

سدهای خاکی قسمت اول

دکتر سعید خرقانی

مقدمه

- هدف اصلی احداث سد:
مهيار آبها و هدايت آن به مناطقي كه كمبود آب دارند
- علل ديگر طراحي و ساخت سد:
آبياري زمين هاي مزروعي
تامين آب آشاميدني
توليد برق آبي
كنترل سيلابها
حفاظت خاك و ...

- سد می تواند از نوع مخزنی و یا انحرافی باشد
- سد مخزنی آبهای موجود در فصلهای پر آب را جهت فصلهای کم آب ذخیره می سازد
- سد انحرافی تنها سطح آب را به اندازه کافی بالا می آورد تا آب به مسیرهای مورد نظر هدایت گردد
- سدها بطور کلی به دو دسته تقسیم می شوند:
 - ۱- سدهای بتنی که به صورت وزنی و یا قوسی هستند
 - ۲- سدهای خاکی و سنگریزه ای

مشخصات یک محل مناسب برای سد

- مشخصه اصلی یک محل مناسب برای یک سد مخزنی داشتن شکل یک بطری برای خطوط تراز توپوگرافی محل است به نحوی که یک دره تنگ در انتهای یک مخزن وسیع قرار بگیرد
- مشخصه های اقتصادی پیچیده هستند و هزینه ساخت تنها در ارتفاع انعکاس ندارند. طول سد نیز از فاکتورهای تعیین کننده دیگر است
- هیدرولوژی نیز نقش مهمی را ایفا می کند

فاکتورهای دیگر تعیین محل مناسب سد

- پی مناسب
- در دسترس بودن مصالح موردنیاز در فاصله ای مناسب از محل سد
- سرریز مناسب سد
- نشت آب از مخزن سد
- ارزش مایملکی که در زیر آب قرار میگیرند نسبت به درآمد حاصل از احداث سد
- نحوه انحراف آب به هنگام ساختمان سد

طبقه بندی سدها

- سدها ممکن است به دو گروه زیر طبقه بندی شوند
- سدهای صلب بتنی با مصالح بنایی که ممکن است وزنی؛ قوسی و یا پایه دار باشند
- سدهای خاکی که ممکن است خاکی؛ سنگریزه ای و یا مخلوطی از این دو باشند

مقایسه سدهای صلب و خاکریز

- یک دره تنگ و به شکل V با پی و دیواره های محکم و مناسب بهترین مقطع یک سد قوسی است
- یک دره با وسعت متوسط و عمق خاک رویی کم تا متوسط می تواند برای یک سد وزنی یا پایه دار مناسب باشد؛ این مقطع البته برای احداث یک سد خاکریز و یا سنگریزه ای مناسب است
- یک دره وسیع با خاک رویی عمیق معمولاً منجر به انتخاب یک سد خاکریز می گردد
- یک دره نامنظم به انتخاب سدی با مقطع مختلط می گردد

تاریخچه خرابیهای سدهای خاکی و سنگریزه ای

- شاید هیچ نوع سازه ای که توسط انسان ساخته شود به اندازه سد بزرگی که دارای دریاچه وسیع بوده و در پایین دست آن منطقه پر جمعیتی وجود دارد دارای زمینه خطر برای جان و مال افراد نباشد

- اولین بررسی که در مورد سدهای خراب شده صورت گرفت نشان داد که فقط ۲۵ سد از کل ۲۰۰ سد خراب شده مورد بررسی بیش از ۳۰ متر ارتفاع داشته اندوتنها ۲۰ سد پس از ۱۹۲۰ احداث شده بودند

طبقه بندی علل خرابی ۲۰۰ سد

- ۱- لبریز شدن ۳۰ درصد
- ۲- شسته شدن دانه های ریز ۲۵ درصد
- ۳- لغزش ۱۵ درصد
- ۴- نشت از لوله آب بر ۱۳ درصد
- ۵- خرابی در پوشش غیرقابل نفوذ بالادست ۵ درصد
- ۶- دلایل متفرقه ۷ درصد
- ۷- غیرمشخص ۵ درصد

پنج دسته اصلی خرابی ها

- ۱- خرابی کامل و ناگهانی یک سد در هنگامیکه مورد استفاده قرار گرفته و معمولاً همراه از بین رفتن کامل سد و خسارات شدید مالی و جانی می باشد و به صورت فاجعه ای بزرگ عنوان می شود
- ۲- خرابی واز بین رفتن سدهای کوچک که بدون استفاده از متخصصین ساخته شده دارای مفاهیم علمی و مهندسی کمتری است
- ۳- خرابی کم بر روی دریچه ها؛ پایه ها و ... اتفاق می افتد و یا دارای مشخصه ظاهری عملکرد نظیر ترک خوردگی؛ نشت کردن و آب بردگی است که البته سد خراب نشده ولی به خرابی قسمتی از آن مشهور شده است
- ۴- خرابیها و اتفاقاتی که در حین ساختمان سد و قبل از تکمیل اتفاق می افتد که معمولاً اصلاح شده و سد پس از احداث بخوبی عمل کرده است
- ۵- خرابی در مورد سدهای قدیمی که درباره آن اطلاعات کمی در دسترس است

موارد طرح ایمن سد خاکی

- ۱- به هیچ وجه نباید خطر لبریز شدن سد وجود داشته باشد
- ۲- خط تراوش باید بخوبی در داخل بدنه سد بوده با شیب پایین دست برخورد ننماید
- ۳- آبی که از داخل یا پی سد عبور می نماید نباید قادر به حمل مصالح باخود باشد
- ۴- نباید هیچ راهی برای عبور آزاد آب از بالادست به پایین دست سد وجود داشته باشد
- ۵- شیبهای بالادست و پایین دست باید در مقابل شرایط مختلفی که احتمال اتفاق آنها وجود دارد پایدار و مقاوم باشند
- ۶- تنشهای برشی ایجاد شده در پی سد باید کوچکتر از مقاومت برشی فونداسیون بایک ضریب اطمینان مناسب باشد
- ۷- شیب بالادست باید بخوبی در مقابل امواج دریاچه سد و شیب پایین دست در مقابل بارندگی محافظت گردد

روشهای احداث سدها در قرن نوزدهم

- ۱- خاکریزی همگن بامصالح یکنواخت در کل بدنه سد
- ۲- خاکریزی دارای هسته مرکزی از مصالح طبیعی که در محل یافت می شده است یا مخلوطی از شن و ماسه و رس
- ۳- خاکریز دارای هسته مرکزی از یک دیوار آجری یا بتنی
- ۴- خاکریزی که در مقابل یک سنگریز سست قرار گرفته و به آن متکی باشد
- ۵- خاکریزی که دارای مصالح غیر قابل نفوذ در بالادست باشد
- ۶- خاکریزی به روش هیدرولیکی که طی آن بوسیله جریان مخلوط آب و خاک و لوله های تحت فشار خاکریزی انجام می شود

سدهای خاکی هیدرولیکی

- حفاری های هیدرولیکی وسیع در خلیج پاسیفیک آمریکا که منجر به کشف طلا در کالیفرنیا در سال ۱۸۴۹ میلادی شد؛ گسترش سدهای خاکی هیدرولیکی را موجب گشت . این روش به سرعت بعنوان یک روش اقتصادی برای ساختن سد شناخته شد در این روش هیچگونه کنترلی برروی کوبیدن و تراکم خاک وجود ندارد .
- اگر چه خرابیهای زیادی در این گونه سدها در مراحل اولیه بخصوص در خلال یا بلافاصله پس از ساختمان سد اتفاق افتاد لیکن بسیاری از این سدها موفقیت آمیز بودند و هنوز مورد استفاده اند .
- در بررسی مجددی که در مورد پایداری چنین سدهایی انجام شده است مشاهده شده که بعضی از این گونه سدها دارای اطمینان مرزی یا کمتر از استاندارد مورد نیاز در مقابل زلزله هستند و به تقویت؛ کاهش در شیب و یا اصلاح وضعیت زهکشی نیاز دارند .

سدهای سنگریز

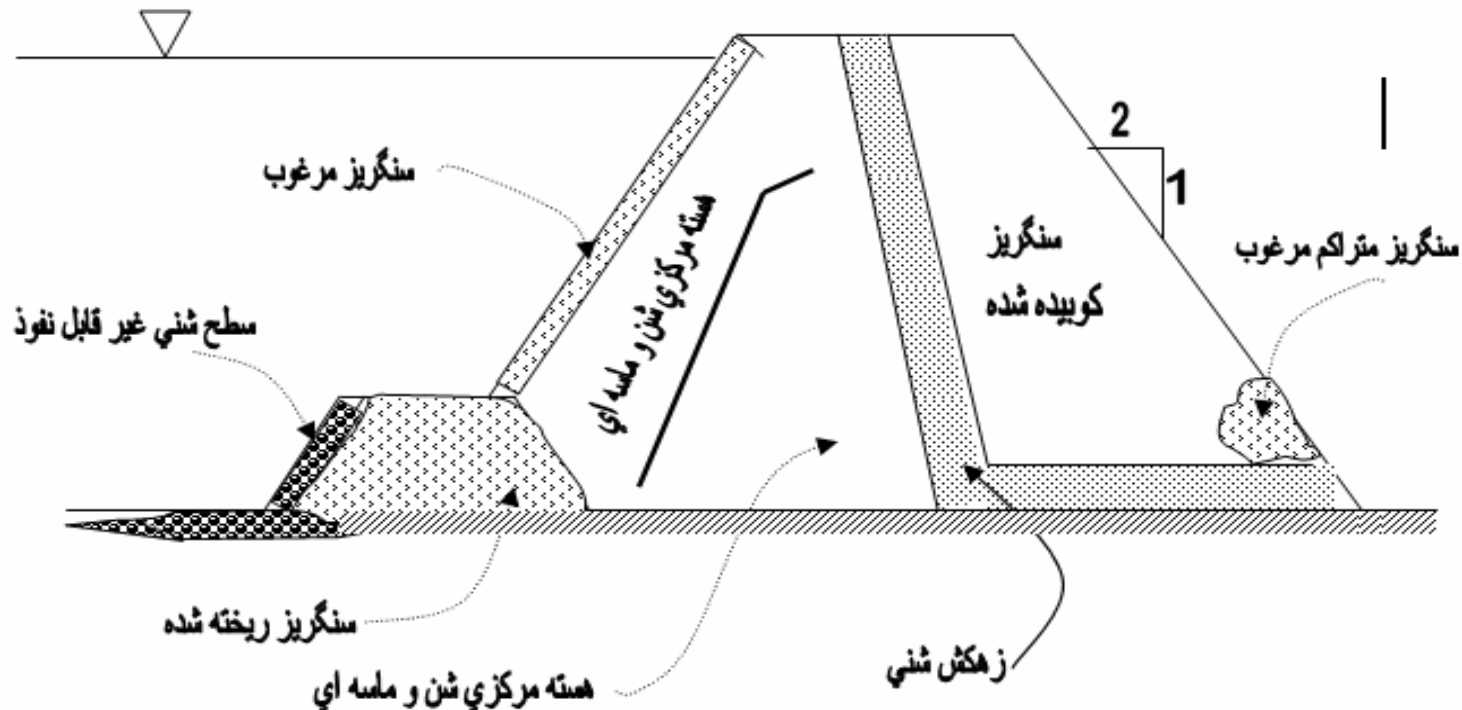
- این گونه سدها نیز برای اولین بار در کالیفرنیا در اواسط قرن نوزدهم مورد استفاده قرار گرفته تا دهه چهارم قرن بیستم این گونه سدها بصورت زیر مشخص می شدند:
- یک قسمت سنگریز سست بعنوان بخش اصلی بدنه و اسکلت باربر سد؛ یک رویه غیر قابل نفوذ در سمت آب و یک قسمت انتقالی بین این دو
- وزن سنگها عامل مقاوم در مقابل نیروی آب می باشد و هیچگونه عمل قوسی یا طره ای نمی تواند در این گونه سدها مؤثر باشد
- اکثراً معتقدند که سنگریز را در خلال ساختمان باید مرطوب یا غوطه ور نمود تا در امر نشست تسریع و تسهیل بعمل آید

سدهای خاکی و سنگریز مدرن

- سال ۱۹۴۰ آغاز دگرگونی تدریجی در طرح و اجرای سدهای خاکی و سنگریز است . این امر با گسترش و تکمیل و سائل حمل و تراکم خاک همراه بوده است
- . با جایگزین شدن لایه نسبتاً صلب بالا دست در سدهای سنگریز با یک لایه انعطاف پذیرتر در طرح اینگونه سدها اصلاحاتی ایجاد شد . به این ترتیب که فیلترهایی با ضخامتهای مختلف در دو طرف هسته مایل رسی قرار می گرفت
- بهمین ترتیب محاسبات پایداری و تکنیکهای آزمایشگاهی به سرعت گسترش یافت و نظیر همه رشته های مهندسی و طرحهای بزرگ ساختمانی خرابیهائی نیز در بین راه ایجاد گردید
- با افزایش دقت و کنترل در طرح و اجرای سدها و نیز افزایش جمعیت در پائین دست اینگونه سدها تأکید بسیار بیشتری بر روی مطالعات هیدرولیکی و طرح و اجرای سرریزهای رزرو و اضطراری باید بگردد

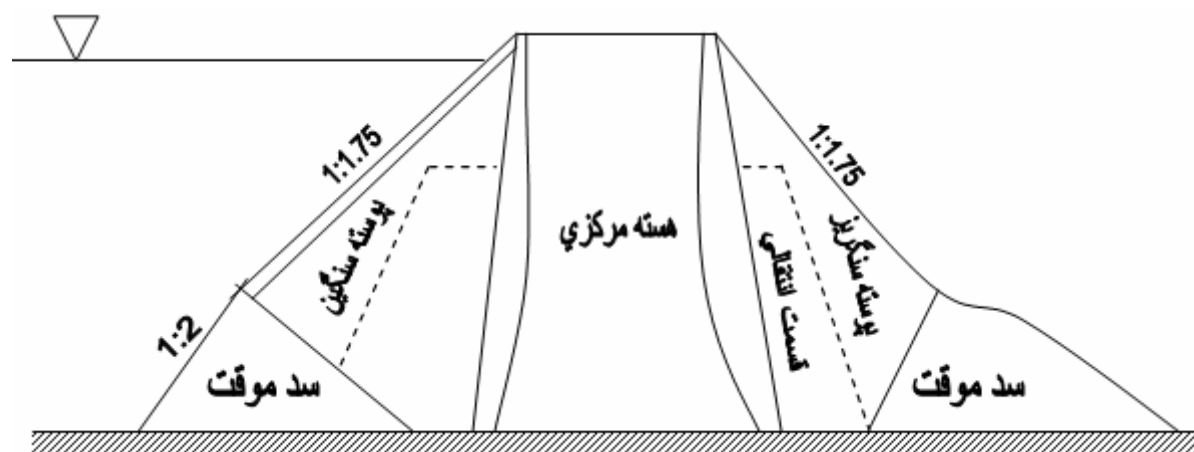
انتخاب شکل سد خاکی

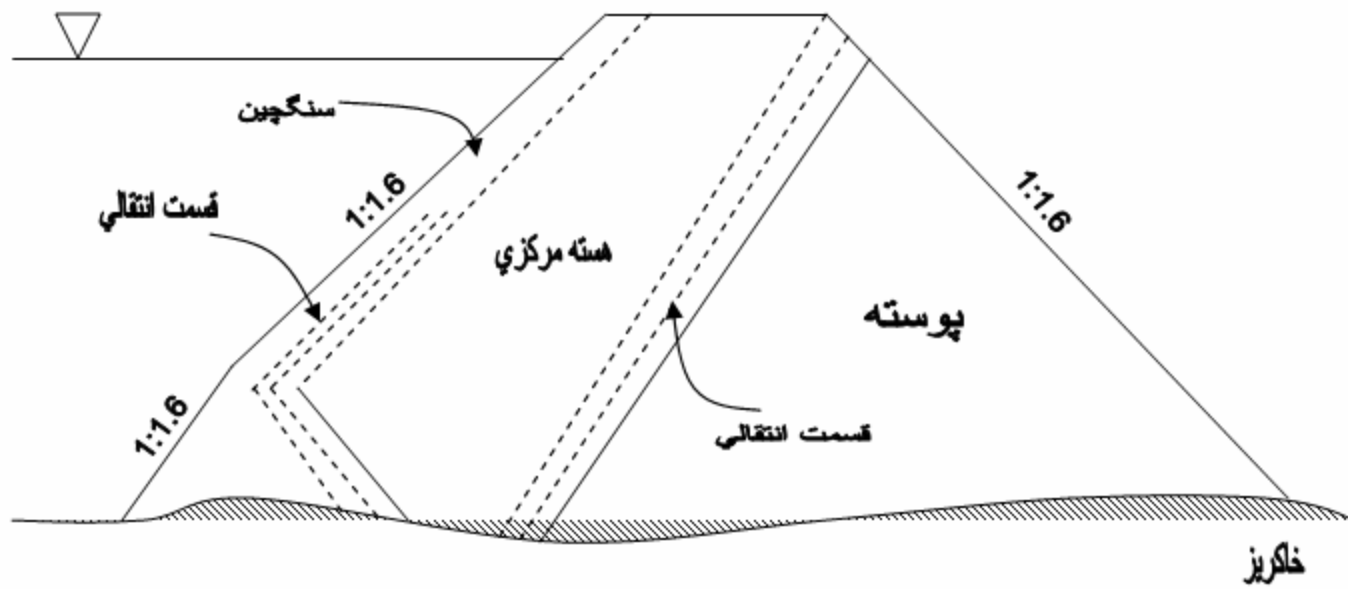
- یک سد خاکی ممکن است دارای مقطع یک قسمتی (همگن) بایک زهکش داخلی باشد که معمولاً بصورت زهکش دودکشی ، عمودی و یا مایل است . شکل کلی مقطع ممکن است دو قسمتی باشد



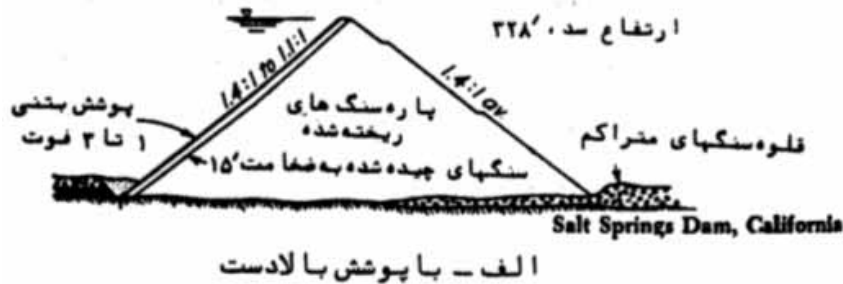
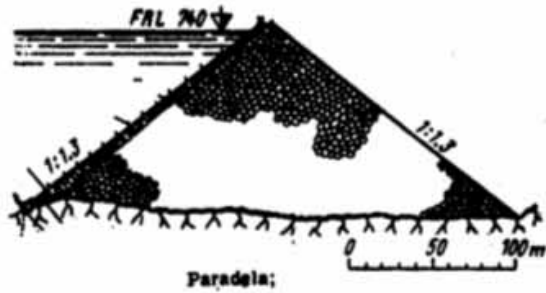
انتخاب شکل سد خاکی

- در سالهای اخیر تغییراتی در طرح محل هسته مرکزی پدید آمده است .
قبلاً هسته مرکزی یا در وسط و بصورت عمودی و یا بصورت پوسته ای
مایل بر روی سنگریز و یا شیب ساخته می شد ولی اخیراً حالت بینا
بینی در نظر گرفته می شود که میتوان آنرا مایل نام گذاشت که محل
هسته در مرکز بوده و دارای شیبی برابر می باشد





انواع معمولی سدهای پاره سنگی

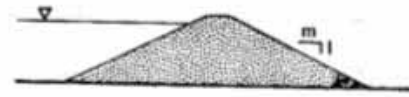


ب - با پوشش مخفی (مغزه مایل) در با لادست



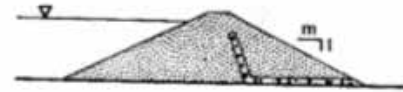
ج - سد پاره سنگی با مغزه نفوذنا پذیر

مقاطع تپ سدهای خاکی روی پی نفوذ ناپذیر



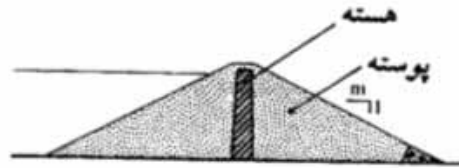
(الف) مقطع همگن با زهکش پنجه

$m = 1.5-2.5$



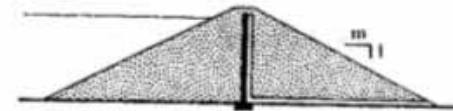
(ب) مقطع همگن با زهکش دودکشی (زهکش ستونی)

$m = 2.5-3.5$



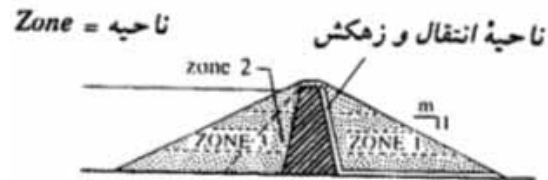
(پ) هسته رسی لاغر

$m = 2.0-3.0$



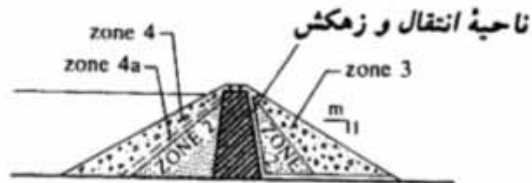
(ت) هسته بتنی لاغر

$m = 2.0-3.0$



(ث) مقطع غیر همگن با هسته عریض و نواحی انتقال و زهکش

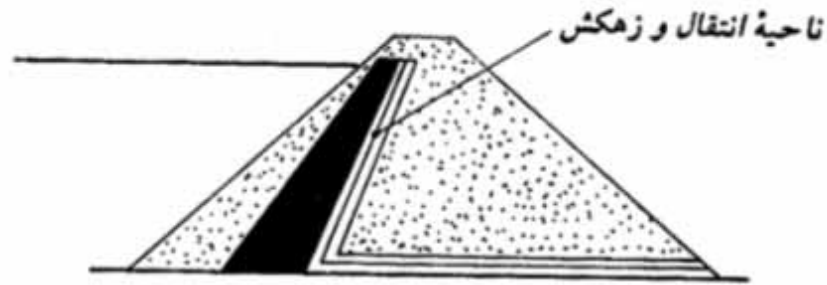
$m = 2.5-3.5$



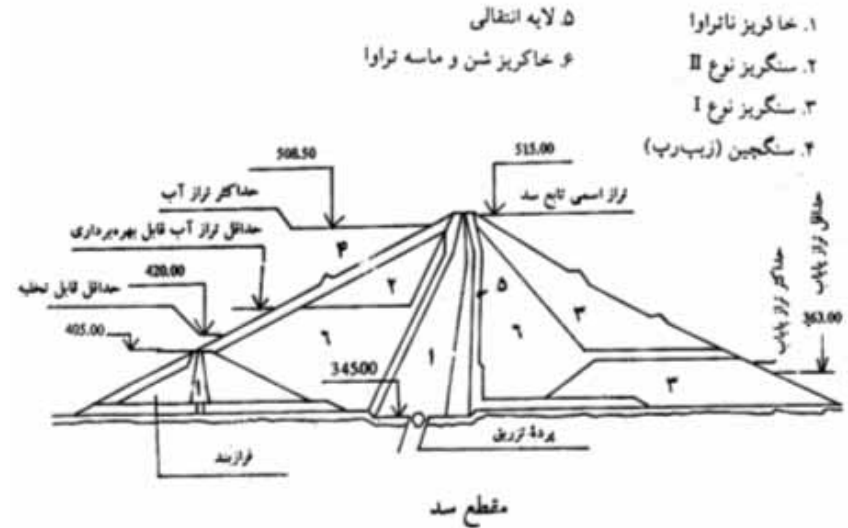
(ج) سد خاکی - سنگریزه‌ای با هسته رسی با نواحی انتقال و زهکش

$m = 1.6-2.0$

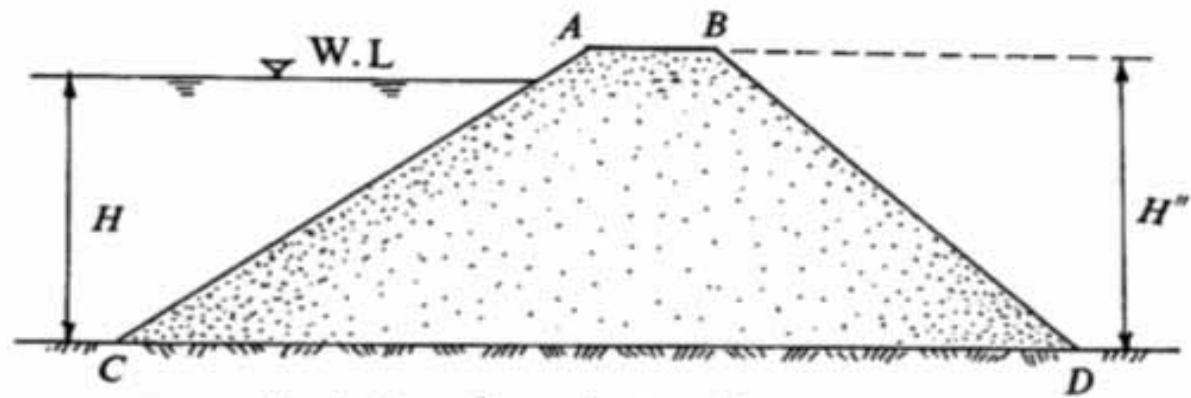
مقاطع تپ سدهای خاکی روی پی نفوذ ناپذیر



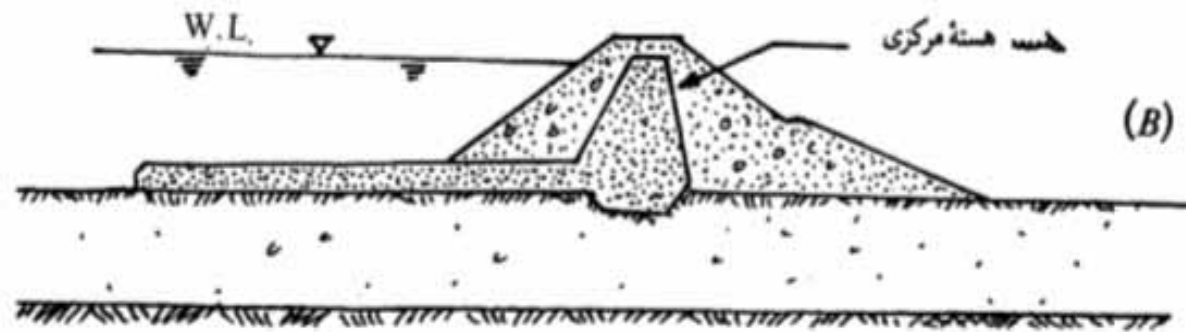
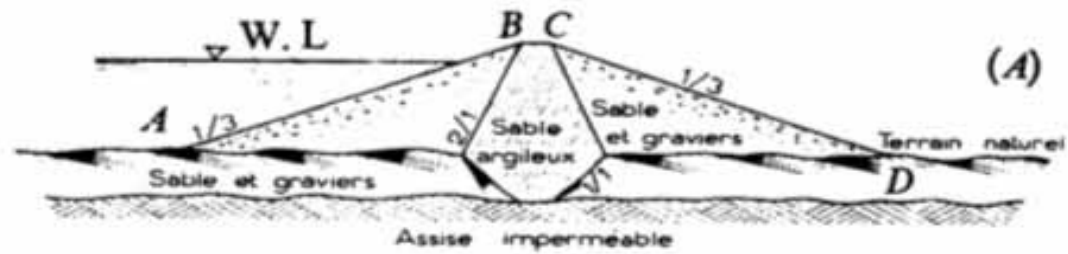
(ج) سد خاکی با هسته رسی شیبدار



سد مخزنی مارون در ۱۹ کیلومتری شمالشرقی بهبهان بر روی رودخانه مارون در استان خوزستان



مقطع عرضی از سد خاکی در امتداد طولی رودخانه



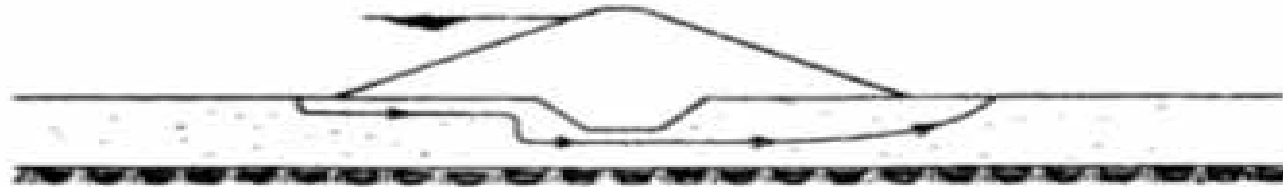
مقطع عرضی از سد خاکی با دو نوع هسته مرکزی

گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد

- ۱ - نوع همگن : نوع همگن به سدی گفته میشود که تمام بدنه آن از یک نوع مصالح ساخته می شود . در این نوع سد ، چون قسمت عمده سد ، از زه اشباع می شود و دامنه پایاب نیز تحت تأثیر زه می باشد ، لازم است که شیب دامنه ها خیلی کم گرفته شود تا دامنه پایاب در برابر زه و دامنه سراب در یک تخلیه سریع مقاوم باشد
- اگر در این نوع سدها هیچ گونه تکنیک زهکشی به کار برده نشود ممکن است دامنه پائین دست در اثر زه اشباع شود از این رو قرار دادن زهکش افقی یا پنجه سنگی در پایاب ، و ایجاد پوشش بالا دست در بستر مخزن ورودی دامنه بالادست از روشهایی هستند که به منظور کنترل زه و پایداری بیشتر سد بکار برده می شوند

گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد

- ۲- نوع مطبق: نوع مطبق (یا مغزه دار) از معمولی ترین نوع سدهای خاکی است . در این نوع ، نقش آب بندی سد بعنوان مخزن به عهده مغزه است و نقش استحکام و پایداری را عمدتاً پوسته سد ایفا می کند . پوسته پائین دست علاوه بر استحکام ، نقش زهکش را نیز دارد
- حداقل عرض قاعده مغزه باید برابر ارتفاع سد باشد چنانچه این عرض از ارتفاع کوچکتر باشد بعنوان تیپ دیافراگمی تلقی می گردد . همچنین اگر عرض قاعده از حد معینی بزرگتر باشد سد به نوع همگن تبدیل می شود
- ارتفاع مغزه ترجیحاً باید به تاج سد برسد و در صورتی که از این حد کمتر است ، لازم است تا آن حد باشد که سد از خطر سیفون مویینی مصون باشد ، زیرا آب مویینی به علت کشش سطحی به سمت بالا حرکت می کند و در شرایطی ممکن است در بخش دیگری به سمت پائین جریان یابد



الف - سوج همکن



ب - سوج صخره دار

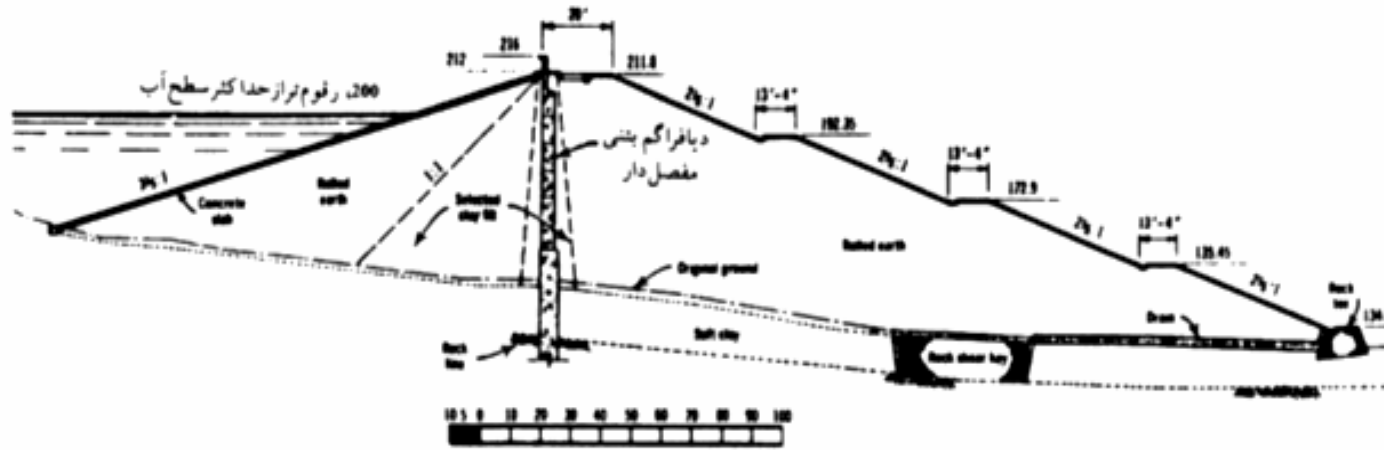


ج - حدود نسبی انعام مغزه

گونه های مختلف از دیدگاه همگنی بدنه سد

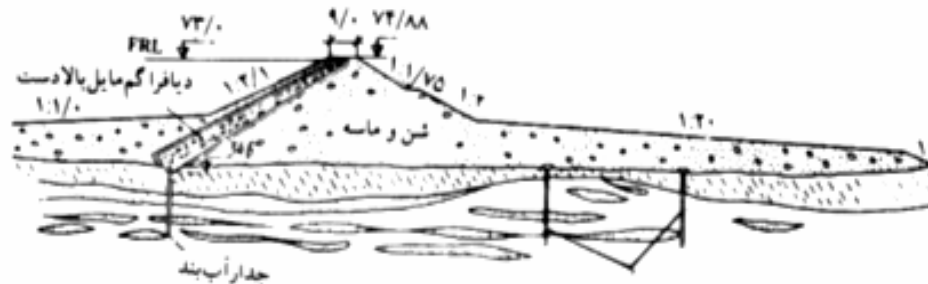
- ۳ - نوع دیافراگمی : در این نوع سد ، تمام بدنه از مواد درشت دانه یا مخلوط ساخته می شود و فقط بخشی که نقش آب بند را دارد بصورت دیوار یا پرده غیر قابل نفوذ در بدنه سد تعبیه می گردد که ممکن است به صورت دیافراگم مرکزی یا در دامنه بالا دست به صورت یک دیافراگم مایل باشد
- جنس این پرده نفوذ ناپذیر را می توان از خاک رس ، سیمان ، چوب و غیره انتخاب نمود . دیافراگم مایل به نام پوشش مخفی نیز نامیده می شود . پرده های آب بند اعم از این که در قسمتهای مرکزی یا کناری قرار گیرند باید تا بالاترین نقطه سد ادامه یابند
- در صورتی که شالوده زیرین نفوذ پذیر بوده و کم عمق باشد ترجیحاً باید ادامه پرده آب بند تا انتهای بخش نفوذ پذیر شالوده برسد

نوع دیافراگمی سدهای خاکی



Waterfall Dam, Hong Kong,

الف - دیافراگم محوری قائم



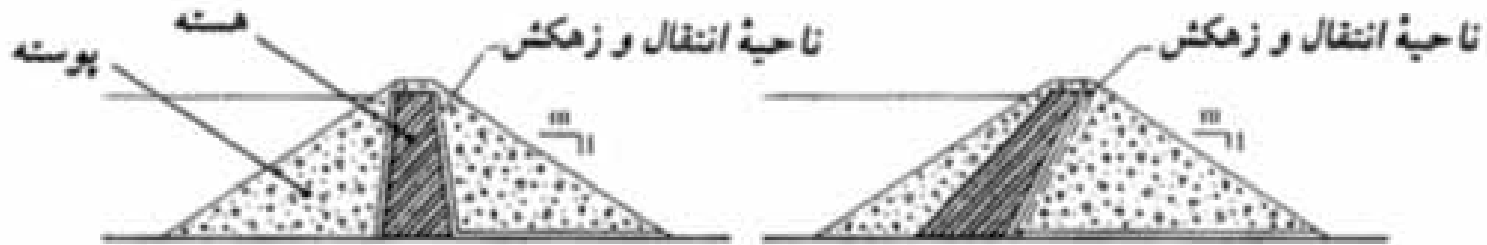
Nekhranitse Dam (Czechoslovakia) جاء کاهش فشار

ب - پوشش مخفی در بالادست سد

نوع دیافراگمی سدهای خاکی

- دیافراگم داخلی که از مواد صلب مانند بتن ساخته شوند ممکن است به علت نشست سد در بعضی از نقاط شکسته شوند ، از این رو ترجیح داده می شود که مغزه دیافراگمی در وسط سد از خاک رس ساخته شود که عرض این مغزه خاکی در قاعده سد باید از $0/3$ تا $0/5$ برابر ارتفاع سد باشد
- قرار دادن مغزه دیافراگمی در وسط سد از سهولت ساخت برخوردار است در حالی که دیافراگم مایل نسبت به دیافراگم محوری تا حدی پایداری بیشتری را در برابر زلزله تأمین می کند
- چنانچه جدار دیافراگمی تمامی ارتفاع از تاج سد تا انتهای شالوده نفوذ پذیر را نپوشاند آنرا دیافراگم ناقص نامند . ممکن است بخشهای عمیق شالوده را در زیر دیافراگم ناقص به وسیله تزریق یا پرده سپرهای فلزی و غیره آب بندی نمود

مقاطع تپ سدهای سنگریزه ای



الف: سد سنگریز با هسته رسی
 $m = 1.6 - 2.0$

ب: سد سنگریز با هسته رسی شیبدار
 $m = 1.6 - 2.0$

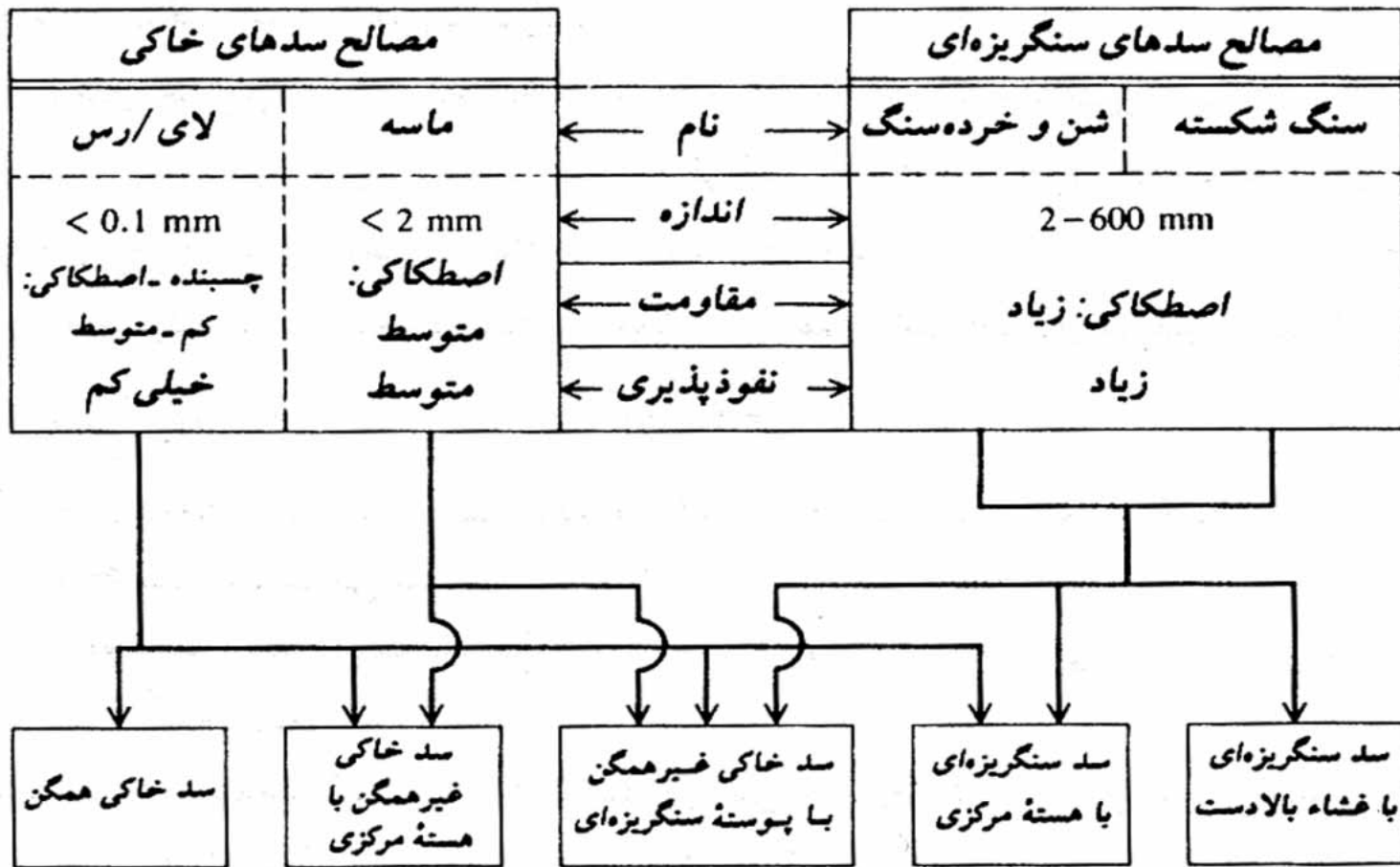


پ: سد سنگریز با غشاء بالادست بتنی یا آسفالتی
 $m = 1.6 - 2.0$

ت: سد سنگریز با هسته آسفالتی
 $m = 1.6 - 2.0$

مشخصات بهترین نوع خاک

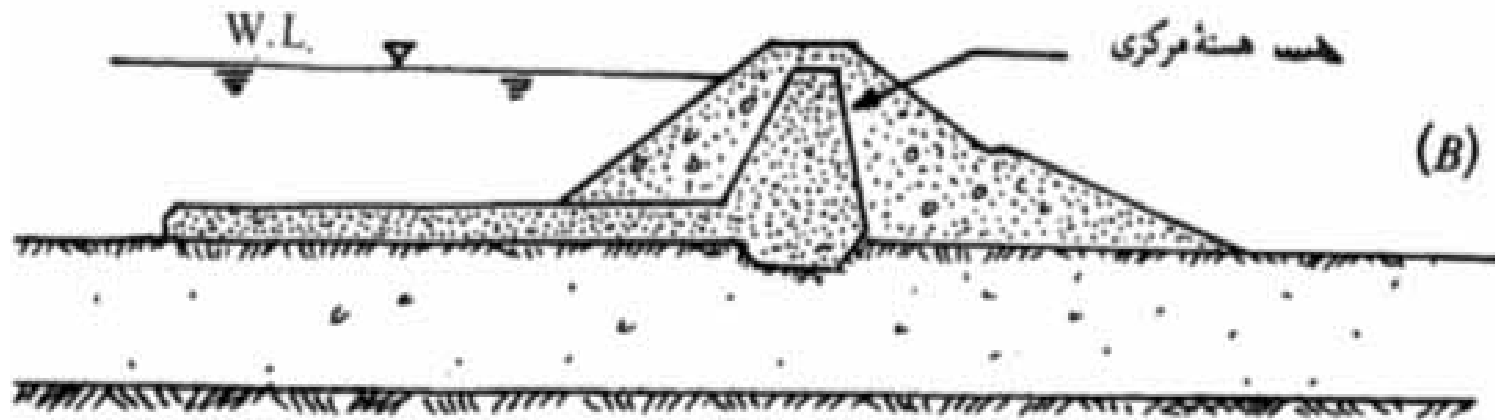
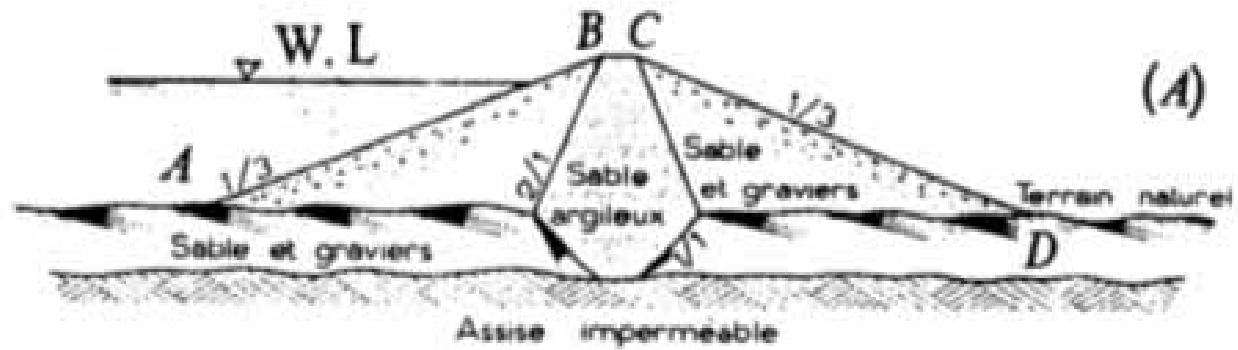
مصالح به کار رفته در ساخت سدهای خاکی و سنگریز



مشخصات بهترین نوع خاک

- بعد از آزمایشات و بررسی های متعددی که توسط دانشمندان و کارشناسان سد سازی بعمل آمده است نتیجه گرفته اند که بهترین نوع خاک از نظر دانه بندی برای ساختن سد خاکی باید دارای مشخصات زیر باشد:
- رس (۱۵) درصد کل خاک مصرفی
- لیمون (۱۵) درصد کل خاک مصرفی
- ماسه نرم (۵۰) درصد کل خاک مصرفی
- ماسه درشت دانه (۲۰) درصد کل خاک مصرفی

- اگر خاکی با مشخصات فوق در محل ساختمان سد موجود نبوده و مخارج حمل خاک با آن مشخصات از مناطق دیگر مقرون به صرفه نباشد ، در این صورت سد خاکی را با هسته مرکزی تقریباً غیر قابل نفوذ طرح کرده و می سازند خاکی که در هسته مرکزی به کار برده می شود، رسی یا رس دار می باشد که باید حداقل ۲۰ درصد کل دانه بندی خاک بکار رفته در هسته مرکزی دارای قطری برابر ($d=0.05$) میلیمتر باشد . ضمناً اگر از خاک معمولی در ساختمان سد خاکی استفاده شود ، باید توجه داشت که قطر دانه بندی آن بزرگتر یا مساوی (۱۰۰) میلیمتر نباشد



مقطع عرضی از سد خاکی با دو نوع هسته مرکزی

نیازهای اساسی طرح

- ۱ - شیب خاکریز باید در تمام شرایط ساختمانی و عملکرد بعدی از جمله افت سریع آب و زلزله پایدار باشد
- ۲ - خاکریز نباید تنشی بیش از ظرفیت باربری خاک پی را بر فونداسیون وارد سازد
- ۳ - تراوش از طرفین خاکریز سد ، فونداسیون و دیواره ها باید کنترل شود به ترتیبی که شسته شدن دانه های ریز یا آب بردگی بوسیله حل شدن دانه ها در آب اتفاق نیفتد
- ۴ - ارتفاع آزاد سد باید به حد کافی باشد تا از لبریز شدن آب توسط موجها جلوگیری نماید این ارتفاع باید شامل مقداری که فونداسیون و خاکریز نشست می کند نیز باشد
- ۵ - ظرفیت سرریز لوله های خروجی باید به اندازه کافی باشد تا از لبریز شدن و خرابی سد جلوگیری شود

مسائل مربوط به سدهای خاکی

- - پدیده لغزش
- - تغییر رژیم هیدرو ژئولوژی
- - کنترل پایداری سد

پدیده لغزش در دیواره های دریاچه سد طی اولین بار پر کردن سد

- معمولاً بر اثر افزایش فشارهای حفره ای اضافی و فشارهای تراوش و نیز لغزنده شدن سطوحی که دارای احتمال لغزش هستند چنین لغزشهایی می توانند به وقوع بپیوندند که بر دو نوع هستند :

- ۱- لغزش های جدید
- ۲- احتمال لغزش های قدیمی (فعال شدن لغزشهای قدیمی)

تغییر سیستم آب زیر زمینی در بالا دست و پائین دست

- میتواند موجب : ۱ - تراوش از طرفین کف یا دیواره های دریاچه سد گردد . چون معمولاً منظور از تأسیس یک سد ، ذخیره مقدار معینی آب می باشد . اگر میزان تراوش از دریاچه زیاد شد نمی توان آب مورد نیاز را ذخیره نمود و باید جهت رفع اشکال فکری کرد
- ۲ - افزایش ناشی از افت سریع آب دریاچه سد . افت سریع آب می تواند موجب بوجود آمدن مسائل مختلفی گردد و باید گفت که در برخی موارد می تواند پائین رفتن آب در **عرض ایام روز** سریع تلقی شود . و یا می تواند در شرایط دیگر در مدت **یکی دو ساعت** سریع نباشد . این موضوع بستگی به میزان نفوذ پذیری خاک دارد

کنترل تراوش

- ۱ - ایجاد دیواره جدا کننده یا نفوذ ناپذیر
- - توسط ایجاد پرده تزریق
- - توسط حفر ترانشه در زیر هسته مرکزی و پرکردن آن از مواد و مصالح نفوذ ناپذیر
- - استفاده از گل حفاری در ایجاد دیواره جدا کننده (کانالی حفر می گردد و دیواره آن توسط گل حفاری نفوذ ناپذیر می گردد)
- - ایجاد دیوار جدا کننده بتنی به منظور جلوگیری از تراوش آب

کنترل تراوش

- **۲ - ایجاد زهکش ها :** در بدنه و گاهی اوقات در پی سد ایجاد زهکش می تواند مسئله تراوش را کنترل نماید
- **۳ - ایجاد فیلترها :** که در ارتباط با زهکش ها کار می کنند و نقش جلوگیری از آب بردگی دانه های ریز خاک خصوص در هسته مرکزی را ایفا می کنند
- **۴ - هسته مرکزی :** جزء اصلی بدنه سد خاکی را تشکیل می دهد و نقش آن ایجاد غیر قابل نفوذترین قسمت سد می باشد تا نقش اصلی جلوگیری از عبور آب را بعهده داشته باشد
- **۵ - چاههای زهکش :** اگر تراوش از طریق پی سد کاملاً کنترل نشود می توان با حفر تعدادی چاه در پائین دست به کنترل نسبی آن اقدام نمود و فشارهای حفره ای و تراوش را در پی سد کنترل نمود
- **۶ - ایجاد پوشش غیر قابل نفوذ در بالا دست :** از این پوشش به همراه چاههای زهکشی ذکر شده در فوق استفاده می شود

کنترل پایداری سد

- ۱ - قسمت بالا دست خاکریز سد در کوتاه مدت ، دراز مدت و در حالات افت سریع آب ، استاتیک و دینامیک
- ۲ - قسمت پائین دست خاکریز سد در حالات مختلف جریان آب
- ۳ - لغزش کوهها و سنگها و شیبهای طبیعی مشرف به دریاچه
- ۴ - روان شدن خود سد و یا فونداسیون آن بر اثر زلزله و ...

