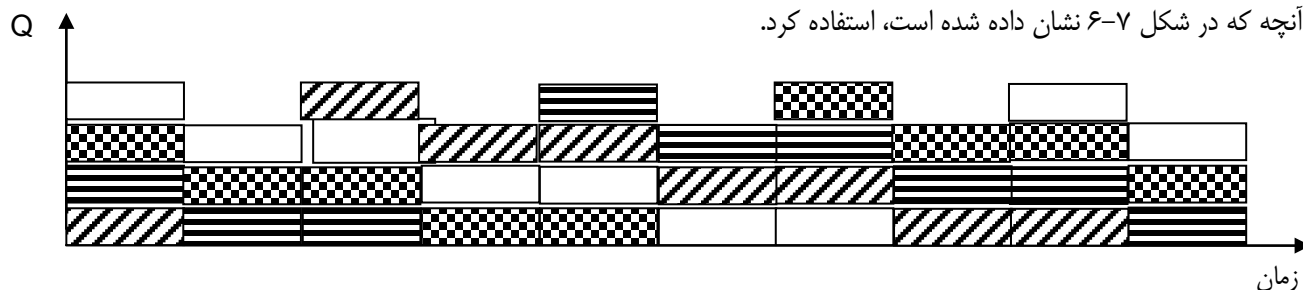


اگر شدت جریان آب معدن بیشتر از شدت جریان دو تلمبه و کمتر از شدت جریان ۳ تلمبه باشد، نحوه به کار افتادن تلمبه‌ها را می‌توان مطابق شکل ۵-۷ برنامه‌ریزی کرد.



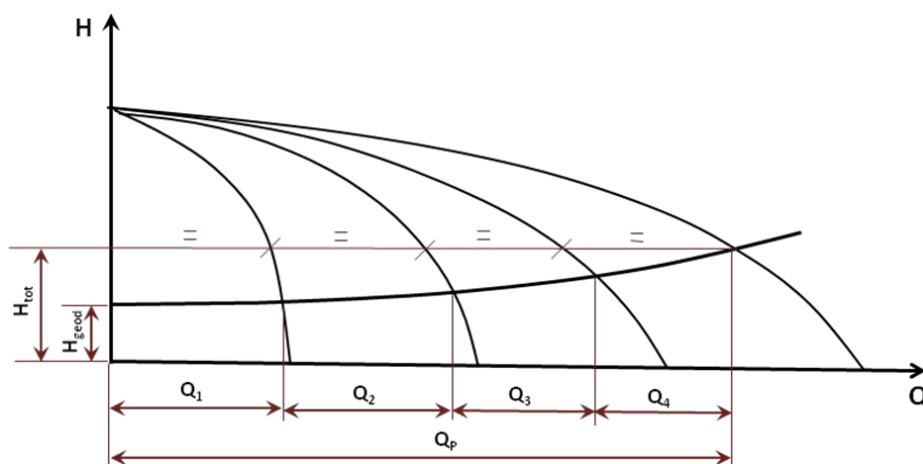
شکل ۵-۷- آبکشی به وسیله چهار تلمبه هنگامی که شدت جریان ورودی بیشتر از شدت جریان دو تلمبه و کمتر از شدت جریان سه تلمبه باشد.

اگر شدت جریان آب ورودی بیشتر از شدت جریان سه تلمبه و کمتر از شدت جریان چهار تلمبه باشد، می‌توان از روشی مطابق آنچه که در شکل ۶-۷ نشان داده شده است، استفاده کرد.



شکل ۶-۷- آبکشی به وسیله چهار تلمبه هنگامی که شدت جریان ورودی بیشتر از شدت جریان سه و کمتر از شدت جریان چهار تلمبه باشد.

اگر چند تلمبه با هم خط لوله آبکشی را تغذیه کنند، شدت جریانی که هر کدام از آنها در حالت مشترک به جریان می‌اندازد، کمتر از شدت جریانی است که هر تلمبه به تنهایی تولید می‌کند.



شکل ۷-۷- منحنی مشخصه کلی چهار تلمبه به حالت موازی

به کمک منحنی مشخصه تلمبه‌ها، نظیر آنچه که در شکل ۷-۷ نشان داده شده است، می‌توان شدت جریانی را که مجموعه چند تلمبه با هم به جریان می‌اندازند و نیز شدت جریان هر یک را به آسانی محاسبه کرد.







# فصل ۸

---

---

**دستورالعمل احداث تاسیسات برای**

**جلوگیری از ورود آب به معدن**





## ۸-۱- آشنایی

اگر چه با احداث مخزن آب و انتخاب تلمبه مناسب می‌توان آب‌های درون معدن را به بیرون هدایت کرد ولی در عین حال باید تا آنجا که ممکن است حجم آبکشی و در نتیجه هزینه عملیات مربوط به آن را کاهش داد. مهم‌ترین تمهیداتی که در این باره به کار می‌رود، جلوگیری از ورود آب‌های سطحی، جلوگیری از ورود آب به داخل چاه، پایین بردن سطح ایستابی و احداث سدهای زیرزمینی در بعضی از قسمت‌های معدن است.

