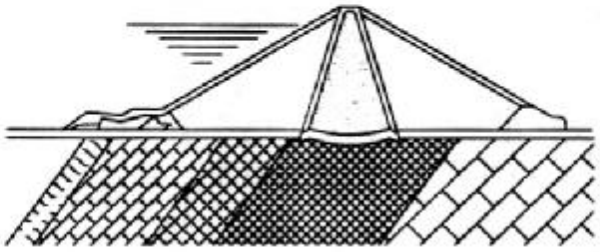
انتخاب محل و نوع سد

بر اساس

شرایط ژئومورفولوژی و ژئولوژی



بخش تحقیقات و مطالعات

نشریه تخصصی بخش عمران آب

زمستان ۱۳۷۲

RAH SHAHR

مهندسین مشاور معمار شهرساز عمران آب، و انرژی

Architects, Urban Design, Hydraulics, & Energy Consultants

بسم الله الرحمن الرحیم

انتخاب محل و نوع سد براساس شرایط ژئومورفولوی و ژئولوژی

نشریه تخصصی بخش عمران آب، شماره ۱، زمستان ۱۳۷۲

تالیف: مهندس احمد خورسندی آقائی، دکتر شهریار افتخارزاده

ویرایش: آزیتا مهراد

تایپ: پروانه کیائی، آزیتا مهراد

چاپ و صحافی: چاپ شهر

فهرست مطالب

مقدمه ۱

هدف ۳

فصل اول: وسائل و شرایط لازم در بررسی انتخاب محل سد

۱-۱-کلیات ۴

۱-۲- توپوگرافی و ژئومورفولوژی ۴

۱-۳- زمین شناسی و شرایط پی ۴

۱-۴- مواد و مصالح ساختمانی ۵

فصل دوم: انواع سدها

۲-۱-کلیات ۷

۲-۲- طبقه بندی سدها براساس سازه هیدرولیکی ۷

۲-۳- طبقه بندی سدها براساس مواد متشکله آنها ۷

۲-۴- طبقه بندی بر اساس کاربرد و هدف بهره برداری ۱۰

فصل سوم: ژئومورفولوژی و انواع سد

۳-۱- کلیات ۱۵

۳-۲- انواع دره‌ها از نظر ژئومورفولوژی ۱۵

۳-۳- نیمرخ دره‌ها ۱۷

۳-۴- تشریح تقسیم بندی از نظر اندازه ۱۷

فصل چهارم: شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی انواع سد

۴-۱- کلیات ۲۴

۴-۲- مرحله شناسائی ۲۴

۴-۳- مرحله توجیهی ۲۸

۴-۴- مرحله تشریحی ۲۸

۴-۵- مرحله ساختمان ۲۹

۴-۶- مرحله بهره‌برداری و نگهداری ۲۹

۴-۷- مرحله ارزیابی و تجربه اندوزی ۲۹

۴-۸- مشخصات محل سدهای مختلف ۳۰

فصل پنجم: نوع سنگ و تاثیرش روی نوع سد و ساخت آن

۵-۱- کلیات ۳۶

۵-۲- تقسیم بندی سنگها ۳۶

۵-۳- خواص فیزیکی و مکانیکی سنگها ۳۸

۵-۳-۱- وزن مخصوص ۳۸

۵-۳-۲- تخلخل ۳۹

۵-۳-۳- قابلیت جذب آن ۳۹

۵-۳-۴- مقاومت سنگ ۳۹

۵-۳-۵- خاصیت رادیواکتیویته ۴۱

۵-۴- گرانیت ۴۱

۵-۵- گابرو، آندزیت، دولریت، بازالت ۴۳

۵-۶- آمفی بولیت ها ۴۴

۵-۷- سنگهای دگرگونی ۴۵

۵-۸- انواع آهک ها ۴۶

۵-۹- شن و ریگ و ماسه سنگ ۴۷
۵-۱۰- گراول، ماسه و رس قلوه سنگدار ۴۸

فصل ششم: سدهای اجراشده

۶-۱-کلیات ۵۰
۶-۲- ارزیابی ۵۰
۶-۲-۱- ارزیابی سدهای خارجی ۵۱
۶-۲-۲- ارزیابی سدهای ایران ۵۴

فصل هفتم: انتخاب نوع سد براساس عوامل فیزیکی بحث‌شده

۷-۱-کلیات ۶۸
۷-۲- نتیجه‌گیری و جدول ۶۸

واژه‌نامه ۸۱

فهرست منابع و مراجع ۸۸

پیشگفتـــــار

کشور ما ایران، به لحاظ موقعیت و وضعیت جغرافیائی خاص و ویژه خود، دارای طبیعتی با ویژگیهای متفاوت می‌باشد. به طور مثال نقطه‌ای در شمال ایران دارای ۱/۷ متر بارندگی در طول سال و نقطه‌ای دیگر دارای حداکثر ۵۰ میلی‌متر بارش سالانه است. اما به طورکلی کشور ایران از نظر نزولات جوی جزو مناطق نیمه خشک کره زمین به شمار می‌رود و متاسفانه همین بارش‌های اندک نیز توزیع زمانی و مکانی مناسبی نداشته و در اکثر مناطق ایران بارندگی با شدت زیاد و مدت زمان اندک به صورت سیل‌آسا است و عموماً نوع جنس زمین مناطق مختلف، اجازه نفوذ آب بداخل زمین و ایجاد مخازن زیرزمینی آب را نمی‌دهد.

به طور متوسط سالانه حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب آب از طریق ریزشهای جوی به پهنه ایران می‌بارد که حدود ۱۲۰ میلیارد مترمکعب آن جاری و مابقی نفوذ یافته و یا تلف می‌شود و تنها در حدود ۲۸ میلیارد مترمکعب از آبهای جاری کنترل و مهار گردیده و جهت تأمین بخشی از نیازهای کشاورزی و شرب و نیروگاههای برقابی مورد استفاده قرار می‌گیرد، یعنی حدود ۲۳٪ از آبهای سطحی مهار شده، در حالیکه حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب آن هنوز غیرقابل کنترل بوده و از دسترس خارج می‌گردد.

بنابراین جهت رفع نیاز مداوم مملکت به آب بایستی با ایجاد سدها و موانع تا حد امکان، به بهره‌وری کامل از منابع آب سطحی موجود رسید و لازمهٔ این امر مهم، تکمیل دانش سدسازی در کشور می‌باشد که خود مجموعه‌ای از علوم مختلف چون زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، مهندسی زمین شناسی، لرزه خیزی، هیدرولیك، هیدرولوژی، مکانیك خاك و سنگ، فرسایش و رسوب، سازه، هیدرومکانیك و الکتریك است. واضح است که چون سازه سد بر روی نقطه‌ای از زمین واقع می گردد، بنابراین کنترل کننده اصلی جسم سد در طول طراحی، ساخت و بهره برداری، نوع زمین بوده و همچنین معیارهای انتخاب محل‌سد

و نوع آن در وهله اول شرایط فیزیکی محل یعنی توپوگرافی، زمین شناسی، ژئومورفولوژی، مواد و مصالح ساختمانی است که به تجربه ثابت شده که زمین شناسی محل سد بهرحال کنترل کننده اصلی است و بایستی عوامل آنرا در محل دقیقاً شناخت و عدم شناخت کامل فاکتور فوق در محل سد، به ثمر رسیدن آنرا به مخاطره می اندازد.

از طرف دیگر در ساخت سدهای مختلف و مطالعات طراحی آنها بایستی از دانش سدسازی و تجربیات دیگران بیشترین بهره را برد و نهایتاً دانستنیهای بدست آمده دربارهٔ موارد فوق را جهت استفاده دیگران نشر داد که مسلماً این پراکنش دانسته ها کمك بزرگی به دانش سدسازی است. تدوین این سری از نشریات توسط بخش عمران آب مهندسین مشاور ره شهر در جهت کمك به دانش فوق الذکر در کشور در راستای برنامه ریزیهای دولت جمهوری اسلامی و عنایت ویژه به صنعت آب در کشور می باشد. همانگونه که وزیر محترم نیرو درسخنرانی خویش در مراسم افتتاحیه دوره جدید کمیته های سدهای بزرگ اظهار داشتند، طرح احداث حدود ۲۰ سد در دست مطالعه است که بایستی در برنامه پنج ساله دوم، تعدادی از آنها ساخته و به مرحله بهره برداری برسند. این عبارت، تاکیدی است بر آنچه بیشتر ذکر گردید.

از کلیه همکارانی که در جهت تدوین این نشریه کوشش نموده اند به ویژه خانم آزیتا مهراد، خانم ندا نوابی، آقای فرشاد فرشیدراد و همچنین همکاران بخش حروفچینی ماشینی خانم پروانه کیانی، خانم آرزو فرح دماوندی و خانم صدیقه نوریان قدردانی می شود.

در خاتمه از کسانی که نشریه را مطالعه می نمایند خواهشمند است نظرات اصلاحی و پیشنهادات خود را به نشانی این مهندسین مشاور ارسال فرمایند.

سعید شهیدی

مدیر بخش تحقیقات و مطالعات

مـــقدمـــه

انتخاب محل و نوع سد بستگی به عوامل و شرایط مختلفی دارد که بررسی آنها مستلزم بهره‌مندی از علوم و تخصص های متعددی است. در این راستا متخصصین علوم مختلف از جمله برنامه ریزان، هیدرولوژیستها و مهندسین هیدرولیك، سازه و زمین شناس سهیم هستند و کار آنها بررسی خصوصیات توپوگرافی، مورفولوژی، ژئولوژی، پی، نفوذ آب، مصالح ساختمانی در دسترس، هیدرولوژی، زمین لرزه، پایداری و طراحی هیدرولیك، جهت تعیین بهترین محل و اقتصادی ترین طرح سد می باشد.

عموماً مسائل مربوط به ژئومورفولوژی و زمین شناسی از اولین و مهمترین شرایط در تعیین محل و نوع سد هستند و جوانب دیگر پس از تعیین این خصوصیات بررسی می‌گردند. شرایط ژئومورفولوژی و زمین شناسی تعیین کننده خصوصیات استقامت لایه های زمین، نفوذپذیری آنها، ابعاد سد مورد نیاز و در نتیجه نوع سد قابل احداث می‌باشند.

این مقاله جهت ارائه جوانب مختلف شرایط ژئومورفولوژی و ژئولوژی لازم به بررسی، و تدوین راهنمائی سیستماتیك در انتخاب محل و نوع سد براساس آنها، تهیه گردیده است.

در فصل اول مسائل و شرایط لازم، در بررسی و انتخاب محل سد مورد بحث قرار گرفته، مسائل و فاکتورهای فیزیکی انتخاب محل سد به طور خلاصه تشریح گردیده‌اند.

در فصل دوم انواع سدها بر حسب نوع سازه، مصالح مصرفی جهت ساخت، و کاربرد و هدف بهره برداری از آنها طبقه بندی گردیده اند.

در فصل سوم نقش مطالعات ژئومورفولوژی در انتخاب محل سد مورد بحث قرار گرفته، و انواع دره ها دسته بندی، و انواع سدهای مناسب احداث در آنها مشخص گردیده اند.

در فصل چهارم، شرایط توپوگرافی و زمین شناسی تشریح گردیده و تاثیرآنها در انتخاب نوع سد ذکر شده است.

در فصل پنجم نوع سنگ پی و دیواره های دره و تاثیر آن در نوع و ساخت سد مورد بحث قرار گرفته، و سنگ های اصلی و تاثیرشان در نوع سد و مسائل پیش آمده در حین اجرا و ساخت آنها تشریح گردیده است.

در فصل ششم مثالهای سدهای اجرا شده که در متن نشریه آمده، و همچنین سدهای موجود در ایران از لحاظ وضعیت و خصوصیات فاکتورها آمده است.

در فصل هفتم سعی بر این بوده که فاکتورهای فیزیکی بحث شده به صورت جدولی تنظیم شده و در ستون آخر جدول مزبور انواع سدهای مناسب از لحاظ ارتفاع، سازه و کاربرد ذکر گردد.

مدیریت بخش عمران آب

هـــــدف

مقصود از نگاشتن و تنظیم نشریه حاضر، جمع آوری اطلاعات و تدوین مباحثی در مورد شرایط طبیعی و فاکتورهای فیزیکی موثر در انتخاب محل و نوع سد بوده که امید است در صنعت آب به ویژه سدسازی و مسائل کلی آن مفید واقع شود. از آنجائیکه در زمینه مطالعه، طراحی و ساخت انواع سدها در ایران سابقهٔ چندان زیادی وجود ندارد، و همچنین کتاب و مقاله های موضوعی در این زمینه به زبان فارسی اندك میباشند، این مهندسین مشاورتصمیم به انتشار مجموعه ای در زمینه های فوق الذکر گرفت که امیدوار است گامی موثر در جهت ازدیاد منابع فارسی در زمینه ساخت سدها و مطالعات آنها باشد.

مهندسین مشاور معمار و شهرساز، عمران آب و انرژی

ره‌شـــــــهر

فصـــل اول

مسائل و شرایط لازم در بررسی انتخاب محل سد

۱ – ۱ – کلیات

به طور کلی فاکتورها و عوامل مختلفی در انتخاب محل و نوع سد دخیل هستند اما براساس خواسته و هدف این نشریه تنها فاکتورهای فیزیکی مورد نظر بوده که عبارتند از توپوگرافی و ژئومورفولوژی، زمین شناسی و شرایط پی، مواد و مصالح ساختمانی طبیعی موجود در محل، که به ترتیب شرح داده میشود.

۱ – ۲ – توپوگرافی وژئومورفولوژی

پستی و بلندی و فُرم زمین اولین فاکتور انتخاب محل سد بوده و وضعیت دیواره‌ها و شکل آنها و هم چنین شکل مخزن در پشت محل احتمالی سد و حجم آن از مسائل بعدی می‌باشند. برای مثال دره باریك میان ارتفاعات با دیواره سنگی به طورطبیعی جهت محل احداث سد انتخاب گشته وهم چنین برانتخاب نوع سد تاثیر میگذارد، در تپه ماهورها، محل سد به فرم و توپوگرافی زمین و حجم مخزن انتخاب شده، بستگی داشته و مسلماً نوع سد براساس فاکتورهای فیزیکی فوق انتخاب گردیده، هم چنین انتخاب محل سرریزبراساس شرایط توپوگرافی و فرم زمین میباشد.

۱ – ۳ – زمین شناسی و شرایط پی

شرایط پی بستگی کامل به زمین شناسی محل سد وضخامت طبقات و مقاومت سنگ پی دارد که باید وزن سد را تحمل نمایده دیگر مسائل مهم زمین خمیدگی، نفوذپذیری و ارتباط با لایه های پوششی، گسل های موجود و درزه است. به طور کلی انواع مختلف پی عبارتند از:

پی با سنگ محکم: این پی ها قدرت باربرداری و مقاومت فرسایشی زیاد در صورت سالم بودن سنگ را دارند در غیر این صورت بایستی با تزریق بتون آنها را آماده نمود.

پی شنی: در صورت متراکم بودن برای بعضی از انواع خاص سد مناسب هستند مسئله مهم دراین پی ها نفوذپذیری و فرار آب میباشد.

پی سنیلتی یا ماسه ای دانه ریز: مناسب جهت سدهای وزنی بوده و مسائل زمین‌شناسی این پی ها ایستایی، آماس خاك، نیروهای بالابرنده، آب شستگی، فرار آب و تثبیت پی در پایاب محل سد میباشد.

پی رسی: مناسب سدهای خاکی بوده و مسائل زمین شناسی آن تراکم پذیری ویژه، تحمل نیروهای بُرشی و تحمل بارهای فوق العاده است.

پی بدون شکل: منظور آن است که از انواع ذکر شده بالا نباشد در این صورت برای احداث سد روی این پی ها طرح های ویژه لازم است و از تجربیات کارشناسان خبره در انتخاب محل سد بایستی استفاده نمود. جزئیات آزمایش پی را بایستی از مجموعه آزمایشات پی سدهای خاکی، سنگ چین و بتونی وزنی استخراج نمود.

۱ - ۴ - مواد و مصالح ساختمانی

مواد برای ساخت سدها و انواع گوناگون آن بایستی در دسترس و نزدیك کارگاه بوده و این موضوع در انتخاب محل سد تاثیر بسزائی دارد. مواد برای انواع سدها عبارتند از:

خاك برای سدهای خاکی

سنگ برای سدهای خاکی و روکش سنگ فرش آنها

ملات بتون (ماسه و شن، سنگ های خرد شده)

کوتاهی مسیر نقل و انتقال مواد بویژه در حجم زیاد، تاثیر در کاهش هزینه کلی طرح در مقیاس زیادی دارد. مسلماً کم و زیاد بودن مواد فوق در محل انتخاب شده برای احداث سد، تعیین کننده نوع سازه ای آن خواهد بود.

فصل دوم
انواع سدها

۲ – ۱ – کلیات

سدها را میتوان براساس منظورهای متفاوت دسته بندی نمود که هر کدام اهداف خاصی را داشته باشند. این نشریه سدها را براساس فاکتورهای جزئیات سازه هیدرولیکی، مواد سازنده و کاربردآنها تقسیم‌بندی می نماید.

۲ – ۲ – طبقه بندی سدها بر اساس سازه هیدرولیکی

براساس شرایط و جزئیات هیدرولیکی، سدها را میتوان به دو دسته زیر تقسیم کرد:

الف: سد با جریان آبی از روی جسم آن

ب: سد بدون جریان آبی از روی جسم آن

سدهای نوع اول بر اساس حجم عبوری آب از روی تاج و یا وجود سرریزهای تخلیه روی تاج طراحی میگردند و ماده اصلی ساخت آنها بتون است.

سدهای نوع دوم جریان آبی از روی جسم سد نداشته و اکثراً از نوع خاکی یا سنگ چین هستند.

میتوان در بعضی مواقع و بنا به شرایط محلی سدهای ترکیبی از هر دو نوع بالا ساخت مثلاً سد وزنی بتونی با جریان آب روی تاج که دارای دایك های خاکی باشد.

۲ – ۳ – رده بندی سدها بر اساس مواد متشکله آنها

این رده بندی براساس موادی است که قسمت اعظم سازه از آنها است و جزئیات مهم سد از مشخصات این رده بندی است برای مثال سد وزنی (بتونی) یا سد قوسی (بتونی) که نشان دهنده ماده بتون به عنوان عنصر اصلی سازنده سد در انواع مختلف است. سدهای مختلف که نامشان براساس مواد سازنده‌شان باشد عبارت‌ازسدخاکی،سد سنگ‌چین، سد

وزنی بتونی و دیگر انواع سدها شامل سدهای قوسی و بتونی پایه‌دار که خصوصیات هر کدام به طور خلاصه عبارت است از:

الف: سدهای خاکی – این سدها از مواد و مصالح طبیعی اطراف محل سد و بیشتر جهت ذخیره کردن آب احداث میشوند، بعضی از قسمت های سدهای خاکی از بتون ساخته شده و در صورت ارتفاع زیاد، میتوان با نصب توربین، تولید نیروی برق هم داشت این سدها خود براساس مصالح مصرفی و طراحی سازه به انواع زیر تقسیم میگردند:

سدهای خاکی هموژن: سدهای خاکی کوچکی هستندکه درمهندسی رودخانه به عنوان دایك شناخته شده، بدنه اصلی آنها ازخاك با نفوذ پذیری کم ساخته میشود و مسائل مهم آن تراوش آب و کنترل آن و فشار آب منفذی میباشد (ش ۱۰۳۰۲)

سدهای خاکی با هسته مرکزی یا دیافراگم: نوع معمول سدهای خاکی بزرگ بوده و دارای هسته ای باریك از جنس خاك رُس نرم قابل تراکم یا بتون میباشد بدنه اصلی سد از مواد گوناگون مانند شن، ماسه، و یا سنگ است. (ش ۱۰۳۰۲)

سد خاکی با هسته متمایل: در این نوع سدهای خاکی هسته تعبیه شده به صورت قائم نبوده و مایل میباشد. (ش ۱۰۳۰۲)

سدخاکی سنگ چین: که در بدنه رو به سمت آب روکشی از بتون یا مواد اسفالتی یا رُس متراکم کشیده می گردد. (ش ۱۰۳۰۲)

ب : سدهای سنگ چین – این سدها از سنگ در اندازه های مختلف جهت نگهداری و تثبیت سازه غیر قابل نفوذ و نگهدارنده آب ساخته میشوند. سازه نگهدارنده آب میتواند از

جنس خاك غير قابل نفوذ، بتون، بتون - اسفالت، صفحه فلزی و دیگر مواد غیر قابل نفوذ و یا حتی یك هسته داخلی از خاك غیر قابل نفوذ باشد. این سدها در شرایط آب و هوائی پرباران مناسب هستند چون مقاومت فرسایشی سنگ در این مکانها زیاد می باشد (ش ۲۰۳۰۲)

ت: سدهای بتونی وزنی - این سدها در دره های با سنگ پی محکم مناسب احداث بوده و اگر امکان اجراء پرده آب بند باشد با سازه سبك تر روی آبرفت ها هم قابلیت احداث را دارند، این سدها خود بدو نوع وزنی قوسدار و وزنی بدون قوس تقسیم میگردند.

ث : سدهای بتونی قوسدار - در دره های باریك احداث شده وبه تکیه گاههای محکمی احتیاج دارند وانواع آن یك قوسی و دو قوسی میباشند که هرکدام درشرایط مختلف ازلحاظ شکل دره وزمین شناسی آن احداث میگردد.

پ: سدهای بتونی پایه دار - این سدها شامل قسمتهای سازه ای معمولی و قوسدار هستند، مقدار بتون مصرفی این سد معمولاً ۶۰٪ سدهای وزنی بتونی بوده و احتیاج به میل گرد و فلز بیشتری دارد. طراحی این سدها بسته به دانش و قضاوتی دارد که از تجربیات صحرائی منشاء گرفته اند (ش ۲۰۳۰۲)

ج: انواع دیگر - سدهایی هستند که از موادی مثل چوب و پلاستیك و شن رودخانه ها و غیره ساخته میشوند ولی در حال حاضر جهت طرح های بزرگ کاربرد نداشته وبه عنوان بندهای کوچك شناخته شده اند.

