سدهای

زیرزمینی

1391

بنام خدا

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده 1
مقدمه 2
فصل اول 4
آبهای زیرزمینی 4
ضریب تخلخل در رسوبات 4
تغذیه آبهای زیر زمینی 6
حوزه ها 6
شرایط حوزه ها: 7
چشمه ها و چاههای آرتزین 8
جریان آبهای زیر زمینی: 10
سفره های آب زیرزمینی 11
فصل دوم 13
سدهای زیر زمینی 13
2-1-مفاهیم اولیه در سدهای زیرزمینی 13
2-2- مزایای استفاده از سدهای زیرزمینی 14
2-3- معایب سدهای زیرزمینی 16
2-4- شرایط لازم برای احداث سدهای زیرزمینی 17
دره قدیمی (Fossil valley) مکانی مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی 20
ویژگیهای درهای مدفون شده: 20
2 -5 - انواع سد زیر زمینی از لحاظ وضعیت قرار گیری در زمین : 22
الف) طبیعی : 22
ب) سدهای مصنوعی :..... 23
فصل سوم 26
روش های برنامه ریزی و تحقیق 26

1 – 3 – روش های مناسب 26
2- 3 تجربیاتی از طرح های قبلی 28
3- 3- شرایط فیزیکی 29
1- 3- 3 – اقلیم 29
2- 3- 3 - توپوگرافی 32
3-3-3- هیدروژئولوژی 34
4 – 3- 3- رسوبات 37
فصل چهارم 39
طراحی سدهای زیر زمینی 39
الف) مطالعات احداث سد 39
متدولوژی مکانیابی اولیه سدهای زیرزمینی 41
1. پارامترهای مرجع(Reference parameters) 41
1-1. خصوصیات زمین شناسی(Geomorphic characteristics) 41
2-1. پوشش گیاهی 43
3-1. زیرساختها و روستاهای دائمی 43
4-1. ویژگیهای هواشناسی: 43
1-2. شناسایی مکان(site identification) 44
2-2. انتخاب کیفی مکان(qualitative selection) 44
1-3-2.تعیین شاخص ویژگیهای آبرفتی (α)(alluvial plan index): 46
آنالیز هیدرولوژیکی(hydrologic anlalysis): 47
تعیین میزان حجم آبگیری:(soil-water holding capacity) 48
بررسی نتایج: 49
نکاتی درباره متدولوژی پیشنهادی: 50
فصل پنجم 52
طراحی و ساخت 52
5-1- سد های زیر سطحی 52
5-1-1- عملیات زمینی 52
2- 5 - ساختمان سد های زیر زمینی 53
5-2-1 - بدنه سد 53

5-2-2- دیوار جدا کننده 54
5-2-3- تعیین روش ساخت دیوار جدا کننده 57
5-2-4- روش حفاری در فضای باز 63
5-2-5- روش (تزریق) دوغاب سیمان 65
5-2-6 –روشی با استفاده از بتن پلاستیک در ساخت دیواره سد 66
تحلیل پایداری ترانشه 69
5-2-7 - جنس مواد مورد استفاده در ساخت دیواره سد 75
5-3 - تاسیسات دهانه آبگیر 82
5-3-1 –اختصاص دادن تاسیسات مناسب 82
2 – 5-3- انواع تاسیسات دهانه آبگیر 82
5-3-3- تنظیم تاسیسات دهانه آبگیر 84
5-4- تاسیسات زهکشی و تخلیه 84
روش اساسی زهکشی 84
5-4-1- مکان و مقیاس تاسیسات زهکشی 86
5-4-2- تعیین تمدید زهکشی برای طرح سالیانه 86
5-4-3- مدل ها و ساختارهای تاسیسات زهکشی 87
5-4-4- پرده های تزریق و زهکشی 89
5-4-5- پرده های زهکشی 93
5-4-6- تزریق و زهکشی 93
5-4-7- محل پرده های تزریق و زهکشی 94
5-4-8- دیواره های دیافراگم بتنی یا پرده آب بند 94
5-4-9- رفتار سنجی و نگهداری از پرده های تزریق و زهکشی 95
5-5- تاسیسات بازدید و کنترل 97
5-6- تاسیسات بهره برداری 99
فصل ششم 100
احداث سدو اثرات آن 100
6-1 -احداث سد 100
6-2- سدهای ذخیره ای شنی 103
6-2-1- جریان آب 103

2-2-6- رسوبگذاری 104
6-3- برداشت آب 105
6-4- فونداسیون بستر 107
6-5- تغذیه سفره های طبیعی 108
6-6 - تغذیه 109
6-7 - اثرات زیست محیطی 109
فصل هفتم 111
جنبه های مصرف 111
7-2- عوامل اقتصادی 112
هزینه ذخیره آب در طرحهای انتخابی 113
سد های زیرزمینی در ایران 117
نتیجه گیری 118
منابع 119

چکیده

روش های ذخیره آب به وسیله مهار آبهای زیر سطحی در مناطق خشک دارای هزاران سال قدمت است. در چند دهه اخیر این روش ها در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه محققین قرار گرفته است. استفاده از منابع آب سطحی مشکلات زیادی را در بر دارد و به منظور تامین نیازهای روز افزون قسمت‌های مختلف، بخصوص در مواقع خشکسالی نیاز به مدیریت صحیح در منابع آبی دارند. یکی از راهکارهای مفید در مبارزه با بحران آب و کم آبی احداث سدهای زیر زمینی می باشد که در بسیاری از موارد می تواند جایگزین سد های سطحی گردد.

سدهای زیر زمینی به صورت موانعی هستند که در زیر سطح زمین برای مهار جریان های آب زیر سطحی در آبرفت طبیعی ایجاد می گردند. این موانع می تواند به صورت موانع فیزیکی و یا هیدرولیکی باشند. معمولا موانع هیدرولیکی در مجاورت سفره های آب شور در کنار دریا، و حفاظت از سفره های آب شیرین در مجاورت آب شور انجام می گیرد.

در حقیقت یک سد زیرزمینی جریان آب را در زیرزمین مسدود و آب سطحی را در زیرزمین ذخیره می‌کند و با توجه برتری های این نوع سد ها نسبت به سدهای سطحی مانند کیفیت مناسب تر آب، جلوگیری از تبخیر آب ذخیره شده به دلیل قرار داشتن در لایه زیرین خاک، احتمال شکست و حساسیت کم‌تری که نسبت به سدهای سطحی دارند از اهمیت بالایی برخوردارند

وجود شرایط زمین شناسی و توپوگرافی مناسب زیرسطحی برای مخازن ذخیره آب و نیز برای احداث محل سد زیرزمینی، مشابه آنچه برای سد های روی سطح زمین در نظر گرفته می شود، حائز اهمیت است . که چنین شرایطی در محل مخروط افکنه های واقع در دامنه های کوهستان دهانه خروجی دره ها و مسیل ها فراهم می باشد و نیز سنگ بستر در این گونه موارد بایستی دارای نفوذ پذیری خیلی کم و یا غیر قابل نفوذ

جهت تجمع و ذخیره آب باشد.

مقدمه

یکی از مهمترین اهداف تامین آب شرب و بهداشت آن است که، آب سالم و بهداشتی در دسترس همگان قرار گیرد. دستیابی به این هدف به سادگی میسر نیست و کارها باید چندین دهه ادامه یابد تا این هدف محقق شود در ضمن تجربه نشان داده است که جهت گیری ها باید از روش های گران و پیچیده به روش های مناسب، ارزان و جامعه پسند و مطابق با شرایط محلی تغییر یابد.

بسیاری از کشور های در حال توسعه در مناطقی که بارندگی به صورت فصلی و غیر قابل پیش بینی بوده واقع شده اند. در این کشور ها تهیه آب تا حد زیادی از طریق ذخیره کردن آن در فصل پر باران برای فصل های کم باران و در سال های مرطوب برای سالهای خشک انجام می شود .یکی از راههای بر طرف کردن کمبود های فصلی آب، استفاده از آب های زیرزمینی است ولی در برخی نواحی در اواخر فصل خشک، حتی منابع آب زیرزمینی هم به انتها می رسند و با آب زیرزمینی در دسترس نیست و برای بهره برداری از ان نیاز به حفر چاههای عمیق و نصب پمپ می باشد که البته این روش مقرون به صرفه نیست .

بسیاری از کشور های در حال توسعه و از جمله ایران در مناطقی واقع شده‌اند که از نظر اقلیمی دارای بارندگی شدید و پراکنده‌ای می‌باشند. ذخیره آب در چنین مناطقی باید طوری توسعه یابد تا بتوان از آب فصل بارندگی در فصول خشک و آب ذخیره شده سال‌های پر باران را در سال‌های خشک مورد استفاده قرار داد در این راستا استفاده از آب‌های زیر زمینی یکی از راه‌های غلبه بر کمبود فصلی آب است و به دلیل نزول سطح آب زیر زمینی در انتهای فصل خشک حفر چاه به دلیل نیاز به سیستم پمپاژ چندان اقتصادی به نظر نمی رسد به همین دلیل استفاده از سدهای زیر زمینی به عنوان راهکاری برای استفاده بهینه از منابع آب زیر زمینی در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. احداث سدهای زیر زمینی به منظور ذخیره آب یک

ایده تازه نیست. سدهای زیر زمینی ساخته شده توسط رومیان در جزیره ساردینیا در روم و همچنین ساختمان آن‌ها در تونس نشان می‌دهد که آن‌ها اولین بار توسط تمدن قدیمی شمال آفریقا طرحی شده‌اند. درحقیقت مدیریت صحیح منابع آب و استحصال از منابع جدید آبی دو راهکار مهم در جهت مقابله با بحران کم آبی محسوب می‌شود. با استفاده از سدهای زیر زمینی می‌توان بسته به شرایط محل، امکان استفاده از منابع آب زیر زمینی را تا 30% افزایش داد، که این میزان افزایش در مناطق خشک رقم قابل ملاحظه است و می‌تواند تاثیر به سزایی در منطقه بخصوص در مواقع بحرانی داشته باشد . همچنین استفاده از سدهای زیر زمینی به دلیل تا مین آب با کیفیت بهتر نسبت به سدهای سطحی که در نتیجه عدم تماس مستقیم آب با محیط بیرون حاصل می گردد و همچنین امکان ذخیره آب بدون فرو بردن سطح وسیعی از زمین در زیر آب و عوامل متعدد دیگری که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد می تواند در جهت ذخیره بهتر و مناسب تر آب زیرزمینی به کار رود.

روش های ذخیره آب به وسیله مهار آب های زیر سطحی در مناطق خشک دارای قدمت است. همانکونه که اشاره شد، قدمت استفاده از سدهای زیرزمینی عملا به زمان های کهن می رسد می توان به ساخت سدهای زیرزمینی در جزیره ساردینا در زمان رومیان باستان اشاره کرد نمونه هایی از این سد ها به مفهوم وافعی در نیمه اول قرن بیستم ساخته شده است. رشد و تکوین سد های زیرزمینی و برخورد علمی با انها در واقع از نیمه قرن بیستم آغاز گردیده و در سه دهه اخیر رشد زیادی نموده است.

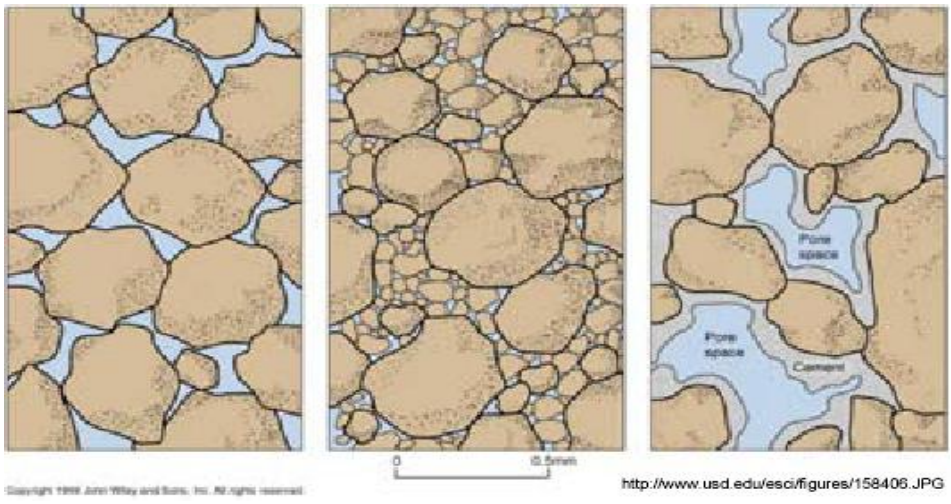
فصل اول

آبهای زیرزمینی

آب زیر زمینی به آبی گفته می شود که در فضاهای خالی تراز پایین تر سطح زمین درون لایه های اشباع شده شن، ماسه، محدوده خاصی از مصالح رسی و در شکاف های داخل سنگ ها قرار گرفته است.

ضریب تخلخل در رسوبات

آیا تمام فضاهای خالی درون خاک با هم برابرند؟



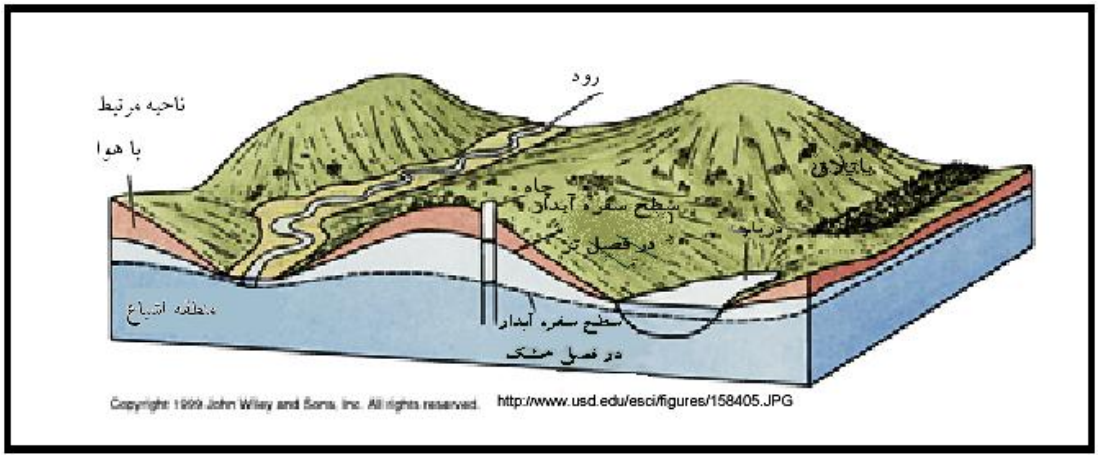
(الف) (ب) (ج)

اشکل 1-1- فضاهای خالی درون خاک

الف. یک ضریب تخلخل 30 درصدی در رسوبات با دانه بندی یکسان

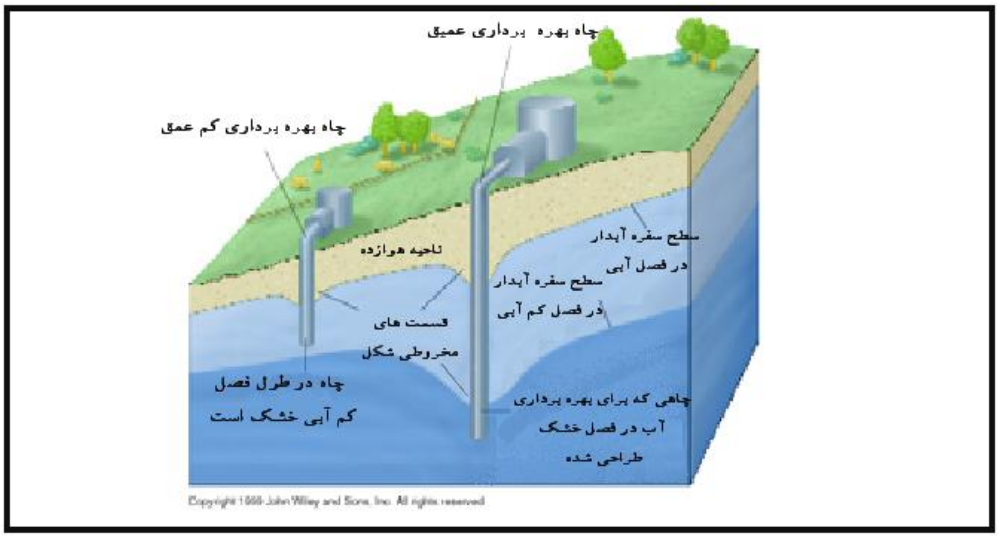
ب. یک ضریب تخلخل 15 درصدی در رسوبات با دانه بندی به طوری که فضای خالی دانه های بزرگ را دانه های کوچکتر پر کرده است.

ج. کاهش در ضریب تخلخل در دانه های خیلی متخلخل به خاطر اثر سیمانی شدن که دانه ها را به هم مرتبط کرده است.



شکل 2- 1- سطح ایستایی آب ناحیه هوا زده

دریک سیستم ساده آبهای زیر زمینی سطح ایستایی آب ناحیه هوا زده را از ناحیه اشباع شده جدا کرده و تـراز این سطح در اثر بارندگیهای فصلی تغییر می کند. نوسانات در چاه های آرتزین مشاهده می شود.



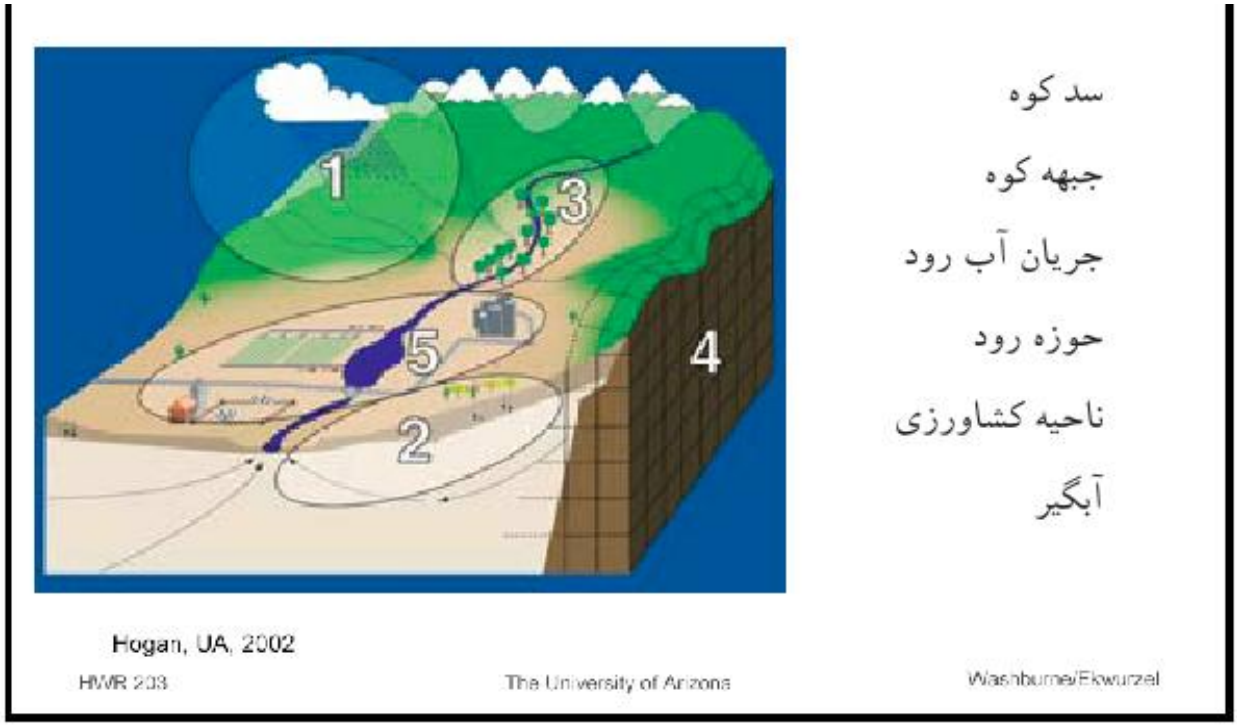
شکل 3-1- تأثیر بارش های فصلی در سطح سفره آب

در طول فصل آبی تغذیه سفره آبی بالاست و در نتیجه سـفره آب نسـبتاً شـیب دار اسـت. بنـابراین آب هـم در چاه های کم عمق و هم در چاه های عمیق دیده میشود.

در طول فصل خشک سطح سفره آب نزول کرده و شیب سفره کاهش پیـدا مـی کنـد در نتیجـه در چـاه هـای کم عمق چیزی مشاهده نمی شود، و چاههای عمیق را ادامه می دهند تا بتوانند از آب تغذیه کنند.

تغذیه آبهای زیر زمینی

بارندگی و آب های سطحی به داخل زمین نفوذ می کنند تا زمانی که جلوی آنها بوسیله ریشه گیاهان گرفته شود و یا سرعت نفوذ آنها بوسیله مواد کم نفوذ پذیر مانند رس، شیست و یا سنگ بستر کاهش یابد. این رخداد طبیعی مهاجرت رو به پایین آب تا اینکه به آبخوان برسد، تغذیه آب زیر زمینی نامیده می شود.

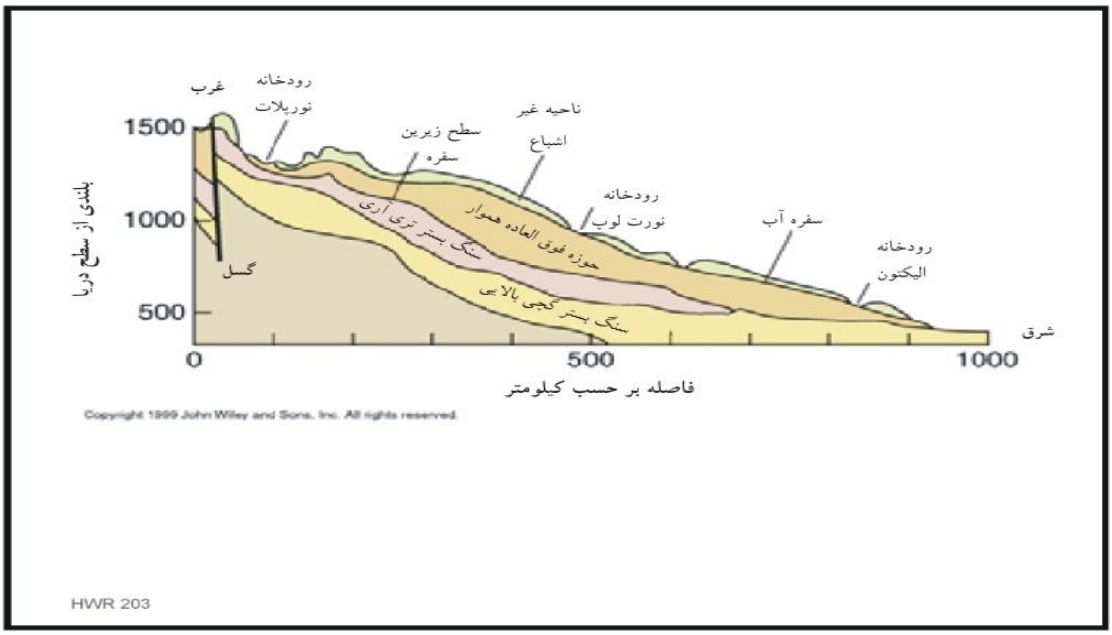


شکل 4-1- تغذیه سفره آب از گذرگاه کوه

آبخوان ها

آبخوان: واحد زمین شناختی است که می تواند آب را ذخیره و به واحد زمین شناختی دیگر، واگذار کند.

سطح ایستایی آب: سطحی است از یک حوزه غیر بستری

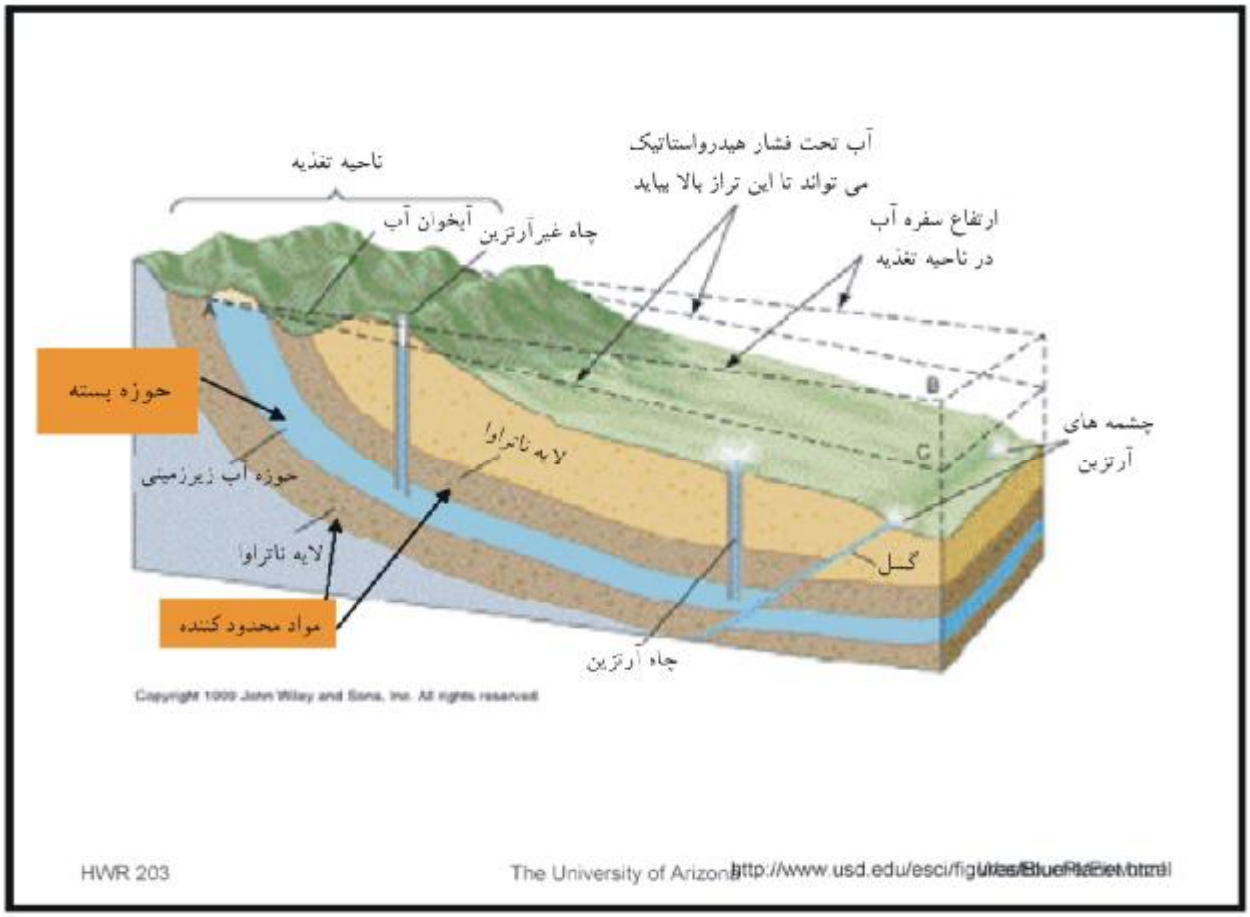


شکل 5- 1- حوزه آب زیرزمینی

حوزه های فوق العاده هموار، همواره مثالی برای حوزه های نامحدود می باشند، این شکل مقطعی از جنوب شرقی ویونینگ و مرکز نبراسکا، در شکل شیب شرقی حوزه ای که در بالای ناحیه سنگی قرار گرفته دیده می شود.

شرایط حوزه ها:

حوزه بسته: حوزه هایی که در بالای طبقه ای از سنگ بستر قرار گرفته اند و بوسیله آن و لایه نفوذناپذیر فوقانی خود محدود شده اند.



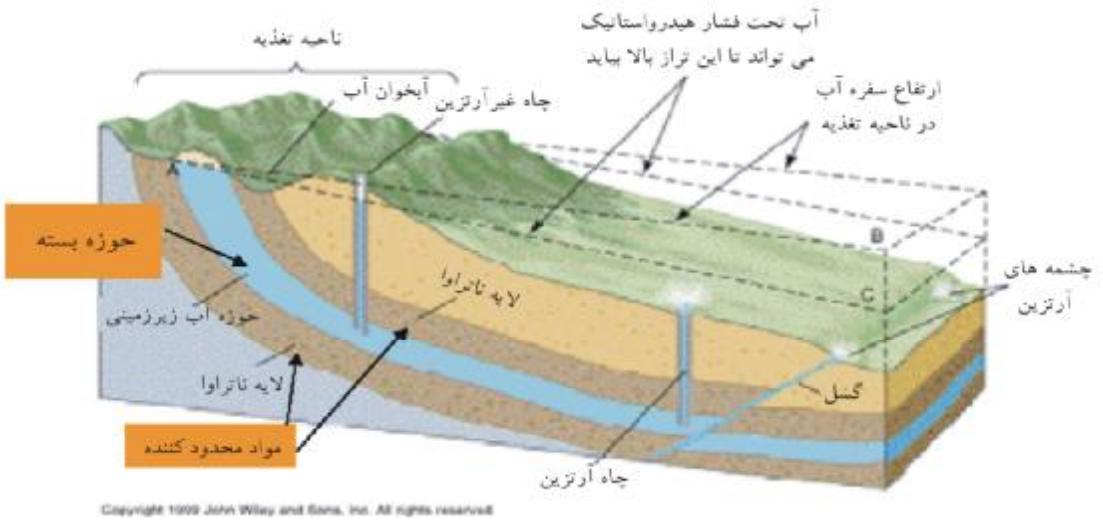
شکل 6- 1- آبخوان بسته یا تحت فشار

چشمه ها و چاههای آرتزین

چشمه : جریان آب زیر زمینی است که برروی زمین ظاهر می شود .

چشمه آرتزین: اگر فشار آب به اندازه کافی زیاد باشد، آب زیر زمینی تحت فشار می تواند به مانند یک چشمه آرتزین به خارج جریان پیدا کند .

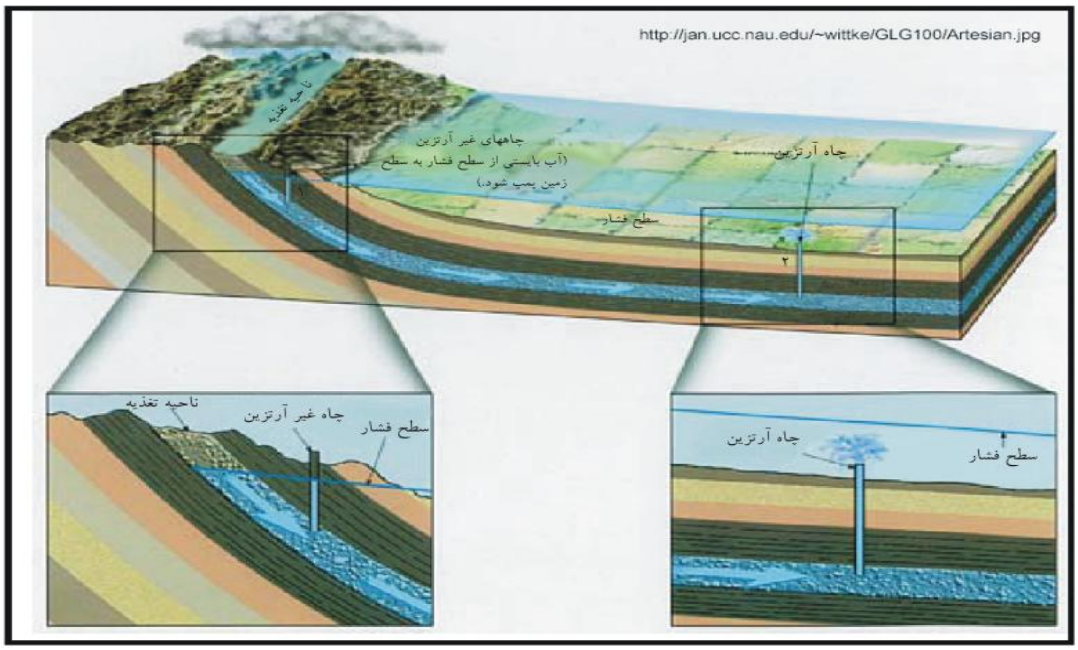
حجم آبی را در نظر بگیرید که درون یک کانتینر فشرده شده است که اگر یک سوراخ روی بدنه کانتینر ایجاد شود، آب برای رهایی از فشار به خارج جریان پیدا می کند، حوزه بسته درست مثل همین حجم آب می ماند که فشار آب بوسیله نیروی گرانش ایجاد شده و اگر ما در آن، سوراخی را با کندن یک چاه ایجاد نماییم، اگر فشار آب به اندازه کافی بالا باشد، می تواند موجب شود که آب از درون حوزه، به سطح زمین راه پیدا کند .



شکل 1- 7- چشمه ها و چاههای آرتزین

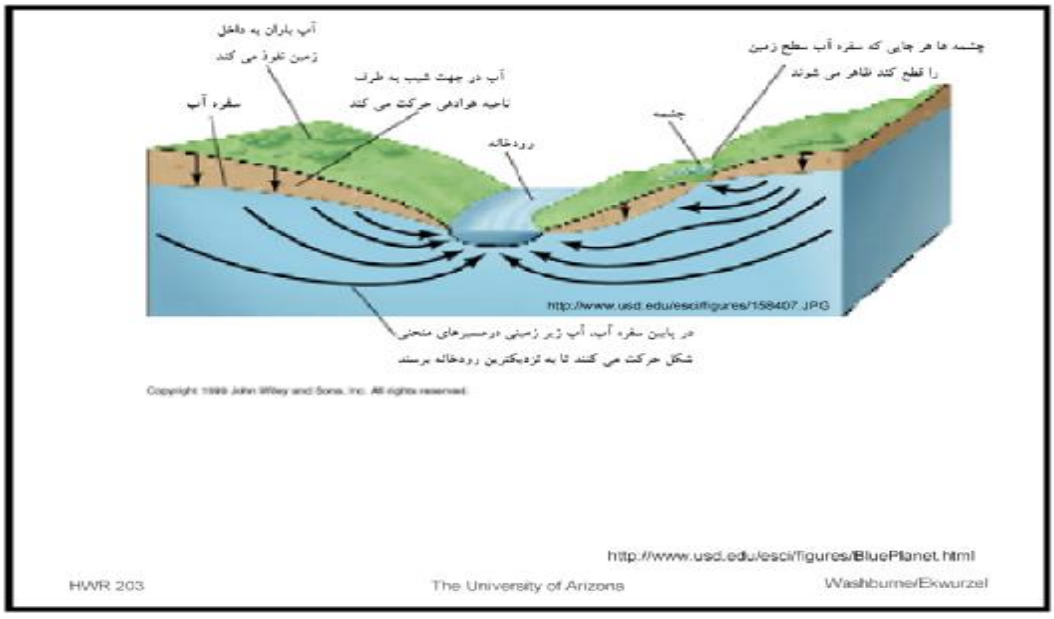
برای سیستم آرتزین دو شرط اساسی وجود دارد: یکی آبخوان بسته و دیگری فشار کافی برای خروج آب از چاه.

به طور تئوری آب می تواند تا ارتفاعی که سفره آب در ناحیه تغذیه دارد بالا بیاید خط (AB) ولی در عمل به علت کاهش انرژی در اثر اصطکاکی که در هنگام تراوش رخ می دهد، باعث می شود تا آب فقط تا خط (AC) که شیب متفاوتی با شیب خط (AB) دارد، بالا بیاید. در چاه های آرتزینی که در شیب پایین دست قرار دارند – تراز بالای چاه در پایین خط (AC) قرار داشته - آب بدون نیاز به هیچ گونه پمپ زدن از چاه خارج می شود.