## ۸-۲- جلوگیری از ورود آب‌های سطحی به معدن

دهانه چاه یا تونل‌های معدن تا حد امکان باید در محلی انتخاب شود که آب‌های سطحی نتوانند وارد آن شوند. در اطراف محوطه معادن روباز نیز باید سیستم زهکشی مناسبی احداث کرد که آب‌های سطحی وارد محوطه معدن نشود. اگر برای جلوگیری از ورود آب‌های سطحی به تونل‌ها و چاه‌ها سیستم مناسبی منظور نشده باشد، علاوه بر اشکالات آبکشی، ممکن است آب‌های جاری به داخل تونل راه یابند و خساراتی به بار آورند.

برای جلوگیری از ورود آب‌های سطحی به معدن موارد زیر توصیه می‌شود:

- الف- اگر دهانه تونل یا چاه در محلی قرار گرفته است که خطر هجوم سیلاب وجود دارد، باید با احداث دیواره‌های سیل‌بند بتنی در اطراف دهانه چاه یا محوطه تونل، از هجوم احتمالی سیلاب به داخل معدن جلوگیری کرد.
- ب- اگر در بالاسر دهانه تونل آبراهه‌هایی وجود داشته باشد و به هنگام بارش‌های شدید احتمال هدایت آب باران از طریق آن‌ها به محوطه تونل وجود دارد، باید با احداث بندهای بتنی، مسیر آبراهه‌ها را در کلیه قسمت‌های بالادست مسلط بر دهانه تونل، به اطراف منحرف کرد.

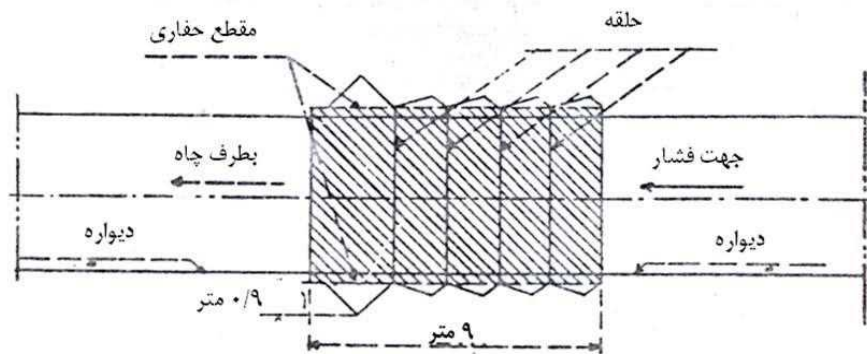
## ۸-۳- جلوگیری از ورود آب به داخل چاه

چاه اصلی معدن یکی از نقاطی است که ممکن است حجم قابل توجهی از آب زیرزمینی از طریق آن به داخل معدن راه یابد. برای حفر چاه در زمین‌های آبدار، ابتدا تعدادی گمانه در اطراف دهانه آن حفر می‌شود و با عبور دادن محلول سردکننده، سبب یخ‌بندان زمین در اطراف چاه می‌شوند و یا با تزریق سیمان از درون آن‌ها، از ورود آب به آن جلوگیری می‌شود. این تمهیدات برای زمان حفر چاه است و پس از پایان حفر چاه نیز باید از ورود آب جلوگیری کرد. برای این منظور پوشش داخلی چاه باید به نحوی انتخاب و اجرا شود که علاوه بر مقاومت لازم، در برابر آب نیز غیرقابل نفوذ باشد.

## ۸-۴- احداث سدهای زیرزمینی

برای جدا کردن حفریه‌های معدنی متروک از شبکه معدن و جلوگیری از ورود آب آن‌ها به سایر قسمت‌های معدن و نیز جلوگیری از ورود آب قسمت‌های پرآب به سایر قسمت‌های معدن، باید در جلو آن‌ها سدهای نفوذناپذیری احداث کرد. بسته به فشاری که سد باید تحمل کند، همچنین بسته به مقاومت زمین در محل کف یا دیواره‌های سد، سدها را به شکل مستقیم و یا قوسی می‌سازند.