اجرای ساختمان سد

- **الف - مسیر و بند انحرافی :** ۱- اولین مرحله احداث باید کل کنترل ها جهت آب بردگی دانه ها پایداری سطوح شیبدار و ... انجام گردند
- ۲ - ترمیم و اصلاح و آماده سازی دیواره های جانبی سد قبل از اقدام به خاکریزی باید قسمتهای سست اطراف دقیقاً کنترل شوند
- ۳ - تزریق (سطحی و عمیق) کاملاً محاسبات لازم صورت گیرند شامل ؛ فاصله سوراخها ، میزان مواد تزریقی ، میزان فشار تزریق ، زمان شروع و توقف تزریق
- **ب - اجرای بدنه سد :** مشخصات مختلف بطور دقیق اجرا شوند از جمله خاکریزها ، فیلترها ، زهکش ها و سنگریزها
- **ج - اجرای سرریز :** محاسبات و اجرا دقیقاً صورت پذیرند . با کنترل عوامل هیدرولوژی ، تشخیص کنترل جریان خروجی در سیلاب و حداکثر ممکن آب بردگی در زیر سرریز ، تشخیص ارتفاع آزاد سد و تعیین محل دقیق سرریز

سدهای خاکی قسمت دوم

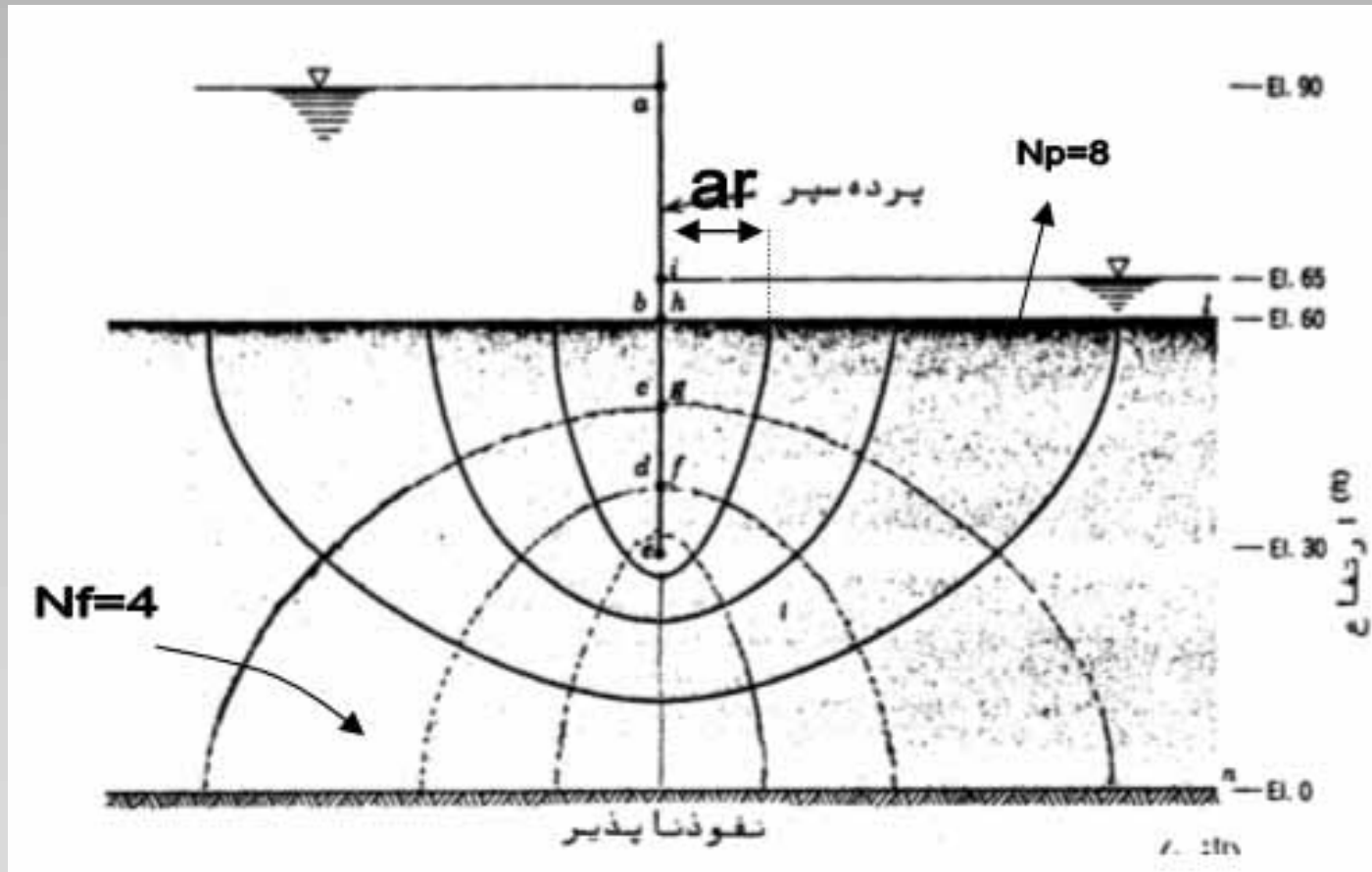
دکتر سعید خرقانی

تراوش در سدهای خاکی

- تا حدود نیم قرن طراحی سدهای خاکی و خاکریزها تنها بر اساس تجربه صورت می گرفت و با استفاده از مقاطع خاکریزهایی که عملکرد خوبی داشته اند به احداث خاکریزهای جدید اقدام می شد ولی امروزه به طرح علمی سدهای خاکی پرداخته می شود. بیشترین عامل پیشرفت در ارتباط با مسئله تراوش در سدها و تأثیر آن در پایداری آنهاست. که این موضوع برای اولین بار بعنوان یکی از علل خرابی سدها مورد توجه قرار گرفت و بعدها منجر به تدوین مسئله تراوش و جریان آب در سد گشت

روش ترسیم شبکه جریان

همانگونه که در بحث های مکانیک خاک مطرح است یکی از راه حل های تشخیص نحوه جریان آب در خاک روش ترسیم شبکه جریان می باشد

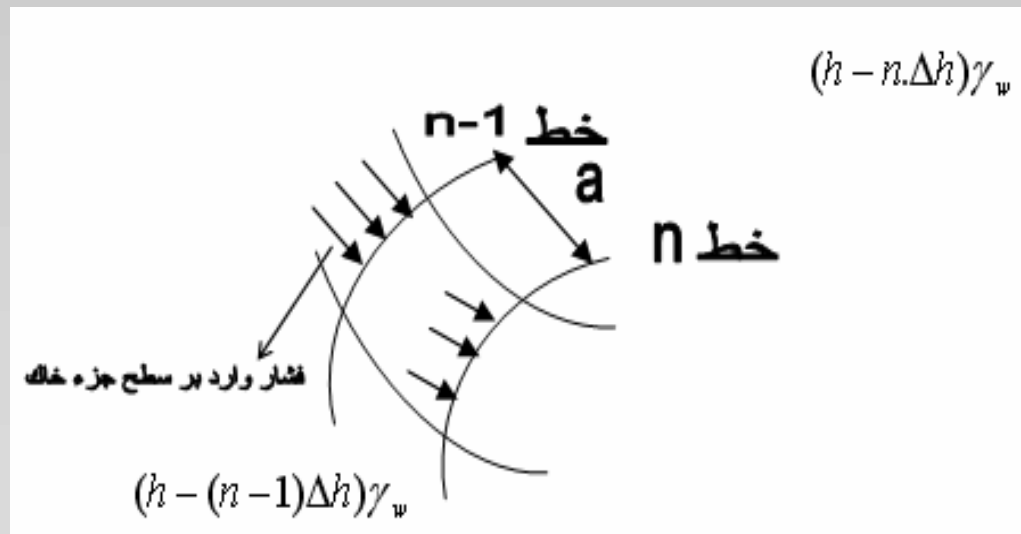


روش ترسیم شبکه جریان

- معمولاً از این بینهایت خطوط ممکن جریان و پتانسیل (ϕ, ψ) تعدادی را به نحوی انتخاب می کنیم که مقدار دبی عبوری از میان هر دو خط جریان (ψ_1, ψ_2) جزء صحیحی از کل دبی باشد؛ $(\Delta q = \frac{q}{N_f})$ و از بین بی نهایت خطوط پتانسیل هم به همین ترتیب به طوری که $(\Delta h = \frac{h}{N_p})$ لذا با استفاده از این خاصیت می توان نوشت:

$$q = kh \frac{N_f}{N_p}$$

- حداکثر گرادیان هیدرولیکی در سطح خروجی که در اینجا در جهت غلیان و شسته شدن دانه های ریز مؤثر است برابر است با $i_s = \frac{\Delta h}{a_s}$ که a_s بعد کوچکترین مربع مجاور سطح خروجی آب ، Δh افت پتانسیل بین دو خط پتانسیل مجاور است .
- با استفاده از شبکه جریان می توان فشار ناشی از جریان آب در داخل یا فشار تراوش را بدست آورد در هر یک از اجزاء خاک ، ابعاد شبکه جریان را اگر a فرض نمائیم :



$$p_a = a^2 (h - n\Delta h + \Delta h - h + n\Delta h) \gamma_w$$

$$p_a = a^2 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w \Rightarrow p_a = a^3 \frac{\Delta h}{a} \gamma_w$$

که در این رابطه a^3 حجم یک جزء خاک می باشد و در صورتی که معادل

واحد حجم فرض گردد؛ با فرض $i = \frac{\Delta h}{a}$ فشار تراوش وارد بر آن $p_a = i \cdot \gamma_w$

خواهد بود. اما می دانیم که فشار مؤثر وارد بر هر جزء خاک عبارت است از:

$$\sigma' = \sigma - u \quad |$$

که در آن $\sigma' = \gamma' z$ و $\sigma = \gamma z$ و $u = \gamma_w z$

در صورتیکه سطح خاک و سطح آب زیر زمینی یکسان باشند اگر فرض نمائیم که σ یا تنش کلی ثابت باشد؛ $\Delta\sigma' = -\Delta u$ می دانیم وقتی آب درون خاک جریان دارد فشار آب حفره ای و تنش مؤثر به گرادیان هیدرولیکی ارتباط پیدا می کند یعنی اگر h اختلاف پتانسیل هیدرولیکی بین سطح زمین و نقطه ای به عمق Z باشد برای یک جریان یک بعدی $i = \frac{h}{Z}$ و لذا فشار ناشی از تراوش برابر است با: $h\gamma_w = iz\gamma_w$ که این فشار به فشار تراوش مشهور است که در صورت جهت جریان بالا به پائین (جهت شتاب ثقل) این فشار به تنش مؤثر افزوده می شود و در صورت جهت جریان معکوس از فشار مؤثر می

$$\sigma' = \gamma'z - iz\gamma_w$$

کاهد

در صورت تساوی $\gamma'z = iz\gamma_w$ فشار مؤثر صفر می شود و لذا

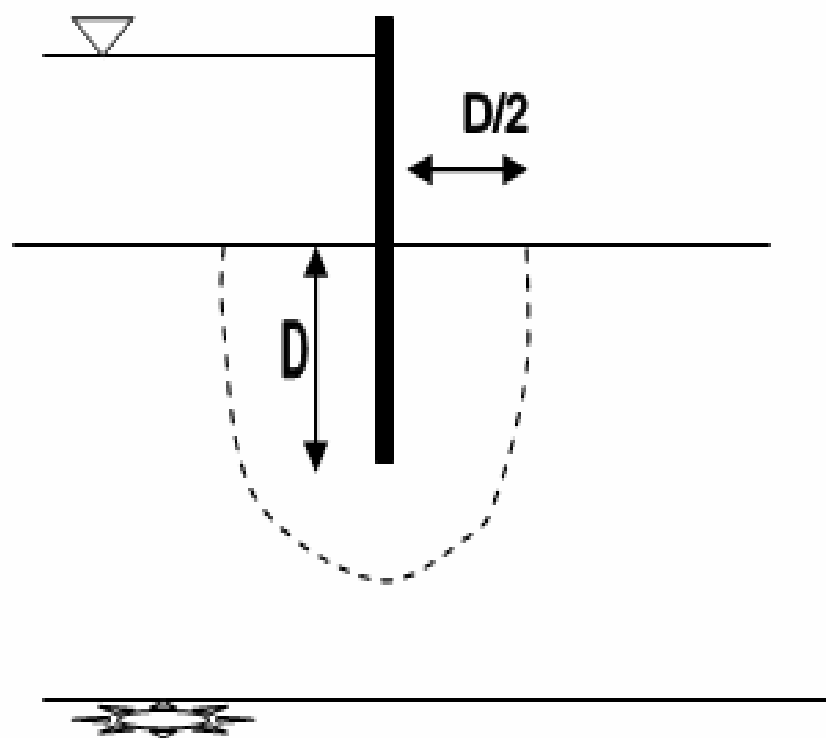
جهت غلیان و شسته شدن دانه های ریز مؤثر است که در اینجا در $i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$ که i_c گرادیان هیدرولیکی در سطح خروجی است که در اینجا در

جهت غلیان و شسته شدن دانه های ریز مؤثر است $i_s = \frac{\Delta h}{a_s}$ می باشد که در

آن a_s بعد کوچکترین مربع مجاور سطح خروجی آب است

آزمایشاتی که توسط ترازقی صورت گرفته است نشان میدهد که روان شدگی

ماسه فاصله $\frac{D}{2}$ از سپری اتفاق می افتد که در آن عمق مدفون سپری می باشد .



در منشوری به عمق D و عرض $\frac{D}{2}$

روان شدگی ماسه پیش می آید .

جهت محاسبه تعادل این منشور خاک ، تعادل نیروها را بررسی می کنیم :

$$u = \frac{1}{2} D \cdot h_a \cdot \gamma_w \rightarrow \text{در پائین ترین نقطه سپر ارتفاع متوسط آب}$$

معادل این فشار (فشاری که باعث غلیان خاک می شود) h_a فرض می گردد .

$$w' = D \times \frac{D}{2} \times \gamma' \rightarrow h_a \text{ متوسط ارتفاع معادل فشار آب در آن عمق است}$$

w' : وزن خاک غوطه ور

$$\text{ضریب اطمینان در مقابل شکستگی} = \frac{w'}{u} = \frac{D \times \frac{D}{2} \times \gamma'}{\frac{D}{2} \times h_a \times \gamma_w} = \frac{D \gamma'}{h_a \gamma_w}$$

در صورت کوچک بودن ضریب اطمینان می توان با ایجاد یک فیلتر و یا

خاکریز ضریب اطمینان را افزایش داد (w_1 وزن فیلتر و خاک اضافی است)

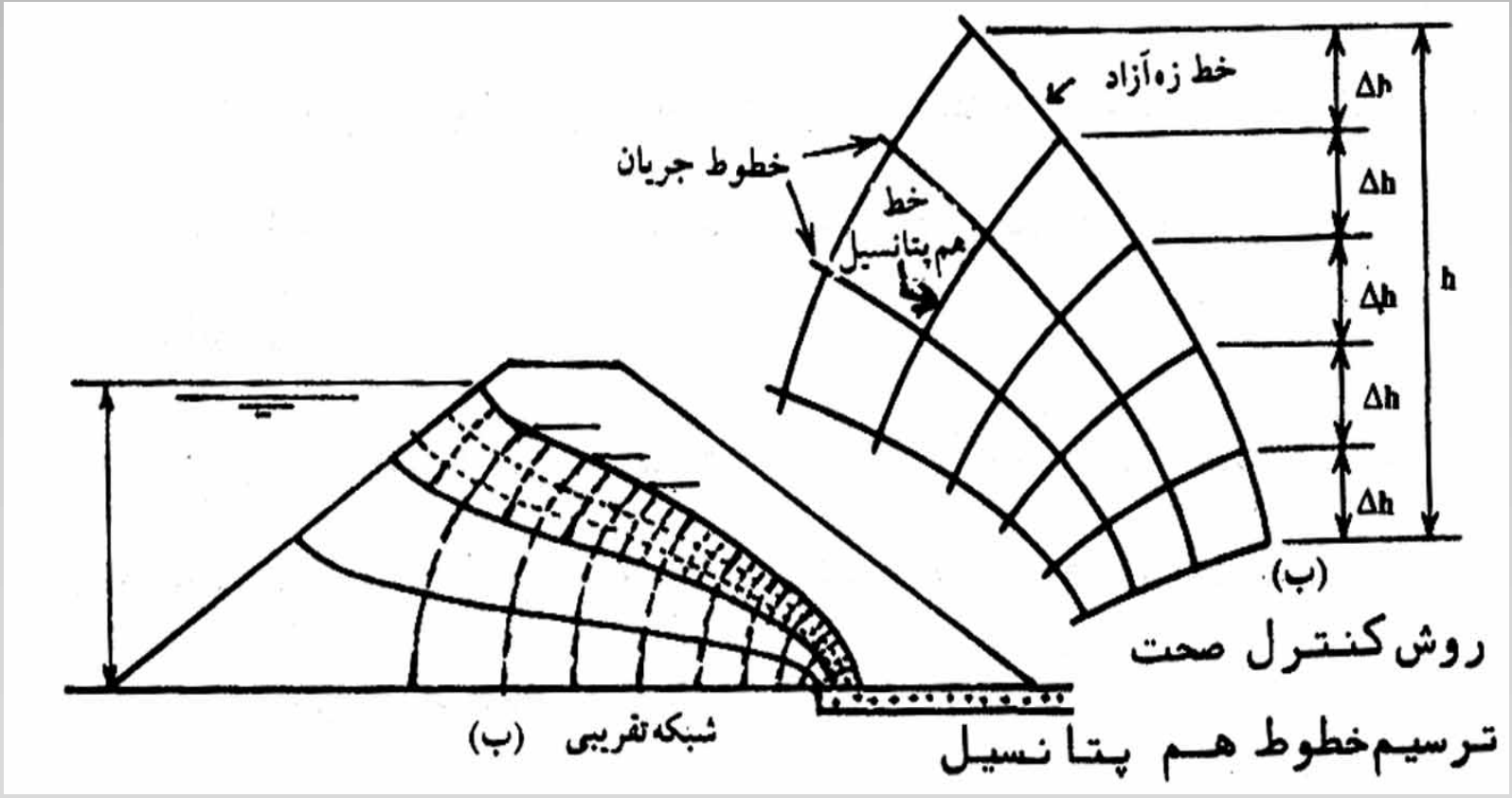
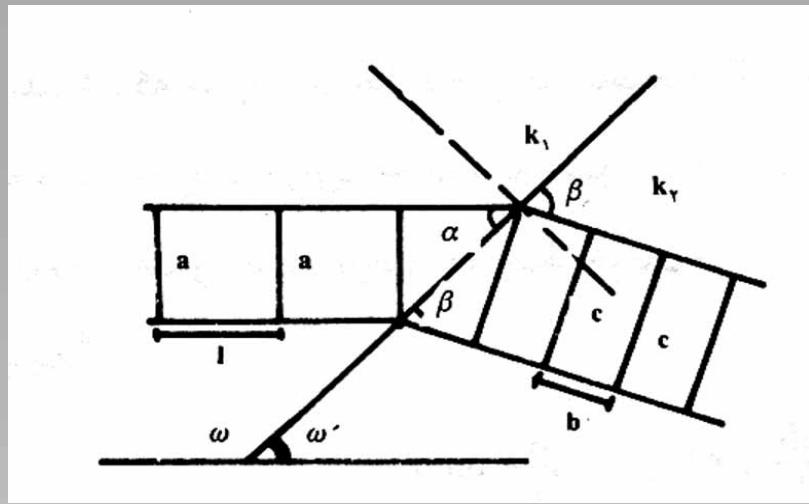
$$\frac{w' + w_1}{u}$$

تراوش آب در سدها

- در کلیه مسائلی که تراوش از زیر سدی یا از طریق پی هاست شرایط مرزی مشخص است ولی در مسئله جریان آب در داخل سدها (در بدنه سد) مرز بالا یا بالاترین خط جریان نا مشخص است و بایستی آنرا مشخص نمود در میان راه حل‌های نظری که برای تراوش با سطح آزاد وجود دارد تنها یکی از آنها که در رابطه با سد خاکی اهمیت دارد راه حل کوزنی (Kozeny) برای جریان در یک لایه خاک نفوذ ناپذیر افقی منتهی به یک لایه نفوذ پذیر افقی دیگر می باشد که بر اساس تئوری ریاضی اعداد مختلط قابل بیان می باشد که در این حالت کلیه خطوط جریان از جمله خط آزاد جریان آب (خط تراوش) و کلیه خطوط هم پتانسیل سهمی های هم کانونی را تشکیل می دهند

رسم خط آزاد جریان آب (خط تراوش)

- البته قبل از بیان تئوری مربوط به ترسیم سهمی های فوق لازم به ذکر است که برای رسم خط آزاد جریان آب (خط تراوش) باید شرایط زیر را رعایت نمود .
- شرط اول : این است که ارتفاع نقطه برخورد هر خط هم پتانسیل با خط جریان آب نمایشگر ارتفاع آب بر روی این خط هم پتانسیل است .
- شرط دوم : خطوط جریان در مرز بین دو خاک با نفوذ پذیری های مختلف بنحوی تغییر شیب می دهد که مقدار دبی Δq عبوری از میان خطوط جریان ، جریان مجاور در دو طرف مرز ثابت می باشد



با استفاده از شرط دوم می توان روابط زیر را نوشت

$$\Delta q = k_1 a \frac{\Delta b}{a} = k_2 c \frac{\Delta h}{b}$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{c}{b}$$

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{c}{\sin \beta}, \frac{a}{\cos \alpha} = \frac{b}{\cos \beta}$$

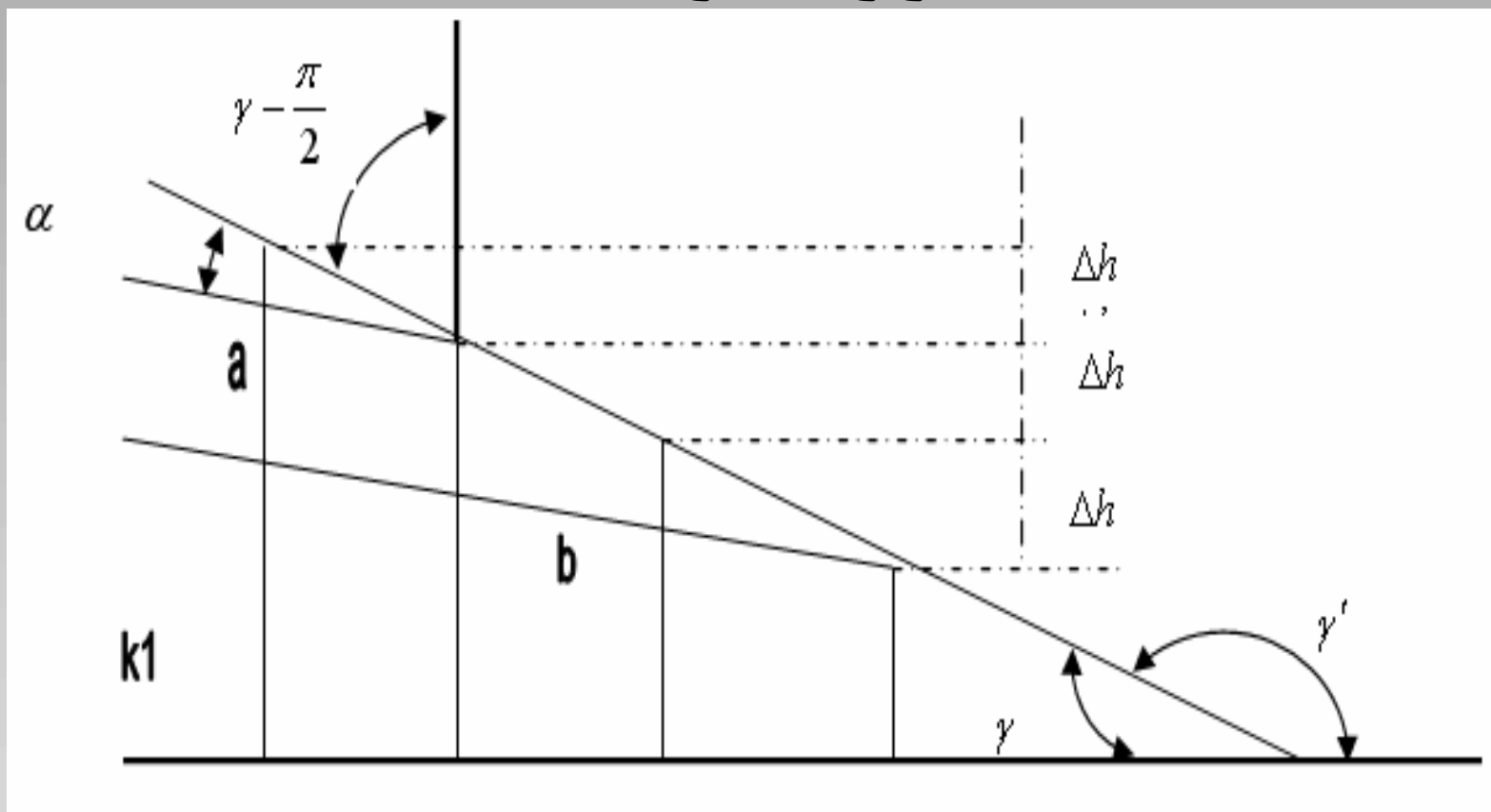
از طرفی داریم

$$\frac{c}{b} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{k_1}{k_2}$$

لذا خواهیم داشت

بعبارت دیگر تغییر شیب خطوط جریان به نحوی صورت می پذیرد که از تانژانت زاویه برخورد خطوط جریان یا مرز دو لایه خاک نسبت عکس با ضریب نفوذ پذیری این لایه ها دارد

حالتیکه شیب پائین دست در نقطه خروج آب
کمتر از ۹۰ درجه است



$$\Delta h = \frac{b}{\cos \alpha} \cos \left(\gamma' - \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{و همینطور:} \quad \Delta h = a \cos \left(\alpha + \gamma' - \frac{\pi}{2} \right)$$

اگر $a = b$

$$\cos \left(\alpha + \gamma' - \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\cos \left(\gamma' - \frac{\pi}{2} \right)}{\cos \alpha}$$

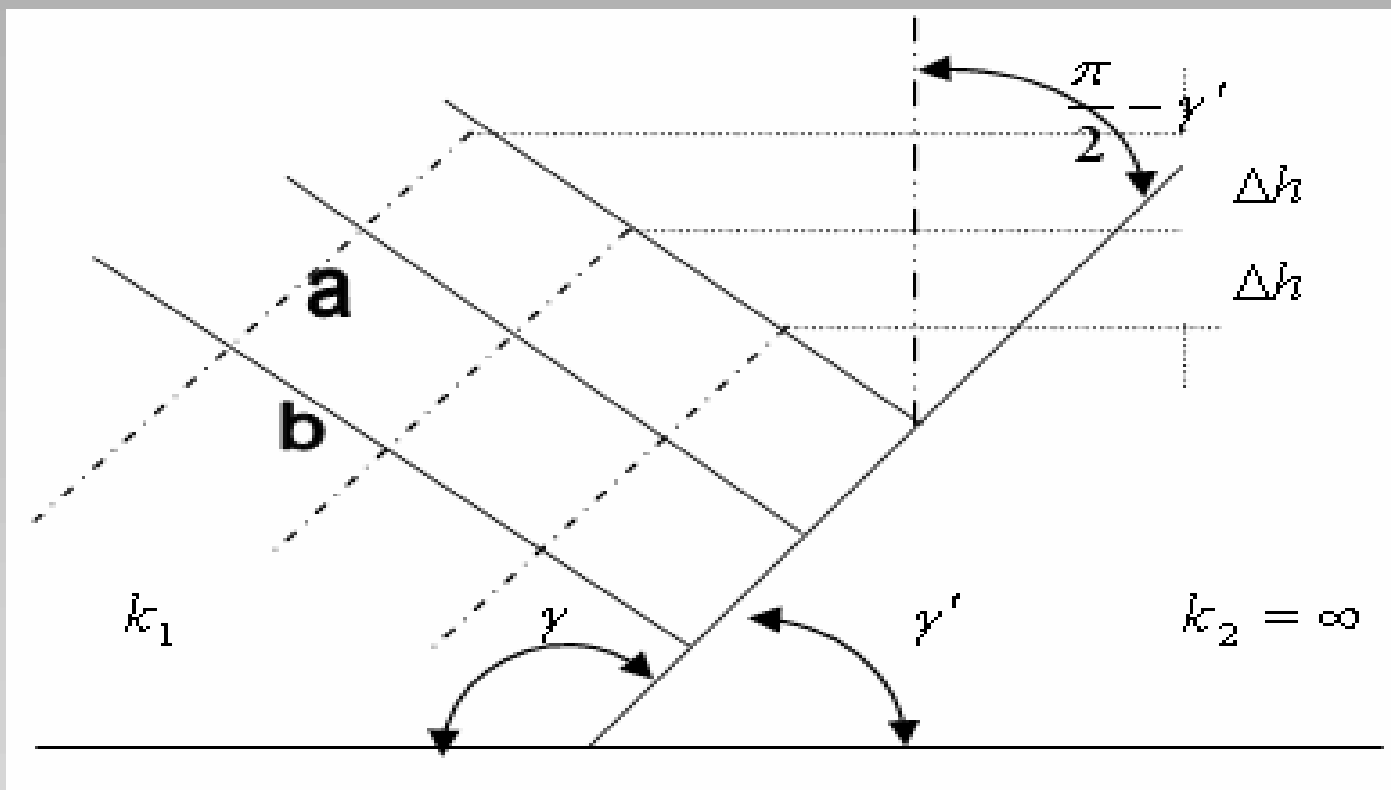
$$\frac{\cos \left(\alpha + \gamma' - \frac{\pi}{2} \right)}{\cos \left(\gamma' - \frac{\pi}{2} \right)} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

این تساوی در صورتی درست است که : $\alpha=0$ و $\cos\alpha=1$

باشند

در این حالت خط آزاد آب در نقطه خروجی مماس بر سطح خروج با شیب پائین دست خواهند بود .

حالتیکه شیب پائین دست در نقطه خروج آب
بیشتر از ۹۰ درجه است



$$\Delta h = a \cos \left(\alpha - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma' \right) \right)$$

$$\Delta h = b \frac{\sin \gamma}{\cos \alpha} = \frac{b}{\cos \alpha} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \gamma' \right)$$

با شرط $a = b$:

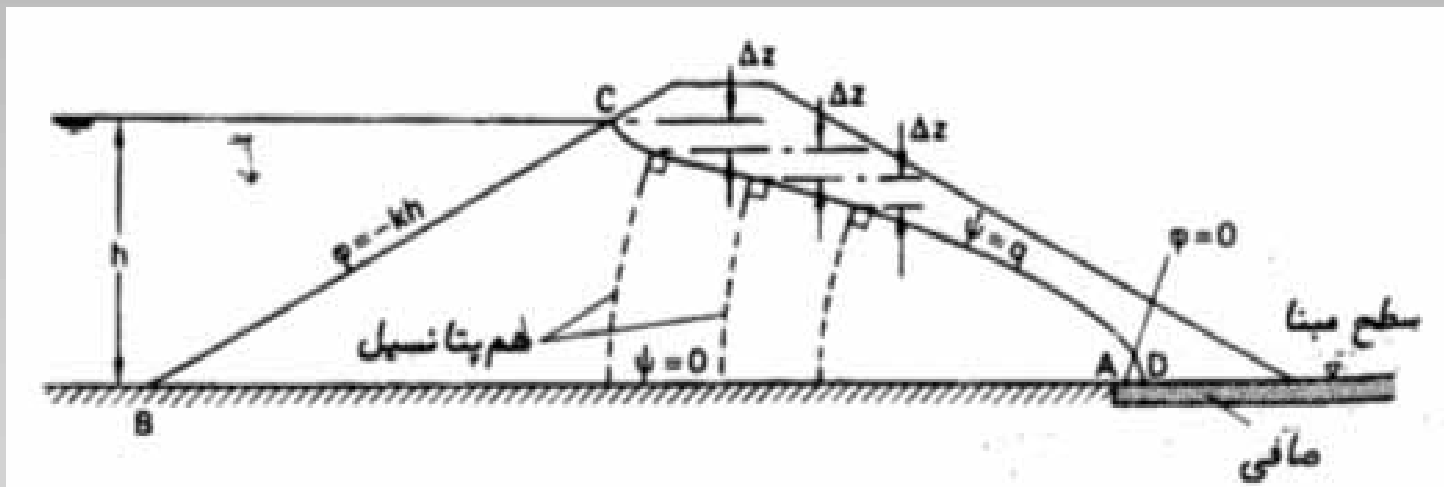
$$\cos\left(\alpha - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma'\right)\right) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma'\right)}{\cos\alpha}$$

این رابطه در صورتی برقرار است که $\alpha = \frac{\pi}{2} - \gamma'$ باشد

لذا این رابطه مبین این است که خط تراوش در نقطه خروج باید قائم بر افق باشد

تراوش از درون سدهای خاکی

- در مقطع سدهای خاکی سطح سفره آب بالاترین خط جریان می باشد که موقعیت آن باید قبل از ترسیم شبکه جریان تخمین زده شود



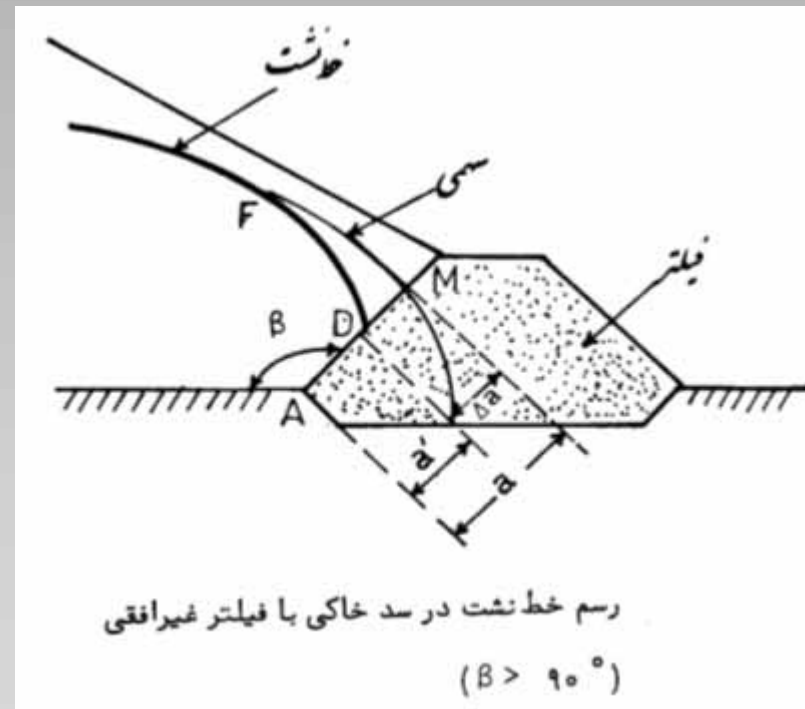
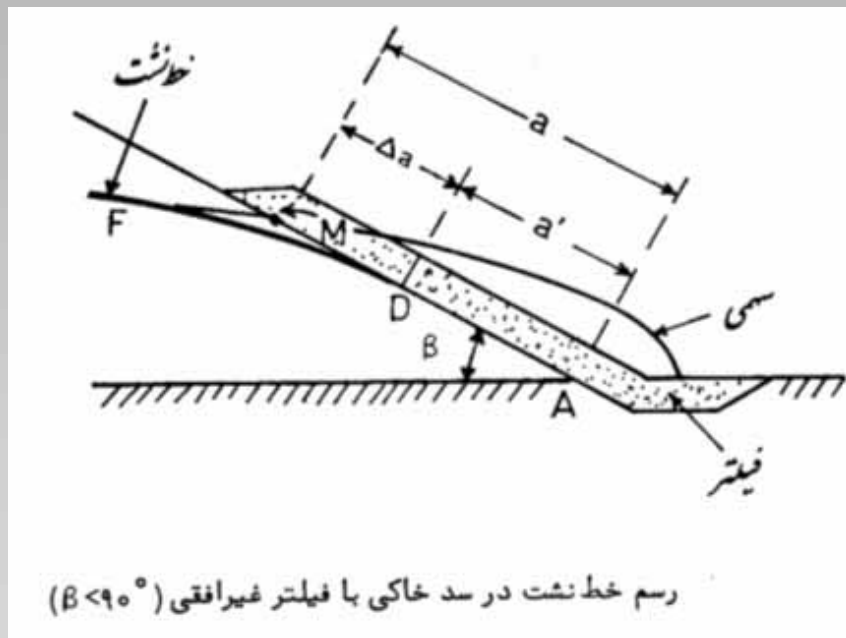
ساده ترین حالتی است که یک خاکریز می تواند داشته باشد که خاکی متشکل از مصالح همگن و همسان بر روی یک پی غیر قابل نفوذ واقع شده است. در این حالت فصل مشترک سد و پی ناتراوای AB یک خط جریان است و منحنی CD نیز بالاترین خطوط جریان می باشد

- چون در تمام نقاط واقع بر دامنه BC در بالا دست جریان بار هیدرولیکی مقدار ثابتی است پس خط BC یک خط هم پتانسیل می باشد هرگاه سطح آب در پائین دست به عنوان سطح مبنی انتخاب شود نتیجه می شود که پتانسیل هیدرولیکی خط هم پتانسیل BC برابر اختلاف ارتفاع آب در بالا دست و پائین دست یعنی برابر با b است. در شکل قبل سطح خروجی جریان AD نیز یک خط هم پتانسیل است، که در آن پتانسیل هیدرولیکی صفر است. فشار در هر نقطه ای که بر روی بالاترین خط جریان قرار دارد برابر صفر است. و بنابراین گرادیان هیدرولیکی در نقاط روی این خط برابر ارتفاع آب است. و باید فواصل قائم نقاط تلاقی خطوط هم پتانسیل با بالاترین خط جریان یکسان و برابر Δh باشد

کاربرد صافی ها

- در محل خروج جریان آب از یک سد خاکی باید همواره مصالح مناسب بعنوان صافی بکار برد . وظیفه صافی نگهداشتن کل تراوش در داخل سد است . چون در صورتی که آب بر روی شیروانی پائین دست جریان پیدا کند ، موجب فرسایش تدریجی شیروانی از پائین دست می شود . حالات دیگری برای سطح صافی ممکن است در این حالات سطح **AD** نه می تواند خط جریان باشد و نه خط هم پتانسیل ، چون بردار سرعت جریان تصاویر عمود و مماس بر **AD** خواهد داشت

کاربرد صافی ها



شرایط حدی جریان ABCD بصورت زیرقابل بیان است

- پتانسیل خط BC : $\phi = -kh$
- پتانسیل خط AD : $\phi = 0$
- خط جریان CD : $\psi = q$ و یا $\phi = -kz$
- خط جریان AB : $\psi = 0$

• برای ترسیم خطوط جریان و پتانسیل (شبکه جریان) در سدهای خاکی از اصل ریاضی تبدیل سازگار در توابع مختلط میتوان استفاده نمود

اصل تبدیل سازگار

اگر فرض شود که عدد مختلط $w = \phi + i\psi$ تابعی از $r = x + iz$ و تابع

زیر در نظر گرفته شود:

$$r = w^2$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$x + iz = (\phi + i\psi)^2$$

$$x + iz = \phi^2 + 2i\phi\psi - \psi^2 \Rightarrow x = \phi^2 - \psi^2$$

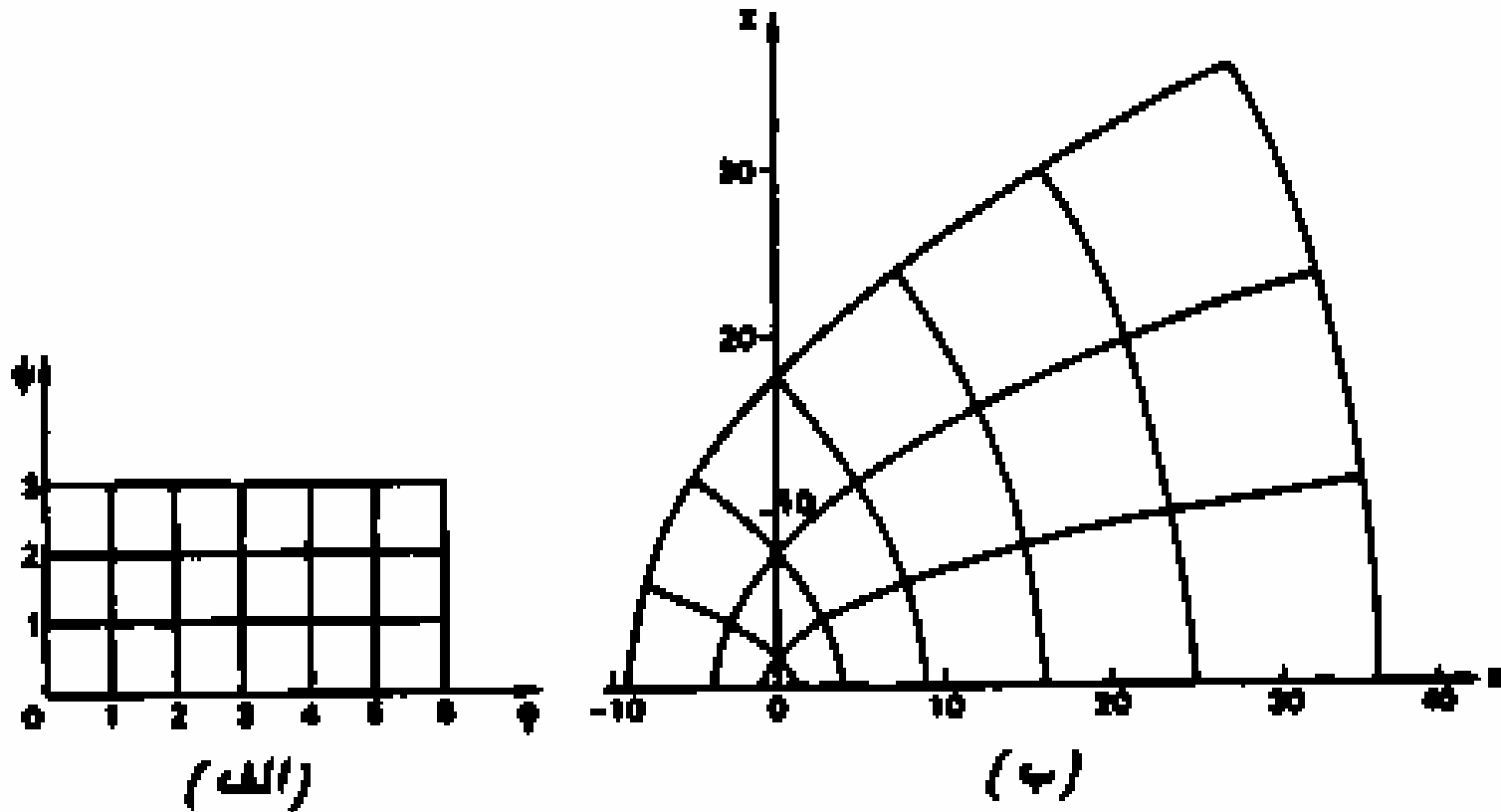
$$z = 2\phi\psi$$

دو رابطه فوق حاکم بر تبدیل نقاط بین صفحات w ، γ می باشد

$$w \begin{cases} x = \phi^2 - \psi^2 \\ z = 2\phi\psi \end{cases} \rightarrow r$$

اگر انتقال خطوط مستقیم $\psi = n$ که در آن $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ می باشد

اصل تبدیل سازگار



شکل تبدیل سازگار (الف) صفحه w ، (ب) صفحه z

اصل تبدیل سازگار

$$\phi = \frac{z}{2n} \Leftrightarrow z = 2\phi\psi \quad \text{با استفاده از رابطه}$$

$$x = \frac{z^2}{4n^2} - n^2 \Leftrightarrow r = \phi^2 - \psi^2 \quad \text{و همینطور از رابطه}$$

رابطه اخیر معرف یک گروه سهمی هم کانون است .

در شکل (ب) تعدادی از این سهمی ها برای مقادیر مثبت z و مقادیر مشخص n رسم شده اند .

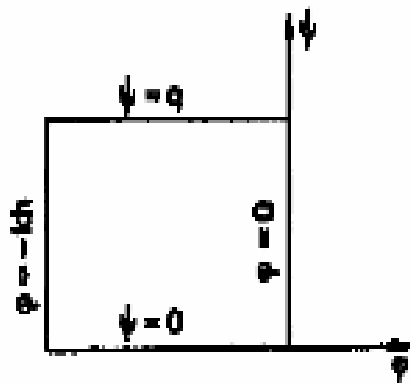
به همین ترتیب اگر خطوط انتقال مستقیم $\phi = m$ که در آن $m = 0,1,2,3,\dots$ می باشند در نظر گرفته شده اند :

$$\text{از رابطه } z = 2\phi\psi \text{ خواهیم داشت : } \psi = \frac{z}{2m}$$

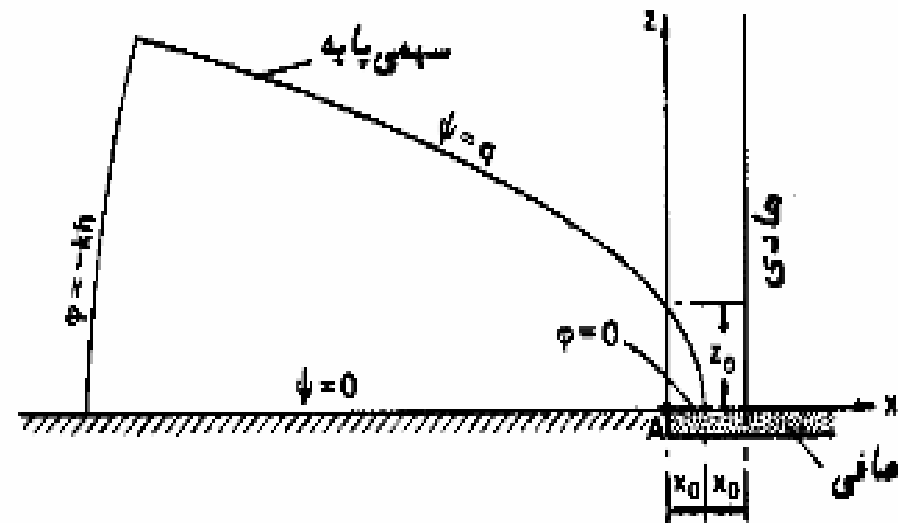
$$\text{در نتیجه از رابطه } x = \phi^2 - \psi^2 \text{ خواهیم داشت : } x = m^2 - \frac{z^2}{4m^2}$$

رابطه اخیر معرف گروه سهمی هم کانون مزدوج سهمی های قبل است . (شکل ب)

کاربرد در ترسیم شبکه جریان سدهای خاکی



(الف) صفحه W



(ب) صفحه Γ

در شکل الف محدوده جریان واقع در صفحه W که در شرایط حدی مربوط به سدهای خاکی نشان داده است صدق می کند آورده شده است. در این حالت تابع $r = c w^2$ بصورت تابع انتقالی میل می کند (c ثابت انتگرال گیری است)

روابط پایه بصورت زیر در می آیند:

$$X = c (\phi^2 - \psi^2)$$

$$Z = 2c \phi \psi$$

اگر شرایط زیر در رابطه دوم قرار بگیرد معادله خط جریان فوقانی بدست می آید:

$$\psi = q \quad \phi = -kz$$

$$Z = -2ckZq \Rightarrow c = \frac{-1}{2kq} \Rightarrow X = \frac{-1}{2kq} (k^2 z^2 - q^2)$$

$$X = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{k} - \frac{k}{q} z^2 \right)$$

منحنی حاصل از معادله فوق سهمی پایه **Kozeny** می باشد. مبدأ و کانون این سهمی در نقطه **A** قرار دارد.

$$X_0 = \frac{q}{2k} \quad \text{برای } z = 0 \text{ مقدار } X \text{ برابر است با:}$$

$$q = 2kx_0 \quad \text{و لذا}$$

در این رابطه $2x_0$ فاصله خط هادی سهمی پایه است بازای $x = 0$ مقدار Z برابر

$$z = \frac{q}{k} = 2x_0 \quad \text{است با:}$$

$$X = \frac{1}{2} \left(\frac{q}{k} - \frac{k}{q} z^2 \right) \quad \text{در این رابطه پایه خواهیم داشت:}$$

$$X = x_0 - \frac{z^2}{4x_0}$$

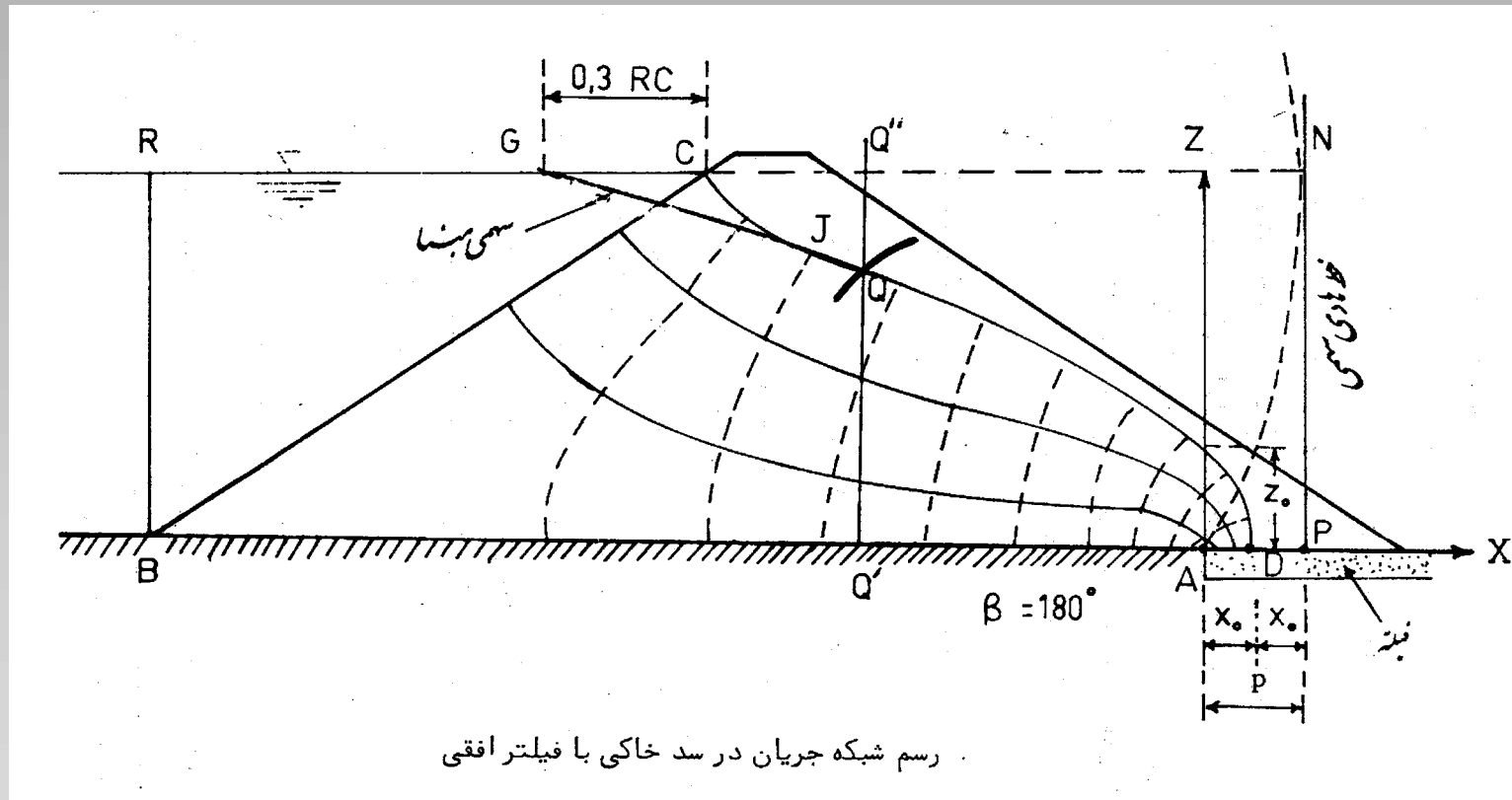
$$X = x_0 - \frac{z^2}{4 x_0}$$

• با نوشتن مختصات یک نقطه از سهمی و استفاده از رابطه فوق می توان شکل سهمی پایه را رسم نمود در اثر تبدیل سازگار فوق ممکن است ناسازگاری بوجود آید . چون خط مستقیم $\phi = -kh$ که معرف خط هم پتانسیل بالا دست است لازم است بصورت یک سهمی در تبدیل $W \rightarrow z$ در می آید در حالیکه در مقطع سد خاکی ، خط هم پتانسیل همان سطح شیروانی سد در بالا دست است . در این مورد کاساگراند پیشنهاد می کند که نقطه مبدأ سهمی پایه در نقطه ای چون

$$G \text{ در رابطه } X = x_0 - \frac{z^2}{4 x_0} \text{ می توان مقدار } X_0 \text{ را}$$

بدست آورد و سهمی مبنا را ترسیم نمود

ترسیم شبکه جریان سدهای خاکی

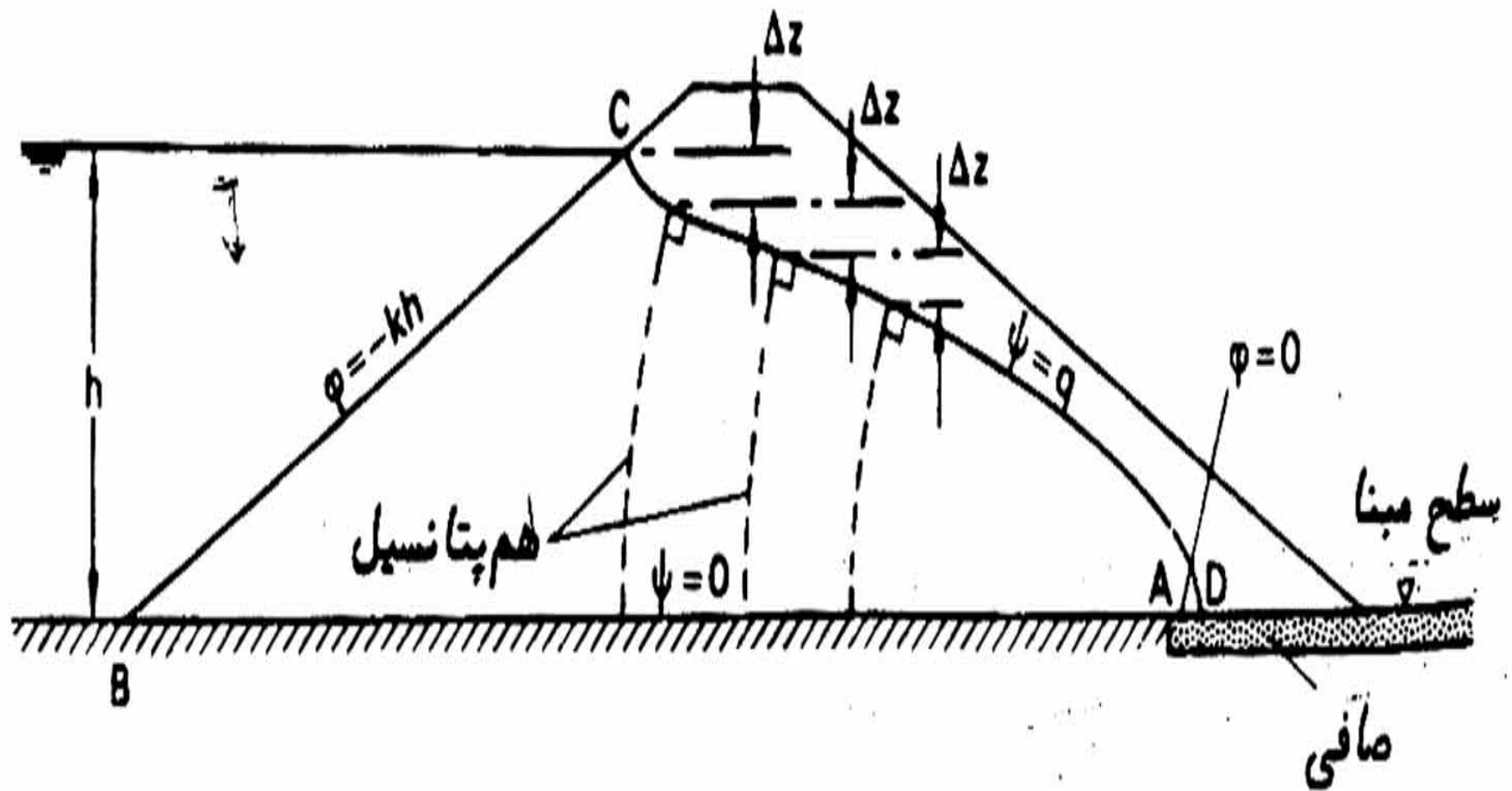


چون خط فوقانی جریان باید عمود بر شیروانی سد در بالا دست باشد لذا باید سهمی
 مبنا بر این اساس بصورت e_j تصحیح شود. این تصحیح معمولاً بر پایه قضاوت
 شخصی صورت می گیرد و پس از آن شبکه جریان ترسیم می گردد. در مواردی که
 سطح جریان خروجی AD افقی نباشد باید بخشی از سهمی بصورت KD تصحیح
 شود. اگر β زاویه بین امتداد سطح جریان خروجی و AB باشد تصحیح لازم با

استفاده از مقادیر نسبت $\frac{M_D}{M_A} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha}$ می تواند صورت پذیرد مقادیر مختلف $\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$

برای مقادیر مختلف β توسط کاساگراند بصورت زیر داده شده اند.