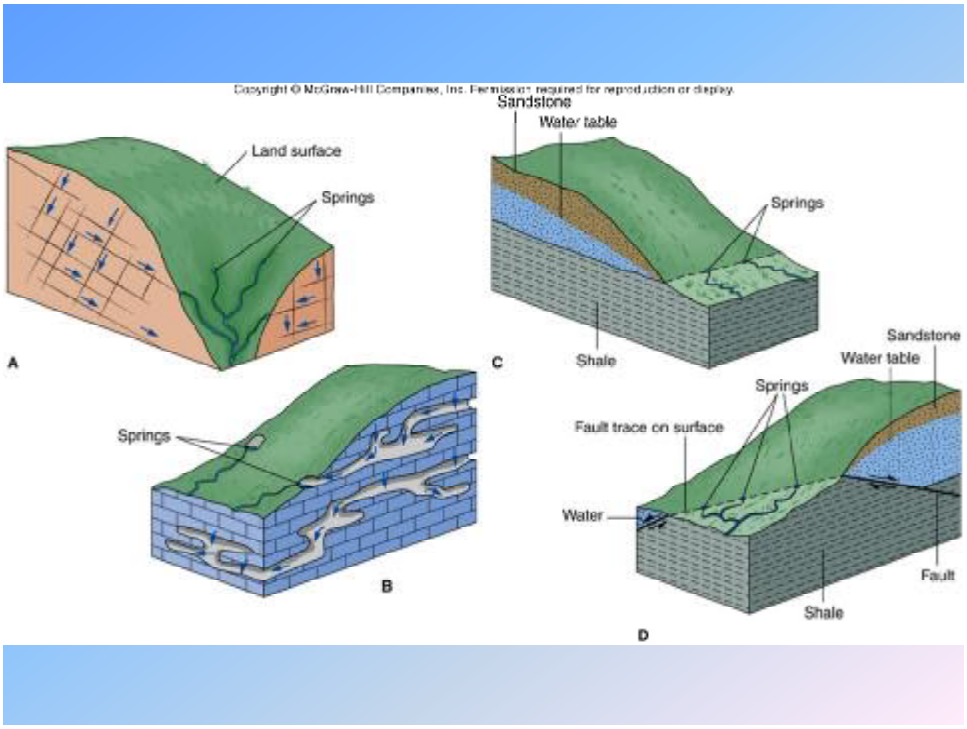
شکل 8- 1 مقایسه چاه آرتزین و غیر آرتزین

جریان آبهای زیر زمینی :



شکل 9- 1 جریان آبهای زیر زمینی

مسیر های جریان آب زیرزمینی در ناحیه اشباع تا حدی از شیب طبیعی زمین پیروی می کند تا اینکه به یک فرورفتگی طبیعی (رودخانه) برسد. چشمه ها در جایی که سفره آب سطح زمین را قطع می کند، ظاهر می شوند.



شکل 10 - 1 چگونگی ظهور چشمه های مختلف در سطح زمین

سفره های آب زیرزمینی

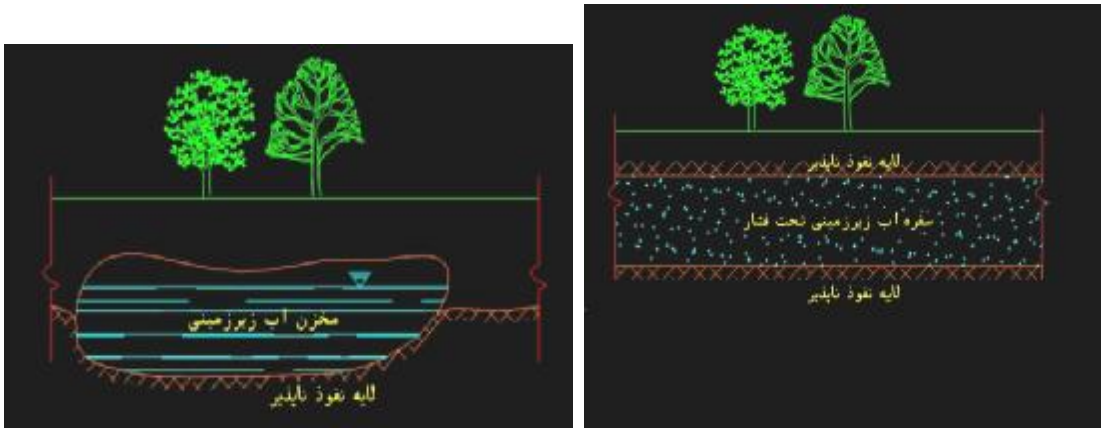
سفره های آب زیرزمینی خود به دو قسمت تقسیم می شوند:

1- سفره های آزاد: در این نوع سطح ایستابی همان سطح فوقانی منطقه اشباع بوده و مقدار فشار در سطح ایستابی برابر فشار اتمسفر می باشد .

2- سفره های تحت فشار: به سفره های بسته یا محصور معروفند و در محلهایی تشکیل می شوند که آب زیرزمینی توسط لایه ای نسبتا" نفوذ ناپذیر از بالا محدود شده و در نتیجه آن آب زیر زمینی تحت فشاری بیش از فشار اتمسفری دارد .

سفره های کارستی: مخازنی هستندکه در لایه های شکافدار، توده های آهکی و دولومیتی تشکیل می شوند. البته شبیه این سفره ممکن است در تشکیلات آذرین که بر اثر حرکات زمین دارای درز و شکاف شده اند (مثل توده های بازالتی شکافدار) تشکیل شوند .مجموعه این مخازن به عنوان هیدروژئولوژی کارستیک

شناسایی می شوند که به جای یک سفره زیر زمینی گسترده پیوسته یک مجموعه از شکافهای مرتبط که بعد عبور جریان آب است را به وجود می اورد . برای نمونه این نوع مخازن می توان غار آبی علی صدر در همدان را اشاره نمود.



شکل 2-10 – سفره های آب زیرزمینی

فصل دوم

سدهای زیرزمینی

2-1مفاهیم اولیه در سدهای زیرزمینی:

سدهای زیرزمینی به یک سیستمی اطلاق می‌شود که وظیفه ذخیره آبهای زیرزمینی را به وسیله ایجاد یک دیواره سد"cut-off wall" در مسیر عبور آب را بر عهده دارد.عملکرد این سدها مانند سدهای سطحی در نگهداری آب می‌باشد با این تفاوت که:

1- سیستمی برای نگهداری آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

ذکر یک نکته ضروری است که منظور بیشتر سفره‌های آب زیرزمینی کم عمق است تا عمیق که در سفره-های عمیق نیاز به ساخت یک سد عظیم در زیر زمینی است.

2- ذخیره آب در بین لایه‌های زمین

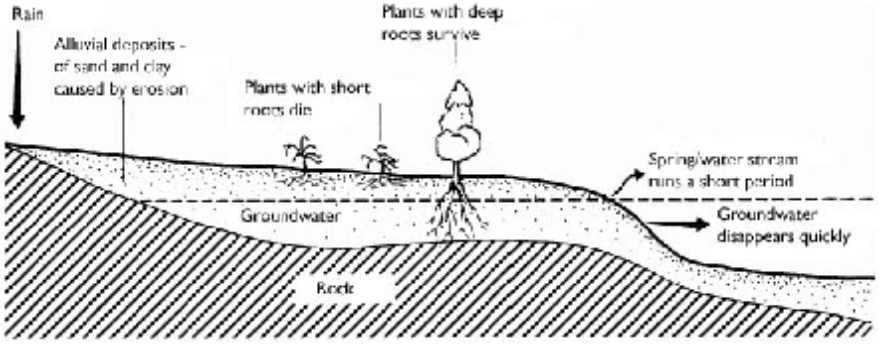
3- سد در زیر زمین ساخته می‌شود.

البته گاهی اوقات که هدف ذخیره آبهای زیرسطحی در سفرهای بسیار کم عمق به خصوص در زیر رسوبات زیر رودخانه در حال جریان است، ممکن این سد در روی سطح زمین هم ادامه یابد.

4- نیاز به وسایل و تجهیزات پمپاژ

خواسته یا نخواسته برای انتقال آبهای ذخیره شده به سطح زمین نیاز به وسایل و تجهیزات پمپاژ را ضروری

می‌سازد.



شکل 1-2 – شماتیک یک منطقه با سطح ایستابی سنزدیک سطح زمین

2-2- مزایای استفاده از سدهای زیرزمینی

در مقایسه با سدهای روزمینی می‌توان مزایای زیر را برای سدهای زیرزمینی برشمرد:

1- سیستمی برای ذخیره آب بدون زیر آب بردن زمین

برخلاف سدهای روزمینی سدهای زیرزمینی به خاطر ذخیره آب در زیر زمین، زمینی را زیر آب غرق نمی‌سازد. لذا آسیب جدی‌ای را برای محیط زیست ایجاد نمی‌کند و همچنین مسائل اجتماعی همچون جابجایی جمعیت در اثر ایجاد سد را سبب نمی‌گردد.

2- جلوگیری از تبخیر آب ذخیره شده

به خاطر قرار داشتن مخزن سدهای زیرزمینی در زیر زمین، از تبخیر آب ذخیره شده جلوگیری می‌نماید. بر خلاف سدهای روزمینی که در اغلب موارد به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک حجم قابل توجهی از آب در اثر تبخیر از دست می‌رود.

3- آب پاک و سالم

آبی که در زیر زمین نگهداری می‌شود، معمولاً دارای کیفیت مناسبی می‌باشد و بر خلاف آن آبهای ذخیره شده در سدهای روزمینی می‌باشد که مکانی مملو از میکروب و انگل و حشرات مضر هست و قبل از استفاده برای مصارف شهری باید حتماً تصفیه گردد.

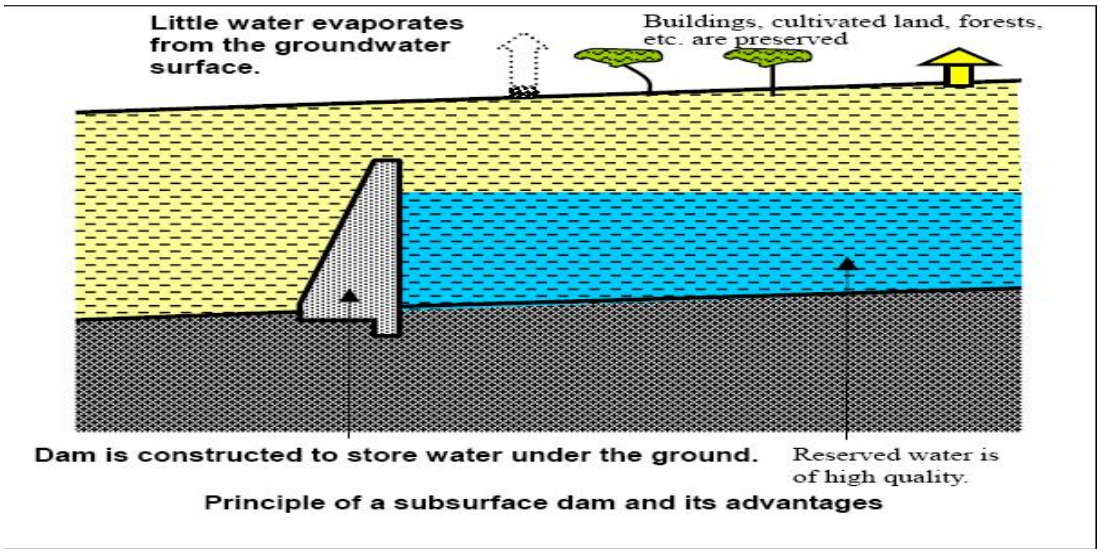
4- سد پایدار و ایمن

به طور کلی می‌توان گفت که سدهای زیرزمینی به خاطر قرارگیری در زمین، بسیار پایدارتر از سدهای روزمینی می‌باشد و لذا نیازی به نگهداری ندارد. و همچنین در صورت شکست به خاطر اینکه زیر زمین قرار دارد، هیچ خطری برای پایین‌دست سد بوجود نمی‌آید.

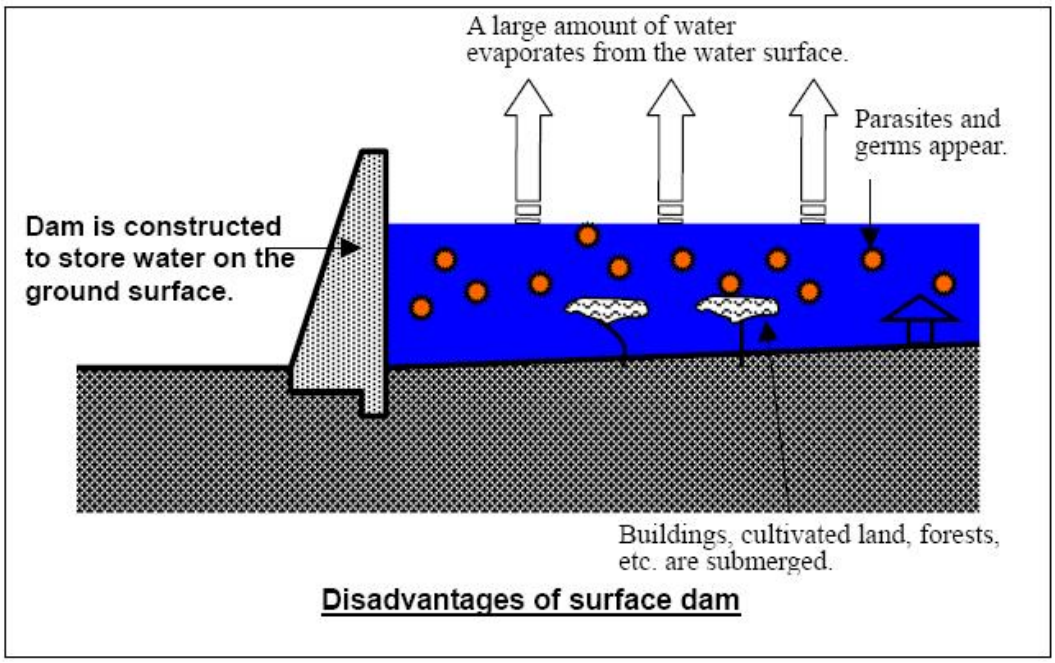
1- ارزانی و آسانی احداث

2- استفاده مناسب از منابع تجدید شدنی

در صورت استفاده از آب ذخیره شده در سد، به خاطر تجدیدپذیر بودن آن توسط بارش باران، یک مخزن آب پایان‌ناپذیر را برای حجم مصرف مشخصی ایجاد شده است.



شکل 2- 2 – شمای یک سد زیرزمینی



شکل 3 -2- معایب سد زیرزمینی

3-2- معایب سدهای زیرزمینی:

به هر حال لازم است که معایب سدهای زیرزمینی را در نظر داشته باشیم:

1- مکان‌یابی دشوار

برخلاف سدهای روزمینی که بررسی شرایط، برای مکان‌یابی سد با بررسی‌های قابل مشاهده انجام می‌پذیرد، برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی و محاسبه حجم ذخیره آب لازم است که تخمینی از ساختار زمین‌شناسی داشته باشیم.

2- حجم مؤثر پایین مخزن نگهداری آب

در سدهای زیرزمینی آب در فضاهای متخلخل بین لایه‌های خاک قرار می‌گیرد، بنابراین می‌توان گفت حجم آب ذخیره شده، برابر حجم فضاهای متخلخل (effective porosity) می‌باشد و لذا تنها 10 الی 30 درصد حجم مخزن را آب پر خواهد نمود.

3- جلوگیری از جریان آبهای زیرزمینی در جهت پایین‌دست

یکی از مسائل مهم، حذف و جلوگیری از جریانات آب زیرزمینی در پایین‌دست سد است که این امر ممکن است باعث آسیب آب‌های زیرزمینی منطقه پایین‌دست گردد. البته توجه به این موضوع باید بشود که در بسیاری از موارد تنها منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی پایین‌دست از محل احداث سد نیست و حتی می‌توان در طراحی سد این مسئله را در نظر داشت و در طراحی قسمتی از آب برای پایین‌دست رها کرد. لذا این مسئله که می‌تواند در مواردی بسیار مهم باشد(مانند بعضی مناطق در کاشان) را با دقت در مکان‌یابی سد و همچنین در نظر گرفتن مکانیزم‌های موجود در جریانات آب‌های زیرزمینی و یک طراحی مناسب برطرف نمود.

4- شور شدن زمین در محدوده مخزن

در اثر پدیده تبخیر و حرکت جریانات آب‌های زیرزمینی به سطح، تجمع نمک در سطح زمین بسیار محتمل است ولی می‌توان گفت که این پدیده بیشتر در زمانی رخ می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در نزدیک سطح زمین قرار دارد.

2-4- شرایط لازم برای احداث سدهای زیرزمینی

شرایط فیزیکی و شرایط هیدرولوژیکی مورد نیاز برای این گونه سدها به شرح زیر است:

1- وجود آب‌های زیرزمینی کم عمق با جریان بالا

توجه به این نکته ضروری می‌نماید که احداث سد در جایی که جریان آب ناچیز است، افزایش ارتفاع آب در پشت سد بسیار کند خواهد بود.

علاوه بر آن، عمیق بودن سفره آب زیرزمینی خود موجب دشواری تعیین مشخصات هیدرولوژیکی سد و همچنین افزایش هزینه‌ها و مشکلات فنی ساخت سد می‌گردد.

2- وجود لایه‌های متخلخل مناسب برای ذخیره آب

افزایش میزان فضاهای متخلخل در لایه‌های خاک منطقه، افزایش حجم مؤثر ذخیره آب را در پی خواهد

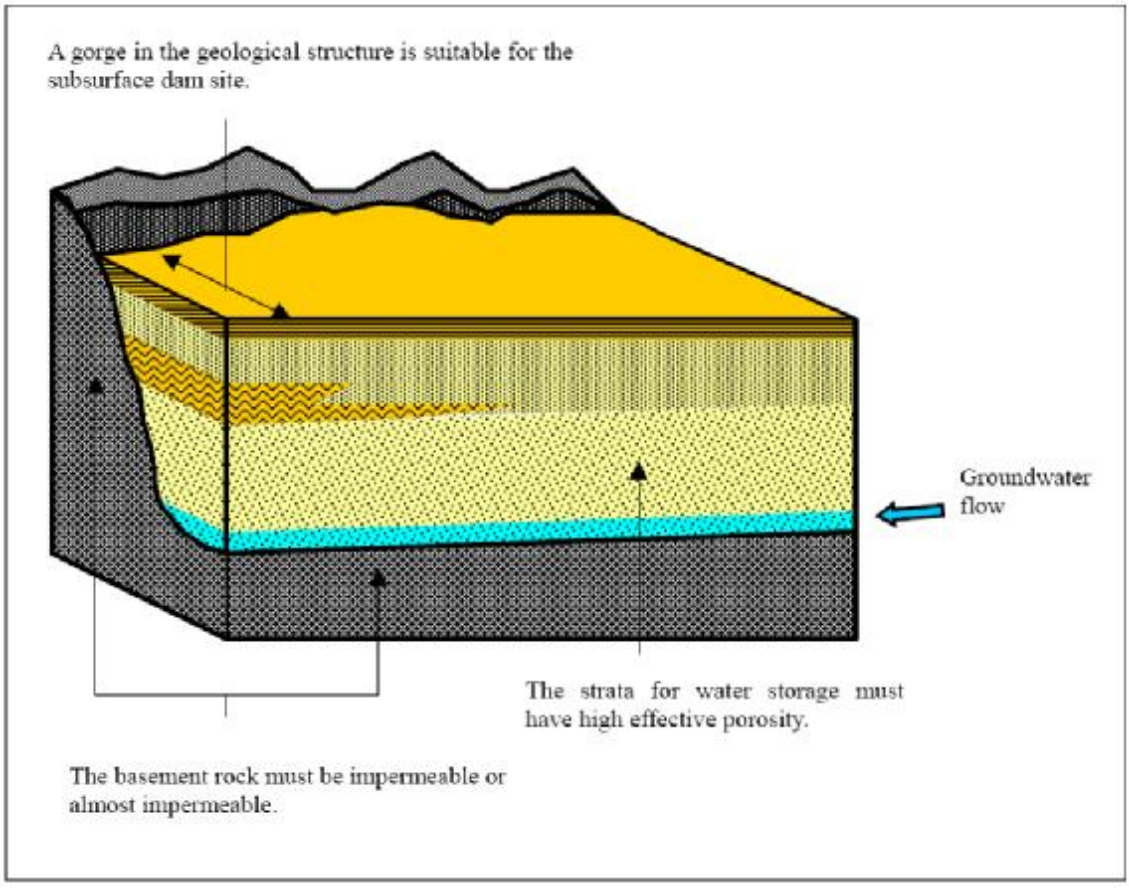
داشت. این تخلخل بالا برای داشتن جریان بالا در حرکت آب‌های زیرزمینی نیز ضروری است.

3- احاطه شدن دیواره‌ها و بستر مخزن سد با لایه‌های سنگی با نفوذپذیری پایین.

می‌توان گفت در صورت وجود محل‌های بزرگ هدرروی آب، باعث کاهش حجم مؤثر ذخیره آب مخزن می‌گردد.

4- وجود گلوگاه سنگی با نفوذپذیری پایین

وجود باریک‌شدگی (bottleneck point) در کنار وجود یک حوزه آبخیز وسیع(aquifer) از شرایط لازم و مناسب برای احداث سد است.



شکل 4 -2 – مکانی مناسب برای ساخت سد زیرزمینی

در هنگام ساخت سدهای زیرزمینی باید شرایط فیزیکی مانند اقلیم و شیب منطقه را مورد بررسی قرار داد، از لحاظ اقلیمی یکی از مسائلی که ضرورت احداث سدهای زیرزمینی را مشخص می‌کند وجود بارندگی

نامنظم می‌باشد، این شرایط در نواحی با اقلیم خشک اتفاق می افتد که تبخیر و تعرق نیز در این نواحی بالا می باشد و امکان از دست رفتن کیفیت آب وجود دارد.همچنین شرایط توپوگرافی و چگونگی ساخت، تاثیر به سزایی روی کیفیت و عملکرد سدهای زیرزمینی دارد و دره های باریک و بستر رودخانه ها از بهترین مناطقی هستند که امکان احداث سدهای زیر زمینی در آنها وجود دارد. در مناطق کوهستانی که دارای شیب زیادی هستند کاهش ذخیره آب زیرزمینی علت اصلی احداث سد تحت الارضی می‌باشد شیب سطح آب زیرزمینی و پراکنش و وسعت جریان تابع شیب توپوگرافی است.

در حالت کلی به این موضوع میپردازیم که کجا می توان سد زیرزمینی احداث کرد: ترجیحا سد زیرزمینی بر روی یک لایه نفوذ ناپذیر بدلیل ایجاد حجم بزرگتری از آب احداث می گردد. سد های زیر زمینی را می توان در بستر رودخانه های بدون لایه نفوذ ناپذیر نیز احداث کرد ولی ممکن است آب کمتری را ذخیره کند . علاوه بر این نکات ذیل نیز بایستی مد نظر قرار بگیرد:

1 – در مناطق خشک و نیمه خشک احداث می شوند .

2 – در محل هایی که مصالح بستر دارای نفوذپذیری بالایی هستند .

3 – در جایی که دارای یک لایه نفوذناپذیر در نزدیکی سطح زمین وجود دارد.

4 – فاصله سد زیرزمینی تا محل مصرف حتی الامکان کم باشد.

5 – در جاهایی که دارای بارندگی نا منظم بوده و آبراهه فصلی باشد.

6 – در محلهایی که دارای بیشترین مخزن و کمترین ارتفاع اجرا را داشته باشد.

7 – ماسه درشت دانه آب کمتری را نسبت به ماسه ریزدانه ذخیره می کند . بستر آبراهه ها با مواد ماسه ای ریز دانه نیز بهتر عمل می کند.

8 – سدهای زیرزمینی نبایستی شامل خاک های شور یا سنگ های شور که آب را شور می کنند باشند.

9 – محدوده سد زیرزمینی نبایستی بر روی تخته سنگ های فرسوده یا سنگ های شکافدار به دلیل نشت

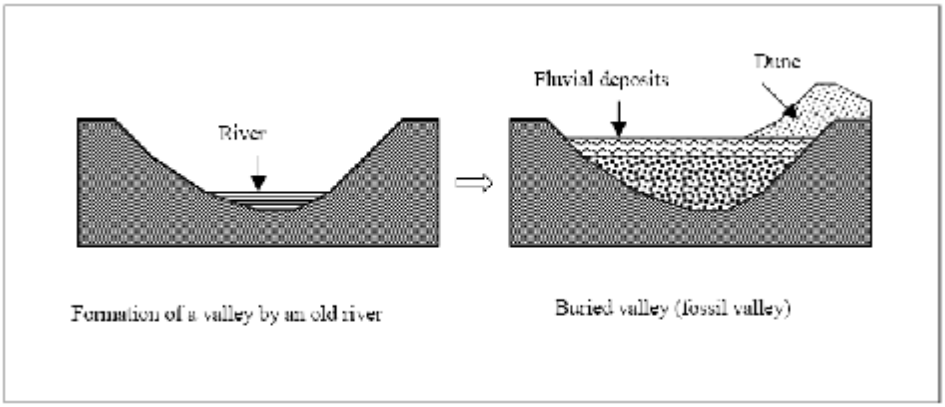
آب در آنها احداث شوند

10 – سد های زیر زمینی نباید در مکان هایی که هرز آب روستا ها رها می گردد و یا در مکان هایی که آب در آنجا ها آلوده می گردد احداث گردند .

دره قدیمی (Fossil valley) مکانی مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی

- منظور از دره‌های قدیمی چیست؟

به گونه‌ای از ساختار زمین‌شناسی زمین اطلاق می‌شود که قابلیت تأمین موارد فوق را دارا است. نحوه تشکیل این دره‌ها در اثر فرسایش ناشی از عبور یک رودخانه قدیمی و در نتیجه پوشیده شدن آن توسط رسوبات رودخانه‌ای می‌باشد. نام دیگر این دره‌ها درهای مدفون شده(buried valley) است.



شکل 5- 2- دره قدیمی

ویژگی‌های درهای مدفون شده:

- در این گونه از دره‌های مدفون شده از رسوبات رودخانه‌های قدیمی، سیستم زهکش رودخانه قدیمی هنوز به صورت یک سفره آب زیرزمینی کم‌عمق وجود داشته باشد. علاوه بر این، عدم وجود دررُوی آب به صورت نامنظم بسیار ضروری می‌باشد.

- در این نوع از انتخاب مکان، که در اثر فرسایش بستر سنگی بوجود آمده است، دیواره‌ها و کف با نفوذپذیری پایین(نفوذناپذیر) هستند و در نتیجه ریسک کمتری برای هدرروی آب وجود دارد.

- رسوبات موجود در اینچنین دره‌ای شامل مواد ته‌نشین شده در اثر رودخانه عبوری در دوران اخیر زمین-شناسی از دره و همچنین ماسه‌ها و مواد درشت‌دانه منتقل شده از بالادست است. این رسوبات متخلخل و متراکم نشده دارای شرایط مطلوب به عنوان مخزن برای سدهای زیرزمینی هست.

دره های کوچک v یا u شکل مکان های مناسبی جهت احداث سدهای زیر زمینی می باشند که با انجام مطالعات مورفولوژیکی ،زمین شناسی ،هیدرولوژیکی و بهره گیری از دانش ژئوفیزیک نسبت به شناخت محلهای مناسب انها می توان اقدام نمود. اصول اجرای سدهای زیرزمینی سنتی برا ی ایجاد دیواره های غیر قابل نفوذ به منظور جلوگیری از فرار آب زیر زمینی می باشد. بگونه ای که با مطالعات فیزیکی و تعین سنگ بستر، تعیین ضخامت نهشته های ابرفتی ، تعیین سطح ایستابی، ضخامت لایه آبی؛ شرایط نفوذ پذیری سفره، مطالعات چینه شناسی، و سنگ شناسی به مکانیابی و تعیین محل مناسب سدهای زیر زمینی پرداخته می شود. بدیهی است دره های کم عرض V شکل و آبرفتهای کوهستانی مشرف به مخروطه افکنه ها بهترین نواحی احداث این قبیل سدها می باشند . از نظر زمین شناسی لایه های آبرفتی با ضخامت کم و لایه های نفوذ ناپذیر سنگ بستر نزدیکتر به سطح زمین به همراه حرکت آبهای زیر زمینی در جهت شیب هدرولیکی به عنوان بهترین شرایط مناسب در پتانسیل یابی سدهای زیر زمینی محسوب می شوند. بنابراین با بهره گیری از تکنیک های اکتشاف منابع تحت لارضی مشتمل بر دانش زمین شناسی یا ژئوفیزیک و حتی سنجش از راه دور امروزه می توان علاوه بر روشهای معمول یعنی تامین آب به صورت حفر چاههای عمیق و نیمه عمیق و قنوات که به استحصال اب سفره های زیرزمینی منجر می شود، با استفاده از فنون جدید مهندسی به منابع جدیدی جهت استعمال ابهای زیر زمینی دست یافت، همچنین تعیین شکستگیها و درزهای تکتونیزه، وجود زمین لغزشهای احتمالی و تعیین دقیق شیب گرادیان هیدرولیک آب زیر زمینی و تغییرات مسیر و انشعابات فرعی آن از دیگر مواردی است که باید در مطالعات مربوط به انتخاب محل سدهای زیر زمنی مشخص شود.

5- 2 - انواع سد زیر زمینی از لحاظ وضعیت قرار گیری در زمین :

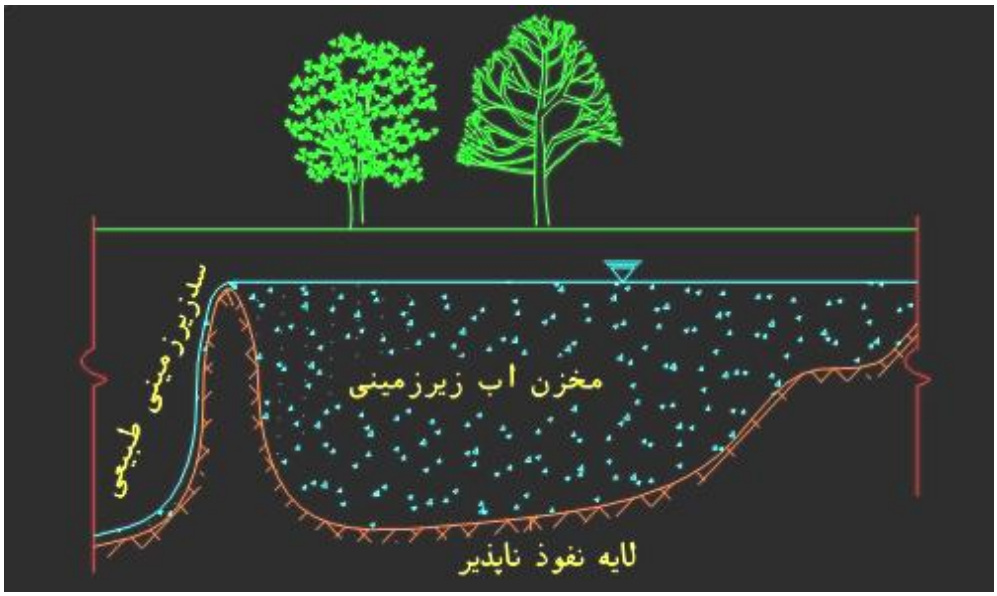
الف)سدزیرزمینی طبیعی ب)سدزیرزمینی مصنوعی

ب-1) مدفون ب -1-1) نزدیک سطح زمین ب -1-2) در اعماق زمین

ب-2) نیمه مدفون

الف) سدزیرزمینی طبیعی:

لایه های نفوذ پذیر همانطور که قبلا گفته شد از سنگ یا رس تشکیل شده اند که حرکت آب در برخورد با آنها با کندی مواجه شده ویا قطع می شود. این لایه ها همانند سطح زمین دارای پستی و بلندی می باشند که حاصل حرکت گسلها – آتش فشانها – حرکتهای پوسته ای و.... هستند هنگامی که آبهای زیر زمینی در هنگام حرکت در شیب زمین به یک لایه نفوذ ناپذیر بلند با ارتفاع زیاد برخورد می کنند از حرکت باز ایستاده و در پشت لایه نفوذ ناپذیر که به عنوان سد زیر زمینی عمل می کند جمع میشوند شکل روبرو به صورت شماتیک یک سد زیر زمینی طبیعی را نمایش می دهد .



شکل 6- 2 - سد زیرزمینی طبیعی

ب) سدهای مصنوعی:

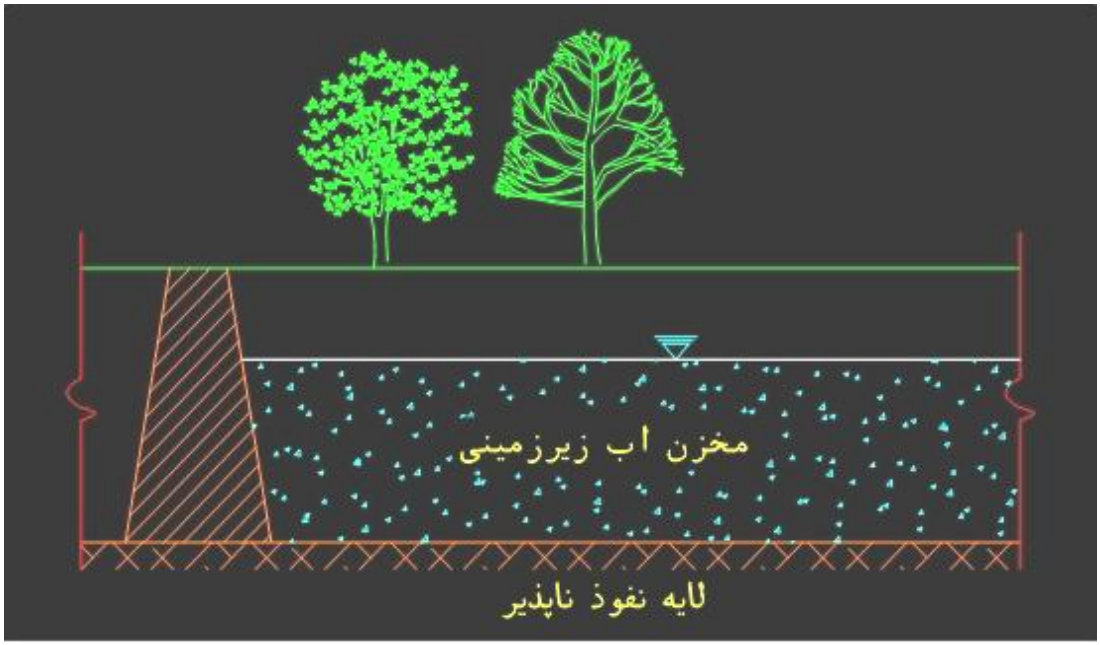
سدهایی هستند که ساخته دست بشر هستند و به دو دسته مدفون و نیمه مدفون تقسیم می شوند.

ب-1) سدهای مدفون:

این نوع سدها شامل دیواره ای هستند که به طور کامل داخل زمین قرار گرفته اند و مخزن آن در داخل آبرفت بالا دست تشکیل می گردد. اکثر سدهای زیر زمینی از این نوع هستند. سدهای مدفون به دو دسته نزدیک سطح زمین و در اعماق زمین تقسیم می شوند .