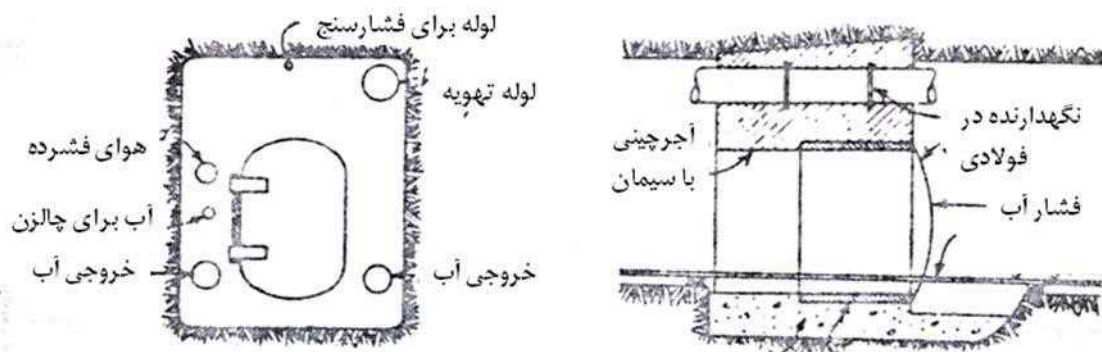




شکل ۸-۱- نمونه‌ای از سد زیرزمینی با چند دیواره پی در پی

دیواره سد از جنس بتن، سنگ چینی یا آجر چینی است و برای غیرقابل نفوذ کردن آن به جای یک دیواره ساده، از دو دیواره، که بین آن‌ها با خاک رس یا سایر مواد غیر قابل نفوذ پر شده است، ساخته می‌شود که در شکل ۸-۱ نمونه‌ای از سد زیرزمینی با چند دیواره نشان داده شده است. در پشت سد باید یک لوله مجهز به شیر فلکه تعبیه شود تا در موارد لزوم بتوان آب موجود در پشت سد را به قسمت‌های دیگر هدایت کرد.

اگر دسترسی به پشت سد در موارد ضروری مد نظر باشد باید، در دیواره سد یک در فولادی محکم تعبیه کرد تا در مواقع لزوم بتوان به پشت سد راه یافت (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲- سد با در فولادی

## ۸-۵- پایین بردن سطح ایستابی

در بعضی موارد، هجوم جریان آب زیرزمینی به معدن بسیار زیاد و در نتیجه مخارج آبکشی فوق‌العاده زیاد است. در چنین مواردی، ممکن است راه حل با صرفه‌تر، پایین بردن سطح ایستابی تا حد پایین‌تر از کف حفاریه مورد نظر و یا اصولاً کف کلیه حفاریات معدن باشد. خشک بودن حفاریات معدن مزایای ویژه‌ای نیز دارد که از آن جمله موارد زیر را می‌توان بر شمرد:

الف- از زنگ زدن وسایل و تجهیزات معدن جلوگیری می‌شود.

ب- با حذف غنو و یا لوله انتقال آب، فضای مفید بیشتری در کف حفریه ایجاد می‌شود.

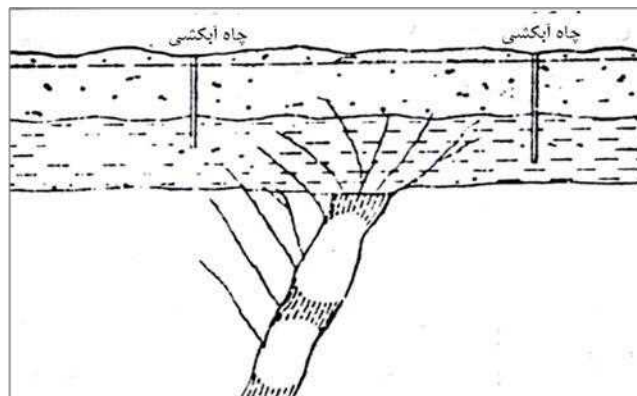
پ- افراد و وسایل حمل و نقل با ایمنی بیشتری حرکت می‌کنند.

ت- پایداری دیواره حفریات افزایش می‌یابد.

ث- از ریزش سقف و دیواره حفریات جلوگیری می‌شود.

ج- در معادن روباز، می‌توان شیب پله‌ها را بیشتر در نظر گرفت که این خود صرفه‌جویی قابل توجهی را در پی دارد.

برای پایین بردن سطح ایستابی در محدوده معدن باید تعدادی چاه حفر و از طریق آبکشی از آنها، سطح آب زیرزمینی ناحیه را پایین برد. از آنجا که در مرحله اکتشاف، اطلاعات کاملی درباره آب زیرزمینی ناحیه به دست می‌آید، لذا در مواردی که پیش‌بینی می‌شود میزان آب ورودی معدن زیاد باشد، حتی قبل از احداث حفریات معدنی، می‌توان چاه‌های آبکشی را حفر و به کمک آنها از ورود آب به معدن در آینده جلوگیری کرد (شکل ۸-۳). تعداد چاه‌ها و میزان آبکشی از آنها باید به گونه‌ای باشد که مجموعه آنها بتواند سطح ایستابی ناحیه را تا حد مورد نظر پایین ببرد.



شکل ۸-۳- پایین بردن سطح ایستابی با آبکشی از چاه‌ها

پایین بردن سطح ایستابی تا کف کاواک و یا به بیان دیگر، خشک‌اندازی، یکی از روش‌های متداول در معادن روباز است. اگر محدوده معدن روباز یا زیرزمینی وسیع باشد، آرایش چاه‌ها باید به نحوی باشد که مخروط افت آنها یکدیگر را پوشش دهند و در هیچ نقطه‌ای از محدوده معدن، سطح ایستابی بالاتر از کف کاواک نباشد.