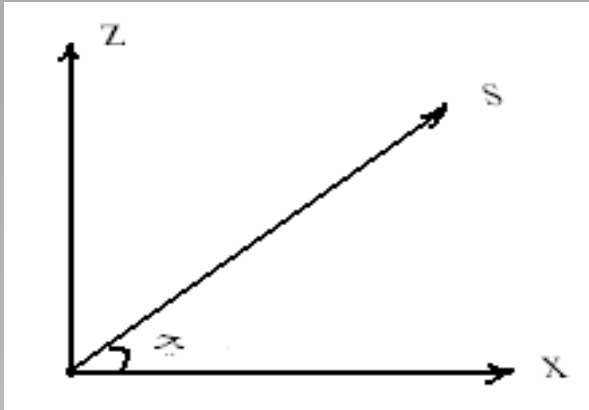
180	150	120	90	60	30	β°
0	0.01	0.18	0.26	0.32	0.36	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$



تراوش در یک خاک غیر همگن ($k_x \neq k_z$)

معمولا" ضریب تراوایی یا نفوذپذیری مقداری حداقل در جهت قائم (یعنی k_z) دارد و همین ضریب در جهت افقی (k_x) معمولا" حداکثر است. در صورت مقایسه بین این دو ضریب در یک خاک اگر بخواهیم k_s (یعنی ضریب نفوذپذیری در جهت دلخواه S) را بدست آوریم داریم:

$$v_x = k_x i_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \qquad v_z = k_z i_z = k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$



در هر جهتی نظیر s که با امتداد
 x زاویه α بسازد میزان ضریب
نفوذپذیری با استفاده از رابطه زیر
تعریف می شود:

$$v_s = k_s \frac{\partial h}{\partial s} \Rightarrow \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{v_s}{k_s}$$

$$\frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\partial h}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial s}$$

$$\begin{cases} x = S \cos \alpha \\ z = S \sin \alpha \end{cases} \quad \begin{cases} v_x = v_s \cos \alpha \\ v_z = v_s \sin \alpha \end{cases}$$

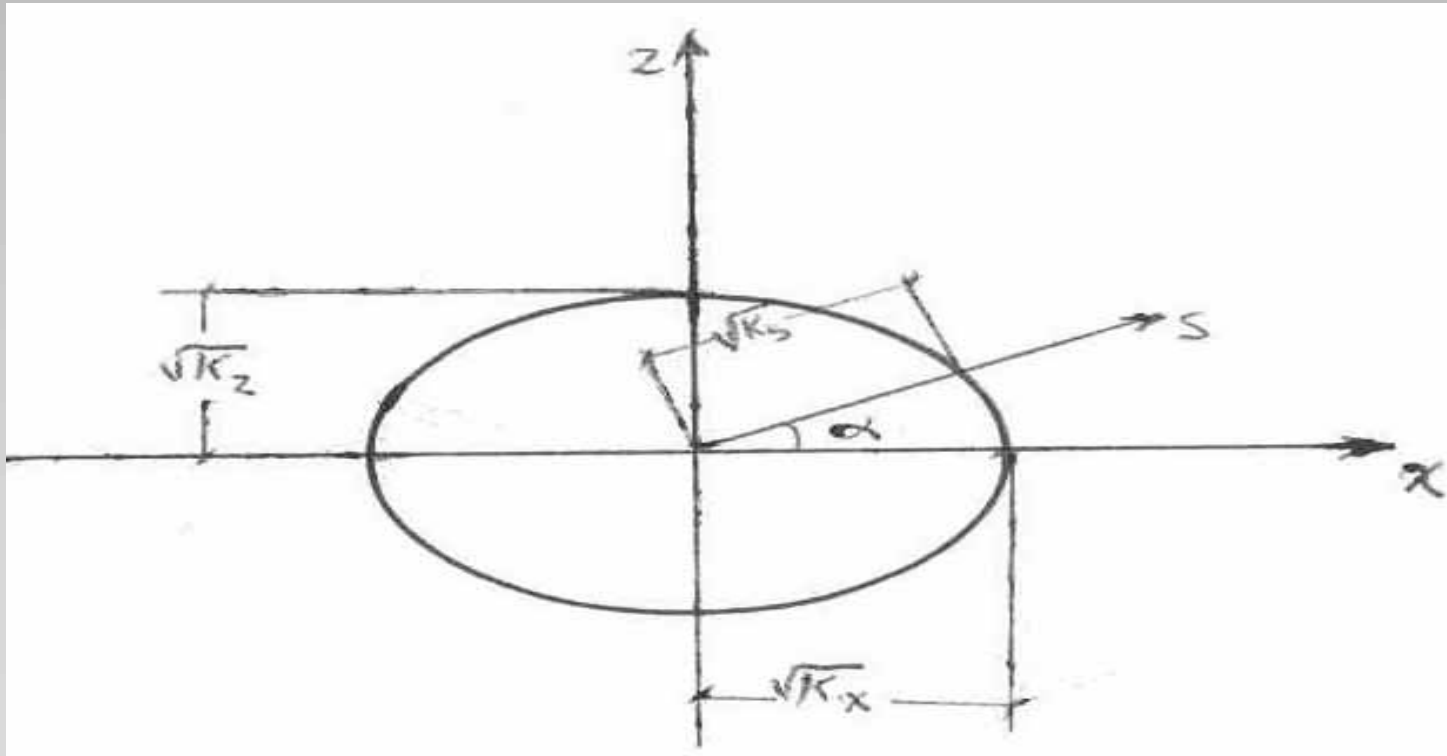
$$\Rightarrow \frac{\partial h}{\partial s} = \frac{v_s}{k_s} = \frac{v_x}{k_x} \cos \alpha + \frac{v_z}{k_z} \sin \alpha$$

$$\Rightarrow \frac{1}{k_s} = \frac{\cos^2 \alpha}{k_x} + \frac{\sin^2 \alpha}{k_z} \Rightarrow \frac{s^2}{k_s} = \frac{x^2}{k_x} + \frac{z^2}{k_z}$$

$$\left(1 = \frac{x^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} \right)$$

با مقایسه این معادله با معادله بیضی

ملاحظه می شود که معادله فوق معادله یک بیضی است پس از رسم بیضی مربوطه برای هر زاویه یک k_s متناظر خواهیم داشت.



در چنین حالتی که $k_x \neq k_z$ می باشد معادله لاپلاسین به صورت زیر نوشته می شود:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

$$\frac{\partial^2 h}{\left(\frac{k_z}{k_x}\right) \partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \text{ویا:}$$

$$x' = \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \cdot x$$

و در صورت جایگزینی

معادله پیوستگی به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

که معادله پیوستگی یک خاک غیر هموژن در صفحه z و x' می باشد، در نتیجه رابطه فوق مشخص می نماید که جریان در یک محیط غیر هموژن تبدیل به جریان در یک محیط فرضی می گردد که معادله لاپلاس برای آن صادق است

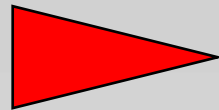
مقدار ضریب نفوذپذیری برای مقطع تبدیل یافته را ضریب همسانی هم ارز می نامند و برای محاسبه آن خواهیم داشت:

$$v_x = k_x i_x = k i_{x'}$$

$$k_x \frac{\partial h}{\partial x} = k \frac{\partial h}{\partial x'}$$

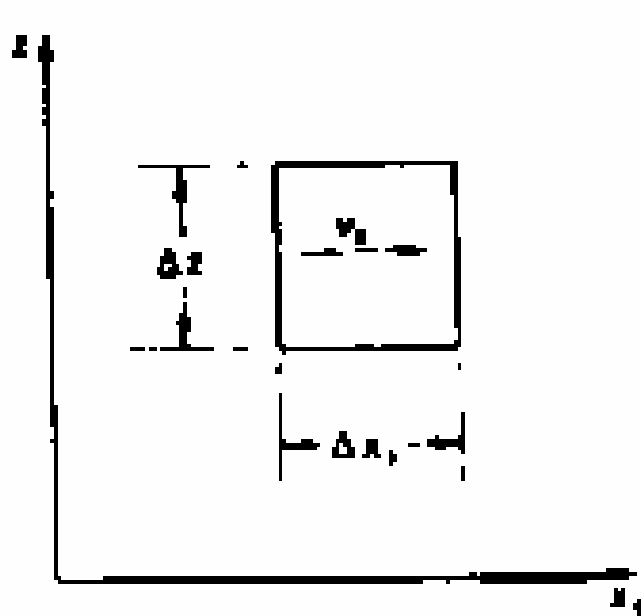
$$\partial x' = \sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \partial x$$

$$k_x = \frac{k}{\sqrt{\frac{k_z}{k_x}}}$$

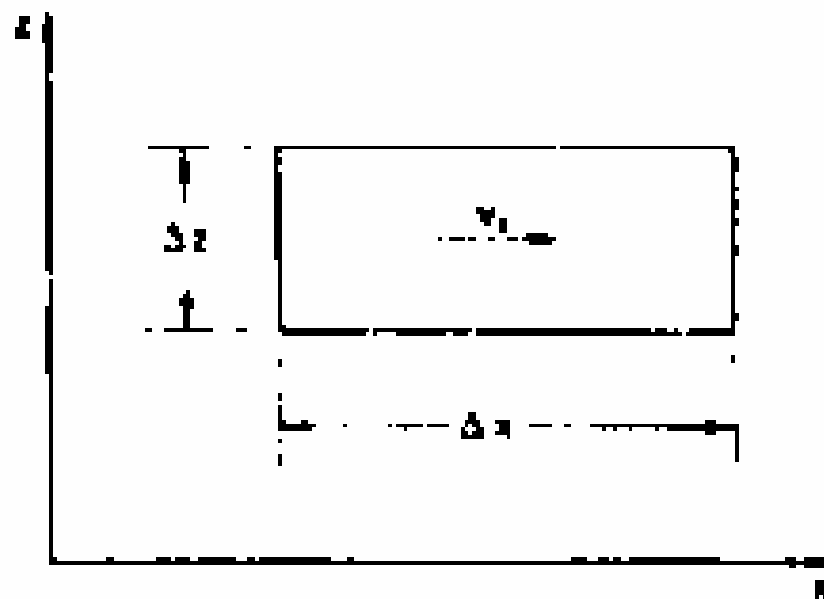


$$k = \sqrt{k_x k_z}$$

تصویر زیر یک جزء کوچک از شبکه جریان را در خاک غیر ایزوتروپ ، با مقیاس عادی
 ها می باشد ؛ تبدیل X و مقیاس تبدیل یافته نشان می دهد . جریان در جهت محور
 نیز در همین محور صورت گرفته است



ب - مقیاس تبدیل یافته



الف - مقیاس عادی

دیی را در اینجا می توان به دو صورت محاسبه کرد :

$$(1) q = K'H \frac{n_f}{n_d}$$

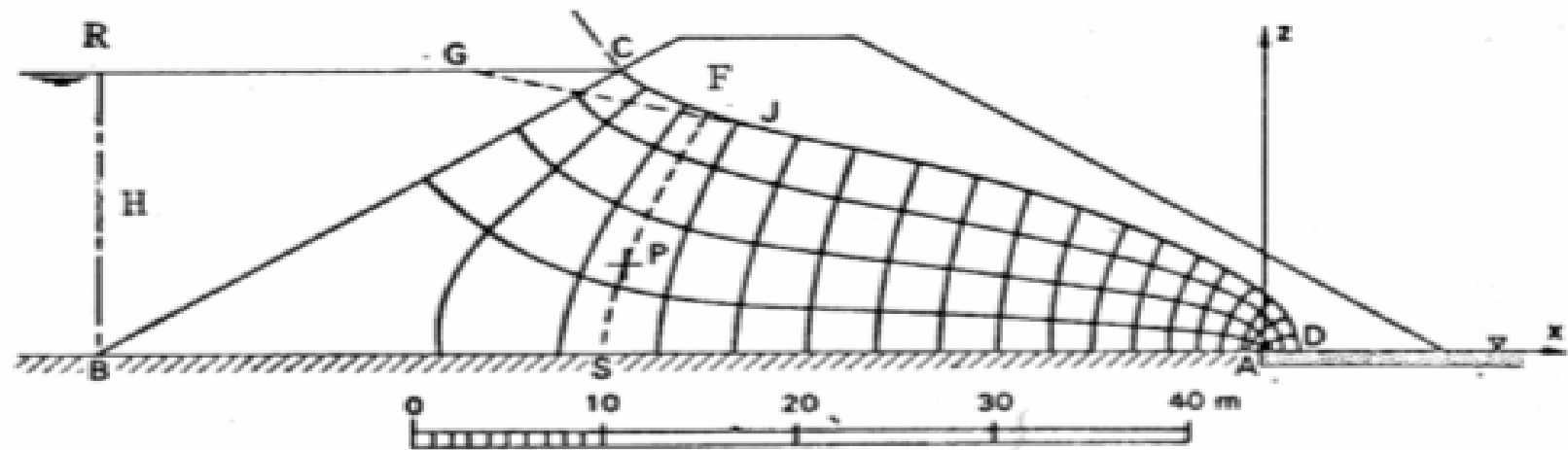
n_f تعداد کانالهای جریان در شبکه n_d تعداد خطوط هم پتانسیل

q دیی H ارتفاع آب بالا دست سد

$$(2) q = 2K'X_0$$

که X_0 با داشتن مختصات نقطه G بعنوان X, Z از رابطه $X = X_0 - \frac{Z^2}{4X_0}$ محاسبه

می گردد .



ب - مقیاس تبدیل یافته

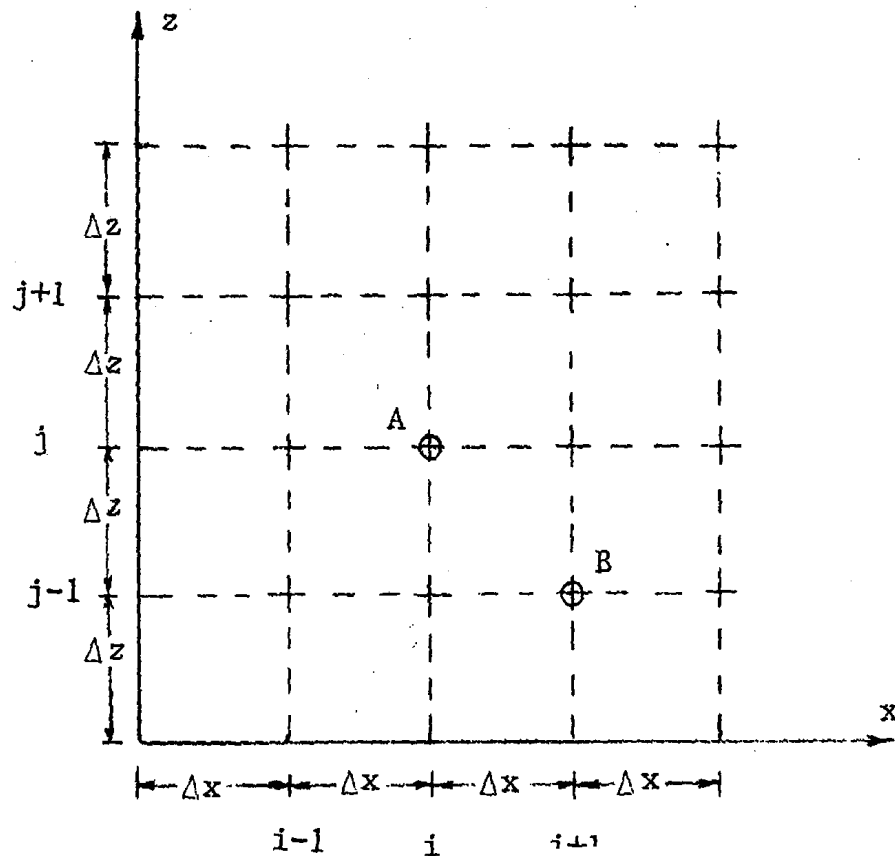
روش های عددی حل معادله جریان آب در خاکهای اشباع

- امروزه به دلیل پیشرفت کامپیوتر ، روشهای عددی بیش از پیش برای حل معادله حرکت آب در خاک مورد استفاده قرار می گیرند
- در این روشها ، هدف به دست آوردن مقدار تابع (جواب معادله) در نقاط مشخصی از شبکه می باشد
- یکی از مزایای روشهای عددی این است که مسئله مورد نظر را می توان با هر نوع شرط اولیه و شرائط مرزی حل کرد
- معروفترین روشها عبارتند از:
 - روش تفاضلهای محدود (Finite Difference)
 - روش اجزاء محدود (Finite Element Method)

- روش تفاضلهای محدود در حل مسائل مربوط به حرکت آب در خاک کاربرد وسیعی دارد و خود به چندین روش تقسیم می شود
- در اینجا، حل معادله حرکت آب در خاکهای اشباع (معادله لاپلاس) ، با استفاده از روش صریح (**Explicit**) تفاضل های محدود ، تشریح میشود
- معادله عمومی حرکت آب در خاکهای اشباع و همگن در دو بعد را می توان به صورت زیر نوشت :

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} = 0$$

- در روش تفاضلهای محدود سطح مورد نظر (سطح $X-Z$) به شبکه ای متشکل از گره ها تقسیم می شود
- هرگاه با مختصات X و Z اش که در اینجا بازینویس آونشان داده می شود ، مشخص می گردد
- به طور مثال جواب معادله قبلی در نقطه A به صورت $h_{i,j}$ و در نقطه B به صورت $h_{i+1,j-1}$ مشخص می شود
- h بار پتانسیل کل می باشد ، بنابراین $h_{i,j}$ بار پتانسیل کل در نقطه ای به طول i و عرض j می باشد



- در روش تفاضلهای محدود ، مشتقات جزئی با استفاده از بسط تیلور به دست می آیند
- بطور مثال، برای محاسبات مشتقات جزئی مرتبه دوم $\frac{\partial^2 h}{\partial X^2}$ و یا $\frac{\partial^2 h}{\partial Z^2}$ به ترتیب زیر عمل می شود :
- ابتدا بسط تیلور را برای $h_{i+1,j}$ و $h_{i-1,j}$ می نویسیم

$$h_{i+1,j} = h_{i,j} + \Delta X \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right)_{i,j} + \frac{(\Delta X)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} \right)_{i,j} + \frac{(\Delta X)^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 h}{\partial X^3} \right)_{i,j} + \dots$$

$$h_{i-1,j} = h_{i,j} - \Delta X \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right)_{i,j} + \frac{(\Delta X)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} \right)_{i,j} - \frac{(\Delta X)^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 h}{\partial X^3} \right)_{i,j} + \dots$$

با جمع کردن روابط قبلی، رابطه زیر بدست می آید :

$$h_{i+1,j} + h_{i-1,j} = 2h_{i,j} + 2 \frac{(\Delta X)^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} \right)_{i,j} + 2 \frac{(\Delta X)^4}{4!} \left(\frac{\partial^4 h}{\partial X^4} \right)_{i,j} + \dots$$

- با حذف جملاتی که در آنها توان عبارت (ΔX) از چهار به بالا می باشد ، می توان رابطه زیر را بدست آورد

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} \right)_{i,j} = \frac{h_{i-1,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j}}{(\Delta X)^2} (I)$$

برای جهت Z ها نیز می توان با روش مشابهی رابطه زیر را به دست آورد :

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} \right)_{i,j} = \frac{h_{i,j-1} - 2h_{i,j} + h_{i,j+1}}{(\Delta Z)^2} \quad (II)$$

• با جایگزین کردن روابط (I) و (II) در رابطه اولیه می توان نوشت :

$$K_X \frac{h_{i-1,j} - 2h_{i,j} + h_{i+1,j}}{(\Delta X)^2} + K_Z \frac{h_{i,j-1} - 2h_{i,j} + h_{i,j+1}}{(\Delta Z)^2} = 0$$

از رابطه اخیر می توان $h_{i,j}$ را بدست آورد :

$$h_{i,j} = \frac{1}{2(A+B)} \left[Ah_{i-1,j} + Ah_{i+1,j} + Bh_{i,j-1} + Bh_{i,j+1} \right]$$

می

$$B = \frac{K_z}{(\Delta Z)^2} \quad \text{و} \quad A = \frac{K_x}{(\Delta X)^2}$$

• که در آن باشد

برای خاکهای ایزوتروپ که $k=k_x=k_z$ می باشد . چنانچه
 $\Delta X = \Delta Z$ باشد ، رابطه را بصورت زیر می توان نوشت:

$$h_{i,j} = \frac{1}{4} (h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} + h_{i,j+1}) (*)$$

این رابطه نشان می دهد که برای تعیین پتانسیل کل در هر گره ،
پتانسیل کل در گره های اطراف آن باید معلوم باشد

- برای حل یک سیستم معادله و مجهول راه حل های عددی مختلفی وجود دارد بعنوان مثال میتوان از روشهای:
- « حذف گوسی » (Gauss Elimination Method)
- « گوس - سیدل » (Gauss Seidle Method)
- جایگزینی متوالی (Successive Substitution Method)
- « نیوتن - رافسون » (Newton _ Raphson Method)

نام برد

شرح روش جایگزینی متوالی:

- روش جایگزینی متوالی ، روش نسبتاً ساده ای است که آنرا در اینجا مورد بحث قرار می دهیم
- در این روش ابتدا اعدادی برای مقادیر مجهول فرض می کنند بعنوان مثال همه آنها را می توان صفر در نظر گرفت
- سپس با استفاده از دستگاه معادلات (*) مقادیر جدیدی برای مجهولات محاسبه کرد
- مجدداً با جایگزین کردن مقادیر جدید محاسبه شده در دستگاه معادلات (*) مقادیر جدیدتری برای مجهولات به دست آورد
- این عمل را باید آنقدر تکرار کرد تا اختلاف مقادیر به دست آمده در دو تکرار متوالی بسیار کم باشد
- بدیهی است هر چه مقادیر فرض شده اولیه به واقعیت نزدیک تر باشد ، تعداد تکرارها برای رسیدن به جواب واقعی کمتر خواهد بود

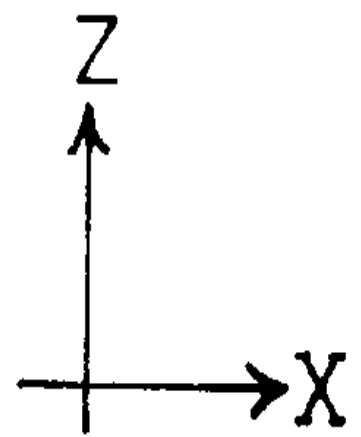
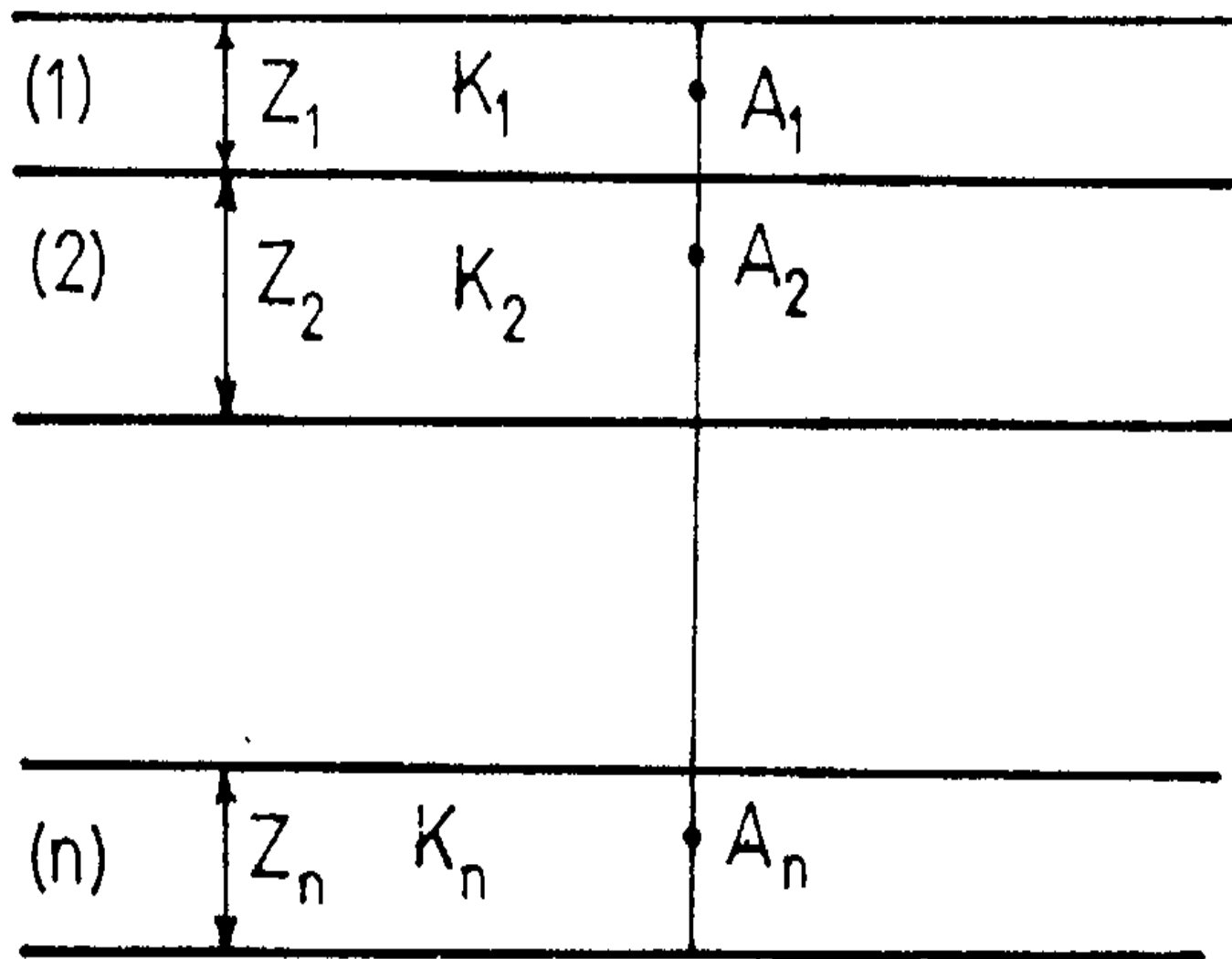
اجرای برنامه

سدهای خاکی قسمت سوم

دکتر سعید خرقانی

ضریب نفوذپذیری در خاکهای غیر همگن

- شکل بعد چند لایه خاک ایزوتروپ را به ضخامت های Z_n, \dots, Z_2, Z_1 نشان می دهد . ضریب نفوذپذیری این خاکها به ترتیب K_n, \dots, K_2, K_1 می باشد . چنانچه لایه ها غیر ایزوتروپ باشند ، به جای K_n, \dots, K_2, K_1 ضریب نفوذپذیری معادل ایزوتروپ این لایه ها ، یعنی K'_n, \dots, K'_2, K'_1 را در نظر می گیریم . در هر حال ، تمام لایه ها را می شود بصورت یک لایه واحد خاک همگن و غیر ایزوتروپ با ضخامت $(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n)$ در نظر گرفت که در این صورت ضریب نفوذپذیری متوسط این خاک را در جهت های X , Z با \bar{K}_z, \bar{K}_x نشان می دهیم توجه داریم که مرز بین لایه ها افقی است



محاسبه K_x

در صورت جریان در جهت افقی فرمول
 $Q=Q_1+Q_2+\dots+Q_j+\dots+Q_n$ را خواهیم داشت مطابق فرضیه
دوپوئی اختلاف فشار در دو سه لایه‌های مختلف یکسان
فرض می‌گردد

$$Q=k_x iH=k_1 iH_1+k_2 iH_2+\dots+k_n iH_n$$

$$K_x=\sum k_i H_i / H$$

محاسبه k_z

از معادله تعادل زیر استفاده می کنیم

$$Q=Q_1=Q_2=\dots=Q_n$$

$$K_z i = k_1 i_1 = k_2 i_2 = \dots = k_n i_n$$

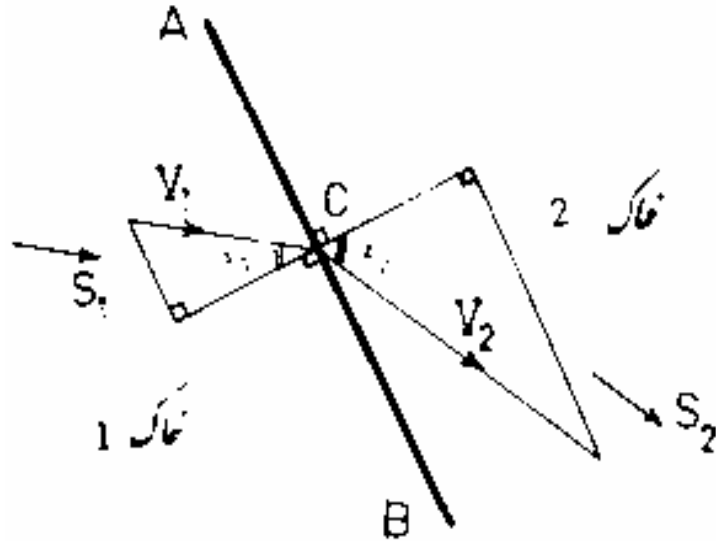
اما اختلاف فشار (پیزمتریک) کل برابر مجموع اختلاف فشارها در هر لایه می باشد

$$iH = i_1 H_1 + i_2 H_2 + \dots + i_n H_n$$

$$iH/k_z i = i_1 H_1/k_1 i_1 + i_2 H_2/k_2 i_2 + \dots + i_n H_n/k_n i_n$$

$$K_z = H / (\sum H_i / k_i)$$

عبور جریان از مرز مشترک دو خاک



عبور جریان از مرز دو لایه خاک

$$V_1 \cos \alpha_1 = V_2 \cos \alpha_2$$

$$K_1 \frac{\partial h}{\partial S_1} \cos \alpha_1 = K_2 \frac{\partial h}{\partial S_2} \cos \alpha_2$$

در شکل روبرو خط مایل AB مرز مشترک بین دو خاک ایزوتروپ (۱) و (۲) می باشد. ضریب هدایت آبی این خاکها به ترتیب برابر با k_1 و k_2 است. امتداد خطوط جریان عمود یا موازی AB نبوده، بلکه به طور مایل آنرا قطع می کنند.

چنانچه سرعت جریان را در نزدیکی نقطه در خاکهای (۱) و (۲) به ترتیب با V_1 و V_2 و امتداد آنها را با S_1 و S_2 نشان دهیم

از آنجا که جریان در امتداد مؤلفه عمودی پیوسته است می شود نوشت

- α_1 و α_2 به ترتیب زاویه بین بردارهای سرعت و خط عمود بر AB در نقطه C است. اکنون با توجه به این نکته که در مرز مشترک دو خاک بار هیدرولیکی (هم چنین بار فشاری) برای دو خاک یکسان است می توان نوشت:

$$\frac{\partial h}{\partial S_1} \sin \alpha_1 = \frac{\partial h}{\partial S_2} \sin \alpha_2$$

- از تقسیم دو رابطه قبل رابطه زیر بدست می آید

$$K_1 \cot \alpha_1 = K_2 \cot \alpha_2 \longrightarrow \tan \alpha_2 = \frac{K_2}{K_1} \tan \alpha_1$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{K_2}{K_1} \tan \alpha_1$$

• این رابطه نشان می دهد که خط جریان در موقع عبور از خاک (۱) به (۲) چگونه تغییر مسیر می دهد . در یک شبکه جریان ، تغییر مسیر هر یک از خطوط جریان ، هنگام عبور از یک خاک به خاک دیگر ، از رابطه بالا پیروی می کند ؛ بنابراین از رابطه مذکور می شود برای رسم شبکه جریان در خاکهای نا همگن استفاده کرد

$$\Delta \psi = \frac{\Delta n}{\Delta S} \Delta \phi \qquad \Delta q = \frac{\Delta n}{\Delta S} K \Delta h$$

$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta S} \right)_1 K_1 = \left(\frac{\Delta n}{\Delta S} \right)_2 K_2$$

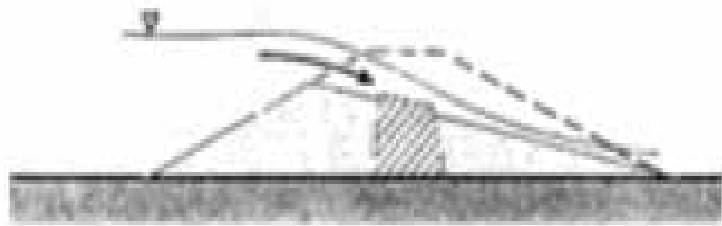
واضح است که اگر بخواهیم در لایه خاک (۱) شبکه مربعی شکل تشکیل شود

$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta S} \right)_1 = 1 \quad \text{باید :}$$

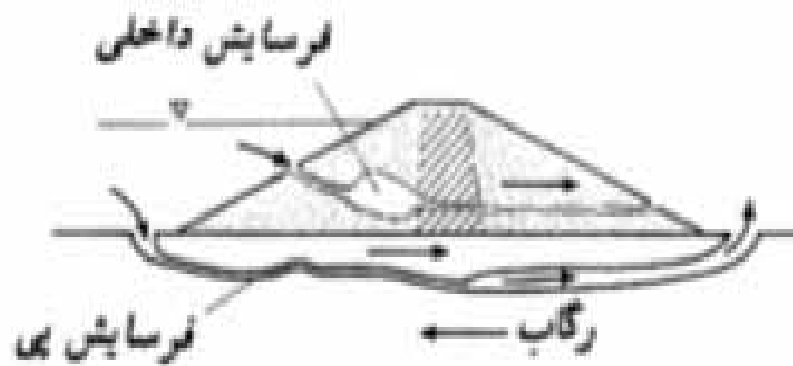
$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta S} \right)_2 = \frac{K_1}{K_2} \quad \text{بنابراین برای لایه خاک (۲)}$$

لذا ؛ در لایه خاک (۲) به جای شبکه مربعی شکل، شبکه مستطیلی شکل خواهیم داشت . نسبت بین ابعاد مستطیل ها از رابطه k_1/k_2 محاسبه می شود

اشکال مختلف خرابی در یک سد خاکریزه ای

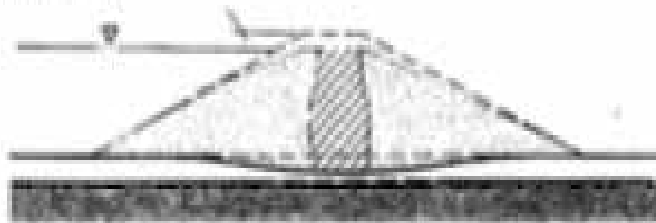


(الف) سرریز از روی بدنه سد (لب ریزشیدن)



(ب) فرسایش داخلی

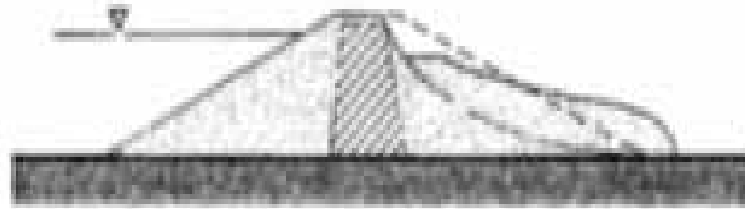
افت ارتفاع زیاد



(پ) نشست بدنه و بی



اشکال مختلف خرابی در یک سد خاکریزه ای

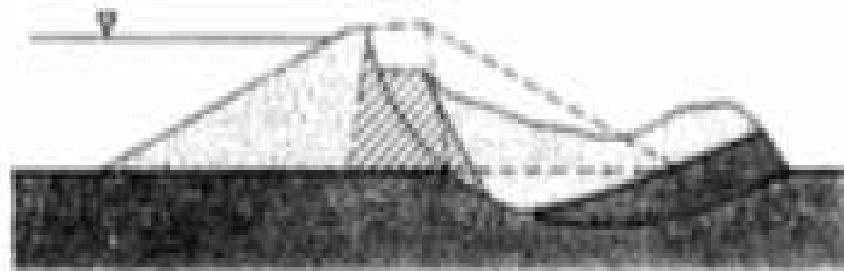


(ا) لغزش شیب پایین دست

الت تراز دریاچه



(ب) لغزش شیب بالا دست



(ج) لغزش عمیق شیب پایین دست

لبریز شدن و ارتفاع آزاد

- لبریز شدن به حالتی گفته می شود که در آن آب دریاچه از بالای تاج سد سرریز نماید که در چنین حالتی به واسطه فرسایش و آب شستگی کل موجودیت سد می تواند به خطر بیفتد . عوامل مؤثر در جلوگیری از لبریز شدن سد . ظرفیت کافی سر ریز ، و ارتفاع آزاد کافی می باشد
- **ارتفاع آزاد** ، یعنی اختلاف ارتفاع بین تراز حداکثر سطح دریاچه در تخلیه سیلاب و تراز حداقل تاج ، باید برای جلوگیری از لبریز شدن سد بعلت موجهای تولید شده در سطح دریاچه کافی باشد . در انتخاب ارتفاع آزاد باید به نشست تابع زمان بدنه و پی زیر سد توجه دقیق نمود

پایداری

- بدنه و پی سد باید در هنگام ساخت و تمام شرایط بهره برداری پایدار باشد . به همین علت شبیه‌های وجوه بالادست و پائین دست باید به قدر کافی ملایم و وضعیت تنشها در بدنه و پی سد نسبت به خرابی برشی به قدر کافی مطمئن باشد

کنترل تراوش (نشت)

- برای جلوگیری از فرسایش به علت پدیده رگاب (piping) و مهاجرت مصالح ریز دانه از هسته نفوذ ناپذیر ، و باتلاقی شدن پائین دست ، باید تراوش آب از بدنه و پی سد کنترل شده باشد . بنابراین شیب هیدرولیکی ، فشار و سرعت تراوش باید به حد مجاز برای مصالح انتخابی نگه داشته شوند

محافظت شیب بالادست

- شیب بالادست سد باید در مقابل فرسایشهای موضعی به علت تأثیر موج ، و فشار و حرکت یخ به نحو مناسبی محافظت گردد

آب بندی لوله های عبور داده شده از بدنه سد

باید با آب بندی نمودن محیط لوله ها و یا هرگونه
مجاری عبور داده شده از جسم سد توجه خاص
نمود وبا تعبیه جزئیات مناسب از هر گونه احتمال
نشت از این ناحیه جلوگیری کرد

مکانیسم های خرابی سدهای خاکریزه ای و روشهای جلوگیری از آنها

خرابی	مشخصه	علت	راه علاج
خارجی			
لبریز شدن	جریان از روی سد و فرسایش آن	سرریز و یا ارتفاع آزاد ناکافی نشست بدنه و یا پی	افزایش ارتفاع آزاد و یا ظرفیت سرریز ، جریان نشست و یا اضافه کردن ارتفاع
فرسایش موج	خسارت به شیب بالادست	غشاء محافظه صدمه می بیند	نگهداری و طراحی صحیح
فرسایش پنجه	جریان سیل باعث خسارت به پنجه می شود	مسیر کانال تخلیه سرریز بد انتخاب شده	دقت در طرح هیدرولیکی صحیح و دیوار محافظه
چسبناک شدن	فرسایش شیب پائین دست به علت بارندگی	زهکشی سطحی ناقص	چمن کاری شیب و یا زهکشی درست آن

مکانیسم های خرابی سدهای خاکریزه ای و روشهای جلوگیری از آنها

راه علاج	علت	مشخصه	خرابی
نشت داخلی			
پرده آب بند و یا تزریق هسته دقت در طرح و تزریق	پی نفوذ پذیر آب بند ناقص ترک داخلی	افزایش نشت	اتلاف آب
زهکشی داخلی ، فیلترها و ناحیه بندی صحیح خاکریز استفاده از حلقه های آب بند	ترک داخلی نشت از اطراف تونل تخلیه	نشت کدر	فرسایش نشت
ناپایداری			
تحکیم و زهکشی پی و اصلاح آن	پی ضعیف و فشار حفره ای بالا		لغزش پی
زهکشی ، شیب تخت و احداث برم	فشار حفره ای زیاد ، شیب تند و افت سریع آب دریاچه	تغییر شکل هندسه بدنه سد	شیب بالادست
تراکم کافی و یا اضافه کردن برم پنجه	حرکت یا شک سریع - خاکهای لای حداکثر ریسک را دارا هستند	مکانیسم جریان سریع	لغزش جریان

مکانیسم های خرابی سدهای خاکریزه ای و روشهای جلوگیری از آنها

خرابی	مشخصه	علت	راه علاج
تغییر شکل			
نشست	کم شدن ارتفاع آزاد	تغییر شکل بعلت تحکیم بدنه یا پی و یا بعلت فرسایش داخلی	افزایش ارتفاع آزاد ، فیلتر محافظ و طرح خوب جزئیات داخلی
داخلی	تغییر شکل هندسه خارجی و ترک داخلی	تغییر شکل نسبی نواحی و مصالح	طرح خوب جزئیات داخلی با نواحی انتقال عرض

کنترل تراوش

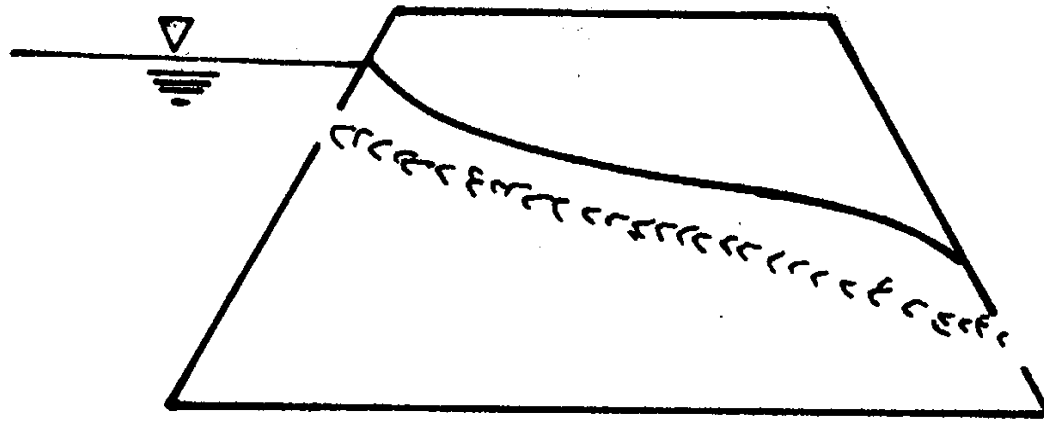
- در طرح یک سد خاکی باید در صورت امکان نوع خاک طوری انتخاب شود که اثر تراوش آب حذف و یا کاهش داده شود
- در محل‌هایی که گرادیان هیدرولیکی زیاد است ممکن است تراوش منجر به فرسایش و پیدایش مجراهایی در داخل سد شود
- این فرسایش در مواردی که خاک به خوبی کوبیده نشده باشد بیشتر است و ممکن است موجب خرابی سد شود. به همین دلیل است که برای کاهش میزان تراوش از یک هسته مرکزی ناتراوا استفاده می‌گردد
- عملاً تمام بار آبی در این هسته از بین می‌رود در صورتیکه هسته باریک باشد گرادیان هیدرولیکی قابل ملاحظه‌ای بوجود می‌آید و در صورتیکه گرادیان هیدرولیکی خروجی از هسته مرکزی سد قابل ملاحظه باشد خط فرسایش زیادی در فصل مشترک خاک مجاور هسته مرکزی وجود دارد
- برای حفاظت از این خط می‌توان از یک لایه زهکش که بین هسته مرکزی و لایه خاک در پائین دست قرار دارد استفاده نمود

پدیده Piping

- چنانچه گرادیان هیدرولیکی در قسمت تراوش آب از شیب بدنه سد در قسمت پائین دست افزایش یابد، ممکن است موجب شسته شدن خاک گردد
- بخصوص اگر عمل تراکم به خوبی انجام نشده باشد ، این عمل یک پدیده پیش رونده است ، ابتدا ریزترین ذرات شسته می شوند ، با شسته شدن این ذرات ، مقاومت خاک در مقابل جریان کم شده و گرادیان هیدرولیکی افزایش می یابد
- با افزایش گرادیان هیدرولیکی ، ذرات درشت تر شسته می شوند و به تدریج عمل فرسایش با سرعت بیشتری انجام گرفته و موجب تشکیل تونلی در درون سد می گردد
- به این تونل درونی **Pipe** و به پدیده تشکیل آن **Piping** یا فرسایش درونی یا رگاب می گویند .

پدیده Piping

- زمانیکه تونل مزبور با پیشروی خود به قسمت بالا دست برسد ، آب مستقیماً وارد آن شده و با سرعت زیاد جریان پیدا می کند . جریان آب موجب گشادتر شدن تونل می گردد در این مرحله سقف تونل فرو می ریزد و شکسته شدن کامل سد به وقوع می پیوندد .