ب-1-1) سدهای مدفون نزدیک سطح زمین:

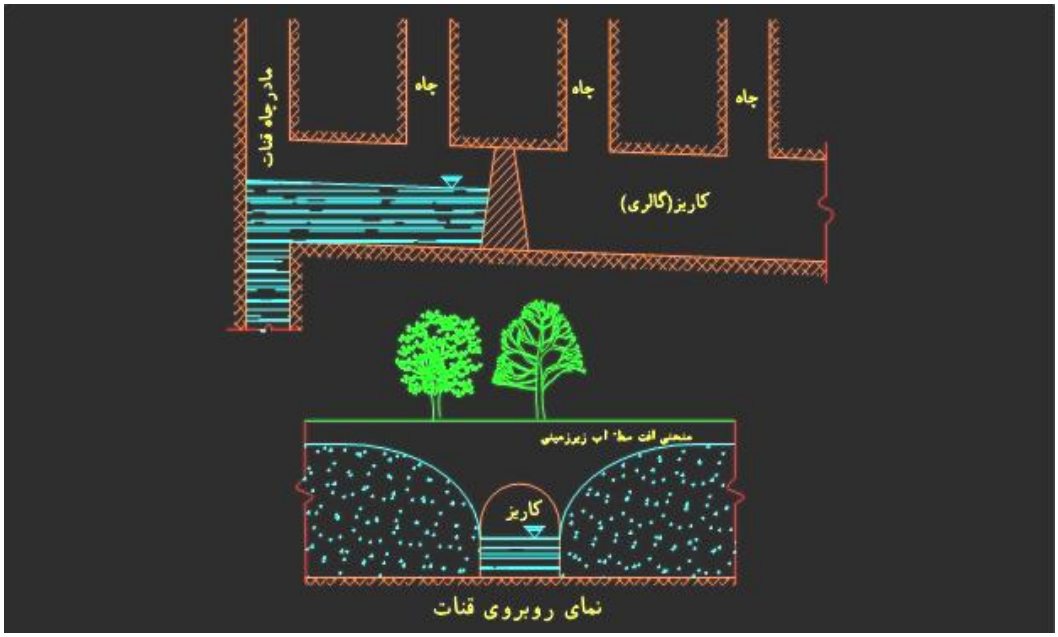
لایه نفوذناپذیر مصنوعی هستند که عمود بر مسیر آب زیرزمینی قرار گرفته اند و ارتفاع آن از سطح زمین بالاتر نمی آید .



شکل 7- 2 سد مصنوعی

ب -1-2-) سدهای مدفون در اعماق زمین:

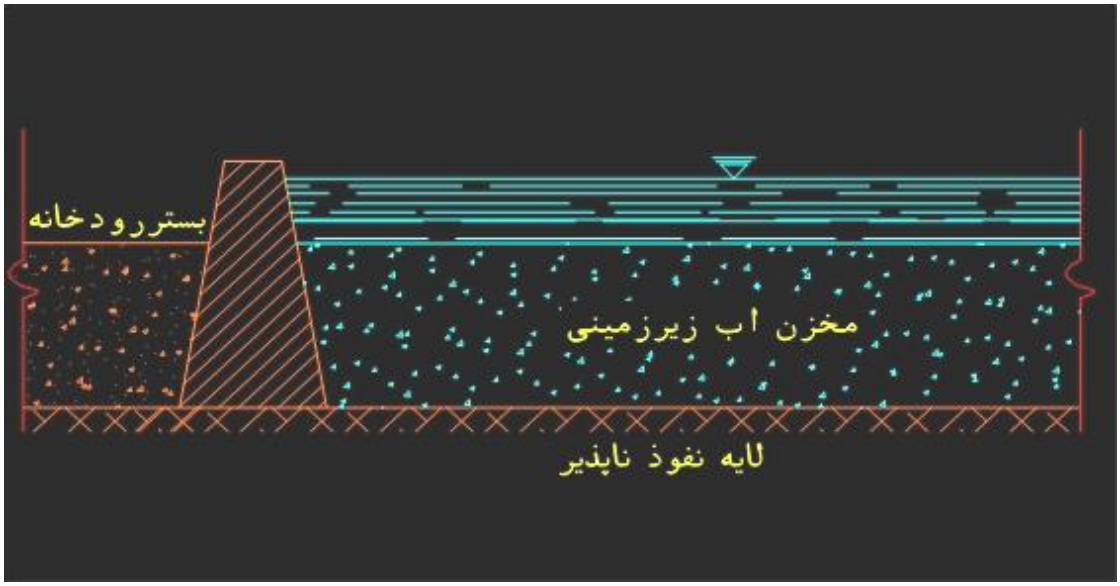
در بعضی مواقع به منظور جلوگیری از خروج آب قنوات در زمان غیر آبیاری وزمستان می توان در محل مناسبی از مسیرقنات اقدام به احداث سد زیرزمینی نمود و آب مازاد را در داخل سفره بالا دست آن ذخیره ساخت. این روش به طور سنتی در بعضی از نقاط کشور به کار گرفته شده است. همچنین با احداث این گونه سدها می توان مسیر برخی از چشمه ها و قناتها را مسدود کرد وآاب انها را به سمت چشمه اصلی و مادر چاه قناتها هدایت نمود .



شکل 8 – 2- سد مدفون

ب-2) سدهای نیمه مدفون

در سدهای نیمه مدفون دیواره نفوذناپذیر غالبا" تا ارتفاع بالاتری از سطح زمین نیز امتداد پیدا می کند که این نوع سدها می توانند علاوه بر یک مخزن زیر زمینی با ایجاد یک مخزن معلق سطحی و رسوب گیری جریان رودخانه یا سیل بر حجم مخزن زیر سطحی خود بیفزاید و آن را توسعه دهد بنابراین برای کنترل سیل نیز مناسب خواهند بود . نمونه ای از این سدها در ژاپن (سد نیمه مدفون جوگین) .ساخته شده او مورد بهره برداری قرار گرفته است. شکل روبرو شماتیک یک سد زیر زمینی نیمه مدفون نمایش داده شده است.



شکل 9 -2 سدهای نیمه مدفون

فصل سوم

روش های برنامه ریزی و تحقیق

1 – 3 – روش های مناسب

نقشه های مختلف و تصاویر ماهواره ای بهترین وسیله برای مطالعات منطقه ای هستند. برای مطالعه منطقه ای، نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی نیاز است که معمولا در کشور های در حال توسعه حتی اگر دسترسی به آنها مشکل باشد، وجود دارند. نقشه های موضوعی که نشان دهنده ی شرایط اقلیمی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، خاک، پوشش گیاهی، کابری اراضی و غیره هستند نیز می توانند اطلاعات مفیدی ارائه دهند. امروزه اطلاعات ماهواره ای در اشکال مختلف در دسترس هستند. روش های دیجیتالی و تکنیک های رنگ کاذب بخوبی توسعه یافتند و می توانند مورد استفاده قرار گیرند.تصاویر ماهواره ای سیاه و سفید و واضح در مقیاس 1/200000 برای تفسیر نتایج زمین شناسی محیط، وضعیت آب زیر زمینی، فرایند رواناب سطحی، فرسایش و رسوبگذاری کافی هستند. همچنین باید گزارش هایی از مطالعات قبلی جمع آوری شود و در تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گیرد. چنین مطالعاتی شامل موارد مذکور است مانند نقشه ها اما

تحقیقات ثانویه نیز ممکن است مد نظر باشد. برای مثال ممکن است در گزارشاتی که در پروژه های برق آبی یا آبیاری منتشر شده، اطلاعات مناسبی در مورد فرسایش و رسوبگذاری پیدا شود. مطالعه ی محلی در ادامه تجزیه و تحلیل منطقه ای بیانگر پتانسیل استفاده از مناطق است که شامل کارهای صحرایی وتحقیقات جزئی بیشتری است. بهترین وسیله برای پیدا کردن مکان مناسب سد زیر زمینی، تفسیر عکس های هوایی است که با مطالعات نقشه ها و کنترل صحرایی تلفیق پیدا کند. همچنین در این مرحله اطلاعات حاصل از مطالعات باید ثبت شود. اندازه گیری صحرایی مربوط به دبی آب سطحی و رسوبگذاری باید به ساده ترین روشی که ممکن است انجام پذیرد. اگر ایستگاه های اندازه گیری نباشد در این صورت می توان سطح جریان اوج را از روی نشانه ای موجود در زمین، موجودات و یا به کمک مشاهدات مردم تخمین زد. به طور مشابه انتقال رسوب و فاکتور های آنرامی توان با میزان نهشته های حمل شده در نزدیکی موانع سنگی موجود، تخمین زد. مطالعه هیدروژئولوژکی مناسب ضروری است . بعلاوه تعیین منافع ساخت سد در دوره هایی که حجم ذخیره افزایش یافته است و ایجاد چشم اندازه مناسبی از شرایط آب زیر زمینی در محل وقتی که امکان شکست طرح وجود نداشته باشد نیز مهم است. یک مطالعه باید شامل برنامه ارزیابی سطح آب، حداقل در سال قبل از احداث باشد. چاههای مشاهده ا ی باید در فاصله مناسبی در بالا و پایین سد ایجاد گردند و برای ارزیابی آتی اهداف طرح مورد استفاده قرار گیرند. اگر تعیین سطح آب به طور منظم ممکن نباشد، اطلاعاتی که به وسیله مشاهدات مردم محلی و یا با استفاده از مطالعه اثرات سطح آب در چاههای باز جمع آوری می شود مفید است. افزایش ذخیره آب ناشی از احداث سد با تعیین نوسانات سطح آب زیرزمینی ممکن است. همچنین می توان جریان طبیعی آب زیر زمینی را در مدت فصول مختلف محاسبه نمود و مقدار جریان آب زیر زمینی در دسترس برای پمپاژ را تعیین نمود. مطالعه هیدروژئولوژی شامل گمانه زنی مکانیکی و یا مطالعه ژئوالکتریک باید برای سدهای زیر زمینی در نظر گرفته شود. مواد سفره در محل خود باید با تستهای آزمایشگاهی و دیگر روشهای هیدروژئولوژی مانند آنالیزهای شیمیایی، تستهای پمپاژ، تست متـه زنی و غیره

از نظر هیدرولیکی طبقه بندی شوند. این موارد در مواقعی به کار می رود که ضرورت داشته و از نظر اقتصادی ممکن باشند. به دلیل استفاده از روش های ژئوفیزیکی پیچیده را باید محدود نمود. روشهای سیتماتیک زمین شناسی، شناخت نواحی شکستگی را در رخنمونهای سنگی منطقه ممکن می سازند که برای پیش بینی تاثیر پتانسیل زهکشی در ناحیه زیرین نواحی شکستگی می باشد. مواد ساختمانی مورد استفاده برای سد های زیر زمینی بیشتر آجر، رس فشرده، بتون و سنگهای ساختمانی می باشند. معمولا بعضی از فیلتر های سنگریزه ای برای زهکشی آب در سد استفاده می شوند. پائین نگهداشتن هزینه های ساخت مهم است که با مواد مورد استفاده مانند رس، شن، سنگریزه و سنگهای موجود در محل، اینکار امکان پذیر است. در مطالعات صحرایی به موازات دیگر کارهای صحرایی می توان این موارد را مشخص نمود.

2- 3 تجربیاتی از طرح های قبلی

بیشتر طرحهای ساخت سد زیر زمینی، از لحاظ جغرافیایی ایزوله هستند . مطالعات فیزیکی زیادی به صورت منطقه ای صورت گرفته است. بیشتر خصوصیات مناطق، بخصوص شرایط مناسب فیزیکی برای انواع مختلف سد مورد مطالعه قرار گرفته اند. همچنین برنامه ریزی فیزیکی مناسب در مقیاس محلی بین مناطق واقعی پروژه وجود ندارد. مکانهای مورد نظر بطور کاملا اتفاقی بجای مطالعات سیستماتیک در سفره های صحرایی انتخاب شده اند. بهر حال در این مکان ها، مثالهای مناسبی از این پروژه ها وجود دارند. یکی از آنها پروژه سد ذخیره ای شنی ماچاکوس در کنیا است. پروژه ماچاکوس مثالی از جاهایست که احداث سد های زیر زمینی بر مبنای فعالیت های مکمل شکل گرفته و بخشهایی نظیر توسعه اجتماعی را در بر گرفته است. سدهای زیر زمینی برای نگهداری و تهیه آب در شرایط مشخص مفیدند و عموما قابل استفاده اند. به نظر می رسد که دارای اهداف خاص هستند. کارایی و تناسب آنها باید در رابطه با دیگر فعالیت ها و شرایط مناطق مورد مطالعه در نظر گرفته شود.

در نتیجه فقدان برنامه ریزی جامع، از روشهای سنجش از دورمانند تصاویر ماهواره ای و تفسیر عکس های هوایی استفاده کمی می شود. روشهای ژئوتکنیک و ژئوفیزیک که در بعضی موارد، مورد استفاده قرار می گیرد فقط اطلاعات ضروری منطقه ای را برای طراحی، احداث و تجزیه و تحلیل اقتصادی فراهم می کند. تا وقتی که اقدامات صورت گرفته برای احداث سدهای زیر زمینی ارزان باشد، روشهای تحقیقاتی و فنی مورد استفاده نیز هستند. برای مثال تنها مطالعه فنی که قبل از احداث یکی از سدهای زیر زمینی در جنوب هند انجام شده ژرفا سنجی الکتریکی در عرض دره برای پیدا کردن سطح سنگ بستر بوده است. عمدتا تحقیقات صورت گرفته در مناطق مشابه عبارتند از: مطالعه زمین، برنامه ارزیابی سطح آب زیر زمینی، کاوشهای نوترونی، اندازه گیری پتانسیل الکتریکی، مفاومت سنجی و اندازه گیری ژئو الکتریک. متاسفانه مثالهای زیادی از سدهای زیر زمینی وجود دارند که به علت فقدان برنامه ریزی و طراحی مناسب، موفقیت آمیز نبوده اند که ممکن است ناشی از افتهای تراوشی پیش بینی نشده در نواحی شکستگی لایه ها، خسارات ناشی از فرسایش به علت تشکیلات نامناسب سنگ بستر و غیره باشد و یا ممکن است به علت تفسیر نهایی نادرست از شرایط آبهای زیرزمینی محل باشد. در نتیجه می توان با استفاده از روشهای ژئوفیزیکی ساده که با تجزیه و تحلیل مناسب اطلاعات تلفیق شده باشند، پروژه بهتری ارائه نمود و یا سبب اجتناب از اجرای ناموفق آنها شد .به هر حال نیاز به تعیین روشای ژئوفیزیکی مناسب و امکان پذیر و توسعه روشهای جدید و تحقیقات ساده است.

3- 3- شرایط فیزیکی

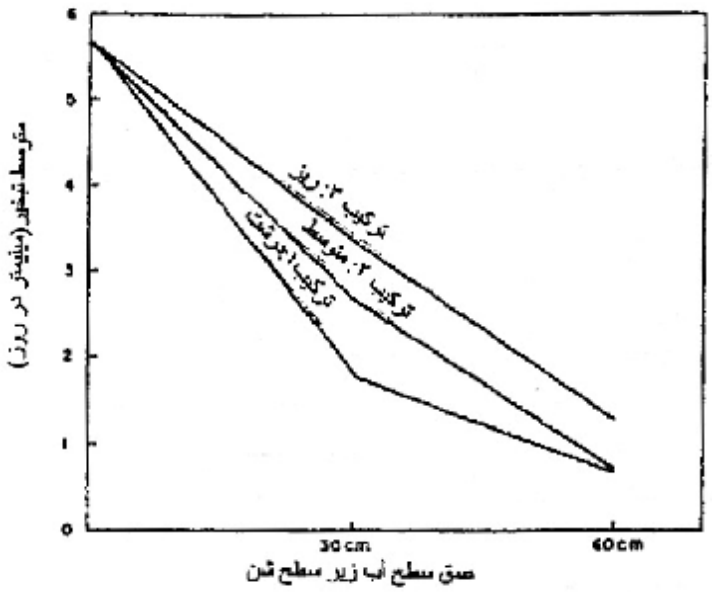
1- 3- 3 – اقلیم

اصولا نیاز به سد های زیر زمینی برای نگهداری آب به وسیله پراکنش باران تعیین می شود. در مناطق با اقلیم موسمی، مقدار باراندگی برای فراهم نمودن احتیاجات مردم و کشاورزی کافی است اما با توجه به توزیع

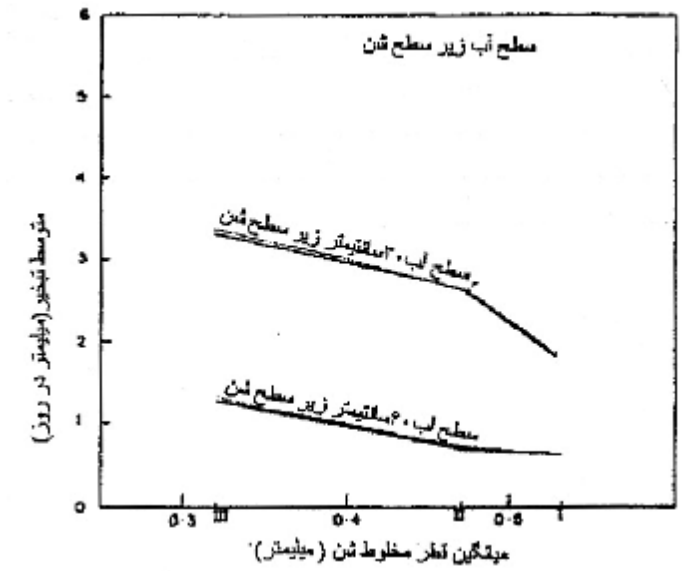
فصلی بارش، در بخش هایی از سال آب در دسترس نیست. بنابراین سدهای زیر زمینی به معنی ارتباط با دوره های خشک فصلی است ، بعلاوه بارش های موسمی اغلب کم می باشند واثرات نا مطلوبی بر مکان های ذخیره آب می گذارند. همچنین سد های زیر زمینی با اقالیم محلی که آب در طول سال در دسترس است نیز ساخته می شوند که برای افزایش کمیت آن و یا بالا بردن سطح آب زیر زمینی در سفره های سد سازی شده می باشد و یا سفره هایی که به وسیله رخنمون های سنگی احاطه شده اند.

اقالیم خشک، موسمی، حاره ای مرطوب و خشک بخشهایی از جهان هستند که با توجه به وضعیت بارش برای سد های زیر زمینی مناسبند و تناسب خوبی برای احداث سد های زیر زمینی دارند.طبق تعریف کوپن، مناطق خشک در جهان مناطقی هستند که پتانسیل تبخیر بیشتر از میزان بارش است. منافع نسبی سد سازی زیر زمینی در مقایسه با ذخایر سطحی، مربوط به افتهای زیاد ناشی از تبخیر سطحی از سطوح باز است.

ترتیب و اندازه مواد بر میزان تبخیر اثر می گذارد.همچنین مشخص شده است که کاهش ذرات کمتر از 0/1 میلی متر از 0/9 درصد به 0/7 درصد در یک لایه شنی متوسط در عمق 0/3 متری از سطح ایستابی ، میزان تبخیر را 25 % افزایش می دهد. بنابراین باید از تجمع ذرات ریز در عمق های کم در سد های ذخیره شنی اجتناب شود.



شکل 1 -3 - رابطه میزان تبخیر با عمق سطح آب



شکل 2-3 - رابطه میزان تبخیر با اندازه ذرات

2- 3- 3 - توپوگرافی

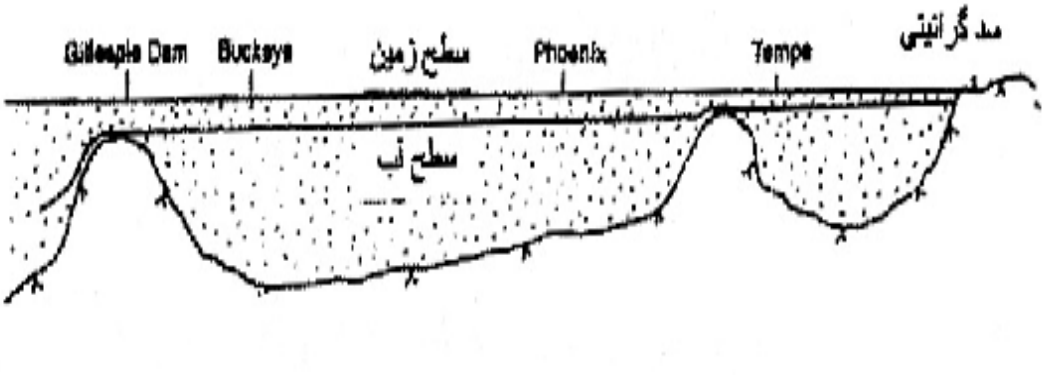
شرایط توپوگرافی بخش عمده ای از قابلیت های فنی جهت احداث سد را تحت تاثیر قرار می دهد که ممکن است مخازن بزرگ ذخیره را با تغذیه مناسب و افت های تراوشی کم فراهم نماید.

حوزه ای که آب در آن آب ذخیره می شود، ممکن است از سنگ بستر یا سازند های ضعیف با نفوذ پذیری کم تشکیل شده باشد که مکانی مناسب برای سد های زیر زمینی هستند. دره های باریک و بستر رودخانه ها، هزینه ها را کاهش می دهد و امکان ذخیره حجم زیادی از آب را فراهم می نماید و سبب کنترل افت های ناشی از تراوش می شود. از طرف دیگر در مواردی که احداث سدی بلند در محدوده کوچکی امکان پذیر باشد، حجم ذخیره به ماکزیمم می رسد. در مناطق کوهستانی با شیب زیاد، تعیین رابطه قابل قبول بین مقدار ذخیره و بلندی سد مشکل است. دلیل اساسی احداث سد های زیر زمینی، تهی شدن جریان آب به واسطه جریان های طبیعی آب زیر زمینی است. شیب سطح آب زیرزمینی و گسترش جریان تابعی از شیب توپوگرافی است. در واقع احداث سد زیر زمینی در صورتی میسر است که شیب توپوگرافی حداقل باشد که تطابق خوبی با شرایط هیدرو ژئولوژیکی محل دارد.

اندازه ذرات رسوب که در در امتداد رودخانه ها و بستر رودخانه ها تجمع یافته است معمولا متناسب با شیب توپوگرافی است، هر چند از طرف دیگر عمق و گسترش جانبی این نهشته ها رابطه معکوس با شیب دارد . رابطه بهینه بین این دو عامل و مکان های مناسب برای احداث سد های زیر زمینی معمولا در شیب های ملایم و در نواحی انتقال بین دامنه ها و دشت ها یافت می شود . توپوگرافی بستر های غیر قابل نفوذ یا سنگ بستر، میزان ذخیره موثر و روش های احداث سد را تعیین می کند.

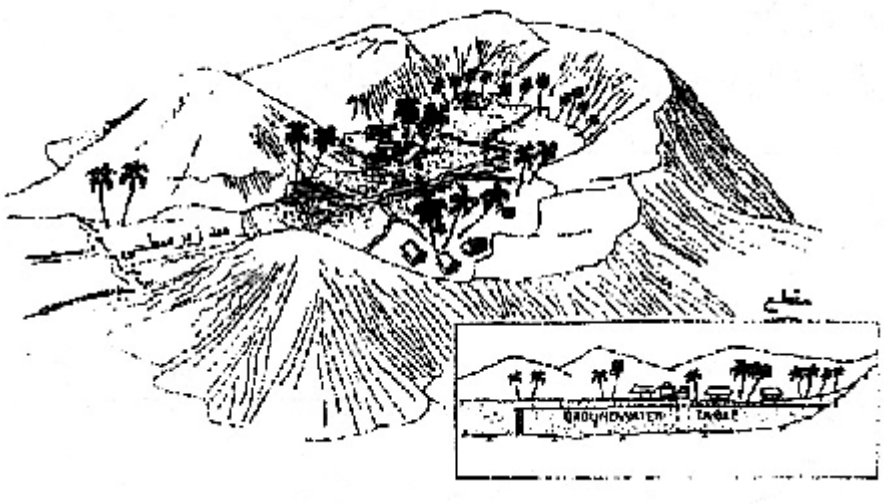
در شکل زیر وضعیت سدهای زیرزمینی را در فرم دیواره های سنگی نشان می دهد که سبب بهبود شرایط آبهای زیرزمینی شده اند. همچنین اینگونه مناطق مکان هایی را برای احداث سدهای زیرزمینی که مقدار آب قابل بهره برداری را افزایش می دهند فراهم می نمایند. موانع طبیعی ممکن است همانند یک سد زیرزمینی

یک سد اثر کنند که باید با احداث سدهای زیرزمینی توسعه یابند.



شکل 3-3 - تاثیر موانع سنگی بر سطح آب زیرزمینی در دره رودخانه

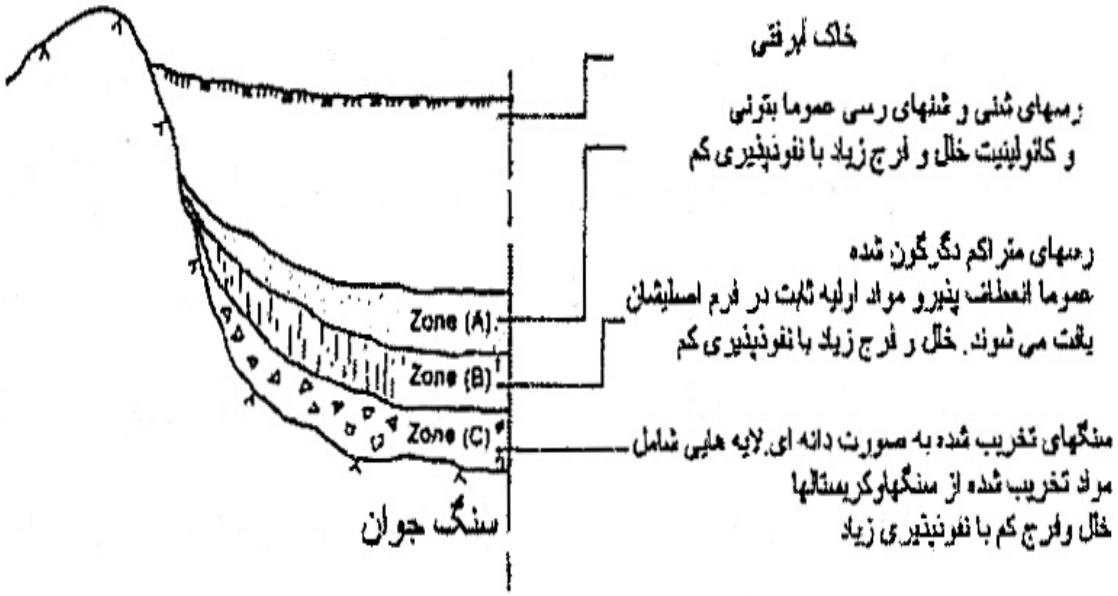
دیواره های سنگی سطحی موجود برای ایجاد سدهای ذخیره ای شنی لازمند. مثالی از شرایط بهینه توپوگرافی رایج در شکل زیر نشان داده شده است. سفره ای که در عرض دره با شیب ملایم گسترش دارد و از میان معبر باریکی بینی رخنمون های سنگی زهکشی می شود. یک سد در این مکان می تواند مقدار زیادی ذخیره را با هزینه پایین فراهم نمایند .



شکل 4- 3 - مثالی از شرایط بهینه توپوگرافی برای یک سد زیرسطح

3-3-3- هیدروژئولوژی

سفره های مناسب برای احداث سدهای زیر سطحی، سفره هـایی هسـتند کـه بسـتر رودخانـه ی انهـا از شـن یـا سنگریزه تشکیل شده باشد. لایه های هوازده و سفره های آبرفتی عمیق جهت سد سازی آبرفتی موفقیت آمیـز است. گرچه این سفره ها، ذخیره و خصوصیات جریان متغییری دارند ، بـازده ویـژه چنـین لایـه هـای آبـدهی، ممکن است از 5 تا 50 درصد متغیر باشد که یستگی به توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات و فشردگی آنهـا دارد. همچنین مقدار هدایت هیدرولیکی به نوع مواد تشکیل دهنده سـفره بسـتگی زیـادی دارد. بـرای مثـال هـدایت هیدرولیکی شن سبک ممکن است هزاران برابر بیشتر از شن سنگین باشد. وجود ذرات رس در آبخـوان شـنی ممکن است هدایت هیدرولیکی را هزاران مرتبه کمتر نماید. موقعی که سد زیر سـطحی در سـفره ای بـا مـواد ریز دانه ساخته می شود، ممکن است مشکلاتی پدید آید که بسـتگی کمـی بـه مقـدار ذخیـره در دسـترس بـا مقایسه با قابلیتهای برداشت آن دارد .



شکل 5- 3- . پروفیل عمده یک لایه هوا زده

با توجه به مطالعات تیلور (1984) 4 افق در این پروفیل مشخص شده است. لایه های بالایی (الف) و (ب) هر دو مقدار تخلخل بالا و نفوذپذیری کمی دارند. افق (ج)تخلخل کم امانفوذپذیری بالایی دارد. اگر در این سفره سدی ایجاد شود باید شرایط ذخیره د افق های الف و ب مهیا شود و افق ج به شکل طبیعی باقی بماند و با توجه به اینکه گسترش جانبی دارد روی جریان زهکشی برای برداشت آب از چاه موثر است. احداث سد های زیر سطحی در شکستگی لایه های سخت در سفره ها پیشنهاد شده است. چنین سدهایی شامل دیواره ای از قطعات کوچک و بزرگ سنگ هستند که جریان را در بخشهای پایین قطع می کنند. نواحی شکستگی نفوذپذیرند و ممکن است در این نواحی زهکشی متوقف شود و سبب افزایش میزان ذخیره در سفره های بالایی شوند . تکنیک تزریق مواد نیز به این شیوه عمل می کند . به هر حال این روش برای فعالیت های بزرگ به کار می رود نه برای روش های نگهداشت آب روستایی در مقیاس کوچک. سد های زیر سطحی به دلیل استفاده از تکنیک های حفاری برای سفره های کم عمق مناسبند. معمولا ارتفاع سدهای زیر زمینی ساخته شده در بستر رودخانه بین 3 تا 6 متر است. ارتفاع سد با توجه به تثبیت شیب مواد حفاری شده، عمق آب زیر زمینی در زمان ساخت و هزینه های پذیرفته شده برای ساخت تعیین می شود. معمولا سفره هایی که در آنها سد های زیر سطحی ساخته می شوند به دلیل اینکه اینگونه سفره ها محصور نیستند کم عمقند . سدهای زیر زمینی در جزیره کابا در شرق ژاپن در سفره ای با عمق 10 تا 25 متر احداث شده اند . سد سازی در این عمق با استفاده از تزریق بنتونیت برای ایجاد یک دیوار حائل در سفره های سنگریزه ایی میسر است. تغذیه سفره با سیستم های وسیعی از توده های شن که در محدوده لایه ها نفوذ می کنند زیا د می شود . ممکن است سد سازی در عمق سفره های محصور شده با توجه به مساحت کم سد، برای کنترل کیفیت آب مناسب باشد. لازم است که شرایط هیدروژئولوژی به وسیله بررسی های ژئوفیزیک به خوبی شناخته شوند. اگر این روش برای کشور های در حال توسعه در نظر گرفته شود باید نیاز به استفاده از تکنولوژی های گران و پیچیده را مد نظر قرار داد که ممکن است همیشه این روش ها برای استفاده در

مقیاس بزرگ به دلیل عدم تامین هزینه های بالا برای ساخت میسر نباشد. به هر حال این روش ها کارایی زیادی دارند ایده اصلی احداث یک سد زیر سطحی، ذخیره و نگهداری جریان طبیعی آبهای زیر زمینی است و قبل از آن باید تحقیق شود که آیا طرح می تواند سود آوری داشته باشد یا خیر و وسعت جریان تخمین زده شود وشرایط نفوذپذیری سفره ها به طور مختصر بهبود یابد. کمی نمودن میزان جریان با استفاده از تخمین مقادیر نفوذپذیری و یا اندازه گیری شیب واقعی سطح ایستابی آب زیر زمینی در بخش مطالعات پروژه ها نادر است.

در بعضی از فصول، تغییر سطح آب زیر زمینی برای تغییر مقدار ذخیره مازاد ناشی از احداث سد مورد استفاده قرار می گیرد. در مواردی که تجریه و تحلیل سود به هزینه براین اساس باشد با یک برنامه ارزیابی خوب و ساده که شامل تعدادی چاههای مشاهده ایی در سفره هاست، تخمین دقیق انجام می گیرد. معمولا مخازن سد های زیر سطحی به وسیله جریان جانبی آب زیر زمینی تغذیه می شوند . یک برنامه ارزیابی می تواند اطلاعاتی را در مورد گسترش و جهت جریان ارائه دهد. موقعی که آب ذخیره شده در بالادست سد برای آبیاری استفاده شود، تغذیه مناسبی از برگشت جریان در خاک های سطحی که به مقدار کافی نفوذپذیرند صورت می گیرد. اکثر سنگهای زیر زمینی بر روی سنگهای بستر سخت احداث می شوند تا افتهای ناشی از تراوش زیر سد کاهش یابد. توقف شکست در بین شکستگیها حتی اگر آنها در حین احداث سد پدیدار شوند، مشکل است . در مورد سد های زیر زمینی که در دره های باریک احداث می شوند باید ملاحظاتی صورت گیرند و شاخص های توپوگرافی در امتداد آنها در نظر گرفته شود چرا که ممکن است مشابه نواحی شکستگی در لایه های زیرین عمل کنند. در شرایط مناسب، بهره برداری از لایه ای با نفوذپذیری کم در کف مخازن ذخیره ممکن است . منشا آن ممکن است آبرفتی یا بخش بالایی یک لایه هوا زده باشد که در صورت داشتن ضخامت کافی همانند لایه هایی با نفوذپذیری بالا هستند اما همیشه نمی توانند ساختار زهکشی را که خصوصیات سنگ بستر را دارد داشته باشند و ممکن است سبب افت جانبی آب

از مخازن شوند. به هر حال در مواقعی که سد های زیر زمینی به منظور تغذیه سفره ها در نظر گرفته شوند، مناسب هستند.