# فصل ۹

---

---

**دستورالعمل جلوگیری از آلودگی**

**آب‌های معدن و خنثی‌سازی**







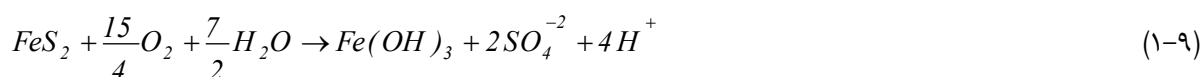
## ۹-۱- آشنایی

آبی که در معدن جریان دارد، عموماً اسیدی است و این امر نه تنها سبب خوردگی تلمبه و خط لوله می‌شود، بلکه ریختن مستقیم آن به بیرون، محیط زیست را آلوده می‌کند. هر جا که ماده معدنی، با مواد سولفیدی، به ویژه سولفیدهای آهن دار، همراه باشد، آب معدن حالت اسیدی پیدا می‌کند. گرچه راه حل قطعی برای این مساله وجود ندارد ولی با به کار گرفتن بعضی تمهیدات می‌توان اثر آن را کاهش داد و به حداقل ممکن رسانید.

اصطلاح زهاب اسیدی (ARD)<sup>۱</sup> که اغلب به نام زهاب اسیدی معدن (AMD)<sup>۲</sup> نیز نامیده می‌شود، یکی از واژه‌های متداول در مسایل زیست‌محیطی معادن است و در اثر اکسایش طبیعی کانی‌های سولفیدی که در معرض هوا و آب قرار می‌گیرند، تولید می‌شود.

## ۹-۲- فرآیند تشکیل اسید در معادن

هنگامی که کانی‌های سولفیدی در معرض هوا واقع شوند، در عین حال در تماس با آب (به صورت مایع و یا بخار) و اکسیژن قرار می‌گیرند. در چنین شرایطی، کانی‌های سولفیدی فعال، ناپایدارند و در اثر ترکیب با اکسیژن و آب به صورت زیر تجزیه می‌شوند:



سرعت این واکنش نیز بسیار مهم است. اگر فرآیند به آهستگی انجام شود، در آن صورت اسید در یک بازه زمانی وسیع تولید می‌شود و ممکن است تاثیر زیست‌محیطی آن اهمیت نداشته باشند.

بیشتر سولفیدهای فلزی حاوی آهن به دلیل فعالیت بیشتر نسبت به انواع دیگر به سرعت زهاب اسیدی تولید می‌کنند. سولفیدهای سایر فلزات نظیر سرب، روی و مس نسبت به سولفیدهای آهن فعالیت شیمیایی کمتری دارند.

ابعاد و سطحی از ذرات سولفید که در معرض هوا قرار می‌گیرند و نیز گسترش بلورها، آهنگ تولید اسید را کنترل می‌کنند. با ادامه اکسایش، املاح اسیدها تشکیل می‌شود و با متلاشی شدن و فروریختن قسمت‌های سطحی سولفیدها، قسمت‌های تازه آن‌ها در معرض هوا قرار می‌گیرد و بدین ترتیب عمل اکسایش و تشکیل اسید، به طور مداوم ادامه می‌یابد. عامل زمان نیز یکی از عوامل مهم در تشکیل اسیدها است، بدین معنی که هر چقدر مدت زمانی که مواد سولفیدی در معرض هوای معدن قرار می‌گیرند بیشتر باشد، به همان میزان، اسید بیشتری تولید می‌شود.

از آن جا که آب و اکسیژن برای انجام واکنش شیمیایی (رابطه ۹-۱) ضروری‌اند لذا حذف یکی از آن‌ها، فرآیند را متوقف می‌سازد. با توجه به این رابطه میزان اکسیژن لازم در مقایسه با آب به طور نسبی بیشتر است. به عنوان مثال اگر کانی سولفیدی در زیر سطح ایستایی واقع شود، فرآیند تقریباً متوقف می‌شود زیرا سرعت نفوذ اکسیژن در آب، خیلی آهسته است.



تولید کانی‌های جدید در اثر تولید اسید ممکن است بر آهنگ واکنش تاثیر بگذارد. در فرآیند هوازدگی سولفید آهن، محصولات حاصل از هوازدگی ممکن است آهنگ هوازدگی را تسریع کنند. این احتمال نیز وجود دارد که محصولات حاصل از هوازدگی، روی سولفیدهای باقیمانده را پوشش دهند و مانع هوازدگی بیشتر توده سولفیدی شوند.

بعضی باکتری‌ها نیز، سبب تسریع واکنش می‌شوند. فعالیت باکتری‌ها عمدتاً وابسته به  $pH$  محیط، دما و وجود غلظت بحرانی بعضی عناصر نظیر مولیبدن است که ممکن است به علت سمی بودن، مانع فعالیت باکتری‌ها شوند.

بسیاری از سنگ‌ها، حاوی کانی‌هایی هستند که به طور طبیعی اسید حاصل از هوازدگی سولفیدها را مصرف می‌کنند. این فرآیند به نام خنثی‌سازی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. مثالی از این مورد، واکنش زیر است:



یکی از معروف‌ترین کانی‌های اسیدخور، کربنات کلسیم (کلسیت) است که بخش عمده سنگ آهک را تشکیل می‌دهد.