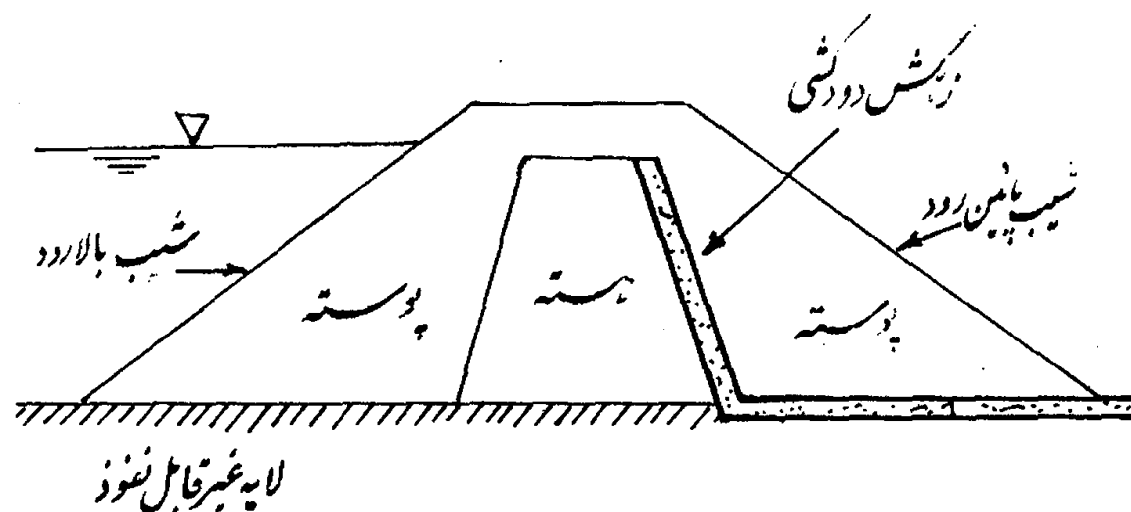
شکل - پدیدهٔ فرسایش درونی (Piping)

پدیده Piping

- پدیده **Piping** ، یک پدیده پیش رونده است . با بازرسی مرتب سد می توان به موقع به وجود آن پی برد . این پدیده ممکن است مدت‌ها بعد از ساخته شدن سد بوجود آید ، مشروط بر آنکه عاملی موجب افزایش قابل ملاحظه گرادیان هیدرولیکی در قسمت خروج گردد . چنانچه در قسمت خروج ؛ از فیلتر مناسب استفاده شود ، خطر فرسایش درونی از بین رفته و یا به مقدار زیادی کاهش می یابد . انتخاب فیلتر مناسب با استفاده از منحنی دانه بندی صورت میگیرد

زهکش دودکشی

- این زهکش تشکیل شده از یک فیلتر که دانه بندی آن باید به ترتیبی طراحی گردد که بتواند مانع عبور ذرات خاک از هسته گشته و از به اشباع در آمدن قسمتی از سد که در سمت پائین رود قرار دارد نیز جلوگیری کند



شکل - سد خاکی با هسته و زهکش دودکشی

زهکشی در بدنه سد

- زهکشی در بدنه سد به منظور جمع آوری و هدایت زه عبور کرده در بدنه و یا از پی می باشد و هدف آن این است که دامنه پایین دست حتی الامکان خشک نگاه داشته شود و نیز از ایجاد هرگونه اضافه فشار آب حفره ای در مناطق مختلف سد جلوگیری گردد .
- از آنجا که زهکشهای دارای نفوذ پذیری زیاد (واز قطعات درشت دانه) می باشند، لازم است ارتباط آنها با بدنه و (بخصوص با مغزه سد) به صورت تدریجی باشد یعنی الزاماً منطقه ای به نام فیلتر بین زهکش و خاک بدنه تعبیه گردد . این فیلتر ممکن است از یک لایه و یا چند لایه تشکیل شده باشد که هر لایه ای برای لایه زیرین نقش فیلتر را دارد

زهکشا

- وجود زهکشها همراه با فیلتر نه تنها موجب هدایت زه و گردآوری و تخلیه آب به مجاری پیش بینی شده میگردد بلکه در مواردی که منطقه های ضعیف احتمالی در اثر گرا دیان هیدرولیکی آب برای شسته شدن و پوک شدن مستعد هستند ، وجود یک فیلتر مناسب از این پدیده جلوگیری می کند و اصطلاحاً از پیدایش پدیده پایپینگ ممانعت می کند
- مواردی که تکانهای حاصل از زلزله یا نشستهای نامساوی موجب ایجاد شکافهایی در جسم سد گردد و آب بتواند با سرعت و دبی زیاد و پیش بینی نشده ای از آن ترکها جریان یابد وجود فیلتر در تمامی مواردی که دو لایه با دانه بندی متفاوت در کنار یکدیگر قرار دارند و نیز جهت هدفهایی که در بالا ذکر گردید بویژه در طرفین مغزه سد ، ضروری است .

زهکشا

- بعنوان یک معمار ، ظرفیت زهکشاها برای عبور دادن آب زه باید حداقل دو برابر مقداری باشد که از رابطه داری حساب می شود
- در مواردی که احتمال تقریبهایی در اندازه گیری ها باشد و یا تعیین مقدار دقیق ظرفیت بر اساس قانون داری میسر نباشد و یا در صورت احتمال ورود آب از مجاری دیگری به غیر از نفوذ زه، باید ضریب اطمینان را هرچقدر مقدور باشد بزرگتر انتخاب نمود
- هزینه اضافی که جهت ضخیمتر کردن زهکش به کار می رود سد را در برابر تخریبهای حاصل از عدم ظرفیت زهکش بیمه می کند

زهکش لایه ای افقی

- این نوع زهکش که در دامنه پائین دست و در قاعده سد قرار می گیرد ، تمامی زه درون بدنه و قسمت عمده زه پی را به طرف بیرون سد هدایت میکند
- این نوع زهکشها ، همانگونه که قبلاً اشاره شد بوسیله یک یا چند طبقه فیلتر به خاک بدنه سد متصل می گردند
- ممکن است یک پنجه سنگی و یا یک لایه زهکشی در پنجه سد ، سیستم زهکشی افقی را تکمیل کند
- نقش دیگری که زهکش افقی ممکن است داشته باشد در شرایطی است که پی تحکیم پذیر و نفوذ پذیر باشد ، در این صورت وجود لایه ای از زهکش افقی می تواند تحکیم لایه زیرین را (در اثر وجود بار سد) تسهیل و تسریع کند
- طول و ضخامت زهکش باید بر اساس میزان محتمل زه و شرایط دیگر تعیین گردد
- عموماً می توان حداکثر طول زهکش افقی را با اطمینان کامل سه برابر ارتفاع سد در نظر گرفت

زهکش مایل

- قرار دادن زهکش مایل در نیمه پائین دست سد با شیبهای مختلف در سدهای همگن نیز کاملاً معمولی است ابتدای این نوع زهکش تقریباً به محور سد یعنی تا زیر تاج آن می رسد و انتهای آن به زهکش افقی متصل می گردد
- وجود این نوع زهکش که عمدتاً هدایت زه به زهکش افقی است ، در مناطق زلزله خیز به پایداری سد نیز کمک می کند ، زیرا در صورت بروز شکستگی ها در بخش غیر اصطکاکی بدنه از گسترش آنها و ایجاد جریانهای قوی آب جلوگیری می کند
- در مناطق زلزله خیز قرار دادن لایه های فیلتر در دامنه بالادست به منظور التیام شکستگیهای احتمالی نیز در جهت اطمینان است ، که در این مورد رعایت معیار دانه بندی فیلتر ممکن است با همان دقتی که برای زهکش پائین دست منظور می شود ضروری نباشد
- ممکن است زهکش مایل را به طور قائم ایجاد نمود که در اینصورت محل آنرا می توان در محور سد یا بالادست و پائین دست انتخاب کرده و حتی زهکش مایل را نیز می توان در بدنه بالادست قرار داد . محل قرار دادن زهکش و نوع آن بستگی به مسائل اقتصادی و شرایط دیگر دارد .
- چنانچه حجم زهکش میانی سد نسبت به حجم کل بدنه مقدار قابل توجهی باشد، باید آنرا مغزه زهکشی نامید . این مورد نیز در سد سازی تجربه شده است و بعنوان نمونه میتوان از سد Vrtac در یوگسلاوی یاد نمود که به ارتفاع ۱۸ متر دارای یک مغزه زهکشی به ارتفاع ۱۲ متر و عرض قاعده ۱۸ متر می باشد

پنجه سنگی

- پنجه سنگی سیستمی است که از سنگهایی با قطعات درشت تشکیل می شود و می تواند بدون وجود زهکش افقی و یا توأم با زهکش افقی مورد استفاده باشد
- اندازه قطعات سنگهای تشکیل دهنده پنجه سنگی حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر معمول است . پنجه سنگی نیز باید با لایه های فیلتر به بدنه شالوده اتصال بیابد . بعنوان نمونه دانه بندی لایه های فیلتر یک پنجه سنگی را می توان به شرح زیر انتخاب نمود :
- یک لایه ۳۰ سانتیمتری از ماسه ریز (۱۵٪ آن برابر ۰/۰۹ میلی متر)
- یک لایه ۴۵ سانتیمتری از ماسه دشت (۱۵٪ آن برابر ۰/۸۱ میلی متر)
- یک لایه ۶۰ سانتیمتری از شن (۱۵٪ آن برابر ۷/۳ میلی متر)
- ارتفاع حداقل پنجه سنگی باید چنان باشد که خط زه با اطمینان کامل از دامنه پائین دست دور نگه داشته شود و اگر در سطح پائین دست آب جمع می شود این آب نیز موجب کم شدن راندمان پنجه سنگی نگردد . ارتفاع پنجه سنگی را می توان تا ارتفاع سد در نظر گرفت .
- خط الرأس پنجه سنگی باید به قدر کافی بالاتر از سطح آب جمع شده در پائین دست باشد تا از هر گونه اثرات موج روی جبهه پایین دست جلوگیری نماید . در بعضی موارد اقتصادی نیست که سطح پنجه سنگی را برای این هدف بالاتر قرار دهند و در چنین مواردی سنگ چینی را تا یک ارتفاع حداقل قائم یعنی تا ۱/۵ متری بالای سطح آب جمع شده در پایین دست ادامه می دهند .
- جبهه ورودی آب در پنجه سنگی با شیب یک به یک و جبهه خروجی آن ادامه شیب پائین دست ساخته می شود .

انواع اصلی زهکشی بدنه در سدهای خاکی



الف - زهکش لایه ای افقی

ب - زهکش مایل و افقی

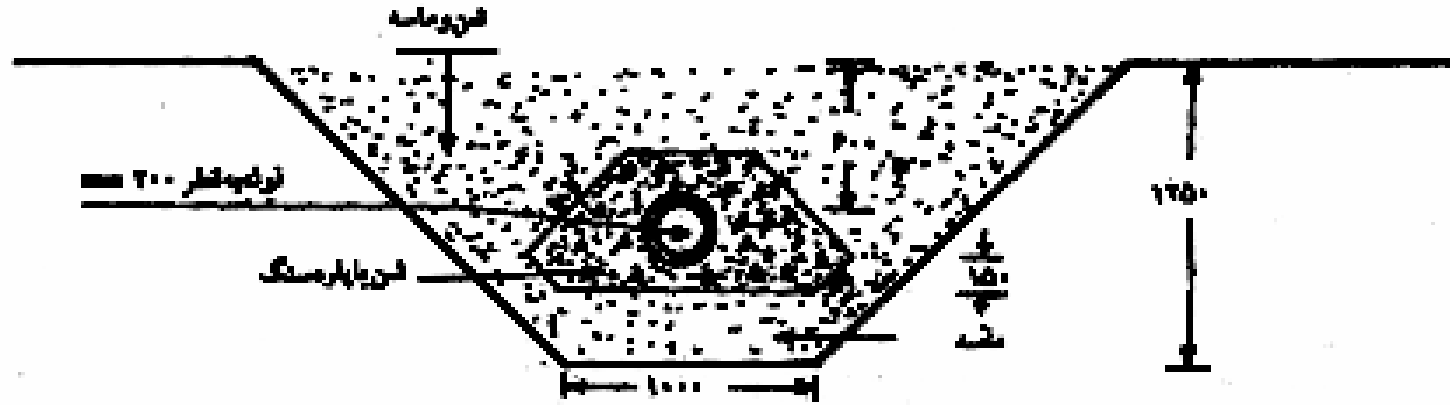
- ۱ - لایه های فیلتر، ماسه متوسط تا درشت به ضخامت ۰/۳ متر در لایه مایل
 - ۲ - ماسه درشت تاشن ($D=5-12\text{mm}$) به ضخامت ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ متر در لایه مایل
 - ۳ - سنگ خرد شده ($D=25-75\text{mm}$) به ضخامت ۰/۲۵ تا ۰/۶ متر در لایه مایل
- و از ۳ ضخامت هر لایه افقی ۰/۱۵ متر



ج - پنجه سنگی

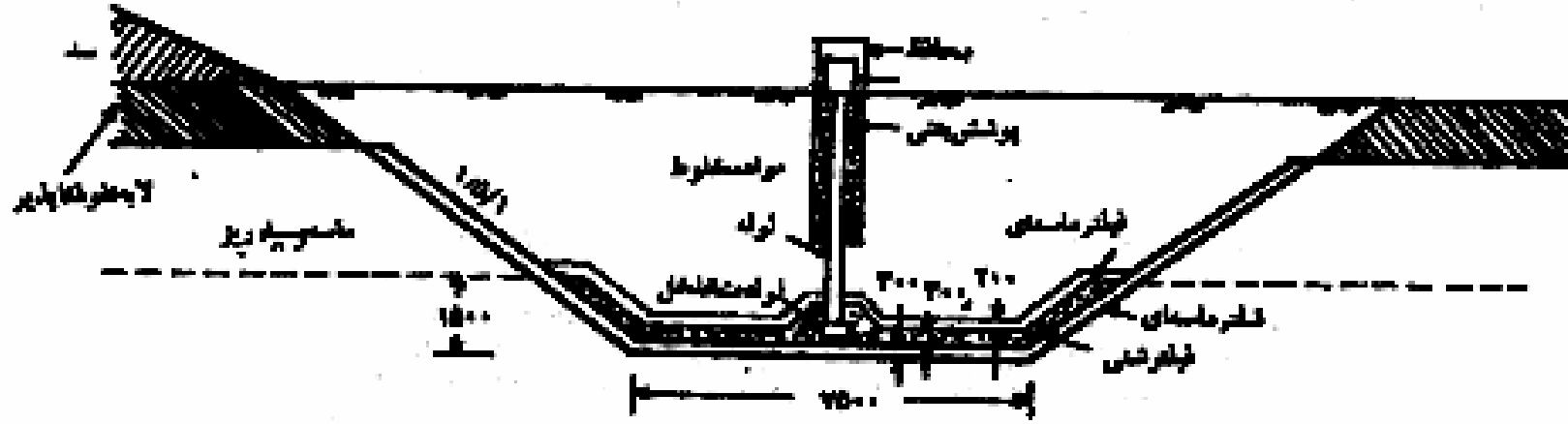


انواع دیگر زهکشا در پنجه سد



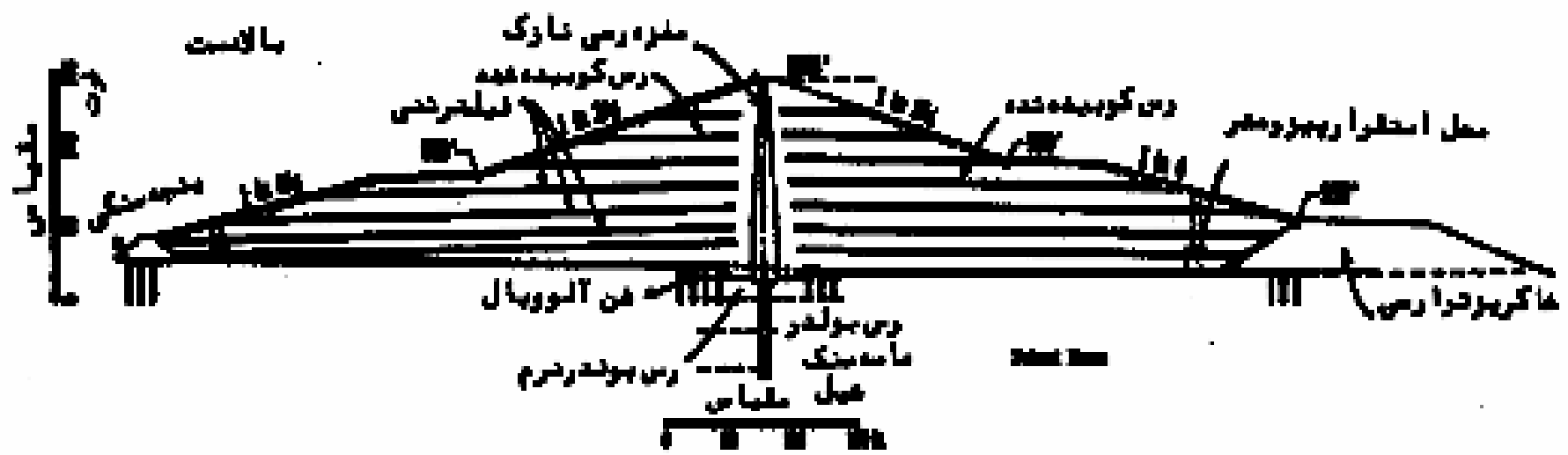
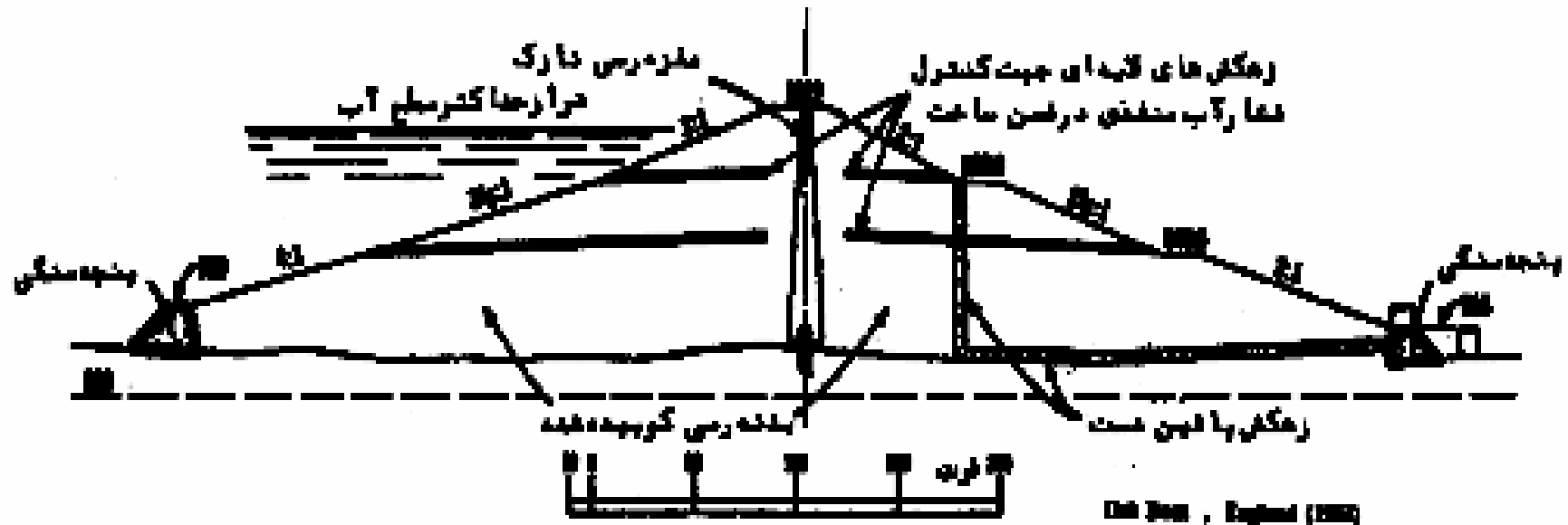
الف - زهکشی پنجه

تیمارهای با عمق کمتر



ب - تراشه زهکشی

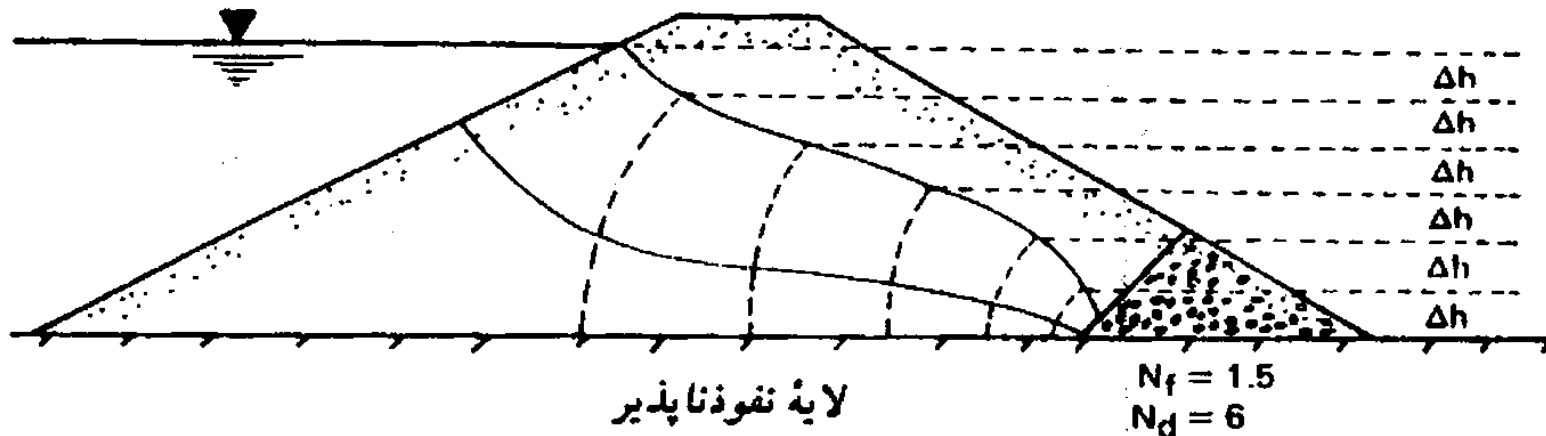
دو نمونه از زهکشهای لایه ای در بدنه سد



شرایط صافی های و طراحی فیلتر

- وقتی که جریان نشت آب از یک خاک با دانه های نسبتاً ریز به مصالح درشت دانه تر وارد می شود ، این خطر وجود دارد که ذرات ریز خاک به داخل مصالح درشت دانه تر شسته شوند
- اگر این کار در یک مدت زمان طولانی انجام بگیرد ، ذرات ریز ممکن است تمام فضای بین مصالح درشت دانه را پر کرده و آن را مسدود نمایند
- برای رفع چنین مشکلی بین دو لایه ریز و درشت ، از یک لایه فیلتر (یا فیلتر محافظتی) استفاده می شود

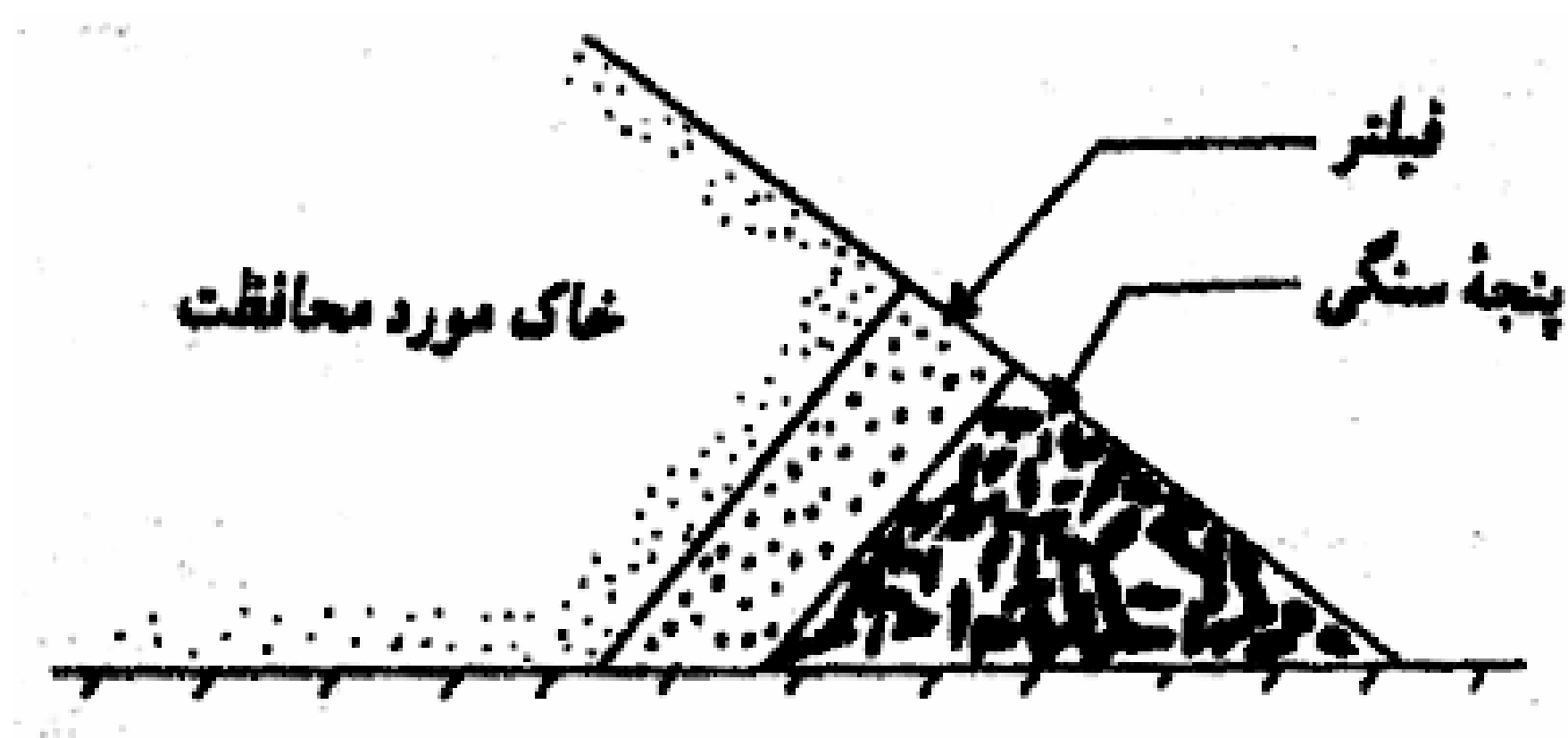
بعنوان مثال مقطع سد خاکی شکل زیر را در نظر بگیرید :



شبکه جریان برای مقطع یک سد خاکی با فیلتر سنگی پایین دست

اگر در پنجه سد ، بین خاک بدنه اصلی سد و سنگریزه های زهکش ، لایه فیلتر منظور نگردد ، ذرات ریز قسمت اصلی به سمت سنگریزه ها شسته شده و آن را مسدود می نمایند و در نتیجه سیستم زهکش سد از کار می افتد یا آنکه به تدریج مصالح سازنده بدنه به بیرون شسته شده و حفره اولیه ایجاد خرابی تشکیل می گردد

استفاده از فیلتر درپنجه سد خاکی



برای انتخاب صحیح مصالح فیلتر باید دو معیار زیر بر آورده شود :

- ۱ - اندازه حفرات مصالح فیلتر باید به قدر کافی ریز باشد تا از شسته شدن خاک مورد محافظت به داخل آن جلوگیری شود
- ۲ - مصالح فیلتر باید دارای نفوذ پذیری بالا باشند تا از بوجود آمدن نیروهای نشست زیاد و فشار هیدرواستاتیک در مصالح فیلتر جلوگیری شود

بر پایه تحقیقات تجربی ، برترام در ۱۹۴۰ معیارهای زیر را برای بر آورده کردن دو شرط فوق پیشنهاد نمود:

• (رابطه ۱) برای اقلناح شرط (۱) 5 تا 4 $\frac{(D_{15})_F}{(D_{85})_S} \geq$

• (رابطه ۲) برای اقلناح شرط (۲) 5 تا 4 $\frac{(D_{15})_F}{(D_{15})_S} \leq$

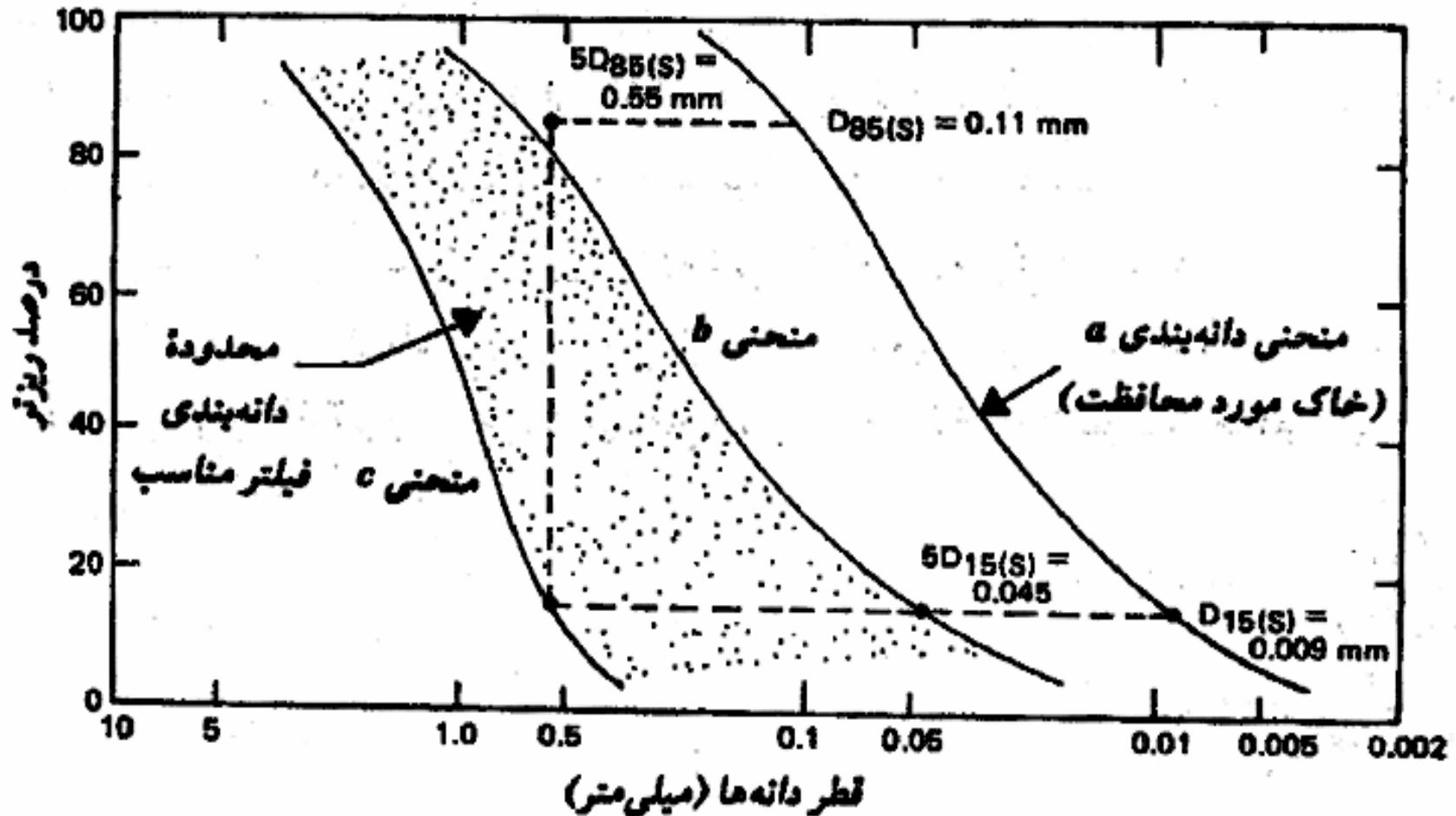
• که در آن :

• $=D_{15(F)}$ قطری که ۱۵ درصد وزنی مصالح فیلتر ریزتر از آن است

• $=D_{15(S)}$ قطری که ۱۵ درصد وزنی خاک مورد محافظت ریزتر از آن است

• $=D_{85(S)}$ قطری که ۸۵ درصد وزنی خاک مورد محافظت ریزتر از آن است

تعیین منحنی دانه بندی مصالح فیلتر



تعیین منحنی دانه بندی مصالح فیلتر

- در شکل فرض کنید منحنی α ، منحنی دانه بندی خاک مورد حفاظت باشد اگر برای این منحنی، $5D_{85S}$ و $5D_{15S}$ تعیین شوند ، دو حد بالا و پایین D_{15F} به دست می آیند
- از این دو نقطه ، دو منحنی تقریباً به موازات منحنی دانه بندی خاک مورد محافظت عبور داده می شود
- حد فاصل بین این دو منحنی ، محدوده قابل قبول برای منحنی دانه بندی فیلتر می باشد
- با همین اصول می توان منحنی دانه بندی سنگریزه های پنجه سنگی را طوری تعیین نمود که از فرسایش مصالح فیلتر به داخل آن جلوگیری شود .

معیارهایی دیگر برای طراحی فیلتر

- ۱ - برای اجتناب از فرسایش ذرات خاک مورد محافظت به داخل فیلتر:

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}} < 5 \quad \frac{D_{50(F)}}{D_{50(S)}} < 25 \quad \frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} < 20$$

اگر ضریب یکنواختی $\left(\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}} \right)$ خاک مورد محافظت کمتر از ۱/۵ باشد نسبت $\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}}$

میتواند تا ۶ افزایش یابد و اگر C_u خاک مورد محافظت بزرگتر از ۴ باشد ، نسبت

می تواند تا ۴۰ افزایش یابد $\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}}$

معیارهایی دیگر برای طراحی فیلتر

- ۲ - برای جلوگیری از تولید نیروهای نشت بزرگ در فیلتر باید داشته باشیم:

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} > 4$$

- ۳ - مصالح فیلتر نباید دانه هایی با قطر بزرگتر از ۷۶ میلی متر داشته باشند (این دستورالعمل به منظور جلوگیری از جدا شدگی دانه ها در فیلتر می باشد .)

- ۴ - به منظور جلوگیری از فرسایش داخلی ذرات ریز فیلتر و تأمین نفوذپذیری کافی ، نباید میزان ریز دانه های ریزتر از الک نمره ۲۰۰ در فیلتر بزرگتر از ۵ درصد باشد

معیارهایی دیگر برای طراحی فیلتر

- ۵ - وقتی که به منظور جمع آوری آبهای زهکشی از لوله های سوراخ دار استفاده می شود ، باید در اطراف لوله ها لایه فیلتر قرار داد تا از فرسایش ذرات ریز خاک به داخل لوله ها جلوگیری شود .
- همچنین برای جلوگیری از حرکت مصالح فیلتر به داخل لوله ها ، شرایط اضافی زیر باید بر آورده شود :

$$\frac{D_{85(F)}}{\text{عرض شکاف}} > 1.2 \quad 1.4 \quad \frac{D_{85(F)}}{\text{قطر سوراخ}} > 1.0 \quad 1.2$$

تانیکا چالام ، و ساکتیوادویل ، برپایه جمع بندی و تحلیل گزارشهای مربوط به فیلترها،روابط زیر را برای طراحی فیلتر محافظ خاکهای دانه ای پیشنهاد نمودند:

$$\frac{D_{60(S)}}{D_{10(S)}} = 0.4 \frac{D_{10(F)}}{D_{10(S)}} - 2.0$$

$$\frac{D_{60(F)}}{D_{10(F)}} = 0.941 \frac{D_{10(F)}}{D_{10(S)}} - 5.65$$

- D_{60S} = قطری ازدانه ها که ۶۰ درصدوزنی ذرات خاک از آن ریزترند
- D_{10S} = قطری ازدانه ها که ۱۰ درصدوزنی ذرات خاک از آن ریزترند
- D_{60F} = قطری از دانه ها که ۶۰ درصدوزنی مصالح فیلتر از آن ریزترند
- D_{10F} = قطری ازدانه ها که ۱۰ درصدوزنی مصالح فیلتر از آن ریزترند

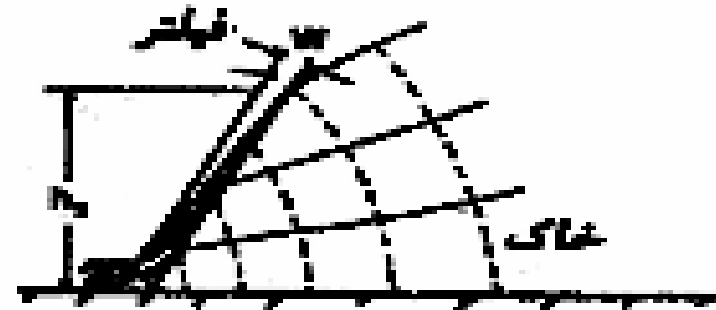
روش کدگرن

- کدگرن در ۱۹۶۰ شبکه های جریان متعددی نظیر شکل الف و ب اسلاید بعدی برای مطالعه شرایط نشت به فیلتر شیبدار واقع در قسمت پائین دست سدهای خاکی رسم نمود
- بر پایه مطالعات او نمودار شکل پ را برای تعیین W یعنی حداقل ضخامت لازم برای مصالح فیلتر در پائین دست یک سد خاکی پیشنهاد نمود (با توجه به شکل پ ، K_F ، ضریب نفوذ پذیری مصالح فیلتر و K_S ضریب نفوذ پذیری مصالح سد خاکی می باشد .)

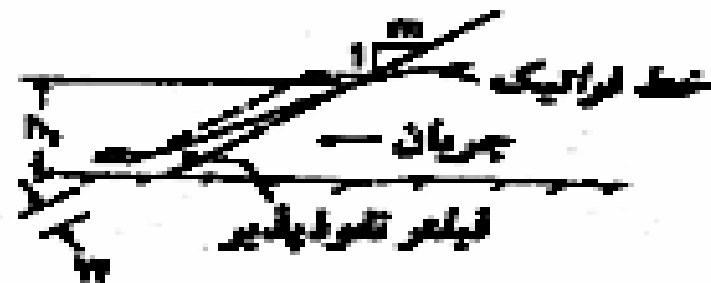
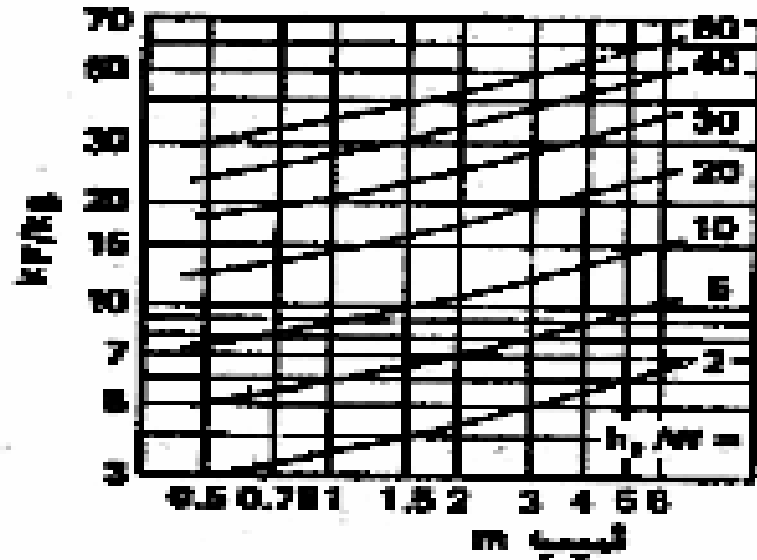
ضخامت فیلتر پایین دست یک سد خاکی



لایه تفویض پایین دست
نسبت: ۵/۱ افقی به ۱ قائم در وجه خروجی



لایه تفویض پایین دست
نسبت: ۵/۱ افقی به ۱ قائم در وجه خروجی



تعیین ضخامت زهکش

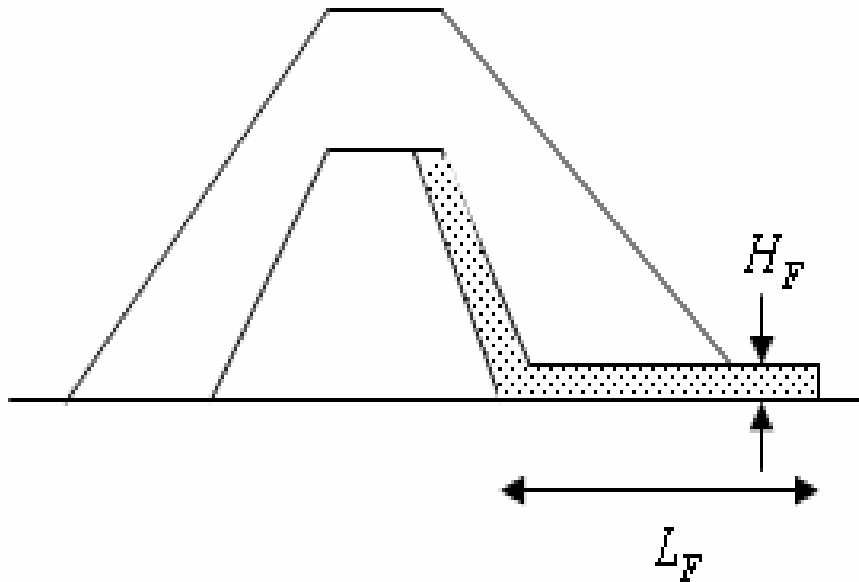
- بطور کلی برخی شرایط در تأسیسات خاکی وجود دارند که به فیلتر نیاز دارند
- اول آنکه آب از شیب پائین دست خاکریز مستقیماً خارج نشود
- دوم آنکه بر اثر جریان آب از یک خاک به خاک دیگر و یا از یک خاک به زهکش جابجایی ذرات خاک صورت نگیرد
- برای اینکه یک زهکش بتواند جریان طبیعی آب را از خود عبور دهد و در خود جمع نکند حداقل سطح مقطعی لازم دارد که می توان آنرا به کمک قانون داریسی بدست آورد

تعیین ضخامت زهکش

$$q = k_F \cdot i \cdot A = K_F \frac{H_F}{L_F} A$$

در عرض واحد خاکریز: $A = H_F \times 1$

$$q = K_F \frac{H_F^2}{L_F}$$



$$H_F = \sqrt{\frac{qL_F}{K_F}}$$

برنامه طراحی زهکش و فیلتر

اجرای برنامه

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

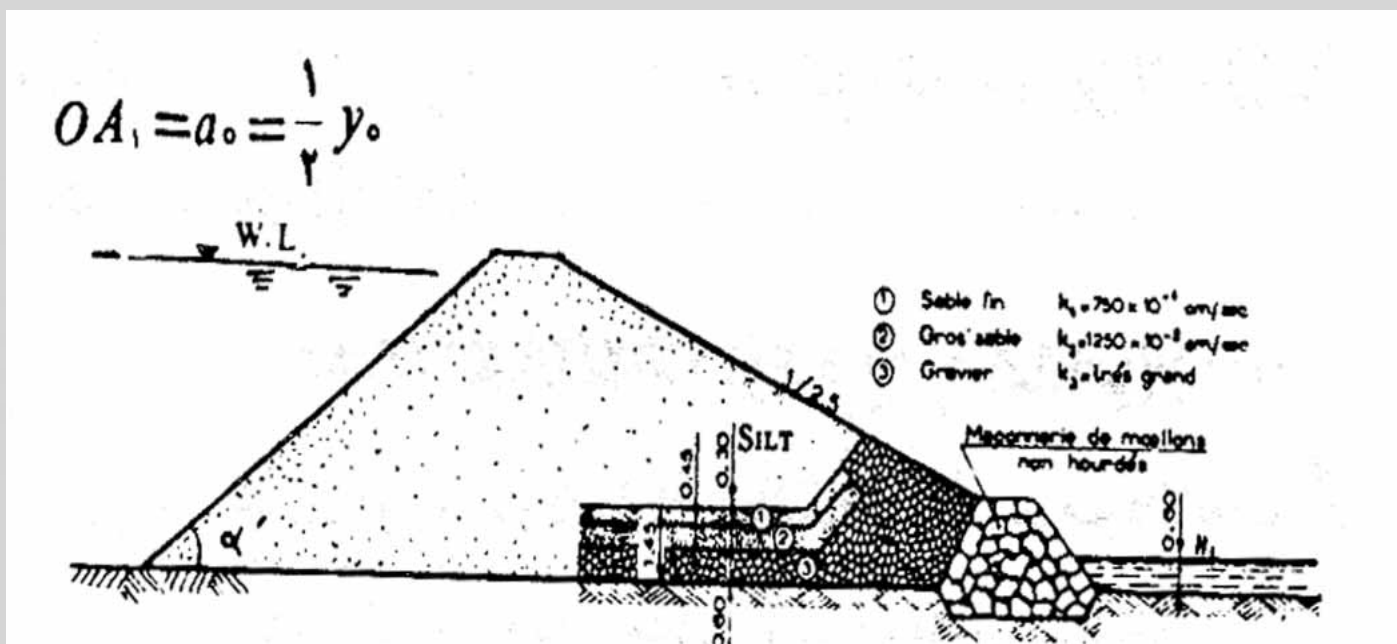
سدهای خاکی قسمت چهارم

دکتر سعید خرقانی

1383

بررسی مواد تشکیل دهنده زهکش

- اگر فرم ساختمان زهکش برابر شکل زیر طرح شود، برای بررسی قطر دانه بندی و ضخامت لایه های مختلف آن به توصیه های بعد عمل می نمایند



مقطع سد وزه کش مربوطه

- قطر دانه بندی لایه های مختلف زهکش بر مبنای ۱۵ درصد قطر دانه های ریز مواد تشکیل دهنده جسم سد ، مخصوصاً در پائین دست آن محاسبه و برآورد می شود

- مثلاً اگر ۱۵ درصد دانه بندی مواد تشکیل دهنده جسم سد کمتری یا مساوی یکصدم میلیمتر فرض شود، در این حالت ۱۵ درصد قطر دانه بندی لایه های مختلف زهکش به شرح زیر برآورد خواهد شد:

- **لایه اول :** این لایه که اولین لایه زهکش می باشد ، باید ۱۵ درصد قطر دانه بندی مواد بکار رفته در آن کوچکتر یا مساوی $9d$ انتخاب شود

$$d_1 = 9d = 9 \times 0.01 = 0.09mm$$

- **لایه دوم :** این لایه که بعد از لایه اول قرار گرفته است ، باید ۱۵ درصد قطردانه بندی مواد بکار رفته در آن کوچکتر یا مساوی $9d_1$ انتخاب شود

$$d_2 = 9d_1 = 9 \times 0.09 = 0.81mm$$

- **لایه سوم** : این لایه در مجاورت بستر سد قرار گرفته و آخرین لایه زهکش را تشکیل می دهد که ۱۵ درصد قطر دانه بندی این لایه نیز باید کوچکتر یا مساوی $9d_2$ انتخاب شود

$$d_3 = 9d_2 = 9 \times 0.81 = 7.29 \approx 7.3mm$$

- نتایج محاسبه و نوع مواد و ضریب نفوذپذیری در مورد لایه ها اگر میلیمتر فرض شود برابر جدول بعد تنظیم می شود

نوع مواد	۱۵٪ قطر دانه بندی (میلیمتر)	ضریب نفوذ پذیری بر حسب میلیمتر در ثانیه
	0.01	$K=6 \times 10^{-4}$
	0.09	$K_1=7.5 \times 10^{-2}$
	0.81	$K_2=12.5$
	7.3	$K_3=$

محاسبه و برآورد ضخامت لایه های زهکش

$$30^\circ < \alpha < 180^\circ \left\{ Q \# K \frac{H'^2}{2d} \right.$$

برای محاسبه ضخامت لایه های مختلف زهکش می توان نوشت:

$$30^\circ > \alpha \left\{ Q = K . a . \sin^2 \alpha \right.$$

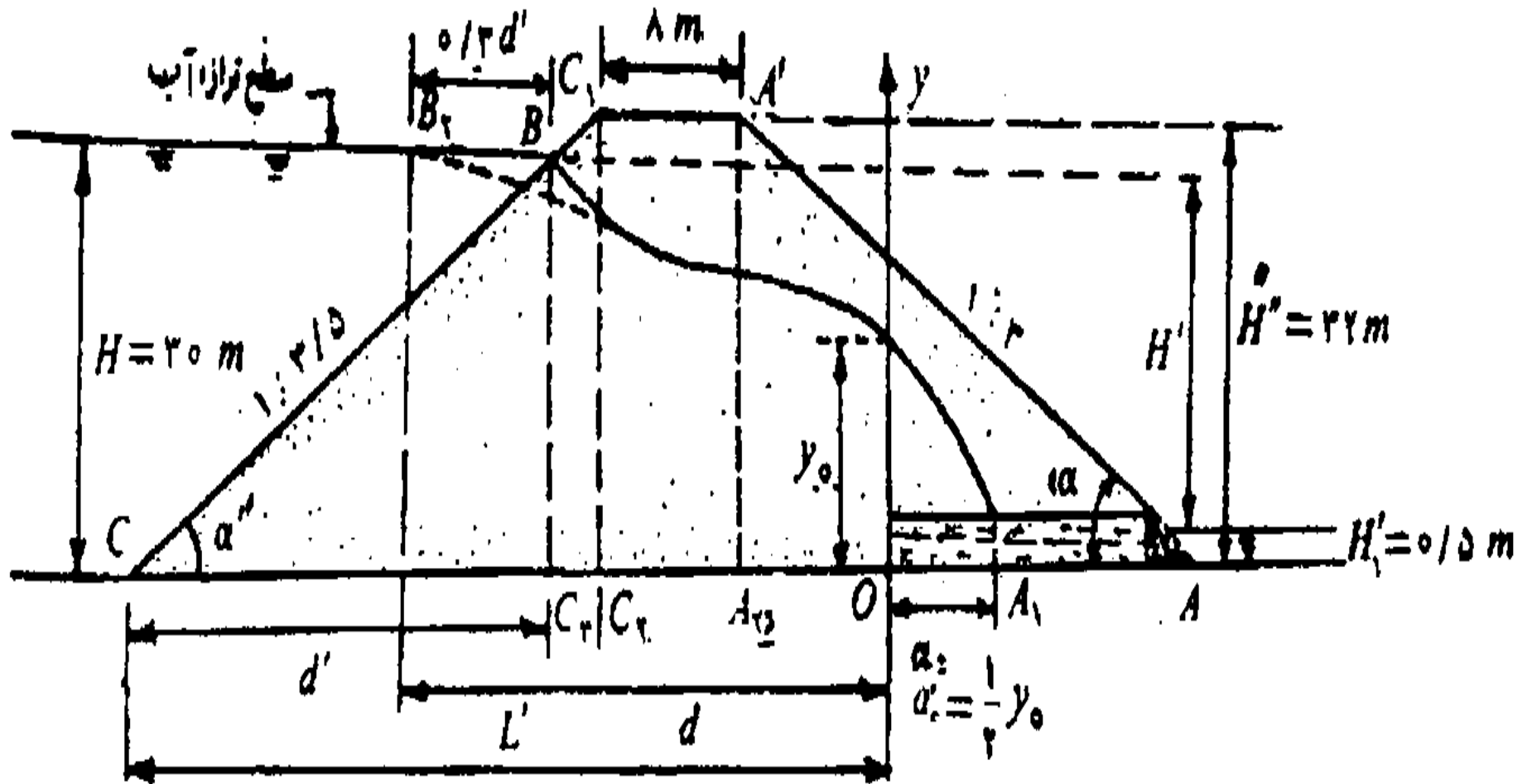
$$Q = K' . I . S = K' \frac{t - H_1}{L} (t - H_1) \times 1m = \frac{K'}{L} (t^2 - 2tH_1 + H_1^2) \times 1m$$

α = زاویه قسمت پائین دست سد با صفحه افقی بر حسب درجه .

Q = مقدار دبی نفوذ یافته از بدنه سد و زهکش بر حسب متر مکعب در ثانیه

k = ضریب نفوذپذیری مواد تشکیل دهنده جسم سد بر حسب متر در ثانیه

- $H' =$ اختلاف سطح آب در طرفین سد بر حسب متر
- $d =$ طولی است از پایه سد که بوسیله رابطه $d = L - 0.7d'$ قابل محاسبه می باشد ، بر حسب متر
- $k' =$ نفوذپذیری متعادل کل لایه های زهکش بر حسب متر در ثانیه و مقدار آن بوسیله رابطه $K' = \sqrt{K_H \cdot K_V}$ قابل محاسبه می باشد
- $t =$ ضخامت کل لایه ها بر حسب متر
- $H_1 =$ عمق آب در پایین دست سد بر حسب متر و عرض زهکش در امتداد بستر سد بر حسب متر .