4 – 3- 3- رسوبات

تجمع رسوبات در بالادست سد ذخیره ای شنی نتیجه دسته ای از فرایندهای فیزیکی است که تمام فاکتورهای هیدرولیکی رسوبات متاثر از آن می باشند. منشا سنگ در حوزه آبخیز مهم است. فرایند هوازدگی سبب تخریب سنگ شده وذرات خاک به وسیله فرسایش جدا و به وسیله آب حمل شده وسرانجام در مخازن ته نشین می شوند. مراحل فرسایش و رسوبگذاری در مناطقی با اقالیم خشک جهان بطور گسترده مطالعه شده اند که عمدتا در رابطه با فعالیت های حفاظت خاک و احداث سدهای بزرگ بوده است. این تحقیقات مستقیما قابل استفاده برای مطالعات ما نیست، در حالیکه سدهای ذخیره ای شنی فقط بخشی از کل بار رسوب را دریافت می کنند. ذخیره آب در سدهای ذخیره ای شنی رابطه مستقیمی با شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رسوبات دارد که به طور گسترده به وسیله پرفسور ویپلینگر مورد مطالعه قرار گرفته است. کار او بر اساس مطالعاتش در نامیبیا بوده اما احتمالا قابل استفاده برای مناطق مشابه در جهان است. جزئیات مطالعات ویپلینگر موارد مربوط به دبی رودخانه ، فاکتورهای رسوب در بستر های طبیعی ومراحل رسوب گذاری در سدهای ذخیره ای شنی به عنوان مرجع را به خوبی بیان می کند. نوع مواد سنگ بستر در حوزه ی آبخیز در جایی که منشا رسوبات است تعیین کننده میزان مواد درشت در بار رسوبی کل است. تشکیلات مناسب، بیشتر گرانیت درشت به علاوه کوارتزیت و ماسه سنگ هستند اما در مورد سدهای ساخته شده در مناطق دارای سنگهای گنیس ومیکاشیست، این سنگها بیشتر به سمت مواد دانه ریز می روند اما شکل نا منظم آنها تخلخل را زیاد می کند. اما مناطقی که سنگهای غالب آنها بازالت وریولیت است برای احداث سد ذخیره ای شنی مناسب نیستند. اقلیم تاثیر زیادی بر فاکتورهای رسوب می گذارد و تعیین کننده رابطه بین هوازدگی فیزیکی و شیمیایی است. در اقالیم خشک درصد کمی از هوازدگی شیمیایی ممکن

است سبب افزایش رسوبات دانه درشت شود. میزان فرسایش بستگی زیادی به شدت بارش، شیب و کاربری راضی دارد. بنابراین بر خلاف آنچه که در مورد نیاز مهندسین هیدرولیک و کشاورزی است، مهندس طراح جهت احداث سد ذخیره ای شنی باید در جستجوی اراضی با شیب تند و با پوشش گیاهی کم در سطح حوزه باشد. در سدهای ذخیره ای شنی رسوبات دانه درشت مناسب ترند که معمولا به صورت بار بستر حمل می شوند. بنابراین نیاز به وقوع رگبارهایی است که در فصل بارانی تولید جریا های اولیه ای کنند که بقدر کافی سنگین باشند و سبب انتقال بار بستر شوند. موقعی که منطقه ای را برای پیدا کردن محل مناسب برای ساخت سدهای ذخیره ای شنی مطالعه می کنیم نباید بلافاصله از اینکه در جایی تجمع رسوبات در امتداد رودخانه وجود ندارد مایوس شد زیرا ممکن است بارش با شدت زیاد، سبب تولید جریانهای سنگینی شود که در این وضعیت تجمع رسوب در شرایط طبیعی ممکن نیست.

فصل چهارم

طراحی سدهای زیر زمینی

الف) مطالعات احداث سد

به طورکلی مطالعات احداث سدهای زیر زمینی در دو مرحله مطالعاتی به شرح زیر انجام می شود.

الف -1) مطالعات مقدماتی

شامل جمع آوری اطلاعات مربوط به عکس هوایی، نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی، اطلاعات مربوط به تراز آب زیر زمینی، آورد سالانه آبهای زیر زمینی و سطحی در منطقه، وضعیت سیلابهای محتمل؛ اطلاعات مربوط به بارشهای منطقه؛ آزمایشات ژئوفیزیک و...

الف -2) مطالعات تکمیلی

شامل اطلاعات مربوط به نوسانات فصلی آبهای زیر زمینی حفر گمانه جهت تعیین عمق و خصوصیات سنگ کف، تعیین ضخامت ابرفت و نهایتا" رسم پروفیلهای طولی و عرضی ابراهه ها می باشد. لازم به ذکر است انجام مطالعات در زمان اجرا و حتی بعد از آن نیز ادامه می یابد و در حین اجرا دیواره آببند سد می بایست به طور منظم از بدنه سد و تکیه گاهها به خصوص در محل اتصال دیواره آب بند به سنگ کف مغزه گیری به عمل آید و آزمایشات متعددی جهت بررسی کسفت مغزه و کنترل و اطمینان از صحت اجرای عملیات

صورت پذیرد که به منظور ایجاد اتصال مناسب بین دیوار آب بند و سنگ کف می بایست دیواره حداقل 20 سانتی متر در سنگ کف فرو رود.

ب) مکان یابی سدهای زیرزمینی

پس از مرحله مطالعات مقدماتی و شرایط مطلوب برای احداث سدهای زیر زمینی حال باید مکان مناسب برای احداث سد زیر زمینی را جستجو کرد. در مکانیابی باید به توپوگرافی حوضه و زمین شناسی حوضه توجهی خاص داشت.

ب- 1) توپوگرافی حوضه

حوزه باید دارای اقلیم خشک یا نیمه خشک باشد 2- شیب زمین باید کمتر از 5% باشد که این خصوصیت بیشتر در دره ها یا رودخانه های باریک و یکدست یافت می شود. 3- سدهای زیر زمینی را می توان در خروجی دشتها و یا در محل گسلها نیز احداث نمود.4- بهترین حوضه ها جهت احداث سدهای زیر زمینی باید دارای یک مسیر خروجی آب زیر زمینی باشد. 5- بستر نفوذ ناپذیر به فاصله کمی از سطح زمین. 6- لایه های زمین با خلل و فرج زیاد و ضخامت کافی برای ذخیره مناسب و هر چه بیشتر آب. 7- کمترین فاصله تا محل مصرف.

ب-2) زمین شناسی حوضه

لیتولوژی: سنگ کف و دیواره های مخزن باید به گونه ای باشد که آبگذاری نداشته باشد. این کار با انجام عملیات ژئوتکنیک که شامل حفاری گمانه های اکتشافی و ازمایش لوژان در محل احداث سد و در محوطه سد امکانپذیر می باشد.

تکتونیک: با توجه به اینکه اکثر تنگه ها و دره ها مناسب سد سازی در نواحی کوهستانی که در اثر پدیده های کوهزایی و عمدتا" گسلی به وجود آمده اند واقع می باشند. منطقه مورد نظر می بایست تحت کاوشهای ژئوفیزیک قرار گیرد و اطلاعات پروفیلها مختلف طولی و عرضی تهیه شده با گمانه های شناسایی

مورد بررسی قرار گیرد.

آبرفت محل سد: از عوامل مهم قابل اجرا بودن یک سد زیر زمینی نفوذ پذیری آبرفت و قابلیت ذخیره سازی و بازدهی سفره است. در محلهای خروجی دشتها به دلیل بعد مسافت و کم شدن توپوگرافی و عبور جریان سطحی و فصلی و دائمی عمدتا" آبرفتهای ریزدانه هستند. لیکن سیلابهای عظیم در بعضی از سنوات لایه های درشت دانه به جا گذاشته که بایستی آن پدیده با ضخامت لایه آبدار و عمق سنگ کف در آن ناحیه و با حفر گمانه های اکتشافی مورد بررسی قرار گیرد. عواملی از قبیل ضخامت قسمت خالی سفره بالا دست محور و جنس رسوبات در راندمان ذخیره و آبدهی و عواملی مانند شیب آبراهه و سطح مقطع خروجی در هزینه های اجرایی طرح بسیار موثر می باشند.

در ادامه مکانیابی اولیه سد های زیر زمینی را بررسی می کنیم :

متدولوژی مکانیابی اولیه سدهای زیرزمینی

1. پارامترهای مرجع(Reference parameters)

پارامترهایی که برای تعیین مکان‌های مناسب برای احداث سد لازم است در ادامه آورده می‌شود. نکته مهم آنکه بیشتر این پارامترها با استفاده از تکنیک سنجش از دور (RS) و بر اساس تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای به همراه نقشه‌های کارتوگرافی موجود با مقیاس بزرگ، محاسبه می گردد. و بقیه پارامترها با بررسی‌های میدانی تعیین می گردد.

1-1. خصوصیات زمین‌شناسی(Geomorphic characteristics)

پهنای باریک‌شدگی(Narrows width): مکانیابی نقاط باریک‌شدگی که در نزدیکی یک سطح باز هستند با انجام آنالیزهای مقایسه‌ای بر روی لایه‌های اطلاعاتی زیر بدست می‌آید: نقشه‌های کارتوگرافی

1:200.000 ، عکس‌های ماهواره‌ای(LANDSAT 7 TM) و نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی منطقه DEM (Digital Elevation Model) ASTER . تخمین پهنای باریک شدگی (L) به روش مشاهده ترکیب لایه-های فوق در محیط GIS صورت می‌پذیرد.

ناحیه تحت تأثیر سد: ناحیه تحت تأثیر (A_{all}) در بالادست سد، پس از احداث آن، توسعه و ترقی بسیاری را بدست خواهدآورد که آن به سبب دسترسی بهتر به منابع آب زیرزمینی است. روش محاسبه مساحت سطح این ناحیه از طریق مشاهده و تجزیه و تحلیل بر روی باندهای مرئی(Visible bands) عکس‌های ماهواره‌ای در محیط GIS انجام‌پذیر است.

طول سیلان(Stream length): طول سیلان (L_{oued}) به طولی از سیلان آب در مسیر رودخانه قدیمی می-گویند که در ناحیه تحت تأثیر سد باشد.

حوزه آبریز (Catchment area): مساحت حوزه آبریز (A_{idr}) به وسیله مدل رقومی ارتفاع منطقه DEM (ASTER به صورت اتوماتیک در محیط GIS بدست می‌آید.

گسل‌ها: شناسایی مکان‌های گسل‌ها به وسیله نقشه‌های زمین‌شناسی 1:500.000 و تصویرهای ماهواره‌ای انجام می‌پذیرد.

عمق سنگ بستر و میزان تخلخل لایه‌های خاک منطقه: عمق سنگ بستر را می‌توان با اندازه‌گیری میزان جریان آب در زمین برآورد کرد. برای انتخاب اولیه مکان‌های مناسب برای احداث سد، در جاهایی که اطلاعات ژئوفیزیک منطقه وجود ندارد، با نسبت ثابت (با توجه به شرایط منطقه همچون 1:20) از پهنای باریک شدگی یک برآورد اولیه از عمق سنگ بستر بدست می‌آید. برای برآورد میزان تحلخل خاک(n) در قسمت‌های مختلف، ما نیاز به رجوع به اطلاعات قبلی از منطقه و در صورت نیاز به زدن گمانه در مناطق مختلف داریم.

1-2. پوشش گیاهی

شاخص نرمال تنوع پوشش گیاهی .NDVI (The normalized difference vegetation index) یک شاخص برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی می‌باشد و برای اندازه‌گیری کمی زیست توده و وضعیت سلامت پوشش گیاهی (vegetable biomass & vegetation health) استفاده می‌شود. اندازه‌گیری این شاخص به وسیله پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک(near infrared) بدست می‌آید.

1-3. زیرساخت‌ها و روستاهای دائمی

از دیگر اطلاعات موردنیاز، دسترسی به زیرساختهای ارتباطی راه می‌باشد که بوسیله نقشه‌های کارتوگرافی 1:200.000 شناسایی می‌گردد. مکان‌یابی روستاها و دیگر جاهای مرتبط با انسان را نیز به همین طریق بدست می‌آوریم. از دیگر اطلاعات لازم برآورد تعداد جمعیتی که از احداث سد بهره‌مند می‌شوند و میزان آن، می‌باشد.

1-4. ویژگی‌های هواشناسی:

1. بارندگی سالانه: این پارامتر از طریق اطلاعات موجود در ایستگاه‌های هواشناسی بدست می‌آید.

دیگر پارامترهای موردنیاز، به‌وسیله تهیه مدل هواشناسی منطقه و استفاده از الگوریتم‌های مناسب بدست می‌آید.

2. طریقه فرآیند گزینش(screening procedure):

متدولوژی انتخاب شده برای این امر بر اساس متد تصمیم‌گیری چندمعیاره (multi-attribute decision method) می‌باشد. این روش شامل فاز اول شناسایی مکان(site identification)، فاز دوم انتخاب کیفی مکان(qualitative selection) بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی و عملکردی آن و فاز سوم طبقه‌بندی بر

مبنای تخمین میزان کارایی و تاثیر (effectiveness) سد می‌باشد.

2-1. شناسایی مکان (site identification)

از اولین پارامترهای مهم برای تعیین و شناسایی مکان‌های با پتانسیل مناسب برای احداث سد، وجود باریک شدگی در پایین دست حوزه می‌باشد. در هنگام ساخت سد این ویژگی به عنوان یک عامل مهم، باعث استفاده از بدنه سنگی خود کوه برای نگه داشتن آب و کاهش حجم و ابعاد سد و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساخت می‌گردد. این مرحله از کار توسط بررسی مشاهده‌ای بر روی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کارتوگرافی صورت می‌پذیرد.

2-2. انتخاب کیفی مکان (qualitative selection)

مکان‌های انتخابی در مرحله قبل لازم است یک سری ویژگی‌ها را برای داشتن پتانسیل مناسب ساخت سدهای زیرزمینی داشته باشند. عدم پاسخ مثبت به هرکدام از ضوابط زیر سبب حذف آن مکان از ادامه مطالعات می‌شود.

شناسایی گسل: اگر در طول سیلان با گسل برخوردی وجود داشته باشد، گزینه مربوطه ازفهرست حذف خواهد شد.

ویژگی‌های زیرزمین: گاهی اوقات نتایج مطالعات ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که مکان‌های شناسایی شده از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای، که دارای شرایط مطلوبی می‌باشند، در واقع از لحاظ شرایط ریخت-شناسی منطقه (morphological characteristics) مناسب نیستند. به عنوان مثال وقتی آبخوان ما دارای جریان بالایی می‌باشد، می‌توان حدس زد که لایه های زیرین آبخوان نفوذپذیر بوده و باعث هدررفت آب می‌شوند. باید توجه داشت که نفوذناپذیر بودن بستر از شرایط مهم و ضروری احداث سد می‌باشد. لذا در صورت عدم محصور شدن مخزن سد با لایه‌های نفوذ ناپذیر، گزینه مربوطه از لیست حذف خواهد گردید.

فاصله از روستاها: برای جلوگیری از احداث سازه‌ای که به سختی به مناطق دسترسی پیدا می‌کند، برآورد فاصله سد از روستاهای اطراف ضروری می‌باشد. همچنین نزدیکی به روستا را می‌توان با شاخص آسانی(easiness index) برای دسترسی به نیروی ماهر کافی برای احداث سد نیز مورد ارزیابی قرار داد. دوری سایت احداث از روستاها، هزینه‌های اضافی را به پروژه تحمیل خواهد نمود. مثلا در یک پروژه این فاصله برابر 15 کیلومتر در نظر گرفته شده است.

فاصله شبکه از شبکه ارتباطی راه‌ها: نزدیکی راه‌ها یکی از مسائل مهم می‌باشد که اگر محل احداث سد در فاصله دور از راه‌ها باشد، هزینه احداث راه‌های جدید نیز باید در نظر گرفته شود که مقدار این هزینه ممکن است خیلی بیشتر از بودجه تخصیص یافته به پروژه گردد.

طبقه‌بندی سایت‌ها(site classification):

برای تعیین میزان کارایی هر انتخاب، یک سری پارامترهای کمی که بر اساس آن طبقه‌بندی صورت پذیرد، ضروری می‌نماید. در ادامه نحوه بدست آوردن این پارامترها بیان خواهد گردید. پروسه طبقه‌بندی باید شاخص‌های زیر را مورد بررسی قرار دهد:

- تعیین شاخص ویژگی‌های آبرفتی(alluvial plan index)(α):

مقایسه بین فایده و هزینه‌های انجام پروژه،که برای این کار مقایسه‌ای بین حجم قابل‌انتظار ذخیره آب و ابعاد سد زیرزمینی صورت می‌پذیرد.

- تعیین ضریب مرکب(combined coefficient)(β):

میزان دسترسی به منابع آب برآورد می‌گردد که اساس آن ضریب یکنواختی لایه‌های آبرفتی و ویژگی‌های رژیم بارندگی منطقه است.

- تعیین میزان حجم آب‌گیری(water-holding capacity)

این شاخص به تخمین میزان ظرفیت خاک برای ذخیره آب پس از احداث سد می‌پردازد.

2-3-1.**تعیین شاخص ویژگی‌های آبرفتی (α)(alluvial plan index)**:

این شاخص توسط نسبت حجم آب ذخیره شده در مخزن به حجم سازه سد زیرزمینی بدست می‌آید. این شاخص یک تخمین اولیه خوبی برای برآورد مطاله هزینه-فایده اجرای پروژه در مکان موردنظر می‌باشد. روش محاسبه این ضریب در ادامه آورده شده است.

تخمین حجم سازه: برای برآورد تقریبی این حجم فرضیات زیر ضروری می‌نماید: سد زیرزمینی ما روی لایه های نفوذناپذیر در عمق p قرار گرفته است؛ سازه تنها قادر به جلوگیری از حرکت جریان آب است؛ ارتفاع سد از سطح زمین تجاوز نمی‌کند؛ سد دارای شکل منشوری با مقطع مثلث است؛ ضخامت سد s و شیب جانبی m می باشد .

نکته‌ای که توجه به آن ضروری می‌نماید این است که در واقعیت شیب جانبی، هر چه پایین تر و به سمت مرکز نزدیک‌تر می‌شویم، کاهش می‌یابد. لذا حجم واقعی سد کمتر مقدار بدست آمده است.

تخمین حجم زنده ذخیره آب: برای محاسبه این حجم فرضیات زیر را به کار می‌گیریم:حجم ذخیره آب(V_s) برابر حجم آب ذخیره شده در آبرفت بالادست سد می‌باشد، که این حجم باید در محدوده سطح مؤثر(A_{all}) بالادست سد باشد. عرض میانگین سطح مؤثر(L_m) برابر است با نسبت (A_{all}) به طول سیلان-L) (L_{oued}؛ عمق متوسط(p_m) با نسبت ثابتی از عرض میانگین(L_m) (که با توجه به مرجع(1) در ادامه محاسبات 1/20 در نظر گرفته شده است)می‌باشد؛حجم آب ذخیره شده به صورت تقریبی منشوری با مقطع میانگین مستطیل در نظر گرفته می‌شود.

با در نظر گرفتن تخلخل آبرفت(n) می‌توان حجم مؤثر آب ذخیره شده($V_{s(eff)}$) را بدست آورد.

این پارامتر به بیان کمی "کیفیت تنگ‌شدگی(quality of narrows)" می‌پردازد. همچنین توسط این شاخص، ارزیابی هزینه-فایده(نسبت فایده به هزینه) هر کدام از مکان‌ها و مقایسه آنها با یکدیگر امکان‌پذیر می‌گردد. واضح است که پارامترهای گوناگونی که در برآورد واقعی هزینه و فایده مؤثر هستند در نظر گرفته

نشده است همچون برای احداث سد(تغییرات واقعی سنگ بستر،ویژگی‌های ژئوتکنیکی موضعی تنگه، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و ...) و برای حجم واقعی آب ذخیره شده(تغییرات مکانی ویژگی‌های آبرفت محل ذخیره آب،ظرفیت نفوذپذیری خاک، میزان رسوبت خاک و...).

2-3-2-4. تعیین ضریب مرکب(combined coefficient)(β):

برای تخمین کارایی سد، باید میزان دسترسی به منابع آب را مورد بررسی قرار داد. ضریب مرکب برای اندازه‌گیری چنین امری محاسبه می‌گردد تا به کمک پارامترهایی که در بالا بیان شد و احتمال وقوع بارندگی P که به وسیله آن بارندگی، مخزن سد به مقدار ($V_{s(eff)}$) خود می‌رسد. اطلاعات ثبت شده از ارتفاع بارندگی سالانه(h_i) برای یک دوره چند ساله از منطقه جمع‌آوری و در راستای هدف فوق استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه رژیم بارندگی منطقه در طول فصول مختلف متفاوت است، مقدار خالص ذخیره شده در مخزن حاصل بارندگی در ماه‌های بارانی سال می‌باشد و در بقیه ماه‌های سال این آب مصرف و مخزن خشک می‌گردد. همچنین باید تأکید کرد که پارامتر ارتفاع بارندگی سالانه(h_i) یک شاخص دلالت کننده و به راحتی قابل تعیین، برای اندازه‌گیری حجم آب ورودی به آبخوان مربوط به سد است.

آنالیز هیدرولوژیکی(hydrologic anlalysis):

برای تحلیل ماهرانه و اولیه هیدرولوژیکی، ارتفاع آب بارندگی لازم(h) برای پر شدن حجم مؤثر مخزن تخمین زده می‌شود که برای آن فرضیات زیر را باید در نظر گرفت: از تمام مسائل مربوط به میزان نفوذپذیری خاک(soil infiltration) که به شرایط زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه مرتبط است، صرفه‌نظر می‌شود؛ پارامترهای مربوط به رژیم بارندگی در تمام طول سال یکنواخت در نظر گرفته می‌شود.

واضح تعیین ارتفاع بارندگی در حوزه آبریز یک پارامتر بسیار تعیین‌کننده می‌باشد. در واقع زمانی که شرایط ریخت‌شناسی منطقه و ویژگی‌های تنگه مناسب باشد ولی شرایط حوزه آبریز قدرت تأمین آب سد را نداشته

باشد، پروژه راندمان مناسبی نخواهد داشت. به خصوص در مناطق خشک که میزان بارندگی بسیار کم و به ندرت می‌باشد. برعکس موضوع نیز صادق است، یعنی در بعضی مناطق که حوزه آبریز بسیار وسیع و میزان آب فراوان وجود دارد، تنگه با شرایط مناسب یافت نمی‌شود. همچنین توجه به این نکته نیز دارای اهمیت است که در حوزه‌های سیل‌خیز، احتمال تأمین آب کافی برای مخزن سد محتمل‌تر خواهد بود.

احتمال وقوع بارندگی P که توانایی پر کردن مخزن سد راداشته باشد، به وسیله بررسی بارندگی تجمعی سالانه در یک دوره طولانی مدت قابل‌محاسبه است.

محاسبه ضریب β: اطلاعات مربوط به پر شدن تمامی مخزن در ماکسیمم ظرفیت خود را اگر با شاخص مربوط به شرایط ریخت‌شناسی سایت(α) ترکیب و با شاخص مرکب(β) که حاصل‌ضرب موارد فوق است، نشان دهیم، داریم:

$$\beta = \alpha \cdot P$$

شاخص β، در حقیقت پارامتری است که میزان کارایی سایت را برای احداث سد با در نظر گرفتن شرایط ریخت‌شناسی، ابعاد سازه و فراوانی وقوع ذخیره آب(frequency water storage) را نشان می‌دهد. لذا می‌توان گفت که شاخص β به عنوان یک شاخص معتبر و قوی‌تر برای طبقه‌بندی سایت‌های انتخاب شده در آنالیز قبل استفاده نمود. لذا سایت‌های با شاخص β بالا نشان دهنده مناسب بودن اولیه مکان برای احداث سازه سد می‌باشد، هم از لحاظ ریخت‌شناسی و هم از لحاظ شرایط هیدرولوژیکی: یعنی آنها بهترین سایت هستند که هم دارای تنگ‌شدگی بسیار باریک هستند و حوزه آبریز بالادست آنها توانایی تأمین آب کافی برای ذخیره در سد می‌باشد. در آخر سایت‌های انتخابی به ما این توانایی را می‌دهد که با یک برنامه‌ریزی هدف‌مند و صرف هزینه کمتر وارد مرحله مطالعات میدانی گردیم.

تعیین میزان حجم آب‌گیری (soil-water holding capacity):

پارامتر دیگری که کنار پارامتر β مورد استفاده قرار می‌گیرد، پارامتری است که به محاسبه حجم آبگیری در

نزدیکی سطح مؤثر سد(A_{all}) می‌پردازد. با بررسی پوشش گیاهی منطقه می‌توان مشخص کرد که کدام از مناطق به خاطر پوشش گیاهی خود، آب بارندگی را در بین خود نگه می‌دارد. لذا به کمک شاخص NDVI، به خصوص در مناطق خشک که منابع آب بسیار حیاتی است، می‌توان شرایط بیولوژیکی ناحیه‌ای که آب در آن ذخیره می‌شود را بررسی نمود که رابطه بسیار نزدیکی با میزان حجم آبگیری دارد. لذا پیشنهاد می‌شود که متوسط شاخص NDVI در سطح مؤثر سد به عنوان نماینده اندازه‌گیری پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد. درآخر تراکم پوشش گیاهی سایت‌ها محاسبه و می‌توان مناسب بودن سایت‌ها را با این پارامتر نیز سنجید. از دیگر بهبودهایی که در شاخص‌ها می‌توان انجام داد این است تغییرات زمانی NDVI در یک دوره مشخص را نیز در نظر گرفت.

بررسی نتایج:

در بررسی نتایج در نظر گرفتن نکات زیر مفید به نظر می‌رسد:

- سایت موردنظر اگر دارای ضریب α بالایی باشد، از لحاظ ریخت‌شناسی دارای شرایط مناسبی است و اگر مقدار پارامتر P بالا باشد، نشان‌دهنده شرایط مطلوب هیدرولوژیکی می‌باشد.

- پیشنهاد می‌گردد که مقدار متوسط α (α'') و مقدار متوسط P (P'') محاسبه شود:

- اگر مقدار $\alpha > \alpha''$ ؛ سایت با ضریب α بالا

- اگر مقدار $P > P''$ ؛ سایت با ضریب P بالا

- با توجه به مورد فوق، سایت‌ها به چهار دسته قابل تقسیم هستند:

الف) سایت با ضریب α بالا، سایت با ضریب P بالا

ب) سایت با ضریب α بالا، سایت با ضریب P پایین

ج) سایت با ضریب α پایین، سایت با ضریب P بالا

د) سایت با ضریب α پایین، سایت با ضریب P پایین

- توجه به این نکته در انتخاب گزینه‌ها مهم است که یافتن تنگ‌شدگی مناسب نقش کلیدی در احداث سد ایفا می‌کند ولی از طرف دیگر شرایط هیدرولوژی نیز در بعضی شرایط پارامتری بسیار حیاتی در انتخاب گزینه مناسب می‌باشد.

- بیشترین توجه ما در انتخاب گزینه‌های برتر پارامتر β است.

- شخصی که با تصاویر در ارتباط است و آنها رامورد مطالعه و پردازش قرار می‌دهد، نقشی کلیدی در تعیین خروجی و دقت نتایج دارد و دقت تصاویر و مقیاس بهتر نقشه‌ها نسبت به شرط مذکور اهمیت کمتری در حل بهتر مسئله دارند. لذا داشتن با تجربه و با دانش علمی مربوطه با در هنگام پردازش و تحلیل تصاویر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

نکاتی درباره متدولوژی پیشنهادی:

- این متدولوژی یک روش کلی در بررسی مکان مناسب احداث سدهای زیرزمینی است.

- در شاخص‌های محاسبه شده، هم از لحاظ کیفی و هم از لحاظ کمی شرایط داده شده است.

- اساس این روش بر روی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کارتوگرافی و اطلاعات هیدرولوژی و هواشناسی منطقه است، که نشان دهنده ارزان بودن اطلاعات اولیه است.

- این متدولوژی یک متدولوژی مناسب باری مکان‌های با اطلاعات موجود کم است.

- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کارتوگرافی با مقیاس بزرگ از ابزارهای ضروری در امکان-سنجی منابع آب منطقه به خصوص در کشورهای در حال توسعه است.

- بسیاری از پارامترهای اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی که به سختی قابل کمی‌سازی هستند، در این آنالیز صرفه‌نظر شده است، که باید در مراحل بعدی موردمطالعه قرار داد.

- در حقیقت این روش باعث یک جهت‌گیری مناسب‌تر برای مطالعات دقیقتر و میدانی را ایجاد می‌کند.

- با توجه به هزینه اولیه کم انجام این روش در مقایسه هزینه‌های بالای مطالعات دقیق و میدانی، انجام این مطالعات به همراه ابزارهای مذکور، باعث در صرفه‌جویی مالی بسیار خوبی خواهد گردید.

فصل پنجم

طراحی و ساخت

اصول طراحی سد های زیر سطحی و سد های ذخیره ای شنی در فصل یک بیان شد ایتدو به طور اساسی متفاوتند. در ادامه طراحی و ساخت بدو بخش تقسیم شده است .سپس جنبه های اساسی که در هر دو نوع مشترکند آورده شده است.

5-1- سد های زیر سطحی

مقدار ذخیره واقعی سدهای زیر سطحی از چند صد متر مکعب تا چندین میلیون متر مکعب متغییر است .طرحها کاملا متفاوتد در ادامه ملاحظات اصلی برای طرحهای کوچک ارائه شده است.

5-1-1- عملیات زمینی

روش اصلی احداث سد زیر سطحی، ساخت سد در شیار حفاری شده در عرض دره یا بستر رودخانه است. کار صحرایی مورد نیاز تا وقتی که عمق حفاری بیشتر از 3 تا 6 متر نباشد، ممکن است به وسیله کارگر انجام پذیرد. موقعی که مواد خاکبرداری شده، شنی باشند مشکلاتی از لحاظ پایداری و تثبیت شیب بوجود می آید. عموما ماکزیمم شیب قابل قبول برای مواد شنی 30 درجه است. بدین معنی که حفر شیاری 4 متری در بستر شنی رودخانه نیازمند عرض مناسب 15 متری در سطح زمین است. عرض سد با استفاده از نوع عملیات

ساختمانی می تواند به مقدار زیادی کاهش یابد و سبب کاهش قابل ملاحظه هزینه ها شود. در اعماق زیاد، تراکم بیشتر خاک مورد نیاز است. به هر حال افزایش تدریجی امکان پذیر است. در مواقعی که عملیات صحرایی با برنامه کاری صورت می گیرد و لازم است حفاری به صورت مرحله ای با سطوح افقی 2- 3 متری انجام پذیرد، سبب افزایش عرض حفاری می شود . سدهای زیر زمینی معمولا در پایان فصل خشک احداث می شوند که در ین مواقع، آب کمی در سفره ها موجود است و جریان کمی وجود دارد که به وسیله پمپاژ در مدت احداث سد خارج می شود. در مواقع پر کردن مجدد، ایجاد تراکم مناسب با استفاده از فشردگی مشخص و آب دادن اهمیت خاصی دارد. عدم توجه به پر کردن مجدد و ایجاد تراکم مناسب، چندین بار باعث شکست طرحها شده است.

2- 5 - ساختمان سد های زیر زمینی

5-2-1 - بدنه سد

ساختار سد به صوت دیواری قائم بوده که از مهمترین و پرهزینه ترین قسمت های یک سد زیر زمینی به حساب می آید .این بدنه از یک دیواره غیر قابل نفوذ تشکیل شده و با استفاده از روش های مختلف احداث می شود .استحکام این دیوار به گونه ایست که قابلیت اجرا در زیر سطح استابی را داشته باشد.

مهمترین روش های اجرایی موجود عبارتند از:

1-سپر کوبی 2-کوبیدن شن های حائل 3- پرده تزریقی 4- دیواره بتنی 5- دیواره آب بند رسی 6- دیواره با مصالح سنگی 7- دیواره با پوشش ساروج 8- دیواره های آب بند پلاستیکی 9-دیوار بتن پلاستیک با کمک گرابر و هیدرو فریز

عمل فشرده کردن خاک به منظور کم کردن جریان آب زیر زمینی روش خوبی است .هر چند که این روش فقط در صورتی قابل اجرا است که منطقه دارای شرایط فیزیکی خاص و ذخیره سازی آب به روش های

مرسوم و آسانتر غیر ممکن باشد. از جمله مهمترین موادی که در ساخت کلیه سد های زیر زمینی استفاده می شود.آجر،رس متراکم، بتن و مصالح سنگی ساختمانی است. به ممنظور کاهش هزینه های اجرایی طرح، مواد اصلی از جمله رس، شن،سنگ ها و غیره به طور مناسب از نظر کمی و کیفی ترکیب و مورد استفاده قرار می گیرند. طبیعی است که در شرایط یکسان هر چه بدنه کوچکتری جهت کنترل جریان آب استفاده شود طرح اقتصادی تر خواهد بود.

روش اساسی طرح:

زیر ساخت یک سد شامل یک دیوار جدا کننده، وسایل و تسهیلات دهانه آبگیر، تسهیلات آبگیر عملیات نگهداری و و ذخیره سازی و تسهیلات بارگیری حوزه آب زیر زمینی است.

این تسهیلات بایستی طبق عملکرد ضروری یک سد زیر سطحی و موقعیت مساعد، شامل محیط محدود و موقیعت های احتماعی طراحی می شود. به علاوه بسیار مهم است که هزینه های ساختمانی، شامل نگهداری و مدیریت قیمت ها که به پایین ترین رقم ممکن برسد.

2-2-5- **دیوار جدا کننده**

1-2-2-5- **عملکرد دیوار جدا کننده و تاسیسات نگهداری**

یک سد زیر سطحی دو عملکرد دارد : اول ذخیره اب زیر زمینی در مخزن و بالا آمدن سطح آب (طغیان آب) و دوم جلوگیری از نفوذ آب شور.

سد زیر زمینی فقط محدود به ذخیره آب زیر زمینی نیست بلکه آبهای سطحی در منطقه مخزن را هم ذخیره سازی می کند. نشت مخزن آب و نفوذ آب شور در سطح مخزن که باعث به هم زدن کارایی مورد استفاده مخزن آب در دیوار جدا کننده، انشعاب بین دیوار جدا کننده و بستر و درون بستر اتفاق می افتد می شود. وقتی یک دیوار جدا کننده برای یک سد زیر شطحی طراحی می شود، تعیین طرح، هدایت هیدرولیکی و ضخامت دیوار جدا کننده و طول قسمت نفوذ توسط نشت مخزن و نفوذ آب شور را جزیی از دامنه تغییرات

پروژه فرض می کنند. بعلاوه اندازه گیری های زهکشی و تعیین ارتفاع سد با توجه به در نظر گرفتن تاثیر های افزایش سطح مخزن بعد از ساختن دیوار جدا کننده در زمین استفاده می شود همچنین طرح نیروی دیوار از زمین به قسمت ساختملنی تعیین می شود .

این بسیار مرقون به صرفه است که محور سد به کوتاهترین خط پرش تبدیل شود، اگر چه دیوار جدا کننده ممکن است به دلیل استمرار داشتن نیرو خم شود .

دیوار جداکننده و سطح مخزن یک سد زیر زمینی فرونمی ریزد زیرا آنها در زیر زمین هستند.مدیریت دیوار جداکننده برای کنترل دیوار جداکننده و بدتر کردن نفوذناپذیری و پشتیبانی کردن عملکرد ها توسط اندازه گیری مناسب است.

خسارات ناشی از حفاری دستی شکستن ناشی از زلزله ,حفاری های ناشی از آب زیرزمینی و بدتر شدن نفوذناپذیری و شکستن دیوار جدا کننده، ناشی از نشست است که باعث نشت آب محل می شود.

در نتیجه بررسی حفاری ها که به طور مستقیم پایین دست و بالا دست رودخانه دیوار جداکننده انجام می گیرد سطح آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی) به صورت دوره ای یا در یک دوره زمین لرزه به دست می آید .

سوراخ های قابل مشاهده و حفاری شده فاصله های نسبتا مساوی در بالادست و پایین دست رودخانه در محصور سد دارد. در ساختمان سوراخ های قابل مشاهده فرض می شود که مقیاس میزان تراوش به دست آمده و تراوش تخمین زده شده به کاهش سطح آب در بالا دست رودخانه محصور سد از تفاوت های بین سطح آب بالادست و پایین دست محصور سد و نفوذپذیری حوزه سفره آب به دست می آید.