### ۹-۳- پیش‌بینی پتانسیل تشکیل زهاب اسیدی

پیش‌بینی پتانسیل تشکیل زهاب اسیدی چه در مورد ماده معدنی و چه در مورد باطله‌ها، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی بسیار اهمیت دارد. اگر این پیش‌بینی به درستی و با دقت انجام شود، می‌توان طرح کنترل زهاب را بهینه کرد.

تشکیل زهاب اسیدی را با روش‌های زیر می‌توان پیش‌بینی کرد:

الف- مقایسه وضعیت جغرافیایی، دیرینه زیست‌محیطی و زمین‌شناسی معدن با معادن مشابهی که میزان تولید زهاب اسیدی آن‌ها از طریق تجربه به دست آمده است.

ب- نمونه‌برداری و انجام آزمایش ژئوشیمیایی به منظور تعیین میزان تولید اسید کانی‌ها و کانی‌های خنثی‌کننده اسید در مورد واحدهای زمین‌شناسی مختلف

پ- نمونه‌برداری و انجام آزمایش ژئوشیمیایی به منظور تعیین آهنگ تولید اسید و کیفیت زهکشی تحت شرایط آزمایشگاه یا ساختگاه معدن

ث- مدلسازی ریاضی به منظور تعمیم نتایج حاصل از آزمایش‌های ژئوشیمیایی در طول زمان به منظور پیش‌بینی روند بلند مدت آهنگ تشکیل اسید و کیفیت زهکشی

توصیه می‌شود که قبل از ارایه طرح نهایی معدن، منابع تولید اسید در معدن شناسایی شده و طرح معدن به گونه‌ای تنظیم شود که تا حد امکان از تشکیل زهاب جلوگیری شود. برای دستیابی به این هدف، توصیه می‌شود که در مراحل اکتشاف به مساله تشکیل زهاب اسیدی توجه شود تا اطلاعات لازم در زمان طراحی معدن در دست باشد.

بخش‌هایی از معدن که باید از نظر تشکیل زهاب کنترل شود عبارت از حفریات معدنی، محل انباشت سنگ‌ها یا باطله، تلمبار روباره در معادن روباز، کارخانه فرآوری و سد باطله هستند.

1- Neutral lizing



در مرحله اکتشاف، توصیه می‌شود که از هر واحد زمین‌شناسی حداقل سه نمونه تهیه شود و این نمونه‌ها در مرحله اول، تحت آزمایش شیمیایی قرار گیرند تا تعادل شیمیایی بین کانی‌های اسیدزا و خنثی‌کننده اسید، ارزیابی شود. بدین منظور باید کل گوگرد موجود در کانی‌ها مشخص شده و نیز پتانسیل خنثی‌سازی آن‌ها تعیین شود. البته باید قبل از انجام آزمایش شیمیایی، از نظر کانی‌شناسی نیز نمونه‌ها را مطالعه کرد تا نتایج حاصل از آزمایش‌های استاتیکی را به نحو بهتری بتوان تعبیر و تفسیر کرد. از آنجا که تمام کانی‌های گوگرددار پتانسیل تولید اسید را ندارند و نیز بعضی کانی‌ها نظیر کربنات‌ها قادر به خنثی کردن اسید هستند لذا با مطالعات کانی‌شناسی، می‌توان پیش‌بینی تولید اسید را به نحو بهتری انجام داد.

### ۹-۴- جلوگیری از تولید زهاب اسیدی

عملیاتی که برای کنترل آلودگی آب‌های معدن انجام می‌گیرد، دو دسته‌اند. دسته اول شامل عملیاتی است که اصولاً از تشکیل زهاب اسیدی جلوگیری می‌کند و دومین دسته، کارهایی است که برای خنثی کردن آب‌های اسیدی که در معدن تولید شده‌اند، انجام می‌شود.

از آنجا که برای تشکیل زهاب اسیدی سه عامل کانی‌های اسیدزا، اکسیژن و آب لازم است، بنابراین برای جلوگیری از تشکیل آن باید لاقلاً یکی از این سه عامل را حذف کرد.

آب‌های معدن را باید به گونه‌ای هدایت کرد که تا حد امکان از محل‌هایی که دارای کانی‌های اسیدزا هستند عبور نکند. همچنین باید زمان توقف آب در داخل معدن را به حداقل ممکن رساند و هر چه زودتر آن را برای آبکشی به مخزن اصلی هدایت کرد. در صورتی که کانی‌های اسیدزا به طور پراکنده در طول حفاریات معدنی وجود داشته باشند، توصیه می‌شود که به جای غنو، هدایت آب‌ها به وسیله لوله انجام گیرد. پایه‌ها و قسمت‌هایی از ماده معدنی به ویژه زغال که بر جای می‌ماند، یکی از منابع مهم مواد اسیدزا است و باید از هدایت آب به این قسمت‌ها جلوگیری کرد و در عین حال آن‌ها را با پوشش مناسبی پوشاند تا مواد اسیدزا در معرض هوا قرار نگیرند.