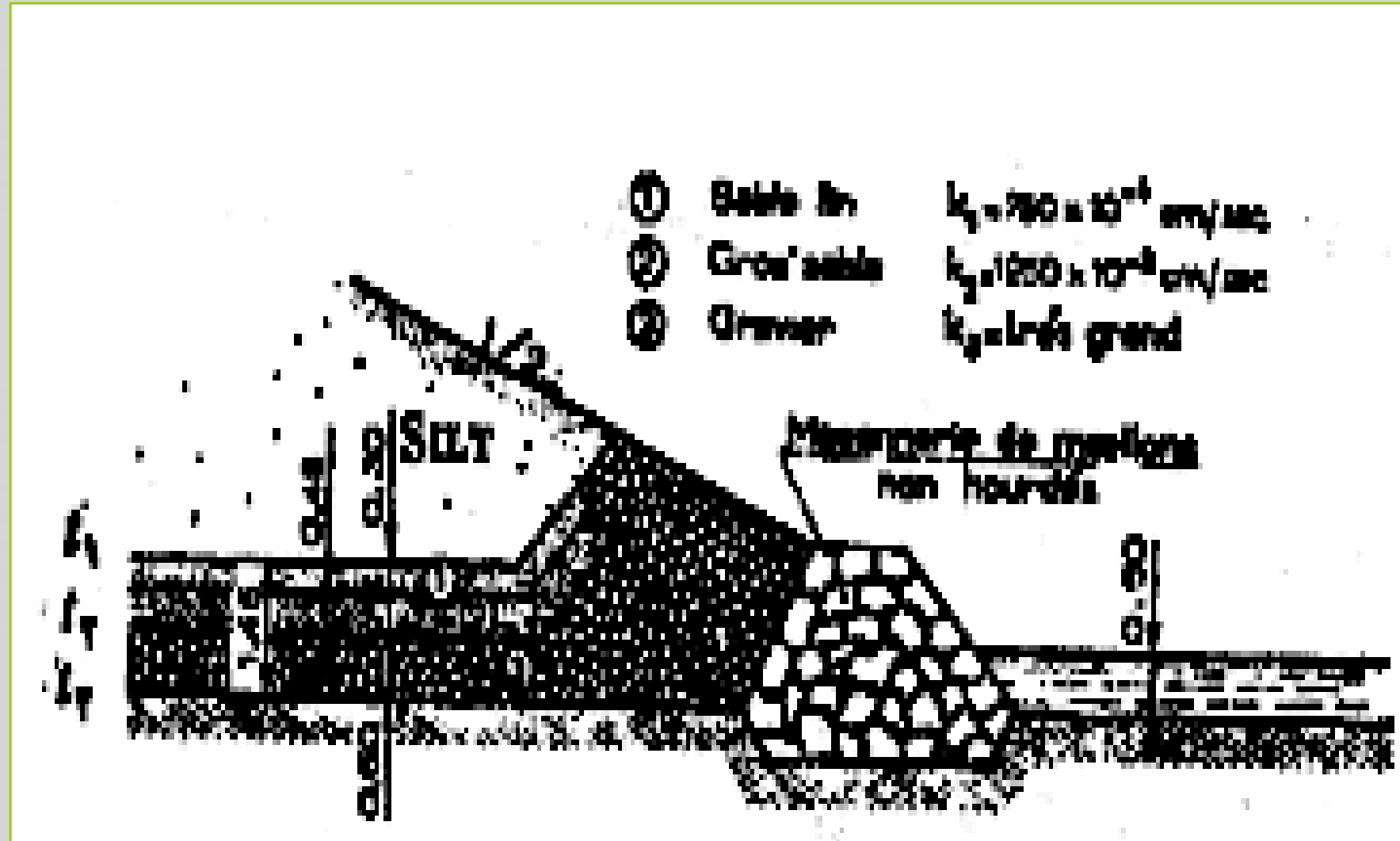


- در عمل ضخامت لایه های مختلف زهکش را با توجه به ۱۵ درصد قطردانه بندی مواد تشکیل دهنده آن ها به ترتیب زیر برآورد می نمایند

$$t_1 = 50 d_1 \quad t_2 = 50 d_2 \quad t_3 = 50 d_3$$

- ضمناً حداقل ضخامت هر لایه نباید از ۳۰ سانتیمتر کمتر شود، یعنی اگر نتیجه محاسبات کمتر از ۳۰ سانتیمتر را نشان دهد، طرح کننده می تواند آن ضخامت را ۳۰ سانتیمتر انتخاب نماید.

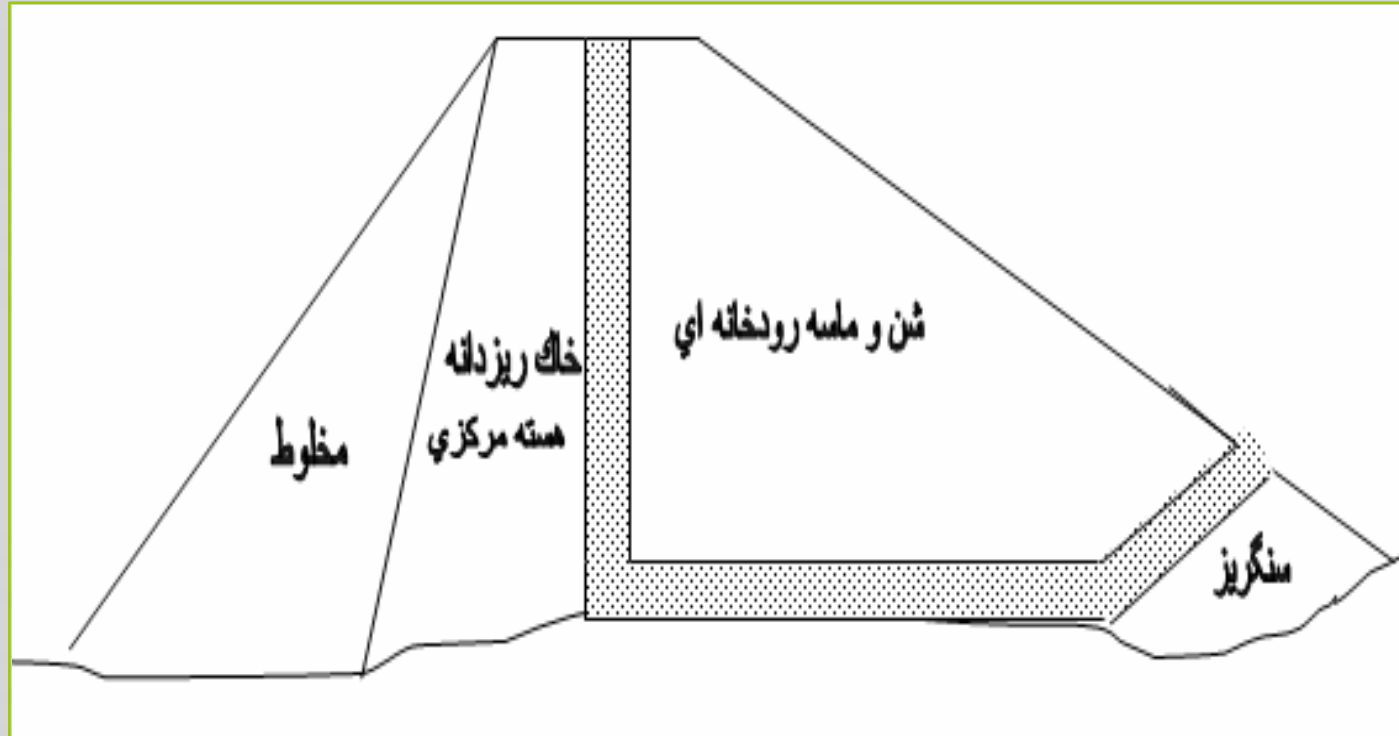
مقطع عرضی بزرگ شده زهکش



روشهای کنترل تراوش

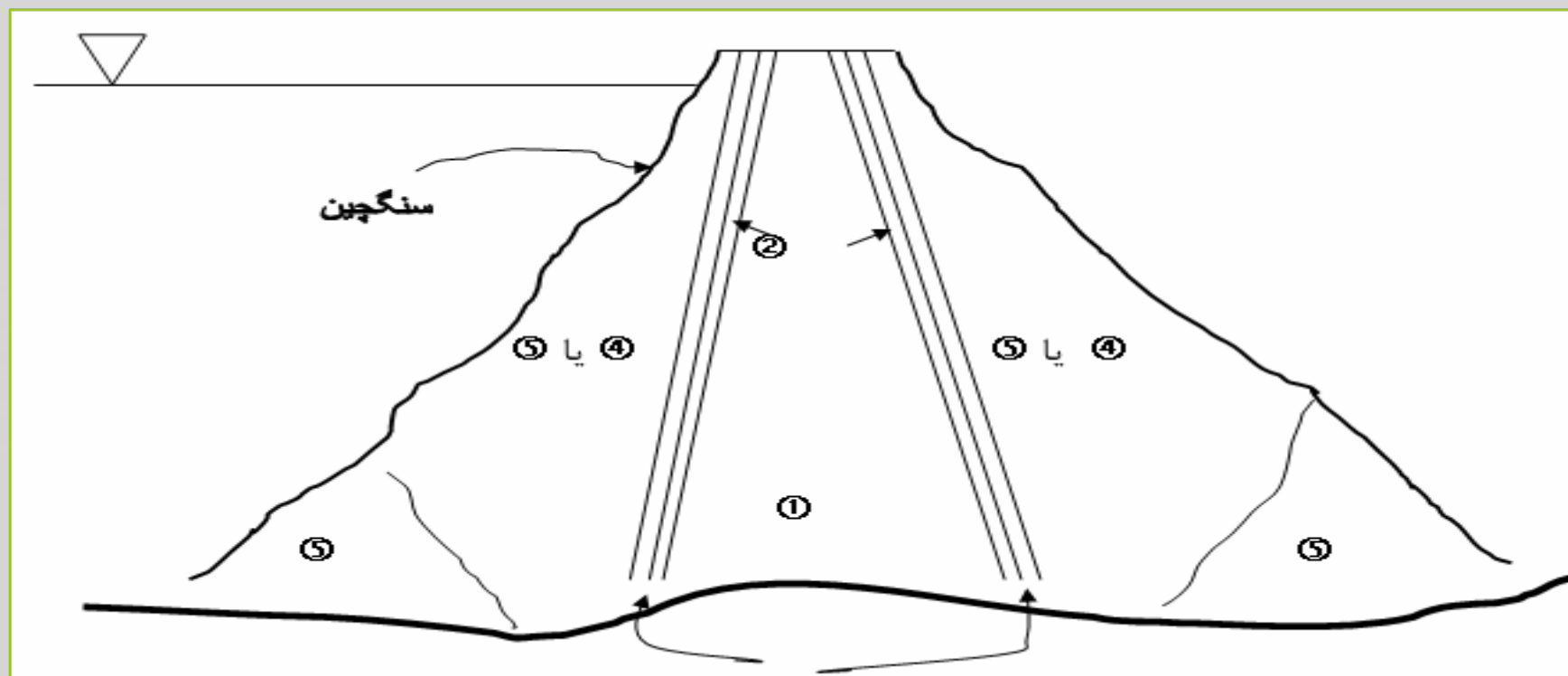
- با استفاده از روشهای مختلف کنترل تراوش ، سدها را باید از تأثیر نامطلوب یا خطرناک تراوش که ممکن است از طریق بدنه سد یا فونداسیون و یا دیواره های جانبی آن انجام پذیرد محافظت نمود
- این روش ها ممکن است میزان تراوش را کم کرده و یا کم نکند ولی باید خطرات احتمالی خرابی ناشی از ناپایداری شیبهای موجود آب بردگی و غلیان فونداسیون و یا شسته شدن دانه های ریز را به حداقل برساند
- اکثر سدهای خاکی و سنگی به کنترل تراوش داخلی جهت بهبود وضعیت پایداری یا کنترل شسته شدن دانه های ریز و یا هر دو نیاز دارند
- با تقسیم مقطع عرضی سدهای خاکی به چند قسمت مرتب و پشت سر هم و تعبیه زهکش های افقی ، افقی – عمودی (دودکشی) ، افقی – مایل و متمرکز در پنجه سد تراوش داخلی و عبور آب از درون این نوع سدها را کنترل می نمایند
- مهندسين مجموعه ای از فیلترها و زهکش های عمودی و افقی را بهترین روش کنترل تراوش داخلی سد می دانند
- در این صورت قسمت پایین دست بدنه سد را می توان از هر نوع مصالحی در نظر گرفت

روشهای کنترل تراوش



در این سیستم زهکش به طریقی طرح شده است که علاوه بر کنترل معمولی و تراوش نقاط نشت متمرکزی که احتمالاً در اثر ترک خوردگی هسته مرکزی ایجاد می شود را نیز کنترل می نماید

اگر در مقطع یک سد سنگریز مرکب از یک هسته مرکزی غیر قابل نفوذ و پوسته ای با دانه های درشت سنگ باشد به منظور جلوگیری از آب بردگی مصالح هسته مرکزی ، چه از طریق ترک خوردگی و چه به جهت شسته شدن دانه های ریز تحت گرادیان هیدرولیکی زیاد به فیلتر های چند لایه نیاز می باشد . حائز اهمیت است که مصالح فیلتر بالا دست بتواند به داخل ترکهای هسته مرکزی رفته آنها را پر کند و فیلتر پائین دست از مصالحی باشد که در آنها ترکی ایجاد نگردد



- ممکن است ساختمان یک سد را به منظور کنترل تراوش بطور منظم و پشت سر هم به چند قسمت تقسیم نمود بطوریکه هر قسمت برای قسمتهای دیگر مجاور فیلتر باشد مقطع چنین سدی می تواند به شکل زیر باشد :

- ① هسته مرکزی
- ② ماسه حداکثر ۲٪ از الک شماره ۲ و ۰
- ③ شن از الک شماره ۲ تا ۴ اینچ
- ④ قلوه سنگ و قطعه سنگ از ۴ اینچ تا ۴۶ اینچ

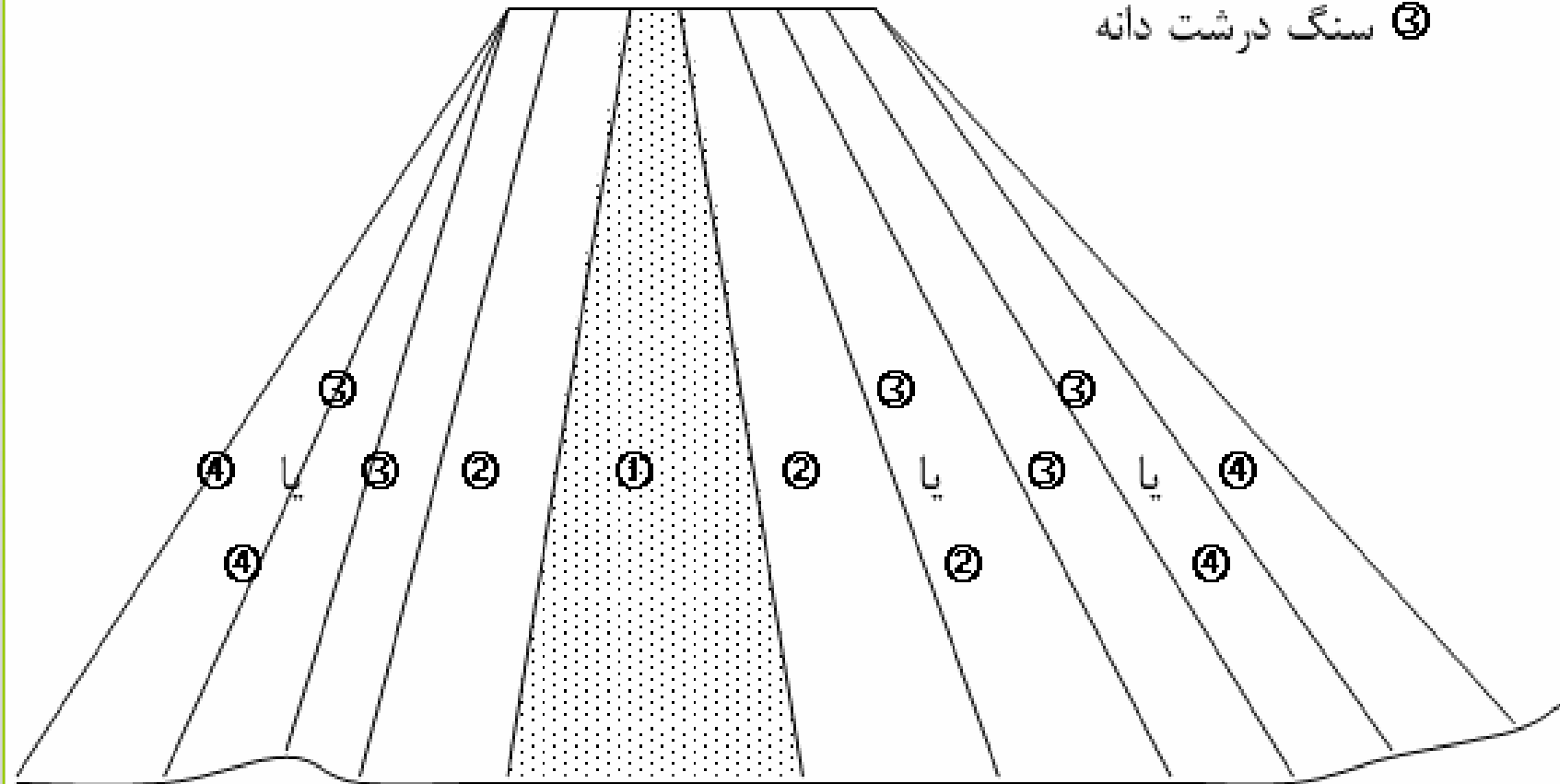
① هسته مرکزی

② فیلتر ریزدانه

③ سنگ درشت دانه

④ سنگ ریز متراکم شده

⑤ سنگ ریز ریخته شده

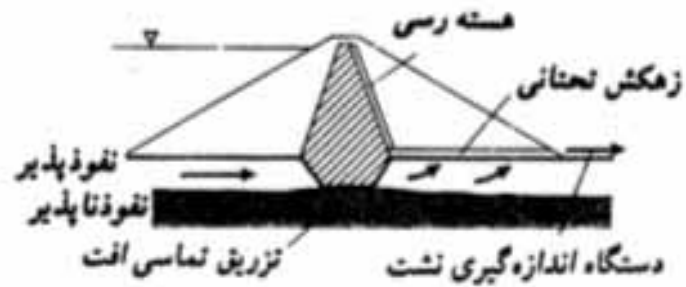


کنترل تراوش در فونداسیون و دیوارهای جانبی سد

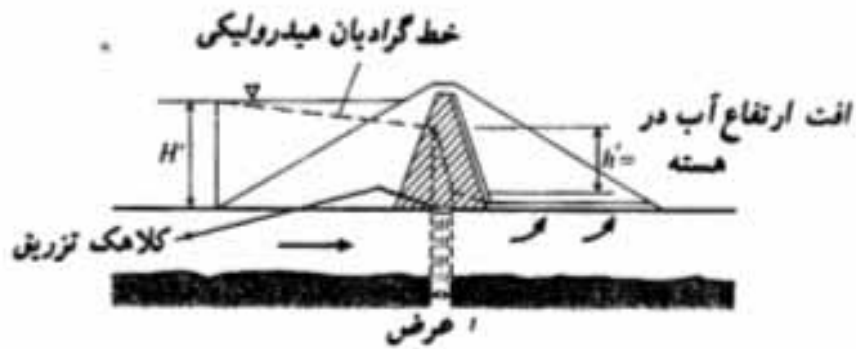
- روشهای مختلفی برای کنترل تراوش از طریق فونداسیون وجود دارد . روشی که برای یک سطح مناسب باشد بستگی به عوامل مختلفی دارد ولی به طور کلی باید از خاکریز مطمئن بود و مسائل اقتصادی را نیز در نظر داشت در بعضی از موارد ممکن است با توجه به نیازهای پروژه چندین راه حل مورد قبول باشد

- (۱) پرده تزریق
- (۲) دیوارهای جدا کننده بتونی
- (۳) دیوارهای جداکننده خاکی
- (۴) پوشش بالادست
- (۵) سپر کوبی
- (۶) زهکش های عمودی
- (۷) چاههای زهکشی

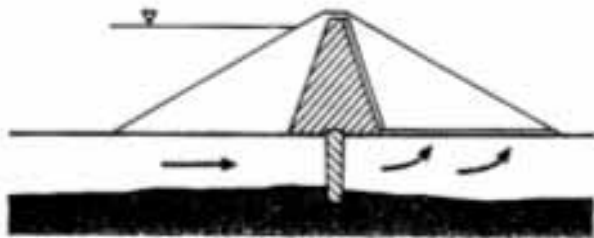
کنترل نشت از پی سد



(الف) دیوار آب بند با ترانشه باز



(ب) پرده تزریقی



(پ) دیوار آب بند cut-off

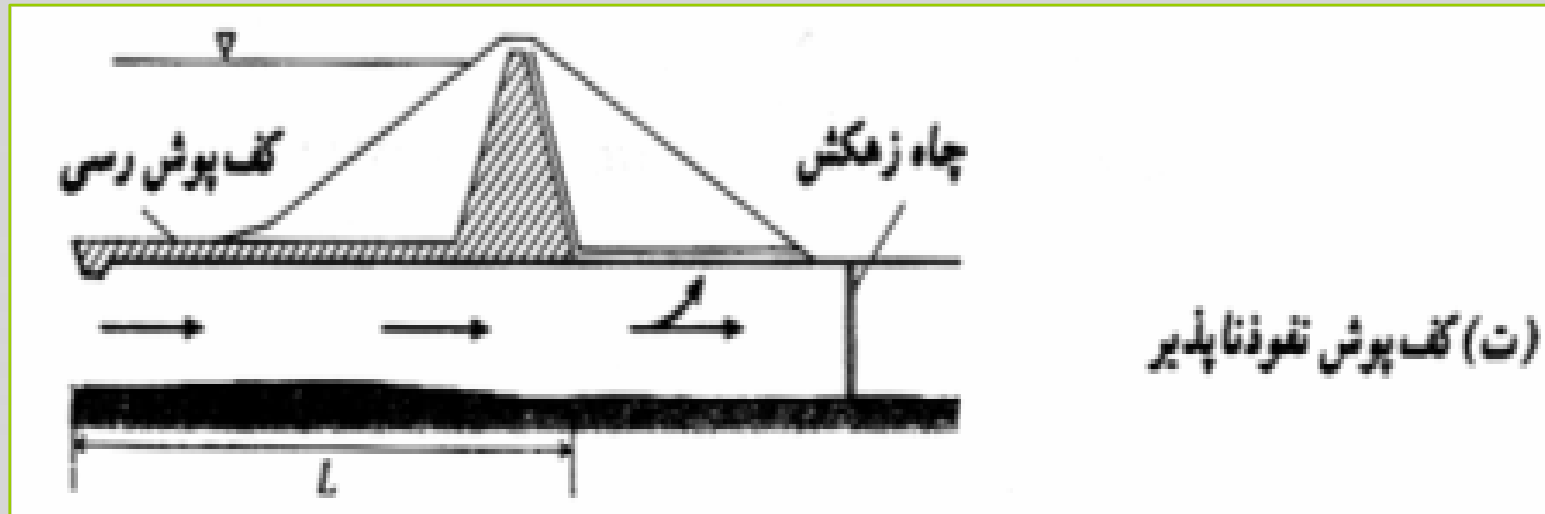
- برای جلوگیری از نشت (تراوش) آب از پی سدهای خاکی و سنگریزه ای که بر روی پی های نفوذپذیر ساخته می شوند، باید تدابیر کافی در نظر گرفته شود

- در صورت کم بودن عمق پی نفوذپذیر ، می توان مطابق شکل الف ، ترانشه عریضی در زیر هسته سد احداث و آن را توسط مصالح نفوذ ناپذیر پر کرده و متراکم نمود . با توجه به محدودیتهای اجرایی حداقل عرض کف ترانشه به ۳ متر و حداکثر عمق اجرایی ترانشه به ۲۰ متر محدود می شود

در صورتی که عمق پی نفوذ پذیر زیاد باشد ، می توان مطابق شکل ب یک پرده آب بند با استفاده از تزریق به وجود آورد . با پیشرفت تکنیکهای تزریق در آبرفت ، استفاده از این شیوه رواج خوبی دارد . عمل تزریق معمولاً در چند خط موازی درون چاهکهایی که به صورت یک در میان در فواصلی در حدود ۲ تا ۳ متر قرار گرفته اند ، انجام می شود . تکنیک تزریق باید برای پی موجود مناسب باشد . استفاده از دوغابهایی که ماده چسباننده آنها سیمان است ، بسیار متداول است ، لیکن برحسب شرایط پی می توان از مواد شیمیایی خاص نیز استفاده نمود . این مواد برای شرایط مشکل تر می باشند و مخارج آنها نیز بالاتر است

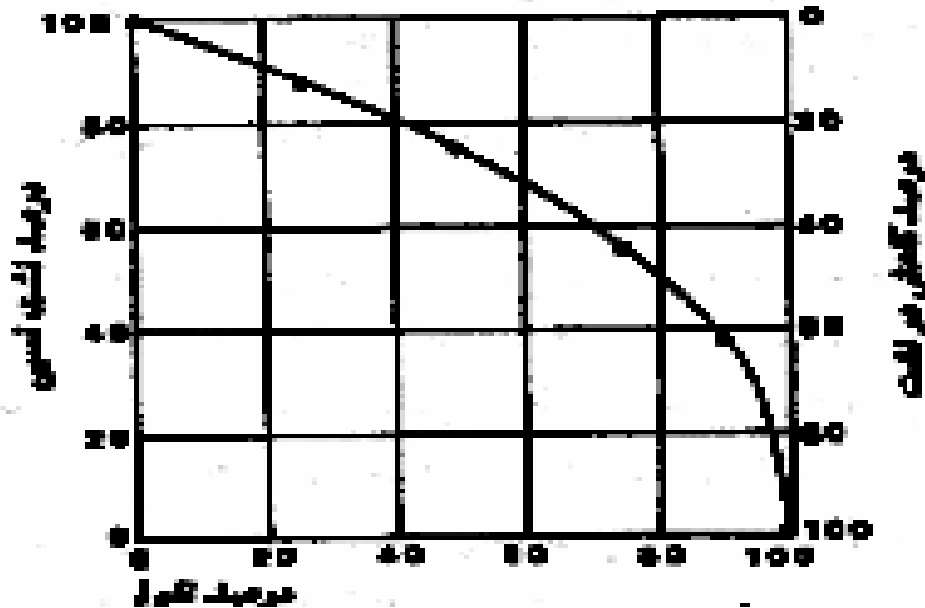
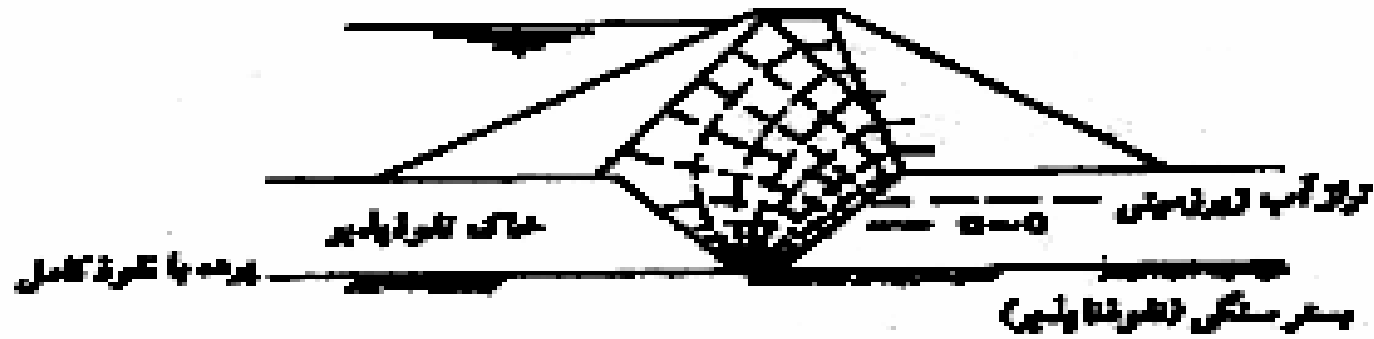
- پرده های آب بند تزریقی بیشتر در سنگهای شکاف دار و آبرفت درشت دانه مؤثر می باشند . چنین پرده هایی تا عمق ۱۰۰ متر نیز اجرا شده اند . پرده تزریقی را می توان به عنوان یک راه حل ترمیمی بعد از احداث سد با استفاده از چاهکهایی که از بدنه سد عبور کرده اند ، مورد استفاده قرار داد .

- در شکل پ تکنیک جدیدتری برای احداث دیوار آب بند با استفاده هیدروفرز نشان داده شده است . در این تکنیک ابتدا ترانشه ای به عمق مورد نظر توسط هیدروفرز احداث می شود . برای جلوگیری از ریزش جدار ، درون ترانشه توسط گل بنتونیت پی می شود
- هیدروفرز یک جام حفر مکعب مستطیل می باشد که در پایین آن سرمته هایی وجود دارد که به کمک نیروی هیدرولیک دوران می کنند و محصولات حفاری را به دورن جام پر می کنند . با پرشدن جام ، جام به کمک جرثقیل بالا آورده شده و تخلیه می شود . درحین حفاری به وسیله گل بنتونیت از ریزش جدارها جلوگیری می شود . بعد از اتمام عملیات ، درون ترانشه توسط بتن پلاستیک پر شود . با این تکنیک پرده هایی به عمق بیش از ۳۰ متر اجرا شده است
- استفاده از سپر کوبی نیز شیوه دیگری است که در کشور ما به علت قیمت گران کمتر مورد توجه قرار می گیرد

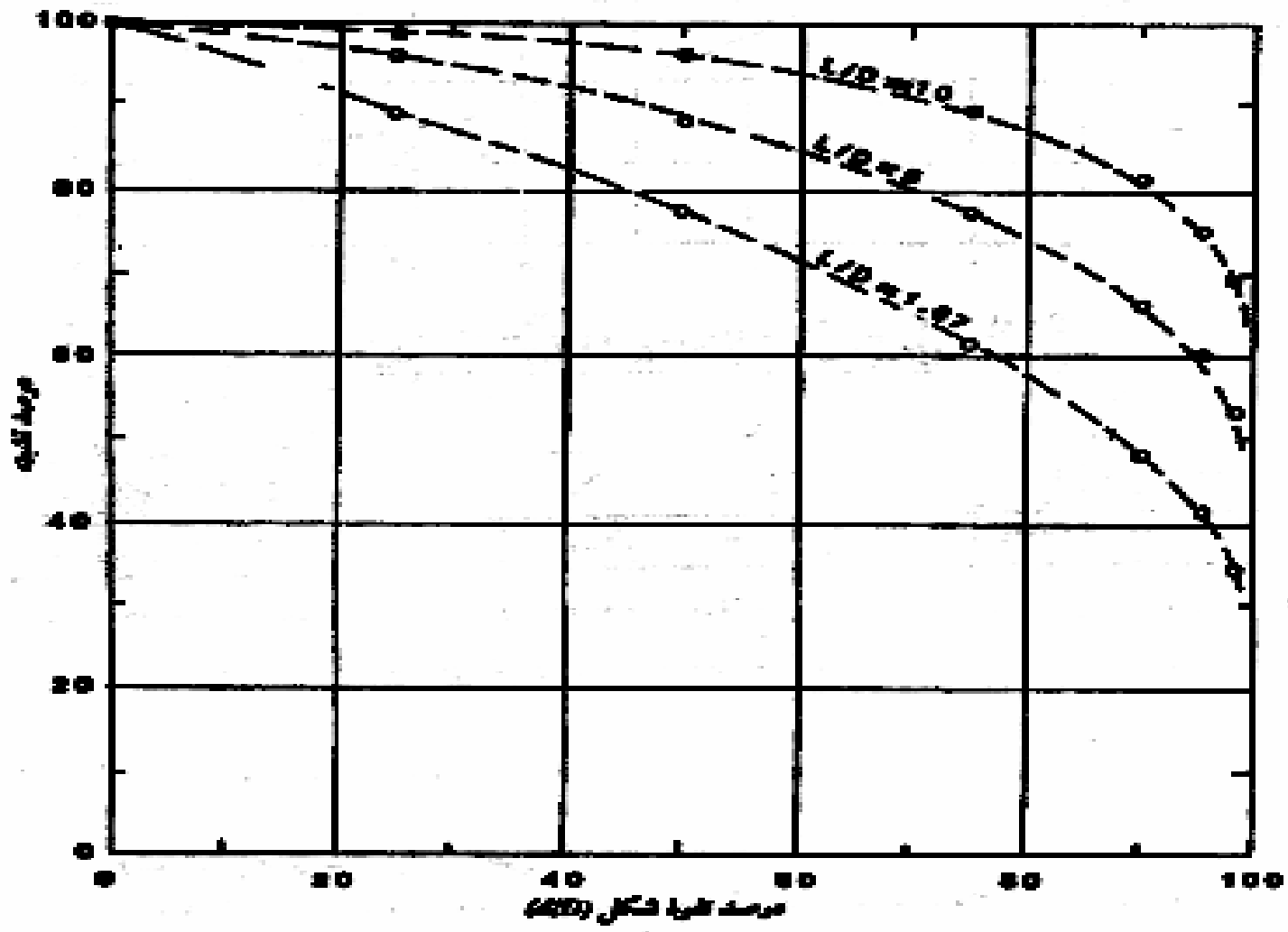
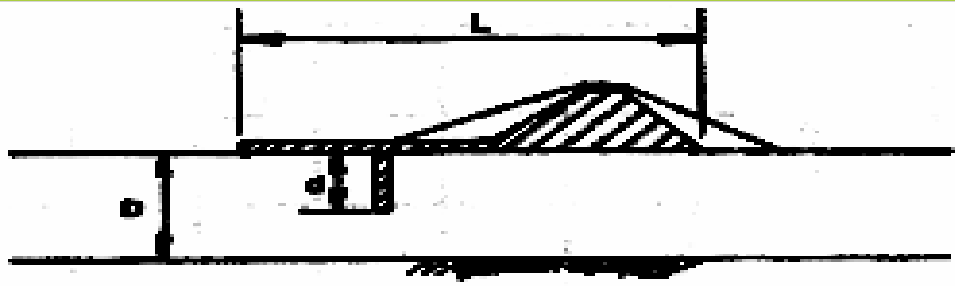


- مطابق شکل ت ، استفاده از کف پوش نفوذناپذیر بالادست نیز یکی از روشهای متداول برای کم کردن مقدار نشست و پایین آوردن گرادیان هیدرولیکی می باشد . این شیوه باید همراه با چاههای زهکش پایین دست باشد

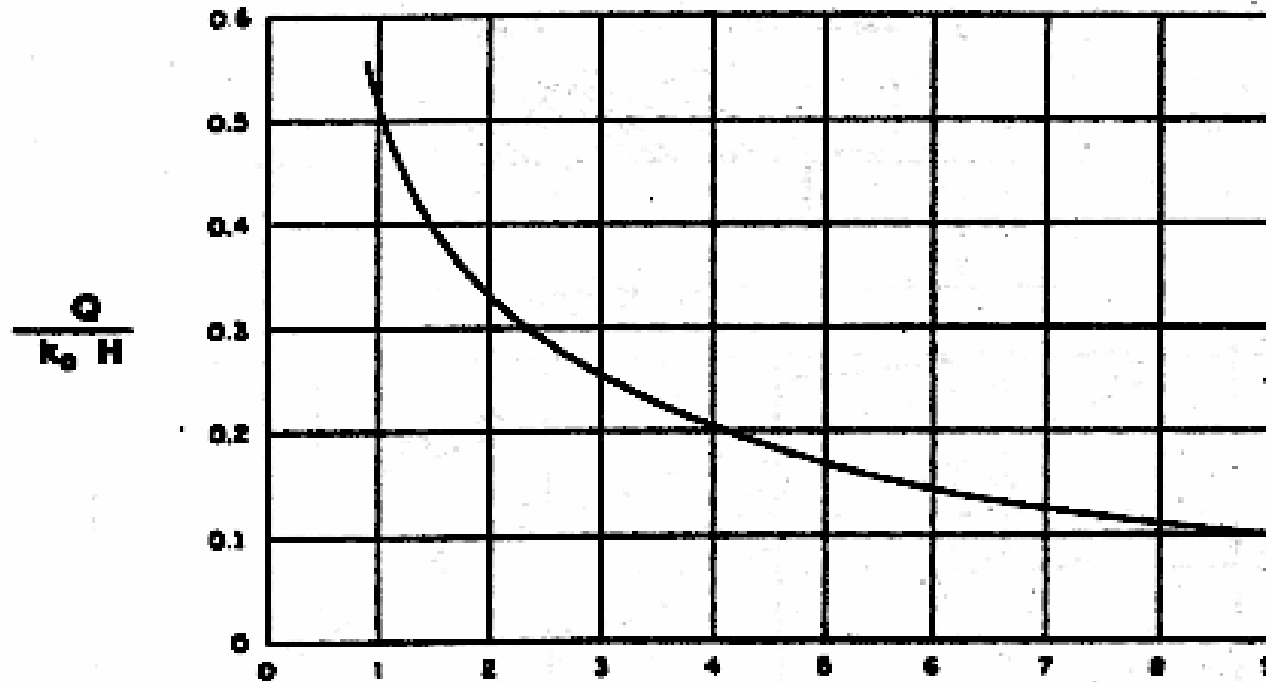
دیوار آب بند



**- تأثير كف پوش
بالا دست و ديوار آب بند**



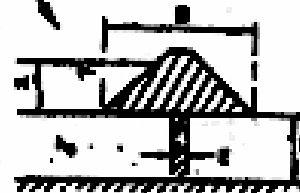
بازده کف پوش بالادست و پرده آب بند



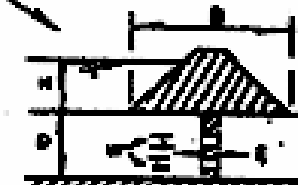
$$\left[\frac{B+B'}{D} \right] \cdot \left[\frac{B}{D} + \left(\frac{k_p}{k} - 1 \right) \frac{E}{D} \right] \left[\frac{B}{D} + \left(\frac{D}{\Sigma W} - 1 \right) \frac{E}{D} \right]$$



کف پوش نفوذناپذیر بالادست



پرده نفوذناپذیر با نفوذ کامل



پرده با نفوذ پذیری جزئی

نقش آب بندها :

تذریق

اهداف دوغاب ریزی

(...)

معمولاً آب بند کردن قسمتی از زمین در زیر یا اطراف یک پی به دلایل زیر صورت می پذیرد:

(cut off)

(

()

Piping

()

(

)

(

موارد ویژه کاربرد تزریق عبارتند از:

()

...

.

در طراحی یک پروژه تزریق باید موارد زیر را در نظر بگیرد:

:

—

نکته:

تزریق مواد در درون حفره های بین دانه های خاک ، ضمن آب بندی کردن آن به استحکام آن نیز کمک می کند .

عوامل موثر در توزیع :

.

.

/

cm / Sec

جدول - نوع ماده تزریقی مناسب برای انواع دانه بندی

(mm)	
/	/
/	/
/	/
/	/

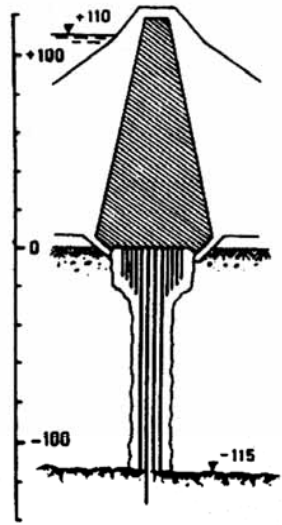
اجرای تزریق و روشهای آن

.

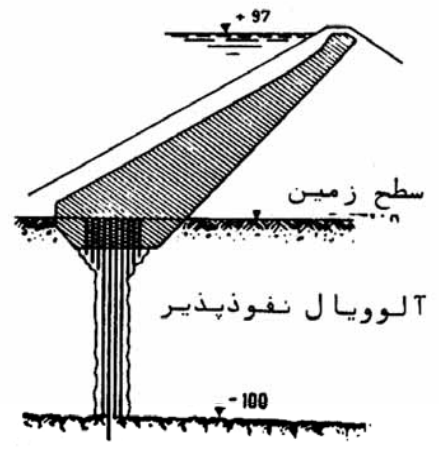
.

$$\frac{1}{5} \quad \frac{1}{3}$$

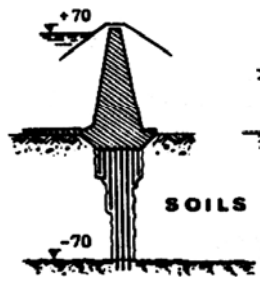
.



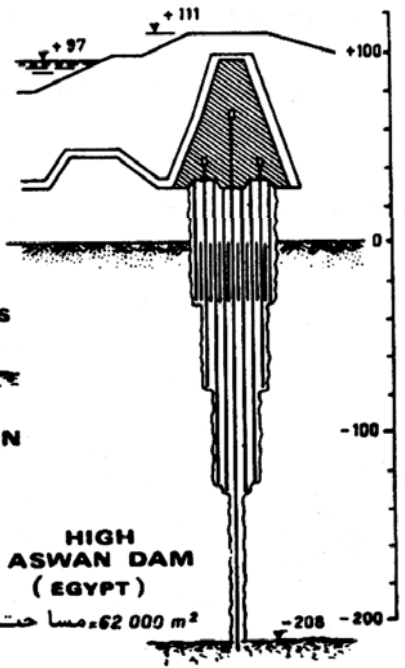
SERRE-PONÇON
(FRANCE)
مساحت = 4 200 m²



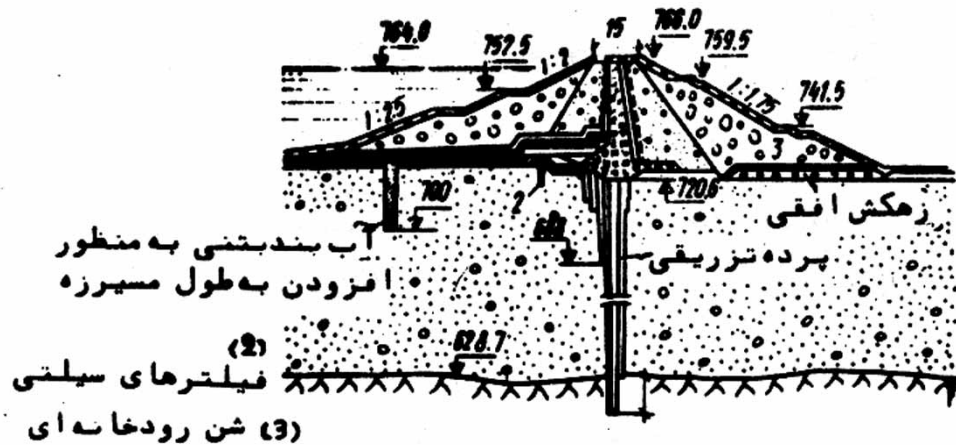
MATTMARK
(SWITZERLAND)
مساحت = 20 000 m²



DURLASSBODEN
(AUSTRIA)
مساحت = 12 000 m²

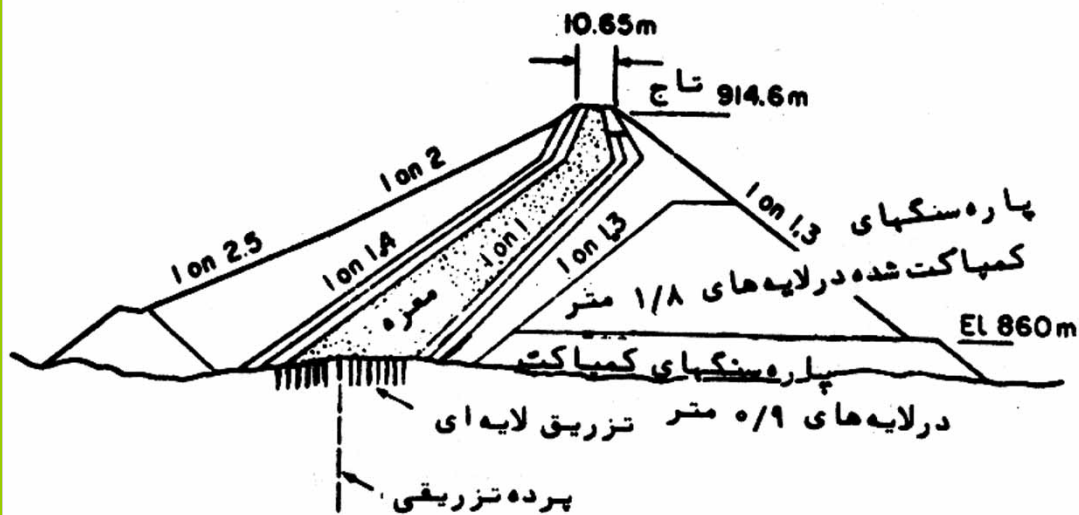


HIGH ASWAN DAM
(EGYPT)
مساحت = 62 000 m²



Sylvanstein Dam (Federal Republic of Germany)

مقطع کامل نمونه سدی که با تزریق آب بندی شده است

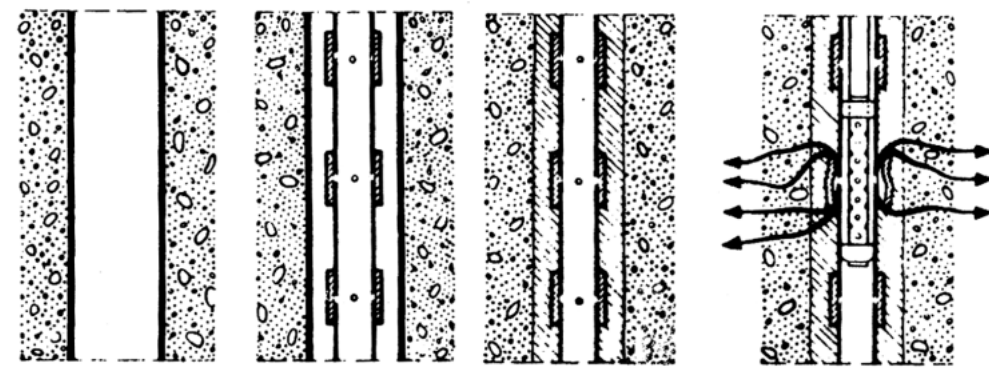
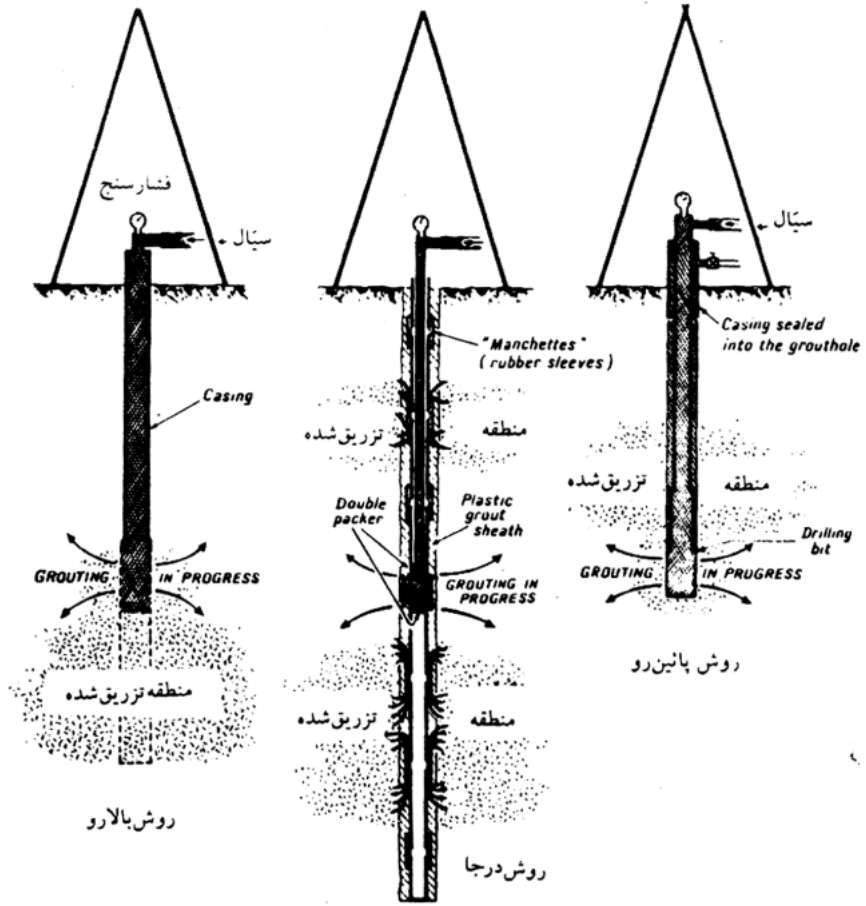


نمونه‌ای از تزریق لایه‌ای در شالوده

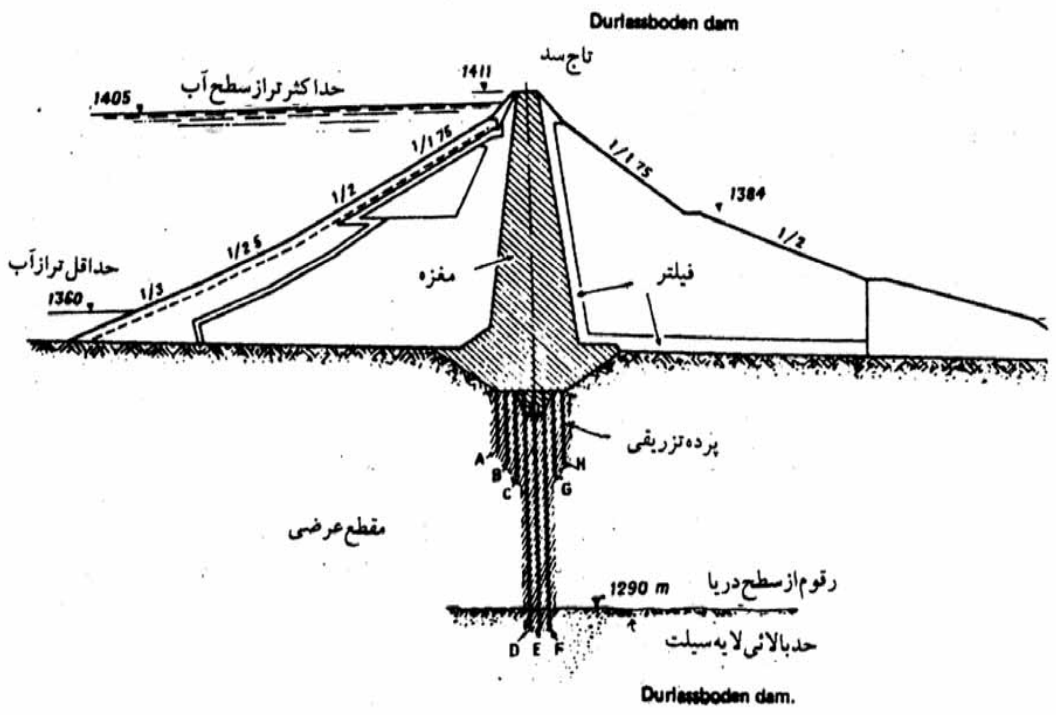
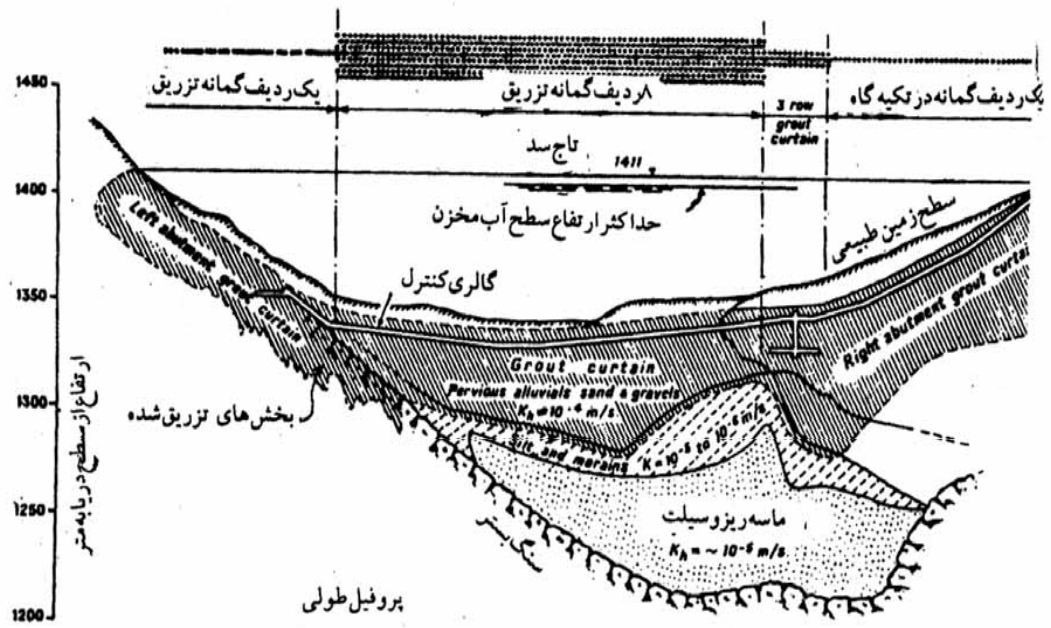
《 》

.