به دلیل کاهش سطح آب و خطای معاینه و بررسی کاهش سطح آب قابل تشخیص فرض می شود که فاصله سوراخ های بررسی شده تعیین شود . فاصله سوراخ که در حال کاهش است باید هزینه های تاسیسات نصب شده و کار بررسی شده را کاهش دهد در نتیجه پیدا کردن و تعیین کردن مکانهای کوچکتر یا تراوش آب

نسبتا کاری ساده است.

سوراخ های بررسی شده ممکن است بر اساس تراکم با توجه به مکانهای احتمالی ساخته شده باشند

1- یک مکان با کیفیت دیوار جداکننده پایین زیرا که سوراخ ها دائما در ساختمان دیوار جداکننده خم می شوند .

2- یک مکان محصور سد خم شده جایی که جریان آب زیرزمینی میل بهب انباشته شدن داشته باشد

3- قسمت پایینی دیوار جداکننده یا جایی که بالای بستر که به خصوص عمیق است

4- مکانی با روش ساخت مخصوص مثل فرایند حفاری

5- یک اتصال در روش های ساخت دیوار جداکننده اگر روشهای ساخت متفاوت استفاده شود

6- یک بستر گسلی در جاییکه ممکن است آب از بستر تراوش کند

در ناحیه میاکو فاصله سوراخ کاری در موارد متعددی در طول محور سد و در منطقه مخزن برای بررسی عمیق بستر و وقتی که در حال طراحی دیوار جدا کننده و تاسیسات دهانه آبگیر هدایت شده است بعضی از سوراخ ها به عنوان سواراخ های قابل مشاهده و بررسی ناشی در مکان خسارت دیوار جداکننده است با توجه به ارتباط بین میزان تراوش آب و کاهش سطح آب و همچنین خطای بررسی شده کمترین کاهش سطح آب قابل تشخیص 30 سانتی متر گزارش داده شده بود.

اگر فاصله سوراخ مورد بررسی باندازه 200 متر باشد .میزان تراوش شده قابل تشخیص است.

سطح آب زیر زمینی می تواند به صورت مداوم با یک مقیاس سنجی در حال ثبت سطح آب به وسیله اندازه گیری سطح آب است قابل مشاهده و بررسی باشد . برای مدیریت و بررسی دیوار جداکننده بررسی دستی کفایت می کند زیرا موارد بسیار قابل بررسی وجود دارد.

2-2-2-5- نفوذ ناپذیری دیوار جدا کننده

بالا آمدن آب یک سد زیر سطحی توسط نفوذ پذیری دیوار جدا کننده تعیین می شود به طوریکه نشت

مخزن از دیوار جدا کننده هیچ اثری بر استفاده از آب نمی گذارد.

در صورت لزوم دهانه آبگیر می تواند محکم یا مطمئن شود با در نظر گرفتن این موضوع که بعضی از تراوش ها از دیوار جدا کننده در صورت در نظر گرفتن تعادل بین ورودی آب زیر زمینی (بارگیری آب زیر زمینی) به محیط مخزن و نشت از دیوار جدا کننده می باشد . طرح هدایت هیدرولیکی دیوار ممکن است افزایش پیدا کند یا ضخامت دیوار کاهش یابد

برای سد زیر سطحی پیشگیری نفوذ آب شور،چنانچه آب شور نفوذ کننده درون دیوار جدا کننده در مخزن، تاثیرات مخالف و ناسازگاری در شور کردن آب که اگر برای زمان طولانی ادامه داشته باشد به جا می گذارد در نتیجه هدایت هیدرولیکی و بعد های دیگر دیوار جدا کننده بایستی بعد از مطالعه کامل تعیین شود.

در ساختمان دیوار جدا سازی،ماشین شروع به حفر خمیدگی کرده و فاکتور های دیگر به طور کلی از اهمیت کمتری نسیت به افزایش عمق برخوردارند. این عمل ممکن است یک فاصله در دیوار جدا کننده ایجاد کند و باعث شود امنیت ضخامت ضروری دیوار غیر ممکن شود و در نتیجه باعث کاهش نفوذ پذیری می شود. وقتی که موقعیت محور سد یا طراحی دیوار جدا کننده تعیین می شود کار آمدی و درستی ساختمان نیز در نظر گرفته می شود. نفوذ نا پذیری دیوار جدا کننده با استفاده از هدایت هیدرولیکی مواد تعیین می شود.

3-2-5- **تعیین روش ساخت دیوار جدا کننده**

1 – وضیعت انتخاب روش ساخت دیوار جدا کننده

تعیین روش ساخت دیوار جدا کننده با در نظر گرفتن به تمام وضعیت های ساختمانی، اقتصادی و دیگر موضوع در جدول صفحه بعد آمده است. و همچنین جدول بعدی ساخت دیوار جدا کننده را برای سدهای

زیر سطحی معرفی می کند.

همچنین وقتی که یک دیوار جدا کننده که هرگز در موقعیت های زیر زمینی (با توجه به برنامه زمان بندی شده) استفاده نشده است به کار می رود بهتر است که کار عملی قبل از عملیات ساخت که کاربرد روش ساخت و مطالعه طرز کار دیوار جدا کننده است بررسی می شود.

جدول 1-5 - موضوع های مورد مطالعه برای انتخاب روش ساخت دیوار جدا کننده

تعریف	موضوع مطالعه
ضخامت دیوار و نفوذ پذیری توسط مقیاس سنج و مواد (مصالح ساختمانی) تعیین می شود	معیار های دیوار جدا کننده
این قابل قبول تر است که یک دیوار جدا کننده عمودی هزینه کمتر و ودر طرح ریزی آن دقت بیشتر است . یک سد زیر سطحی بسیار عمیق نیاز به اندازه گیری دقیق ارتفاع ساخت دارد . به دلیل اینکه انحراف در ارتفاع با افزایش عمق بیشتر می شود , به طوریکه با افزایش عمق ماشین های ساختمانی بار زیادتری دریافت و کارایی حفاری به مرور زمان کاهش پیدا می کند , در نتیجه ماشین های ظرفیت های زیادتری دارند بایستی مطابق عمق انتخاب شوند.	عمق ساخت
سطح آب زیر زمینی بر موقعیت ها و خارج کردن خاک حفر شده و عملیات کار تاثیر می گذارد . اگر سطح آب زیر زمینی پایین باشد و نفوذپزیری زمین زیاد باشد حفر کردن زمین سخت می شود. به علاوه روش های ساخت ممکن است محدود شوند زیرا آب گل آلود حفره های دیوار را سست و ناپایدار می کند.	سطح جریان آب زیر زمینی
وقتی که اجازه داده می شود آب اضافی از منطقه مخزن بالای دیوار جدا کننده سرریز شود نفوذپذیری منطقه بعد از سرریز شدن آب بایستی در ساخت دیوار جدا کننده مورد توجه و بررسی قرار گیرد.	نفوذ پزیری زمین بعد از سرریز شدن آب
استواری دیوارهای پر از منفذ یک لازمه برای امنیت و کارایی ساخت است به خصوص برای سازند های تازه روش با بر جا ماندن منفذ های دیواره ها یک شرطی لازم است. همچنین سفتی زمین بر روی راندمان حفاری تاثیر می گذارد . اگر کیفیت دیوار جدا کننده به نوع زمین بستگی داشته باشد مخلوط کردن مصالح دیواره و روش ساخت نیاز به ملاحظه بیشتری دارد مخصوصا اگر این روش نیز برای زمین ناهمگن ضروری تر است.	مشخصه های زمین
تاثیرات محیطی اطراف بخش ساختمانب بایستی مورد ملاحظه قرار به گیرد .انتخاب یک روش مناسب با توجه به موقعیت های حمل و نقل ماشین های ساختمانی , پایداری زمین منطقه مورد ساخت , سر و صداها و لرزشها و آلودگی آب در محیط ساختمانی باید در نظر گرفته شود.	محیط اطراف
توضیح اینکه چگونه ماشین های ساختمانی و مصالح باید خریداری و حمل شوند . اگر ماشین ها ضروری و مواد در ناحیه قابل دسترس نباشد حمل و نقل با هزینه و زمان زیادی رو برو می شود	ماشین ها و مصالح
انتخاب روش های ساخت دیوار جداسازی و وضعیت های بالا بایستی از نظر مالی مرقون به صرفه و مطابق اصول فنی و عملی باشد .	اقتصادی

جدول 2- 5- ساختار دیوار جدا کننده در سد زیرزمینی

مثالی از سد زیر سطحی	ضخامت دیوار	نکات	طرح کلی	اسم	نوع
در شمال آفریقا و جننئب هند به تعداد بسیار کم یافت می شود.	چندین متر	فقط وقتی که عمق ساخت کم باشد قابل اجرا است .ساخت باید وقتی که آب زیر زمینی پایین است انجام گیرد	زمین به طرف کف یا به صورت دستی یا با استفاده از بیل های مکانیکی قدرتمند حفاری می شوند دیوار با مصالح غیر قابل نفوذ مثل خاک رس بتن آرمه و سنگ ساخته می شود و سپس محل حفاری را پر می کنند .	روش حفاری در فضای باز	حفاری در فضای باز
کاباشیما تنگاکوما ساناگاوا فگوساتو و...	چندین متر	یک زمین شنی ممکن است مرحله تزریق را مشکل و حتی همپوشانی مناطق تزریق را با شکست روبرو کند –اگر عمق گود تراز 50 متر باشد سوراخ ممکن است خم شود و پایین تر رود . برای جلوگیری از نشست کار زیادی لازم است و یک وارسی نهایی الزامی است	سیمان , خاک رس و دیگر مواد سفت کننده با فشار بسیار زیاد آب یا هوا از سوراخ ها خارج شده و نشت زمین را از بین می برد .این روش می تواند به مرحله روش دوغاب پاشی و روش دوغاب پاشی با لوله جفتی تقسیم شود.	تزریق دوغاب سیمانی (تزریق)	بهبود خاک
لانگ هی و لانگ کو در چین	1.0تا چندین متر	در سنگ بستر به سختی اجرا می شود. این روش قابل اجرا بر رئی یک دیوار در حال ساخت با بستر شنی نیست . اگر نسبت شن 30% یا بیشتر باشد سوراخ ممکن است خم شود و از ادامه کار جلوگیری کند .	مایعات شیمیایی یا نوعی سیمان با مواد سفت کننده از سوراخ با فشار بسیار زیاد آب یا هوا برای تخریب ساختار زمین و ترکییب یا جایگزینی خاک با مواد سفت کننده به کار می رود.	دوغاب ریزی با فشار	بهبود خاک

جدول 2- 5- ساختار دیوار جدا کننده در سد زیرزمینی

مثالی از سد زیر سطحی	ضخامت دیوار	نکات	طرح کلی	اسم	نوع
کیکایی که یک طر ح آزمایشی است	بیشتر از 0.2 متر	شیار دیوار باید با اطمینان و با دوام باشد صفحه های لاستیکی که به هم چسبیدند و در شیار قرار می گیرند بایستی با دقت قرار گیرند	یک شیار نازک در زیر زمین توسط دستگاه حفاری دوار یا یک نوع اره زنجیری کنده می شود و صفحه های لاستیکی یا فولادی یا نوعی مواد سیمانی در داخل شیار جایگزین می شود	برش باریک دیوار	نصب مواد نفوذ پذیر
کیکایی که یک طرح آزمایش است سنبارو هم یک طرح اجرا شده است	بیش از 0.5 متر	برای ساخت در عمق نسبتا کم این روش مناسب است زیرا برای اجرا در لایه شنی سخت است . برای مطمئن ساختن یک سرریز حفاری به سمت پایین منطقه خاکریز یا زهکشی جداگانه زمین و سایل و امکانات ضروری است.	صفحه های فولادی به طور دائمی یا یک چکش به درون سد رانده می شود اگر زمین سفت باشد فشار آب هم استفاده می شود صفحه ها با اطمینان تا نیمه در دیوار داخل می شوند و با دوغاب سیمان و مواد منبسط کننده محکم چسبیده می شوند.	شمع کوبی صفحه فولادی	نصب مواد نفوذناپذیر
جوچین – وایتا و لیکیا که هر سه تحت آزمایش است	2.5 تا 0.4 متر	لازم به یک شیار محکم و مطمئن است و نمی توان برای حفاری در بستر سنگی سفت استفاده شود در مسافت عمیقتر از 100 متر ممکن است که امکان اجرا داشته باشد.	شیار با استفاده از بیل حفاری کنده شده و بتن یا مواد گل آلود در حال سفت شدن برای جایگزینی استفاده می شود.	دلو حفاری	دیافراگم زیر سطحی

جدول 2- 5- ساختار دیوار جدا کننده در سد زیرزمینی

مثالی از سد زیر سطحی	ضخامت دیوار	نکات	طرح کلی	اسم	نوع
یونسو (آزمایشی)	3.2 تا 0.3 متر	نیاز به یک برش دیوار مطمئن و دقیق دارد . این روش نمی تواند در حفاری بستر ستگهای سخت استفاده شود و بیشتر در بستر نرم به کار می رود ساخت در عمق 100 متر بیشتر امکان پذیر است. نیاز به برش مطمئن با اندازه گیری دقیق توسط تکنولوژی کنترل اجرا می شود .اگر آب گل آلود نچرخد عمل کمکی نیاز است این روش برای کار در عمق بیش از 100 متر است .بستر سنگی بیشتر از 50 حفاری می شود MN/m^2	یک خراش با استفاده از دو تیغه با محور افقی مخالف ایجاد می شود گل توسط آب گل آلود ازبین می رود و بابتن یا مواد دیگر محکم کننده جایگزین می شود.	حفاری چند مرحله	دیافراگم زیر سطحی
سکان	1.3 تا 0.5 متر	بر اساس یک برش دیوار مطمئن و دقیق می باشد اندازه گیری توسط تکنولوژِ کنترل اجرا می شود .اگر آب گل آلود نچرخد عمل کمکی نیاز است .این روش برای کاری بیشتر از 100 متر عمق استفاده می شود .	یک برش با ایتفاده از چندین مته عمودی دوار حفاری می شود گل توسط آب گل آلود چرخان از بین رفته و با بتن یا مواد سفت کننده دیگر جایگزین می شود .	حفاری چند محوری عمودی	دیفراگم زیر سطحی
کیکایی و یونسو	1.5 تا 0.8 متر	فقط در ساخت عمیقتر از 100 متر کاربرد دارد. این روش همچنین می تواند سنگهای نرم و قلوه سنگ ها را نیز حفر کند	یک لوله که در سر آن مته ای تعبیه شده می چرخد و حفاری امجام می گیر د خاک حاصل از حفاری با استفاده از یک چکش بیرون می آید در زمانی که لوله در حال بیرون کشیدن.	حفاری با قطر زیاد	روش ساخت در محل دیافراگم

مثالی از سد زیر سطحی	ضخامت دیوار	نکات	طرح کلی	اسم	نوع
سانگاوا فوکوساتو کانجین کیکایی کامیکو	0.5 متر	تکنولوژی فراوردن حفره قبلا ثبت شده است در بستر سنگی می توان حفاری کرد این روش می تواند در حفاریبیشتر از 70 متر استفاده شود . اگر عمق افزایش یافت حفره کج می شود در این وضعیت نیاز به کار اضافی برای مطمئن شدن بر ادامه کار است.	زمین به طور مکانیکی با یک مته سه محوری حفر و خرد می شود در زمانی که خاک شروع به آمیختن با نوعی سیمان سفت کننده است یک دیوار سیمانی خاکی به طور پیوسته ساخته می شود.	قرار گرفتن در محلی عمیق	روش ساخت در محل دیافراگم

4-2-5- روش حفاری در فضای باز

اگر سطح بالای بستر کم عمق باشد یک دیوار جداکننده برای سد زیر سطحی می تواند با کندن زمین از سطح و دوباره پر کردن آن با موادی باب نفوذپذیری کم ساخته شود.

سد های زیر سطحی یک تاریخچه طولانی ساخت با استفاده از روش حفاری در فضای باز دارند. که مانند آن را در شمال آمریکا یا جنوب هند و مکان های دیگر ساخته شده است. روش حفاری در فضای باز نیاز به ماشین ها و مواد مخصوصی ندارد . اگر بودجه کار پایین باشد یک سد زیر سطحی می تواند توسط نیروی انسانی با قیمتهای کمتری ساخته شود.

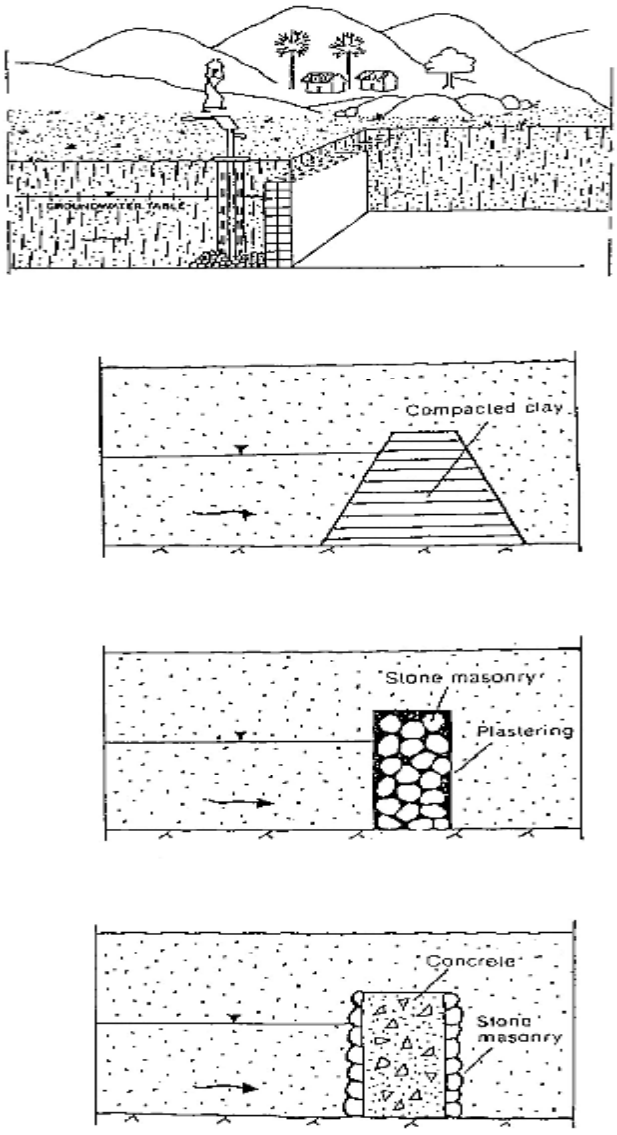
تعداد زیادی از سد های زیر سطحی که با روش حفاری در فضای باز ساخته می شوند بیش از 10 متر عمق دارند. هر چه که عمق دیوار جدا کننده افزایش می یابد حفاری بیشتری نیاز است و هزینه ها هم افزایش پیدا می کند. هر کاهش شیب در حفاری بایستی یک شیب پایدار با توجه به سفتی زمین , اندازه رگه ها و دیگر مواد داشته باشد. اگر زمین سفت نباشد و عمق حفاری کم باشد دارای شیبی با کاهش 1:1.0 به1:1.2 است .اگر عمق حفاری عمیق یا بیشتر از سطح آب زیر زمینی باشد کاهش شیب باید خیلی کاهش یابد تا مطمئن تر و ایمنی تر باشد .علاوه بر آن بهتر است که به یک مرحله های کوچک 5 متر 5 متری تبدیل و حفاری شود.

ساخت و ساز در زیر سطح آب زیر زمینی باید در حد ممکن خودداری شود. چون که زهکشی لازم می شود و زمین مرطوب و خیس به آسانی فرو می ریزد در یک منطقه خشک و با فصل های بارانی پراکنده کار ساخت و ساز باید در فصل های خشک و بی باران انجام گیرد.

وقتی که سطح آب زیر زمینی پایین است اگر ساخت و ساز در زیر سطح آب زیر زمینی اجتناب ناپذیر باشد لزوم جلوگیری با چشمه های آب ضروری است . نظارت بر شیب و مطمئن بودن از آن در طول عملیات ساخت نیز ضروری است.

سد های زیر سطحی در حال حاضر که با روش حفاری در فضای باز ساخته شده اند، در انها از خاک به هم فشرده محکم با بتن، آجرهای گچی، توده سنگی و دیگر مواد محکم کننده استفاده شده است. خاک به هم فشرده می تواند هزینه ها را کاهش دهد. دیوار جدا کننده باید به اندازه کافی ضخیم باشد که مرطوب بماند و در فصلهای خشکی ترک نخورد.

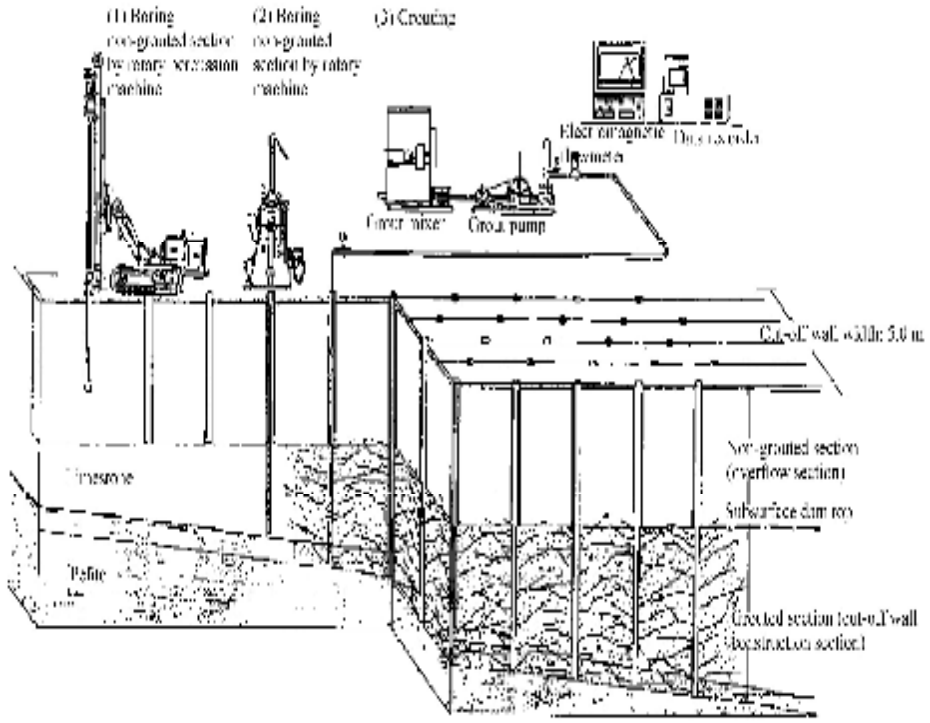
قسمت حفاری شده معمولا با خاک بالا آمده از خود حفاری دوباره پر می شود. به استثنای بخش برش . در پر کردن دوباره زمین باید کاملا در قسمت نفوذپذیر سرریز محکم شود.



شکل 1- 5- یک بخش از روش حفاری در فضای باز

5-2-5- روش (تزریق) دوغاب سیمان

روش دوغاب ریزی تزریق سیمان و مواد سفت کننده دیگر درون سوراخ درون زمین استتا فشار نفوذ پذیری را برای ساخت وساز دیوار جدا کننده را کم کند . شکل زیر راه کار و تصویر کلی ساخت توسط شیوه دوغای ریزی را نمایش می دهد.



شکل 2 -5 – روش دوغاب ریزی

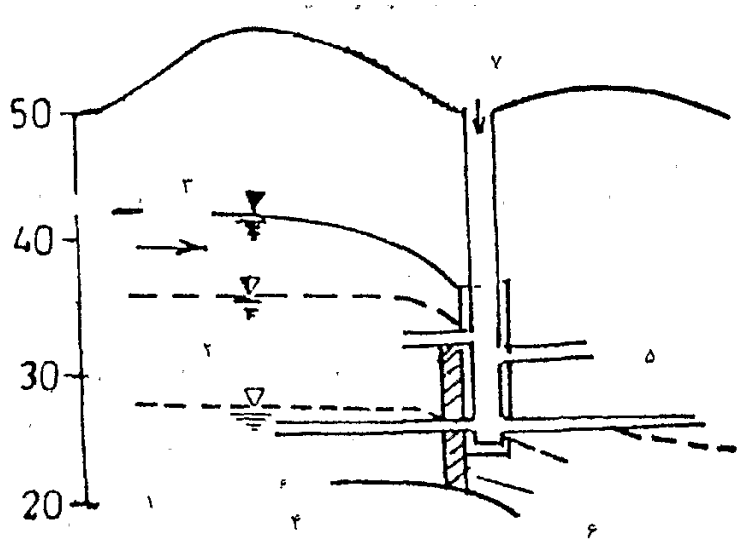
روش دوغاب ریزی حسنی دارد که وجود ماشینهای بزرگ ساخت و ساز ضروری نیست و قیمتهای ساخت و ساز به طور چشم گیری پایین می آید . این روش به طور کلی در هدایت هیدرولیکی زمین کمتر از 0/001 سانتی متر بر ثانیه کاربرد ندارد . و اغلب نمی توان انتظار داشت این روش برای بهبودی نفوذپذیری زیاد متاثر باشد . اگر ترکیب پیچیده ای داشته باشد ممکن است یک دیوار جدا کننده نا همگن با نفوذپذیری بالا ساخته شود . اگر عمق ساخت بیشتر شود سوراخهای خیلی زیادی منحرف شده و ادامه نفوذپذیری و محکم کردن را سخت می کند.

در طراحی یک دیوار جدا کننده شیوه دوغاب ریزی زیاد مهم نیست اما بررسی آن توسط آزمایش هدایت هیدرولیکی که می تواند باعث بهبودی باشدمهم است. اگر نفوذ پذیری زمین به طور کافی بهبود نپذیرد به دلیل عمق زیاد , افزایش تعداد سوراخ های دوغاب ریزی و ساختن دیوار با ضخامت کافی لازم است.

بدون کنترل کردن مسیرهای دوغاب ریزی دیوار جدا کننده ممکن است آن طور که طراحی می شود ساخته نشوند . برای جلوگیری از این مشکل باید مخلوط مایع دوغاب را توسط ترتیب سوراخ یا تنظیم کردن میزان مایع دوغاب عوض کرد.

6-2-5 –روشی با استفاده از بتن پلاستیک در ساخت دیواره سد

یک سد زیر زمینی جریان آب در زیر زمین را متوقف کرده وآب را در آبخوان ذخیره می کند .سد زیر زمینی می تواند سفره های مجاور را تغذیه کرده و باعث افزایش سطح ایستابی آب گردد . آب ذخیره شده توسط پمپاژ و یا زهکش های محلی استخراج می شود . از نظر ساختمانی یک سد زیر زمینی از چهار بخش عمده بدنه مخزن ذخیره – زهکش وتاسیسات آبگیری تشکیل می شود که در شکل زیر نشان داده شده است .بدنه سد که به شکل یک دیوار قائم آب بند می باشد و در عمق زمین اجرا می شود از مهمترین و پر هزینه ترین قسمت های یک سد زیر زمینی به حساب می آید . دیواره باید حتی الامکان مستحکم و غیر قابل نفوذ باشد.



شکل 3- 5- قسمت های مختلف سد زیر زمینی

(1) سطح آب زیر زمینی قبل از احداث سد (2) سطح آب زیر زمینی بعد از احداث سد (3) سطح آب در فصل های پر آبی بعد از احداث سد (4) مجرای جمع آوری کننده (5) مجرای زهکشی (6) بدنه سد (7) شفاف آبگیری

ساده‌ترین روش برای ساخت یک سد زیرزمینی ساختن یک سد در ترانشه ایجاد شده در عرض یک دره یا یک رودخانه می‌باشد. عملیات اجرایی بسته به شرایط و عمق سد زیرزمینی می‌تواند توسط نیروی انسانی یا با ماشین انجام گیرد.

دیوار رسی و یا مصالح بنایی یک نوع دیواره آب بند مناسب است که در پروژه‌های کم وسعت و در آبخوانهای با نفوذپذیری بالا و کم عمق بخوبی می‌تواند نقش بدنه سد را ایفا نماید. استفاده از ورقه‌های نازک و غیر قابل نفوذ نظیر ورقه‌های اندود به قیر و پلی‌اتیلن یکی از ارزانترین روشهای اجرای دیوار می‌باشد. ولی این گونه مواد، بخصوص پلی‌اتیلن توسط فشارهای وارده تخریب شده ویا به مرور زمان فرسوده می‌شوند. ورقه‌های فلزی، آهن موجدار نیز ممکن است در ساختن یک دیوار غیر قابل نفوذ مورد استفاده قرار بگیرد. در شمال آفریقا و ژاپن، از ورقه‌های شمع گونه برای ساختن سدهای زیر زمینی بزرگ استفاده شده است.

استفاده از تزریق برای اجرای پرده آب‌بند سدهای زیر زمینی با ضخامت زیاد و همچنین متوقف کردن آبخوانهای عمیق بمنظور حفاظت آب از آلودگی در آمریکا، ژاپن و اروپا متداول گشته است. تزریق در آبرفت مشکل بوده و احتیاج به تکنولوژی پیچیده‌ای دارد.

در روش دیواره آب بند با بتن مسلح، از میله های فولادی و یا یک شبکه فلزی استفاده می‌شود. یکی از مزایای اصلی این روش تشکیل یک دیوار قوی و محکم برای جمع آوری آب زیرزمینی در اعماق بیش از ۵۰ متر می‌باشد. این نوع دیوارها ترد وشکننده بوده و احتمال شکست آنها تحت بارهای وارده مانند نشست و خیز سد، نیروهای زلزله و وزن آب وخاک اطراف و ... به علت تغییر شکل پذیری بسیار کم وجود دارد. دیوار آب بند باید بدون برداشتن ترک و یا باز شدن محل اتصالات پانلها، قادر به تحمل تغییر شکلهای تحمیلی باشد. مصالح دیوار نیز باید بدون خوردشدگی قادر به تحمل تغییر شکل‌های اعمالی باشند.

استفاده از بتن پلاستیک به سبب خواصی که دارد برای احداث پرده‌های آب‌بند در زیر سدهای خاکی در بسیاری از کشورها متداول گشته است. بتن پلاستیک دارای نفوذپذیری کم و پلاستیسیته زیاد می‌باشد. مواد حاصل از حفاری را می‌توان به عنوان پرکننده استفاده نمود و به همین دلیل این بتن ارزان تمام می‌شود.

5-2-6-1- دیوار آب بند بتن پلاستیک

در بتن معمولی ذرات سیمان به گونه‌ای متبلور شده و پیوند می‌یابند که شبکه بوجود آمده از اتصال ذرات جسمی صلب و سخت می‌باشد. برای بدست آوردن یک جسم شکل‌پذیر باید ذرات سیمان بشکلی مجزا (غیرواقع در یک شبکه بهم پیوسته) عمل کنند. از طرف دیگر اجزاء بتن تازه سرعت‌های ته نشینی متفاوت داشته و در صورت زیاد بودن عمق بتن‌ریزی، درشت دانه‌ها در پایین و ریز دانه‌ها و مقدار بیشتر آب در بالا قرار می‌گیرند. در نتیجه یک عامل پایدار کننده باید به سیستم فوق افزوده گردد تا ضمن یکنواخت کردن بتن تازه، شکل پذیری نهائی آنرا افزایش داده و نفوذناپذیری بتن را در حدمطلوبی نگه دارد تا بتوان از آن در دیوارهای آب بند استفاده نمود. این عامل پایدار کننده غالباً بنتونیت می‌باشد، بنتونیت سبب جداسازی دانه‌های اجزاء تشکیل دهنده بتن شده ودر نتیجه دانه‌ها و ذرات پس از جدا شدن، بهتر آب جذب می‌نمایند. مضافاً اینکه مخلوط، یکدست‌تر، و عمل آوری مناسب‌تری دارد. به این مخلوط که ترکیبی از آب، سیمان، بنتونیت، سیمان ومصالح دانه‌ای می‌باشد، بتن پلاستیک می گویند[۲].

سد زیرزمینی باید در زمینهای آبرفتی با آب‌گذری و ضخامت سفره قابل ملاحظه احداث شوند. مطابق آنچه که در فوق گفته شد، مهمترین عوامل در طراحی و اجرای بدنه سد زیر زمینی نفوذپذیری بسیار کم، تغییر شکل پذیری زیاد، تامین مقاومت حداقل، پایداری، دوام و هزینه اجرا می‌باشد. استفاده از بتن پلاستیک برای اجرای بدنه سد زیر زمینی، بخصوص برای سدهای تا عمقی حدود ۵۰ متر می‌تواند یکی از بهترین گزینه‌ها باشد.

5-2-6-1-1- طراحی

تحلیل پایداری ترانشه

یکی از مهمترین پارامترها در طراحی و اجرای بدنه سد زیرزمینی تامین پایداری ترانشه حفر شده می‌باشد. بر اساس تحلیل پایداری با تنش‌های نیم فضا، میزان تنش افقی و فشار دوغاب در عمق h برابر است با:

$$\sigma_a = K_a(\gamma h_w + (h-h_w)\gamma' + q) - 2c\sqrt{K_a} \qquad (۱)$$

$$P_s = (z-h_s)\gamma_s \qquad (۲)$$

که در آن K_a ضریب رانش محرک خاک، h عمق ترانشه نسبت به سطح زمین، h_w عمق سطح آب نسبت به سطح زمین، q سربار، c ضریب چسبندگی خاک، γ وزن مصوص خاک، h_s اختلاف سطح دیوار راهنما و دوغاب و γ_s وزن مخصوص دوغاب مصرفی می‌باشد. ضریب اطمینان در این حالت از فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$F = \frac{P_s}{\sigma_x} \qquad (۳)$$

اختلاف فشار دوغاب و آبهای زیر زمینی از فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$P_s - P_w = (h - h_s)\gamma_s - (h - h_w)\gamma_w \qquad (۴)$$

در حالت بحرانی:

$$P_s - P_w = \sigma_x \qquad (۵)$$

بنابراین در این حالت داریم:

$$\gamma_s = \frac{K_a[q + h_w.\gamma + (h - h_w)\gamma'] + (h - h_w)\gamma' + (h - h_w)\gamma_w - 2C\sqrt{K_a}}{h - h_s} \qquad (۶)$$

و ضریب اطمینان از رابطه زیر بدست می آید:

$$F = \frac{P_s - P_w}{\sigma_x} \qquad (۷)$$

2-1-6-2-5- تعیین وزن مخصوص دوغاب طراحی

وزن مخصوص دوغاب نقش تعیین کننده‌ای در پایداری ترانشه دارد. اصولا وزن دوغاب بحرانی از تحلیل پایداری ترانشه بدست می‌آید. با استفاده از رابطه (۶) وزن مخصوص دوغاب تعیین می شود. اگر از خاک از لایه‌های مختلف تشکیل شده باشد، می توان از مقادیر متوسط ضرایب مشخصات خاک مانند γ', γ, Φ, C استفاده کرد. برای اطمینان بیشتر بهتراست وزن مخصوص دوغاب را قدری بیشتر از مقدار فوق در نظر گرفت.

3- 1- 6- 2-5 – طراحی دیوار راهنما

معمولا از دو نوع دیوار راهنما مستطیلی یا L شکل جهت پایدار نمودن گودبرداری استفاده می‌شود. هر دو نوع دیوار را می‌توان بصورت درجا یا پیش ساخته و به صورت یکپارچه یا چند تکه ساخت. دیوار راهنما به منظور هدایت ابزار گودبرداری، حفاظت دیواره‌های ترانشه هنگام گودبرداری و مجرای عبور دهنده دوغاب یا بتن استفاده می‌شود.