### ۹-۵- خنثی کردن آب‌های اسیدی

اگر چه با تمیهداتی که گفته شد، می‌توان تا حدی از تشکیل زهاب اسیدی جلوگیری و یا لاقلاً آهنگ تشکیل آن را کند کرد ولی به هر حال بخشی از آبی که در معدن جریان دارد اسیدی است و باید آن را خنثی کرد.

برای خنثی کردن آب‌های اسیدی از آهک یا سنگ آهک استفاده می‌شود. از آنجا که آهک ارزان و همه جا در دسترس است و خاصیت بازی قوی دارد لذا یکی از مناسب‌ترین مواد برای خنثی کردن آب‌های اسیدی است.

مراحل کامل عملیات با آهک شامل خنثی کردن با آب آهک، هوا دادن به منظور اکسایش آهن و تبدیل آن از فرو به فریک، ته‌نشین کردن گل و لجن و بیرون کشیدن آن‌ها است.

هزینه خنثی کردن به میزان آبی که باید خنثی شود، درجه اسیدی آب و محتوی آهن فرو، بستگی دارد.



در بعضی موارد، به علت ارزان تر بودن سنگ آهک، برای خنثی‌سازی از آن استفاده می‌شود ولی این ماده معدنی برای اکسایش آهن فرو و تبدیل آن به آهن فریک، چندان مناسب نیست. عیب دیگر سنگ آهک آن است که به سرعت با قشری از اکسید فریک هیدراته و سولفات کلسیم پوشیده می‌شود و خاصیت خنثی‌سازی خود را از دست می‌دهد. برای رفع این اشکال می‌توان، سنگ آهک را در یک استوانه افقی دوار ریخت و آب اسیدی را از درون آن عبور داد. حرکت ذرات سنگ آهک در داخل استوانه از تشکیل قشر اکسید آهن جلوگیری می‌کند و سبب می‌شود که همواره کربنات در معرض آب‌های اسیدی قرار گیرد.



# فصل ۱۰

---

---

## دستور العمل آبکشی موضعی





### ۱۰-۱- آشنایی

برای آبکشی اصلی معدن، یک یا چند مخزن اصلی احداث و به وسیله تلمبه، آب به خارج معدن هدایت می‌شود، اما در بعضی موارد، ضمن احداث حفاریات معدنی جدید، ممکن است به منابع محلی آب برخورد شود و لازم باشد که آب این قسمت‌ها را به مخزن اصلی منتقل کرد. این وضعیت به ویژه در معادن زغال‌سنگ و همچنین هنگام حفر تونل‌های مورب و چاه متداول است. این عملیات را آبکشی موضعی می‌نامند.

برای آبکشی در این حالات نیز ابتدا حوضچه‌ای که گنجایش آن متناسب با حجم آب‌ها است، احداث کرده و از درون آن و به کمک خط لوله، آب به مخزن اصلی و یا سطح زمین هدایت می‌شود. انواع تلمبه‌هایی که برای آبکشی موضعی به کار می‌روند تلمبه‌های برقی، تلمبه‌های هوای فشرده، تلمبه‌های هواران، تلمبه‌های مونو و تلمبه‌های مخصوص حفر چاه هستند.

### ۱۰-۲- تلمبه‌های برقی

در مواردی که استفاده از انرژی برق در داخل معدن مجاز باشد، می‌توان از تلمبه‌هایی با موتور الکتریکی معمولی استفاده کرد. در معادن زغال‌سنگ گازدار باید الکتروموتورهای مخصوص ضد جرقه را به کار برد.

### ۱۰-۳- تلمبه‌های هوای فشرده

گرچه انرژی هوای فشرده در مقایسه با الکتریسیته گران‌تر و راندمان موتور هوای فشرده به مراتب کمتر از انواع برقی است، ولی به علت ایمنی و در دسترس بودن هوای فشرده در تمام قسمت‌های معدن در بسیاری از موارد برای آبکشی‌های موضعی از این نوع تلمبه‌ها استفاده می‌شود. موتور این تلمبه‌ها در واقع یک توربین هوای فشرده است و به آسانی به سیستم هوای فشرده معدن وصل می‌شود.