.



۱ ۲ ۳ ۴ مراحل کار در روش درجا



نمونه ای از سدهای تزریق شده

ترانسه آب بند

45°

آب بند ناقص

%

%

آب بند سپری :

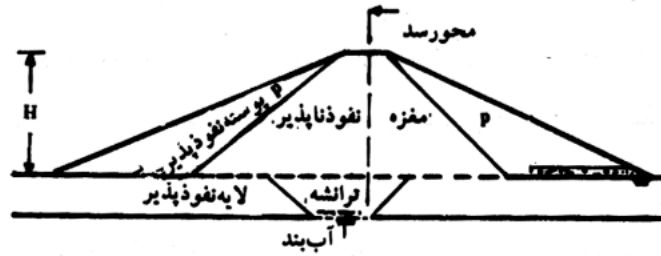
.

.

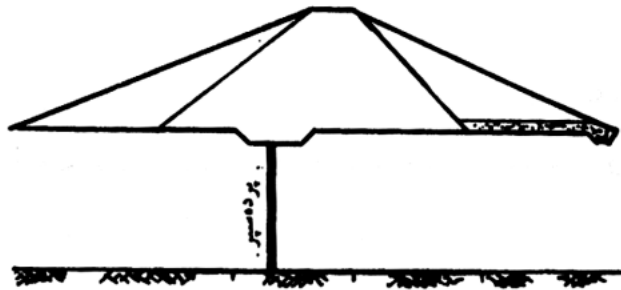
.

مزایا و معایب آب بندها

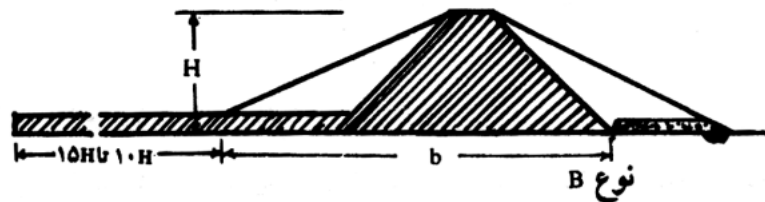
()



ترانشه رسی آب بند



آب بند پرده سپری

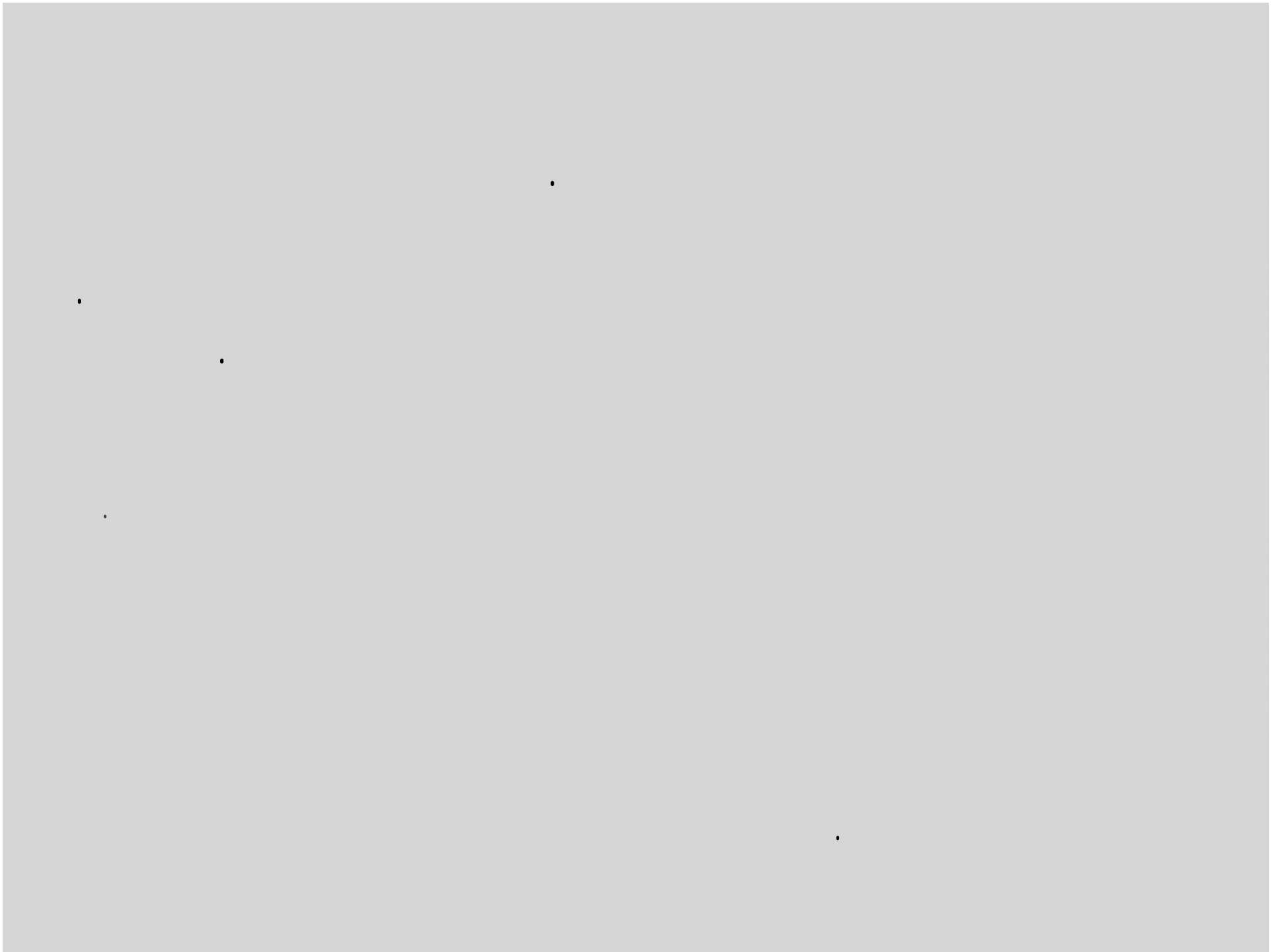


$$E = H' / H$$

:

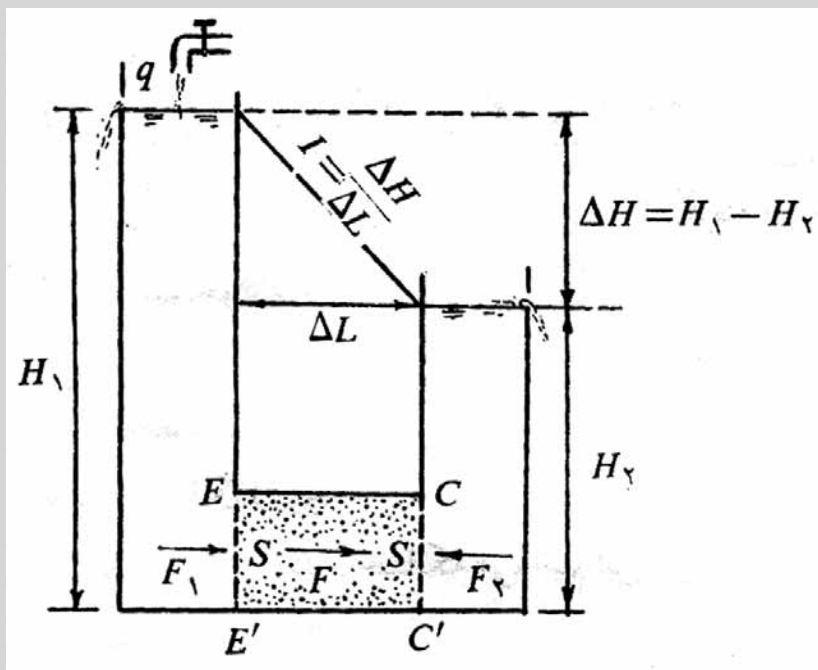
H'

H



پدیده روباه :

:



q EE', CC'
(R)

:

$$F_1 = \gamma.H_1.S \quad ()$$

$$F_2 = \gamma.H_2.S \quad ()$$

$$F = F_1 - F_2 = \gamma.S(H_1 - H_2) = \gamma.S.\Delta H \quad ()$$

$$S = \frac{V'}{\Delta L} \quad ()$$

$$F = \gamma \frac{V'}{\Delta L} . \Delta H = \gamma.V' \frac{\Delta H}{\Delta L} = \gamma.V'.I \quad ()$$

$$= F$$

$$= Y$$

$$= V'$$

$$= I$$

$$\left(I = \frac{V}{K} \right)$$

$$(V')$$

⋮

$$F = \gamma \frac{V}{K}$$

(V)

F

(K)

(M)

AB

:

$$F_v = F \sin \alpha$$

$$F_H = F \cos \alpha$$

()

()

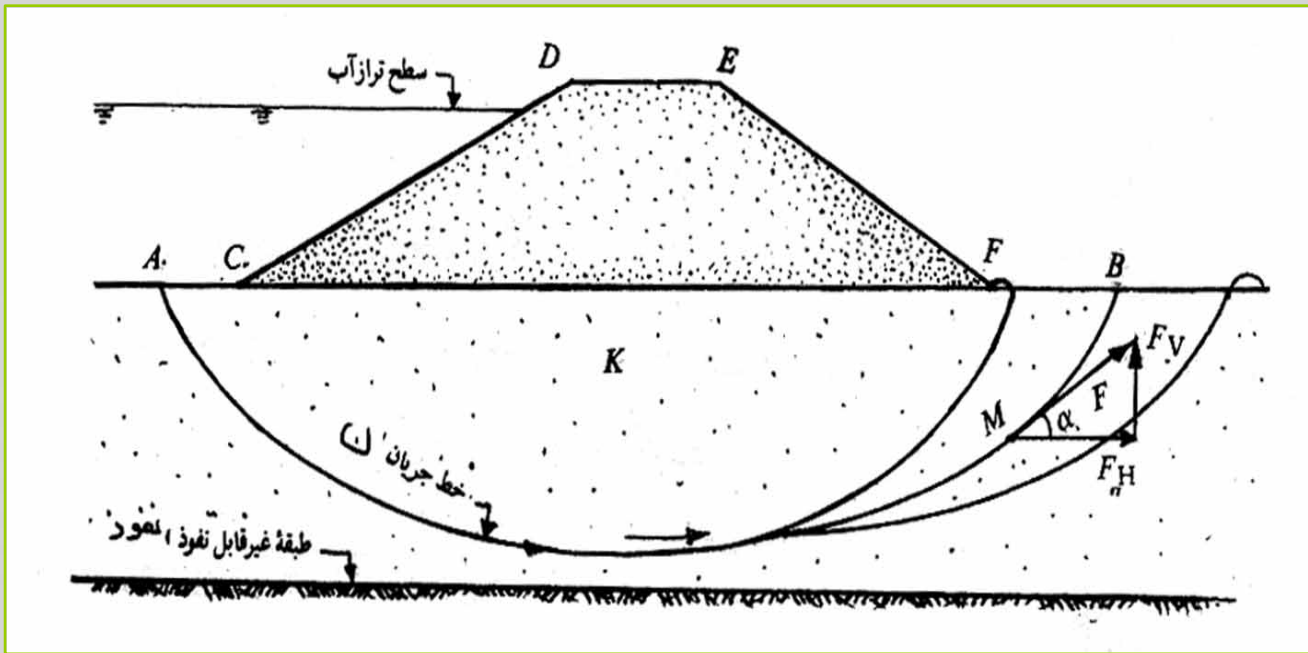
(FV)

()

V_v

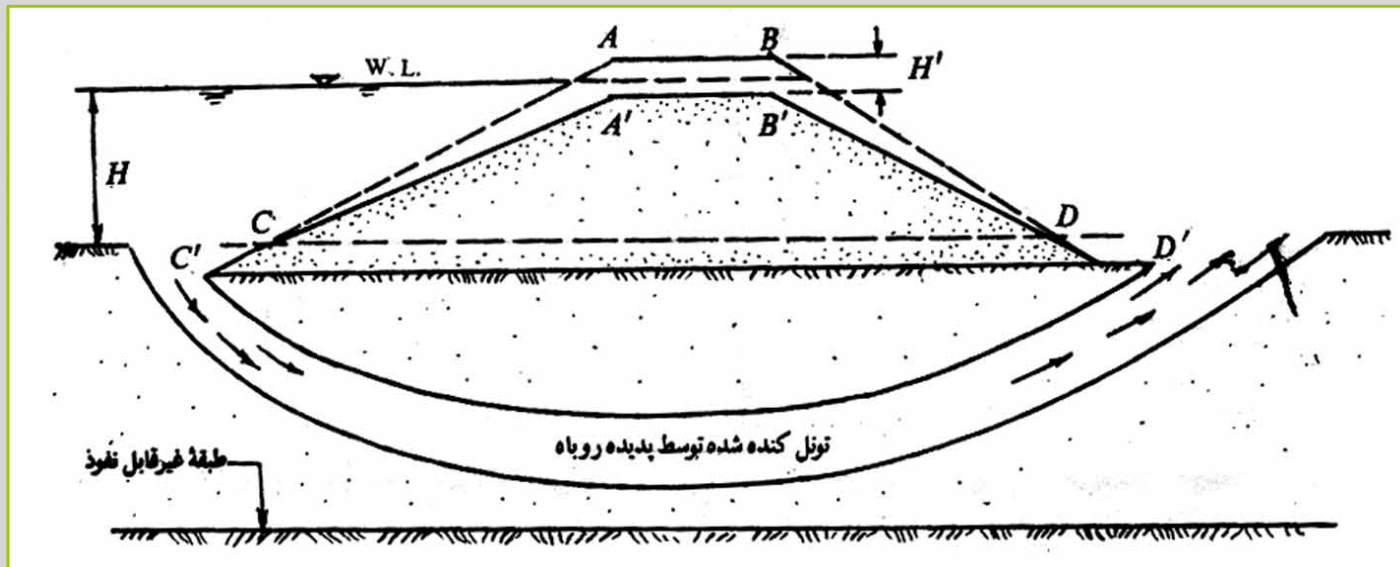
$$F_v = \gamma \frac{V_v}{K}$$

()



(V_V)

F_V



H'

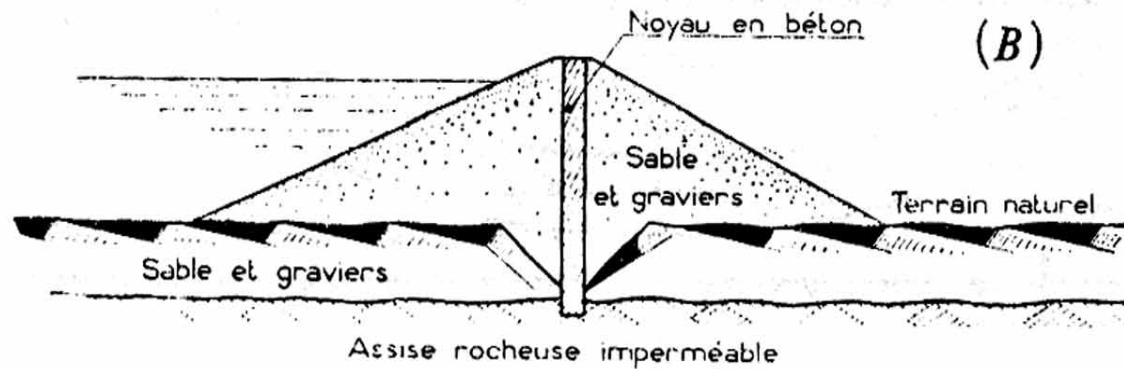
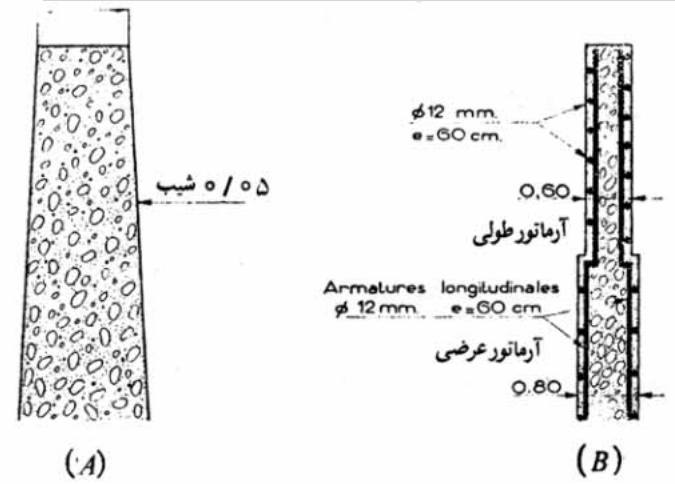
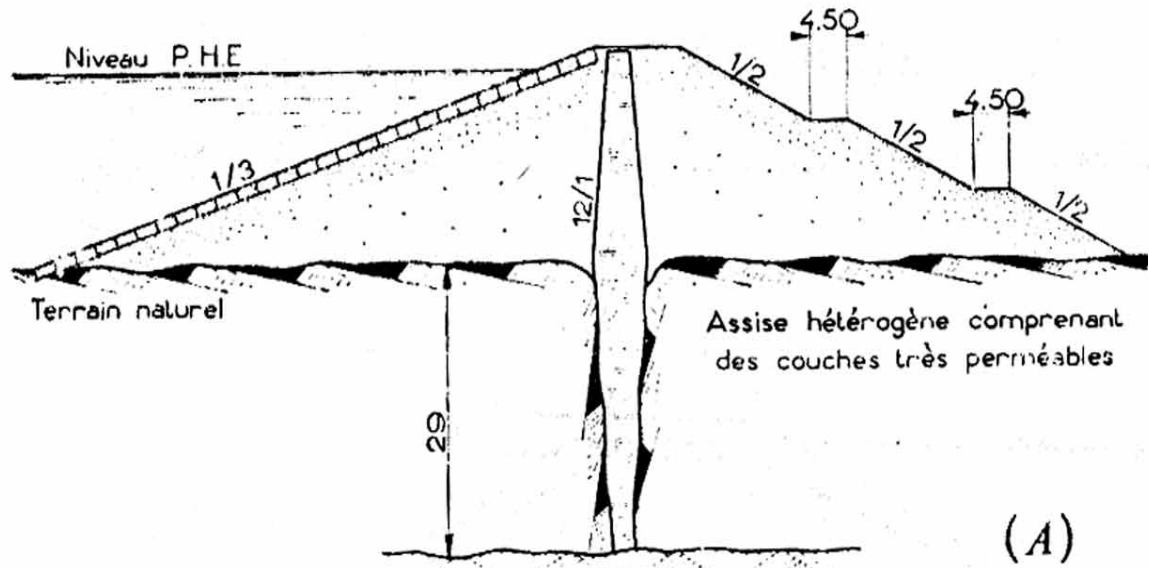
$C'A'B'D'$

$CABD$

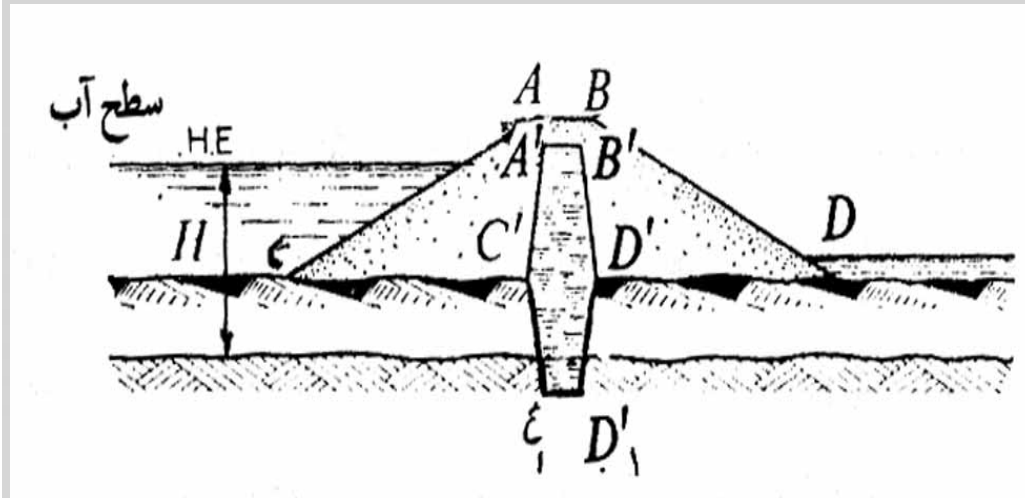
.

.

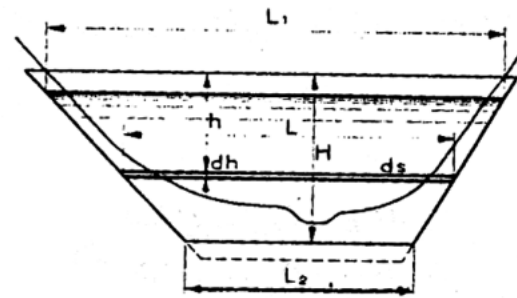
روش های مبارزه با خطر پدیده روباه



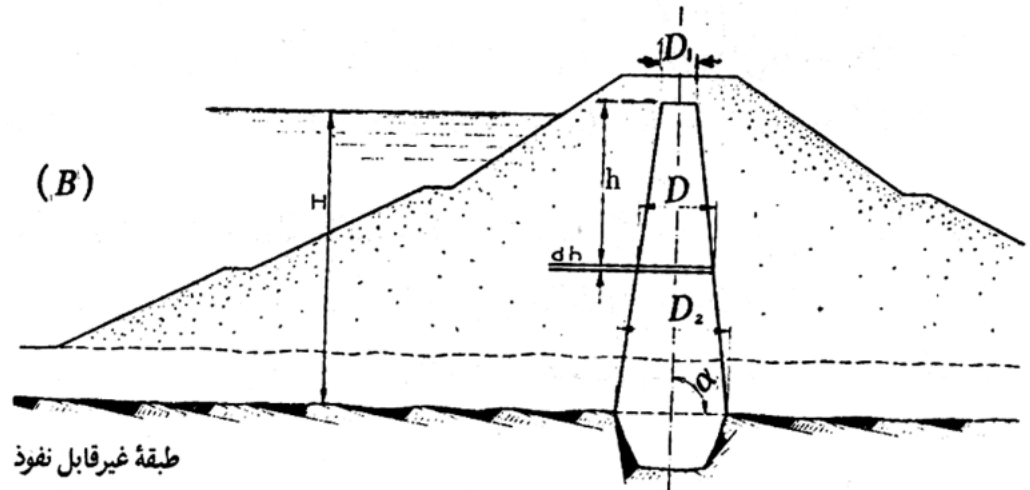
روش های مبارزه با خطر پدیده روباه



(A)



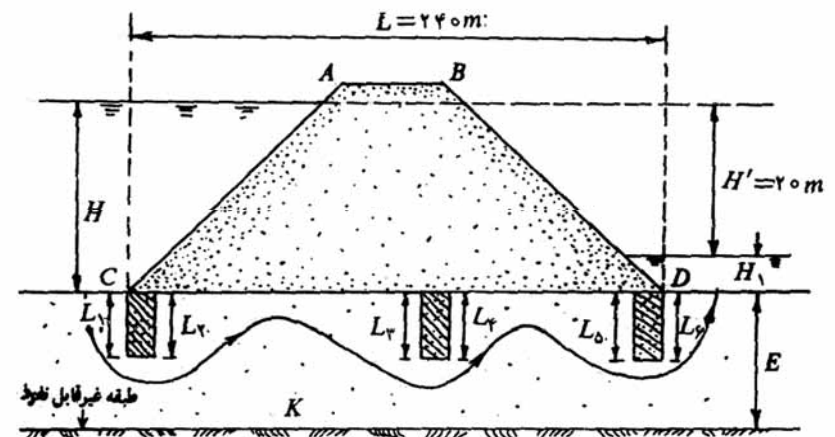
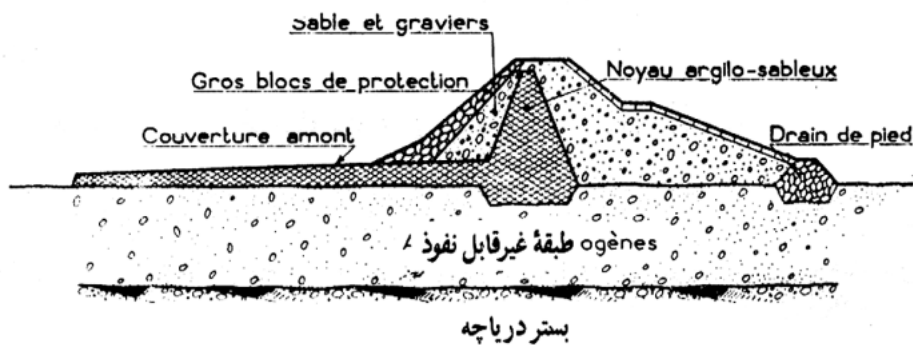
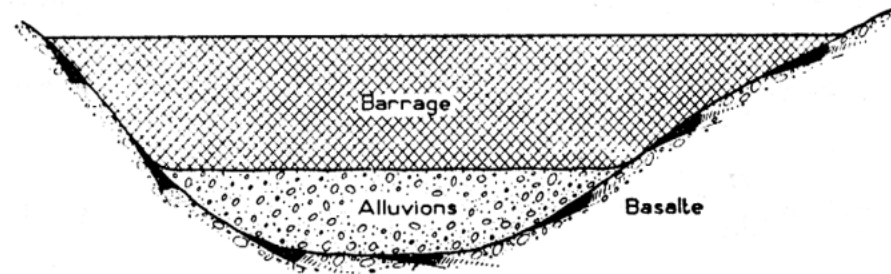
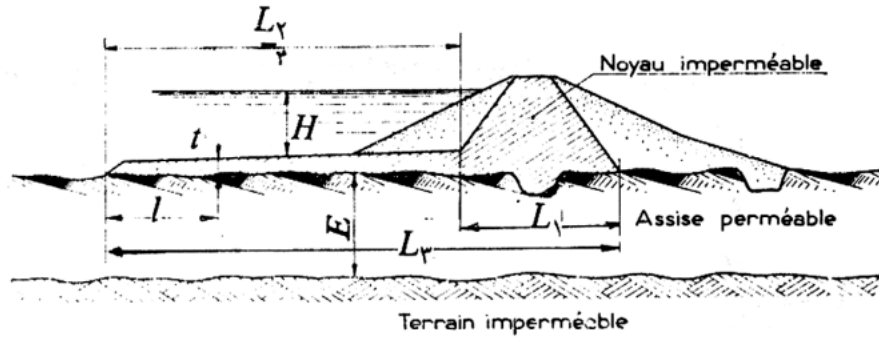
(B)



طبقه غیر قابل نفوذ

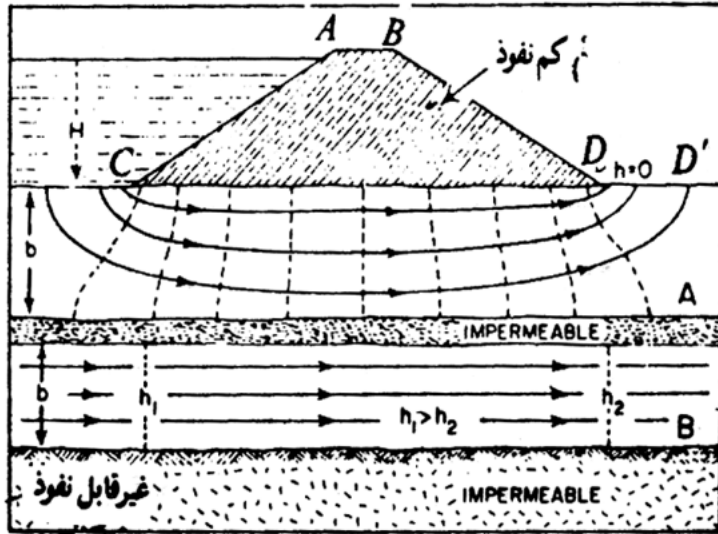
روش های مبارزه با خطر پدیدهٔ روباه

:

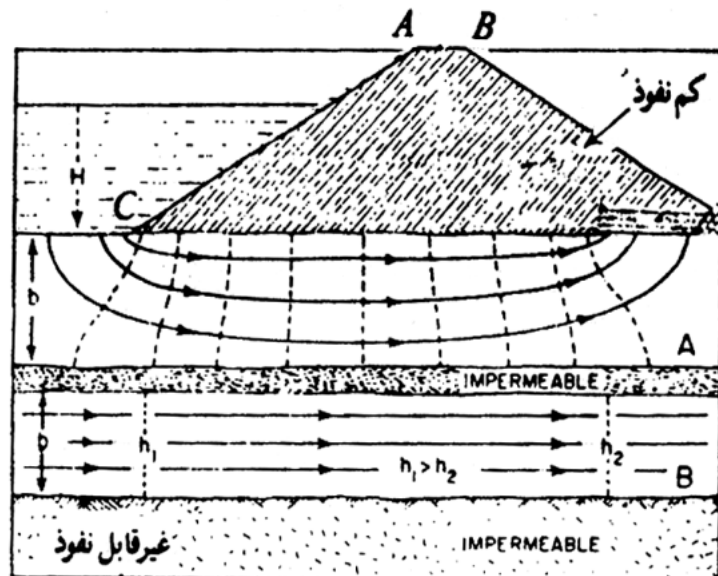


روش های مبارزه با خطر پدیده روباه

:

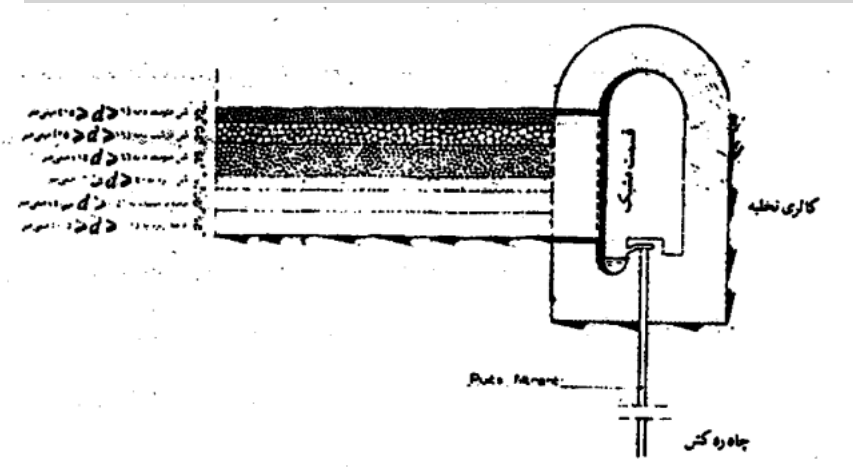


(A)



زهکش معکوس

(B)



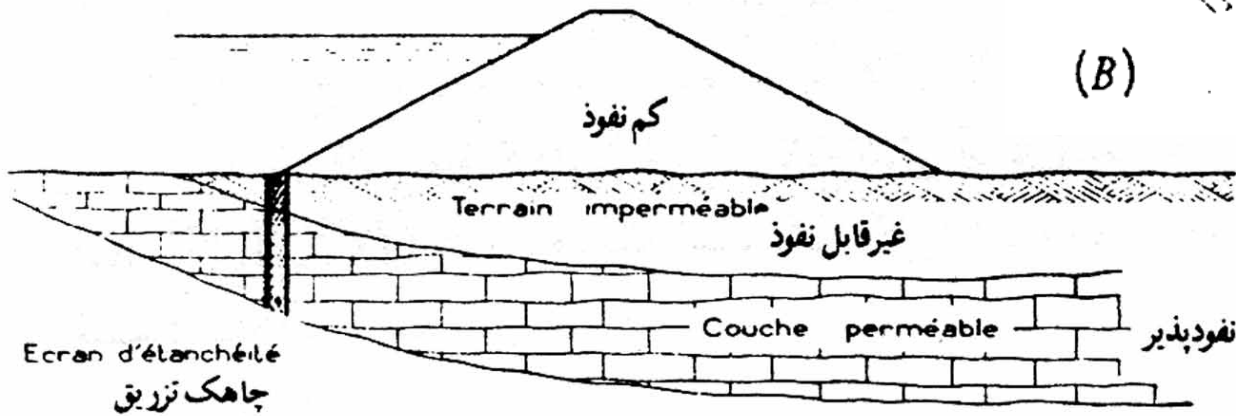
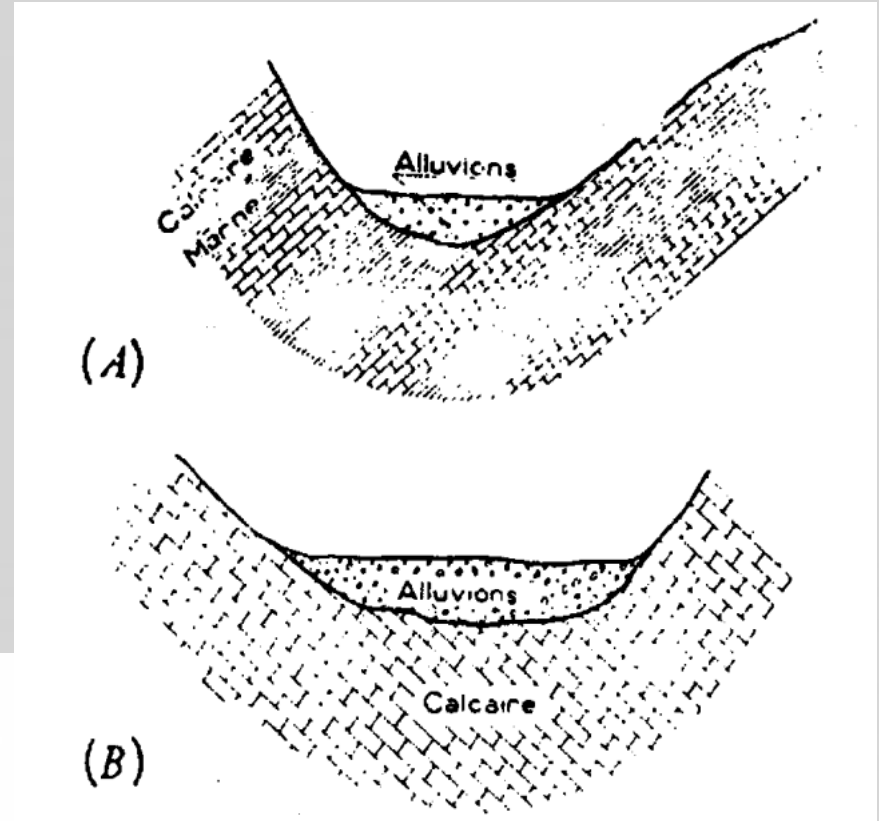
Pipe Filter

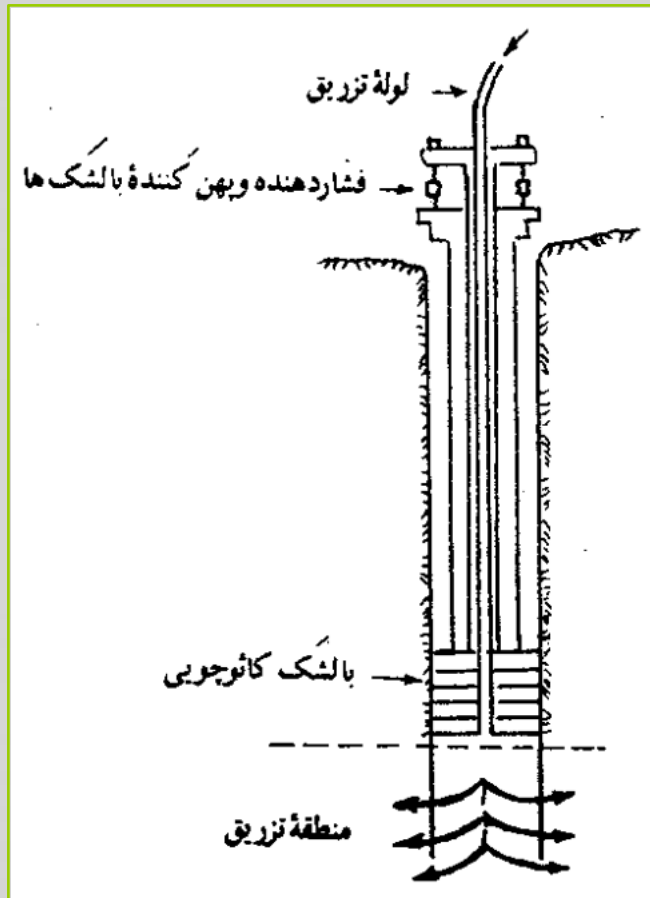
چاه رگش

کاری نظیه

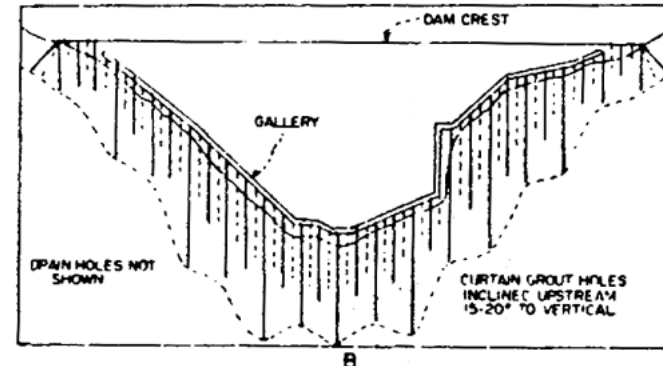
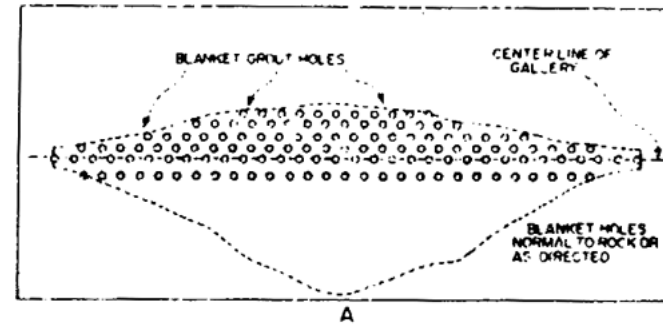
روش های مبارزه با خطر پدیده روباه

:

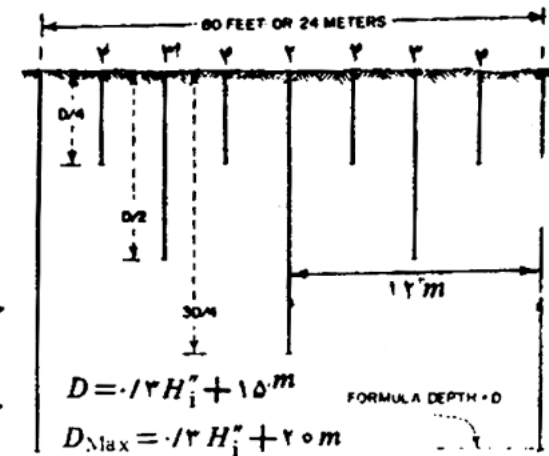
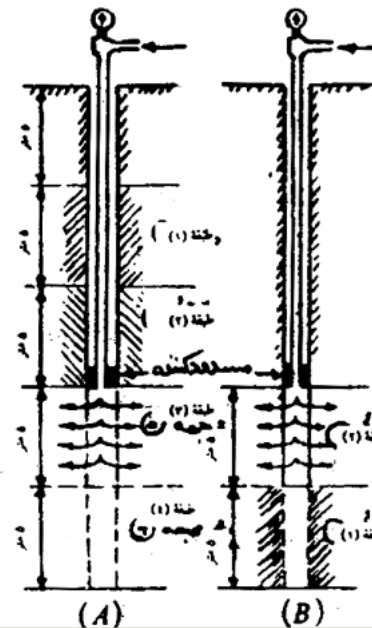




شمای دستگاه تزریق



شکل - نشان دهنده چگونگی تزریق در پی سد



$$D = \frac{1}{3} H_i^2 + 15 \text{ m}$$

FORMULA DEPTH = D

$$D_{\text{Max}} = \frac{1}{3} H_i^2 + 20 \text{ m}$$

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سدهای خاکی قسمت پنجم

دکتر سعید خرقانی

۱۳۸۳

حفاظت دامنه های سدهای خاکریز

- دامنه های سدهای خاکی و پاره سنگی در معرض هوازدگی ، فرسایش حاصل از آب ، باد و طوفانهای سیلزا ، امواج ، یخ زدگی و سایر عوامل طبیعی قرار دارند و بنابراین نیاز به حفاظت دارند .
- نوع حفاظت تابع نوع مصالح در دسترس و اقتصاد است.
- در مورد دامنه بالا دست ، بیشترین آسیب پذیری به علت اثر امواج است .
- البته تخریب شدن لایه محافظ دامنه ، موجب تخریب سد نمی گردد اما زمینه آسیب پذیری و تخریب را آماده کرده ، ناپایداری لایه های زیرین را تشدید می کند .

حفاظت دامنه پایین دست

دامنه پایین دست سدهای خاکی و پاره سنگی ، همواره در معرض هوازگی و فرسایش بادی و در بیشتر موارد در معرض فرسایش آبی حاصل از بارندگی و جاری شدن سیل است . اثر یخ زدگی و احتمالاً تخریبهای حاصل از فعالیت حیوانات را نیز نباید از نظر دور داشت .

-به منظور حفاظت دامنه پایین دست ، در شرایط اقلیمی مناسب ، یک پوشش محکم و منظم گیاهی و چمن کاری می تواند کارآیی لازم را داشته باشد.

-البته باید توجه داشت که بوته های بلند و درخت کاری به هیچ وجه مناسب این نوع پوشش گیاهی نیست زیرا نه تنها رشد پوشش گیاهی اصلی را تضعیف می کند بلکه ریشه عمیق بوته ها و درختها به آسیب پذیری دامنه سد کمک می کند

در مواردی که سبزه کاری و ایجاد پوشش گیاهی مقدور نباشد ، باید لایه ای از شن و قلوه سنگ محافظ ، مواد حاصل از حفاری تونلها ، سنگهای خرد شده مشابه آنچه که در بالا دست به کار می رود ، روی دامنه پایین دست پوشانده شود .

- از مواردی که در دامنه پایین دست باید به آن توجه بیشتری شود ، محل‌های تماس دامنه پایین دست با تکیه گاه‌های سنگی دامنه های طبیعی است که در این محلها جریان آبهای سطحی بارندگی نسبت به سایر نقاط دامنه پایین دست بیشتر است زیرا نه تنها مسیر هدایت آبهای جاری شده بر دامنه پایین دست است بلکه آبهای جاری شده از تکیه گاه‌های سنگی طبیعی نیز در این مسیر تمرکز یافته و شدت و دبی حرکت آب افزایش می یابد و ممکن است فرسایش شدیدی را منجر گردد .

حفاظت دامنه بالادست

از موارد مهمی که موجب آسیب پذیری دامنه بالادست می شود ، اثر امواج است . امواج به دو علت اصلی می تواند دامنه بالادست را شستشو داده و به دریاچه بریزد این دو علت عبارتند از: - اثر ضربه موج که دانه ها را در یکدیگر حرکت می دهد

- اثر شستشوی برگشت موج که نیرویی در جهت ثقل و بر روی سطح شیب دار دامنه به قطعات و دامنه سد وارد می آورد .

بارندگیهای شدید و سیلابهای حاصل از آنها از سمت تاج سد به طرف دریاچه ، یخ زدگی ، و سایر عوامل جوی و اقلیمی هر کدام به نحوی می تواند موجب تضعیف مقاومت بخش بالایی دامنه بالادست گردد .

بدیهی است آن بخش از دامنه بالادست که زیر سطح آب قرار دارد و در معرض تأثیر عوامل ذکر شده نیست ، به همین علت ، محافظت دامنه، تا چند متر زیرتر از پایینترین وضعیت آب دریاچه کافی است .

در طراحی محافظ ، عواملی از قبیل طول و ارتفاع موج ، جهت باد ، سرعت باد ، عمق نسبی آب ، زمان تناوب موج ، شکل دریاچه ، شیب دامنه ، زاویه میل موج در برخورد با دامنه ، میزان یخ زدگی ، میزان بارندگیهای شدید سیل زا ، و بعضی عوامل دیگر دخالت دارد .

همچنین در صورتی که محافظ از نوع سنگچین باشد ، وزن قطعات سنگ ، وزن مخصوص آنها ، دانه بندی ، زبری سطح آنها ، جنس و دوام دراز مدت آنها ، ضخامت لایه سنگچین و نوع اجرای آن یعنی دستی یا ماشینی بودن آن ، تأثیر مستقیم دارد .

در تعیین اثر امواج روی دامنه بالادست ، مشخصات زیر مورد نیاز است :

۱ - سرعت باد طرح در محل ، امتداد و جهت و مدت باد

۲ - محاسبه برد مؤثر دریاچه .

۳ - دوره تناوب موج مهم آب عمیق برای برد مؤثر و سرعت باد

طرح ، و محاسبه طول و ارتفاع موج آب عمیق .

(ارتفاع موج مهم عبارت است از میانگین ارتفاع یک سوم بلندترین امواج در مسیر موج از منحنی توزیع آماری در آب عمیق ، که عمق آن از نصف طول موج آب عمیق بیشتر است .)

۴ - ارتفاع موج طرح ، که معمولاً بیش از ارتفاع موج مهم انتخاب

می شود .

H_s ارتفاع موج مهم

$$H_m \text{ (ارتفاع متوسط)} = 0.624H_s$$

$$H_{10} \text{ (ارتفاع ۱۰ درصد)} = 1.29H_s$$

$$H_{\max} \text{ (ارتفاع حداکثر)} = (1.78 \text{ تا } 1.87)H_s$$

انواع سنگ چینی و عوامل مؤثر

اصطلاح سنگ چینی (یا خشکه چینی) به پوششی گفته می شود که قطعات سنگ ، بدون وجود ملات یا خمیره ، در کنار یکدیگر قرار گیرند .

* در صورتی که این قطعات به وسیله دستگاہهای ماشینی روی هم ریخته و انباشته گردد به نام سنگچین ماشینی یا سنگ ریزی نامبرده می شود

* صورتی که به صورت دستی در کنار یکدیگر قرار داده شود ، سنگچین دستی نامیده می شود .

سنگ چینی ماشینی یا سنگریزی :

تجربه های گذشته نشان داده است که احداث حفاظ سنگی به وسیله سنگ چینی ماشینی ، برترین نوع حفاظت دامنه های خاکریز است . اندازه قطعات و دانه ها باید مناسب انتخاب شود و استحکام قطعه سنگها و تراکم آنها و ضریب شکل آنها قابل قبول باشد .

به جز در موارد نادر ، سنگ چینی باید روی لایه ای از فیلتر قرار گیرد تا از شسته شدن خاک دامنه سد به درون سنگچین جلوگیری شود .

مزیت سنگ چینی دستی :

در سنگ چینی دستی ، قطعات به صورت منظم و محکم در کنار یک دیگر قرار گرفته و همانند یک سنگفرش ، کنار قطعه سنگها در یکدیگر قفل می شود و همین امر موجب تشکیل لایه ای صلب می گردد که احتمالاً تحمل جابه جاییها و نشستهای موضعی در آن ، نسبت به یک لایه سنگچین ماشینی کمتر است . همچنین یک لایه منفرد سنگچین دستی به علت احتمال جابجا شدن قطعات در اثر امواج یا خرد شدن گوشه های قطعات ، آسیب پذیری بیشتری دارد.

با توجه به دلایل ذکر شده و با توجه به هزینه کارگر ، استفاده از سنگ چینی دستی به ندرت کاربرد دارد .

صرف نظر از موضوع طراحی سنگ چینی ماشینی یا دستی ، اتفاق نظر بر این است که اندازه قطعات سنگها بستگی به بزرگی عمل موج روی سد دارد.

جدول زیر یکی از جداولی است که وزن قطعات ، اندازه آنها و ضخامت لایه سنگچین را بر اساس ارتفاع موج پیشنهاد می کند :

جدول اندازه قطعه سنگها و ضخامت لایه سنگچین

حداکثر ارتفاع موج (m)	اندازه قطعه سنگ متوسط D50 (cm)	حداکثر اندازه وزن قطعات kg f)	ضخامت لایه (cm)
۰-۰/۳۱	۲۰	۴۵/۳۵	۳۱
۰/۳۱-۰/۶۱	۲۵	۹۰/۷	۳۸
۰/۶۱-۱/۲۲	۳۱	۲۲۶/۷۵	۴۶
۱/۲۲-۱/۸۳	۳۸	۶۸۰/۲۵	۶۱
۱/۸۳-۲/۴۴	۴۶	۱۱۳۳/۷۵	۷۶
۲/۴۴-۳/۰۵	۶۱	۱۸۱۴	۹۱

رابطه هایی برای تعیین اندازه و وزن قطعه سنگهای مورد نیاز در سنگچین پیشنهاد

شده است . یکی از این رابطه ها ، رابطه زیر است :

$$W_{50} = \frac{\gamma_r H_D^N}{K_r (G_S - 1)^3 \cot \alpha}$$

در این رابطه ، W_{50} وزن قطعه سنگ متوسط (یعنی قطعه سنگ به اندازه D_{50})
 وزن واحد سنگ ، H_D ارتفاع موج طرح ، N عدد توان است که از ۲ تا ۳ می تواند
 متغیر باشد؛ K_r ضریب سنگ چینی است که عددی متغیر است ، G_S وزن
 مخصوص قطعه سنگها ، و α زاویه شیب دامنه بالادست نسبت به افق است .

جدول زیر برای شرایط $G_S=2/6$ و $\gamma_r = 2/6 \text{ tonf} / m^3$ و $\cot a=3$ ، مقادیر وزن قطعه سنگهای با
 اندازه متوسط (W_{50}) را بر حسب کیلوگرم و تابعی از ارتفاع موج نشان می دهد .