۲-۴- طبقه بندی براساس کاربُرد و هدف بهره برداری

سدها را میتوان براساس طیف وسیع کاربرد آنها دسته بندی نمود برای مثال کاربُرد آنهاعبارتند از ذخیره آب، انحراف و بالا آوردن سطح آب، که میتوان این دسته بندی را حتی تا جزئیات وابسته به خصوصیات ویژه هر سد تعمیم داد.

الف: سدهای مخزنی

این سدها جهت نگهداری آب برای مواقع کم آبی و با توجه به در نظر گرفتن زمانهای نگهداری فصلی، سالانه و یا بیشتر، احداث میگردند. بسیاری از این سدها نگهدارندهٔ جریانهای آبی بهاره برای استفاده در فصل خشك تابستان می باشند. این سدها براساس هدف بهره برداری به مخازن آبی، پرورش ماهی وحیات وحش، تولید نیروی الکتریسیته، آبیاری وغیره تقسیم میگردند اهداف ویژه یك سدمخزنی اغلب درطراحی سازه‌های آن موثر است

ب: سدهای انحرافی

این سدها معمولاً جهت تولید ارتفاع برای انتقال آب به کانالها یا دیگر سیستم های بهره برداری، احداث میشوند و اکثراً برای توسعه آبیاری، انحراف آب رودخانه به کانال انتقال آب یك مخزن ذخیره ای، واستفاده صنعتی یا ترکیبی از منظورهای فوق کاربرد دارند.

ت: سدهای نگهدارنده

این سدها برای کنترل طغیانها و کم کردن هر چه بیشتر تاثیرآنها احداث میگردند و دو نوع هستند. در نوع اول آب کنترل شده با توجه به میزان قدرت انتقال سازه مربوطه آزاد میگردد و در نوع دوم آب تا سر حد امکان نگهداری تا در زمین پی و زمین های کناری مخزن نفوذ کند. نوع دوم، دایك یا سد آب پخش کن نام دارد که با هدف اصلی تغذیه

آبهای زیرزمینی احداث میگردد. بعضی از انواع سدهای نگهدارنده تله رسوبی هستند.

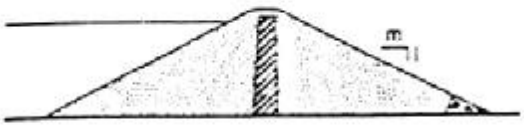
در پروژه های بزرگ آبی، سدها با چند هدف مختلف طراحی و احداث میگردند. ذخیره آب، کنترل طغیانها، تولید نیروی برق، انتقال آب جهت آبیاری وآشامیدن و صنعت از جملهٔ این اهداف هستند.

(a) سد خاکی هموژن

$m = 1.5-2.5$

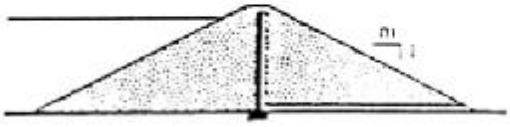
(b) سد خاکی هموژن جدید

$m = 2.5-3.5$



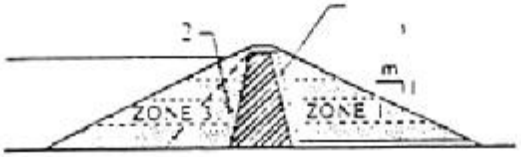
(c) سد خاکی با هسته رسی مرکزی

$m = 2.0-3.0$



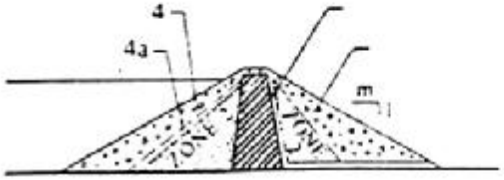
(d) سد خاکی با هسته مرکزی بتونی

$m = 2.0-3.0$



(e) سد خاکی با هسته رسی و زهکش

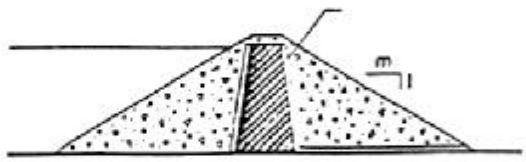
$m = 2.5-3.5$



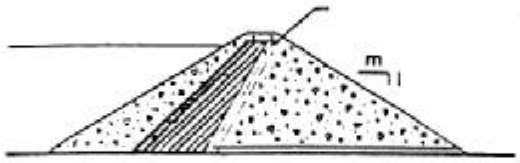
(f) سد خاکی/ سنگ چین با هسته رسی

$m = 1.6-2.0$

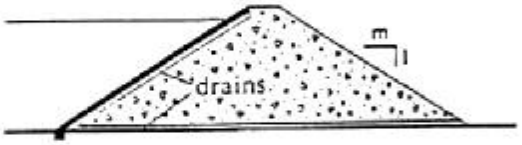
شکل ۲. ۳. ۱ - انواع سد خاکی و خاکی سنگ چین



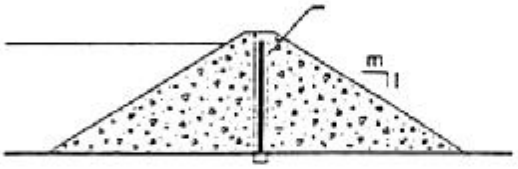
(a) سد سنگ چین با هسته رسی
$m = 1.6-2.0$



(b) سد سنگ چین با هسته رسی متمایل
$m = 1.6-2.0$

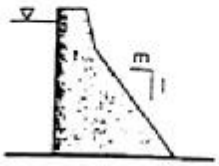


(c) سد سنگ چین با پایاب روکش‌دار
$m = 1.6-2.0$

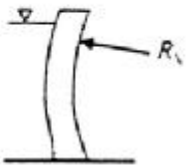


(d) سد سنگ چین با هسته اسفالتی
$m = 1.6-2.0$

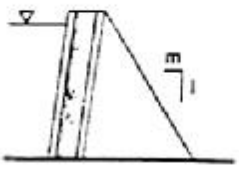
شکل ۲. ۳. ۲ – انواع سد سنگ چین – خاکی



(a) سد وزنی
$m = 0.75 \pm$

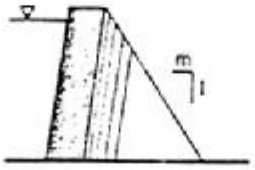


سد دو قوسی



(b) سد پایه‌دار وزنی
$m = 0.8-1.0$

شکل ۲. ۳. ۳ – انواع سد وزنی و قوس دار و پایه‌دار

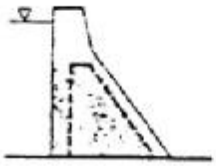


(c) سد پایه‌دار وزنی

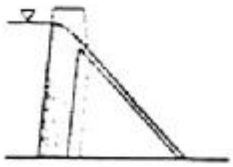
m = 0.8–1.0

(d) سد قوسی یا وزنی قوسی

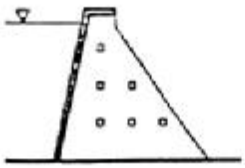
m = 0.3–0.5



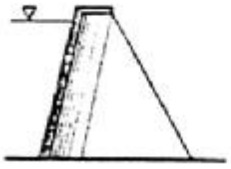
(a) سد وزنی توخالی



(b) سد پایه‌دار با پل در تاج



سد پایه‌دار با پایه‌های مسطح



(d) چند قوسی

شکل ۲. ۳: ۳ – انواع سد وزنی و قوس دار و پایه‌دار

فصل سوم
ژئومورفولوژی و انواع سدها

۳ – ۱ – کلیات

شکل و فرم دره و زمین محل احداث سد و نحوه شکل گیری آن نه تنها در تعیین نوع سد اهمیت بسزائی دارد بلکه ابعاد دره و زمین هم در این موضوع دخالت داشته و بحث انگیز میباشد. از این رو به طور کلی نه تنها سد بلکه هر سازه ایکه به نحوی در دره و یا حواشی آن بایستی طراحی و احداث گردد محتاج مطالعه فرم و شکل زمین دره است.

۳ – ۲ – انواع دره ها از نظر ژئومورفولوژی

دره ها را میتوان بر اساس خواسته های متفاوت تقسیم بندی نمود مسلماً هر نوع تقسیم بندی باید بتواند اشکال متفاوت دره ها را نشان دهد موضوع مهم این است که این تفاوت برای مهندس طراح سوال برانگیز بوده و بایستی علل آنرا پی جویی و کشف نماید.

الف: در وهله اول، دره ها بر حسب شکل عمومی شان بدودسته V شکل و U شکل تقسیم میگردند که بر حسب محور فرضی که از خط القعر عبور می نماید در هر کدام از دسته‌های فوق دره های متقارن و نا متقارن را داریم که شرح آنها عبارتند از:
دره‌های V شکل متقارن دارای دیواره ای با شیب تنداست که درسنگهای سخت به علت جاری شدن آب ودراثرهوازدگی، ریزش، لغزش و فرسایش آبهای هرزمقطع دره به تدریج شکل وفرم مذکور را پیدا نموده است.

دره های نا شکل در سنگهای نرم بوده و عامل حفر بستر خود رودخانه می باشد. درهٔ نامتقارن، دارای دیواره های متفاوت از لحاظ شیب و جنس زمین است که میتواند در اثر حرکات گسل و شیب لایه ها بوجود آید. مسئله مهم دراین دره ها، تشخیص دینامیك بودن

زمین و مقدار و جهت حرکت دیواره ها میباشد (اشکال شماره ۲۰۳).

ب:از لحاظ شکل و فرم میتوان دره های به شرح زیر داشت:

دره کور: دره بدون راه خروجی را گویند.

دره یخچالی: توسط عمل حفر و فرسایش یخچالها به وجود آمده و معمولاً U شکل می باشند.

دره های مدفون شده: مسیر رودخانه ای قبلی بوده که بعداً با آبرفت پرشده و ممکن است به دلیل پوشش گیاهی یا خاك برجا قابل تشخیص نباشد. دره های پوشیده شده معمولاً نشانه سطحی نداشته و در بررسی های اکتشافی زیرزمینی به دلیل عرض و گاهاً ضخامت کم قابل تشخیص نیستند. برخورد به این مسیرهای مدفون شده و به طور کلی ناهمواریهای ناشناخته سنگ بستر مشکلاتی را در مورد محل قراردادن پی و شمع ها ایجاد میکند ضمناً این مسیرها می تواند محل های مناسبی برای فرار آب از مخزن سد باشند (شکل ۲.۳).

ت: از لحاظ ابعاد و اندازه های موجود دره ها به انواع اصلی زیر تقسیم میگردند:

۱ – تنگه: که نسبت عرض به ارتفاع آن کمتر از ۳ است

۲ – دره های باریك: که نسبت عرض به ارتفاع آن مابین ۳ تا ۶ است

۳ – دره های عریض: نسبت عرض به ارتفاع آن بالاتر از ۶ یا ۷ است

۴ – دشتها یا زمین های نسبتاً هموار

ث: از لحاظ آبراهه و مسیر جریان اصلی و فرعی آبها، دره ها را به شرح زیر تقسیم میکنند:

۱ – دره اصلی: این دره ها توسط رودخانه حفر و آب به طور دائم در آنها جریان دارد.

۲ – دره فرعی: در انشعابات رودخانه های اصلی تشکیل میگردند.

۳ – دره آبراهه: در آبراهه ها این دره ها تشکیل و به آنها دره آبراهه موقتی هم می‌گویند.

۳-۳- جهت شناخت دیواره دره ها از نیمرخ آن استفاده میگردد انواع نیمرخ دره عبارتند از:

نیمرخ منظم: که در آن شیب دیواره یکنواخت بوده و تغییرات آن تدریجی است. جنس لایه های تشکیل دهنده این نیمرخ میتواند یکنواخت یا مختلف باشد.

نیمرخ نا منظم: که در آن شیب دیواره با تغییرات ناگهانی توام و این تغییرات به وضعیت لایه بندی و جنس سنگها و نوع فرسایش دیواره بستگی دارد (شکل ۵.۳.۳).

۳- ۴- از انواع تقسیم بندی دره ها و مسائل بوجود آورنده آنها در وهله اول برای انتخاب نوع سد و طراحی آن، ابعاد دره مهم میباشد و اینکه هر نوع دره، مناسب احداث چه سدی میباشد، بنابراین در این مبحث، بیشتر روی فاکتور ذکر شده تاکید میگردد.

الف: تنگه ها – همانطور که گفته شد این نوع دره ها دارای نسبت عرض به ارتفاع کمتر از ۳ بوده و مسلماً با این ابعاد V شکل و مناسب احداث نوع خاصی از سد که معمولاً سدهای قوسی باریك یا دو قوسی هستند. سدهای قوسی در سطح افق بدنه شان انحنادار شده و سدهای دو قوسی هم در سطح افق و هم در سطح عمود بدنه شان انحنا دارمیباشد، مسلماً قوسها نیروی وارده را به تکیه گاهها انتقال می‌دهند پس دیواره دره ها بایستی در مقابل این نیروها مقاوم باشند.

یکی از اولین سدهای دو قوسی نازك سد مارژ(۱) است که طول تاج آن ۲۴۷ متر و ارتفاع آن ۹۰ متر و نسبت عرض به ارتفاع آن حدود ۳ بوده است.

سد دو قوسی وایونت(۲) درایتالیا یکی از مرتفع ترین این نوع سدهاست که در محل

---

1) Mereges 2) Vaiont

تنگه‌ای با نسبت عرض به ارتفاع ۰/۷ به ارتفاع ۲۶۳ متر احداث شده که به خاطر مسائل لغزش و ریزش زمین در مخزن در ۹ اکتبر ۱۹۶۳ تخریب شد. لازم بتذکر است که مواد ریزشی بداخل مخزن موجی به ارتفاع متوسط ۱۵۰ متر ایجاد نمودند که بایستی از روی تاج سد عبور میکرد که متاسفانه سد در مقابل این امواج مقاوم نبوده و تخریب شد.
در بعضی تنگه ها بنا به عللی انواع دیگر سد ساخته میشوند. برای مثال در تنگه ای با نسبت عرض به ارتفاع ۲ در فرانسه سد وزنی قوسدار ساخته شد در حالیکه به طور معمول سد قوسی و یا دو قوسی مناسب محل بوده و بخش وزنی سد احداث شده غیرعادی به نظر میرسد علت این موضوع حالت خاص دره است که اگر ارتفاع آب در پشت سد از ۱۲۶ متر بیشتر میشد نشت و فرار آب از مخزن حتمی بود.

ب: دره های باریك – دره هایی با نسبت عرض به ارتفاع ما بین ۳ تا ۶ و بیشتر از نوع ۷ شکل با زاویه بازتر هستند مسلماً در این دره ها علاوه بر تکیه گاهها، موضوع مقاومت سنگ پی دره هم مطرح است و در آنها بیشتر سدهای وزنی قوسدار احداث میگردند. و البته به جز شکل دره و ابعاد آن مسائل سنگ شناسی و زمین شناسی دیواره ها و پی هم مطرح میباشد.

مثال در این مورد سد فرانسوی بور(۱) است که یك سازه قوسی وزنی است که در دره ای با نسبت عرض به ارتفاع حدود ۳ ساخته شده و به علت پی هتروژن آن هیچ کاهش وزن حجم سد مد نظر نبوده است.

در حال حاضر در دره های باریك به لحاظ صرفه اقتصادی، سدهای نازك قوسی پیشنهاد میگردند که البته شرایط زمین شناسی و سنگ‌شناسی ایده آل بوده و اطمینان از طراحی سد از دو روش بدست می‌آید، در روش اول از مدلهای معتبر ریاضی استفاده و آنالیزهای

---

1) Bort

ریاضی توسط مدل انجام می گیرد به نحوی که طرح بر فرضیات بدون شك پی ریزی گردد. در روش دوم آزمایش مقاومت و باربرداری پی های ضعیف و رفتار آنها در فشارهای موضعی که باید مقاومت و تحمل آنها قابل مقایسه با بخش های وزنی استاندارد باشد، عملی میگردد.

به نظر میرسد که نازکی و قوس بخش وزنی سد را باید با احتیاط زیاد محاسبه و توسط آزمایش رفتار (پایداری سازه) و مقاومت فرسایشی (هوازدگی مواد) اینچنین سازه ها، به مقصود رسید.

ت: دره های عریض – این دره ها دارای نسبت عرض به ارتفاع بالاتر از ۶ یا ۷ است بنابراین به سمت دره های U شکل متمایل و در آنها با توجه به موقعیت زمین شناسی محل و نوع مواد ساختمانی اطراف، انواع سدها به جز نوع قوسی (ضخیم یا نازك) را میتوان احداث نمود مثال‌های فراوانی ازسدهای احداث شده در دره های عریض موجودمی باشد و در این بخش از هر نوع سد یك مثال ذکر میگردد.

از سدهای وزنی احداث شده در این دره ها، سد اسوان در مصر با طول ۵۰۰ متر ساخته شده از بتون و سنگ را می توان نام برد که در یك دره عریض گرانیتی به طول کلی ۱۸۹۰ متر و ارتفاع ماکزیمم ۴۵ متر میباشد. از سدهای پایه دار میتوان سد فیدایا (۱) در ایتالیا را نام برد طول کلی آن ۶۰۰ متر است.

از سد قوسی پایه دار احداث شده در دره های عریض سد دیگو دلاروت (۲) است که سرریز تخلیه طغیانهای آن بهم پیوسته اند که به عنوان سرریز منقاری نامیده میگردند. علت وجود پایه در این سدها جلوگیری از راندگی افقی سد می باشد.

---

1) Fidaia, 2) Digue dela Rote,

از سدهای سنگ چین واقع در دره های عریض میتوان از سد لوچ کواچ (۱) نام برد که ارتفاع آن ۳۸ متر و طول آن ۳۱۵ متر میباشد، تمام انواع و اشکال سدهای سنگ چین برای احداث در دره های عریض مناسب می باشند. از سدهای خاکی احداث شده در این دره ها میتوان از سد ارس نام برد که ارتفاع آن ۴۶ متر و طول آن ۹۴۵ متر میباشد.

به علت مناسب بودن دره های عریض از لحاظ ژئومورفولوژی، در آنها بندها با سرریز تخلیه احداث میگردد منظور از بند در این نشریه، سازه های بتونی با ارتفاع کم و طول زیاد است که سرریز روی تاج آن تعبیه میگردد این سازه ها به منظورهای مختلف طراحی و بهترین محل مناسب احداث آنها درورودخانه های بزرگ روی برآمدگی سنگ کف سخت و اطراف سواحل رودخانه است یعنی جائیکه سرعت جریان آب زیاد بوده و باعث میشود رسوبات و دیگر مواد نرم از آنجا شسته شوند مثال در این مورد بند رانس(۲) به طول ۷۰۰ متر که روی کنیس ها و باندهای دولریتی با پوشش کم آبرفت احداث شده است.

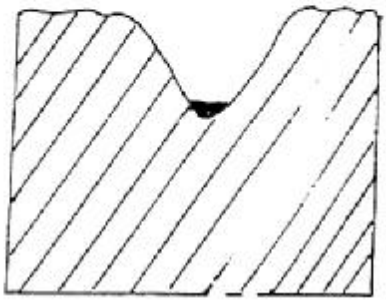
ج: دشتها

معمولاً سدها در دره ها طراحی و روی زمین هموار و دشت سدی ساخته نمیشود اما به منظور ذخیره آب یا تغذیه مصنوعی جدا از بستر اصلی رودخانه در محل های مناسب این سدها احداث می گردند مثال در این مورد کانالهای انحرافی از رودخانه رُن به طول ۳۰ مایل است که آبرا به پشت یك سد وزنی در دشت هدایت می کند.

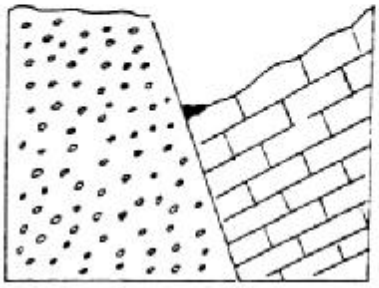
محل سد در دشت هیچ ارتباطی با بستر رودخانه رُن ندارد. کانالهای انحرافی آب برپه منظور تولید نیروی هیدروالکتریك، کشتیرانی، آبیاری، آبادانی و نیز تغذیه مصنوعی طراحی میگردند با احداث بندهای خاکی که به عنوان دایك شناخته شده به خوبی میتوان آب را روی زمین های هموارسوارکرد. این خاکریزها هم با اهداف گوناگون طراحی میگردند.