در خاکهای چسبنده ارتفاع حداقل دیوار راهنما یک متر توصیه می‌گردد. طول دیوار راهنما برابر با طول مورد نیاز جهت پرده آب بنند و ضخامت آن ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر انتخاب می گردد. ارتفاع دیوار راهنما از رابطه زیر بدست می آید:

$$h_g > \frac{h_g \gamma_s + K_a q - 2c\sqrt{K_a}}{\gamma_s - K_a \gamma} \qquad (۸)$$

بعلت محدودیت عرض گودبرداری توسط ماشین آلات در بسیاری از موارد ضخامت دیوار آب بند به طراح تحمیل می گردد. که در اینصورت طرح اختلاط بنحوی ارائه می شود تا بتن پلاستک با ضخامت مورد نیاز، نفوذ پذیری مطلوب داشته و بخوبی قادر به تحمل گرادیان هیدرولیکی اعمالی باشد. یک روش برآورد ضخامت پرده آب بند آن است که خطوط هم پتانسیل و خطوط جریان در لایه نفوذپذیر را با فرض وجود پرده آب بند رسم نموده سپس فشار هیدرولیکی استاتیکی وارد بر نقاط گوناگون پرده آب بند از فرمول زیر بدست آورد:

$$P_i = \frac{n_f}{n_d}.\Delta H \qquad (۸)$$

که در آن P_i بار آبی در یک تراز مفروض در جلو یاپشت دیوار آب بند، n_f تعداد افت‌های هم پتانسیل در تراز مفروض، n_d تعداد کل افت‌های هم پتانسیل و ΔH اختلاف بارآبی بین اولین و آخرین خط هم پتانسیل است. سپس، با ضریب اطمینان ۳ تا ۴، ضخامت پرده آب بند را از فرمول زیر بدست می‌آورند:

$$t = \frac{P'_m}{i_{cr}} \times F \qquad (۹)$$

که در آن P'_m فشار هیدرواستاتیکی خالص اعمال شده به دیوار $(P'_m = |P_2 - P_1|)$ می‌باشد. P_2 فشار در پشت دیوار آب بند و P_1 فشار در جلوی آن ودر همان تراز می‌باشد.

دیواره آب بند بتن پلاستیک متشکل از یکسری مستطیل‌های هم امتداد است که ارتفاع آن برابر است با:

$$H = h + S \qquad (۱۰)$$

که در آن، H ارتفاع دیوار آب بند،h عمق لایه نفوذ ناپذیر، S عمق نفوذ دیوار در لایه زیرین(سنگ بستر) است. معمولا مقدار S را بین ۸۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود و بطور تجربی آن را برابر یک دهم عمق لایه نفوذپذیر فرض می کنند.

طول دیوار آب بند نیز بستگی به شکل دهنه وعرض دره‌ای که در آن سد ساخته می‌شود، دارد.

5-1-6-2-5- تعیین خواص مصالح مصرفی

میزان نفوذناپذیری مورد نظر، عمر مفید سازه، جنبه‌های اقتصادی و اجرائی، شرایط ساختگاه و کم و کیف مصالح موجود در ساختگاه از عمده عوامل مؤثر در تعیین مصالح مورد نیاز هستند. دانه‌بندی مصالح مورد استفاده در پرده آب بند رسم گردیده و در صد رطوبت این مصالح مشخصر گردد. خواص آب مصرفی همانند آب مصرفی برای بتن معمولی می‌باشد. در شرایط سولفاته باید از سیمان ضد سولفات استفاده کرد.

6- 1-6-2-5- تعیین در صد اختلاط

مهمترین گام در طراحی دیوار آب بند، تعیین طرح اختلاط می‌باشد. اگرچه یک سری ضوابط و روابط برای طرح اختلاط بتن پلاستیک توسط محقین ارائه شده است، ولی اکثر آنها تابعی از شرایط آزمایشگاهی، کارگاهی، مصالح و پروژه خاص خود می‌باشند. برای بهینه سازی و همچنین دست یافتن به یک طرح اختلاط منطبق با مصالح موجود در کارگاه و قرضه‌های اطراف آن و شرایط خاص آب وهوایی محل گارگاه بهتر است، یک سری طرح اختلاط بر اساس ضوابط ارائه شده انجام شده و نمونه ها مورد آزمایش قرار گیرد. آز مایشاتی که باید بر روی نمونه ها انجام گیرد عبارتند از :

۱- اسلامپ طبق توصیه استاندار (ASTM.c 143- 78)

۲- تعیین مقاومت فشاری هفت و بیست وهشت روزه و نود روزه

۳- تعیین ضریب نفوذپذیری هفت وبیست وهشت روزه و نود روزه

٤- دانسیته

با انجام آزمایشات فوق، نفوذپدیری، اسلامپ، مقاومت فشاری و متعاقب آن تغییر شکل پذیری و گرادیان هیدرولیکی بحرانی، نمونه ها وطرحهای مختلف مشخص می‌شوند [۵].

2-6-2-5- اجرا

از مهمترین و بهترین روشهای اجرا، روش اجرای پانلی و روش اجرای ممتد یا پیوسته می‌باشد. اجرای پانلی توسط دستگاه پیشرفته وقابل کنترل هیدروفرز صورت می‌گیرد و مواد کنده شده در زمان حفاری از پانل خارج شده و پس از پایان حفاری بتن ریزی با لوله انجام می‌گیرد و بتن جایگزین گل حفاری می‌شود. در روش ممتد در پایان حفاری گل حفاری از ترانشه بیرون آورده نمی‌شود و به عنوان پرکننده دیوار آب بند استفاده می‌شود. انتخاب روش اجرای دیوار آب بند به عملکرد مورد انتظار دیوار، وضعیت پی محل اجرا، گرادیان هیدرولیکی و ملاحضات اقتصادی بستگی دارد.

برطبق روش پانلی، هر دو پانل اولیه ومتوالی به گونه‌ای اجرا می‌شوند که فضای کافی جهت اجرای یک پانل ثانویه بین آنها وجود داشته باشد. هر یک از پانلهای ثانویه، موقعی اجرا می‌شوند که بتن پلاستیک پانلهای اولیه گیرش یافته و سخت شده باشند. از آنجا که وظیفه دیوار آب بند جمع آوری آب و جلوگیری از نشت آب می‌باشد، باید پیوستگی دیوار آب بند در طول سد حفظ شود. بنابراین اتصال پانلهای اولیه به پانلهای ثانویه باید متناسب و پیوسته باشد. بدین منظور از تکنولوژی همپوشانی استفاده می‌شود. بر طبق این روش، در مدت اجرای هر پانل ثانویه، قسمتی از دو پانل اولیه مجاور نیز حفاری شده، تا از هر گونه ناپیوستگی بین پانلها جلوگیری شود. طول همپوشانی بین ۲۵ تا ۴۰ ساتیمتر متغیر بوده، بطوریکه برای پانلهای عمیق تر همپوشانی بزرگتری باید اجرا گردد.

در مدت حفاری و بتن ریزی از گل روان بنتونیت استفاده می‌شود. برای کنترل مشخصات گل یک سری افزودنی‌ها مانند بی کربنات سدیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حفاری ترانشه، چند متر اولیه ناحیه فوقانی توسط بیل مکانیکی حفاری می‌شود، تا چرخ برنده دستگاه حفار بتواند در داخل ترانشه قرار گیرد. مهمترین و بهترین این دستگاهها هیدروفرز می‌باشد. اساس کار این دستگاه حرکت به سمت هم دو چرخ دندانه دار با محور افقی است که زمین را رنده می‌کند. مخلوط مصالح کنده شده با گل حفار ی به وسیله پمپی که در بالای آن قرار دارد از طریق لوله‌های ارتباطی به دستگاه تصفیه گل پمپ می‌شود. گل تصفیه شده دوباره به درون گودال برمی‌گردد. مراحل زیر در طی اجرای هر پانل بتن پلاستیک دیوار آب بند انجام می‌شود:

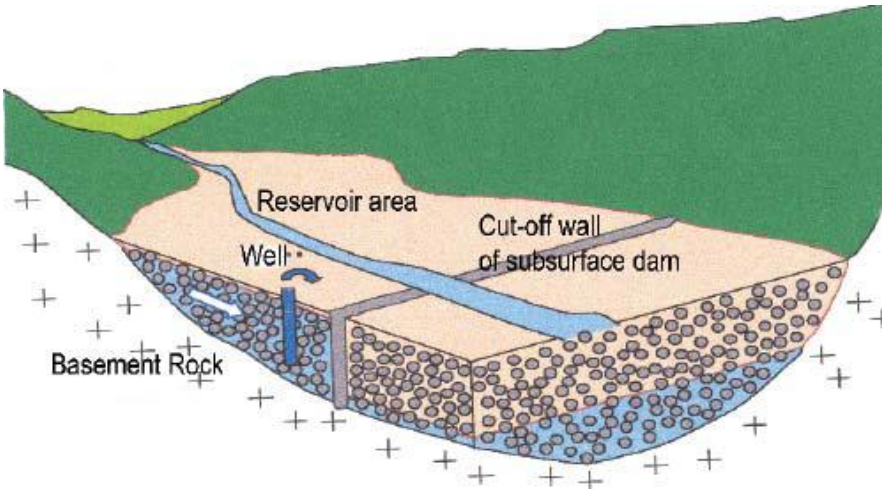
- ترانشه به وسیله دستگاه حفار، حفاری می‌شود(سه متر اولیه توسط بیل میکانیکی).
- برای پانلهای ثانویه، دیواره‌های پانلهای اولیه مجاور توسط برسهایی که روی قاب دستگاه حفار نصب می‌شود، برس زده می شود. برس زنی به منظور زدودن خمیر چسبیده به پانلها بکار می‌رود. در مدت

برس‌زنی ترانشه با گل روان تازه شسته می‌شود و این گل جایگزین گل روان کار کرده مورد استفاده در حفاری می‌شود.

- ترانشه توسط بتن پلاستیک از کف به سمت بالا به تدریج پر می‌شود. سرعت بتن ریزی حدود ۷۰-۵۰ متر مکعب بر ثانیه تنظیم می‌شود. بهتر است بتن ریزی توسط لوله ترمی صورت گیرد. لوله‌های ترمی موجود در اندازه های ۳ و۶ متری می‌باشند. طول لوله تر بایستی به اندازه‌ای باشد که در هر مرحله حداقل حدود ۳ متر از لوله ترمی در داخل بتن باشد. بتن ریزی تا بالای سطح دیوار راهنما ادامه پیدا می‌کند. بهتر است در پایان عملیات ساخت، دیوار راهنما و بتن داخل آن برداشته شده و خاک پیرامون آن بخوبی متراکم گردد. برداشتن دیوار راهنما پس از عملیات ساخت دو حسن عمده دارد. اول اینکه مصالح نامرغوب درون آنها کنار گذاشته می‌شوند و دوم اینکه از تمرکز تنش ناشی از فشارهای جانبی در انتهای دیوار راهنما، جلوگیری بعمل می‌آید [۶].

5-2-7 - جنس مواد مورد استفاده در ساخت دیواره سد

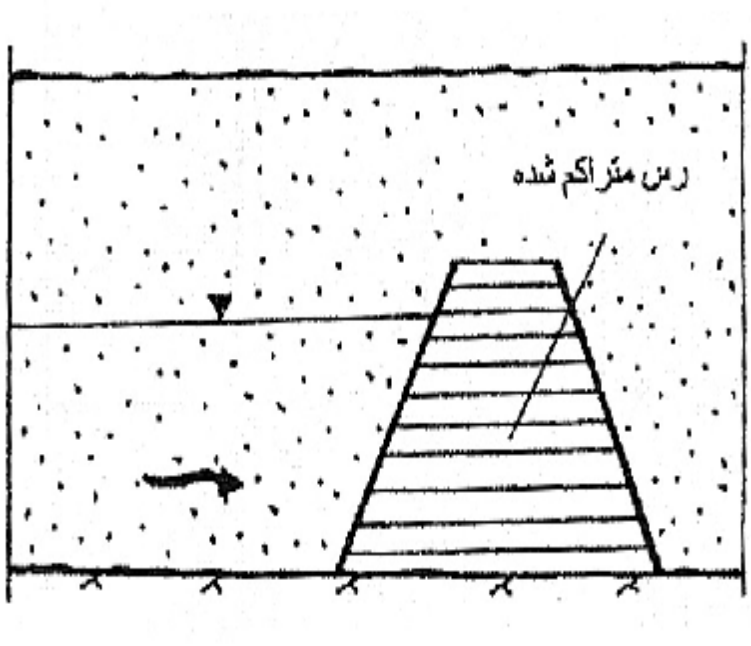
مصالح مورد استفاده در سدهای مخزنی و حفاظتی بسته به شرایط ساخت متفاوت می‌باشد. سدهای مخزنی به دلیل عمق نسبتا کم، می‌توانند از مصالح بنایی مثل آجر و سنگ همراه با لایه عایق، هسته خاکی، بتون، بتون پلاستیک، بنتوتیت و مصالح تزریقی ساخته شوند. در سدهای حفاظتی به دلیل عمق زیاد با از روش‌های پیشرفته‌تری استفاده کرد. در حال حاضر، روش‌های رایج همان روش‌هایی می‌باشد که در ساخت پرده‌های آب‌بندی سدهای سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله می‌توان به روش‌های اختلاط خاک توسط آگر، تزریق سیمان، ژل سیلیکات و پرده بنتوتیت اشاره کرد .



شکل 3-5 – جنس مواد به کار رفته در سد زیرزمینی

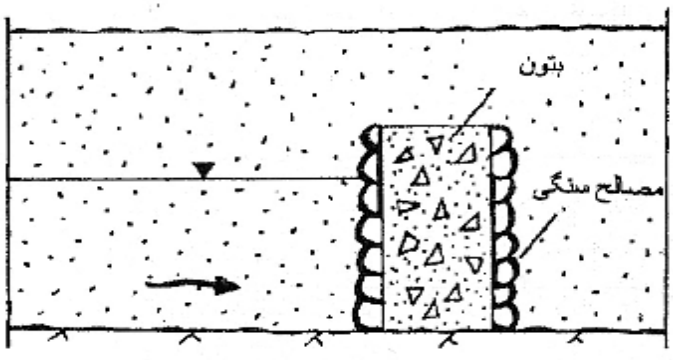
5-2-7-1- مواد ساختمانی مختلفی برای دیواره غیر قابل نفوذ استفاده می شود

دیواره رسی متغییر بوده و برای طرح های کوچک در سفره هایی با نفوذ پذیری بالا و در عمق های کم مانند بستر شنی رودخانه ها مناسب است. معمولا خاک های سطح الارض, نزدیک و در دسترس هستند و می توانند برداشت شده و با هزینه پایینی به محل سد انتقال داده شوند . استفاده از رس زیاد است و احتیاجی به تجربه کاری نیست. رس احتیاج به تراکم مناسب دارد و به خاطر خسارات ناشی از فرسایش سطوح رسی توسط جر یان آب زیر زمینی خطراتی در استفاده از آن وجود دارد. با استفاده از ورقه های پلاستیکی می توان دیواره ها را از این خطر حفظ نمود .اگر ذخیره آب زیر زمینی به طور فصلی تخلیه شود این خطر وجود دارد که شکاف ها گسترش یابند . با استفاده از یک دیوره کاملا ضخیم می توان از اینکار جلوگیری کرد. به طوریکه رطوبت در هسته رسی، حتی در مدت دوره های خشک و طولانی نیز باقی بماند.



شکل 5 -5- دیوار رسی

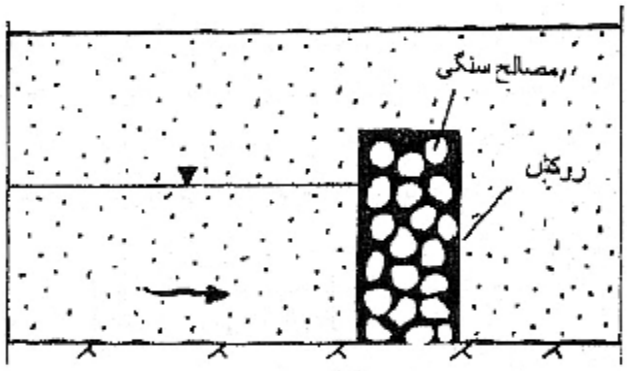
شکل زیر یک سد بتونی را نشان می دهد که دو طرف آن با بلوک ها و سنگ های ساختمانی پوشیده شده و دارای تغییراتی است . از نظر مهندسی پیشرفته است و نیاز به کارگر ماهر دارد. استفاده از برنامه کاری و فراهم بودن سیمان و سنگریزه ضروری است .از مزیت های آن این است که می توان تا بالای سطح رودخانه ارتفاع آنرا افزایش داد و برای نهشته شدن شن از آن استفاده نمود.



شکل 6 -5– دیوار بتونی

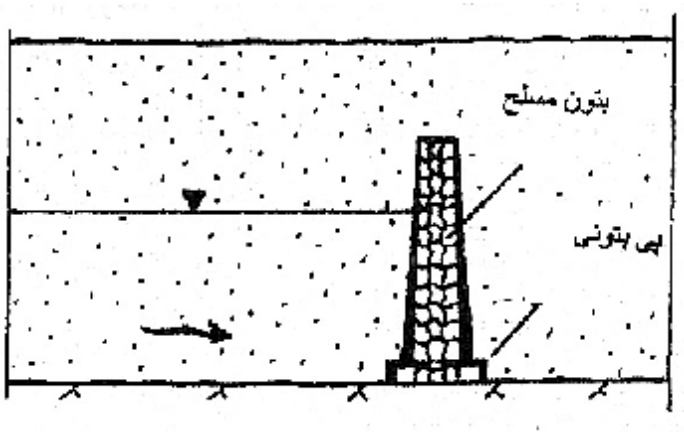
سدی با سنگ های ساختمانی در شکل زیر نشان داده شده است که از لحاظ استفاده از کارگر ماهر متفاوت است و مناسب برای مناطقی است که کار با سنگ های ساختمانی بخشی از کارهای رایج مهندسی است و

همیشه قابل اجرا نیست.



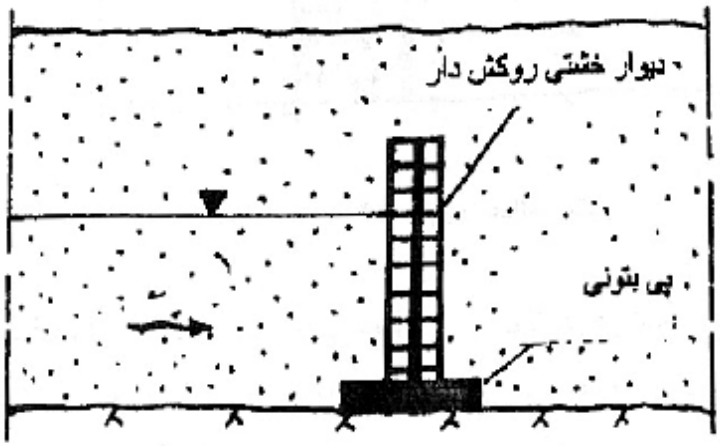
شکل 7 -5- دیوار بتونی

استفاده از بتون مسلح یعنی مفتولهای فولادی در شکل زیر نشان داده شده است . این مواد دارای هزینه قابل ملاحظه ایی هستند ، روش کار شامل استفاده از طرح کاری است. منفعت عمده ان احتیاج خیلی کم به مواد برای رسیدن به دیواره های محکم است.



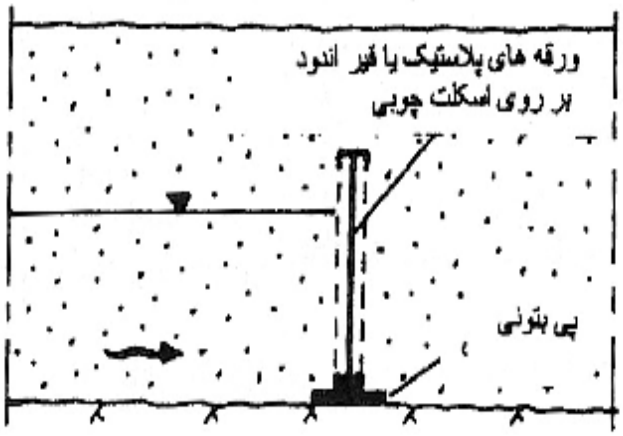
شکل -8-5- دیوار با مصالح ساختمانی

آجر اغلب در دسترس است و یا ممکن است از رس موجود در محل ساخته شود ساختاری از یک دیوار آجری در شکل زیر نشان دلده شده است. در مقابل نفوذ اب عایق بندی شده و یک روش ساده و مناسب است. با توجه به میزان هزینه ی آجر ها طراحی صورت می گیرد. به هر حال در پایداری این سازه ها تردید وجود دارد .



شکل -9-5- دیوار با بتون مسلح

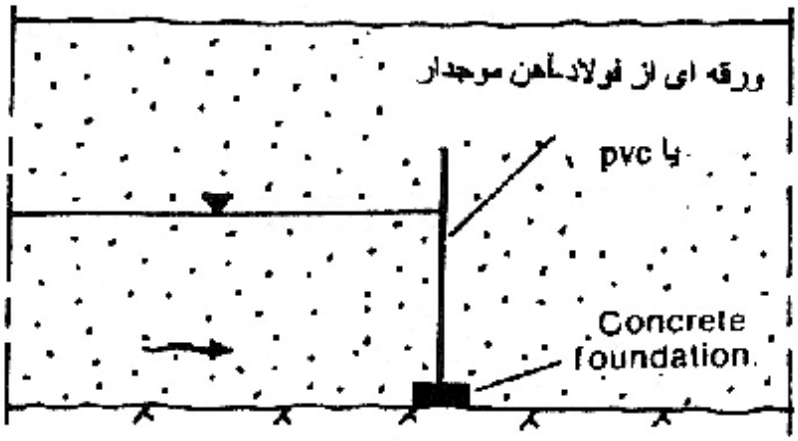
استفاده از ورقه های ضخیم نفوذ نا پذیر مانند روکشهای قیر انـدود و یـا پلـی اتـیلن از نظـر میـزان هزینـه مـواد کمترین هزینه را دارد . نصب ورقه هایی از چوب مراحل ساخت آن تیز پیچیده است. مواد به ویژه پلـی اتـیلن در موقع احداث دیواره ها و یا پر کردن مجدد شیار ها ، خیلی حساس است و یک شکاف کوچک نیـز سـبب افتهای ناشی از تراوش می شود. اگر ورقه های کوچک در قالب یـک سـد بـه همـدیگر متصـل شـوند ممکـن است نقاط الحاق ورقه ها ضـعیف باشـد و در اثـر فشـار آب شکسـته شـود. همچنـین در مـورد مقاومـت مـواد پلاستیکی در درجه حرارت های بالای آب زیر زمینی و مقاومـت ان در برابـر فعالیـت میکروارگانیسـم هـا در خاک تردید وجود دارد.



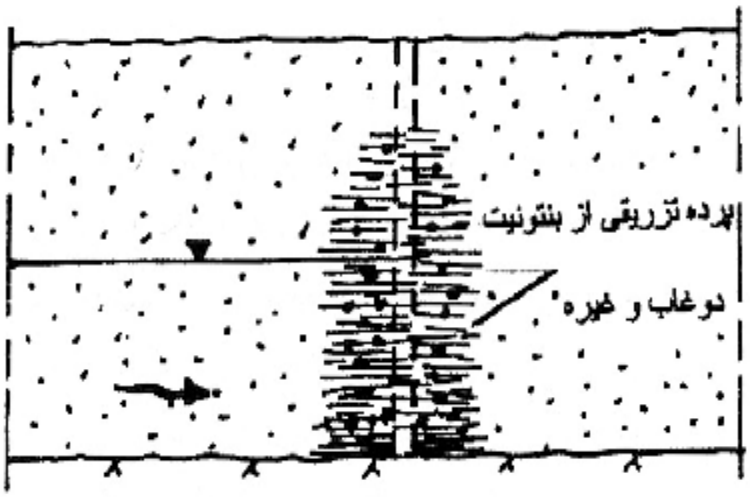
شکل -10-5 دیوار با ورقه های پلاستیک

ورقه های فولادی، اهن موجدار یا پی وی سی در ساخت دیواره های غیر قابل نفوذ استفاده می شوند. مانند شکل زیر . ممکن است به اشخاص ماهر مثلا برای جوش دادن ورقه های فولادی نیاز باشد. سازه خیلی ساده ، غیر قابل نفوذ و محکم است. از جمله مزایای آن این است که می توان سازه را تا بالای سطح بستر رودخانه توسعه داد و موجب تجمع رسوبات اضافی شد. همچنین می توان شبکه های ضخیم آهن موجدار در پایین را تا بالای سطح شنی رودخانه ، بدون پمپاژ اب زیر زمینی انشعاب داد . ستون های صفحه ای عمودی برای احداث سد های زیر سطحی بزرگ در شمال آفریقا مورد استفاده قرار گرفته است.

پرده های تزریقی در شکل زیر برای گرفتن جریان سفره های بزرگ در شمال آفریقا و ژاپن و برای حفظ آب پاک از آلودگی در اروپا و آمریکا مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل -11-5- ورقه های فولادی - آهن موجدار



شکل 12-5- پرده تزریق

اهداف برای پروژه های بزرگ و سفره های عمیقی که در انها سد سازی می شود متفاوتند. از جمله منافع پرده های تزریق، امکان تزریق در سفره بدون زهکشی می باشد. متوسط ارتفع بعضی از سد ها در جدول زیر نشان داده شده است. در بیشتر مواقع تاج سد زیر سطحی، کمی پایین تر از سطح و در عمق قرار می گیرد. این بخصوص در مواردی مورد توجه قرار می گیرد تا از اب گرفتگی در مناطق بالا دست و از خسارات تاشی از فرسایش به سد جلوگیری شود. فاصله معمول تاج سد تا سطح حدود یک متر است که متناسب با شرایط محلی است. با استفاده از دریچه تخلیه در دیواره سد می توان از اب گرفتگی جلوگیری نمود.

جدول -3-5- ارتفاع بعضی از سد های زیر سطحی(متوسط مقادیر طرحهای مطالعه شده)

نوع سد	متوسط ارتفاع (متر)
پرده تزریقی	10
دیوار آجری	6
سد بتونی	6
سد با سنگ های ساختمانی	5
سد مسلح(بتونی-آهنی)	4
دیوار رسی	3
ورقه های پلاستیک	2

5-3 - تاسیسات دهانه آبگیر

5-3-1 – اختصاص دادن تاسیسات مناسب

وقتی که تاسیسات دهانه آبگیر برای یک سد زیر سطحی، مدل ساختمان , ساختار و مدیریت طراحی می شود بایستی برای دهانه آبگیر از یک میزان آب مور دنیاز برای منطقه ذخیره سازی کرد حتی در این موارد از کمترین سطح ذخیره سازی نیز استفاده می شود.

یک سد زیر زمینی آب را در یک لایه ذخیره زیر سطحی ذخیره می کند حال اگر چه ویژگی های دهانه آبگیر حتی در منطقه ذخیره سازی جایئکه نفوذ پذیری لایه های ذخیره سازی به طور افقی و عمودی عوض می شود اغلب یکسان و یکنواخت نیست. به علاوه بستر منطقه ذخیره سازی ممکن است که سطح نا منظم داشته باشد . اگر تاسیسات منطقه آبگیر در جایی که عمق آب کافی نیست بنا شود، امن و مطمئن نیست زیرا دهانه آبگیر با نفوذ پذیری خیلی پایین است و دهانه آبگیر ممکن است ناکافی و مرقون به صرفه نباشد . وقتی که تاسیسات آبگیر بنا می شود از این رو این مهم است که یک جای مناسب انتحاب شود که باب توجه به نقشه برداری و محاسبه امکانات و خاصیت های دهانه ابگیر حوزه سفره اب و نوع و ساختار عدم انطباق تاسیسات دهانه ابگیر در امکانات دهانه ابگیر را تعیین کنند.

به دلیل اینکه یک سد زیر سطحی نیاز به انرژی برای پمپ آب زیر زمینی دارد. هزینهای عملیات و نگهداری تاسیسات دهانه ابگیر هم باید در نظر گرفته شود .

5-3-2 – انواع تاسیسات دهانه آبگیر

وقتی که یکی از تاسیسات دهانه آبگیر انتخاب می شود مقدار مورد نیاز دهانه آبگیر و ساخت وساز و هزینه های عملیاتی باید در جزئیات به خوبی عملیات نقشه برداری، زمین شناختی و وضعیت های آب زیر زمینی

مورد بحث و بررسی قرار گیرد. تا عدم تطبیق تاسیسات مشخصه های هیدرولوژیکی حوزه آب زیر زمینی در شکل استفاده آب انتخاب شده تعیین شود.

تاسیسات دهانه آبگیر می تواند توسط نوع جمع آوری در عدم تمرکز نوع دهانه آبگیر و نوع مرکزیت دهانه آبگیر تقسیم بندی شود.

برای متمرکز کردن دهانه آبگیر تاسیسات زیادی در مقیاس نسبتا کوچک وجود دارد، دیوارهای لوله دار معمولی استفاده شده با توجه به میزان های قبلی دهانه آبگیر و تاسیسات دهانه آبگیر در حوزه سفره آب تاسیسات دهانه آبگیر متمرکز شده نوع دهانه آبگیر موقعیت و اندازه تاسیسات نصب را می دهد زیرا تعداد زیادی از تاسیسات از این نوع برای نگهداری سخت است.

برای مرکزیت دادن دهانه آبگیر یک مقدار کوچکی از تاسیسات بزرگ بنا شده اند، مجموعه حلقه های چاه و تونل ها با این تاسیسات مطابقت دارند نگهداری تاسیسات دهانه آبگیر و مرکزیت دادن دهانه آبگیر بسیار آسان است اما هزینه زیادی را به خاطر مقیاس زیاد متحمل می شود در نتیجه تاسیسات دهانه آبگیر در قسمت برنامه ریزی شده باید به خوبی نقشه برداری شود تا به عملکرد مورد نظر برسد.

به طور کلی این شیوه در جایی که سطح آب زیر زمینی بالا است مناسل نیست زیرا کار کردن در زیر سطح آب زیرزمینی دشوار است .وقتی که یک تونل با یک حفره افقی برای یک جمع آوری خوب در حال ساخت است دیواره حفره زیر ساخت باید پایدار باشد.

برای سد زیر سطحی با سطح ذخیره دهانه آبگیر و تاسیسات زهکشی ممکن است یک ساختار مثل بقیه سطح سد معمولی داشته باشد که بستگی به شکل زمین و مخزن دارد .

اگر چه نقشه دهانه آبگیر و موقعیت و ساختار تاسیسات دهانه آبگیر باید با توجه به در نظر گرفتن اینکه این عمل زمان زیادی برای آب زیر زمینی که از لایه مخزن به سطح مخزن برسد تعیین شود.

5-3-3- تنظیم تاسیسات دهانه آبگیر

در تاسیسات دهانه آبگیر انتظار می رود طبق برنامه ریخته شده حتی وقتی مقدار آب سطح مخزن هم پایین است را پشتیبانی کند . در نتیجه تاسیسات دهانه آبگیر باید به طور اساسی در یک منطقه ذخیره سازی بنا شود که آب کافی برای حداکثر دهانه آبگیر و کمترین سطح آب در مواقع لزوم را هم ممکن سازد.

معمولا یک جای مناسب برای دهانه آبگیر جایی است که عمق آب در بالاترین سطح از بستر گود باشد و حوزه آب بنده است.

با در نظر گرفتن تداخل متقابل بین تاسیسات دهانه ابگیر یک میزان کافی آب انتخاب می شود که مناسب باشد . اگر نفوذپذیری و دیگر خصوصیات دهانه آبگیر از یک لایه مخزن یکنواخت نباشد لازم است که یک مکان را نه فقط برای عدم انطباق با موار دبالا انتخاب شود بلکه خصوصیات نفوذپذیری و ذخیره سازی آب در حداقل زمان را داشته باشد.

5-4- تاسیسات زهکشی و تخلیه

روش اساسی زهکشی

تاسیسات زهکشی برای جلوگیری از افزایش سطح آب زیر زمینی و به همراه داشتن ساختمان سد زیر سطحی از تاثیرات نتایج مخلف به بار آمده در استفاده از زمین و محیط زیست در منطقه مخزن (شامل حوزه آبریز مرزی) اطراف منطقه مخزن جایی که سطح آب زیر زمینی به نظر می رسد افزایش یافته است ساخته می شوند. یک سد زیر سطحی شامل تاسیسات برای ذخیره آب زیرزمینی توسط نصب دیوار جدا کننده زیر زمینی و جلوگیری از حادثه به وجود آمده از خرابی دیوار جدا کننده است که به دلیل افزایش سطح آب زیر زمینی دیوار جدا کننده ممکن است باعث افزایش طغیان آب و سیلاب یا زهکشی نادرست در منطقه حوزه آبریز مرزی شود. در نتیجه این خیلی ضروری می شود که از آب زیر زمینی در منطقه مخزن از سطح

مشخص در حال افزایش جلوگیری شود.

کاهش دادن ارتفاع سد یک روش ترجیح داده شده برای زهکشی سریع آب اضافی فقط از یک سرریز و تاج سد برای پایین نگه داشتن سطح آب استفاده می شود . اگر ارتفاع سد به اندازه ای بالا رود که ظرفیت مخزن نیاز به اطمینان سازی داشته باشد و در نتیجه تاسیسات زهکشی اغلب در منطقه مخزن لازم می شود . آنها همچنین اگر سطح اب زیر زمینی به طور اساسی بالا باشد نیاز می شود که در این وضعیت یک سد زیر سطحی برای جلوگیری از تراوش آب شور از ساختتن سد در کنار دریا جلوگیری می شود.

معمولا نیاز تاسیسات زهکشی باید توسط پیش بینی روند سطح آب زیر زمینی در زیر باران سنگین ناشی از بررسی سیل تشخیص داده شود . این برآورد همچنین ممکن است توسط مقایسه کردن منطقه انتخاب شده و گذر آب قبل از ساخت دیوار جدا کننده با توجه به سرریز بعد از نصب و آزمایش و وارسی نفوذپذیری زمین اطراف بخش سرریز صورت بگیرد.

سرریز یکی از قسمت های قسمت های سد به شمار می آید. برای اینکه یک سرریز یه نحوی مطمئن نقش خود را ایفا کند باید وضیعت جریان و پخش انرژی در ان به نحوی مطلوی صورت گیرد.در واقع سرریز برای یک سد به عنوان دریچه اطمینان به شمار می رود و باید طوری طراحی گردد که همواره سطح مخزن ا در تراز تعیین شده حفظ نماید. همان طور که در سد های زیر زمینی تنها ممانعت از زه دار شدن و یا سرریز سطحی آب طی فصول پر باران است.

در زمستان و با هنگام بارندگی های شدید مقدار آب اضافی از فضای آزاد بین سطح زمین وتاج سدزیرزمینی تخلیه می گردد.

تاسیسات زهکشی و تخلیه دیگری که در سد های زیر زمینی به کار برده می شوند لوله های های فقی زهکشی هستند که اب داخل مخزن را زهکشی و درون چاه های جمع آوری کننده تخلیه می کنند.