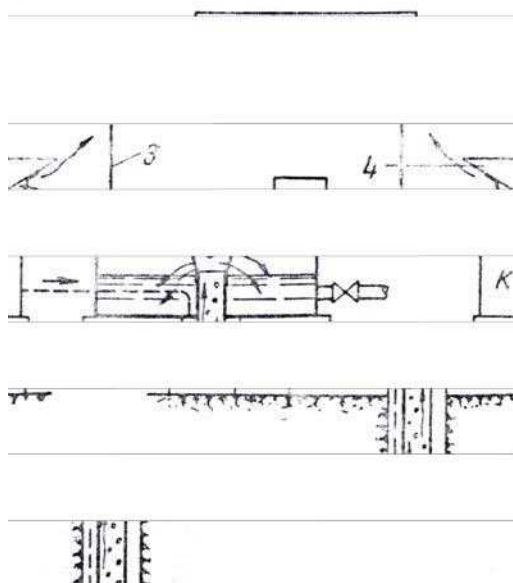
### ۱۰-۴- تلمبه‌های هواران<sup>۱</sup>

تلمبه‌های هواران که به کمک هوای فشرده کار می‌کنند، برای انتقال آب از چاه‌های کم عمق و کوچک (نظیر گمانه‌ها) مناسب‌اند. اساس کار این تلمبه‌ها در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده است. مطابق شکل، لوله انتقال آب (۲) تا عمق مناسب در داخل لوله جداری (۱) قرار داده می‌شود. هوای فشرده که به وسیله کمپرسور  $K$  تولید می‌شود، از طریق لوله ویژه‌ای که در شکل با خط‌چین نشان داده شده است، به انتهای لوله انتقال آب و از طریق صافی وارد می‌شود. هوا ضمن عبور از صافی، با آب داخل مخلوط شده و بدین ترتیب در داخل لوله انتقال آب، مخلوطی از حباب‌های هوا تولید می‌شود که وزن مخصوص آن از وزن مخصوص آب خالص، که در فضای حلقوی بین لوله جداری و لوله انتقال آب قرار دارد، کمتر است. اختلاف وزن مخصوص ستون آب مخلوط با هوای درون لوله ۲ و با آب خالص سبب می‌شود که برای حفظ تعادل، مخلوط آب و هوا در لوله انتقال آب بالا رود و به بالای گمانه یا چاه برسد. در بالای گمانه، هوا از آب خارج شده و آب در لوله بالای گمانه جریان می‌یابد و این عمل به طور مداوم تکرار می‌شود.

1- Air-lift pumps







شکل ۱۰-۱- تلمبه هواران

### ۱۰-۵- تلمبه‌های مونو<sup>۱</sup>

تلمبه‌های مونو، تلمبه‌های ساده‌ای هستند که برای آبکشی موضعی در معادن بسیار مناسب‌اند. طرز کار این تلمبه بدین نحو است که گردش روتور در داخل استاتور، کمی خارج از محور است و همین امر سبب ایجاد خلاء و رانده شدن آب در تلمبه و نیز رانش آن از لوله خروجی می‌شود. مصرف برق این تلمبه‌ها چندان زیاد نیست و نیازی به راه انداز ندارند.

### ۱۰-۶- آبکشی در چاه

آبکشی در چاه ضمن حفر آن، از مسایل مهم احداث چاه است. گرچه برای حفر چاه در زمین‌های خیلی آبدار از روش‌هایی نظیر یخبندان و تزریق سیمان استفاده می‌شود، ولی حفر چاه در زمین‌هایی که آب زیاد ندارند، به کمک تلمبه‌های مخصوصی انجام می‌گیرد که آب را از کف چاه به بیرون پمپاژ می‌کنند. این تلمبه‌ها معمولاً موتور الکتریکی دارند و لوله مکش آن‌ها را تا نزدیکی کف چاه پایین می‌برند. در بعضی موارد از تلمبه‌های مونو ویژه‌ای، برای آبکشی موضعی در چاه‌های در حال حفر استفاده می‌شود.

### ۱۰-۷- آبکشی در معادن روباز

گرچه آبکشی در معادن روباز معمولاً اهمیت آبکشی در معادن زیرزمینی را ندارد، ولی از نقطه نظر هزینه‌های استخراج، در این معادن نیز درصد قابل توجهی را تشکیل می‌دهد. وجود آب در معادن روباز سبب بالا رفتن هزینه نگهداری و سرویس ماشین‌آلات معدن نسبت به حالت خشک می‌شود.



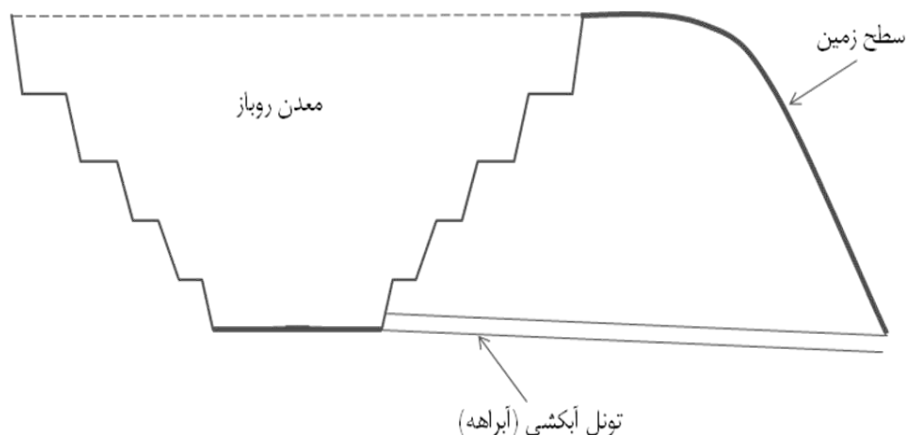
در مورد آبکشی در معادن روباز نیز مسایل مشابهی با آنچه که در مورد معادن زیرزمینی گفته شد وجود دارد ولی در اینجا، مشکلات محافظت تلمبه و تاسیسات آن در مقابل صدمات ناشی از آتشباری به مسایل معمولی آبکشی اضافه می‌شود. طبقات معدن روباز نیز باید شیب داشته باشند تا آب جبهه‌کارها از درون غنوه‌های موجود به سمت یک مرکز هدایت شود. آبی را که بدین ترتیب در هر طبقه جمع می‌شود، ممکن است جداگانه از هر طبقه آبکشی کرد و یا این که همانند معادن زیرزمینی، به کمک نیروی ثقل همه آن‌ها را در یک نقطه جمع‌آوری و آبکشی را از این نقطه انجام داد. بسته به موقعیت معدن روباز، آبکشی را ممکن است به کمک تلمبه، تونل‌های مخصوص آبکشی و یا سیفون انجام داد.