---

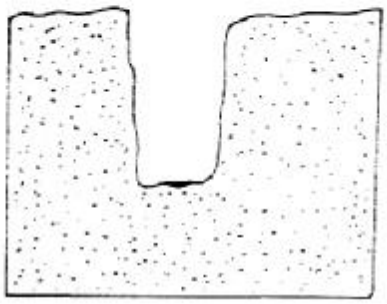
1) Loch Quoich, 2)Rance



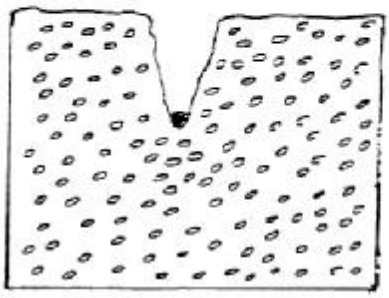
دره نامتقارن بوجود آمده در
اثر شیب طبقات زمین



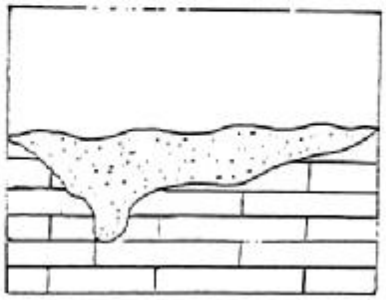
دره نامتقارن بوجود آمده در
اثر وقوع گسل



دره U شکل

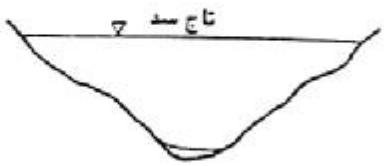


دره V شکل

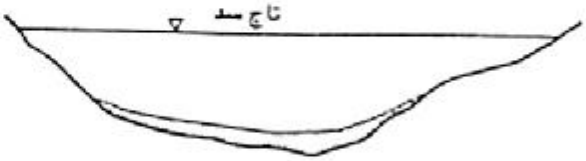


دره مدفون

شکل ۲.۳ - انواع دره‌ها

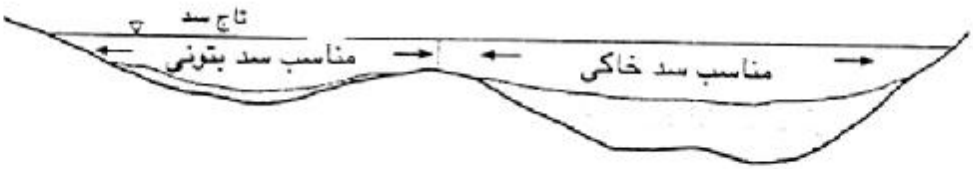


دره باریك

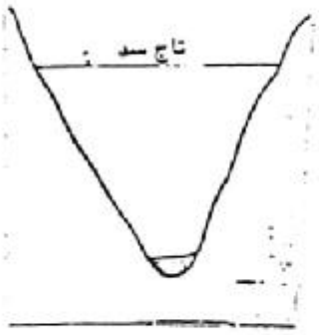


دره عریض با رسوبات پوششی نازك

دره عریض با رسوب پوششی ضخیم

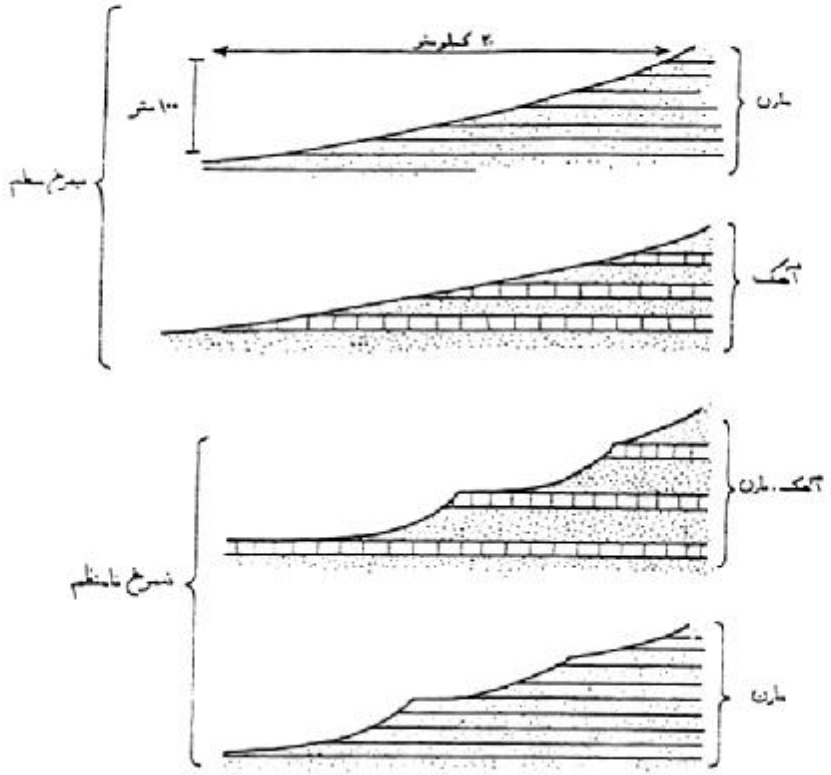


درهٔ عریض بی‌قاعده



تنگه

شکل ۲.۳.۳ - انواع دره ها از لحاظ ابعاد



شکل ۵.۳.۲ – انواع نیمرخ دره ها

فصل چهارم
شرایط توپوگرافی و زمین شناسی انواع سد

۴ - ۱ - کلیات

در مورد شرایط توپوگرافی و زمین شناسی میتوان گفت معمولاً از ابتدای مکان یابی تا مراحل طراحی و حتی ساخت سد این دو فاکتور موثر می باشند بویژه زمین شناسی که حتی در مرحلهٔ بهره برداری از سد هم کنترل کننده است. بنابراین برای روشن شدن موقعیت فاکتورهای ذکر شده و تاثیر آنها روی انتخاب انواع سد به طور خلاصه مراحل مطالعاتی و گردآوری اطلاعات زمین شناختی ای را که به نحوی در طراحی و انتخاب سد موثر هستند را شرح میدهیم.

۴ - ۲ - مرحله شناسائی: در این مرحله کار مطالعات برروی نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی و اطلاعات محلی راجع به این دوفاکتور و هم چنین مشاهدات صحرائی و دانسته ها و اطلاعات جمع آوری شده سایر پروژه های منطقه صورت می گیرد. بنابراین بایستی نقشه ها و مدارك زیر جمع آوری و بررسی گردد.

الف: نقشه های توپوگرافی به مقیاس ۲۵۰۰۰۰ ÷ ۱ و ۵۰۰۰۰ ÷ ۱ و ۲۰۰۰۰ ÷ ۱ جهت نمایش موقعیت ناحیه و سازه و هم چنین تعیین حدود حوضه آبریز و وضعیت آبراهه ها و شکل مخزن

ب: تهیه نقشه زمین شناسی - تکتونیك با مقیاس ۱۰۰۰۰۰۰ ÷ ۱ برای شعاع ۱۰۰ کیلومتری سدهای کوچك وتأسیسات وابسته و شعاع ۲۰۰ کیلومتری و مقیاس ۵۰۰۰۰۰ ÷ ۱ برای سدهای بزرگ و تأسیسات وابسته آنها

ت: تهیه نقشه زمین شناسی - ژئومورفولوژی کلی ناحیه طرح با مقیاس ۱۰۰۰۰۰ ÷ ۱ یا ۵۰۰۰۰ ÷ ۱

ث: تهیه عکس های هوائی با مقیاس ۵۰۰۰۰ ÷ ۱ و یا ۲۰۰۰ ÷ ۱ جهت کارهای

فتوژئولوژی و تهیه نقشه های زمین‌شناسی با مقیاس بزرگتر جهت مراحل بعدی

ج: تهیه و جمع آوری گزارشات زمین شناسی و معادنی که احتمالاً در محل وجود دارند.

بازدید صحرائی مرحله شناسائی در ارتباط با توپوگرافی و زمین‌شناسی بخاطر جمع آوری مسائل زیر صورت می گیرد:

الف: بررسی واریانت پیشنهادی بلحاظ توپوگرافی و شکل زمین (شکل دره ها و مخازن، شیب بستر رودخانه)

ب: ارزیابی اولیه خصوصیات هندسی لایه ها و طبقات زمین (امتداد، جهت امتداد، شیب، جهت شیب و ...)

ت: ارزیابی اولیه عوامل مختلف زمین شناسی محل های پیشنهادی جهت احداث سد (لیتولوژی، چینه شناسی، ضخامت و گسترش لایه های رسوبی و طبقات سنگی، تکتونیک ، تشخیص ضخامت آبرفت رودخانه و وضعیت فیزیکی آبرفت ها، زمین لغزه ها، ریزش ها و سقوط سنگ، اثر سوء کنبدهای نمکی، طبقات گچی و ...)

ث: ارزیابی اولیه خصوصیات مهندسی زمین در محل های مختلف پیشنهادی جهت احداث سد (وضعیت درزه ها و شکافها و مواد پرکننده درزه ها و ناپیوستگیها، نوع هوازدگیها و میزان دگرسانی سنگها و ...)

پ: بررسی و ارزیابی منابع قرضه و مصالح ساختمانی (ریز دانه، درشت دانه، مصالح سنگی جهت بتون، تخمین و برآورد حجم منابع قرضه و ارزیابی دوری و نزدیکی آنها به محل احداث سد و ...)

در قسمت نهائی مرحله شناسائی نتایج مطالعات دفتری و بازدیدهای صحرائی مقایسه و تجزیه‌وتحلیل وعوامل نامطلوب زمین درواریانت های مختلف بررسی و هم چنین زلزله‌خیزی محل های پیشنهادی و مسائل ژئوتکنیکی آنها تجزیه و تحلیل و نسبت به ادامه مطالعات تصمیم گیری میشود.

مسلماً جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد لایه های زیرین و مقاومت سنگ ها یکسری آزمایشها انجام و پس از بدست آوردن نتایج کارهای آزمایشگاهی گزارش مرحله شناسائی مقدماتی تهیه میگردد که در آن توضیحات مربوط به توپوگرافی و زمین شناسی محل های انتخابی همراه با پیشنهادات و برنامه های مناسب جهت ادامه یا تعطیل طرح ارائه می گردد. گزارش بایستی به سوالهای زیرپاسخگو باشد که عبارتند از:

- چگونگی تشکیل منطقه از دیدگاه زمین شناسی مهندسی
- فراوانی و توزیع مناطق ضعیف و ارتباط آنها با پایداری سازه و ساختمانها
- گسترش و محدودهٔ مناطق مربوط به عوامل مخاطره آمیز برای سازه.
- درجه پایداری و ایستا بودن زمین در محل سازه،
- موقعیت هندسی و توپوگرافی سایت،
- چگونگی عملکرد واکنش های محیطی برسازه در هر سایت،
- خصوصیات عمومی ژئو مکانیکی محل سازه،
- توضیح و تشریح اولویت سایت.

پس از انجام مطالعات مقدماتی، بررسیهای عمیق تری در مورد زمین انجام که شامل مراحل زیر میباشد:

- زمین شناسی منطقه ای
- زمین شناسی محلی
- اکتشافات ژئوفیزیکی
- اکتشافات ژئوتکنیکی
- زمین شناسی مهندسی
- ارزیابی منابع قرضه

که منظور و مقصود از انجام هر کدام از موارد فوق عبارتند از

- زمین شناسی منطقه ای: با کمك نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی در مقیاس

۱۰۰۰۰۰ ÷ ۱ و ۵۰۰۰۰ ÷ ۱ و یا ۲۰۰۰۰ ÷ ۱ مسائل زیر دنبال میگردد.

الف: ژئومورفولوژی یا شکل زمین که در آن خصوصیات فیزیکی و مشخصات ساختی و بافتی واحدهای سنگی و نهشته های رسوبی و نحوه هوازدگی و دگرسانی و تولید رسوب و حمل و ته نشست آن بررسی میگردد.

ب: چینه شناسی و سنگ شناسی که شامل تعیین سن نسبی سازندها و لایه های مختلف و ضخامت و گسترش سنگهای مختلف میباشد.

ت: تکتونیك یا زمین شناسی ساختمانی: شامل بررسی فازهای کوهزائی و اثرات آنها در منطقه، مطالعه چین خوردگیها و شکستگیهای منطقه شامل گسل ها و ناهم شیبی ها و فلکسورها و هم چنین بررسی گسل ها به منظور لرزه خیزی آنها

زمین شناسی محلی: منظور مطالعه زمین در محل و مناطق خاص نظیر محل سد، مخزن و یا مسیر انتقال، میباشد.

عمدتاً پارامترهای مهندسی زمین با استفاده از نقشه های توپوگرافی در مقیاس ۵۰۰ ÷ ۱ و ۱۰۰۰ ÷ ۱ برای محورسد و ۵۰۰۰ ÷ ۱ برای مخزن و مسیر انتقال، نشان داده میشود، این نقشه ها نشان دهنده مشخصات هندسی درهٔ محل سد مثل امتداد، طول، پهنای دره، ارتفاع و شیب کف بستر، تقارن دره، شیب دامنه ها و پرتگاهها، مسائل لغزش و ریزش و... بوده و هم چنین لیتولوژی و تکتونیك محل سد شامل واحدهای سنگی، همبری، ضخامت، شیب مقاومت فرسایشی و مشخصات هندسی گسل مثل امتداد، جهت، شیب و طول و حرکت نسبی آن و سیستم درزه ها و شکستگیها را هم نشان میدهد.

پی جوئیهای ژئوفیزیکی: جهت اکتشاف سطوح و لایه های زیر زمینی در محل سد و مخزن از روش های ژئوفیزیکی استفاده که از آن ضخامت آبرفت، سطح ایستابی، عمق سنگ کف و مناطق خرد شده و هوازده مشخص میگردد.

اکتشافات ژئوتکنیکی: با توجه به اطلاعات بدست آمده از زمین شناسی سطحی و اکتشافات ژئوفیزیکی و با توجه به اهداف پروژه عملیات گمانه زنی و نمونه برداری از سنگ و خاك انجام که این عملیات جهت رسیدن به مقاصد زیرمی باشد:
تعیین ضخامت واریزه ها و آبرفت ها، تعیین نفوذپذیری آبرفتها و واحدهای سنگی، تهیه نمونه دست خورده و دست نخورده خاك و سنگ جهت کارهای آزمایشگاهی، تعیین آبگذری مخزن و سنگ پی، ارزیابی سنگ پی و تکیه گاهها و در صورت نیاز تنظیم برنامه تزریق بتون، طبقه بندی و ارزیابی محل های پیشنهادی

زمین شناسی مهندسی: انجام این عملیات منجر به شناخت مسائل مربوط به افزایش تراز آب زیرزمینی در دامنه ها و پایین دست سدها، اعمال زهکشی لازم، نتایج آزمایشات تجزیه پذیری، دگرسانی و تخریب روی نمونه ها میگردد و بررسی نتایج و ارائه پیشنهادات جهت ترمیم و بهسازی مناطق سست و آبگذر داده میشود.

ارزیابی منابع قرضه: محدودهٔ منابع قرضه ریزدانه، درشت دانه و مصالح سنگی، تعیین و مقدار اولیه آنها برای انواع سدها مشخص و هم چنین با نمونه برداری و آزمایش مواد آنها را دسته بندی و قیمت هر متر مکعب آنها برآورد میگردد.

۴ – ۳ – مرحله توجیهی: دراین مرحله شناخت زمین از طریق ژئومکانیك، مکانیك سنگ و خاك، زمین شناسی مهندسی و لرزه شناسی در سطح کامل و از طریق نمونه گیری و آزمایش است به طوریکه اعداد و ارقام و داده های این مرحله امکان طراحی اولیه سازه را فراهم می آورد.

۴ – ۴ – مرحله تشریحی: در این مرحله پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی و یا

براساس یافته های جدید تجدید نظر در طراحی صورت می‌گیرد، به نحویکه با کمترین ابهام انجام آنالیزها و محاسبات مربوط به نیروهای وارده به جسم سد و پی آن و تغییر شکل ها و تغییر مکان‌ها ممکن باشد.

۴ – ۵ – مرحله ساختمان: در این مرحله با استفاده از داده های ژئوتکنیك و تکمیل لوگهای زمین شناسی گمانه ها و هم چنین اطلاعات سطح آب پیزومترها و استفاده از اطلاعات دستگاههای نصب شده در محل درمورد زمین لرزه، تجدید نظر در طراحی و ساخت سازه و عملیات تزریق بتون و شناخت بیشتر عوامل خطرآفرین مثل زلزله انجام می‌گیرد.

۴ – ۶ – مرحله بهره برداری ونگهداری: بعد از پایان ساختمان سازه با نصب وسائل اندازه گیری و ابزار کنترل دقیق در جسم سد وپی آن و هم چنین بازدیدهای مکرر از تکیه گاهها و گالریها و دامنه‌های مخزن سد اولاً رفتار سنجی جسم سد به هنگام آبگیریهای اولیه و ثانیاً پایداری جسم سد و حرکات عمودی و افقی آن کنترل و ثالثاً پایداری دامنه‌های بالای تکیه گاهها و دامنه های بالای تأسیسات جلوی سد مثل اتاق فرمان و جاده‌های دسترسی و هم چنین دامنه های رو به مخزن، مورد بررسی قرار می گیرد.

۴ – ۷ – مرحله ارزیابی و تجربه اندوزی: با استفاده از مطالعات انجام شده در طول مراحل شناسائی، طراحی، ساخت و بهره برداری از سد مسائل مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار می گیرد تا از نتایج بدست آمده بتوان به نحو احسن در تمام مراحل ذکر شده فوق در دیگر محل های پیشنهادی جهت احداث سدهای جدید، استفاده نمود.

همانطوریکه قبلاً گفته شد مسائل فوق الذکر شمای کلی از مراحل مطالعات و گردآوری اطلاعات در مورد شرایط توپوگرافی و زمین شناسی سدها بود، در بخش بعدی شرایط مقاومت زمین و تاحدی توپوگرافی محل های مناسب جهت احداث انواع سدها مورد بحث

قرار می گیرد، یعنی پس از انتخاب سد و تعیین اندازه های آن، سنگ پی و تکیه گاهها اولاً به چه فُرم و درثانی چه مقاومتی باید داشته باشند.

۴ – ۸ – مشخصات محل سدهای مختلف

الف: سد وزنی – سد بتونی وزنی یا توده ای احتیاج به زمینی با سنگ سخت در سطح آن یا نزدیك به سطح زمین دارد: عمق مواد نا پیوسته و سُست پوششی روی سطح سنگ سخت نباید بیش از ۶ تا ۹ متر باشد درغیر این صورت بایستی برداشته شوند، سنگ بایستی قادر به تحمل حدود ۸ – ۱۰ کیلوگرم برسانتی متر مربع فشار باشد این چنین سدها امروزه با بتون بهتر از مواد سنگی ساخته میشوند مواد برای ملات سیمان، یعنی سنگ و ماسه بایستی در داخل محدوده ای با فاصله معینی از محل سد که نبایستی متجاوز از ۸ تا ۱۶ کیلومتر، باشد سدهای وزنی وقتی خوب تعیین محل میگردند که طول تاج سد ۵ برابر ارتفاع و یا بیشتر از ارتفاع ماکزیمم باشد، قوس تاج سد از عرض دره و ارتفاع آن از سنگ کف تا تاج اندازه گیری میگردد.

ب: سد پایه‌دار – سد بتونی پایه‌دار یا پشت بند دار برای محلی مناسب است که سنگ قادر به تحمل ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم فشار بر سانتی متر مربع باشد. مزیت مهم این نوع سد صرفه جوئی قابل توجه بتون در مقایسه با سدوزنی است.

بعضی از مهارتهای اضافه شده از کارهای آزمایشگاهی را ممکن است برای صحراهم احتیاج داشت ترجیحاً بیشترین دقت را بایستی به تست بتونی داد که در بخش های وزنی سد به کار رفته و در مقابل فشار آب قرار دارند، مزیت بزرگ این نوع سازه علاوه بر هزینه کم از لحاظ مصرف مواد، حذف فشار بالابرنده سازه به طور ایده آل است، این فشار در نتیجه اثرآب مخزن و احتمالاً آب موجود درسنگ های دو طرف مخزن و یا زیر پرده تزریق تولید و از زیربه جسم سد بتونی وارد میگردد.

سدهای پشت بنددار در تمام موارد از سدهای وزنی وقتیکه ارتفاع آنها بیشتر از ۱۲ متر است اقتصادی تر هستند.

ت: سدهای چند قوسی

سدهای چند قوسی بتونی یك نوع از سدهای پشت بند دار و می توان گفت که برای محل‌هائیکه کارهای مطالعاتی و کارگاه مناسب و از لحاظ اقتصادی مواد ساخت سد فراهم باشد مطلوب هستند. مشکل جزئی در مورد زمین‌شناسی این است که سنگ بایستی قدرت باربرداری حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع یا بیشتر را بدون هیچ گونه جابه جائی ظاهری داشته باشد (جابجای ظاهری حدوداً ۲/۵۴ تا ۷/۵ سانت تعریف میگردد). در اینجا صرفه جوئی اقتصادی در مصرف بتون در مقایسه با سد پشت بند دار وجود دارد ولی در باب فشار بالا برنده(۱)، خوردگی و هزینه اقتصادی زیاد قسمت‌های وزنی مشابه هم می باشند.

پ: سدهای قوسی نازك

سد بتونی قوسی نازك میتواند در محلی که نسبت عرض به ارتفاع آن ۳ تا ۵ و سنگ دره آن در حالت طبیعی و یا ترمیم آن قابلیت تحمل ۳۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع فشاررا داشته باشد، احداث گردد و استفاده از این سد صرفه جوئی زیادی را درمقایسه با سد وزنی دارامی باشد، طراحی این سدها مشکل بوده و ابعاد صحیح و کامل آنرا بایستی از مدل واقعی سد تعیین کرد.

ث: سدهای دو قوسی

این سدها بدره های با نسبت عرض به ارتفاع زیر ۳ و شعاع کمتر از ۱۵۰ متر احتیاج دارند وفشاری که کناره های دره بایستی تحمل کند حدود ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع است.

---

1)Uplift

گنبد یا قوس جائی است که یك شعاع عمودی انحنادار به اضافه شعاع افقی انحنا دار وجود دارد یك سد ساز پیشگام فرانسوی به نام M . کوئین(۱) که سازنده این نوع سازه‌هاست سد مارژ(۲) را به یك اسب مسابقه پراز رگ و پی و عضله اما بدون وزن اضافی نسبت به سد وزنی، تشبیه کرده است. جائیکه سیمان گران و بالعکس کارگر ارزان است شخصی به نام سینیورسمیزا(۳) ثابت کرده که هم سد ضخیم و هم سد انحنادار کاملاً مناسب هستند: در محدوده سنگهای آهکی مشکل آب اسیدی باعث خوردگی و انحلال سازه خواهد بود.

ج: سدهای سنگ چین

این سدها در محل هایی با شرایط زیر ساخته میگردند.

۱ – پی نامطمئن و گوناگون که تاب تحمل فشار لازم جهت ساخت هر نوع سد بتونی را نداشته باشد.

۲ – سنگ مناسب جهت ساخت سازه در دسترس باشد. این نوع سنگ را میتوان از معادن رویاز اطراف و یا از حفاریها و گودبرداریهای جهت کانال تخلیه آب و یا هر دو بدست آورد. سنگ بایستی سخت بوده و مقاومت فرسایشی آن در مقابل انواع آب و هوا بالا باشد و بویژه نسبت به شبنم و هوا نبایستی فرسوده گردد.

۳ – وقتی رس به مقدار فراوان و مناسب فراهم باشد میتوان در سد به عنوان هسته عمودی یا هسته شیبدار از آن استفاده نمود.

۴ – محل قابل قبول و عرض دره مناسب برای مانور دادن ماشینهای سنگین خاکبرداری – غلطك پاچه بزی و بولدزرهای بزرگ، وجود داشته باشد.

ح: سدخاکریز آبی

این سدها در دره های پرشده از مواد سست و ناپیوسته مناسب و توسط پمپ کردن مواد تا اینکه به نسبتی قابل قبول بهم بچسبند سدهایی تا ارتفاع ۳۰ متر برروی آنها

1)M.Queen 2)Margers 3) Signor Semmiza

ساخته شده است.