5-4-1- مکان و مقیاس تاسیسات زهکشی

1 – تعیین ارتفاع حساس سطح اب

ارتفاع حساس سطح آب به معنی اینکه معمولا بیشترین سطح آب قابل قبول در منطقه مخزن سرریز سطحی است , این سطح مشخص می کند که یک سطح آب زیر زمینی معمولی استفاده شده در یک جایی با ارتفاع پایین در منطقه مخزن در جایی که ساخت و ساز سد زیر سطحی اختلاف ارتفاع بین سطح مخزن و سطح را بر هم بزند قرار گیرد. در سد زیر سطحی ساناگوا منطقه مخزن بیشتر زمین است ساخت و سازهای بزرگ وجود ندارد . ما خانه ها را می بینیم ولی ساخت و سازهای زیر سطحی مثل پی های را نمی بینیم. کاهای پی ریزی یا زیر سطحی برای رسیدن به سمت زیر زمین استفاده می شود که به سختی در آینده فرض می شود ودر نتیجه ارتفاع حساس سطح آب زیر سطحی سوناگوانا 3 متر زیر سطح بنا شده بود که به کشاورزی یا ساخت و ساز سطحی توسط طغیان یا مرطوب بودن خسارت نرساند.

5-4-2- تعیین تمدید زهکشی برای طرح سالیانه

وقتی که درباره ارتفاع سد و تاسیسات زهکشی برای سر زیر زمینی بحث می شود یک سال مخصوص از یک ریزش سالیانه فرض می شود و سطح مخزن بعد از ساخت سد زیر سطحی به طوریکه هر تغییر در میزان بارش پیش بینی می شود . برای پایین تر آوردن سطح اب در مواقع بحرانی , سطح بالای آب در منبع سالیانه اندازه گیری های تاسیسات زهکشی ضروری تعیین شده اند.

اگر میزان ریزش زیاد پیش بینی شود سطح مخزن هم به همان میزان افزاییش می یابد برای پایین تر نگه داشتن سطح آب از سطح آب در مواقع ضروری ارتفاع سد باید کمتر ساخته شود یا تاسیسات زهکشی باید بزرگتر بنا شود. این سال به خصوص را طرح زهکشی سالیانه می نامند.

برای تاریخ میزان ریزش حدود 30 سال گذشته را با یک شیوه جریان آب زیر زمینی مناسب در هر سال به حساب می آورند تل سطح مخزن را تخمین بزنند . این سال که سال زهکشی طراحی می شود، اگر در سطح

مخزن تخمین زده شود یکی از وضعیت های زیر را شامل می شود:

1 – سطح بالای آب که هر یک بار در N سال دوباره به وجود می آید (احتمال سال)

2 – بالاترین سطح آب تخمین زده شده از تاریخ مشاهدات باران در گذشته (بیشترین مقدار گذشته) مثلا در سد زیر سطحی سوناگوا 50 روز میزان ریزش باران مرتبط به نوسان سطح آب زیر زمینی واقعی است . در نتیجه تاریخ میزان بارش سالیانه بیش از 50 روز از 30 سال گذشته ثبت شده است واحتمالا با استفاده از روش آیوای حساب شده است بیشترین بارش 50 روز در 30 سال گذشته در سال 1966 ثبت شده است.روش آیوای احتمالا 287 سال را نشان میدهد و روش گیومبل احتمالا 76 سال را معلوم می سازد این بارش بیشتر از 50 سال احتمالی است با توجه به اینکه هیچ سیلاب و طغیانی در نظر گرفته نشده است به عنوان مثال می توان گفت 1966 سال زهکشی برای سد زیر سطحی سوناگوا طراحی شده است.

3-4-5- مدل ها و ساختارهای تاسیسات زهکشی

تاسیسات زهکشی برای یک سد زیر سطحی باید عملکردهای ضروری برای جلوگیری سطح آب زیرزمینی در منطقه مخزن در مرجع سالیانه زهکشی طراحی شده که از موقعیت بحرانی افزایش سطح آب تجاوز می کند داشته باشد در تاسیسات زهکشی برای یک سد زیر سطحی بیشتر از سیستم های زیر استفاده می شود.

1 – سرریز دیوار جدا کننده

2 - زهکشی زیر زمینی

3 – نهر روباز یا نهر روباز با زهکش زیرزمینی

4 – تونل (تونل زهکشی)

5 – پمپ کردن (حفره زهکشی)

انواع ساخت و ساز و مکان های زهکشی تعیین شده برای زهکشی ضروری تخلیه در منبع زهکشی سالیانه

طراحی شده است . الگوی نوسان سطح مخزن و ناحیه زهکشی، همچنین در نظر گرفتن شکل و نوع سطح (ارتفاع) و نفوذپذیری زمین نزدیک حوزه سفره آب و سطح است.

1 – ساختار قسمت سرریز دیوار جدا کننده:

زهکشی سریع آب اضافی پایین دست آب از یک سد زیر سطحی , این قابل قبول و مطمئن است که از یک قسمت بخش آب در حال جاری شدن از سرریز , محور سد برای کاهش دادن میزان سرریز تاج سد استفاده شده وقتی که قسمت سرریز,توسط ساختمان دیوار جداکننده در حال کاهش است هر نتیجه تجزیه و تحلیل سیل که چه میزان آب کافی می تواند زهکشی شود بررسی می شود.

نصب تاسیسات زهکشی به طور جداگانه چنانچه شیوه ساخت دیوار جدا کننده و وضعیتهای نقشه برداری امن و مطمئن کردن نفوذپذیری را درقسمت سرریز سخت و دشوار می کند ویا ذخیره کافی سرریز را ناممکن می سازد.

اگر شیوه حفاری در فضای باز با شیوه شیار کنده شده قابل قبول باشد نفوذپذیری سطح و نمای کنده شده نباید به مطمئن بودن نفوذپذیری در بخش سرریز آسیب برساند و بخش سرریز نیاز دارد که با مواد نفوذپذیر دوباره پر شود.

دیوار جداکننده در سد زیر سطحی کیکایی با روش مخلوط کردن در عمق ساخته شده است بعد از آنکه سنگ در قسمت یک متری تاج سد قرار داده شد , بخش سرریز با مواد قابل دسترسی محیط اطراف دوباره پر شده و یک لایه از سنگهای خورده شده به ضخامت 0/2 متر بر روی ان قرار می گیرد.

4-4-5- مهار نشت آب و زهکش

هیچ شالوده ای کاملا آب بند نیست , بلکه برخی از آنها به شدت تراوا هم هستند.سد ها همواره باید طوری طراحی شوند که در آن اثرات جریان نشت آب پس از آبگیری مخزن ملحوظ می گردد. این اثرات ممکن است جنبه اقتصادی داشته باشد (تلف آب)، یا به طور کلی جدی تر از این مسائل یمنی را شامل گردد(نا

پایداری،فرسایش درونی).

خوشبختانه با در دست داشتن اطلاعات کافی زمین شناسی , راهکار هایی برای علاج بخشی و مقابله با این مخاطرات وجود دارد، این علاج بخشی ها عبارتند از : مهار نشت آب و زهکشی. مهندس طراح با آب بند نمودن برخی نقاط، که بر اساس قضاوت برگزیده می شوند و ایجاد شرایط زهکشی در سایر نقاط می تواند نشت آب را بر حسب سرعت جریان و نیروهای مربوط مهار نمود. مهار تشت اب و زهکش مکمل یکدیگرند .اگر چه گاهی یکی از دو روش به تنهایی نیز کفایت می کند.

برای جلوگیری از نشت آب از پی سد، روش های گوناگونی وجود دارد.در حال حاضر، با پیشرفت هایی که در زمینه رفتار شناسی مصالح و طراحی مخلوط های مناسب برای شرایط گوناگون پی سدها به موازات روشهای اجرایی حاصل شده، تزریق از درجه کارایی بسیار خوبی بر خوردار است. در مواردی می توان از دیوارهای آب بند از سطح زمین اجرا شده و سپس پرده تزریق تا عمق مورد نظر ادامه می یابد.

4-4-5- پرده های تزریق و زهکشی

در گذشته اکثر پی های سنگی تنها برای کاهش نشت آب، به ویژه زمانی که در مخزن مشکل فرار آب وجود داشت، مورد تزریق قرار می گرفت، تا اینکه در حال حاضر برای بیشتر سد ها پرده های تزریق عمیق اجرا می شود، تنها در مورد سد های وزنی است که سیستم های زهکشی کم عمق تا فصل مشترک سد و سنگ پی تعبیه می گردد.

برای سنگ های درزه دار نکات زیر قابل ذکرند:

الف) در سنگ های درزه دار با ترواییِ اندک زهکشی به طور کلی ضروری است وتزریق بی فایده است.

ب) در سنگ های درزه دار با تراوایی زیاد تزریق برای کاهش نشت آب موردنیاز است و لی زهکشی لازم نیست

پ) در سنگ های درزه دار با تراوایی متوسط زهکشی همواره مفید و نسبتا ارزان است و همیشه می توان

برای پر کردن فضاهای خالی و حفره ها یا برای کاهش تراوش تا حد قابل قبول، یک پرده تزریق ایجاد کرد.

برای جمع بندی می توان گفت که شیوه درست طراحی پرده های تزریق و زهکشی، در چهار گام زیر انجام می شود :

الف) تعیین ویژگی های زمین شناختی و ژئوتکنیکی محیط مورد بهسازی

ب) درک رفتار توده سنگ تحت شرایط پیچیده میدان تنش حاصل از بارهای وارده و نیروهای زهکشی

پ) طراحی بهترین تمهیدات برای مهار این رفتار

ت) زیر نظر داشتن الگوی تراوش در زیر محل به منظور بررسی اعتبار و کارایی تمهیدات به کار رفته و اصلاح آن در صورت نیاز.

2-4-4-5- روش های اجرایی تزریق

در ادامه به بحث کوتاهی در مورد پرده تزریق و پیشرفت هایی که در زمینه اجرای عملیات حفاری و تزریق حاصل شده است بسنده می شود، تزریق زمینه ایست که به درجه بالایی از مهارت نیاز دارد و تجربه در ان نقش بسیار مهمی دارد.

انواع روش های تزریق به ترتیب ذکر می شود.

الف) ستبرای پرده تزریق

در یک سنگ درزه دار , ستبرای پرده تزریق از طریق نفوذ دوغاب به داخل درزه ها تامین می شود .چنانچه درزه ها باریک ولی نفوذ دوغاب در آنها تحت فشار، آسان باشد ,ضخامت لازم به سهولت توسط یک ردیف ساده از گمانه تامین می شود. در سنگ های با درزه های عریض، که اعمال فشار های زیاد نه میسر است ونه اقتصادی وبنابراین "شعاع تاثیر " هر گمانه بسیار محدود است،ضروری است که فاصله چاله ها از هم بسیار کم باشد تا از پیوستگی پرده اطمینان حاصل شود. در چنین مواردی اشتباه است که برای جبران

خلائ های تزریق چندین ردیف چال حفر شود. اگر متراژ کل گمانه حفر شده ثابت باشد , بهتر است همگی در یک ردیف حفر شوند.

بنابراین، نوع سنگ هر چه باشد، بهترین آرایش در ایجاد پرده تزریق استفاده از یک ردیف چال است. اگر چه در نقشه ها پرده تزریق بسیار نازک به نظر می رسد ولی در عمل ضخامتی برابر نفوذ دوغاب را خواهد را داشت. تنها استثنا در این مورد شاید سازند های کارستی، با آکنه های رسی باشد، که ممکن است به طور موضعی به چندبن ردیف چال احتیاج داشته باشد. این موضع درباره بهسازی یک گسل با تزریق نیز صادق است . فشار تزریق در ردیف های خارجی کمتر ودر ردیف های داخلی بیشتر است. هدف از تزریق و حفر ردیف های خارجی جلوگیری از فرار دوغاب به مسافت های زیاد است.

ب) ژرفای پرده

در بسیاری از سد ها , پرده تزریق با عمق هایی متناسب با ارتفاع سد طراحی شده , بدون آنکه به تنها عامل مهم یعنی ساختار زمین شناختی توده سنگ توجهی شود.

تنها رویکرد معتبر،تعیین عمق بر حسب نا همگونی پی و مسیر تراوش آب از میان سنگ پی است. به عنوان مثال در بسیاری از موارد، در مناطقی که سد بلند تر است عمق زیادی برای پرده لازم نیست، در حالیکه پرده در تکیه گاهها باید بسیار عمیق باشد.

زمانی که وضعیت پی از دیدگاه زمین شناختی کاملا روشن نیست , همانگونه که غالبا در سنگهای دگرگونی و آذرین پیش می آید، مفید است که عمق پرده بر اساس نتایج آزمایش جذب آب که در خلال حفاریهای بدست آمده تعیین گردد. برای مثال، چال های تزریق، مادام که آزمایش آب نشان دهنده میزان جذب دوغاب در طول تزریق عمیقترین مرحله اعمال نمود .چنانچه این مقدار مثلا از 50 کلیوگرم سیمان به ازای هر متر طول چال بیشتر باشد، چالهای میانی، که هنوز تزریق نشده اند , عمیقتر می شوند. این شیوه تنها راه ایجاد یک پرده تزریق رضایت بخش، یعنی ارزان ترین روش برای این منظور است. این کار مستلزم تخصص و

داوری داهیانه است.

پ) محلوظ دوغاب و فشار تزریق

برای اینکه دوغاب تزریق در حالت نهایی، برای باقی ماندن در محل خود درون مصالح باقی بماند باید دارای مقاومت کافی در برابر فشار هیدروستاتیکی وارد بر آن بوده و همچنین در برابر آبهای مهاجم و خورنده مقاوم باشد. در عین حال , برای تداوم نفوذ در درزه ها , دوغاب در طول مدت تزریق باید شکل یک سیال با سفتی اندک را داشته باشد .موادی که هر دو خاصیت را دارا باشند نسبتا نادرند.

تا میانه قرن گذشته، تنها محلول های رقیق سیمان معلق در اب مورد استفاده قرار می گرفت، عیب آنها این بود که پایدار نبودند. به محض اینکه مخلوط از به هم خوردن باز می ایستاد،ذرات معلق در ظرف ته نشت می کردند، مگر اینکه نسبت سیمان بسیار زیاد بود . بنابراین مخلوط های تعلیقی پایدار طراحی شد (سیمان های فعال شده، مخلوط های آب، سیمان ، بنتونیت و غیره). بالاخره در برخی موارد (مثلا وقتی که آب در ترکه یا شکافهای بسیار ریز جریان دارد) باید از سایر فراورده ها (نظیر ژلهای سیلیکات سدیم، صمغها یا رزینهای آلی و غیره) که مانند سیالات تک فاز عمل میکنند و نه محلولهای تعلیقی، استفاده کرد.

به هر حال هنوز هم دوغابهای با پایه سیمان بیش از سایر انواع در تزریق سنگ بکار می رود. پارامترهای اصلی تعیین کننده خواص مخلوط عبارتند از :نسبت سیمان به آب (C/W) ، منحنی دانه بندی سیمان , سایر مواد مخلوط (بنتونیت و غیره). این پارامترها تنها زمانی معنی پیدا می کنند که همراه با فشار تزریق مطرح شوند (در بخش های آتی خواهد آمد).

ث) بررسی کارایی تزریق

بیش از آنکه سد به بهره برداری برسد , تنها راه مستقیم برای بررسی کارایی عملی تزریق انجام آزمایش آب در حجم تزریق شده سنگ است . ولی , نتایج بیشتر اوقات پراکنده و به حد کافی اعتماد نیستند تا از آب بند بودن واقعی پرده تزریق اطمینان حاصل شود. پاسخ بهتر بهره گیری از آبگیری نسبی یا کامل مخزن است.

5-4-5- پرده های زهکشی

الف) ژرفا

همان نکات عمومی که درباره پرده های تزریق گفته شد در مورد عمق پرده های زهکشی نیز صادق است. زمین شناسی و تصویر روشنی از مسیر های ممکن عبور جریان آب تنها راهنماهای قابل اعتماد برای مهندس طراح به شمار می آیند.

ب) فاصله بین چالها و قطر آنها

بار دیگر , آزمایشهای آب برای تصمیم گیری در مورد تعداد چالهای لازم برای زهکشی احتمالا فاصله بهینه بین چالها بستگی به تراوایی سنگ دارد. شایان توجه است که در اکثر پرده های زهکشی احتمالا فاصله میان چالها بیش از اندازه بود و بنابراین دارای کارایی نیستند.

5-4-6- تزریق و زهکشی

چنانچه نشتاب از مجراهای ترجیحی ,عبور نماید , یک ردیف چاه زهکشی هیچگونه حفاظتی برای پایین دست ایجاد نمی کند و بهتر است که آنها را در یک الگوی منظم در تمام سطح پی توزیع نمود .این نکته شایسته توجه بسیار است , زیرا چه بسا پی برخی از سدها با سیستم های زهکشی معمولی ممکن است اصلا زهکشی نشوند. مشاهدات اخیر نشان می دهدکه نشت آب از مسیرهای ترجیهی غالبا روی می دهد و در این مورد , عامل غالب در کارایی زهکش نسبت بین حجم آب گذرنده از این مجراها و حجم گذرنده از درزه های مسطح است .این نسبت در صورت وجود چنین مجراهایی بسیار زیاد است. زهکشها هیچ تاثیری بر شبکه جریان یا فشارها ندارند , مگر اینکه با این مجرا ها تقاطع بیابند و لذا آزمایشهای زهکشی باید پیشاپیش انجام شود تا اطمینان حاصل شود سنگ پی قابل زهکشی است.

5-4-7- محل پرده های تزریق و زهکشی

اکنون به طور گسترده ای پذیرفته شده است که در سنگ های دارای درزه های ریز هدایت هیدرولیکی با شرایط تنش تغییر می کند . هنگامی که مشخص گردید که بار وارده از سوی یک سد تنشهایی القا می کند که عمق تاثیر آنها در سنگهای درزه دار به مراتب بیشتر از آن است که در نظریه الاستیک پیش بینی می شود , بنابراین روشن است که یک سد می تواند شرایط تراوش را در پی سنگ خود به طور قابل ملاحظه ای دگرگون سازد.

این واقعت، توصیه های را که از سال ها پیش در مورد محل پرده های تزریق و زهکشی شده بود تایید می کند . پهنه فشرده شده زیر سد ایجاد یک مانع آب بند می کند که ممکن است در اغلب موارد نا تراوایی آن بسیار بیشتر از هر پرده تزریقی باشد که به خوبی ساخته شده , به این ترتیب چنین پرده های مصنوعی عملا بی استفاده خواهند ماند. از سوی دیگر به منظور کاهش اثرات نا مطلوب این مانع , که عموما به شکل خطرناکی در سمت پایین دست قرار می گیرد , پرده زهکشی باید به سمت بالا دست شیب داشته باشد. بنابراین باید از ایجاد تماس با پهنه نزدیک پاشنه بالا دست سد جلوگیری شود جایی که در آن درزه ها تحت اثر میدان تنش کششی حاصل از حفره سد در زمان بار گذاری کامل به وسیله مخزن باز شده اند.

جا نمایی های نا مناسب پرده های تزریق و زهکشی ممکن است منجر به رفتار غیر عادی پی سد شود زیرا همچنانکه دیوار سد به سمت پایین دست کمانش می کند, سنگ در پاشنه سمت بالا دست فشار زدوده می شود.

5-4-8- دیواره های دیافراگم بتنی یا پرده آب بند

در مواردی که توده سنگ دارای تراوایی بسیار زیاد است یا در مواردی که تزریق قابل اعتماد و یا اقتصادی نیست , ترجیح داده می شود که یک دیوار دیافراگم بتنی در جا ساخته شود که به صورت یک آب بند عامل در کرانه ها عمل می کند . این شیوه عمدتا در سازند های کارستی یا در سنگ های متخلخل و شکننده

به کار برده شده است. استفاده سیستماتیک از این روش در سازند هایی کـه احتمـال فرسـایش جـدی در آنهـا وجود دارد، آغاز شده است.

در سال های اخیر،پیشرفت های چشمگیری در حفاری مکانیکی حاصل شده است (مثـل سیسـتم هیـدروفریز) که امکان ساخت دیوار آب بند در جا ریخته شده در سنگ را فراهم کرده است, حال آنکه تا چند سال پـیش این روش تنها در خاک قابـل کـاربرد بـود , ایـن روش هـا در جـایی کـه یـک دیـوار آب بنـد کـاملا پیوسـته ضروری است، امکانات قابل توجهی را در اختیار می گذارد و نتـایج حاصـل از آن چنـان کیفیتـی برخـوردار است که حتی با بهترین شیوه تزریق نیز دست نیافتنی است. این امر در سنگ هـای فرسـایش پـذیر نظیـر ماسـه سنگ نرم یا سازند های قابل انحلال نظیر ژیپس یا آندریت، از اهمیت ویژه ای برخور دار اسـت. دیـواره هـای آب بند بتنی ساخته شده با سسیستم هیدروفرز در فونتانل (1989) نمونه ای تیپیک از مزایای این راه حـل بـرای مهار نشت آب در تکیه گاه سدی است که بگونه ای خطرناک به وسیله فرسایش پسرو تخریب شده بـود .ایـن فرایند بی تردید کاربردهای بسیار فراوانی خواهد داشت.

9-4-5- رفتار سنجی و نگهداری از پرده های تزریق و زهکشی

با گذشت زمان پرده های تزریق و زهکشـی بـه تـدریج در معـرض فرسـودگی و پیـری قـرار مـی گیرنـد ,لـذا ضروری است که آنها را زیر نظر داشته و در صورت نیاز نسبت به ترمیم کرد. تجربه نشـان مـی دهـد هیچگـاه نمی توان مطمئن بود که الگوی نشت در پی یکبار برای همیشه تعیین و تثبیت می شود. بهره برداران یـک سـد اهمیت رفتار سنجی و زیر نظر داشتن الگوی تراوش را به عنوان یک فعالیت جاری و ضـروری بـرای ارزیـابی رفتار سد درک کرده اند.

الف) رفتار سنجی پرده ترزیق و سیستم زهکشی

اندازه گیری نشت و پیزومتر ابزارهای اصلی بـرای سـنجش عملکـرد پـرده تزریـق و سیسـتم زهکـش هسـتند و مکمل یکدیگر به شمار می آیند، در اینجا چنین ندازه گیریهایی است. در اینجا تنها بـه چنـد توصـیه مبتنـی بـر

تجارب عملی اکتفا می شود.

اگر اندازه گیری نشت آب به خوبی سامان داده شده باشد , مجموعه ای از اطلاعات بدست مـی آیـد کـه مـی تواند بازتاب تغییرات روی داده در هر بخش از پی باشد. به عنوان یک قاعده کلی، نشـتابهای مربـوط بـه پهنـه های گوناگون باید جداگانه گرداوری شود تا بتوان منشا افزایش جریان را با حداکثر کارایی مشخص نمود. از سوی دیگر، قرائت پیزومترها بسیار موضعی هستند و تنها اطلاعات مربوط بهپهنه کوچکی حول نقطه مزبـور را به دست می دهند. بنابراین تعداد پیزومترهای نصب شده بسـتگی بـه ایـن دارد کـه تـا چـه انـدازه لازم اسـت دوباره شرایط آب زیر زمینی بدانیم .شرایط زمین(درزه بندی تعمیم بافته یا نا پیوسـته)البتـه بـر طراحـی سیسـتم رفتار سنجی تاثیر خواهد گذاشت. در زمین های ناتراوا، رسیدن به یک الگوی ثابت ممکن است زمان زیـادی به طول انجامد (چند ماه یا سال) و اندازه گیری های پیزومتریک باید چنـان سـامان داده شـود کـه از هـر گونـه تبادل آب با زمین جلوگیری به عمل آید .

اگر چه قرائت و اندازه گیری میزان نشت و پیزومتر ها دارای بیشترین اهمیت است , سایر امکانات را نیز نباید نادیده گرفت .با بزرسی عینی اکثر اوقات می توان تغییرات ابتدایی در رفتار و عملکرد پرده تزریق و سیستم زهکشی , با ظهور نشت های جدید و نهشته هایی که در آنها آثار خشک شدگی در آفتاب را , مشاهده کرد. تغییرات پرده تزریق را می توان با تجزیه شیمیایی ادواری نشتاب نیز بررسی نمود.

ب) نگهداری پرده تزریق

بیشترین روش مورد استفادهدر نگهداری پرده تزریق عبارت است از تزریق مجـد منـاطق مشـکوک. هنگـامی که یک پرده تزریق ترمیم می شود , محتاطانـه آن اسـت کـه هـر گونـه زهکشـی مـرتبط بـا آن کنتـرل شـده و کارایی آنها , چنانچه با دوغاب مسدود شده باشند, مجددا برقرار گردد.

سایر روش های مورد استفاده عبارتند از :

- پوشش کف آب بند با گسترش به سمت بالا دست از پاشنه سد با تزریق در انتها ی بالا دست پوشش

- دیوار دیافراگم یا آب بند شمع همپوشان

ت) بازسازی سیستم زهکشی

اسا سی ترین روش بازیابی ظرفیت زهکشی حفر زهکش های جدید است, شیوه ای کـه در بسـیاری از سـدها اجرا شده است.

گزینه دیگر این است که زهکشهای موجود به روشهای گوناگون بازسازی شود:

- پاکسازی و تخلیه با آب تحت فشار

- تراشیدن با برسهای گریز از مرکز (سانترفیوژ)

- حفر دوباره همان زهکش با دستگاه حفاری مغزه گیری معمول

کارایی عملیات بازسازی با اندازه گیری نشتاب قرائت پیزومتر ها بررسی شود

5-5- تاسیسات بازدید و کنترل

دستگاه های و گمانه هایی هستند که کنترل سطح آب زیر زمینـی و چگـونگی تغییـرات در آن مخـزن و بدنـه سد را انجام می دهندو برداشت و ذخیره آب بر اساس اطلاعات وداده هـای بـه دسـت آمـده از ایـن تاسیسـات تنظیم می شود تا با استفاده از این امکانات از مصرف بیش از حد انـرژی و فشـار بـیش از انـدازه بـر تاسیسـات پمپاژ جلوگیری شود .شاخص کنترل عملیات مخزن و آبگیری برای مخازن زیر زمینـی هماننـد شـاخص هـای مخازن سطحی در ارتباط با سطح آب می باشد .از آنجا که سطح آب در یـک مخـزن زیـر زمینـی سـمت بـالا دست شیبدار است مطالعه سطح آب باید از چند نقطه استراتژیک روی مخزن انجام شود از آنجا که حـر کـت آب در مخزن کند بوده و به آهستگی صورت می گیرد .ممکن است بیشـتر در معـرض تمـاس بـا مـواد آلـوده کننده قرار گیرو در نتیجه مطالعه و کنترل آلودگی آب نیز حائز اهمیت می باشد.

برای مدیریت سد زیر سطحی جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده هـا در میـزان بارنـدگی و در دیگـر وضـعیت

های هواشناسی و کیفیت آب زیرزمینی برای بررسی کارکرد های سد , کنترل وضعیت مخزن ها لازم و ضروری است .

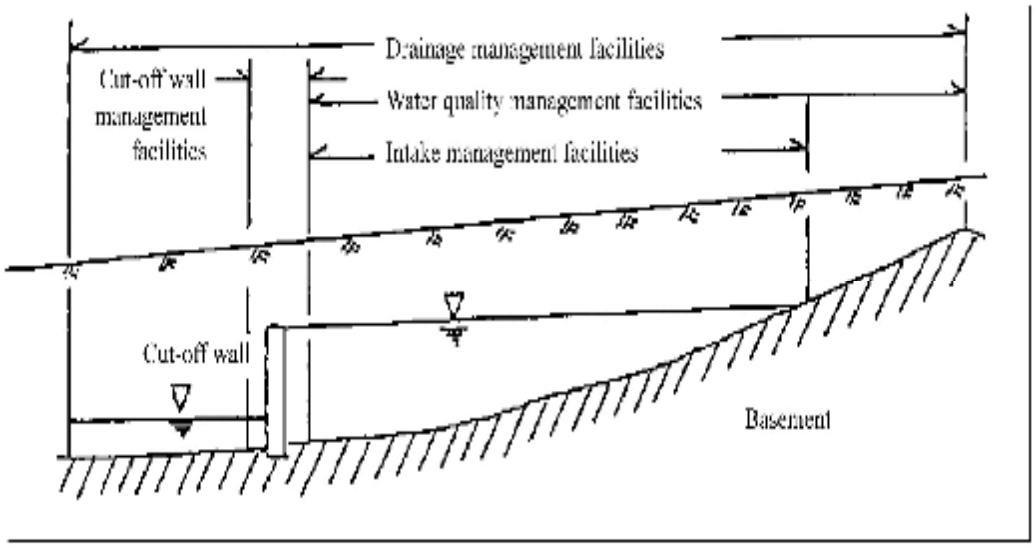
برای مدیریت کردن کاکردهای یک سد زیرسطحی تاسیسات زیر نصب می شود

1 – عملیات و نگهداری تاسیسات دیوار جداکننده

2 – عملیات و نگهدلری تاسیسات مخزن (دهانه آبگیر , زهکشی و ...)

3 – عملیات و نگهداری تاسیسات در تصفیه آب (میزان شوری و ...)

برای کنترل کردن وضعیت عملیاتی مخزن سد زیرسطحی داده های سطح آب زیرزمینی اجتناب ناپذیر است , شکل زیر میزان سطح مشاهده نشده آب زیرزمینی را نشان داده .



سطح آب زیرزمینی می تواند توسط مشاهده سطح آب در یک حفره یا سوراخ (سوراخ قابل مشاهده) در مشاهده تاسیسات آب زیرزمینی کنترل شود . یک سوراخ قابل مشاهده آب زیرزمینی ممکن است نمونه ای برای بررسی کردن کیفیت آب باشد . ترتیب و شماره سوراخ های مشاهده به قصد مشاهده خصوصیات های مکان شناسی و زمین شناسی حوزه آبریز سد زیرسطحی و خصوصیت های خواص آب زیرزمینی تعیین می شوند .

5-6- تاسیسات بهره برداری

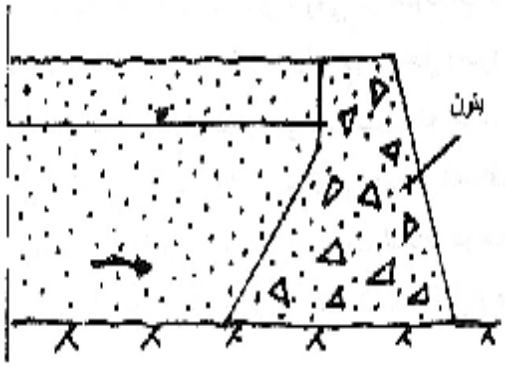
امکانات بهره برداری از آب ذخیره شده در مخزن سد زیر زمینی می تواند یک سازه جمع آوری کننده آب های زیر زمینی یا ه سیستم استخراج کننده دیگر باشد اما عموما از یک مجموعه ای از لوله های جمع کننده افقی استفاده می شود که همانند زهکش های زیر زمینی آب به طرف مخزن ذخیره کننده هدایت می کنند .آب این مخزن با استفاده از پمپاژ جهت مصرف به سطح زمین آورده می شود. از نقطه نظر اقتصادی اجرای یک چاه جمع آوری کننده با زهکش های افقی مقرون به صرفه تر از سایر روش ها شناخته شده است.

فصل ششم

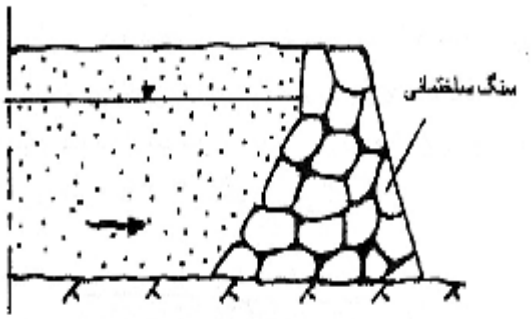
احداث سد و اثرات آن

6-1 -احداث سد

بعضی از انواع سدها مانند دو شکل زیر که اولی سد بتونی و دومی سدی با مصالح ساختمانی را نشان می دهد .



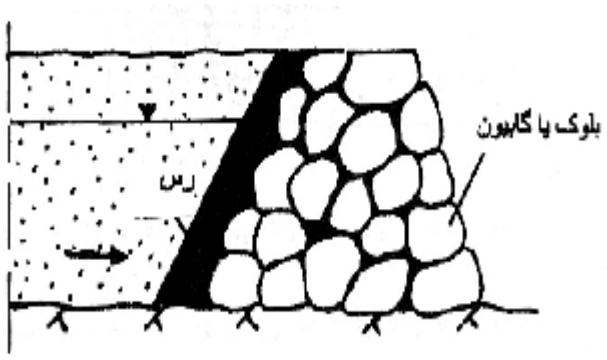
شکل 1-6- سد ذخیره ای شنی بتونی



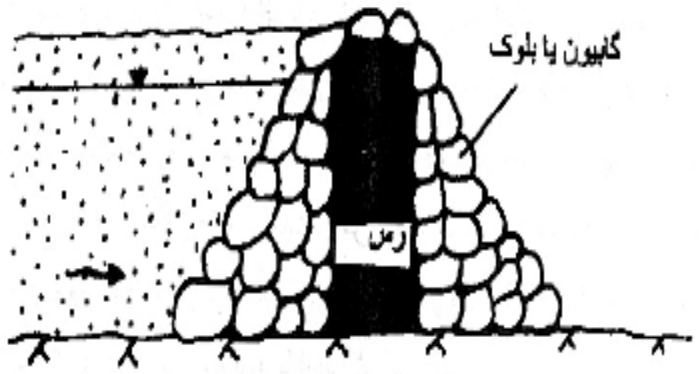
شکل 2-6- سد ذخیره ای شنی با مصالح ساختمانی

این دو سد خیلی مشابهند و ملزومات اساسی برای سد ذخیره ای شنی را نشان می دهند. آنها به قدر کافی بزرگ هستند که فشار ناشی از شن و آب ذخیره شده را تحمل نمایند بعلاوه آنها غیر قابل نفوذند . برای مخازن بزرگ ممکن است از سد های قوسی بکار رود .

دو شکل زیر نمونه هایی از سدهای وزنی هستند که از گابیون و بلوکهای بزرگ ساخته شده اند و در مقابل نیروی فشار بخوبی مقاومت می کنند .در شکل اولی سد گابیونی یا بلوکی به وسیله پوششی در طرف بالا دست که یک لایه ضخیم رسی است غیرقابل نفوذ است.و در شکل دوم هسته سد از یک دیواره رسی ساخته شده است .

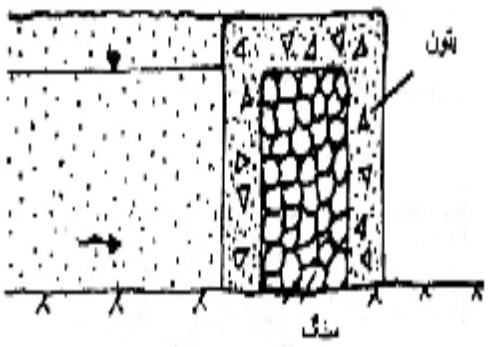


شکل 3-6- سد ذخیره ای شنی گابیونی با پوشش رسی



شکل 4-6- سد ذخیره ای شنی گابیونی با هسته رسی

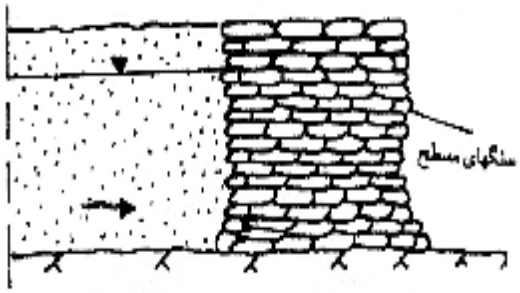
شکل زیر مثالی از یک سد ذخیره ای شنی را نشان می دهد که بدنه اصلی سد بوسیله توده ای از سنگ ساخته شده و بوسیله لایه بتونی برای پایداری و جلوگیری از نفوذ آب پوشیده شده است. نمونه ای از این نوع سد در کنیا وجود دارد که سد همانند یک پل بر روی رودخانه کوچک عمل می کند.