• جدول وزن قطعه سنگهای متوسط بر حسب کیلوگرم و تابعی از ارتفاع موجی

N	K_{rr}	ارتفاع موج بر حسب متر		
		۰,۶۱	۱,۲۲	۲,۴۴
۲	۱,۸۲	۹,۶	۵۲,۶	۲۱۴,۶
۲,۵	۳,۵	۱۰,۴	۵۵	۳۱۷,۵
۲,۶	۳,۲	۱۱,۸	۷۰	۴۲۶,۴
۲,۷	۳,۲	۱۲,۲	۸۰	۵۲۶,۲
۳	۵,۵	۱۴,۵	۹۶,۵	۵۶۹,۲

بررسی دوام و علل آسیب پذیری لایه سنگ چینی

- ۱ - جدا شدن دانه ها و تجمع یافتن دانه های سنگچین در ضمن اجرای آن و پیدایش حفره هایی که موجب شسته شدن لایه بندی می شود .
- ۲ - جدا شدن و تجمع یافتن قطعات سنگهای بزرگتر از اندازه در لایه سنگچین که در نتیجه موجب شسته شدن خاکهای بدنه سد در لایه سنگچین می شود .
- ۳ - ادامه نیافتن لایه سنگچین به زیر تراز حمله موج در پایینترین تراز آب دریاچه . در این مورد در تخلیه های بعدی آسیب پذیری بیشتر است .
- ۴ - اشتباه در محاسبه موج طرح و تخمین شدت حمله موج در حد کمتر از مقدار واقعی .
- ۵ - کیفیت ضعیف قطعه سنگها از عوامل دیگر تخریب شدن لایه سنگ چینی است ، بنابراین دوام فیزیکی و یکپارچگی قطعه سنگها را نباید در طراحی سنگچین فراموش کرد .

مطالعه تجربی و دوام سنگچین در چند سد

- به منظور بررسی دوام یا آسیب پذیری لایه های سنگچین بعضی از مهندسان و پژوهشگران روی سدهای ساخته شده مطالعاتی انجام داده اند . از جمله این بررسی ها ، می توان پژوهشی از کارشناسان کانادایی را که در سال ۱۹۷۰ انجام گرفته است در اینجا ذکر نمود .

در این بررسیها ، آسیب دیدگی جزئی به معنای جابه جا شدن بعضی از سنگها روی سطح دامنه است و آسیب دیدگی عمیق به مفهوم تخریب قسمتهایی از سنگچین تا حد آشکار شدن لایه زیرین ، و منظور از آسیب دیدگی کلی شسته شدن بخشی از بستر لایه زیرین سنگچین در اثر امواج است . همچنین درصد آسیب دیدگی نسبت به طول سد سنجیده شده است .

نوع سد	ارتفاع	طول تاج	$\cot \alpha$	در صد آسیب دیدگی		کلی
				جزیی	عمیق	
پاره سنگی	۱۶۲	۲۸۲۶	۱/۶	۱۷	۴	۰/۵
پاره سنگی	۶۶	۳۳۷۴	۱/۷	۸	۱	۰
شن و ماسه	۵۲	۶۰۵۱	۲	۱	۰	۰/۲
پاره سنگی	۹۳	۲۱۵۶	۱/۶	۲/۸	۷/۵	۱۳/۵
شن و ماسه	۵۸	۷۵۶	۲/۲	*	-	*
شن و ماسه	۲۴	۱۳۴۱	۲/۲	*	-	*
شن و ماسه	۲۶	۱۳۷۵	۲/۳	*	-	*
شن و ماسه	۳۲	۱۰۳۷	۲/۲	-	-	*
شن و ماسه	۴۵	۱۳۱۹	۲	-	-	*
پاره سنگی	۱۲۸	۳۷۵۰	۱/۵	۲/۲	۱۵/۶	۱
شن و ماسه	۹۲	۱۹۷۵	۲	۶۰	۰	۰
پاره سنگی	۵۳/۵	۳۳۳۳	۱/۳۷	۱۳/۶	۷/۲	۱۲

حفاظت دامنه های حاکی به وسیله سیمان

• ()

)

•

(

درصد آب اندازه گیری شده در مخلوطهای خاک - سیمان که در بعضی از سدها اندازه گیری شده است بین ۸ تا ۱۲ درصد بوده است ، و مقاومت فشاری اندازه گیری شده برای این مخلوط به شرح زیر بوده است :

۷۰ تا ۱۰۰

بعد از ۳ روز

۸۴ تا ۱۲۰

بعد از ۷ روز

۱۰۰ تا ۱۵۰

بعد از ۲۸ روز

۱۶۰ تا ۲۵۰

بعد از ۹۰ روز

بعضی از مهندسان مقاومت ۷ روزه را در حد ۴۲ کافی دانسته اند

حفاظت دامنه های خاکی به وسیله پوشش بتنی

»
(dam rockfill face Concrete) (CFRD) «

الف : پوشش بتنی درجا با درزهای انبساط :

انواع اولیه پوششهای بتنی به صورت ورقه های بتنی مجزا با ابعاد $1/5$ تا $1/8$ متر (عرض) و 3 تا 6 متر (طول) و ضخامت $0/2$ تا $0/3$ متر و به ندرت بلوکهای کوچکتر یا ضخیمتر به کار برده شده است . قطعات کوچکتر معمولاً به وسیله میلگردهایی به یکدیگر مهار می شود .

در پوششهای بتنی لازم است قطعات مجزا به وسیله درزهای مناسبی از یکدیگر جدا شده باشند یا به وسیله یک مجموعه کام و زبانه مفصل شوند تا به هر حال نشستهای نامساوی بدنه سد موجب خرد شدن پوشش نگردد و به عبارت دیگر قطعات جدا گانه بتواند هماهنگ با نشستهای متفاوت دگر شکلی داشته باشند .

ب (پوشش بتنی پیش ساخته :

در این روش ، قطعات بتنی قابل نصب در کنار یکدیگر که قبلاً ساخته شده است به محل آورده شده و نصب می گردند . قطعات بتنی برای این منظور با اشکال مختلفی طراحی می شوند .

پوشش بتنی آسفالتی

در بعضی از سدها می توان از پوشش آسفالتی استفاده کرد که در این صورت هم نقش آب بندی و هم نقش محافظت را دارد . احتمالاً از اولین سدهای حاکی با رویه بتنی آسفالتی سد « مونت گمری » با ارتفاع ۳۴/۵ متر است که در سال ۱۹۵۷ در کلرادو ساخته شده است و پوشش بتنی آسفالتی آن با ضخامت ۳۰ سانتیمتر است .

تجربه های مختلف در کشورهای مختلف نشان می دهد که این نوع پوشش کاملاً با دوام و پایدار بود است و حتی با شیبهای زیاد دامنه در حد ۴۵ نیز دوام داشته است . از مزایای آن نفوذ ناپذیری و انعطاف پذیری است و اگر ترکهایی در آن ایجاد شود خود به خود التیام پذیر است و یا قابل پر کردن و ترمیم است .

بر آورد و محاسبه اولیه

ابعاد سد خاکی

ارتفاع آزاد (Free board)

ارتفاع آزاد اختلاف ارتفاع تراز حداقل تاج با تراز حداکثر دریاچه در هنگام سیلاب می باشد .

عوامل موثر در انتخاب ارتفاع آزاد عبارتند از :

۱ - تراز آب در بالای سرریز در زمان عبور دبی حداکثر

خروجی

۲ - ارتفاع موج

۳ - نشست تابع زمان بدنه سد و پی آن

۴ - شرایط پائین دست

ارتفاع موج نقش مهمی را در انتخاب ارتفاع آزاد بازی می کند . برای تعیین ارتفاع حداکثر موج در دریاچه پشت سد معمولاً از روابط تجربی زیر استفاده می شود :

$$h_w = 0.032\sqrt{V.F} + 0.763 - 0.271F^{0.25} \quad (F < 32km)$$

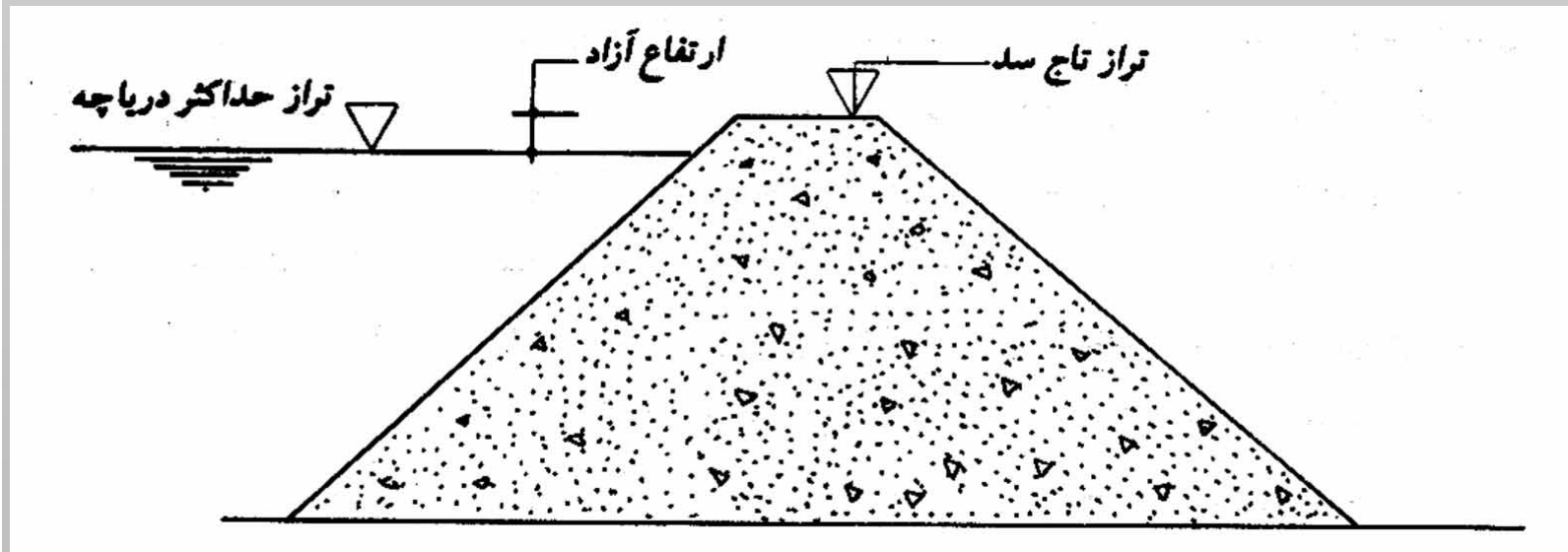
$$h_w = 0.032\sqrt{V.F} \quad (F > 32km)$$

h_w = ارتفاع موج بر حسب متر ($\frac{2}{3}$ آن در بالای تراز ایستابی و $\frac{1}{3}$ آن در زیر تراز ایستابی فرض می شود)

V = سرعت باد بر حسب کیلومتر بر ساعت .

F = دورخیز باد بر حسب کیلومتر (درصدی از ابعاد دریاچه در امتداد وزش باد منظور

می شود)

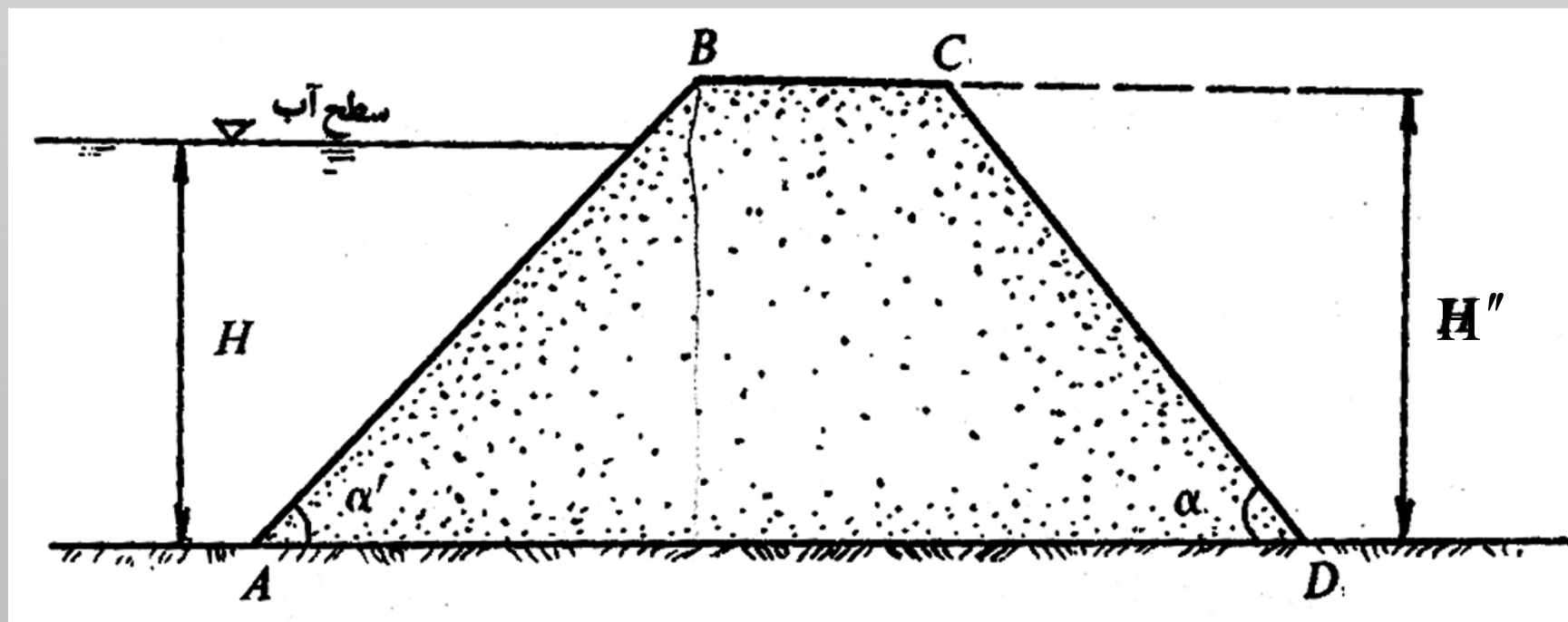


برای تعیین ارتفاع آزاد باید به نشست تابع زمان بدنه و پی سد توجه خاص داشت. برای جبران این نشست، تاج سدهای خاکی بصورت قوس محدب در راستای طول سد (عرض دره) ساخته می شود تا پس از وقوع تمام نشست ها، سطح تاج بصورت افقی و در تراز مورد نظر قرار بگیرد.

در سدهایی که به عللی ارتفاع آزاد آنها در مقابل موجهای تولید شده کم است، یک دیوار موج شکن در وجه بالا دست و به موازات تاج سد احداث می گردد.

روش عملی بر آورد شیب طرفین سد خاکی

برای محاسبه و برآورد مقادیر (α) و (α') با توجه به شکل زیر به ترتیب بیان شده در ذیل عمل می نمائیم :



$$AB \leq \frac{2C}{D_m \cdot \sin \alpha' \cdot \sin^2 \theta} \left[\tan \phi + \cos \theta \cdot \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{\pi - \theta}{\sin \theta \cdot \cos \phi} \right]$$

$$CD \leq \frac{2c'}{D_m \cdot \sin \alpha \cdot \sin^2 \theta'} \left[\tan \phi' + \cos \theta' \cdot \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2} \right) + \frac{\pi - \theta'}{\sin \theta' \cdot \cos \phi'} \right]$$

$$\cos \theta = \cot \alpha' \cdot \tan \phi$$

$$\cos \theta' = \tan \alpha \cdot \tan \phi'$$

AB = طول قسمت بالادست سد در مقطع عرضی بر حسب متر

C = ضریب چسبندگی مواد بکار رفته در قسمت بالادست سد بر حسب کیلو گرم بر متر مربع .

D_m = وزن مخصوص متوسط مواد تشکیل دهنده قسمت بالادست سد بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

θ = زاویه فرضی است که مقدار آن با توجه به مقادیر (ϕ, α') به وسیله رابطه مربوطه قابل محاسبه بوده و بر حسب درجه بیان می شود .

ϕ = زاویه ضریب اصطکاک داخلی مواد به کار رفته در قسمت بالادست سد بر حسب درجه .

CD = طول قسمت پائین دست سد در مقطع عرضی بر حسب متر .

اگر مواد بکار رفته در بدنه سد در بالادست و پائین دست یکسان فرض شود ، در آن حال مقادیر ϕ, D_m, C با مقادیر ϕ', D'_m, C' برابر خواهند بود .
 معمولاً در حالت بحرانی مقادیر AB و CD را در روابط مربوطه با طرف دوم ، مساوی در نظر گرفته و روابط زیر را استخراج می نمایند :

$$\frac{2C}{AB \cdot D_m \cdot \sin \alpha'} = \frac{\sin^2 \theta}{\tan \phi + \cos \theta \cdot \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{\pi - \theta}{\sin \theta \cdot \cos \phi}}$$

$$\frac{2C'}{CD \cdot D'_m \cdot \sin \alpha} = \frac{\sin^2 \theta'}{\tan \phi' + \cos \theta' \cdot \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi'}{2} \right) + \frac{\pi - \theta'}{\sin \theta' \cdot \cos \phi'}}$$

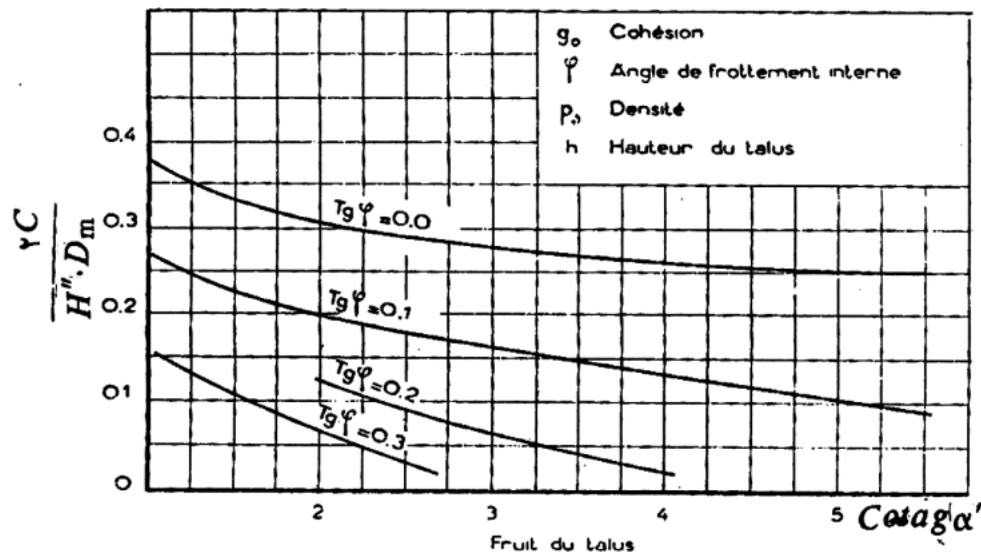
اگر چنانچه $(\alpha' = \alpha)$ و $(C' = C)$ و $(\phi' = \phi)$ و $(D'_m = D_m)$

فرض شود در روابط بالا به جای مقادیر $(CD \cdot \sin \alpha, AB \cdot \sin \alpha')$ که با

هم مساوی می باشند می توان مقدار H'' را قرار داد در نتیجه می توان

نوشت :

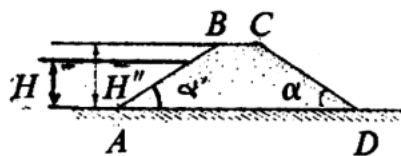
$$\frac{2C}{H'' \cdot D_m} = \frac{\sin^2 \theta}{\tan \phi + \cos \theta \cdot \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{\pi - \theta}{\sin \theta \cdot \cos \phi}}$$



شکل - برای محاسبه مقدار (α')

جدول - برای محاسبه مقدار (α') با توجه به مقدار $\frac{2C}{H'' D_m}$

$\frac{2C}{H'' D_m}$	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
5°							
10°	8,08						
15°	5,46	14,28					
20°	4,71	8,28	20,17				
25°	4,33	6,48	11,26	27,21			
30°	4,09	5,61	8,33	14,43	44,55		
35°	3,92	5,09	6,94	10,26	17,21	44,94	
40°	3,80	4,76	6,12	8,27	12,17	20,81	52,55
45°	3,73	4,50	5,59	6,94	9,59	13,98	23,76
60°	3,35	4,04	4,62	5,44	6,46	7,83	9,87
90°	3,32	3,54	3,78	4,07	4,39	4,78	5,23



در عمل چون مقدار $(\tan \phi)$ و

نسبت $\frac{2C}{H'' D_m}$ و $\frac{H'' D_m}{2C}$ یا

نسبت معلوم

می باشد ، لذا برای محاسبه

مقدار (α') از دیاگرام های

موجود در شکل و جدول ذیل

استفاده می نمایند .

$$\frac{2C}{H'' D_m} = \frac{\sin^2 \theta}{\tan \phi + \cos \theta \cdot \cot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) + \frac{\pi - \theta}{\sin \theta \cdot \cos \phi}}$$

محاسبه عرض تاج سد :

در عمل برای تعیین عرض تاج سد (BC) با توجه به ارتفاع

کل آن از روابط زیر استفاده می شود :

$$\left\{ BC = \frac{1}{5} H'' + 3 \right. \quad \text{یا} \quad \left. BC = 1.11\sqrt{H''} + 3.0 \right.$$

سدهای کوتاه از (۵ تا ۱۰) متر

$$\left\{ BC = 1.65\sqrt{H''} \right. \quad \text{یا} \quad \left. BC = 0.55\sqrt{H''} + 0.2H'' \right.$$

سدهای کوتاه تر از ۳۰ و بزرگتر از ۲۰ متر

$$BC = 3.64\sqrt[3]{H''} - 1.83$$

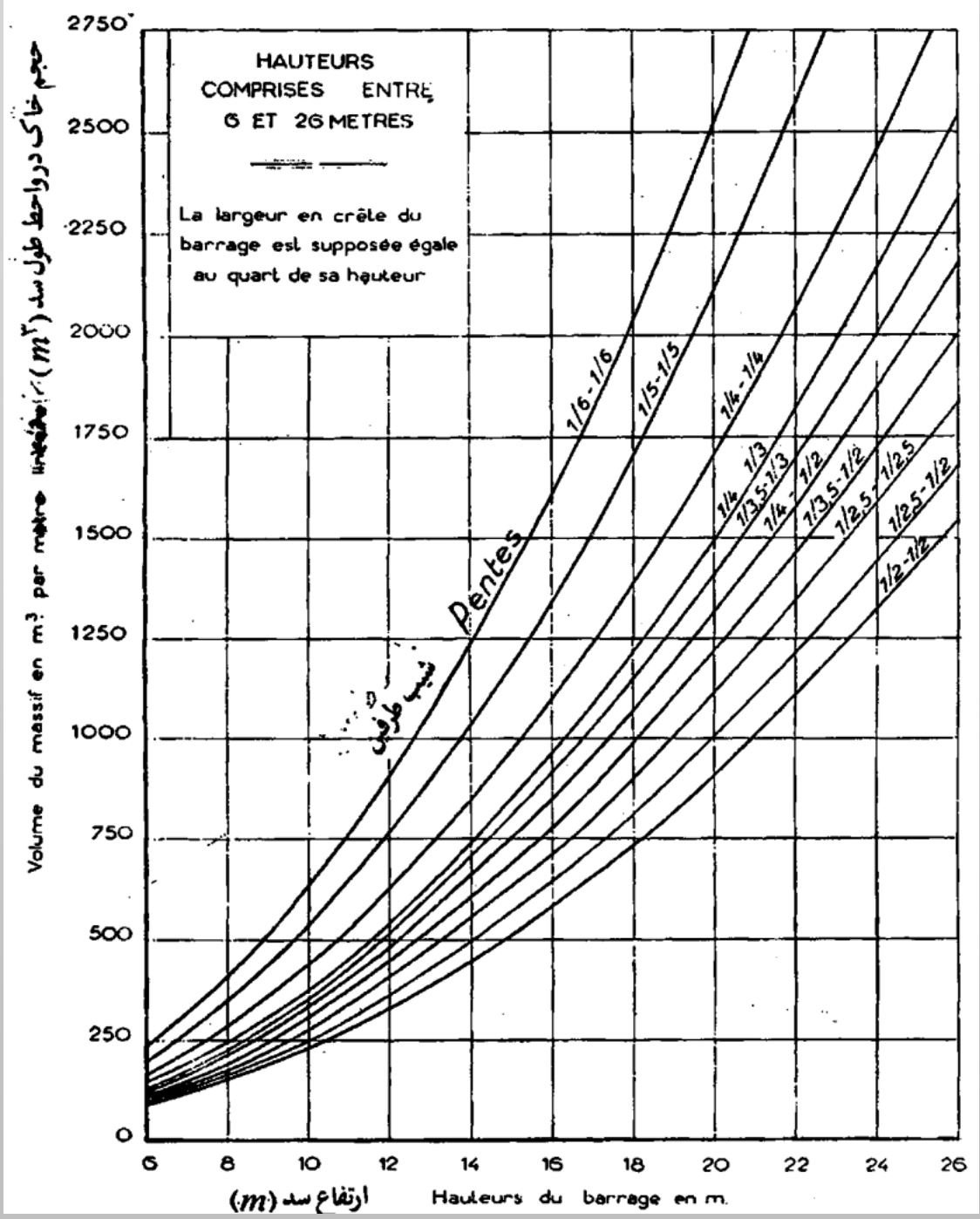
سدهای بزرگتر از ۳۰ متر

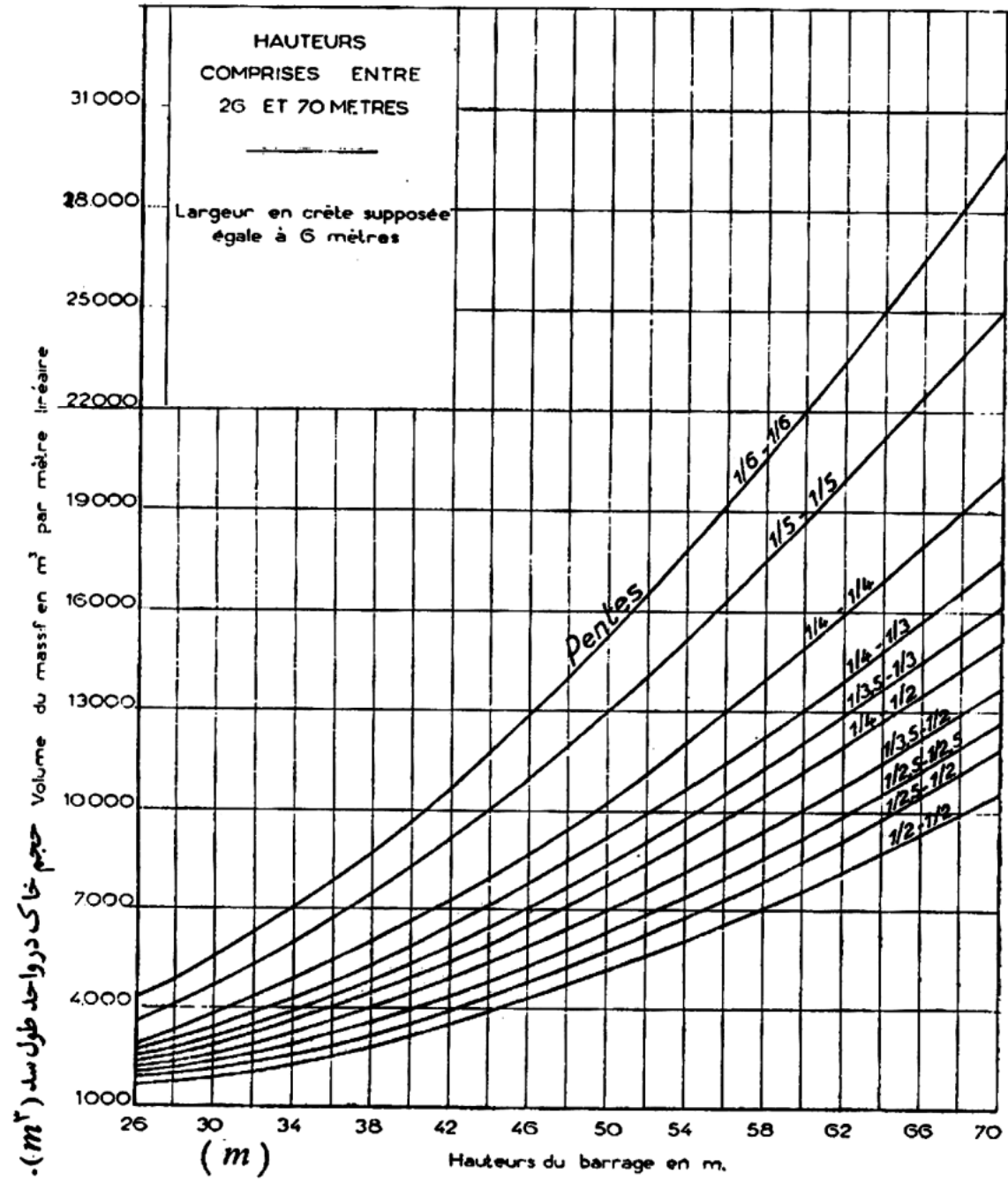
برنامه محاسبه ابعاد سد شامل:

-
-
-
-

اجرای برنامه

بر آورد تقریبی حجم خاک مصرف شده در واحد طول سد :
محاسبه و بر آورد حجم تقریبی خاک مصرف شده در واحد
طول سد خاکی با توجه به ارتفاع و شیب دیوارهای جانبی
و عرض تاج سد ، از دیاگرامهای موجود که در زیر نشان
داده شده است استفاده می نمایند .





برنامه برآورد حجم عملیات خاکی

در سد های خاکی

اجرای برنامه

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سدهای خاکی قسمت ششم

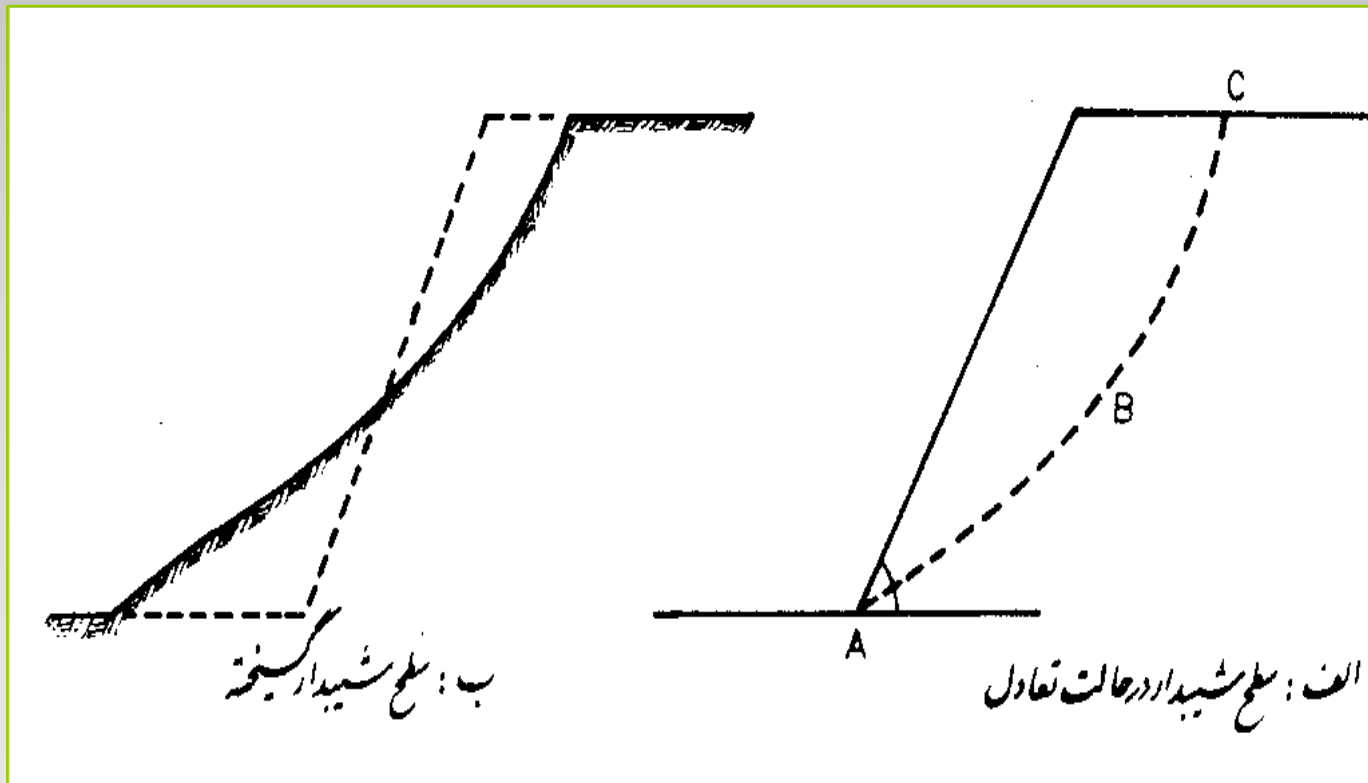
دکتر سعید خرقانی

1383

پایداری سطوح شیبدار (شیروانی ها)

Stability of slope

چنانچه بین دو نقطه از سطح زمین ، اختلاف ارتفاعی وجود داشته باشد ، تشکیل یک سطح شیبدار می دهد که ممکن است به یکی از سه حالت : شیب های طبیعی زمین (مثل تپه ها) ، شیب هائی که بوسیله خاکبرداریها بوجود می آیند و شیب هائی که توسط خاکریزها بوجود می آیند ، باشد .

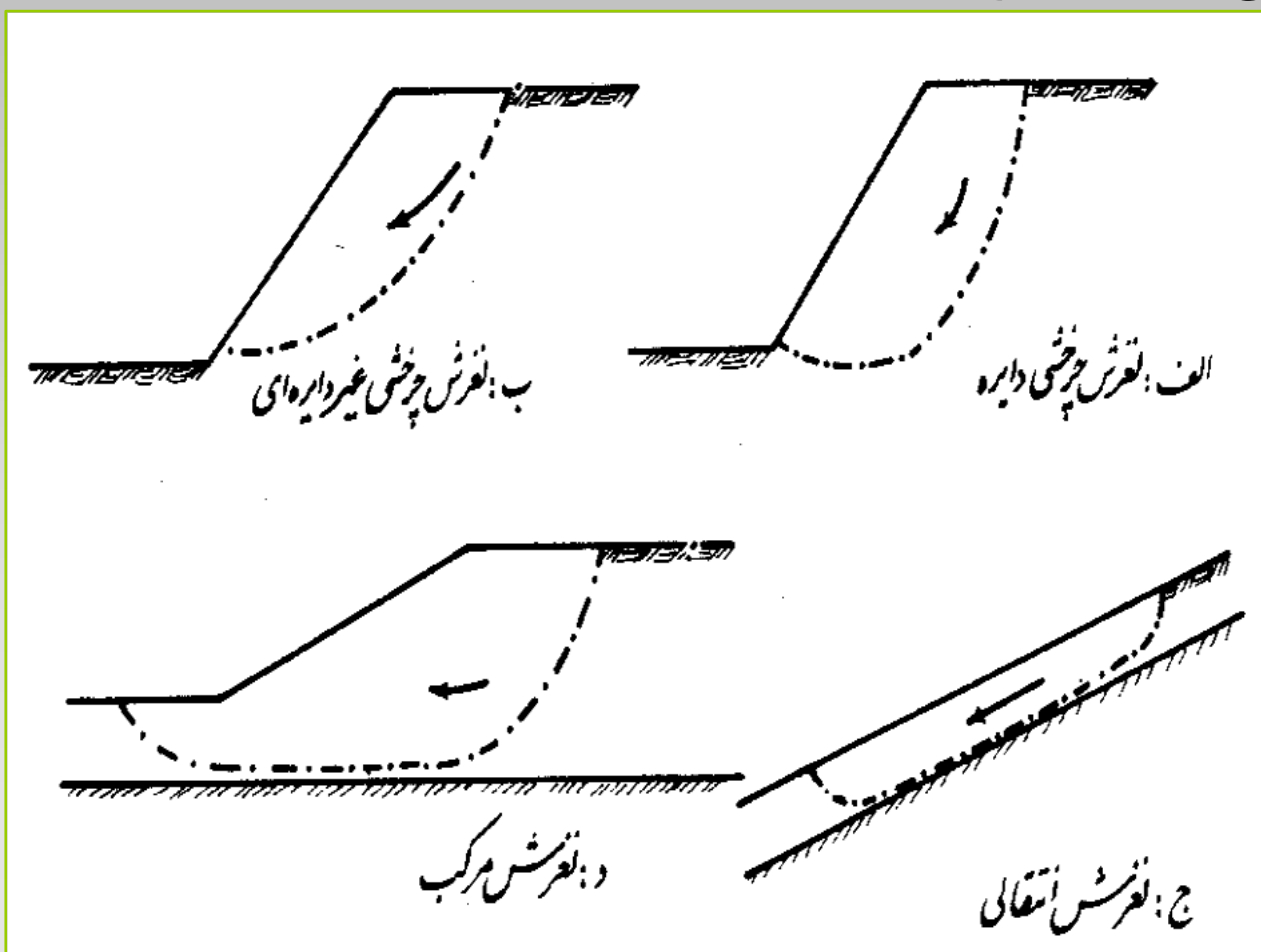


انواع مهم گسیختگی خاک در شیب ها ، عبارتست از :

۱- لغزش های چرخشی

۲- لغزش های انتقالی

۳- لغزش های مرکب



\$ در لغزش های چرخشی ، سطح گسیختگی ممکن است دایره ای یا غیر دایره ای باشد . بطور کلی لغزش های دایره ای در خاکهای همگن و غیردایره ای در خاکهای غیر همگن رخ می دهد .

\$ لغزش های انتقالی و مرکب در شرائطی پیش می آید که شکل سطح گسیختگی تحت تأثیر لایه زیرین ، که مقاومت آن به مقدار قابل ملاحظه ای با لایه روئی تفاوت دارد ، قرار گرفته باشد . لغزش انتقالی معمولاً در شرائطی پیش می آید که لایه زیرین در عمق کمی از سطح شیب قرار گرفته است . در این حالت ، سطح گسیختگی ، کم و بیش یک سطح مستوی موازی شیب می باشد .

\$ لغزش مرکب، معمولاً در شرائطی که لایه زیرین در عمق بیشتری قرار گرفته باشد ، رخ می دهد سطح گسیختگی ، در این حالت ، شامل قسمت انحناء دار و مستوی می باشد .

علت اصلی شکست سطوح شیبدار را بیشتر شدن تنش برشی از مقاومت برشی در سطح شکست دانست و بنابراین محاسبات پایداری سطوح شیبدار، در حقیقت مقایسه نیروهائی که باعث گسیختگی می شوند با نیروهائی که از گسیختگی جلوگیری می کنند ، در سطح شکست می باشد .

نیروهائی که در محاسبات مربوط به پایداری سطح شیبدار در نظر گرفته می شوند ، عبارتند از :

• **الف - نیروهای مخرب**

به مجموع نیروهائی که باعث لغزش سطح شیبدار می شوند ، نیروهای مخرب می گویند . یکی از مهمترین این نیروها ، وزن توده خاک بالای سطح شکست می باشد .

• **ب - نیروهای مقاوم**

به مجموع نیروهائی که از لغزش سطح شیبدار جلوگیری می کنند ، نیروی مقاوم می گویند که مهمترین عامل آن کاهش مقاومت برشی خاک در سطح شکست می باشد .

عوامل ایجاد نیروهای مخرب

- ۱- افزایش بار خارجی روی سطح شیبدار نظیر ، ساختمان ، آب و غیره .
- ۲- افزایش وزن واحد حجم خاک در اثر ازدیاد درصد رطوبت .
- ۳- خاکبرداری در قسمتی از سطح شیبدار .
- ۴- ایجاد تونلی توسط زه آب .
- ۵- ضربه ، نظیر انفجار و یا زلزله .

عوامل کاهش نیروهای مقاوم

- ۱- تورم رس به علت ازدیاد درصد رطوبت .
- ۲- فشار آب منفذی .
- ۳- ترکهای ایجاد شده در اثر خیس و خشک شدن متناوب خاک .
- ۴- انتقال و پیشرفت گسیختگی در مورد خاکهای حساس .
- ۵- از بین رفتن عناصر چسباننده ذرات خاک .
- ۶- از بین رفتن فشار منفی منفذی (کاپیلاریته) .

مقدار ضریب اطمینان هر سطح لغزش را به این ترتیب تعیین می کنند که ، ابتدا کلیه نیروهای مخرب و مقاوم را روی سطح فوق مشخص کرده و سپس ، گشتاور این نیروها را نسبت به مرکز سطح لغزش محاسبه می کنند . با در دست داشتن گشتاور نیروها ، از رابطه زیر ، ضریب اطمینان بدست می آید :

$$F = \frac{\text{مجموع گشتاورهاي مقاوم}}{\text{مجموع گشتاورهاي مخرب}}$$

حداقل ضریب اطمینان برای خاکهایی که فاقد چسبندگی هستند ۱/۷ و برای بقیه خاکها ۱/۵ در نظر گرفته می شود .

پایداری سدهای خاکی :

پایداری سدهای خاکی حالت خاصی از مسئله پایداری در شیبها می باشد و در همان روش تحت بررسی قرار می گیرد .
برای بررسی پایداری در شیبها روشهای مختلفی وجود دارد که عموماً به روش تعادل حدی تحلیل می شوند .

$$\text{ضریب اطمینان} = \frac{\text{مقاومت برشی موجود در خاک در سطح لغزش}}{\text{مقاومت برشی لازم برای مقابله با لغزش}}$$

- با روش سعی و خطا (در سطوح شکست فرضی) مکانیزم لغزش برای کمترین ضریب اطمینان بدست می آید .

عواملی که در تحلیل تعادل حدی دخالت دارند عبارتند از پارامترهای مقاومت برشی ، فشار آب حفره ای و ضریب اطمینان طرح .

$$u = \sigma - \sigma' \quad \text{فشار آب حفره ای}$$

پارامترهای مقاومت برشی عبارتند از C (چسبندگی)

ϕ (زاویه اصطکاک داخلی) بطوریکه مقاومت برشی (τ) از

$$\tau = C + \sigma \cdot \tan \phi \quad \text{رابطه بدست آید . در این رابطه}$$

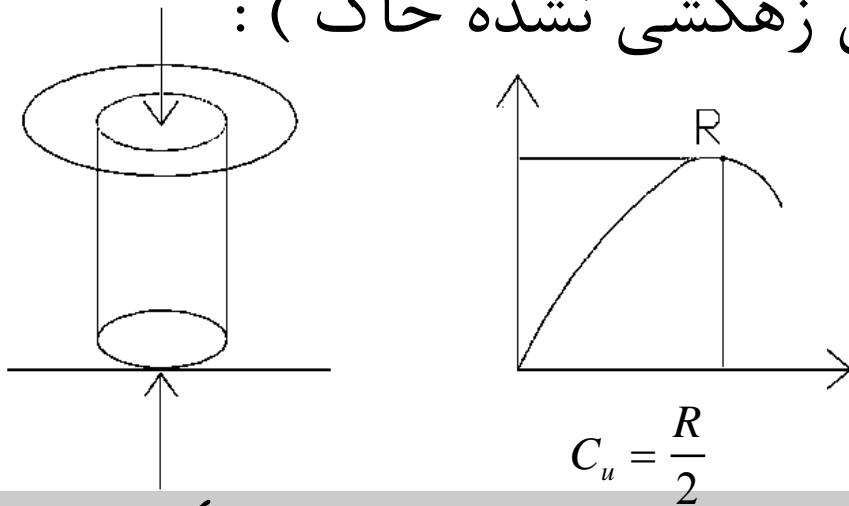
σ فشار قائم بر سطح برش است . روشهای محاسبه مقاومت

برشی در مکانیک خاک مورد بحث قرار گرفته است .

فشار آب حفره ای به یکی از اشکال زیر بروز می نماید :

- - فشار حفره ای ناشی از سفره آب زیرزمینی یا فشار هیدروستاتیک .
- - فشار حفره ای ناشی از جریان یکنواخت آب در خاک . (تراوش)
- - فشار حفره های ناشی از مرحله تحکیم خاک به هنگام بارگذاری و یا بعبارت دیگر فشار حفره ای ناشی از فشار همه جانبه در آزمایش فشار سه محوری . (u_0)
- - فشار حفره ای ناشی از تغییر شکلهای برشی و لغزشی وبعبارت دیگر فشار حفره ای اضافی ناشی از برش در آزمایش سه محوری . (u_f)

* تک محوری $C_u \leftarrow$ (چسبندگی زهکشی نشده خاک) :

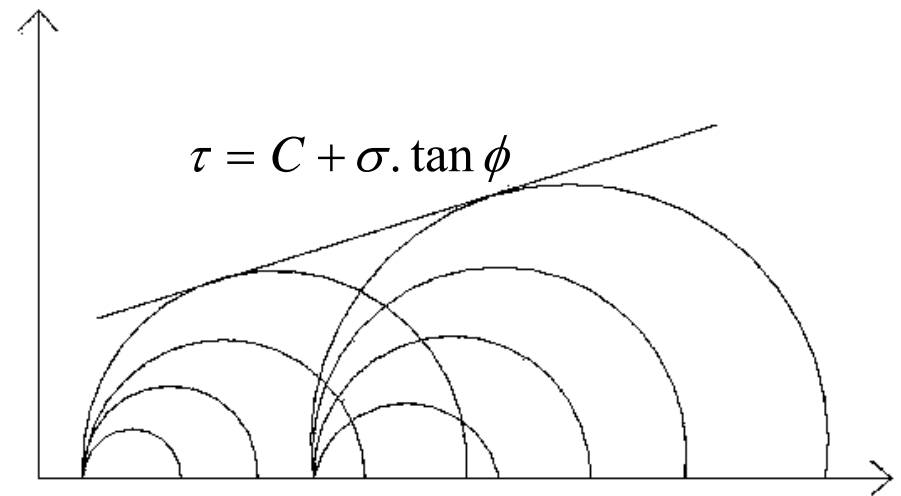
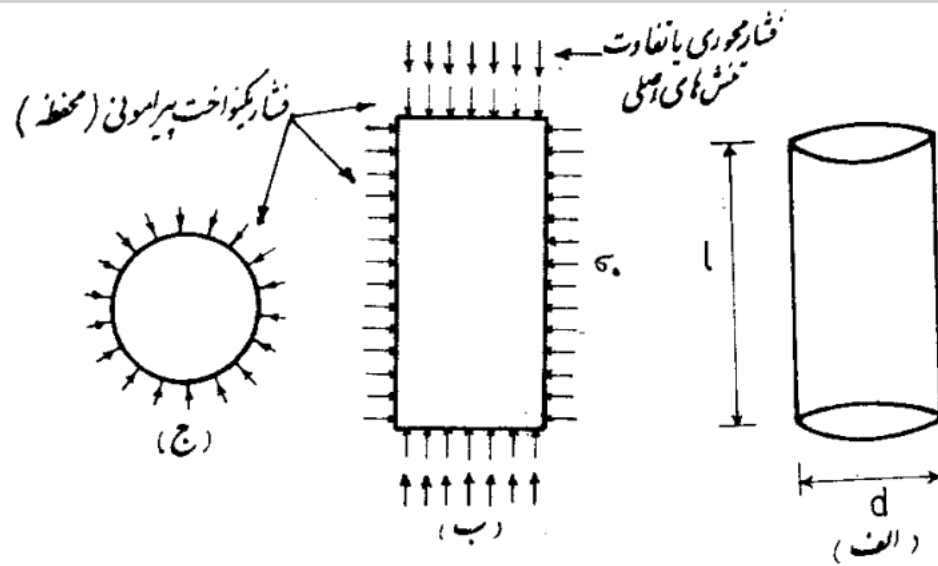


نک محوری

* سه محوری $\left. \begin{matrix} C \\ \phi \end{matrix} \right\} \leftarrow$

* برش مستقیم $\left. \begin{matrix} C \\ \phi \end{matrix} \right\}$

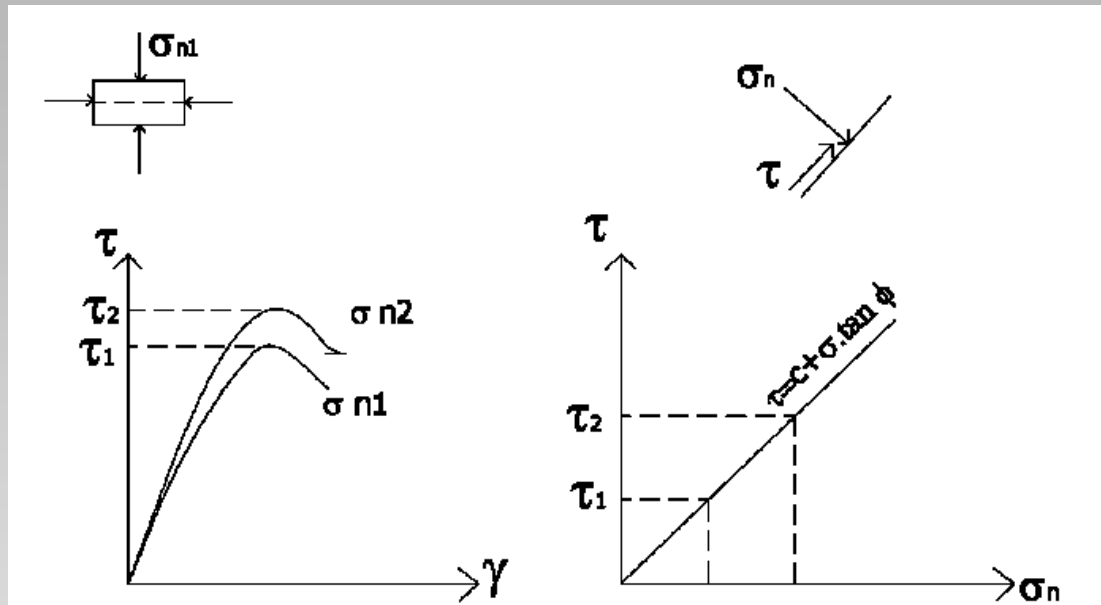
توجه : در آزمایش سه محوری سطح گسیختگی نا مشخص است
تنش در آزمایش سه محوری تنش اصلی است .



سیستم تنش در آزمایش سه محوری

آزمایش برش مستقیم:

بار قائم را ۲۴ تا ۴۸ ساعت قبل از نیروی برشی وارد می کنیم و این بار به جای بار خاک روی نمونه در زمین است.