چ: سدهای خاکی

این نوع سدها، معمولی بوده و از زمانهای قدیم تا حال ساخته شده و اکثراً روی مواد سست و ناپیوسته زمین بنا میگردند. خاك مناسب و در دسترس، پایداری آن، نفوذ پذیری، عمق و هزینه فونداسیون، تماماً بایستی با ملاحظه مرغوبیت شان و زمان مصرف در نظر گرفته شوند بسیاری از سدهای خاکی روی سنگ سخت بنا شده که محل مناسب برای سدهای وزنی بتونی بوده است برای مثال در فالموت(۱) یك سد خاکی قدیمی و یك سد بتونی جدید وجود دارد که هر دو در یك دره در سنگ گرانیت ساخته شده اند.

درپنین(۲) حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ سدخاکی در دره های ساخته شده اند که زمین شناسی آنها عبارتند از تناوب شیل و قلوه سنگ که دارای مچاله شدگی، خم شدگی و برآمدگی به طرف پایین کناره دره و در بسیاری از جاها با یك گسل و یا برآمدگی یا با هر دو درکف دره همراه می باشند، بیشتر این دره ها احتمالاً برای ساخت هر نوع سد بتونی مناسب نبوده که از لحاظ هزینه با سد خاکی قابل مقایسه باشند و علت آن هزینه زیاد ترمیم پی آنها میباشد.

سد خاکی برای ایجاد مخازن نسبتاً کوچك روی طبقات رسوبی در همه جا مناسبترین میباشد مخازن کوچك آبی خاکی جهت نگهداری آب با عمق بیشتر از ۱۰۰ متر اطمینان بخش نبوده و بایستی سد خاکی ایجاد نمود. فاکتور تعیین کننده دیگر سنگهای رسوبی هستند که معمولاً در عرض مخازن کوچك آبی ساخته شده از خاك برآمدگی ایجاد و حدود مشخصی برای طول آنها وجود ندارد.

در مورد زمین شناسی، سدهای خاکی معمولاً هنگام ساخت روی طبقات سخت نسبت به

---

1)Falmot 2)Pennines

سدهای بتونی اشکال بیشتری ایجاد می نمایند و حتی سدخاکی کم ظرفیت آبی با عمق حدود ۱۵ متر، ممکن است احتیاج به ترانشه‌ای در عرض دره با عمق بیشتر از ۳۰ متر داشته باشد.

سد مخزنی ایجاد شده جهت کشتیرانی احتیاج به ۳۱/۵ متر عمق ترانشه دارد در حالیکه آب جمع شده پشت سد حدود ۶/۶ متر عمق خواهد داشت: البته باید در نظر داشت که عمل حفرترانشه قبل از تزریق بتون بوده که اگر تزریق بتون موفق باشد حتی در یك توده خاك چینی سنگ گرانیت، ترانشه لازم نیست.

در نزدیکی محل سد خاکی یا کارگاه آن، مواد و مصالح زیر جهت ساخت سازه باید موجود باشد.

الف: رس برای پرکردن ترانشه و هسته سد

ب: مواد پرکننده با قابلیت پایداری خوب بدون ریزش که با تکیه بر هسته رسی عمل کند

میتوان رس را با بتن مخلوط کرده و در گودال پر نمود بویژه وقتیکه گودال در میان سنگهایی است که آب از میان آنها عبور میکند و در خاکریز یك سد بتونی هم ممکن است برای ایجاد هسته از رس مخلوط شده به شرطی که در دسترس و نزدیکی کارگاه باشد، استفاده نمود.

دیگر مزایای سد خاکی آن است که مشکلی از نظر فاسد شدن و خوردگی سازه توسط ماندابهای با PH کم، در آنها وجود ندارد.

خ: سدهای ترکیبی

در یك دره میتوان انواع سد را ساخت و حتی با توجه به شرایط گوناگون زمین شناسی و پدیده های توپوگرافی در یك محل میتوان انواع سد را پیشنهاد نمود.

برای مثال در دره تنسی سد بون(۱) وجود دارد که سازه ای شامل بخشهای بتونی وزنی، سد سنگ چین، سد خاکی میباشد.

سد آلوین(۲) یك مثال دیگر از سدخاکی بتونی است. بسیاری از سدهای پشت بنددار اغلب با توده وزنی سد بتونی در تکیه گاهشان به کناره های دره متصل و دوباره در مرکز دارای توده بتونی سد وزنی هستند که تشکیل یك سرریز مناسب را میدهد.

1)Boone 2) Alwen

فصل پنجم

وضعیت سنگ و تاثیر آن روی نوع و ساخت سد

۵-۱- کلیات

به طورکلی تعریف سنگ از لحاظ زمین‌شناسی عبارت از تجمع طبیعی کانیهای است که به طور معمولی و تحت اثر نیروهای طبیعی به هم متصل شده باشند. از لحاظ مهندسی سنگ عبارت از مواد طبیعی متراکم است که در آب از هم گسیخته نشود، که درصورت گسیخته شدن خاک‌نام دارد و البته تعریف دومی حالت کاملاً فیزیکی را درنظر دارد.

از آنجائیکه ساختمانها و سازه‌های احداثی بر روی زمین و یا داخل آن (خاک و سنگ) قرار می‌گیرند بنابراین لزوم شناخت این دو از لحاظ سطحی و عمقی و رفتار آنها در مقابل پیچیدگیهای سازه و تحمل بار از اهمیت بسزائی برخوردار است، به این لحاظ مختصری از انواع سنگ‌های پوسته کره زمین و مشخصات فیزیکی آنها در ارتباط با کارهای مهندسی آورده می شود.

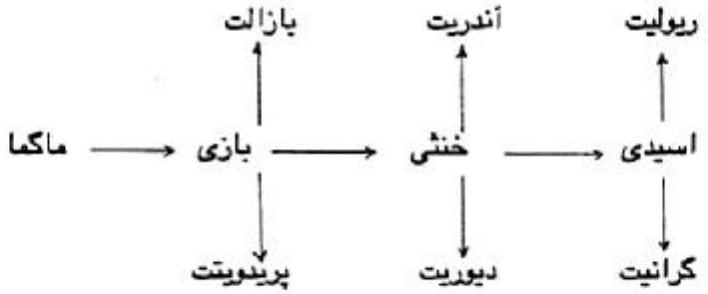
۵-۲- تقسیم‌بندی سنگها

در اصل تمامی سنگ‌های پوسته کره زمین به سه گروه بزرگ آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌گردند که قسمت اعظم پوسته از سنگهای نوع اول یعنی آذرین بوده و، هر سه نوع سنگ ذکر شده در یك سیکل یا چرخه سنگ‌سازی کره زمین شرکت دارند.

الف: سنگ های آذرین

این سنگها از انجماد مواد مذاب به وجود آمده و براساس اینکه ماده مذاب در درون یا بیرون زمین تشکیل سنگ دهد به دو نوع بیرونی و درونی تقسیم می گردند و هم‌چنین براساس مقدارSio2 ترکیبی‌شان این سنگها دارای سه دسته بازی، خنثی و اسیدی بوده

که شمای زیر موضوع را بهتر نشان می‌دهد.



دراین نمودار فلش رو به بالا منظور بیرون از پوسته زمین و فلش رو به پایین داخل پوسته زمین را نشان داده و سنگ‌های ذکر شده برای مثال می‌باشند ضمناً نمودار موجود مقاومت فرسایشی سنگها را هم نشان می‌دهد بدین معنی که به طرف اسید مقاومت سنگها زیاد می‌گردد و بالعکس. به طور کلی سنگهای آذرین نسبت به دو نوع سنگ دیگر دارای مشخصه‌های فیزیکی مناسب‌تری از لحاظ مهندسی می باشند.

ب: سنگهای رسوبی

این سنگها از مواد حاصله از فرسایش وهوازدگی سایر سنگها (دگرگونی - آذرین - رسوبی) و ته نشینی آنها درمحیط‌های گوناگون زمین تشکیل می‌گردند و نسبت به سن زمین جوان بوده و این سنگها دروهله اول بدو دسته پیوسته و ناپیوسته تقسیم شده که ناپیوسته‌ها عبارتند از قطعات سنگ و قلوه سنگ .... تارُس ولای همانطور که می‌دانیم تقسیم بندی این مواد براساس اندازه بوده و درمکانیك خاك تحت عنوان خاك مطالعه شده در حالیکه در زمین‌شناسی جزء سنگهای رسوبی هستند سنگهای رسوبی پیوسته به سه دسته بزرگ تخریبی، شیمیائی و آلی تقسیم شده که هر کدام شرایط خاص رسوبگذاری خود را دارند.

ت: سنگهای دگرگونی

سنگهای آذرین، رسوبی و دگرگونی قدیمی تحت اثر فشار و حرارت در طول زمان بدون گذراندن فاز مایع یعنی در همان حالت فاز جامد، تغییراتی را متحمل شده که پس از آن تبدیل به سنگهای دگرگونی می‌گردند. این سنگها خود برحسب حالت دگرگونی که چهار نوع است به دسته‌های مختلف تقسیم شده، که انواع دگرگونی عبارت از مجاورتی، ناحیه‌ایی، حرکتی و دفنی می‌باشند برای مثال چند نوع سنگ اولیه و سنگ حاصل دگرگونی آن عبارت است از:

سنگ لوح	———	شیل
کوارتزیت	———	ماسه سنگ
مرمر	———	سنگ آهک
گنیس	———	کنگولرا، گرانیت

۵-۳- خواص فیزیکی و مکانیک سنگ‌ها

این خواص عبارتند از وزن مخصوص، تخلخل، مقاومت، قابلیت جذب، خاصیت ارتجاعی، مقاومت در مقابل حرارت و رادیواکتیویته که مختصری در مورد هر کدام شرح داده می‌شود.

۵-۳-۱- وزن مخصوص

وزن واحد حجم یك سنگ را می‌گویند که از طریق آزمایش آنرا بدست آورده و به تراکم سنگ بستگی دارد.

۵-۳-۲- تخلخل

حجم فضاهای خالی سنگ به کل سنگ را گویند و از فرمول $P=\frac{v}{V}$ بدست می‌آید این فاکتور در پی و تکیه‌گاهها و مخزن سد خیلی مهم بوده و بایستی دقیقاً محاسبه گردد.

۵-۳-۳- قابلیت جذب آب

جذب آب توسط سنگ را تازمان اشباع آن گویند که در سنگهای بلورین این خاصیت بسیار کم تا کم و در سنگ های رسوبی مقدار آن بالاست.

۵-۳-۴- مقاومت سنگ

خاصیت فیزیکی مقاومت سنگ در مقابل خردشدن، تنش‌های پیچشی و بُرشی، فشاری و فرسایشی را می‌گویند که تا حد زیادی بستگی به بافت و ساخت سنگ و جنس نیروهای وارده بر آن و در ضمن کانی‌های تشکیل دهنده سنگ و نوع تجمع آنها دارد.

الف: مقاومت در مقابل خرد شدن

سنگ های سالم آذرین و دگرگونی معمولاً نسبت به سایر سنگها مقاومت بیشتری را نشان داده و معمولاً ضریب اطمینان ۲۰٪ جهت مقاومت محاسبه شده را درنظر می‌گیرند.

ب: تنش خمشی

مقاومت در مقابل خم شدن است که از فرمول $P=\frac{3WL}{2bT}$ بدست می‌آید که در آن w بار لازم ـ L فاصله مابین دو تکیه گاه، b مساحت نمونه و T ضخامت آن می‌باشد این تنش در ساختمانهای زمین‌شناسی در اثر نشست به وجود آمده و به این جهت پی سازه‌های آبی بایستی دقیقاً از نظر نشست بررسی و مطالعه گردند.

ت: تنش برشی

حرکت یك قسمت از جسم نسبت به قسمتی دیگر از آن تحت اثر این تنش به وجود می آید و اگر دو قطعه سنگ روی هم را درنظر گرفته دو نیروی فشاری قطعه بالائی و تنش برشی مماس بر قطعه بالائی وجود دارند که از فرمول T=PZ محاسبه می گردد که در آن T برش مماس و P نیروی فشاری و Z ضریب اصطکاك می باشد.

ث: تنش کششی

دراثر این تنش در سنگ شکاف و درز و ترك ایجاد میگردد مثلاً در اثر چین خوردگی در قسمت بالائی چین این تنش یکسری درزه و شکستگی به موازات محورچین ایجاد می کند.

ج: خاصیت ارتجاعی

اگر سنگی تحت اثر فشار تغییر شکل داده و پس از برداشتن فشار به حالت و فرم اولیه برگردد، این سنگ دارای خاصیت ارتجاعی و اگر فرم سنگ کاملاً به حالت اولیه برنگردد تغییر شکل پلاستیکی میباشد خاصیت ارتجاعی در سنگهای ایزوتروپ در تمام جهات یکسان و درسنگهای ان ایزوتروپ این خاصیت در جهات گوناگون مختلف است در محاسبات سازه سدهای قوسی و دو قوسی خاصیت ارتجاعی دقیقاً محاسبه می گردد.

د: مقاومت در مقابل حرارت

بیشتر سنگها در حرارت بالاتر از ۸۵۰ درجه سانتی گراد متلاشی می گردند اما مقاومت سنگها در مقابل حرارت متفاوت و سنگ های دانه ریز نسبت به دانه درشت مقاوم تر می باشند.

۵-۳-۵- خاصیت رادیواکتیوتیه

سنگهای که دارای کانیهای انرژی زا از قبیل اورانیوم، روبیدیم، پتاسیم‌می باشند این خاصیت را دارا هستند در صفحه بعد جدولی از سنگهای مختلف که دارای خواص فیزیکی متفاوتی می باشند نمایش داده می‌شود (جدول ۵-۳-۱).

پس از آشنائی مختصر با انواع سنگ‌ها در بخش‌های بعدی یکسری سنگ‌ها که بر روی آنها سدی پیشنهاد یا طراحی و اجرا شده ومشکلات پیش آمده و کارهای ترمیمی آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

۵-۴- گرانیت

به طور کلی دلیلی وجود ندارد که براساس آن ادعا کنیم که نباید هیچ نوع سدی روی سنگ گرانیت ساخته شود، چون این سنگ‌ها به طور طبیعی قابلیت تحمل فشارهای زیاد را داشته و محکم هستند و به طور عمومی نفوذناپذیر می‌باشند بطوریکه سد مارژ(۱) روی این سنگ ساخته شده و عملیات ترمیمی زیادی روی آن انجام نگرفته است. در توسعهٔ پی و پایه و گودال دیواره‌های آب بند سد آرگال(۲) در کورن وال که چندین بلوک بزرگ از گرانیت فرسایش یافته بود، به منظور آماده نمودن سنگ پایه، تزریق بتون انجام گرفته و سد سارانز(۳)، دارای پی و پایه وسیعی بوده که حدود ۱۱،۰۰۰ مترمربع از گرانیت فرسایشی در آن وجود داشته که جهت ترمیم آن ۶۸۵ تن بتون در ۸۱ چاهك تزریق شده که جمعاً طول ۲۸۰۰ متر و یا ۲۴۰ کیلوگرم در هر متر بتون مصرف شده است.

از دیگر سدهای ساخته شده روی گرانیت به ترتیب کیفیت آنها عبارتند از: سد سوی فریج(۴) (سوئد) که در هر متر ۲۵۲ کیلوگرم تزریق بتون داشته، سد اس پی تالام(۵) (سوئد) که در هر متر ۱۲۲ کیلوگرم تزریق احتیاج داشته و سد گونسك(۶) (ماسیف سانترال فرانسه) در هرمتر ۲۲۰ کیلوگرم تزریق داشته است.

---

1)Mareges,2) Argal,3)Sarrants, 4)Seeuferegg,5)Spitallamm,6)Gouesque,

جدول شماره ۵ - ۳ - ۱

ردیف	نام سنگ	تعداد نمونه	وزن مخصوص متوسط	درصد تخلخل	تنش فشاری Lb/In²	مقدار مطلق شکست Lb/In²	تنش برشی پوند براینچ مربع	تنش کششی Lb/In²	قدر مطلق ارتجاعی Lb/In²
۱	گرانیت	۱۵۵	۲/۶۶	۰/۴ تا ۳/۸۴	۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰	۱۲۸۰ تا ۵۵۵۰	۲۷۰۰ تا ۴۸۰۰	۹۰۰ تا ۱۰۰۰	۸۷۰۰۰۰۰ تا ۴۲۵۲۵۰۰۰
۲	گرانودیوریت	۱۱	۲/۷۱						
۳	دیوریت	۱۷	۲/۸۷	تا ۰/۶۲					
۴	گابرو	۲۷	۲/۹۷						
۵	بازالت	۶	۲/۹۱	۰/۲۲ تا ۲۲/۶					
۶	سنگ آهک		۲/۵۴	۱/۱ تا ۳۱	۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰۰	۵۰۰ تا ۲۰۰۰	۸۰۰ تا ۳۶۰۰	۵۰۰	۸۷۰۰۰۰۰ تا ۴۳۵۰۰۰۰
۷	ماسه سنگ		۲/۶۵	۱/۹ تا ۲۷/۳	۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰	۷۰۰ تا ۲۳۰۰	۳۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۰۰ تا ۲۰۰	۱۸۸۵۰۰۰ تا ۲۳۲۰۰۰
۸	مرمر		۲/۷۶	۰/۴ تا ۲/۱	۸۰۰۰ تا ۲۷۰۰۰	۶۰۰ تا ۴۰۰۰	۱۳۰۰ تا ۶۵۰۰	۷۰۰ تا ۹۰۰	۷۲۵۰۰۰۰ تا ۱۰۱۵۰۰۰۰
۹	کوارتزیت		۲/۷۷	۱/۵ تا ۲/۹	۱۶۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰				
۱۰	سنگ لوح		۲/۷۴	۰/۱ تا ۱/۷		۶۰۰ تا ۱۵۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۲۶۰۰		۸۷۰۰۰۰۰ تا ۱۲۰۵۰۰۰۰
۱۱	گنیس		۲/۶۱	۰/۳ تا ۲/۲۳					
۱۲	شیست		۲/۹۵						
۱۳	ریولیت			۴/۱۳					
۱۴	آجر				۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰				

در گرانیت‌های فرسایش نیافته و سالم هم بایستی جانب احتیاط را نگهداشت بویژه درمناطقی که توده‌های بزرگ خاك چینی وجود دارد. برای مثال تصمیم گرفته شده بود که سد دی لانك(۱) نزدیك بودمین برروی سنگ گرانیت به ظاهر سالم، از بتون ساخته شود، به علت دیده شدن خاك چینی درمحل سد وحول و حوش آن‌طرح عوض شده و سد خاکی طراحی گردید.

بنابراین گرانیت را بایستی از لحاظ درزه‌ها، مناطق هوازده و فرسوده آن بویژه وجود خاك چینی، مطالعه و بررسی کرد، احتمال اینکه در اعماق توده سنگ سالم خاك چینی ظاهر گردد، می‌باشد بنابراین برای تقویت این مناطق ممکن از کابل‌های لنگری تقویت کننده درخاك چینی استفاده نمود.

یك سد در منطقه‌ای بر روی سنگ‌های گرانیتی ـ گنیس پیشنهاد شده که محل آن نزدیکی کورن وال و، سنگ‌به طور کلی محکم به نظر می‌رسید، اما به علت حفر چاهك جهت آب آشامیدنی یك روستا پی به وجود درزه‌ها در عمق و بطن سنگ بردند، بنابراین طرح سد و ساختمان آن به فراموشی سپرده شد.

۵-۵- گابرو، آندزیت، دولریت و بازالت:

به طور کلی این سنگ‌ها برای نگهداشتن سازه‌های عادی، محکم‌ترند تا برای نگهداری سازه‌های آبی، و به علت وجود کانی سر پن‌تین اغلب باید با سوء ظن و شك نگریسته شود. سد زربین(۲) در ایتالیا در سال ۱۹۲۵ ساخته شد اما در نتیجه یك طوفان سنگین در سال ۱۹۳۵ درنتیجه عدم مقاومت و نگهداری سنگ پی، سد فرو ریخت و ۱۰۰ نفر از ساکنین پایین دست سد کشته شدند.

---

1)De Lank 2) Zerbine,

سدها اگربر روی سنگ‌های پورفیری، لاوا، تراخیت‌ها، آندزیت‌ها و بازالت طراحی گردند علیرغم استحکام ظاهری آنها اغلب کم‌وبیش دارای درزه بوده و احتیاج به تزریق بتون کامل دارند. سیگ موکس(۱) و باربیر(۲) اشاره به سد ریوتور(۳)احداث شده روی یك شاخه فرعی رودخانه لویر می‌کنند که مقدار قابل توجهی تزریق بتون درسنگ بازالت داشته و از طرف دیگر، سد قوسی چند منظوره تیرسو(۴) در ساردینا پایه و پی‌اش بر روی سنگهای تراخیتی و توفهای ولکانیکی بوده و تزریق بتون کمی احتیاج داشته است. مثال دیگر از آمریکا از سدهای مهم روی بازالت‌ها، می‌توان سدقوسی چند منظوره رودخانه پیت، سد بولوروأریگان(۵) و سد کانیون سیاه در آیداهو را نام برد. سد هوور(۶) روی توف‌های آندزیتی به ارتفاع ۲۱۸ متر وقتی برای اولین بار در سال ۱۹۲۷ آبگیری شد دارای فرارآب قابل توجهی بود که به مرور زمان افزایش یافت و احتیاج به تزریق بتون درعمق بیشتر از ۱۳۰ متری زمین در فاصله سالهای ۱۹۳۸ تا ۱۹۴۷ داشت.

۵-۶- آمفی بولیت‌ها:

گنیس، میکاشیت و سنگهای همراه آنها ممکن است به طور کلی جهت تحمل فشار موجود و از نظر نفوذ ناپذیری رضایت بخش درنظرگرفته شوند: برای مثال سد ایگوزون(۷) دارای ارتفاع ۶۱ متر جهت ترمیم پی در مقام مقایسه با دیگر سدهای مشابه مقدار کمی تزریق بتون احتیاج داشته و گنیس‌ها و میکاشیت بویژه اگر قدیمی باشند به علت وجود میکا که عمل لغزش و لغزیدن را آسان می کند. جهت احداث تاسیسات روی آنها مساعد نخواهند بود.