شکل 5-6- سد ذخیره ای شنی سنگی با پوشش بتونی

لازم نیست که سد ذخیرهای شنی کاملا غیر قابل نفوذ باشد شکل زیر سنگهای مسطحی به شکل توده ای یا ستونی را نشان می دهد که بفرم یک سد بزرگ می باشد و اجازه تراوش آب را به قدری می دهد که برای آب مورد نیاز احشام در پایین دست کافی باشند . سد ذخیره ای شنی در امتداد کناره های رودخانه در برابر فرسایش محافظت می شود. حتی در پاشنه سد جایی که انرژی جریان های اوج آب زیاد است مقاومت می

کند . بهترین راه برای جلوگیری از فرسایش ، احداث سد در موانع سنگی طبیعی است. اگر ینکار میسر نباشد ، سد باید چند متر در کناره های رودخانه گسترش یابد و یا با استفاده از دیواره های ال مانند ا ابعاد کافی تکمیل شود . همچنین سد باید با احداث کف بند در پاشنه سد محافظت شود و مهم است که سد های ذخیره ای شنی سرریزهایی با ظرفیت کافی برای عبور جریان های سطحی در حین جریانهای اوج داشته باشند.



شکل 6-6- سد ذخیره ای شنی سنگی

6-2- سدهای ذخیره ای شنی

موقعی که سد زیر سطحی ساخته می شود مسائلی مربوط به فاکتور های هیدرولیکی مواد موجود در سفره وجود دارد . موقعی که سد ذخیره ای شنی برای ساخت طرح ریزی می شود مواد موجود در آب حل شده و ممکن است سبب قلیایی شدن زمینهای حوزه گردند و بوسیله جریان هایی با شدت نا مشخص، آماده انتقال به سد شوند. بنابراین طراحی مناسب راسد ذخیره ای شنی پیچیده تر است و شامل محاسبات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی بیشتری است.معمولا ارتفاعع سد شنی ذخیره ای بین 1 تا 4 متر است.

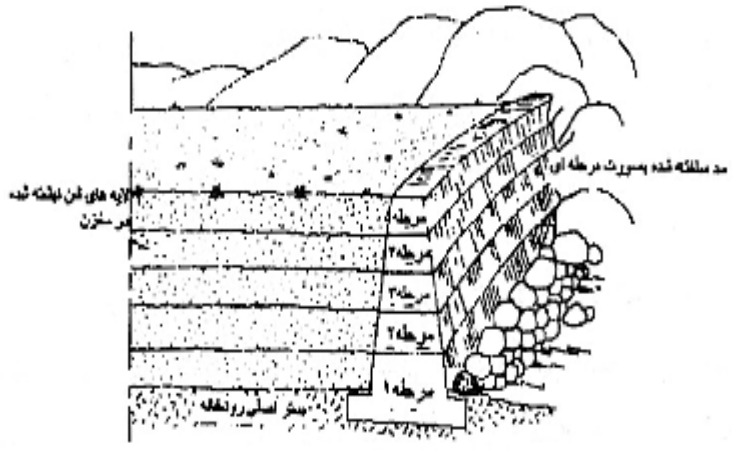
6-2-1- جریان آب

جریان آب سطحی رودخانه که تعیین کننده شیوه طراحی سد و میزان پایداری و ارتفاع آن و همچنین مقدار رسوبگذاری در مخزن می باشد نیاز به توجه دارد. تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به دبی سطحی رودخانه اصلی و یا شاخه های آن در تعیین جریان طرح استفاده می گردد.

بالاترین حد سد سازی و بیشترین میزان ذخیره در آن بوسیله شرایطی تعیین می شودکه سد در برابر ماکزیمم مقدار جریان مقاومت کند و این جریان باید بدون فرسایش از سواحل رودخانه عبور کند. سرریز ها باید مناسب طراحی می شود و در صورت لزوم دیوارهای بال مانند برای حفاظت سواحل رودخانه ساخته شود.

2-2-6- رسوبگذاری

سد ذخیره ای شنی طی مراحلی ساخته می شود که به طور شماتیک در شکل نشان داده شده است .ایده اساسی محدود نمودن ارتفاع هر مرحله بری نگهداشت مناسب سرعت بالای آب است که سبب شستن و حمل ذرات ریز به بیرون از مخزن می شود در حالیکه ذرات درشت رسوب می کنند . ارتفاع مناسب هر مرحله با میزان رسوبگذاری طبیعی رودخانه و ا با محاسبه سرعت جریان در مخزن تعیین می شود . وقتی یک مرحله از سد ساخته می شود ، باید میان تجمع رسوبات محاسبه شود و طراحی مرحله بعدی مطابق ا آن صورت گیرد .در مواقعی که تعداد زیادی سد در پروژه های مشابه یا به وسیله آژانسهای دیگر در مناطق مشابه ساخته می شود ، سبب کسب تجربه توجه پرسنل می شود و می توانند ارتفاع مناسب هر مرحله را فقط با توجه به مطالعه ذرات محل و میزان فرسایش در منطقه تعیین کنند. همچنین تجزیه و تحلیل کمی با تعیین حدود سرعت نهایی جریان به وسیله مطالعات رسوبگذاری قبلی امکانپذیر است .



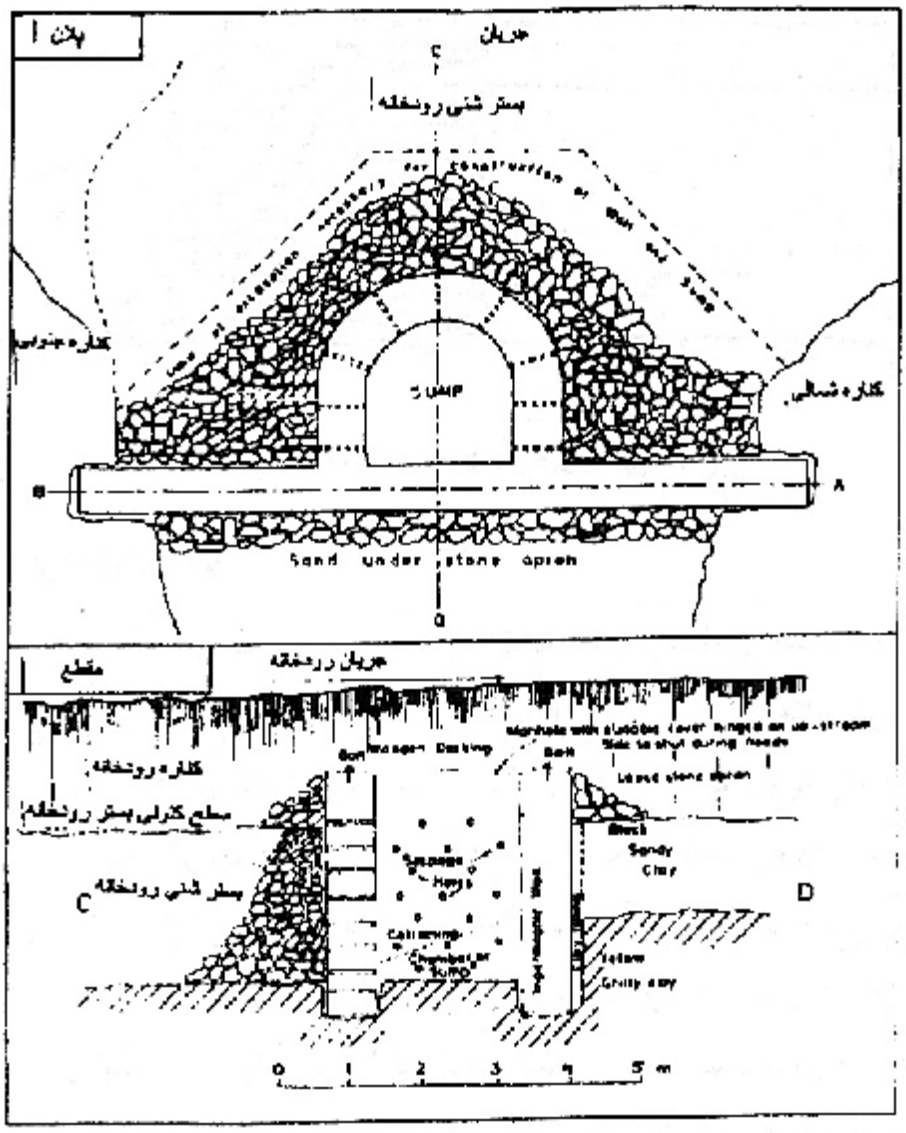
شکل 7-6- ضوابط ساخت سد ذخیره ای شنی

به چند دلیل باید تا حد ممکن از رسوبگذاری ذرات ریز در مخازن جلوگیری می شود زیرا بازده ویژه و نفوذ پذیری کل مخزن کمتر می شود و افتهای ناشی از تبخیر با افزایش در صد ذرات ریز بیشتر می شود (هلوگ ، 1973) . فاکتور مهم دیگر این است که ذرات ریز در لایه های بالایی می توانند بطور قابل ملاحظه میزان تغذیه را کاهش میدهند. چتانچه سد به ورت مرحله ایی ساخته شود هر چند این مراحل کم باشند ، هزینه های ساخت سد بیشتر از وقتی می شوند که سد یکبار با ارتفاع کامل ساخته می شود. برای حل این مشکل دو راه وجود دارد ، یکی استفاده از سیفون برای عبور جریان آب از روی سد است که سرعت جریان در مخزن را کاملا بالا نگه می دارد. این روش از لحاظ فنی غیر قبل انعطاف و پر هزینه است. راه حل دیگر ایجاد یک شکاف در سد است که اجازه تجمع رسوبات را تا یک ارتفاع خاص می دهد. شکاف قبل از بارش بعدی پر می شود و مخزن فرصت می یابد که به طور کامل پر شود.

3-6- برداشت آب

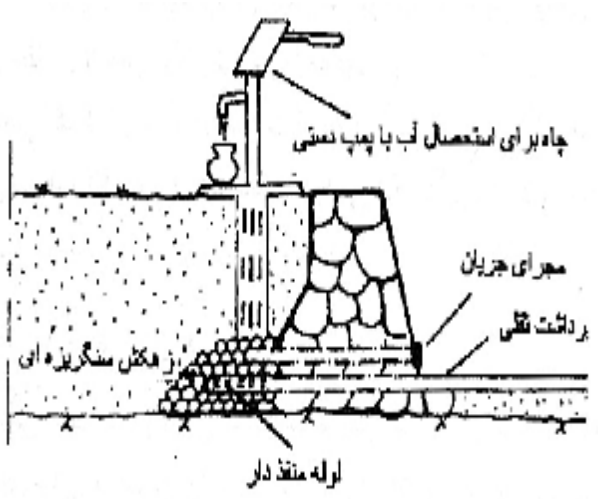
بهره برداری آب از سد ذخیره ای شنی مشابه سد زیر سطحی است . حتی سدهای ذخیره ای شنی برای برداشت ثقلی نسبت نسبت به سد های زیر سطحی نا مناسب ترند. معمولا زهکشی در ته مخزن در امتداد بالادست سد قرار گرفته است که به چاه و یا به لوله ثقلی تعبیه شده در دیواره سد می رسد. یک دریچه تخلیه باید بر روی سد تعبیه شود تا در صورت نیاز ، خالی شدن مخزن را تسهیل کند. اگر رسوبات جمع شده متشکل از ذرات ریز باشند باید یک سیستم زهکشی ساده و مناسب را در امتداد کف مخزن قبل از اینکه به وسیله رسوبات گرفته شود ایجاد نمود. در مورد سد های زیر سطحی می توان لوله های منفذ دار را که بوسیله سنگریزه با درجه بندی کافی پوشیده میشوند را ایجاد نمود که در مقابل آب شستگی مقاومند. برای احداث چاه در بخشی از سازه سد، باید در عمیق ترین قسمت، نسبت به حفر چاه اقدام شود. اگر ارتباط هیدرولیکی با کناره رودخانه وجود داشته باشد برای جلوگیری از آب شستگی ، جاه باید در ساحل رودخانه و در

نزدیک سد ساخته شود .



شکل 8-6- پلان و مقطع سد پیشنهاد شده در رودخانه لوباگا در تانزانیا

با توجه موارد ذکر شده ، روش ساده برداشت آب این است که با استفاده از نیروی ثقل اجازه تراوش از سد داده شود و در پایین دست با ایجاد گودال یا چاه در محلی مناسب در امتداد مسیر رودخانه آب جمع شود. یک سد ذخیره ای شنی با روش های مختلف برداشت در شکل زیر نشان داده شده است.



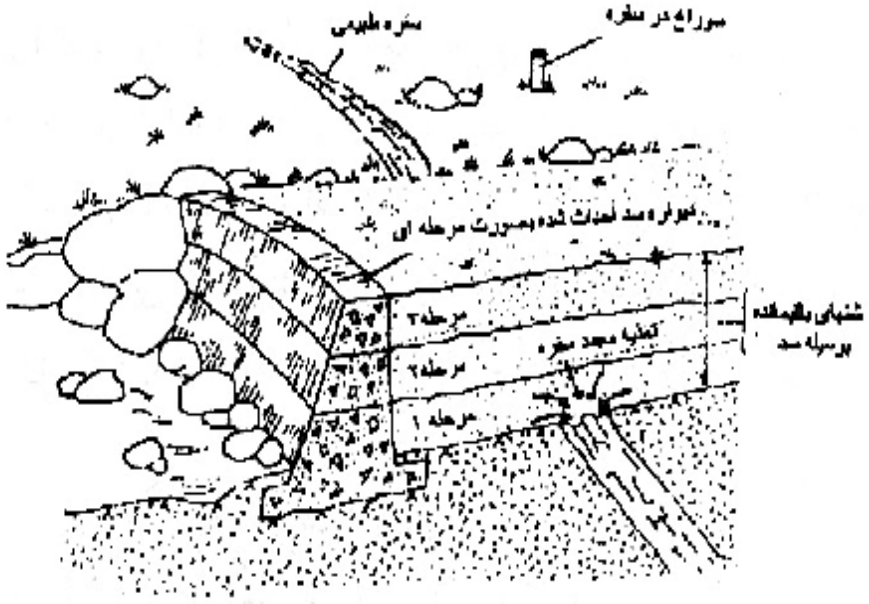
شکل 9-6- برداشت آب

6-4- فونداسیون بستر

فونداسیون مناسب سد های زیر زمینی باید تا حد ممکن در سنگ های سخت ساخته و محکم شود که دارای بهترین پایداری باشد وسبب کنترل بهتر تراوش در زیر سد شود.ممکن است این عمل به وسیله پی های بتونی در سطوح سنگی انجام گیرد . اگر سنگها هوا دیده شوند باید پروفیل هوا دیده قبل از اینکه فونداسیون سد ساخته شود کاملا برداشت شود. در غیر این صورت خطر تراوش در زیر سد وجود دارد.موقعی که به سنگ های جدید پس از حفاری برخورد می کنید باید برای امکان وجود نواحی شکستگی، محل احداث سد دوباره کنترل شود. سطوح سنگی باید به طور کامل و مناسب پاک شوند و اگر حدس زده شود که نواحی شکستگی وجود دارد ، باید تستهای ساده نفوذ انجام گیرد. در صورت وجود تراوش می توان آنرا با فشار ملات رقیق و یا بوسیله ریزش خیلی ضخیم دوغاب در بین نواحی شکستگی،پس از حفاری تا عمق ممکن تراوش را متوقف کرد. بهر حال مهم است که تمامی این نواحی کنترل گردند و در صورت لزوم درز گیری شوند. اگر امکان توقف تراوش نباشد و اگر امکان استفاده از نواحی شکستگی به عنوان روش های طبیعی برداشت آب میسر نباشد، در اجرا و استفاده طرح باید تجدید نظر صورت گیرد.

5-6- تغذیه سفره های طبیعی

ممکن است سد زیر زمینی همانند سازه تغذیه شونده در سفره های موجود بـه جریـان هـای جـانبی و عمـودی وابسته باشد .شکل زیر مثالی از نامیبیا را نشان می دهد که چگونگی انجام اینکـار را بیـان مـی کنـد . در سـفره یک دیواره برای تغذیه یک چاه استفاده شده بود که اب را برای فرودگاه فراهم می نمود. سفره به قـدر کـافی آب را فراهم نمی کرد وتصمیم گرفته شد که یک سد ذخیره ای شـنی در بالادسـت احـداث شـود کـه سـبب افزایش تغذیه سفره شود .در بعضی مواقعکه آب به خـارج زهکشـی مـی شـود و سـد زیـر زمینـی بـا شکسـت مواجه می شود ، می توان چاهی را در یک ناحیه حفر نمود و از سد زیر زمینـی ماننـد سـازه تغذیـه مصـنوعی بهره داری نمود.



شکل 10 -6- سد زیر زمینی به منظور تغذیه

6-6 - تغذیه

موقعی که سد زیر سطحی در منطقه ساخته می شود لازم است در جاهایی که لایه های سطحی خاک نفوذپذیری کمی دارند و یا در مناطقی که شیب زیاد است با استفاده از انحراف جریان سطحی ، شیار ،حفر گودال و غیره تغذیه مخزن افزایش یابد. اینکار می تواند برای سد های ذخیره ای شنی در مواقعی که لایه های بالایی سیلتی هستند و یا در مناطقی که امکان برداشتسیلت به صورت مکانیکی میسر نباشد، انجام گیرد .

6-7 - اثرات زیست محیطی

اگر طراحی و اجرای مناسبی صورت گیرد نباید یک طرح سد سازی برآب زیرزمینی، اثر منفی برمحیط زیست اطراف داشته باشد. بهر حال باید در محیط زیستهای ضعیف، استفاده از این تکنیک را مد نظر قرار دهیم چرا که ممکن است یک تغییر کوچک ، اثر فیزیکی طولانی مدت مانند تاثیرات اجتماعی داشته باشد .ممکن است در شرایط طبیعی جریان اب گرفته شده بر روی وضعیت آب زیر زمینی مناطق پایین دست تاثیر گزار باشد. چنین اثراتی باید در مراحل طراحی وزمان بندی برنامه ها در نظر گرفته شود. خطری به خاطر آب گرفتگی مناطق بالادست رودخانه وجود دارد. این مشکل را می توان با نگهداری تاج سدهای زیر سطحی در زیر سطح زمین یا با ایجاد سرریز حل نمود. در مورد سدهای ذخیره ای شنی ، این مشکل بزرگ نیست به علت اینکه معمولا کاربری اراضی موثری در منطقه نیست که متاثر از آن باشد .اگر سطح اب زیر زمینی بالا رود ،خطر آلودگی افزایش می یابد. موقعی که آب به منظور شرب استفاده شود لازم است که مناطق تغذیه با حصار بندی و یا با استفاده از پوشش خاک یا گیاه محافظت شوند. آب ذخیره شده در سدهای زیر سطحی ممکن است به منظور آبیاری در بالادست سد استفاده شود.در این مرحله بازگشت تراوش ها در مخزن جمع آوری می شود ودوباره استفاده می شود .این چرخه نجدید شونده راه مناسبی برای حفظ آب است اما ممکن است در مواقعی که بارش های فصلی به قدر کافی سنگین نباشند تا سبب شکستگی نمک های تجمع یافته در

خاک به بیرون شوند، مشکلاتی را با افزایش غلظت نمک بوجود آورد. همچنین در مواقعی که سطح ای زیر زمینی بالا باشد تبخیر سبب شوری خاک وآب زیر زمینی می شود.

فصل هفتم

جنبه های مصرف

7-1 - اهداف مصرف آب

میزان آبی که به وسیله انواع مختلف سدهای زیر زمینی در محیط های مختلف ذخیره می شود ، تعیین کننده مقدار آب است .مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری زیاد است . به هر حال برنامه ریزی برای تهیه آب شرب در مقیاسی کوچک شامل ذخیره ای کمتر از 1000 متر مکعب است که از نظر اقتصادی انجام شدنی است . جدول ذیل نشان دهنده چگونگی ذخیره آب در بعضی طرح های مطالعاتی می باشد که مورد استفاده قرار گرفته است . معمولا آب ذخیره شده در پشت سدهای زیر زمینی برای شرب یا آبیاری استفاده می شود بجز در مواردی که در جهت اهداف صنعتی استفاده می شود .

مصرف اصلی از آب و مقادیر تقریبی ذخیره شده

مصرف اصلی آب		سدهای زیر سطحی			سدهای ذخیره ای شنی	
	تعداد طرحها		حجم تقریبی(مترمکعب)	تعداد طرحها		حجم تقریبی(مترمکعب)
آبیاری	9		1300-1000000	1		600
آب شرب (چهار پایان یا دام	7		400-2000	9		50-12000

تفاوتی واضح بین سدهای زیر سطحی و سدهای ذخیره ای شنی در روشهای از آب وجود دارد . فقط یکی

از سدهای ذخیره ای شنی به منظور آبیاری استفاده می شود در حالیکه در نیمی از طرحهای زیر سطحی ، آب برای آبیاری ذخیره می شود . دلیل آن واضح است. با توجه به نمودارهای حجم آب ذخیره شده، سد سازی در سفره های موجود سبب مقدار زیادی ذخیره آب می شود و این معمولا در مواردی که آبیاری قابل توجه است ، اولویت اول می باشد. باید یاداوری نمود که در برخی از مناطق جهان ، مقادیر محدودی از آب در حین فصول بارانی ، سبب کمک به جبران (خشکی) در دوره های خشک موقتی می شود ویا ممکن است برای چند روز دوره کشت را افزایش دهد ، بنابراین کشت دو یا سه محصول ممکن است. مسیر آب قابل استفاده، تعیین کننده نوع سیستم بهره برداری است . برای طرح های آبیاری ، احداث چاهها و ایجاد موتورهای پمپاژ از نظر اقتصادی و فنی عملی است در حالیکه برای تهیه اب شرب در مقیاس کوچک ، استفاده از برداشت ثقلی بهتر است و یا حداقل اینکه از پمپهای دستی استفاده شود . الگوی توزیع جمعیت می تواند مقدار ذخیره لازم و انتخاب سیستم های توزیع و برداشت را تعیین کند.

2-7- عوامل اقتصادی

معمولا حجم ذخیره شده در سدهای زیر زمینی کم است . بعلاوه لازم است به نسبت سود به هزینه قابل قبول و هزینه های پایین نگهداری رسید ، از روشهای تحقیق پر هزینه و مواد ساختمانی گران قیمت اجتناب نمود و همکاری پرسنل فنی پر هزینه به حداقل برسد . هزینه های واقعی با توجه به مقدار ذخیره تخمین زده شده در جنند طرح انتخابی در جدول زیرآمده است .

نوع سد	کشور	هزینه(به دلار آمریکا برای هر متر مکعب ذخیره)	سال تاسیس
ذخیره ای شنی - بتونی	بوتسوانا	2-5	1984
ذخیره ای شنی - بتونی	کنیا	1-3	1984
زیر سطحی - آجری	هند	0/1	1963
ذخیره ای شنی - بتونی -مصاح سنگی	نامیبیا	0/1	1956-1965

هزینه ذخیره آب در طرحهای انتخابی

دو راه اقتصادی برای توجیه اقتصادی تکنیکهای سد سازی زیرزمینی وجود دارد . یکی ازآنها مربوط به هزینه هایی است که مستقیما شامل منافع اقتصادی که از بهبود و تصفیه آب فراهم شده است و دیگری مقایسه هزینه ساخت سدهای زیر زمینی بار دیگر روش های مرسوم است . در نتیجه یک روش مشخص بر اساس اطلاعات در دسترس مهیا می شود. بهر حال تجزیه و تحلیل سود به هزینه به روش های رایج برای تصفیه آب در جوامع روستایی کشورهای در حال توسعه مشکل است.

کاروترز و براون مشکلات مربوط به تجزیه و تحلیل نسبت به سود به هزینه را برای پروژه های تهیه آب بیان نمودند. هزینه پروژه به وسیله قیمت پنهان، هزینه های مالی و کاهش هزینه ای آتی تخمین زده می شود حتی اگر مشکلاتی مربوط به یافتن هزینه پنهان صحیح و تعیین میزان صحیح کاهش نرخ هزینه های آتی به همراه داشته باشد. مشکل عمده ، ارزیابی منافع آتی است : منافع کدامند و ارزش آنها در دوره های اقتصادی به چه میزان است؟ وقتی پروژه ای برای تهیه آب آبیاری باشد انجام آن ممکن است اما اگر هدف استفاده از آب برای حیا ت وحش ویا حیوانات اهلی باشد، تعیین منافع اقتصادی آن آسان نیست . حتی اگر اثرات تولید و سلامتی آن شناخته شده و مثبت باشد. مشکل دیگر این است که فقط توسعه آب مد نظر نیست بلکه ورودیهایی مانند توسعه بهداشت و آموزش تندرستی و غیره مد نظر است که با کمی تفکر ، چنین آنالیز هایی باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. یکی از روش ها که به وسیله بانک جهانی استفاده شد ، استفاده از درامد های مورد انتظار است مانند اندازه گیری منافع اما این نیز به طور قطعی می تواند منافع حقیقی را تخمین بزند.

مقایسه سد زیر زمینی با راه حلهای مرسوم یک روش خیلی ساده است . برگر و بیومانت هزینه سد ذخیره ای شنی را برای تهیه آب شرب با سد مخزنی مرسوم در شرایط معین در نامیبیا مقایسه نمودند. آنها با استفاده از

نمودارهای نزولی که به وسیله ویپلینگر در سال 1958 ارائه شده است، محاسبه نمودند که یک سد معمولی با 12 متر بلندی و 80 متر طول برای آبهای سیلابی 20 درصد بازده یا 46000 متر مکعب آب در سال دارد در حالیکه سد ذخیره ای شنی با ابعاد مشابه برای نگهداری آب در شن 70 درصد بازده یا 41000 مترمکعب در سال آب دارد. تشابه این مقادیر مربوط به اثر افتهای ناشی از تبخیر در مخازن سطحی است. هزینه احداث سد ذخیره ای شنی در مواقعی که احداث آنها در بیش از چند سال با هزینه های حاصل از تثبیت دوباره و احداث دسته دیگری از سد ها همراه باشد، کمی بیشتر است. از طرف دیگر آب در سدهای سطحی باید تصفیه شود و عمر مفید مورد انتظار سد در اثر رسوبگذاری محدود است. تجزیه و تحلیل جریان سرمایه برای این مثال در جدول زیر ارائه شده است. هزینه استفاده از یک سد ذخیره ای شنی تحت شرایط معین حدود 75 در صد یک سد معمولی با همان وضعیت است.

تجزیه و تحلیل ارزش پول برای پروژه های تصفیه آب با دو روش ذخیره ای شنی ومرسوم

	سال	1	2	4	6	8	10	12	13-30
پروژه									
	مصرف سرمایه	60000	.....	.....	.....	12000	.....	.....	.....
شنی ذخیره ای									
	بازده	.....	.....	1000	6000	12000	32000	41000	41000
	مصرف سرمایه	95000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
سد رایج	تصفیه	.....	1740	1340	1000	770	590	543	290-0
	افت	.....	600	540	480	410	350	300	270-0
	مجموع عوامل بالا	95000	2340	1880	1480	1180	943	753	660-0
	بازده	.....	46000	40000	34000	29000	25000	21500	1950-0

تمام هزینه های بالا به اضافه تهیه آب برای پروژه ذخیره ای شنی + هزینه تهیه آب برای سد مرسوم + ارزش سرمایه(مبالغ بالا بر حسب سنت می باشد)

از لحاظ سوابق مطالعاتی و اجرایی در خصوص سدهای زیرزمینی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

اسکیبتزکی (1961) مطالعاتی را در مورد موقعیت سدهای زیر زمینی از نظر زمین شناسی انجام داد. ماتسو(1975) برای اولین بار گزارشی از احداث یک سد زیر زمینی با عمق 25-10 در جزیره کاباشیما در غرب ژاپن داد. قبل از آن فقط سدهای زیر زمینی برای لایه های آبدار کم عمق مورد استفاده قرار می گرفتند.

لارسن و سدروال(1980) مطالعاتی را بر روی گنجایش حجم مخزن سدهای زیرزمینی انجام دادند. در سالهای اخیر استفاده از مدلهای عددی نیزدر طراحی این سدها به کار گرفته شده است. سابیو(1987) مدل عددی تفاضل محدود برای طراحی و مدیریت پیشروی آب دریا از میان سد زیر زمینی نیمه نفوذ پذیر در یک لایه آبدار آزاد ساحلی بکار برد. جینو(1996) یک سد زیر زمینی را برای جلوگیری از پیشرفت آب دریا به بخش شمال استان اوکیناوای ژاپن و برای تعیین قابلیت کاربرد یک مدل دو بعدی جریان آب زیر زمینی شیرین و شور ارزیابی نمود. گوپتا (1997) مدل تفاضل های محدود را برای تحلیل جریان در مخزن سد زیر زمینی جزیره فوکت تایلند و تخمین حجم مخزن به کار برد.

در کشورهایی نظیر تانزانیا- چین و امارات متحده عربی نیز نمونه های متعددی از سدهای زیرزمینی در مراحل مطالعاتی و تحقیقاتی قرار دارند. درکشور ایران هم با وجود شرایط توپوگرافی و اقلیمی مناسب در بسیاری از مناطق تنها چند نمونه کوچک مانند سد کهنوج و اندوهجرد شهداد در استان کرمان و سد زیرزمینی میمه در استان اصفهان احداث شده است.

سد های زیرزمینی در ایران

در کشور ما کار در مراکز تحقیقاتی با همکاری بخش اجرا از حدود 8 سال پیش شروع شد ولی با پیش آمدن شرایط خشکسالی و دستور مستقیم وزیر مبنی بر ساخت سدهای زیرزمینی در مناطق مستعد به عنوان یکی از روش های کارآمد در بحث تولید آب جدید کاهش اثرات خشکسالی، ساخت این نوع از سدها به طور جدی در دستور کار قرار گرفت.

• هزینه احداث هر سد زیرزمینی به طور میانگین چقدر است؟ از باب مقایسه می توان گفت احداث 300 سد زیرزمینی که می تواند ذخیره آبی در حد سد کرج داشته باشد حدود 75 میلیاردتومان هزینه دارد. ولی در مجموع می توان گفت ساخت هر سد زیرزمینی تقریباً هزینه ای معادل 250 میلیون تومان دارد.

• هر سد تا چه میزان آب را می تواند ذخیره کند؟ این میزان متفاوت است ولی می توان گفت مخزن سدهای زیرزمینی می تواند از 15-20 لیتر در ثانیه تا 100-150 لیتر در ثانیه آب تأمین کند.

• با توجه به شرایط خشکسالی در حال حاضر ساخت چند سد زیرزمینی در دستور کار قرار گرفته و در کدام مناطق؟ به طور کلی ساخت 300 سد در استان های مختلف در دستور کار قراردارد ولی در ابتدا ساخت 22 سد زیرزمینی در جاهایی است که بیشتر با مشکل روبه رو هستند. 7 سد زیرزمینی در استان فارس، 4 سد در استان کرمان، 2 سد در استان سمنان، 2 سد در استان اصفهان، 2 سد در استان خراسان جنوبی، 2 سد در استان خراسان رضوی و در استان های کهگیلویه و بویراحمد، قزوین و آذربایجان شرقی هر کدام یک سد.

• طول دوره ساخت هر سد زیرزمینی چقدر است و این سدها چه زمانی به بهره برداری می رسند؟ دوره ساخت هر سد زیرزمینی معمولاً بین 8 تا 10 ماه است و انتظار داریم بخش عمده این 22 سد تا پایان سال 87 به بهره برداری رسیدند .

• اعتبار این سدها تأمین شده؟ خوشبختانه با توجه ویژه دولت به این بحث اعتبار لازم برای ساخت 22 سد

تأمین شده و رایزنی ها برای تأمین اعتبار مابقی سدها یعنی 278 سد دیگر ادامه دارد.

• آیا در کشور سد زیرزمینی داریم که به بهره برداری رسیده باشد؟ به طور مثال سد زیرزمینی کوثر دامغان نمونه موفقی است که هم اکنون در حال آبدهی است و اگر شما به این منطقه مراجعه کنید باور نمی کنید ذره ای آب در آنجا وجود داشته باشد .ولی سد زیرزمینی که ایجاد شده مردم را بهره مند کرده است.

نتیجه گیری

سدهای زیر زمینی با توجه به هزینه های پایین ، روش ساخت آسان ، ذخیره اب بهداشتی ، و مزایایی بسیاری که نسبت به سدهای سطحی دارند . و به خصوص با توجه به آب و هوای خشک و نیمه خشک ایران می توانند یک روش مقرون به صرفه و ساده برای استفاده از آبهای زیرزمینی باشند . امید است با صرف هزینه های زیاد در بخش سد سازی در کشور ما ساخت این گونه سدها نیز پیش از پیش مد نظر قرار گیرد . و ما که در بخش استفاده از ابهای زیرزمینی در دنیا پیش تاز بوده ایم و در حال حاضر نیز یکی از بزرگترین سد سازان دنیا هستیم در این زمینه نیز گوی سبقت را از سایر کشورها ربوده و پیش تاز باشیم.

منابع

1 - سعادتی، م. "تعیین شاخص های مکان یابی جهت ایجاد سد زیرزمینی و شبیه سازی مدل ریاضی جریان در سد زیرسطحی" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان

2 - سدهای زیرزمینی، نوشته آ.ک.نلسون، ترجمه مهندس باقر یزدانی، انتشارات دانشگاه اصفهان

3 - مصالح پر کننده برای دیوارهای آب بند – نشریه شماره 13 مکیته ملی سدهای بزرگ ایران

4 – گزارش پروژه مکانیکی سدهای زیرزمینی در منطقه خزانق – گلزار – پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیز داری

5- جزئیات ساخت 22 سد زیرزمینی – روزنامه ایران

6 - مغربی، مهدی و برومند، پویان، 1383، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران، دانشگاه هرمزگان.

7 – طباطبایی یزدی، ج. و لشکریان س. نبی پی ، سدهای زیرزمینی جهت تامین آب در مقیاس کوچک

8 - گلمایی س.ح. و آشتیانی مقدم ق. 1384. سدهای زیرزمینی برای ذخیره آب در مقیاس کوچک، انتشارات دانشگاه مازندران، 97 ص.

9- سد زیرزمینی یک تکنولوژی جدید توسعه منابع آب زیرزمینی، منابع آب منطقه ای اصفهان

10 - تغذیه مصنوعی با استفاده از سدهای زیرزمینی، Y.C. Reitzer

11- کتیبه، ه. و فلاح نژا،د س. .1389سدهای زیرزمینی، راهکاری نوین در حفاظت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی.نشر تراوا. اهواز.

www.civilica.com

www.unu.edu

Nilsson, A. 1988. Ground Water Dams for Small Scale Water Supply, IT Publications, pp.69-86.

Yamada, T. 1996. Construction of Underground Dams on the Miakojima (In

Japan). The Dam Digest, the Japan Dam Foundation. No. 580, pp.81-95.

[3] Whitman, R. V. & Lambe, T. W., " Construction of diaphragm walls", John wiley & sons, 1984.

[4] Xanthakos, P. P, " Slyrry walls", McGRAW-Hill, New York, 1979

[5] Filling materials for watertight cut-off walls, Bulletin 51, ICOLD, 1985.