#### ۱۰-۷-۱- آبکشی به وسیله تلمبه

این روش متداول‌ترین روش آبکشی در معادن روباز است و طی آن مخزن یا مخازن آبی را در عمیق‌ترین نقطه احداث کرده و آب را از درون آن به بیرون پمپاژ می‌کنند.

#### ۱۰-۷-۲- آبکشی به وسیله تونل

در مواقعی که معدن روباز در نواحی مرتفع واقع و کف آن نیز از زمین‌های اطراف بلندتر باشد، می‌توان تونل مخصوصی در عمیق‌ترین نقطه معدن حفر و از درون آن آب را به بیرون معدن هدایت کرد (شکل ۱۰-۲). بدیهی است در مورد معادن زیرزمینی که در نقاط مرتفع قرار دارند نیز این روش را می‌توان به کار برد. معمولاً از آبراهه یا تونلی که بدین منظور حفر می‌شود، علاوه بر آبکشی، برای حمل و نقل و رفت و آمد افراد نیز استفاده می‌شود.



شکل ۱۰-۲- تونل هدایت آب



## ۱۰-۷-۳- آبکشی به وسیله سیفون

در مناطق کوهستانی، که نقطه تخلیه آب پایین تر از مخزن و بین آن‌ها تپه مرتفعی وجود نداشته باشد، تخلیه آب را می‌توان با استفاده از سیفون انجام داد (شکل ۱۰-۳). بدیهی است در این مورد، محدودیت‌هایی وجود دارد. اولاً محل تخلیه باید پایین تر از مخزن باشد و ثانياً ارتفاعی که آب بالا می‌رود و سپس سقوط می‌کند، از حد معینی که از رابطه ۱۰-۱ به دست می‌آید، بیشتر نباشد:

$$H_1 = \frac{P_a}{\gamma} - \left( \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + \sum h_{ab} \right) \quad (10-1)$$

که در آن:

$$P_B, P_A = \text{فشار در نقاط } a \text{ و } b$$

$$\sum h_{ab} = \text{افت فشار در فاصله } ab$$

$$\gamma = \text{وزن مخصوص آب}$$

$$V = \text{سرعت آب}$$

$$g = \text{شتاب ثقل}$$

$H_1$

$H_2$

$$H_3 = H_2 - H_1$$

## شکل ۱۰-۳- آبکشی به وسیله سیفون

یعنی ارتفاع  $H_1$  باید به اندازه مجموعه ارتفاع نظیر فشار در نقطه  $b$ ، ارتفاع نظیر سرعت و ارتفاع نظیر افت در طول  $ab$ ، کمتر از ارتفاع نظیر فشار اتمسفر باشد. بدیهی است فشار در نقطه  $b$  نمی‌تواند از فشار بخار اشباع آب کمتر باشد زیرا به محض این که فشار از این حد کمتر شود، مقداری از آب بخار می‌شود و فشار دوباره به این حد می‌رسد.

برای شروع کار سیفون، باید به ترتیبی در نقطه  $b$  خلاء تولید شود. برای این کار ممکن است ابتدا شیرهای  $a$  و  $c$  را بست و به وسیله شیر  $b$  خط لوله را پر از آب کرد و آن گاه با بستن این شیر و باز کردن شیرهای  $a$  و  $c$  سیفون را به کار انداخت.





## خواننده گرامی

امور نظام فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان ضابطه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir) قابل دستیابی می‌باشد.

## امور نظام فنی



Islamic Republic of Iran  
Management and Planning Organization

# A Guide to Mine Drainage

**No. 573**

Office of Deputy for Strategic Supervision  
Department of Technical Affairs

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

Ministry of Industry, Mine and Trade  
Deputy of Mine Affairs and Mineral  
Industries  
Office for Mining Supervision and  
Exploitation

<http://mimt.gov.ir>



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## این نشریه:

اطلاعات و راهنمایی‌های لازم را برای طراحی سیستم آبکشی در معادن ارائه می‌کند. در ابتدا به نحوه محاسبه شدت جریان آب ورودی به معدن پرداخته شده و بر اساس آن سیستم آبکشی انتخاب و تاسیسات آبکشی معرفی شده‌اند.