چنانچه این سنگ‌ها به صورت مجتمع باشند مثل محل سد بور، یك منطقه بسیار ضعیف از سنگ هوازده و فرسایش یافته ممکن مابین گنیس ومیکاشیت وجود داشته باشد. سد فورکز(۸) در کالیفرنیا (۱۵۰ m) روی گنیس و میکاشیت بنا شده و در سال ۱۹۲۹ به علت

---

1)Cigmux, 2) Bsrbire, 3)Rieutord, 4)Tirso, 5)Bulloru, 6)Hoover, 7)Eguzon

پی و فونداسیون نامناسب و بد که در محل اتصال این دو سنگ بود، غیرقابل استفاده شد و البته هر دو سنگ به قدرکافی محکم بودند. مثال تزریق بتون را می‌توان در پی سد بروکس(۱) درسال ۱۹۱۴ نام بُرد که ارتفاع آن ۵۳ متر و روی گنیس بنا شده و تراوش آب گزارش شده از ۲۸ تا ۱۳۲ لیتر در ثانیه بوده است.

بر عکس در سد چامبون(۲) هم، وقتیکه سطح گنیس‌ها پس از خاکبرداری معلوم شد (گنیس‌ها توسط رسوبات یخچالی پوشیده شده بودند) ثابت شد که سنگ سالم و محکم است.

یك سد در پرتغال روی میکاشیتهای لایه‌دار بنا شده و لایه های سنگ با شیب تند به طرف مخزن پایین رفته و تقریباً عمود بر جهت جریان بودند و کاملاً مناسب بوده ومشکلی وجود نداشته است، مشابه این، سدی در سویس بر روی گنیس‌ها به ارتفاع ۸۷ متر بنا شده و کاملاً مناسب و رضایت بخش است.

۵-۷- سنگهای دگرگونی:

بعضاً سنگهای نامناسب، سنگ های دگرگونی و آذرین درونی هستند اما بعضی از سدهای مناسب اخیراً در اسکاتلند (برای مثال اسلوی(۶)، پوت لوچ ری(۵)، ارچ‌تی(۴)، شیرا(۳) روی این سنگها بنا شده اما اساساً پی هایشان به تزریق بتون احتیاج داشته است. نوع معمول سد روی این سنگها وزنی، حائل‌دار (در یك مورد حائل پیش‌تنیده) و سنگ‌ریز می باشد. در قسمت بالای دره تنسی آمریکا روی سنگهای دگرگونی پرکامبرین واردویسین، سدهای وزنی، سدهای حائل‌دار و سنگ‌ریزه ای در طول جنگ جهانی دوم ساخته شده اند.

---

1)Brux 2)Chambon 3)Shira 4) Errochty,5)Potlochry,6)Sloy

در بسیاری از موارد سنگ سخت با رسوبات ریزشی ومواد آبرفتی پوشیده شده که در صورت ارتفاع زیاد رسوبات پوششی طرح به فراموشی سپرده شده است.

اغلب هوازدگی سطحی در تشکیلات شکسته و تکتونیزه میباشد که از ابتدای کار مشکل دارند برای نمونه سدی روی گرانولیت که هوازدگی آن تا عمق ۲۰ متری موثر و به شدت شکسته و درزه دار بوده به نام لاواوژلَد(۱) در ماسیف سانترال فرانسه احداث شده که پی آن احتیاج به تزریق بتون ورُس و بنتونیت در حجم زیاد داشته است.

۵-۸- آهک (کامبرین، اردوسین، سیلورین، کرینفر، ژوراسیک، کرتاسه و دیگر زمانها)

در بریتانیای کبیر هیچ نوع سدی روی آهک ها بنا نشده و بعضی سدها روی آهک های همراه با رُس ها بنا شده اند یک رگه نازک آهک ژوراسیک که در ساتون بینگهام(۲) و یوویل(۳) دیده شده و این رگه ها درگودی آهک های ژوراسیک (لیاس پایینی) در دو نقطه بریده شده اند که در آنها سدهای خاکی بنا شده اند.

سدهای بتونی درفرانسه که به طور موفقیت آمیزی روی آهک های ژوراسیک بنا شده، عبارتند از آنهائیکه در کاستیلون وجود دارند که اشکالات زمین شناسی عبارت از لغزش ها، فراروِنَشت آب بوده که توسط طرح های تزریق با حجم بالا کنترل شده اند سدچانودان(۴) زیرکاستیلون، سد سوته(۵) روی رودخانه دراگو اخیراً سد سن پیر کونیه(۶) از این قبیل هستند سد گنیسیا(۷) رودخانه رُن، روی آهک های کارستیک حفره دار کرتاسه ساخته شده که حفرات وغارهای آهک به طور طبیعی توسط رسوبات رُسی یخچالی پر شده اند. آهک ها گاهی اوقات تولید رسوبات توف آهکی می کند که ممکن است در محل اتصال خود، مناطق ضعیف ایجاد نمایند می توان سدبتنی بادل(۸) در آهک های ژوراسیک را نام برد. آهک های دولومیتی ممکن است درزه های بزرگ را برآمده و ریشه دار سازد. در این موارد

1)Lavaud - Gelade 2)Sutton Bingham 3)Yeovil 4)Chaudanne, 5) Sautet, 6) Cognet, 7)Genissiat, 8)Beni Bahdel

محل سد و طرح بایستی عوض شود برای مثال سد فودا(۱) در الجزیره که محل اصلی آن به علت مشکل ذکر شده بالا به طرف بالادست تغییر مکان داده شد. سد کامارازا(۲) (۱۹۳۲) در اسپانیا روی آهک‌های دولومیتی بنا شده که در آغاز فرار آب زیادی را برآورد کرده که جهت جلوگیری از آن به حجم زیادی تزریق بتون (۱۸۶,۰۰۰ تن سیمان) احتیاج داشته است.

اخیراً سد دوکان(۳) در عراق که در دولومیت‌ها بنا شده و تقریباً پرده تزریق آن با ۷۷۶۶۶ تن، بتون طراحی شده بود.

سدهای شمال ایتالیا در دولومیت‌های تریاس و ژوراسیک اغلب غیرقابل ساخت به نظر می‌رسیدند آنهم بخاطر پدیده‌های کارستی تشکیلات که اشکالات زیادی را تولید کرده بودند. سد وال کالینا(۴) به ارتفاع ۱۰۵ متر که یك سد قوسی و روی آهک‌های دولومیتی تریاس بالائی ساخته شده، احتیاج به یك برنامه تزریق فوق العاده داشته است.

سد واجی‌تال(۵) در سوئد به خاطر وجود دره‌های عمیق ۴۰ ـ ۵۰ متری در آهک‌ها قابل توجه می‌باشد که دره‌ها با رسوبات آبرفتی پر شده‌اند. تزریق آهک‌ها توسط تونل‌های افقی انجام گرفته است محل سد چیکا ماوگا(۶) مورد جالبی در دره تنسی آمریکاست که از مقدار نفوذپذیری آهک‌ها توسط ۵۰۰ و ۵۹ تن، تزریق بتون کاسته شد. یك سد خاکی جالب توجه در آهک‌های سُست اولیگومیوسن و میوسن در سارمو(۷) الجزیره بنا شده است.

۵-۹- شن و ریگ و ماسه سنگ

بسیاری از سدها در انگلستان روی سنگهای ساخته شده‌اند که اغلب شامل رگه‌های متناوب شن و ماسه (ماسه سنگ) کربینفر که دارای ۱۲ - ۱۵ متر ضخامت بوده که به طور متناوب رس و شیل با همان ضخامت قرار گرفته‌اند و روی بیشترشان سد خاکی بنا شده

1) Fodda, 2) Camarasa, 3)Dokan, 4)Vall Callina ,5)Waggital, 6)Chickamavga, 7) Sarmo

است. بعضی از بزرگترین آنها لیدی باور(۱)(درشفیلد) روی شیل‌های سابدن(۲) در دره دِرون میباشند.

در دره سی مون دن(۳) نزدیك هودرفیلد یك سد خاکی به ارتفاع ۷۳ متر طراحی شده که قابلیت نگهداری ۵۰ متر آب را داشته باشد. که با طرح های راه ماشین‌رو پنین (M62) روی ماسه سنگهای کیندر اسکات(۴) بالائی وتشکیلات ماسه سنگی اسکاتلند، بنا شده است. یك یا دو سد بتونی روی تناوب شیل و ماسه سنگ ها بنا شده‌اند برای مثال یك سد وزنی بتونی دربای تینگ برای صحرای وِك و درلامالود یك سد حائل‌دار برای صحرای ماکلس، بعلاوه چندین سد وزنی قدیمی به نامهای درونت و هاودن در دره‌ایی به همین نام وجود دارند.

رُس

تشکیلات رُسی ممکن گاهی ضخیم و توده‌ای و اغلب همراه با لایه‌های نازك شن وماسه و ماسه سنگها یا آهکها باشند و اینچنین تشکیلاتی، سدهای خاکی یا سنگ‌چین را می‌طلبد. سد خاکی اس تای نس(۵)، چانگ فورد(۶) و دیگر مخازن آبی در دره‌های تامزولی ممکن کلاً روی رُس‌های لندن قرار گرفته باشند ومخزن چیدار(۷)نزدیك بریستول در مارنهای کوپر واقع شده‌اند.

۵-۱۰- گراول، ماسه و رس قلوه سنگدار:

چندین سد کوچك کشاورزی و سدهایی که ایجاد دریاچه تفریحی می کند تا به حال روی گراول و ماسه ها و رُسهای قلوه سنگدار ساخته شده که به طور طبیعی دارای شرایط ویژه‌ای هستند برای اینکه تشکیلات اکثراً مقاومت لازم را برای ساخت سد بزرگ را

1)Lady Bower, 2) Sabden, 3)Seammonden, 4)Kinder Scout, 5)Staines,
6) Chong Ford, 7)Cheddar.

نداشته و شاید مخزن ترینتابنك(۱) (صحرای ماکلس) یك مثال از شرایط استثنائی باشد چرا که صرفاً روی ماسه‌ها بنا شده و مخزن سل ست(۲) روی رس قلوه سنگدار یك مثال دیگر است. در بوت بیچ(۳) یك نیروگاه مخزنی در سال (۱۹۷۱) روی رُس ویلد(۴) از نوع سد خاکریزی بنا شده که مصالح ساختمانی که سد با آن ساخته شد رُس ویلد با هفت فیلتر از جنس تشکیلات ماسه سنگهای سبز بوده است، این سد ۲۱ متر آب رانگهداری می‌کند.

مشابه این در کشورهای دیگر، با وجود عمق زیاد مواد نرم و سُست، نفوذ پذیری یا نفوذناپذیری مواد، وجود داشته و بر روی آنها با مشخصات ذکر شده ساخت سد انجام گرفته است: برای مثال سد سیلون استین(۵) با واریا در یك دره سنگی دولومیتی پر شده از چند صدمتر واریزه بنا شده و سدسرپون کُن(۶) (ساخته شده در سال ۱۹۵۷) روی رودخانه دوراتن فرانسه در یك دره از سنگ آهك که باحدود ۱۰۰ متر واریزه پر شده، بنا شده است. اولین سد کامل شده بریتانیا که توسط ملکه الیزابت دوم در دسامبر ۱۹۶۹ افتتاح شد در دره بك‌واتر نزدیك بالمورال است، این سد خاکریز روی گراول، ماسه و رس ریگدار بنا و ارتفاع آن ۵۰ متر و سنگ کف اصلی دره از سنگهای دگرگونی و منجمله فیلیت‌ها و شیت‌ها است.

---

1)Trentabank, 2)Selset, 3)Boutbich, 4)Wild,5)Sylvenstein, 6)Serre Poncon

فصل ششم
سدهای اجرا شده

۶ – ۱ – کلیات

در این فصل خلاصه ای از مشخصات فیزیکی بحث شده فصول قبلی در مورد بعضی سدهای طراحی و احداث شده در دنیا و ایران و مسائل پیش آمده در مراحل طراحی، ساخت و بهره برداری آنها بازگو و در نهایت ارزیابی آنها انجام میگردد به علت زیادی مثالها، خلاصه مشخصات به صورت جدول داده شده است که در آن اطلاعات در مورد کشور سازنده سد، نام سد، ارتفاع آن، طول تاج، هدف بهره برداری، وضعیت زمین‌شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن و نزدیك ترین گسل به آن به صورت ردیفی آمده و لازم به تذکر است که در ستورن وضعیت زمین شناسی در مود سنگ ها و تشکیلات پی، تکیه گاهها، مخزن، مسائل ترمیمی آنها، ضخامت آبرفت پوششی روی سنگ کف، مقدار بتون مصرفی جهت ترمیم و مسائل و مشکلات پیش آمده در طول بهره برداری به صورت کاملاً خلاصه ذکر شده و هدف از ایجاد ستون نزدیکترین گسل به محل سد، نشان دادن وضعیت ایمنی یا عدم ایمنی به لحاظ وقوع زلزله و حرکات زمین ساختی میباشد،
در تنظیم جدول، در وهلهٔ اول سدهای احداث شده در دنیا و مشخصات مورد لزوم آنها بازگو و در مرحله بعدی سدهای ساخته شده ایران آمده. ضمناً سعی شده که جدول بر اساس نوع سد تنظیم گردد.

۶ – ۲ – ارزیابی:

با توجه به داده ها و اطلاعات ذکر شده در جداول که از انواع سدها در نقاط مختلف دنیا و ایران تنظیم شده و تقریباً یك نمونه آماری میباشد میتوان یك ارزیابی اولیه در مورد مطالعات مقدماتی فاکتورهای فیزیکی بحث شده، داشت و معضلات و مشکلات پیش آمده

درحین مکان یابی، طراحی و ساخت سدها را حداقل برآورد نمود به ویژه این مسائل را در مورد سدهای ساخته و طراحی شده ایران باید داشت که چه به لحاظ کمیت و کیفیت سدسازی در ابتدای کار بوده و هنوز پتانسیل زیادی از لحاظ طبیعت، جهت ایجاد سد داراست و احتیاج به تجربه و دانش بیشتر در این زمینه احساس میگردد. لازم بتذکر است که به طور خلاصه باید گفت سابقه تاریخی سدسازی در ایران بسیار زیاد و آثار آن در گوشه و کنار مملکت باقیمانده که خوشبختانه انواع سدها را شامل میشده به ویژه سدهای قوسی که در صنعت سدسازی دنیا به لحاظ هزینه اقتصادی کمتر نسبت به انواع دیگر مزیت دارند، بیشتر سدهای قدیمی ایران از مصالح بنائی و سنگ ساخته و معمولاً ارتفاع متوسطی دارند ولی متاسفانه هیچ کدام دارای سابقه طراحی مطالعات و ساخت نیستند بنابراین هیچ گونه اطلاعی از نحوه عملکرد نیاکان ما در این زمینه وجود ندارد ولی آنچه از سدها باقیمانده که عبارت از دره محل احداث سد، زمین شناسی و ژئومورفولوژی محل، نوع سد، مصالح بکار رفته و زمان بهره برداری از آن نشان میدهد که مطالعات، طراحی و ساخت سد و بهره برداری از آن کاملاً جنبه مهندسی در حد زمان خودش داشته حتی ارزش خود را از لحاظ فنی تا زمان حال حاضر حفظ نموده است. بهر حال به لحاظ احتیاجی که در ایران به ساخت سد از جهت کنترل طغیانها و بهره برداری بیشتر از آبهای سطحی وجود دارد لزوماً احتیاج به دانش و فن سد سازی هم مطرح و بخشی از فراگیری این دانش از راه کسب تجربه های دیگران میباشد، به همین مناسبت ارزیابی سدهای ذکر شده در جدول فصل ششم انجام تا نتایج آنها به صورت کلاسه بندی بدست آید.

۶ - ۲ - ۱ - ارزیابی سدهای خارجی

سدهای خارجی که در جدول تنظیم شده از لحاظ آماری مشخصات زیر را دارند.

کل سدها و بندها	۴۰ عدد	
سدهای دوقوسی نازك	۸ عدد	مرتفع ترین آنها ۲۶۳ متر
سدهای وزنی قوسدار و وزنی	۱۵ عدد	مرتفع ترین آنها ۱۶۵ متر

سدهای سنگ چین	۷ عدد	مرتفع ترین آنها ۱۱۱ متر
سدهای خاکی	۵ عدد	
بند و کانال انحرافی و خاکریز	۶ عدد	

خصوصیات قابل ذکر در مورد این سدها با توجه به مطالب عنوان شده در نشریه در مورد شکل دره، زمین شناسی آن، مقاومت سنگهای تکیه گاهها و پی میباشد.
از هشت سد دو قوسی نازك همگی آنها در تنگه ها طراحی شده یعنی محل اولیه انتخابی کاملاً مناسب احداث آنها بوده است.

از هشت سد احداث شده چهار تای آنها مسئله و مشکل زمین شناسی نداشته و در سنگ گرانیت ، گرانولیت و آهك ساخته شده اند و چهار سد باقیمانده مشکل ضعف تکیه گاه و سنگ پی را داشته که با تزریق بتون و طراحی سازه اضافی، آنرا رفع نموده اند، فرار آب از مخزن و ریزش دامنه بداخل دریاچه سد مشکل زمین شناسی دو تای دیگر بوده که جهت رفع مشکل سد اولی با ایجاد پرده آب بند برطرف گردید و مشکل سد دومی متاسفانه منجربه تخریب کلی سد شد.

با توجه به تعداد محدود سدها و اطلاعات ذکر شده بالا دسته بندی ارزیابی به صورت زیر میباشد:

- ۱۰۰٪ آنها در تنگه احداث که مناسب برای ساخت سد دوقوسی هستند.
- ۵۰٪ آنها مشکل زمین شناسی نداشته و بقیه داشته اند که سه مورد آنها با کارهای ترمیمی رفع شده و یك مورد تخریب شده است.
- ۷۵٪ سدها در روی سنگهای آهکی و دو لومیت احداث شده که نصف آنها بدون مشکل و باقیمانده دارای مشکل بوده اند.
- ۲۵٪ آنها روی سنگ گرانیت وگرانولیت احداث ومشکلی نداشته اند.

از ۱۵ عدد سدهای وزنی مختلف ۳ تای آنها در تنگه ها و ۵تا در دره های باریك و ۷ عدد از آنها در دره های عریض ساخته شده اند بنابراین عامل زمین شناسی علاوه بر شکل دره روی انتخاب نوع سد تاثیر گذاشته است.

- ۲۰٪ از سدهای وزنی روی تنگه هایی بنا شده اند که به علت وجود سنگهای مختلف درپی و تکیه گاهها بوده است و جهت معقول نمودن هزینه اقتصادی سد وزنی قوسدار طراحی شده است.
- ۳۳٪ از سدهای وزنی در دره های باریك احداث شده اند که در وهله اول عادی به نظر میرسد اما حذف قوس آنها و حتی عدم کاهش وزنی به علت وجود سنگهای رسوبی متناوب بوده است.
- ۴۶٪ از سدهای مذکور در دره های عریض احداث شده اند و به علت وجود مشکلات زمین‌شناسی از جمله قدرت باربرداری کم سنگها و نرم بودن رسوبات، سد وزنی پایه دار طراحی شده و یا با عملیات ترمیمی منجمله تزریق بتون مشکل رفع شده است.

از ۷ عدد سد سنگ چین تمامی آنها در دره عریض احداث شده اند که امری کاملاً عادی می باشد از تمامی آنها فقط یك سد عملیات تزریق بتون جهت کاهش نفوذپذیری احتیاج داشته است.

۵ عدد سدهای فوق الذکر بر روی سنگهای دگرگونی و ۲عدد از آنها روی طبقات ماسه و شن و گراول ساخته شده که یکی از آنها عملیات ترمیمی تزریق بتون داشته است. از ۵عدد سد خاکی مندرج در جدول تماماً در دره های عریض احداث شده اند که در سنگهای رسوبی بوده اند.

بقیه سازه های آبی مندرج جدول از جمله بندها و کانالها و خاکریزها در دره های بسیار عریض یا دشتها بنا شده که روی رسوبات آبرفتی یا ماسه‌های ساحلی بوده و یك مورد آن

روی سنگهای کنیس و دولریت احداث شده است.

۶ - ۲ - ۲ - ارزیابی سدهای ایران

سدهای ایرانی تنظیم شده جدول از لحاظ آماری دارای مشخصات زیر هستند.

سدهای دو قوسی نازك	۴ عدد	مرتفع ترین آنها ۲۰۳ متر
سدهای قوسی	۴ عدد	مرتفع ترین آنها ۱۳۳ متر
سدهای وزنی پایه دار	۴ عدد .	مرتفع ترین آنها ۱۰۷ متر
سدهای وزنی دریچه دار	۳ عدد	مرتفع ترین آنها ۱۰ متر
انواع سد خاکی	۱۴ عدد	مرتفع ترین آنها ۱۰۵ متر

خصوصیات مورد نظر از سدها که ارزیابی میگردد عبارت از شکل دره، زمین شناسی آن و مقاومت سنگهای پی و تکیه گاه میباشد.

از چهار سد دو قوسی ایران سه تای آنها در تنگه ها و دیگری در دره باریك احداث شده بنابراین از لحاظ شکل و محل اولیه دره به جز یکی بقیه کاملاً مناسب بوده اند.

سدهای فوق الذکر از لحاظ مسائل زمین شناسی در تشکیلات متفاوت بنا شده و تمامی آنها به نسبتهای مختلفی عملیات ترمیمی داشته اند، به جز پی و تکیه گاه سد زاینده رود که از سنگهای مختلف تشکیل شده، سدهای دیگر روی یك نوع سنگ احداث شده اند. از لحاظ فعالیت لرزه خیزی تنها گسل نزدیك سد کارون خطرناك و بنابراین مشکل زمین شناسی در محل انتخابی این سدها وجود داشته که با عملیات ترمیمی کنترل و مهار شده است.

سدهای قوسی ایران چهار عدد هستند که سه تای آنها در تنگه ها و دیگری در دره باریك

احداث شده که به لحاظ انتخاب نوع سد، شکل دره مناسب نبوده و گویای مشکل داشتن زمین شناسی محل سد است به لحاظ زمین شناسی محل احداث این سدها، مشکلات گوناگون از لحاظ قدرت مقاومت سنگهای تکیه گاهها و ضخامت زیاد آبرفت روی پی و معضلات ویژه سنگ های آهکی وجود داشته که اولین تاثیر آنها با وجود هزینه اقتصادی بالا طراحی نوع سد قوسی با وزن بیشتر بوده است در حالیکه در تنگه ها با وجود شرایط مناسب زمین شناسی بهترین و اقتصادی ترین نوع سد، دو قوسی نازك خواهد بود.

سدهای وزنی پایه دار ایران چهار عدد بوده که سه تای آنها در دره باریك و دیگری در دره عریض ساخته شده و به لحاظ مسائل زمین شناسی و اولویت آن نوع سد انتخابی مناسبت چندانی با شکل و ژئومورفولوژی دره نداشته است. مشکلات زمین شناسی موجود این سدها گوناگونی سنگهای پی و تکیه گاهها، عدم تراکم و سست بودن تشکیلات بوده که با عملیات ترمیم و قرار دادن بتون متخلخل در پی به جای سنگ طبیعی گود برداری زیاد برای رسیدن به سنگ کف در زمان ساخت سد و عملیات ترانشه زنی در دامنه ها رو به جسم سد در زمان بهره برداری، انجام گرفته و مشکل عمده زمین شناسی در حال بهره برداری دو تا از سدها، حجم رسوب وارد شده به مخزن و کاهش عمر مفید آن بوده که در حال حاضر هم وجود دارد.

سدهای وزنی دریچه دار ایران که جهت انحراف و آبیاری استفاده میشوند زیاد و متاسفانه فقط مشخصات ۳ عدد از آنها در دسترس بوده که مورد ارزیابی قرار می گیرد، این سدها در دره های عریض احداث و اکثراً روی آبرفتها بوده اند به جز مورد طالقان که روی کنلوگمرای ائوسن احداث که گسلی در حدود ۷ کیلومتری آن واقع شده که از لحاظ فعالیت لرزه خیزی خطرناك میباشد، سد طالقان هم مشکل رسوب دارد و این موضوع بایستی در طراحی سدبزرگ طالقان مد نظر قرار گیرد.

انواع سدهای خاکی ایران ۱۴ عدد هستند که از لحاظ تعداد بیشترین هستند از این سدها، یك مورد در تنگه، سه مورد در دره باریك، بقیه در دره های عریض و دشتها احداث شده بنابراین شکل و ژئومورفولوژی دره مناسبت چندانی با انتخاب نوع سد نداشته و مسئله قابل ذکر این است که از لحاظ زمین شناسی سد خاکی مناسب تکیه گاهها و پی است که از تشکیلات نرم و سست زمین شناسی باشند و این موضوع در مورد اکثر سدهای خاکی ایران صادق است و تشکیلات در برگیرنده پی و تکیه گاههای آنها عبارت از تناوب سنگهای مارن و گچ و ماسه سنگ، تناوب ماسه سنگ و شیل، شیل و اسلیت، گرانیت، آهك و لاوای آتش فشانی، زمین های پست لُسی، سنگ آهك و کنلوگمرا، انواع توفهای آتش فشانی و ... می باشند که اغلب این سنگها دارای قدرت باربرداری زیادی نبوده و یکدست نیستند و به علت تنوع زیاد لایه بندی ضخیمی نداشته، بنابراین مشکلات زیادی در حین ساختمان سد و هم چنین در زمان بهره برداری داشته و دارند، مشکلات زمان ساخت سدها عبارت از گودبرداری جهت رسیدن به سنگ کف مقاوم و سالم، وجود سنگ آهك با پدیده های کارستی که شدت وضعف داشته، وجود گسل در نزدیکی و احتمال خطر زمین لرزه، لغزش و ریزش دامنه های مشرف به جسم سد، حرکت و نشست بخشی از جسم سد و فرار آب از مخزن به علت پدیده های کارستی تشکیلات آهکی که مورد اخیر اهداف ساخت سد را منتفی ساخته ضمناً چند سد خاکی در حال احداث و هنوز مشکلات خاص زمین شناسی آنها گزارش نشده است.

خصوصیات کلی زمین‌شناسی سدهای انتخاب‌شده خارجی، و کلیه سدهای ایران در جداول ۶-۱ و ۶-۲ آمده‌است. نتیجه کلی که از ارزیابی سدهای خارجی و ایرانی ذکر شده در این جداول میتوان گرفت این است که انتخاب نوع سد تابع مستقیم شکل و ژئومورفولوژی دره، زمین شناسی و وضعیت پی و تکیه گاهها و مصالح ساختمانی در دسترس است که وضعیت زمین شناسی و مقاومت باربرداری سنگهای تشکیل دهنده پی و تکیه گاهها بعضاً دو عامل دیگررا تحت تاثیر قرار میدهند.

جدول۶-۱: خصوصیات سدهای انتخابی خارجی

ردیف	کشور	نام سد	نوع سد	ارتفاع سد به متر	طول سد به متر	هدف بهره برداری	وضعیت زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن
۱	فرانسه	مارژ	دوقوسی نازك	۹۰	۲۲۷	برقابی کشاورزی شهری	روی تنگه ای از سنگ گرانیت ساخته شده و هیچ گونه عملیات ترمیمی احتیاج نداشته است.
۲	ایتالیا	وایونت	دوقوسی نازك	۲۶۳	۴۱۵	برقابی	روی تنگه ای از آهك های دولومیتی ژوراسیك میانی بناشده و تکیه گاهها قدرت تحمل فشارحدود $60\ \frac{kg}{cm^2}$ را داشته است
۳	ایتالیا	وال کالینا	دوقوسی نازك	——	——	برقابی	روی تنگه ای ازدولومیت های تریاس بالائی احداثشده است و تکیه گاههاو پی آن احتیاج به تزریق بتون به مقدارزیادی داشته است.
۴	ایتالیا	پون تسی	دوقوسی نازك	——	——	برقابی	در تنگه ای از جنس آهك های تریاس ساخته شده است
۵	ایتالیا	بارسیس	دوقوسی نازك	——	——	برقابی، آبیاری	در تنگه ای از آهك بناشده و مشکلات زمین شناسی محل سدعمق نامناسب آهکها، عدم تراکم وسست بودن آنها و فرار آب از مخزن بوده است
۶	فرانسه	پی یر کوك نت	دوقوسی نازك	——	——	برقابی - آبیاری	درتنگه ای از آهك های لیاس ساخته شده است
۷	انگلستان	کاستیلون	دوقوسی نازك	——	——	برقابی	در تنگه ای از آهك های لیاس احداث شده و به علت وجود درزه ها، پی تقویت شده و پایه های بتونی متصل بهم جهت تقویت سد طراحی شده است
۸	انگلستان	لوچ مونار	دوقوسی	——	——	برقابی - آشامیدنی	روی تنگه ای ازسنگهای کرانولیت پرکامبرین احداثشده است
۹	فرانسه	چامبون	وزنی قوسدار	——	——	برقابی - آبیاری	درتنگه ای از سنگهای گنیس شیست و آهك با زمانهای متفاوت بناشده که روی سنگ کف توسط مواد یخچالی دانه درشت پوشیده بوده و به علت متروژن بودن سنگ کف، سدوزنی قوسدار طراحی شده است

جدول ۶-۱ (ادامه): خصوصیات سدهای انتخابی خارجی

ردیف	کشور	نام سد	نوع سد	ارتفاع سد به متر	طول سد به متر	هدف بهره برداری	وضعیت زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن
۱۰	فرانسه	بور	وزنی قوسدار	——	——	برقابی	این سد در تنگه ای از جنس سنگهای گنیس و میکاشیست ورس ضعیف مابین دو گسل احداث شده و به علت اختلاف سنگها در پی، سد وزنی قوسدار طراحی شده است
۱۱	فرانسه	تیگ نس	وزنی قوسدار	۱۶۵	۲۳۰	برقابی	روی تنگه ای از جنس کوارتزیت تریاس بناشده که توسط یخچال ایجاد شده است
۱۲	ایتالیا	پاور - کارده	وزنی قوسدار	——	——	برقابی	روی دره باریک احداث شده و به جهت هزینه اقتصادی سد وزنی قوسدار طراحی شده است
۱۳	انگلستان	وورن وای	وزنی سنگی	——	——	ذخیره آب	روی دره عریض بناشده است و نسبت عرض به ارتفاع آن ۷ بوده است
۱۴	انگلستان	هاودن	وزنی سنگی - بتونی	——	——		روی دره عریض بناشده است و نسبت عرض به ارتفاع آن ۹ بوده است
۱۵	انگلستان	درونت	وزنی بتونی	——	——		روی دره عریض بناشده است و نسبت عرض به ارتفاع آن ۱۰ بوده است
۱۶	انگلستان	کابان کوچ	وزنی بتونی	——	——		روی دره باریک با نسبت عرض به ارتفاع ۵ بناشده است و به علت جنس سنگهای رسوبی متناوب با شیل و ماسه، سد وزنی طراحی شده است
۱۷	انگلستان	پن بی کاچ	وزنی بتونی	——	——		روی دره باریک با نسبت عرض به ارتفاع ۴ احداث شده و به علت جنس سنگهای رسوبی متناوب با شیل و ماسه سد وزنی طراحی شده است

جدول ۶-۱ (ادامه): خصوصیات سدهای انتخابی خارجی

ردیف	کشور	نام سد	نوع سد	ارتفاع سد به متر	طول سد به متر	هدف بهره برداری	وضعیت زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن
۱۸	انگلستان	کلرون	وزنی بتونی	ـــــ	ـــــ	ـــــ	روی دره باریك با نسبت عرض به ارتفاع ۴ بناشده است و به علت وقوع سنگهای رسوبی متناوب با شیل و ماسه سد وزنی طراحی شده است
۱۹	مصر	اسوان	وزنی بتونی سنگی	۴۵	۱۸۹۰	آبیاری - برقائی آشامیدن	دریك دره عریض گرانیتی با عرض دره به ارتفاع ۴۵ احداث شده در گرانیت دایك های آذرین از جنس نرم قرار داشته است، بنابراین پایه های محافظ جهت سد طراحی شده است
۲۰	انگلستان	آلتا - نا - لاریگ	وزنی پایه دار	ـــــ	ـــــ	آبیاری	روی دره عریض از سنگهای آذین بناشده که قدرت مقاومت آنها حدود $۲۰ \frac{kg}{cm^2}$ بوده و برای رسیدن به مقاومت $۱۱۷۶ \frac{kg}{cm^2}$ از ایجادستون بتونی میل گردار درسنگ استفاده شده است
۲۱	ایتالیا	فیدایا	وزنی پایه دار	ـــــ	۶۰۰	ـــــ	.....
۲۲	الجزیره	بنی بهدل	قوسی پایه دار	ـــــ	ـــــ	آبیاری - آشامیدنی	روی طبقات متناوب نرم و سخت ساخته شده و پایه ها روی طبقات سخت طراحی شده اند با توجه به شکل دره، سرریز تخلیه طغیانها درسد موجود نیست و در قسمت دیگری طراحی شده است
۲۳	اسکاتلند	برس لیچ	سنگ چین	ـــــ	ـــــ	آبیاری	روی سنگهای دگرگونی وکمپلکس سنگهای دیگرساخته شده است
۲۴	اسکاتلند	لوچ کوئیچ	سنگ چین	۳۸	۳۱۵	آبیاری	روی دره عریض سد بنا شده است
۲۵	آمریکا	دره تنسی	سنگ چین	ـــــ	ـــــ	آبیاری	روی دره عریض از سنگ های دگرگونی کامبرین با شیب زیاد ساخته شده است

جدول ۶-۱ (ادامه):خصوصیات سدهای انتخابی خارجی

ردیف	کشور	نام سد	نوع سد	ارتفاع سد به متر	طول سد به متر	هدف بهره برداری	وضعیت زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن
۲۶	آمریکا	هالتون جنوبی	سنگ چین	——	——	آبیاری	روی دره عریض با سنگهای دگرگونی مختلف و چین خورده زمان اردوویسین، احداث شده است
۲۷	آمریکا	——	سنگ چین	——	——	آبیاری	در دره‌ای عریض از سنگ های دگرگونی کامبرین ایجاد شده است
۲۸	آمریکا	لوئیس اسمیت	سنگ چین	——	——	آبیاری	روی طبقات ماسه و شن وگراول به ضخامت کم در دره‌ای عریض ساخته شده است
۲۹	مصر	اسوان مرتفع	سنگ چین با هسته رسی	۱۱۱	۲۵۰۰	آبیاری - برقابی	روی دره ای عریض از ماسه درشت و ریزبنـاشده و عملیات تزریق بتون جهت کاهش نفوذپذیری درماسه ها انجام گرفته است
۳۰	انگلستان	ساتون بنگام	سد خاکی			آبیاری	روی مارنهای ژوراسیك و در دره عریض احداث شده است
۳۱	انگلستان	آی بروك	سدخاکی				روی دره‌ای عریض از رس ها و آهك های لیاس پائین ساخته‌شده است
۳۲	انگلستان	لانگ ست	سد خاکی				روی دره‌ای عریض از گراولها و شنهای وشیل های کربنیفر احداث شده است
۳۳	انگلستان	لدی باور	سدخاکی				روی دره‌ای عریض ازشیل‌های کربنیفر احداث گشته است
۳۴	انگلستان	چیو	سدخاکی				روی دره‌ای عریض ازمارن وماسه سنگ تریاس بناشده است
۳۵	انگلستان	پیلورچ ری	بند	——	——	——	روی دره عریض ساخته شده است
۳۶	کانادا		بند	——	——	برقابی	
۳۷	کانادا	ایروکوئیس	بند			برقابی	
۳۸	کانادا	رانس	بند		۷۰۰	برقابی	روی دره عریض ازجنس گنیس و دولریت ساخته شده است

جدول ۶-۱ (ادامه):خصوصیات سدهای انتخابی خارجی

ردیف	کشور	نام سد	نوع سد	ارتفاع سد به متر	طول سد به متر	هدف بهره برداری	وضعیت زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن
۳۹	آلمان	رُن	کانالهای انحرافی			برقابی - آبیاری	
۴۰	هلند	زویدزی	خاکریز		۲۹۰۰۰	حدفاصل دریا و خشکی	روی ماسه های ساحلی بناشده است

جدول ۶-۲: خصوصیات سدهای ایران

ردیف	نام سد	نوع سد	ارتفاع به متر	طول تاج به متر	هدف	مشخصات زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن و کسل‌های مجاور
۱	دز	بتونی دو قوسی	۲۰۲	۲۱۲	برقابی - مخزنی - آبیاری اشامیدن	در تنگه‌ای از جنس کنگلومرای بختیاری احداث شده که در آن تزریق بتون به لحاظ آب‌بندی صورت‌گرفته، درمخزن لایه های متناوب گل سنگ و ماسه سنگ آغاجاری قراردارند که آب بند می‌باشند هیچ نوع گسل فعالی در حول و حوش سد گزارش نشده اما درزه در تکیه گاهها و دریاچه سد مشاهده شده و بعضی از درزه ها در هنگام ساخت سدبه علت وضعیت خاص زمین شناسی‌شان به طبقات زیرین دوخته شده‌اند.
۲	کارون	بتونی دو قوسی	۲۰۰	۳۸۰	برقابی - آبیاری	در تنگه ای از جنس سنگهای آهک آسماری احداث شده که دارای دو سیستم ناپیوستگی بوده است که توسط تزریق بتون مهار شده‌اند در مخزن لایه های آهک قرار دارند که سیستم کارستی دارند و چشمه های چند از آنها جاری است و کلاً مخزن و تشکیلات آن آب‌بند بوده یا شده‌اند نزدیک ترین گسل در حدود ۳۲/۵ کیلومتری بوده و از لحاظ فعالیت زمین لرزه خطرناک می باشد.
۳	زاینده رود	بتونی دو قوسی	۱۰۰	۴۵۰	برقابی - کشاورزی صنعتی، آشامیدنی	روی دره‌ای باریک از سری سنگهای ناهمگن ژوراسیک احداث شده سنگها عبارتنداز شیست، میکاشیست، شیست سیلیسی تاکوارتزیت که سنگی شیست-سیلیسی و کوارتزیت با بین لایه های از زغال و گرافیت می‌باشد بنابراین سنگها درمحل سد یا متورق یا دارای شیتوزته هستند، سنگ کف توسط کود برداری و تزریق تحکیم شده است.
۴	کرج	بتونی دو قوسی	۱۸۰	۲۹۰	مخزنی - برقابی - آبیاری	روی دره ائی باریک از سری سنگهای تشکیلات کرج احداث شده سنگها عبارتند از رس سنگ، لای سنگ، ماسه سنگ، توف و توف برش و لایه ایی از دیوریت به صورت سیل که تمامی جسم سد روی آن واقع شده است.

جدول ۶-۲ (ادامه): خصوصیات سدهای ایران

ردیف	نام سد	نوع سد	ارتفاع به متر	طول تاج به متر	هدف	مشخصات زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن و گسل‌های مجاور
۵	جیرفت	قوسی بتنی	۱۳۲	۲۵۰	مخزنی - برقابی- کشاورزی	احداث شده در تنگه‌ای از آهک‌های ارلیگوسیوسن
۶	ساوه	قوسی بتنی و سنگی	۱۰۰	۲۶۲	مخزنی - کشاورزی - برقابی	احداث شده در تنگه‌ای از سنگ‌های آهکی که در تکیه گاهها روی آنرا ماسه سنگ و کنگولرا پوشانده است، روی سنگ پی آهک آبرفت به ضخامت ۳۵/۵ متر متشکل از ماسه نرم تا تخته سنگهای به قطر۵ متر بوده است، سنگهای تشکیل دهندهٔ مخزن کنگولرای پلیوسن می‌باشند.
۷	طرق	بتنی قوسی	۶۵	۳۰۰	مخزنی - کشاورزی - شهری	در دره باریک واقع شده روی سنگهای گرانیتی احداث شده که جهت رسیدن به سنگ سالم در پی مقداری گودبرداری شده است در مخزن سد سنگهای دگرگونی مجاورتی موجود هستند.
۸	کارده	بتنی قوسی	۵۰	۱۲۲	مخزنی - کشاورزی - شهری	در تنگه‌ای از سنگهای آهک مزدوران احداث شده که جهت آب‌بندی سنگ کف و تکیه گاه احتیاج به تزریق بتون داشته اند.
۹	سفید رود	بتونی پایه‌دار	۱۰۶	۴۲۵	مخزنی- کشاورزی - برقابی	در درهٔ باریکی از سنگهای آتش‌فشانی کرج احداث شده و حول‌وحوش آن کسل فعالی وجود دارد که در طی زلزله سال ۶۹ فعالیت آن مشخص شد از دیگر مسائل آن رسوب است که عمر مفید سد را کاهش داده است، ضمناً در زمان احداث در جهت رسیدن به سنگ سالم، گودبرداری انجام شده است.
۱۰	میناب	بتونی پایه دار	۶۰	۴۵۰	مخزنی- کشاورزی- شهری	در دره عریضی از طبقات ماسه سنگی احداث شده است.
۱۱	لتیان	بتنی پایه‌دار	۱۰۷	۴۵۰	مخزنی- کشاورزی - شهری	در دره ای باریک از سنگهای آتش نشانی وکنگولرا احداث شده و در پایاب در نزدیکی راست موضوع لغزش زمین وجود داشته که با حفر یکسری ترانشه از آن جلوگیری شده است.

جدول ۶-۲ (ادامه): خصوصیات سدهای ایران

ردیف	نام سد	نوع سد	ارتفاع به متر	طول تاج به متر	هدف	مشخصات زمین شناسی پی و تکیه‌گاهها و مخزن و گسل‌های مجاور
۱۲	اکباتان	بتنی پایه دار	۶۶	۳۸۶	مخزنی - آشامیدنی	در دره‌ای باریک ازسنگهای دگرگونی و رسوبی احداث شده که سنگهای دگرگونی عبارتند از شیست و سنگ لوح ژوراسیک میانی، شیست از ژوراسیک فوقانی و شیست آهکی با تورق زیاد و سنگ رسوبی آهک کرتاسه تحتانی، سنگهای مذکور به شدت چین‌خورده و دارای گسل می‌باشند سنگ کف گودبرداری و در بعضی جاها به علت ضعف بتون متخلخل به جای سنگ قرار داده‌اند. این سد هم مسئله رسوب داشته که از عمر مفید سد کاسته است
۱۳	تاریک	وزنی دریچه دار	۱۰	۲۵۰	انحرافی	در میان آبرفتهای رودخانه سفید رود احداث شده است.
۱۵	سنگر	وزنی بتونی	۷	۱۲۵۰	انحرافی کشاورزی	در میان آبرفتهای رودخانه سفید رود احداث شده است.
۱۶	طالقان	وزنی بتونی	۷	۲۵۰ متر	انحرافی	روی کنگلرای ائوسن احداث شده و فاصله آن تا اولین گسل ۷ کیلومتر و از لحاظ فعالیت لرزه‌خیزی خطرناک می‌باشد.

جدول ۶-۲ (ادامه): خصوصیات سدهای ایران

ردیف	نام سد	نوع سد	ارتفاع به متر	طول تاج به متر	هدف	مشخصات زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن و گسل‌های مجاور
۱۷	دروزن	خاکی	۶۰	۷۵۰	مخزنی- آبیاری کشاورزی	
۱۸	تنگ ۱	خاکی با هسته رسی	۴۰	۸۰۰	مخزنی	احداث شده درزمینهایی که تناوب سنگهای مارن قرمز، گچ ماسه سنگ و کنگلورا و رسوبات آبرفتی آنرا پوشانده و پی سد از تراف- خاکستر آتش فشان و آگلومرا است، ضخامت رسوبات پوششی روی- پی حدود ۸ متر و سنگهای تشکیل دهندهٔ مخزن مارن و ماسه سنگ و کنگلورا هستند.
۱۹	پیشین	خاکی سنگی با سرریز بتنی	۶۳	۴۰۰	مخزنی	احداث شده دردره‌ایی نسبتاً باریک از تناوب ماسه سنگ و شیل که سنگ کف پی ماسه سنگ است که توسط آبرفت به ضخامت ۵ متر پوشانده شده و سنگهای مخزن تناوب شیل و ماسه سنگ و ماسه سنگ اصلی می‌باشند، مابین بدنه اصلی سد و سر ریز بتنی برونزد طبیعی ماسه سنگها راداریم.
۲۰	گلپایگان	خاکی با هسته رسی	۵۶	۳۶۰	مخزنی کشاورزی	احداث شده دردره‌ای نسبتاً باریک ازسنگهای تریاس فوقانی تا ژوراسیک که جنس آنها انواع شیل‌ها تا اسلیت می‌باشد، جهت رسیدن به سنگ کف سالم مقداری گودبرداری انجام شده است.
۲۱	پانزده خرداد	خاکی	۵۳	۳۱۰	مخزنی کشاورزی پرقابی	طراحی‌شده جهت احداث در دره‌ای باریک از جنس گرانیت که ضخامت آبرفت روی پی حداکثر ۳۶ متر بوده است سنگهای تشکیل دهنده مخزن عبارت از گرانیت، گرانودیوریت و سنگهای آهکی هستند که سنگهای اخیردارای آثار کارستی باشند.
۲۲	لار	خاکی با هسته رسی	۱۰۵	۱۱۷۰	آشامیدنی	دریك دره عریض از سنگهای ژوراسیك و آتش فشانهای جدیدتر احداث شد سنگ کف گوناگون و عمق فرسایشی زیادی دارد به طوریکه زیر پرده آب‌بند هنوز مواد هوازده موجودند و آهك‌های لار هم به شدت کارستی بوده و دارای فرار آب می‌باشند و عملیات تزریق بتون تا حال حاضر نتوانسته جلوی آنرا بگیرد مقطع زمین‌شناسی محل احداث سد بسیار جالب می‌باشد و گوناگونی لایه ها در تکیه گاهها جالب هستند.

جدول ۶-۲ (ادامه): خصوصیات سدهای ایران

ردیف	نام سد	نوع سد	ارتفاع به متر	طول تاج به متر	هدف	مشخصات زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن و کسل‌های مجاور
۲۳	وشمگیر	خاکی همورن	۲۰	۴۳۰	مخزنی- کشاورزی	احداث شده در زمین های پست لسی دشت گرگان که تکیه گاهها آبرفت و تراسهای خود رودخانه گرگان هستند.
۲۴	بارون	خاکی با هسته رسی	۷۷	۲۱۰	مخزنی- کشاورزی	طراحی شده جهت احداث در تنگه ایی از سنگهای آهکی، کنگلورا و شیست ودولومیت که سنگ پی از آهک و شیست می باشد که تفاوت سنی آنها ازدونین تا اولیگومیوسن می باشد ضخامت آبرفت پوششی ۵ متر و سنگهای سازنده مخزن مارن و ماسه سنگ می باشند.
۲۵	ارس	خاکی با هسته رس	۴۶	۹۲۵	مخزنی- کشاورزی- برقابی	احداث شده در یك کوری از سنگهای کنگلورا که لایه بندی ضخیمی داشته و نسبتاً محکم می باشند موضوع قابل ذکر اینکه ارس با سرریز از روی تاج می باشد که یك سد خاکی استثنایی است.
۲۶	مغان ارس	خاکی	۱۲	۱۴۰	انحرافی- کشاورزی	درزمین های لسی دشت مغان و روی آبرفتهای رودخانه ارس احداث شده و فاصله آن تا نزدیك ترین گسل ۴۰ کیلومتر می باشد.
۲۷	علویان در حال احداث	خاکی با هسته رسی	۷۰	۹۳۵	مخزنی- کشاورزی	در دره ای عریض از توفهای آتش فشانی احداث شده که سنگ پی آن رسوبات آبرفتی رودخانه ای، توف آتش فشانی وسنگهای رسوبی است، ضخامت آبرفت حدود ۲۵۴ است و سنگهای تکیه گاه سد تراسهای رودخانه ای می باشند فاصله محل سد تا نزدیك ترین گسل حدود ۱۲/۵ کیلومتر است که به لحاظ وقوع زلزله مهم می باشد.
۲۸	زرینه رود	خاکی با هسته رسی	۴۷/۵	ـــــ	مخزنی- کشاورزی	در دره ای عریض از جنس سنگهای کرانیت- گنیس احداث شده که همین سنگ به عنوان پی و تکیه گاهها بوده که با مواد پوششی از جنس ماسه و شن به ضخامت ۴۰ متر درپی و حدود ۱۶ متر در تکیه گاهها مواد فرسایشی بوده اند وسنگ مخزن دریاچه سد شیست و آهك و کرانودیوریت می باشند، به علت وقوع سنگهای قدیمی و دگرگونی در محل جسم سد مسائل ریزش و لغزش وجود داشته که مهار شده اند و در اضافه کردن تاسیسات بعدی سد این مسئله باید مدنظر طراحان قرارگیرد.

جدول ۶-۲ (ادامه): خصوصیات سدهای ایران

ردیف	نام سد	نوع سد	ارتفاع به متر	طول تاج به متر	هدف	مشخصات زمین شناسی پی و تکیه گاهها و مخزن و گسل‌های مجاور
۲۹	مهاباد	سنگریز با هسته رسی	۴۶/۵	۷۰۰	مخزنی- کشاورزی آشامیدنی	این سد در دهانه عریض از سنگ‌های کرتاسه بنا شده است که به شدت فتروژن هستند بهرحال بیشترین جنس سنگهای تکیه گاهها اسلیت، شیل و سنگ آهک می‌باشند و هم چنین طبقات کنگلرایی و سیلت سنگی نئوژن هم به عنوان بخشی از تیکه گاهها و پی این سد می باشند، سنگهای کرتاسه به شدت فرسوده و تکتونیزه می‌باشند و هم‌چنین سنگهای نئوژن مقاومت باربرداری لازم را نداشته و جسم سد واقع شده روی این تشکیلات نشست و حرکت دارد هم‌چنین در بعضی از دامنه های مخزن، امکانات لغزش و ریزش وجود دارد.
۳۰	قشلاق	خاکی- سنگی با هسته رسی	۷۵	۲۰۰	مخزنی- کشاورزی آشامیدنی	در یك تنگه از سنگهای آندزیتی و آگلومرا احداث شده که در سطح دارای درز و شکاف بوده ولی در عمق کاملاً سالم می‌باشند در محل سر ریز سد، تشکیلات دارای گسل می‌باشند و فاصله اولین گسل بزرگ تا سد ۳ کیلومتر می‌باشد که به لحاظ لرزه خیزی بسیار خطرناك می‌باشد.

فصل هفتم
خلاصه و نتیجه گیری

۷ – ۱ – کلیات

در مورد انتخاب نوع سد در حدود آنچه در این نشریه آمده بحث میگردد که مسلماً از اولین مراحل این کار شروع و بعضی از فاکتورهای آن مثل زمین شناسی تا انتهای عمر مفید سازه هنوز تاثیر خود را برآن حفظ می نمایند، همانطور که بحث شد و در نتیجه گیری انتهای فصل ششم آمد فاکتورهای توپوگرافی، ژئومورفولوژی، شکل روئی سطح زمین محل احداث سد و مخزن آنرا تعیین و مناسب با آنها نوع سد به طور عمومی معین میگردد ولی شرایط زمین شناسی، معیارهای مهندسی سنگ ها که در اثر مطالعات و کاوشهای بعدی بدست می آید کاملاً دو فاکتور قبلی را تحت تاثیر قرار داده و شاید ایده آل ترین محل ها جهت احداث سد از نظر دو فاکتور اولی به لحاظ شرایط حاد زمین شناسی، به کنار گذاشته شود، اما به لحاظ اصولی رعایت سلسله مراتب کارها امری معقول بوده بنابراین اگر در منطقه ای تصمیم گیری جهت احداث سد اتخاذ شود در مرحله اول توپوگرافی، شکل زمین محل، نوع سد را معین نموده و سپس شرایط زمین شناسی آن بدقت شناسائی و براساس آن طرح تائید یا رد میگردد، موضوع قابل ذکر این است که شرایط زمین شناسی محل سد را تا سرحد امکان بایستی به نحوی شناخت که تاثیر منفی آن نه تنها در طول طراحی و ساخت، حتی در مراحل بهره برداری هم بروز ننماید، این موضوع را با عنایت به جدول فصل ششم و مطالب آن میتوان دریافت.

همانطور که در بخش ۴ – ۷ فصل چهارم آمده مرحله انتهائی مطالعات زمین شناسی سدها ارزیابی و تجربه اندوزی بود بدین معنی که از نتایج مطالعات زمین شناسی اولیه و هنگام ساخت و بهره برداری سدهای ایجاد شده، بتوان به نحو احسن در طراحی ها و مطالعات محل های پیشنهادی دیگر جهت احداث سد با کمترین هزینه ها استفاده نمود.

بنابراین پایه و اساس روش در فصل هفتم انده ارزیابی و تجربه اندوزی بوده که به صورت یکسری جداول راهنما تنظیم شده و شخص استفاده کننده با رجوع به جداول براساس یکسری شرایط اولیه، نوع سد مناسب و مشکلات زمین شناسی پیش آمده در طول طراحی، احداث و بهره برداری سدهای ساخته شده را در می یابد، منظور از تدوین مشکلات و معضلات زمین محل احداث سد، انتقال تجربیات زمین شناسی است که دیگر دست اندرکاران در محل های مختلف و حین کار به آن رسیده و آنرا لمس نموده اند و بنابراین استفاده کننده از جدول بایستی احتمال آن مشکلات و مضرات زمین شناسی را برای محل های مورد نظر خود جهت احداث سد داده و هزینه کنترل آنرا در صورت موفق بودن اجرا در نظر گرفته و در صورت عدم توفیق از لحاظ کنترل، در زمان و موقع مناسب طرح را تعطیل نماید.

جدول براساس نوع دره، سنگ تکیه گاه و پی، قدرت باربرداری سنگ، نوع سد مناسب، مشکلات و معضلات زمین شناسی، سد مناسب و تعویض محل پیشنهادی تنظیم شده که نحوه استفاده از آن به این ترتیب میباشد ستون یك تا دو جدول مراحل عادی انتخاب سد را نشان داده و ستون سوم مشکلات زمین شناسی در ارتباط با نوع سنگ و ضخامت آبرفت روی آنرا نشان میدهد که اگر بتوان با تعویض نوع سد معضل را خنثی نمود بنابراین در ستون بعدی انواع مناسب آن آمده در غیر این صورت تعویض محل پیشنهاد میگردد.

لازم به تذکر است که استفاده کننده از جدول بایستی دارای اطلاعات اولیه از علم زمین‌شناسی بوده که تا قادر به بهره برداری مفید از آن باشد.

صرف نظر از مشکلات زمین شناسی قید شده در جدول وجود گسل های فعال در پی و تکیه گاه و مخزن سد مسئله ساز بوده و در صورت حاد بودن شرایط زمین شناسی آنها

بایستی محل پیشنهادی جهت احداث سد را تغییر داد موضوع دیگر وضعیت لایه بندی سنگهای رسوبی در سنگ پی و مخزن است که اگر به فرار آب کمك نماید، بایستی محل احداث سد را تغییر داد، وضعیت پایداری دامنه های مشرف برتاج سد و تأسیسات وابسته آن و مخزن سد از نظر ریزش و لغزش و جریان گل مهم بوده و بایستی حالات زمین شناسی آنها قبل از احداث و بعد از آن بررسی و طرحهای کنترل آنها اجرا گردد.

در خاتمه یادآور میگردد که به علت گستردگی و پیچیدگی حالت های زمین شناسی دره های مختلف، به همان صورت ما تعدد حالت های گوناگون زمین شناسی محل احداث سدها را داریم بویژه در ایران که زمین شناسی آن جوان و کاملاً گوناگون و پیچیده میباشد و بنابراین هر محلی که جهت احداث سد در پوسته ایران در نظر بگیریم ویژگیهای خاص زمین شناسی را دارد که بایستی بررسی گردد برای مثال رودخانه کارون در ایران را نام می بریم که از سرچشمه تا محل ورود به خلیج فارس از ۳ زون زمین شناسی مهم زاگرس عبور می نماید که هر کدام خاصه های زمین شناسی ویژه ای دارند، اما با این حال، مسائل زمین شناسی ذکر شده در این نشریه از راه تجربه در هنگام مطالعات و ساخت دیگر سدها بدست آمده و امیدواریم که در آینده کامل تر شود.

جدول ۷-۱: راهنمای انتخاب نوع سد و شناسایی مشکلات در تنگه‌ها

سنگ پی و تکیه‌گاه	سد مناسب درحالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سد مناسب	تعویض محل
گرانیت با قدرت باربرداری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع جهت پی و ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع جهت تکیه گاهها	سد دو قوسی نازک بتونی	وجود هوازدگی سطحی سنگ با عمق زیاد	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		در صورت عمق نامناسب هوازدگی	برداشتن مواد هوازده تاسنگ کف سالم	» »	ـــــ
		در صورت عدم دسترسی به سنگ کف سالم به علت ضخامت زیاد مواد هوازده پوششی	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		وجود کانی کانولن درسطح یا عمق سنگ	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود درزه و شکاف در اعماق و بدنهٔ سنگ که غیر قابل کنترل باشند	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		در صورت گران بودن هزینه ترمیم پی و وجود شرایط نامساعد غیر عادی	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
گابرو، آندزیت، دواریت، بازالت و توف‌های ولکانیکی با قدرت باربرداری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی مربع جهت پی و ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع جهت تکیه گاهها	سد دوقوسی نازک بتونی	وجود کانی‌سرپن تین که مقاومت‌سنگ را کاهش می‌دهد	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود درزه و شکاف و تخلخل	تزریق بتون	ـــــ	ـــــ
		ضخامت زیاد مواد پوشاننده ولکانیکی و نامشخص بودن وضعیت سنگ زیرین آن	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		سبک بودن سنگ و تخلخل غیرقابل کنترل آن	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		فرسایش ژئوشیمیائی کانی‌ها به نحویکه مقاومت اولیه سنگ کاهش یابد	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		درصورت عدم کنترل فرسایش ژئوشیمیائی	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است

جدول ۷-۱ (ادامه): راهنمای انتخاب نوع سد و شناسایی مشکلات در تنگه ها

سنگ پی و تکیه گاه	سد مناسب درحالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سد مناسب	تعویض محل
آمفی‌بولیت با قدرت باربرداری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متربربع جهت پی ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع جهت تکیه گاهها	سد دو قوسی نازک بتونی	وجـود کانی میکا، کلریت، تالک که به سنگ تورق برشی بدهد	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		وجـود زون فرسایش یافته مابین گنیس و میکاشیست	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		وجـود لایه هـای ضعیف گرانیت شیست، گرانیت گنیس و کوارتزیت	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		وجود درزه و تخلخل با مقدار عادی	تزریق بتون	ـــــ	ـــــ
انواع دیگر سنگهای دگرگونی با قدرت باربرداری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع جهت پی ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم برسانتی متر مربع جهت تکیه گاهها	سد دو قوسی نازک بتونی	وجود درزه وشگاف و شکستگی	ـــــ	سد وزنی	ـــــ
		ضخامت زیاد رسوبات آبرفتی و واریزه ای	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
انواع آهک ها با قدرت باربرداری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع جهت پی و ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم جهت تکیه گاهها	سد دو قوسی نازک بتونی	وجود کارست و پدیده های همراه آن	تزریق بتون	همان حالت عادی	ـــــ
		وجود کارست و پدیده های همراه آن که قابل شناخت و کنترل نباشد	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
		وجود درزه و شکاف	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		وجود لایه رس مابین لایه های آهک که با وجود بار روی آنها لغزنده شوند	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
ماسه و مارن و کنگلرا با قدرت باربرداری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی	سد دوقوسی نازک بتونی	ضعف بوجود آمده مابین لایه های مختلف رسوبی	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود لایه رُس مابین لایه ها	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است

جدول ۷-۱ (ادامه): راهنمای انتخاب نوع سد و شناسایی مشکلات در تنگه‌ها

سنگ پی و تکیه‌گاه	سد مناسب درحالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سد مناسب	تعویض محل
متر مربع جهت پی و ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع جهت تکیه گاهها		هوازدگی سطح سنگ	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		تبدیل و هوازدگی شیمیائی کانیهای سنگ با عمق کم	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		تبدیل و هوازدگی شیمیائی کانیهای سنگ با عمق زیاد و غیر قابل کنترل	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		وجود سیمان ضعیف در سنگ کنگلورا	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		درصورت ضعف شدید	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است

جدول ۷-۲: راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دره های باریک

سنگ پی و تکیه گاه	سدمناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سدمناسب	تعویض محل
گرانیت با قدرت باربرداری ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع	سد بتونی پایه دار یا چند قوسی	علاوه بر مشکلات ذکرشده جهت تنگه ها	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		ضخامت ظاهری آبرفت پوششی سنگ کف	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود کانی کانولن در سنگ با جابجائی ظاهری در اثر فشار	ـــــ	فقط سد پایه دار	ـــــ
		وجود کانی کانولن درسنگ با جابه جائی زیاد در اثر فشـــار	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
گابرو، آندزیت، دولریت، بازالت و توفهای ولکانیکی با قدرت باربرداری ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم برسانتی مترمربع	سد بتونی پایه دار یا چند قوسی	علاوه برمشکلات و مسائل ذکرشده برای تنگه ها	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		وجود ضعف به علت وقوع لایه نازك بازالت روی سنگ کف لغزنده در پایه ها و زیرجسم سد	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
آمفی بولیت با قدرت باربرداری ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع	سدبتونی پایه دار یا چند قوسی	علاوه برمشکلات و مسائل ذکرشده برای تنگه ها	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		وجود دو لایه محکم از انواع آمفی بولیت ها مجاور هم در پی و تکیه گاهها که هرسنگ به تنهائی مقاومت لازم را دارد اما دراثرفشار دولایه تغییر شکل میدهند	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
انواع دیگر سنگهای دگرگونی باربرداری ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع	سد بتونی پایه دار یا چند قوسی	علاوه بر مسائل و مشکلات ذکر شده درتنگه ها	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		وجود ماده گرافیت به صورت مجتمع یا لایه ای با سنگ های دیگر	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
		وجود شیست و لایه های نازك آن در مابین سنگ های محکم	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سدالزامی است

جدول ۷-۲ (ادامه): راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دره‌های باریک

سنگ پی و تکیه گاه	سدمناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سدمناسب	تعویض محل
انواع آهک ها با قدرت باربرداری ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع	سدبتونی پایه دار یا چند قوسی	علاوه برمسائل و مشکلاتی که درتنگه ها ذکرشد	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		وجود لایه توف آهک که عمل لغزش مابین لایه های تحت فشار را آسان می نماید	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
ماسه سنگ و مارن و کنگلورا با قدرت باربرداری ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم برسانتی متر مربع	سد بتونی پایه دار یا چند قوسی	علاوه برمشکلات و مسائلی که جهت تنگه ها داشتند	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		وجود رُس در متن ماسه یا مارن	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود اجزاء نرم در متن کنگلورا	ـــــ	سد خاکی	ـــــ

جدول ۷-۳: راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دره‌های عریض

سنگ پی و تکیه گاه	سدمناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سدمناسب	تعویض محل
گرانیت با قدرت باربرداری ۸ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع	سد وزنی بتونی یا سد وزنی بتونی سنگی	فوازدگی سطحی سنگ،	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		درصورت شکستگی و خردشدگی زیاد سنگها	ـــــ	سدوزنی باطول زیادیا پایه دار	ـــــ
		در صورت زیاد بودن عمق آبرفت روی سنگ یا زیاد بودن عمق فوازدگی	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		درصورت وجود پی مناسب با قدرت تحمل فشارهای مستقیم و وجود زمین لغزه	ـــــ	سد پایه دار اقتصادی تر است	ـــــ
گابرو، آندزیت، دولریت، بازالت و توفهای ولکانیکی با قدرت باربرداری ۸ تا ۱۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع	سد وزنی بتونی یا سد وزنی بتونی سنگی	کم بودن مقاومت سنگ	تزریق بتون سایر کارهای ترمیمی	همانند حالت عادی	ـــــ
		زیادبودن مقاومت سنگ بیش از حد انتظار	ـــــ	سدپایه دار اقتصادی تراست	ـــــ
		در صورت پیچیده بوده طبقات سنگ پی و نا مشخص بودن آنها	ـــــ	سد سنگ چین	ـــــ
آمفی بولیت با قدرت باربرداری ۸ تا ۱۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع	سدوزنی بتون یا سدوزنی بتونی سنگی	درصورت بالا بودن مقاومت سنگها	ـــــ	سدپایه دار اقتصادی تراست	ـــــ
		رصورت متنوع بودن سنگها و پیچیده بودن وضعیت زمین شناسی	ـــــ	سدسنگ چین	ـــــ
		درصورت فراهم بودن مواد برای ساخت	ـــــ	سدسنگ، چین	ـــــ
انواع دیگر سنگ های دگرگونی با قدرت باربرداری ۸ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر	سد وزنی بتونی یا سد وزنی بتونی - سنگـــی	درصورت بالا بودن مقاومت و مشخص بودن وضعیت زمین شناسی	ـــــ	سد پایه دار	ـــــ
		در صورت درهم بودن سنگها و تنوع زیاد آنها	ـــــ	سد سنگ، چین	ـــــ
		در صورت وجود زمین لغزه	ـــــ	سد پایه دار	ـــــ

جدول ۷-۳ (ادامه): راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دره‌های عریض

سنگ پی و تکیه گاه	سد مناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سدمناسب	تعویض محل
تناوب شیل و ماسه سنگ با قدرت باربرداری حدود ۸ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع	سدوزنی بتونی یا سدوزنی بتونی سنگـــی	اگر مقاومت بیش از حد لزوم باشد	ـــــ	سدپایه دار	ـــــ
		اگرمقاومت کمترازحد انتظارو لایه‌هانازک‌باشند	ـــــ	سدخاکی یا سنگ چین	ـــــ
شن وریگ و آبرفت باقدرت باربرداری حدود ۸ تا ۱۰ کیلوگرم برسانتی‌متر مربع	سد وزنی‌بتونی‌یا سد وزنی‌بتونی سنگـــی	عمق مواد آبرفتی و شن و ریگ روی سنگ سخت نبایستی بیش از ۶ تا ۹ متر باشد، درصورت زیاد بودن	برداشتن رسوبات پوششی	همانند حالت عادی	ـــــ
		درصورت عدم‌امکان برداشت رسوبات پوششی و آبرفت های ضخیم	ـــــ	سدخاکی یا سنگ چین	ـــــ
رس و لُس با قدرت باربرداری حدود ۸ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع	سد وزنی سنگی	همراه بودن لایه های نازك شن و ماسه و یا کنگلورا یادیگرتشکیلات که پی را گوناگون میکند	ـــــ	سدخاکی	ـــــ
		وجود لایه های رُس که حالت صابونی و لغزش را ایجاد نماید	ـــــ	ـــــ	تغییر محل‌سدالزامی است
انواع آهك ها با قدرت باربرداری ۸ تا ۱۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع	سد وزنی بتونی یا سد وزنی بتونی - سنگـــی	درصورت وجود داشتن مقاومت زیاد و فقط احتمال زمین لغزه	ـــــ	سد پایه دار	ـــــ
		در صورت وجود لایه های نازك آهك و وجود میلونیت شیل	ـــــ	سد سنگ چین	ـــــ
		وجود کارست شدید	ـــــ	ـــــ	تغییر محل‌سد الزامی است

جدول ۷-۳ (ادامه): راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دره‌های عریض

سنگ پی و تکیه گاه	سدمناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سدمناسب	تعویض محل
ماسه سنگ و مارن و کنگلورا با قدرت باربرداری ۸ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع	سد وزنی بتونی یا سد وزنی بتونی - سنگـــی	وجود لایه شیل میلونیتی	ـــــ	سد سنگ چین	ـــــ
		در صورت وجود لایه های رُس فراوان و قدرت باربرداری کمتر از حد انتظار	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود سیمان سست در کنگلورا	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود قطعات هوازده سنگی در کنگلورا	ـــــ	سد خاکی	ـــــ
		وجود مقاومت بالای کنگلورا و وجود لایه های لغزنـــده	ـــــ	سد پایه دار	ـــــ

جدول ۷-۴: راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دشتها

سنگ پی و تکیه گاه	سدمناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سد مناسب	تعویض محل
گرانیت	انواع سدخاکی با ارتفاع کم	فرسودگی و هوازدگی شدید سنگ با عمق زیاد	ایجاد پرده آب بند	همانند حالت عادی	ـــــ
		درصورت عدم کنترل هوازدگی عمیق	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
گابرو، آندزیت، دولریت، بازالت، توفهای ولکانیکی	انواع سد خاکی و سنگ چین با ارتفاع کم	به غیر از سنگ بازالت و توفها ، دربقیه سنگها فرسودگی و هوازدگی شدید حاکم است	ایجاد پرده آب بند	همانند حالت عادی	ـــــ
		در صورت عدم کنترل هوازدگی با عمق زیاد	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
		در مورد سنگ بازالت عمق و حالت فیزیکی سنگ زیرین آن مطرح است	ـــــ	ـــــ	ـــــ
آمفی بولیت	انواع سدخاکی و سنگ چین با ارتفاع	نوع هوازدگی و عمق آن و وجود کانی های مسئله دار میکا و تالک قابل ذکر هستند.	ـــــ	ـــــ	ـــــ
		عدم کنترل هوازدگی و وجود داشتن کانیهای میکا، کلریت و تالک در سنگ پی	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
انواع دیگر سنگ های دگرگونی	سدخاکی یاسنگ چین با ارتفاع کم	نوع هوازدگی و عمق آن که در بالا تذکر داده شد در مورد این سنگها هم صادق است	ـــــ	ـــــ	ـــــ
ماسه سنگ و مارن و کنگلورا	سدخاکی یا سنگ چین با ارتفاع کم	وجود لایه مارن در مابین طبقات ماسه سنگی که درصورت خیس شدن حالت صابونی را بوجود آورد	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است

جدول ۷-۴ (ادامه): راهنمای انتخاب نوع سد و شناسائی مشکلات در دشتها

سنگ پی و تکیه گاه	سدمناسب در حالت عادی	مشکلات و معضلات زمین شناسی	عملیات ترمیمی	سد مناسب	تعویض محل
تناوب شیل و ماسه سنگ	سد خاکی یا سنگ چین باارتفاع کـــم	وجود لایه های شیل نازک مابین ماسه سنگها که در صورت بحرانی بودن	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
		وجود رُس در متن ماسه سنگ که دراثررطوبت حالتهای فیزیکی ناشناخته ای را بوجود آورد	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است
شن و ریگ و آبرفت	سدخاکی یا سنگ چین باارتفاع کـــم	وجود نفوذ پذیری زیاد	تزریق بتون	همانند حالت عادی	ـــــ
		در صورت عدم کنترل نفوذ پذیری زیاد	ـــــ	ـــــ	تغییرمحل سد الزامی است
رُس و لُس	سد خاکی یا سنگ چین با ارتفاع کـــم	درصورتیکه رُس با آب تورم و یا حرکت ایجاد نماید	ـــــ	ـــــ	تغییر محل سد الزامی است

واژه‌نامه

A

Abutment	تکیه گاه
Adit	راهرو دسترسی
Apron	کف بند
Arch dam	سد دو قوسی

B

Barrage	بند با دریچه های متحرك
Bed Rock	لایه سنگی کف - سنگ کف
Blanket	روکش ثانوی
Borrow area	محل قرضه مواد ساختمانی
Buttress dam	سد پایه دار

C

Coffer dam	فرازبند یا بند موقت
Conduit	مجرای آب
Core - wall type rock fill dam	سد سنگ چین هسته دار
Core wall	هسته یا دیوار هسته‌ای
Creep	خزش
Crest	تاج سد
Cupola dam	سد کنبدی

Curtain Wall	دیواره سپری
Curved Gravity dam	سد وزنی قوسدار
Cutoff Trench	خندق آب بند
Cutoff wall	دیوار آب بند

D

Dam axis	محور سد
Diaphragm	پرده آب بند
Diversion dam	سد انحرافی
Diversion structure	سازه های انحراف آب
Downstream	پایاب
Drainage gallery	گالری زهکش

E

Earthquak Factor	فاکتور زلزله
Earth dam of Embankment	سد خاکی

F

Factor of safty	ضریب اطمینان
Filter	صافی
Flat Country, Plains	دشتها و زمین های مسطح

Flat slab buttress dam	سدهای پایه دار یك پارچه
Foundation	پی

G

Gate	دریچه
Gallery	گالری، راهرو، نقب
Gorges	تنگه
Gravity dam	سد وزنی
Gravity method	طریقه محاسبه دو بعدی، طریقه ثقلی
Grout Curtain	پرده تزریق
Crouting	تزریق بتون

H

Hollow dam	سد توخالی
Homogeneous earth dam	سد خاکی همگن
Hydraulic Fill dam	سد خاکریز آبی
Hydroelectric Power house	ساختمان مرکزی نیروگاه
Hydrostatic Pressure	فشار هیدرواستاتیك

I

Inspection galleries	گالریهای بازدید
Interanl Friction	اصطحکاك داخلی
Intake	آبگیر

L

Length of dam	طول سد یا طول تاج

M

Main body	بدنه اصلی سد
Masonary dam	سد با مصالح بنائی
Multiple arch dam	سد چند قوسی
Multiple dome buttress	سد چند گنبدی

N

Narrow Valley	دره های باریك
Non overflow dam	سد بدون جریان آب از روی تاج

O

Oveflow dam	سد با جریان آبی از روی تاج آن

P

Penstock	لوله تحت فشار آب جهت توربین
Percolation	تراوش
Pile	تیر یا شمع
Piping	آب شستگی زیر پی
Pitting	فرسایش جدار
Prestressd dam	سد با بتون پیش تنیده

R

Reservoir dam	سد مخزنی
Riprap	پوشش سنگ ریز یا سنگ چین
Rock fill dam	سد سنگ چین
Rock Toe	سنگ چین یا پاب
Rolled fill dam	سد خاکی کوبیده
Rollway	قسمت سرریز سد

S

Saturated unit weight	وزن مخصوص اشباع
Seepage	نشت آب – زه آب
Separate Spillway	سرریز جداگانه
Settlement gauge	نشست یاب
Settlement allowance	نشست مجاز
Shaft	چاهك
Shear Friction Factor	ضریب اصطکاك و بُرش
Slab analogy method	روش آنالوژی با تاره
Sliding Factor	فاکتور خزش
Sluice dam	سد با دریچه زیر آبی
Solid dam	سدی که مجهز به دستگاه تخلیه نباشد
Spillway	تخلیه کننده – سرریز تخلیه
Stability Factor	ضریب پایداری
Structural heigh of dam	ارتفاع سد از پی تا تاج
Structural Vally	دره ساختمانی – که در اثر حرکات زمین بوجود آمده است

T

Timber dam	سد چوبی
Thalweg	خط القعر
Top width	عرض تاج

U

Upstream	سر آب
Uplift	نیروی بالا برنده

W

Waterstops	عوامل آب بند
Weir	سرریز در انواع گوناگون
Wide valley	دره عریض

فهرست منابع و مراجع

۱- کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۶۷، «مجموعهٔ مقالات اولین سمینار سدسازی»، وزارت نیرو

۲- کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۷۰، «مجموعه مقالات دومین سمینار سدسازی» وزارت نیرو

۳- فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی، ۱۳۶۵، وزارت نیرو

۴- ارزیده فرشید، ۱۳۵۹، «سد سازی یا مهار آبهای سطحی»، انتشارات کتابفروشی دهخدا

۵- معماریان حسین، ۱۳۷۲، «زمین شناسی برای مهندسین»، انتشارات دانشگاه تهران

۶- احمدی حسن، ۱۳۶۷، «ژئومورفولوژی کاربردی»، انتشارات دانشگاه تهران

۷- جمعدار عباس، ۱۳۶۸، «جزوه درسی ژئوتکنیک»، انتشارات دانشکده صنعت آب و برق

۸- خورسندی آقائی احمد، ۱۳۶۹، «جزوه درسی زمین شناسی مهندسی»، انتشارات دانشکده صنعت آب و برق

۹- طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰، «بررسی های زمین شناسی مهندسی و توپوگرافی - خلاصه ویژگیهای فیزیکی زمین شناسی، ساختگاههای سد در ایران زمین»، وزارت نیرو

۱۰- وفائیان م، ۱۳۶۵، «سدهای خاکی و پاره‌سنگی»، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان

۱۱- افشار عباس، نیک‌صفت غلامرضا، ۱۳۷۰، «طراحی سازه‌های هیدرولیکی سدهای کوچک»، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران

۱۲- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۷، گزارش زمین شناسی سد دز

۱۳-مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد زرینه رود

۱۴- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد سفید رود

۱۵- مهندسین مشاورمهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد زاینده رود

۱۶- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۶ گزارش زمین شناسی سد گلپایگان

۱۷- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد گرگان

۱۸- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۵، گزارش زمین شناسی سد کرج

۱۹- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد کارون

۲۰- مهندسین مشاورمهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد میناب

۲۱- مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد قشلاق

۲۲- مهندسین مشاورمهاب قدس، ۱۳۶۶، گزارش زمین شناسی سد مهاباد

References

1- American Society of Civil Engineering, 1989, "Civil Engineering Guidlines for Planning and Designing Hydroelectric Developments"

2- Cooke J.Barry, 1985, "Concrete Face Rockfill Dams," American Society of Civil Engineering, New York

3- Jansen R.B, 1983, "Dams and Public Safety," A Water Resources Technical Publication, U.S.B.R

4- Linsley R.K, 1972, "Water Resources Engineering," Mc GRAW-Hill, Inc., NewYork

5- Ministry of Water Resources-New Delhi, 1992, "Rockfill Dams," Central Board of Irrigation and Power

6- Novak P, 1990, "Hydraulic Structures," The Academic division of Unwin Hyman Ltd, London

7- United States Committee on Large Dams, 1975, "Lessons from Dam Incidents," American Society of Civil Engineering

8- Varshney R.S. , 1988, "Concrete Dams," Oxford IBH Publishing Co. PVT. Ltd

9- U.S.B.R, 1974, "Design of Small Dams," Oxford TBH Publishing Co PVT Ltd

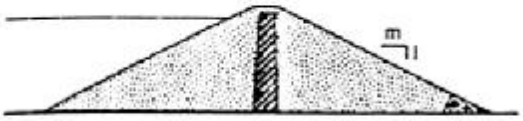
10- U.S.B.R, 1977," Design of Arch Dams," Water Resources Technical Publication, Denver

11- U.S.B.R, 1988, "Engineering Geology Field Manual"

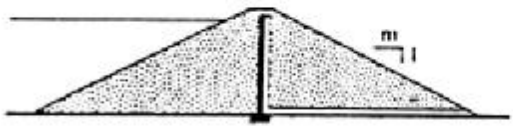
12- Weaver Ken, 1991, "Dam foundation Grouting," American Society of Civil Engineering, New York

(a) Homogeneous with toedrain: small secondary dams
m = 1.5–2.5

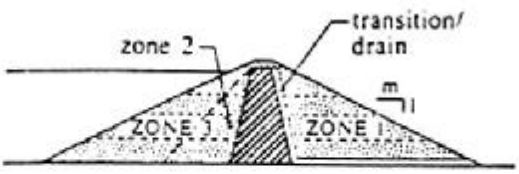
(b) Modern homogeneous with internal chimney drain
m = 2.5–3.5



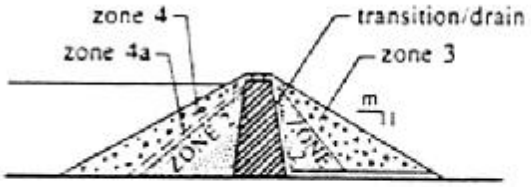
(c) Slender central clay core: 19th-century 'Pennines' type – obsolete
m = 2.0–3.0



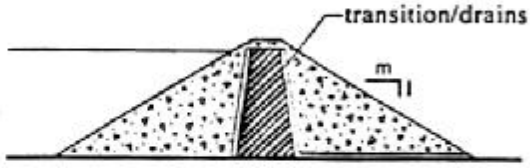
(d) Central concrete core: smaller dams – obsolescent
m = 2.0–3.0



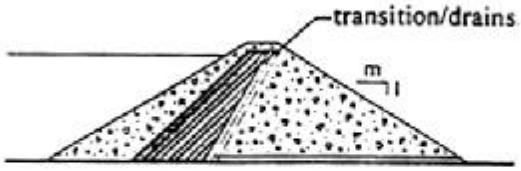
(e) Rolled clay core: zoned with transitions and drains
m = 2.5–3.5



(f) Earthfill/rockfill with central rolled clay core: zoned with transitions and drains m = 1.6–2.0

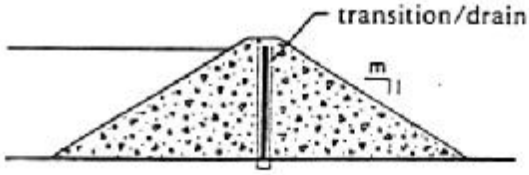


(a) Central rolled clay core
$m = 1.6-2.0$

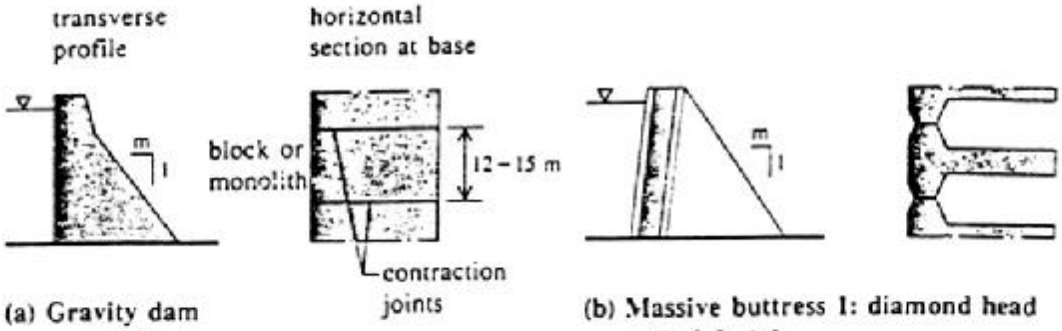


(b) Inclined rolled clay core
$m = 1.6-2.0$

(c) Decked: upstream asphaltic or concrete membrane
$m = 1.6-2.0$

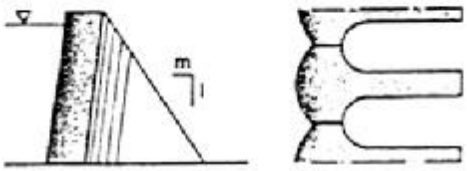


(d) Central asphaltic membrane
$m = 1.6-2.0$

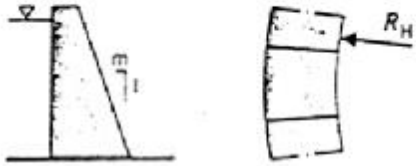


(a) Gravity dam
$m = 0.75 \pm$

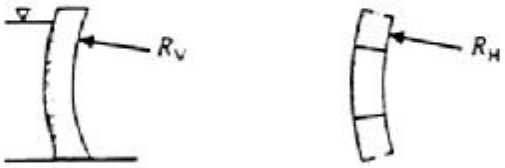
(b) Massive buttress 1: diamond head
$m = 0.8–1.0$



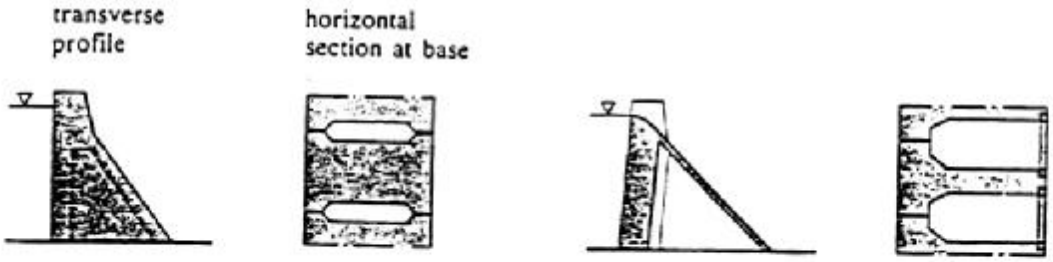
(c) Massive buttress 2: roundhead
$m = 0.8–1.0$



(d) Arch or arch-gravity
$m = 0.3–0.5$

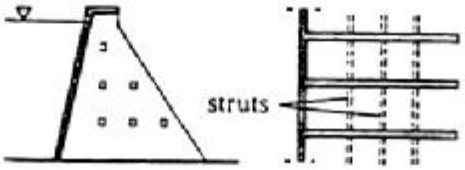


(e) Cupola or double-curvature arch

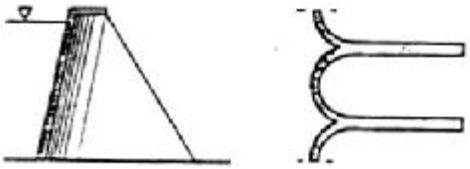


(a) Hollow gravity

(b) Decked buttress,
e.g. spillway section



(c) 'Ambursen' or flat slab buttress:
reinforced concrete construction
– obsolete



(d) Multiple arch
(multiple cupola similar)

The authors wish to thank the management at Rah Shahr and the Hydraulics department, who have provided the necessary funds and facilities to enable the completion of this paper. Special thanks are due to the editing and the typist team Ms. Mehrad and Ms. Kiaie, and the graphists Mr. Farshid Rad and Ms. Navabie. And finally thanks to all colleagues at Rah Shahr who have contributed to this effort.

In chapter five, foundation and embankment rock types, and their role in the type and structure of the dam are discussed, and the major rock types and their effect on the type of dam, and the expected problems are discussed.

In chapter six, the conditions and characteristics of existing dams which have been referred to in the previous chapters, together with already constructed dams in Iran, are presented, and discussed.

In chapter seven, a table has been prepared which is to serve as a systematic guide for the selection of dam site and type based on geomorphological and geological conditions.

It is hoped that this paper may be useful to dam engineers, planners, and designers, and that it will be an addition to the scarce Persian literature available in this subject area.

In chapter five, foundation and embankment rock types, and their role in the type and structure of the dam are discussed, and the major rock types and their effect on the type of dam, and the expected problems are discussed.

In chapter six, the conditions and characteristics of existing dams which have been referred to in the previous chapters, together with already constructed dams in Iran, are presented, and discussed.

In chapter seven, a table has been prepared which is to serve as a systematic guide for the selection of dam site and type based on geomorphological and geological conditions.

It is hoped that this paper may be useful to dam engineers, planners, and designers, and that it will be an addition to the scarce Persian literature available in this subject area.

ABSTRACT

The selection of the site and type of dam depends on many factors and conditions, which are analyzed according to a number of sciences and engineering disciplines. In this effort, many specialist including planner, hydrologists, and hydraulic, geological, and structural engineers are involved. Their role is to investigate the topography, morphology, geology, foundations, hydrogeology, available materials, hydrology, seismicity, dam stability, and hydraulic characteristics in order to determine the optimum and most economical location and design for the dam.

In general geomorphology and geology are the most important and primary factors in the determination of the dam site and type, and other aspects are investigated in later stages. Site geology and morphology determine the load bearing properties of the soil layers, their seepage characteristics, the dimensions of the dam, and therefore, the type of dam possible.

Selection of Dam Site & Type
based on
Geomorphology and Geology

Technical Journal of the Hydraulics Department
No. 1, Winter 1994

Authors: Eng.Khorsandi Aghaii, A., and Dr.S. Eftekharzadeh

Editing: Mehrad, A.

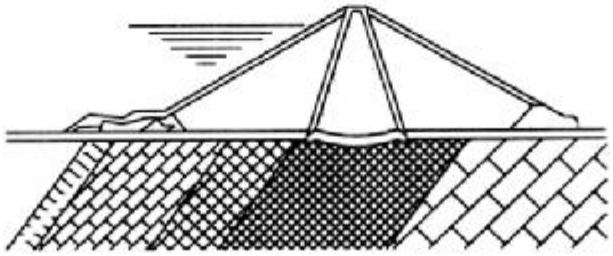
Type: Horoufchin Shahr

Printing and Type Setting: Chaap Shahr

SELECTION OF DAM SITE & TYPE

BASED ON

GEOMORPHOLOGY AND GEOLOGY



Technical Journal

Of the

Hydraulics Department

No.1, Winter 1994

RAH SHAHR

مهندسین مشاور معمار شهرساز، عمران آب، و انرژی

Architects, Urban Design, Hydraulics, & Energy Consultants