تحکیم یافته زهکشی شده (CD)

(برش مستقیم با سرعت کند)
برای خاکهای دانه ای و رسهای
عادی تحکیم یافته $C = \theta$ ϕ

تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU)

(برش مستقیم با سرعت تند)

آزمایش برش مستقیم

- ۱) UU (با سرعت زیاد) تند
- ۲) CU با سرعت متوسط
- ۳) cd (با سرعت کم) کند

کنترل بلند مدت با CD است

کنترل فوری با UU است

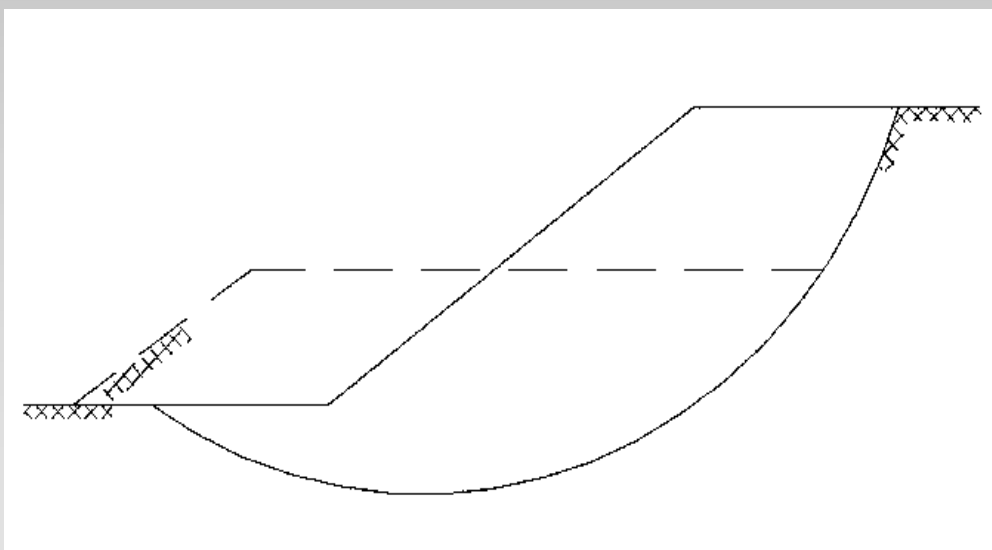
توجه

محاسبات پایداری باید براساس واقعیاتی باشد که در محل اتفاق می افتد .
بطور مثال اگر سدی با ارتفاع زیاد ساخته می شود بر اثر ساختمان سد در
داخل آن فشار حفره ای اضافی بوجود خواهد آمد . برای جلوگیری از زیانی
که ممکن است از این امر بوجود بیاید باید از سرعت خاکریزی کاست تا
فرصتی برای خروج آب و از بین رفتن این فشار اضافی بوجود آید و سرعت
پراکنده شدن فشار اضافی متناسب با سرعت ساختن سد گردد .

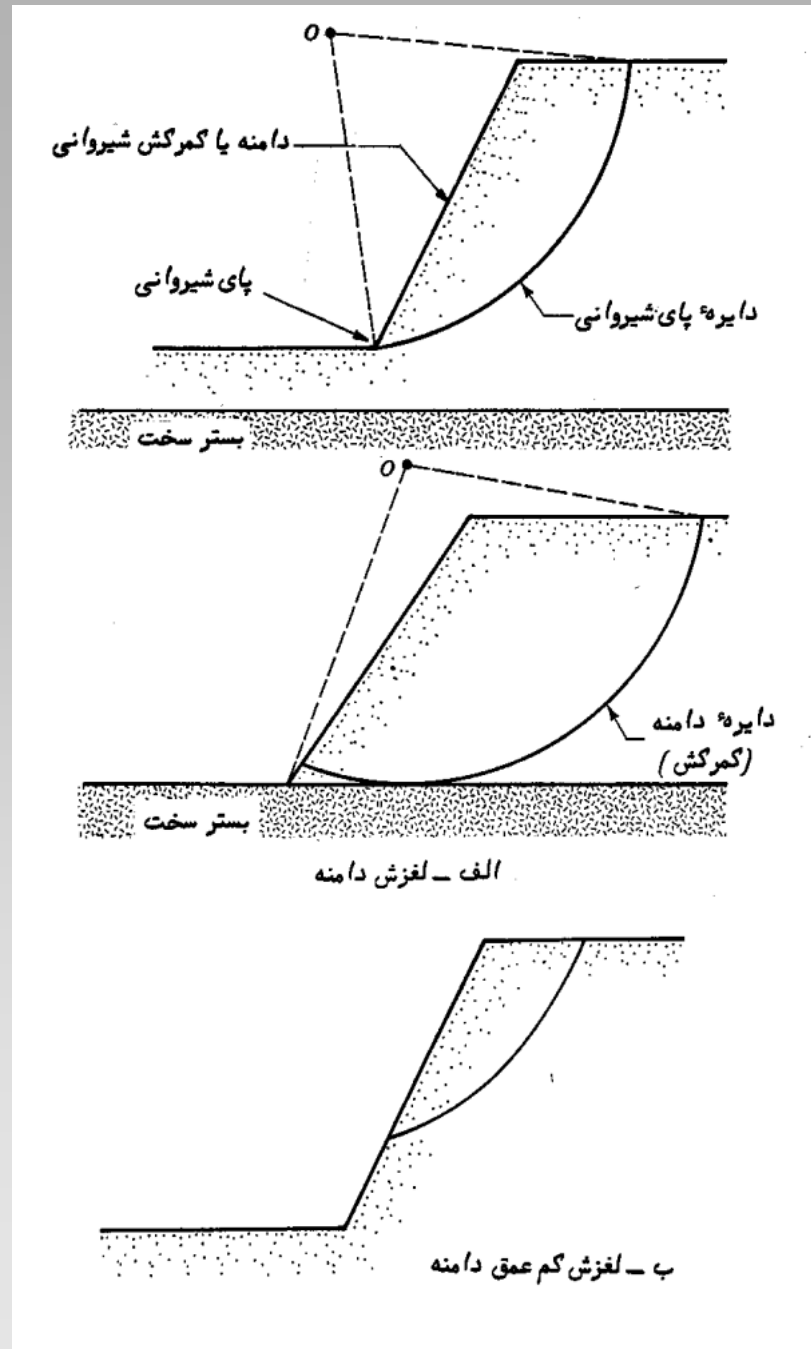
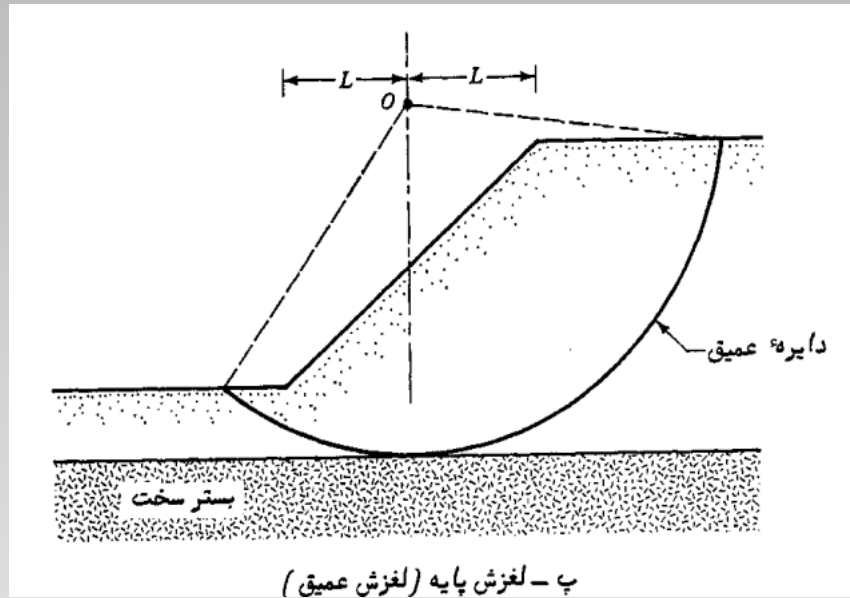


روش محاسبه ضریب اطمینان :

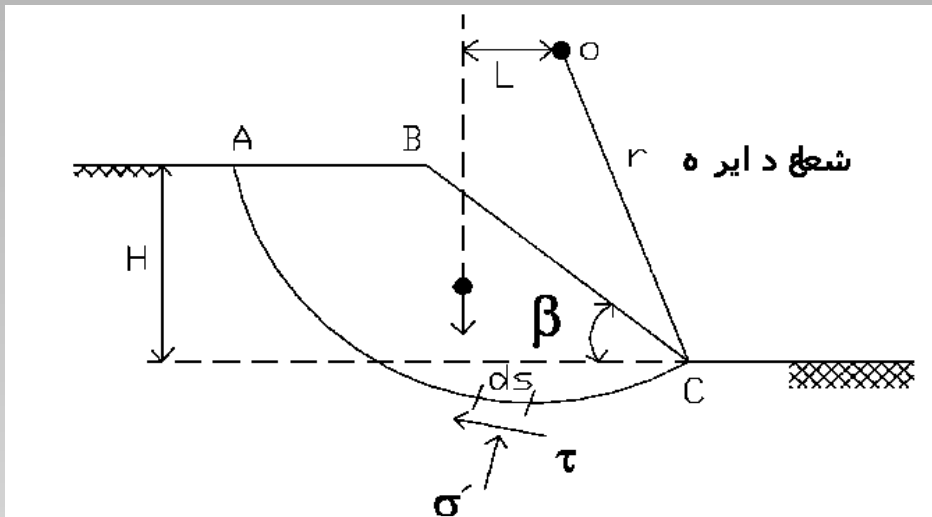
روشهای مختلفی برای محاسبه ضریب اطمینان وجود دارد. بطور کلی روش اصلی شامل استفاده از سطح شکست بصورت قوسی از دایره یا یک قطعه لغزان یا هر دو است.



- همچنین در بعضی از موارد از سطح شکست بصورت مارپیچ و قطعه لغزانی شامل چند قسمت از قوس و یا قوسهای مرکب می توان استفاده کرد. برای استفاده از هر یک از روشهای بیان شده می توان از تنش کلی یا تنش مؤثر استفاده نمود.



در شکل زیر شیروانی به ارتفاع H که با افق زاویه β می سازد در نظر گرفته شده و شرایط تعادل در آن بررسی می گردد .



AMC

ABCMA

۱- وزن W توده خاک

۲- در صورت وجود لغزش توده بر امتداد AMC، تنشهای برشی در طول این خط بوجود می آیند. لذا رابطه زیر برقرار است :

$$Wl = \left(\int_C^A \tau \cdot dS \right) \cdot r$$

$$F = \frac{r \int_C^A \tau_f \cdot ds}{Wl}$$

(باید $F > 1$ باشد)

AMC

$$\tau_f = C + \sigma' \cdot \tan \phi \quad : \quad \sigma'$$

$$(\quad) \sigma'$$

:

$$F = \frac{r \int_C^A (C + \sigma' \cdot \tan \phi) ds}{Wl}$$

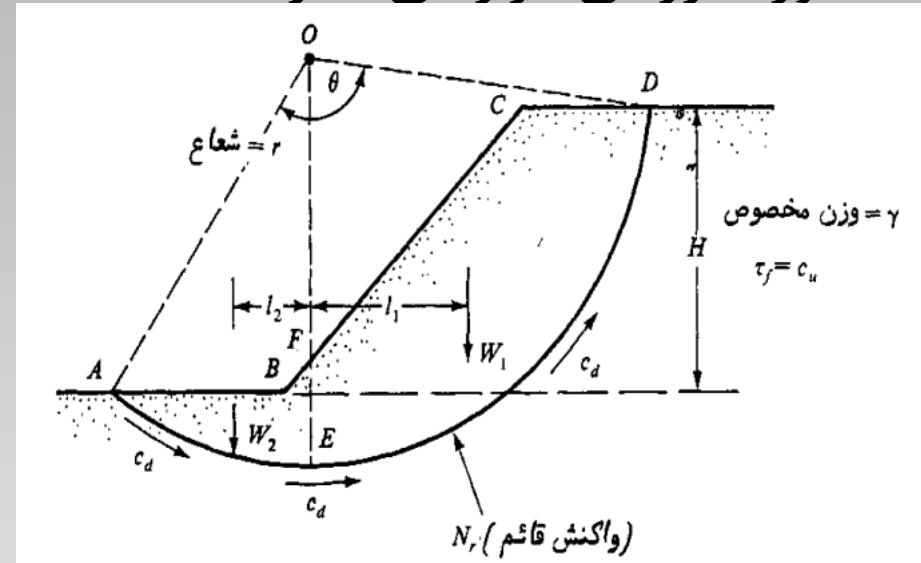
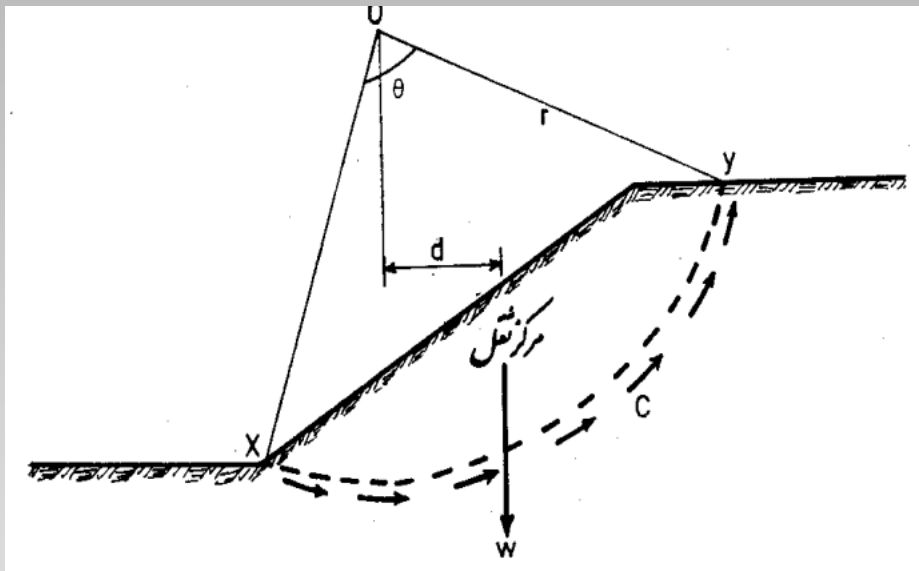
حالات بحرانی در کنترل پایداری شيروانی در سدها

- پایان عملیات ساختمانی یا حالت بینابین
- تراوش پیوسته و دائم یا مرحله پر بودن دریاچه سد
- مرحله افت سریع از حالت پر یا قسمتی از دریاچه سد
- تأثیر زلزله بر روی عملکرد سد

محاسبه پایداری شیبها برای خاکهای چسبنده (حالت $\phi_u = 0$)

- حل مسائل در این روش بر حسب تنش کل می باشد .
یعنی فرض بر این است که خاک صد درصد اشباع بوده و زهکشی نمی شود این حالت بخصوص در رابطه با کانالهای خاکی آبیاری و یا سدهای خاکی که سطح آب بطور ناگهانی فروکش می نماید اتفاق می افتد . زیرا با فروکش کردن ناگهانی سطح آب ، آب داخل خاک فرصت زهکشی ندارد و می توان از روش ساده حالت $\phi_u = 0$ ضریب اطمینان در مقابل لغزش را محاسبه نمود .

این روش برای خاکهای رسی در زمان کوتاهی پس از احداث نیز مورد استفاده قرار می گیرد . سطح شکست در این روش نیز قسمتی از قوس دایره فرض می شود و در محاسبه تعیین ضریب اطمینان تنها تعادل لنگرها مورد بررسی قرار می گیرد .



تحلیل پایداری شیروانی در خاک رسی همگن

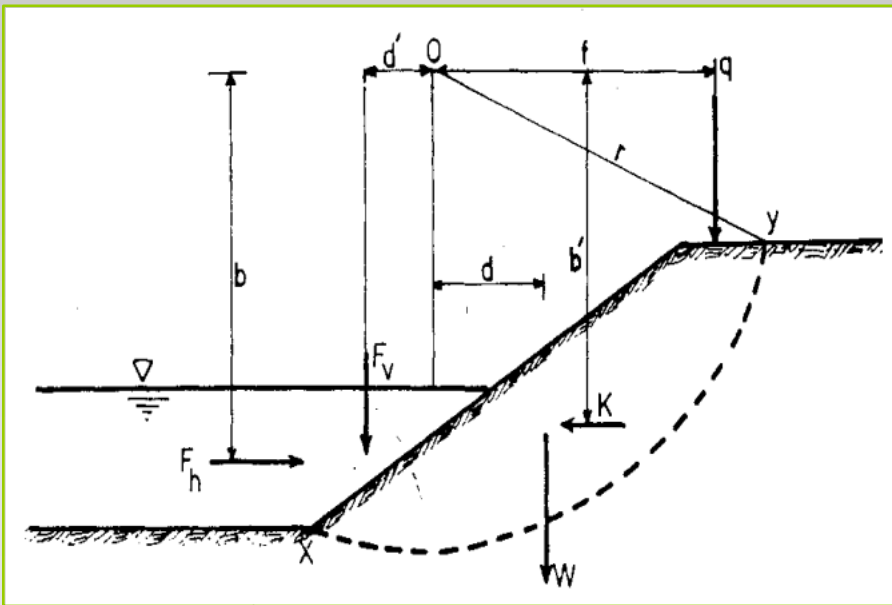
در روش ساده حالت $\phi_u = 0$ ، پس از رسم سطح لغزش ، وزن توده خاک بالای سطح شکست یعنی W محاسبه می گردد . نیروی W از مرکز ثقل توده خاک بالای سطح لغزش عبور می کند .

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{F} = \frac{Cu}{F}$$

اگر فاصله عمودی نیروی W از نقطه O ، مرکز سطح لغزش، برابر d باشد، و طول قوس سطح لغزش، XY ، برابر با L باشد، مقدار گشتاورهای مقاوم و مخرب برابر است با:

$$M_d = W \cdot d \quad \text{گشتاور مخرب}$$

$$M_r = C_u \cdot L_a \cdot r \quad \text{گشتاور مقاوم}$$



در این روابط C ضریب چسبندگی و r شعاع

سطح لغزش می باشد. چنانچه زاویه $\theta = \angle XOY$

بر حسب رادیان باشد طول قوس XY برابر است

با:

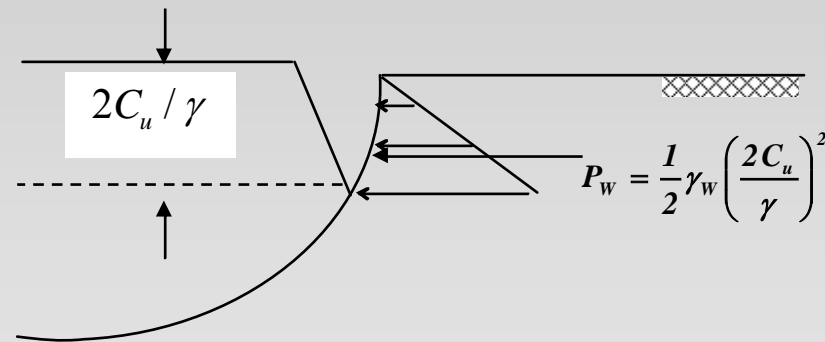
$$L_a = r\theta$$

$$L_a = \text{طول قوس}$$

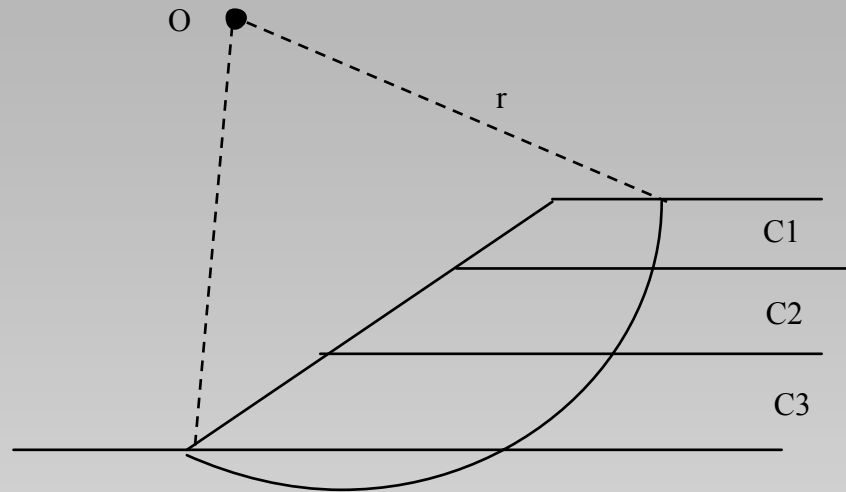
و در نتیجه ضریب اطمینان سطح لغزش برابر است با:

$$F = \frac{M_r}{M_d} = \frac{C_u \cdot Lr}{W \cdot d} = \frac{C_u r^2 \theta}{Wd}$$

لنگر حاصل از نیروهای خارجی نیز در صورت وجود ، باید در نظر گرفته شوند در حالتی که در خاک ترکهای کششی ایجاد شود طول قوس کوتاه می شود و اگر این ترک از آب پر شود نیروهای فشار آب در جهت عمود بر ترک عمل می کنند . در این گونه مسائل باید شیب را برای سطوح مختلف تحلیل کرد و حداقل ضریب اطمینان را بدست آورد .



برای یک خاک لایه لایه می توان C معادل را به صورت زیر محاسبه کرد :



$$C \text{ معادل} = \frac{C_1 l_1 + C_2 l_2 + C_3 l_3}{l}$$
$$C_m = \frac{C \text{ معادل}}{F}$$

چنانچه نیروهای دیگری نیز به سطح شیبدار اعمال شود ، در محاسبات پایداری این نیروها در نظر گرفته می شود . بطور مثال در شکل دو صفحه قبل ، گشتاور نیروهای مخرب نسبت به مرکز سطح لغزش ، نقطه O ، برابر است با :

$$M_d = W_s \cdot d - F_h \cdot b + q \cdot f - F_v \cdot d' + K \cdot b'$$

- در این رابطه W_s وزن توده خاک بالای سطح لغزنده ، F_h مؤلفه افقی نیروی هیدرواستاتیک F_v ، وزن آب که روی سطح لغزش قرار دارد ، q بار خارجی در بالای سطح لغزش و k نیروی حاصل از زلزله می باشد .

- گشتاور مقاوم برابر است با : $M_r = C \cdot L \cdot r$

ضریب اطمینان را می توان از رابطه $F = \frac{M_r}{M_d} = \frac{C_u \cdot Lr}{W \cdot d} = \frac{C_u r^2 \theta}{Wd}$ بدست آورد .

اگر مقاومت برشی خاک τ_f باشد ، با توجه به اینکه :

$$\tau_f = C + \sigma_n \tan \phi$$

که در آن C و ϕ ضرائب مقاومت برشی و σ تنش عمودی می باشد ، مقاومت برشی لازم برای حالت تعادل در سطح شکست برابر است با :

$$\tau_m = \frac{\tau_F}{F} = C_m + \sigma_n \tan \phi_m \quad (4)$$

در این رابطه ضریب اطمینان سطح لغزش ، $C_m = \frac{C}{F}$ و $\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F}$

می باشد. زیر نویس m در روابط بالا به معنی بسیج شده است . در یک شیب که ضریب اطمینانی بیش از یک دارد ، از تمام مقاومت برشی خاک برای حفظ تعادل استفاده نشده است . به کسری از مقاومت برشی که برای حفظ تعادل از آن استفاده شده ، مقاومت برشی بسیج شده τ_m گویند . به پارامترهای مقاومت برشی مربوط به آن نیز پارامترهای مقاومت برشی بسیج شده C_m و ϕ_m گویند .

واضح است که در یک سطح شیبدار پایدار $C_m < C$ و $\phi_m < \phi$ می باشد . در شرایطی که $C_m = C$ و $\phi_m = \phi$ باشد ، ضریب اطمینان برابر با یک است و سطح شیبدار در آستانه گسیختگی می باشد .

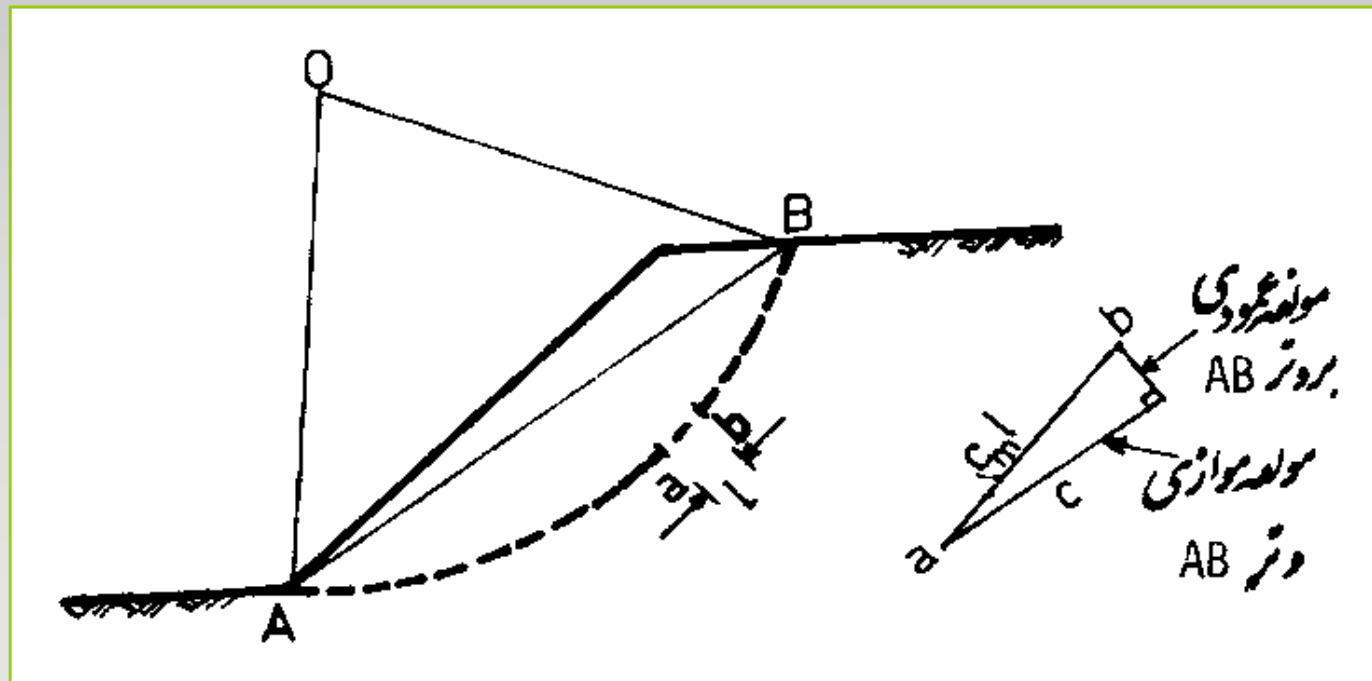
با در نظر گرفتن شکل (۷) نیروهائی که به سطح شکست وارد می شود عبارتند از :

- الف - وزن توده خاک بالای سطح شکست (W)
- ب - مجموعه اجزاء مقاومت برش مربوط به چسبندگی (C_m)
- ج - نیروی عکس العمل خاک و مجموعه اجزاء مقاومت برش مربوط به اصطکاک خاک (Q)

الف - جهت و مقدار نیروی (W) عمود بر سطح تراز است .

ب - جهت و مقدار نیروی C_m

بمنظور تعیین مقدار و جهت نیروی C_m جزء کوچک ab را روی سطح لغزش طوری انتخاب می کنیم که بتوان آنرا بصورت یک خط مستقیم در نظر گرفت (شکل ۸) :



شکل ۸

نیروی چسبندگی روی این المان برابر $C_m l$ می باشد که میتوان آنرا به دو مؤلفه عمود موازی با وتر AB تجزیه کرد . مجموع مؤلفه نیروهای عمود بر وتر AB در طول قوس AB برابر صفر می باشد

(چون این نیروها در طول قوس مختلف علامه می باشند) .
این مطلب بطور ضمنی گویای این نکته است که C_m موازی AB است مجموع مؤلفه های موازی وتر AB در طول قوس AB که همان نیروی C_m باشد ، برابر است با :
$$C_m = \sum C_m l = C_m L_c$$

در این رابطه L_c طول وتر AB می باشد .

برای پیدا کردن مقدار r_C (بازوی نیروی C_m) نسبت به مرکز O گشتاور می گیریم .

$$C_m r_C = r \sum C_m l \quad \text{داریم :}$$

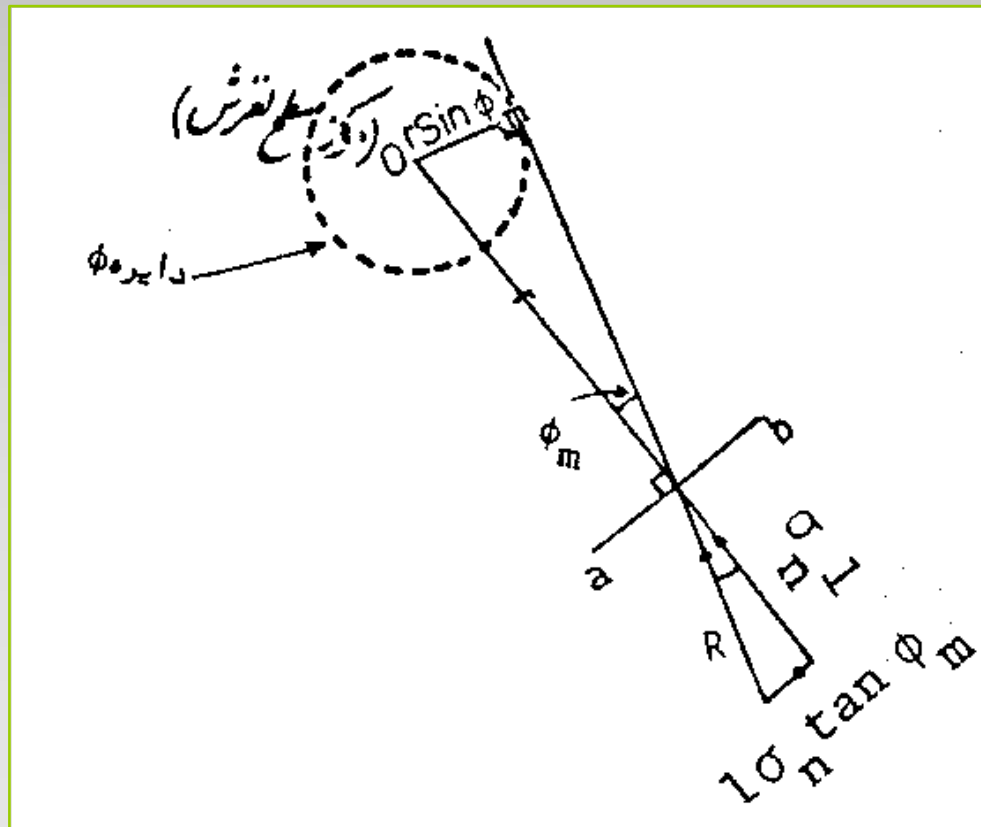
$$C_m L_C r_C = r C_m L_a \quad \text{در نتیجه :}$$

که در آن L_a طول قوس AB است ، بنابراین :

$$r_C = \frac{L_a}{L_C} r$$

ج - جهت و مقدار نیروی Q :

در شکل ۹ ، برآیند نیروهای مربوط به مؤلفه عمودی عکس العمل وزن خاک بالای جزء ab ($\sigma_n l$) و مؤلفه مربوط به قسمت اصطکاک مقاومت برشی جزء ab ، ($\sigma_n \tan \phi_m$) با R نشان داده شده است .



شکل ۹ - جهت و مقدار نیروی R

مطابق این شکل منتهی دو نیروی فوق نیروئی است که جهت آن
بطرف ab و با خط عمود بر ab زاویه ϕ_m می سازد ؛ و مماس بر
دایره ای است به مرکز O و شعاع $r \sin \phi_m$

- این دایره را دایره ϕ می نامند . نیروی R مربوط به یک جزء
 ab است . اگر این نیروها را به صورت یکجا برای وتر AB با
 Q نشان دهیم ، می توان فرض کرد که نیروی Q نیز مماس بر
دایره Q است .

اکنون با داشتن جهت و مقدار نیروها می توان ضریب اطمینان سطح لغزش را محاسبه کرد .

ضریب اطمینان سطح لغزش به صورت زیر تعیین می گردد :

- ۱- وزن خاک بالای سطح لغزش را محاسبه نمائید .
- ۲- یک ضریب اطمینان فرض کنید .
- ۳- $\tan \phi_m$ را از رابطه زیر بدست آورید : $\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F}$
- ۴- دایره ϕ را رسم کنید . این دایره بمرکز O (مرکز سطح لغزش آزمونی) و به شعاع $r \sin \phi_m$ می باشد .
- ۵- خطی به موازات AB و به فاصله r_c از O رسم کنید . این خط امتداد C_m را نشان می دهد .

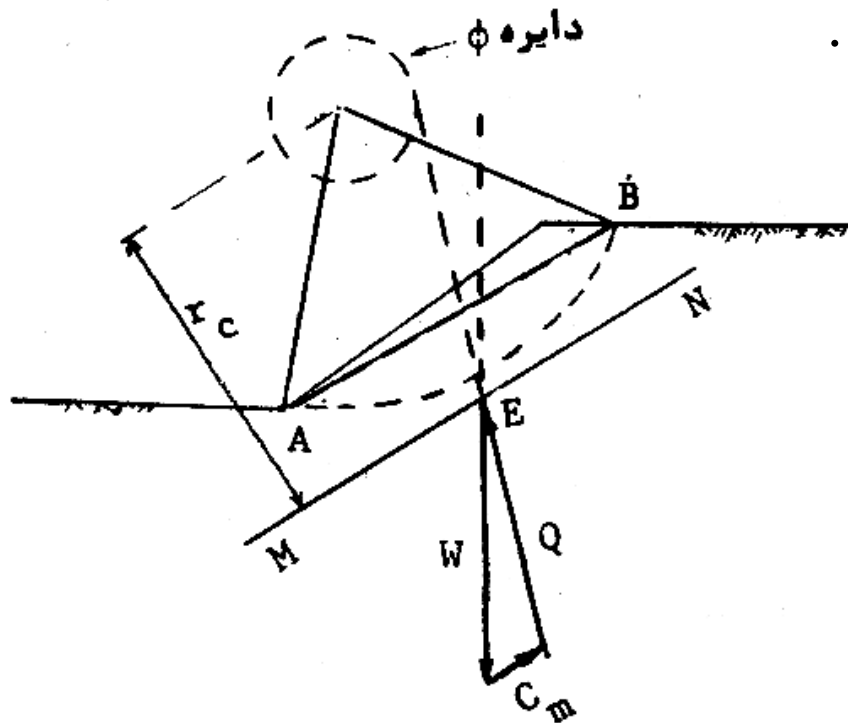
۶- نیروی Q از محل تقاطع امتداد C_m و W عبور نموده و به دایره ϕ مماس است .

۷- با رسم مثلث نیروها ، متشکل از Q ، W و C_m ، مقدار نیروی C_m را حساب کنید .

۸- C_m را از رابطه زیر بدست آورید :

$$C_m = \frac{C_m}{L_C}$$

که L_C برابر با طول وتر AB می باشد .



۹- ضریب اطمینان را از رابطه زیر بدست آورید .

$$F = \frac{C}{C_m} \quad (5)$$

۱۰- چنانچه ضریب اطمینان در مراحل ۳ و ۹ برابر بودند ، ضریب

اطمینان حدس زده صحیح است در غیر اینصورت ، با در نظر

گرفتن F دیگری مراحل ۳ تا ۹ را تکرار کنید.

- برای بدست آوردن ضریب اطمینان واقعی باید سطوح لغزش گوناگونی را در نظر گرفت و ضریب اطمینان هر سطح لغزش را مطابق آنچه که گفته شد تعیین نمود . حداقل ضریب اطمینان بدست آمده ، مربوط به سطحی است که احتمال لغزش آن از همه بیشتر می باشد .

برنامه محاسبه ضریب اطمینان سطح

لغزش بروش دایره ϕ

اجرای برنامه

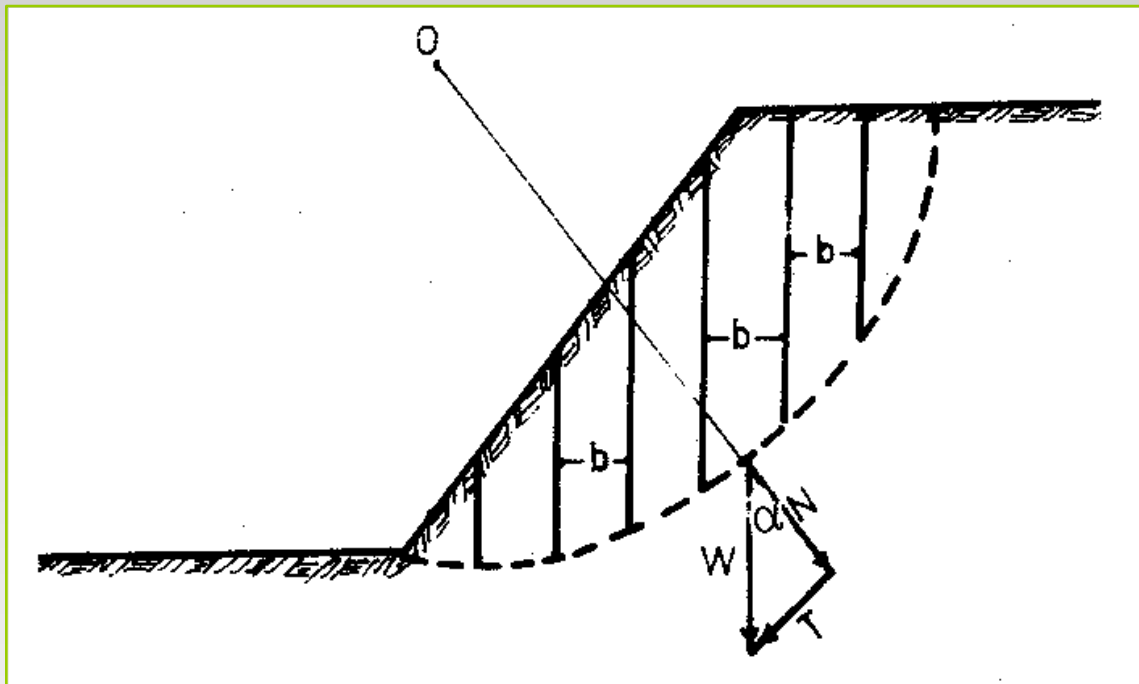
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سدهای خاکی قسمت هفتم

دکتر سعید خرقانی

1383

راه حل فلیوس یا روش سوئدی :



$$N = W \cos \alpha$$

$$T = W \sin \alpha$$

- در این روش برای محاسبه پایداری سطح شیبدار ، ابتدا یک سطح لغزش آزمونی انتخاب و آنرا به قطعاتی به عرض b تقسیم می کنیم
- نیروهایی که به هر قطعه وارد می شوند عبارتند از :
نیروی وزن هر قطعه که به دو مؤلفه N و T تقسیم می شود:

اگر C ضریب چسبندگی و ϕ زاویه اصطکاک داخلی

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad \text{مقاومت برشی خاک:}$$

• و چنانچه طول هر قطعه Δl باشد نیروی مقاومت برشی هر قطعه برابر

$$F_r = c\Delta l + N \tan \phi \quad \text{است با:}$$

- گشتاور آن نسبت به نقطه O برابر است با:

$$M_r = (c\Delta l + N \tan \phi)R$$

-نیروی مخرب هر قطعه همان نیروی T است که گشتاور آن نسبت به نقطه O

$$M_d = R \cdot T$$

برابر است با:

$$F = \frac{M_r}{M_d} = \frac{c\Delta l + N \tan \phi}{T}$$

ضریب اطمینان برای هر قطعه برابر خواهد بود با:

ضریب اطمینان سطح لغزش فوق برابر است با :

$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} = \frac{cL + \sum N(\tan \phi)}{\sum T} \quad (6)$$

$L = \sum \Delta l$ طول قوس سطح لغزش می باشد .

برحسب تنش مؤثر مقدار ضریب اطمینان برابر است با :

$$F = \frac{c'L + \tan \phi' \sum (N - u\Delta l)}{\sum T} \quad (7)$$

که در آن u = فشار منفذی می باشد .

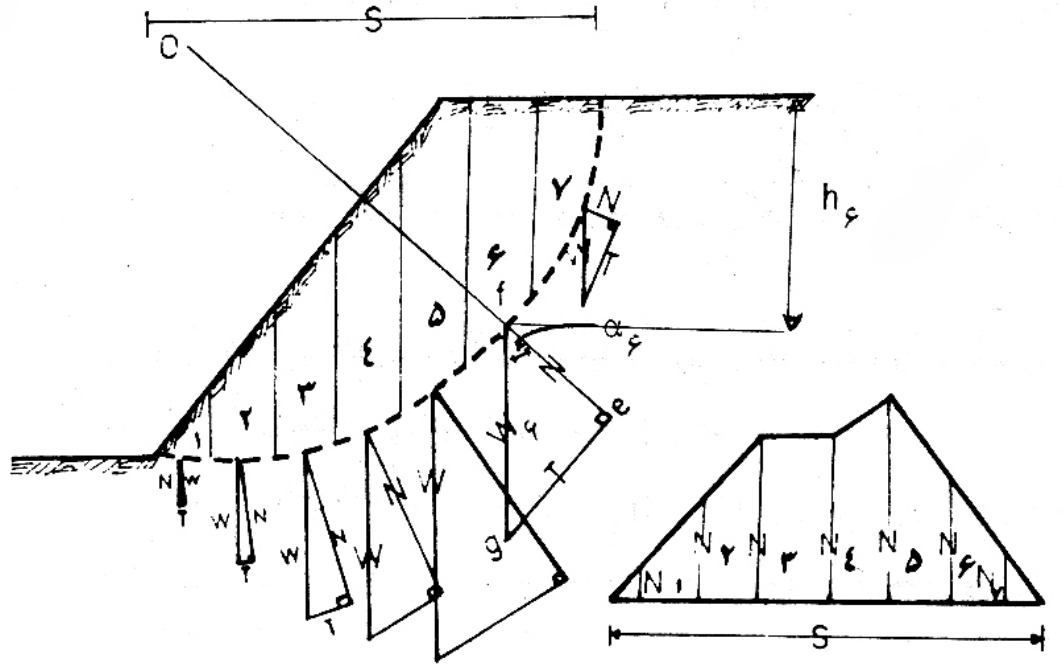
در موارد زیر تجزیه و تحلیل بر اساس تنش مؤثر صورت می گیرد :

- ۱- موقعی که فشار منفذی دستخوش تغییر است . نظیر شرایط حاضر شیروانی سدها و مخازن آبی که قبلاً ساخته شده اند .
- ۲- تخمین پایداری دراز مدت شیب ها
- ۳- در مورد رسهای بیش تحکیم یافته برای بررسی پایداری شیب ها هم در کوتاه مدت و هم در دراز مدت

پس از پیدا کردن ضریب اطمینان از رابطه (۶) یا (۷) ، یک سطح لغزش دیگر انتخاب و محاسبات را تکرار کرده تا ضریب اطمینان آن سطح نیز پیدا شود . بهمین ترتیب چندین سطح آزمون اختیار نموده و ضریب اطمینان هر کدام از سطوح را محاسبه می کنیم . کوچکترین ضریب اطمینان بدست آمده ، مربوط است به سطح لغزشی ، که احتمال وقوع شکست آن از همه بیشتر می باشد .

برای بدست آوردن مقدار F ، با توجه به رابطه (۶) نیاز به داشتن مقادیر $\sum T$ و $\sum N$ می باشد که می توان به یکی از سه روش زیر ، آنها را تعیین کرد

الف - ابتدا مثلث نیروهای W و N و T را به طریق زیر رسم می کنیم ، به عنوان مثال رسم مثلث نیروها برای قطعه شماره ۶ : از وسط کف قطعه (نقطه f) خطی به اندازه h (ارتفاع متوسط آن قطعه) رسم می کنیم . این خط متناسب با وزن قطعه ۶ ، W_6 ، خواهد بود . سپس خط of را امتداد داده و از انتهای خط W_6



(نقطه g) خطی عمود بر خط of رسم می کنیم . خطوط ge و fe به ترتیب نشان دهنده مقدار نیروی T و N در قطعه ۶ می باشد . برای سایر قطعات نیز به همین ترتیب عمل می شود .

پس از رسم مثلث نیروها و مشخص شدن N برای هر قطعه ، یک خط افقی بطول S رسم کرده و مقدار N مربوط به هر قطعه را عمود بر آن و به فاصله b از یکدیگر رسم می کنیم ، چنانچه از بالای خطوط فوق یک منحنی بگذرانیم و سطح منحنی حاصل را با پلانیمتر اندازه بگیریم ، مقدار $\sum N$

بدست خواهد آمد زیرا در حقیقت ، سطح زیر منحنی برابر است با :

$$A = \frac{1}{2}bN_1 + \frac{N_1 + N_2}{2}b + \frac{N_2 + N_3}{2}b + \dots + \frac{N_3 + N_7}{2}b + \frac{N_7}{2}b$$

که می توان به صورت زیر نوشت : $A = b(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_7)$

با توجه به اینکه N_1 و N_2 و ... و N_7 برابر است با: $(N_2 = h_2 \cos \alpha_2 \quad N_1 = h_1 \cos \alpha_1 \text{ و } \dots)$

$$A \gamma = (bh_1 \cos \alpha_1 + bh_2 \cos \alpha_2 + \dots + bh_7 \cos \alpha_7) \gamma \quad \text{بنابراین:}$$

$$A \gamma = W_1 \cos \alpha_1 + W_2 \cos \alpha_2 + W_3 \cos \alpha_3 + \dots + W_7 \cos \alpha_7 = \sum N$$

مقدار $\sum T$ را نیز ، نظیر آنچه که برای تعیین $\sum N$ گفته شد ، می توان به دست آورد .

ب- راه حل دیگری ک توسط آلام سیک پیشنهاد شده و به نام روش رسم مستطیل نامیده می شود، به شرح زیر است :

h_1 h_2 ... h_n و عرض قطعات b و عرض آخرین قطعه mb باشد ، که در آن صورت مجموع وزن قطعات (که همان وزن توده خاک بالای سطح شکست می باشد) ، برابر خواهد بود با :

$$\sum W = \left(bh_1 + bh_2 + \dots + \frac{1+m}{2}bh_n \right) \gamma$$

و یا :

$$\sum W = b \left(h_1 + h_2 + \dots + \frac{1+m}{2}h_n \right) \gamma$$

از طرفی می توان نوشت :

$$\sum N = \sum W \cos \alpha = b \left(h_1 \cos \alpha_1 + h_2 \cos \alpha_2 + \dots + \frac{1+m}{2}h_n \cos \alpha_n \right) \gamma$$

بنابراین اگر مثلث N و T و W را به همان ترتیب که در قسمت الف گفته شد، رسم کنیم و مقادیر

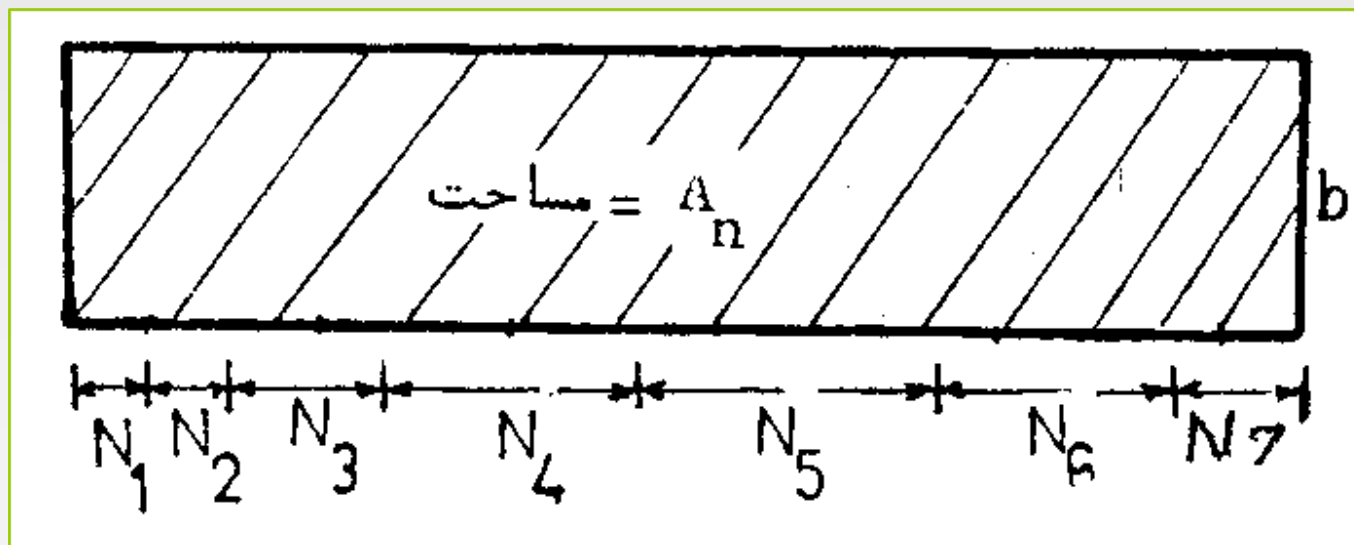
N_1 N_2 ... N_n بگیریم می توان نوشت :
 $h_1 \cos \alpha_1$ $h_2 \cos \alpha_2$ و ... می باشند اندازه

$$A_n = b \left(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + \frac{1+m}{2} N_n \right) \quad (8)$$

رابطه (8) مساحت مستطیلی است که عرض آن b و طول آن مجموع N_1 N_2

و ... می باشد. برای T ها هم می توان ثابت کرد که :

$$A_t = b \left(T_1 + T_2 + \dots + \frac{1+m}{2} T_n \right) \quad (9)$$



برای محاسبه $\sum T$ کافی است مستطیلی رسم کنیم که طول آن مجموع T_1 و T_2

و ... و عرض آن b باشد. در رسم این مستطیل جهت نیروی T باید در نظر گرفته شود.

چنانچه سطح قطعه به n قسمت تقسیم شود. تعداد $(n-1)$ اگر A_n

γ وزن واحد حجم خاک بر حسب KN / m^3 باشد و مستطیل با مقیاس X متر $I^{Cm} = X$

رسم شده باشد، در آن صورت سطح مستطیل بر حسب متر مربع برابر خواهد بود با $A_n X^2$

و از طرفی چون محاسبات در ازاء واحد طول که در جهت عمود بر صفحه کاغذ است، صورت می گیرد می توان نوشت:

$$\sum N = A_n X^2 \gamma \quad KN \quad (10)$$

برای $\sum T$ هم می توان نوشت:

$$\sum T = A_t X^2 \gamma \quad (11)$$

A_t = مساحت مستطیل T

ج - یکی دیگر از روشهای محاسبه مقادیر N_1 ، N_2 ، ...، و N_n و T_1 ، T_2 ، ...، و T_n استفاده از زاویه α می باشد محاسبات را می توان در جدولی نظیر جدول خلاصه کرد. در این حالت زاویه α ، ارتفاع متوسط هر قطعه (h) و عرض هر قطعه (b) باید اندازه گیری شود

N	T	W	
$b_1 h_1 \gamma \cos \alpha_1$ $b_2 h_2 \gamma \cos \alpha_2$ $b_3 h_3 \gamma \cos \alpha_3$	$b_1 h_1 \gamma \sin \alpha_1$ $b_2 h_2 \gamma \sin \alpha_2$ $b_3 h_3 \gamma \sin \alpha_3$	$b_1 h_1 \gamma$ $b_2 h_2 \gamma$ $b_3 h_3 \gamma$	
$b_n h_n \gamma \cos \alpha_n$	$b_n h_n \gamma \sin \alpha_n$	$b_n h_n \gamma$	N
$\sum W \cos \alpha$	$\sum W \sin \alpha$		

$$\sum W \sin \alpha$$

$$\sum W \cos \alpha$$

در نتیجه رابطه (۶) را می توان بصورت رابطه (۱۲) نوشت :

$$F = \frac{cL + \tan \phi (\sum W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \quad (12)$$

و بر حسب تنش مؤثر :

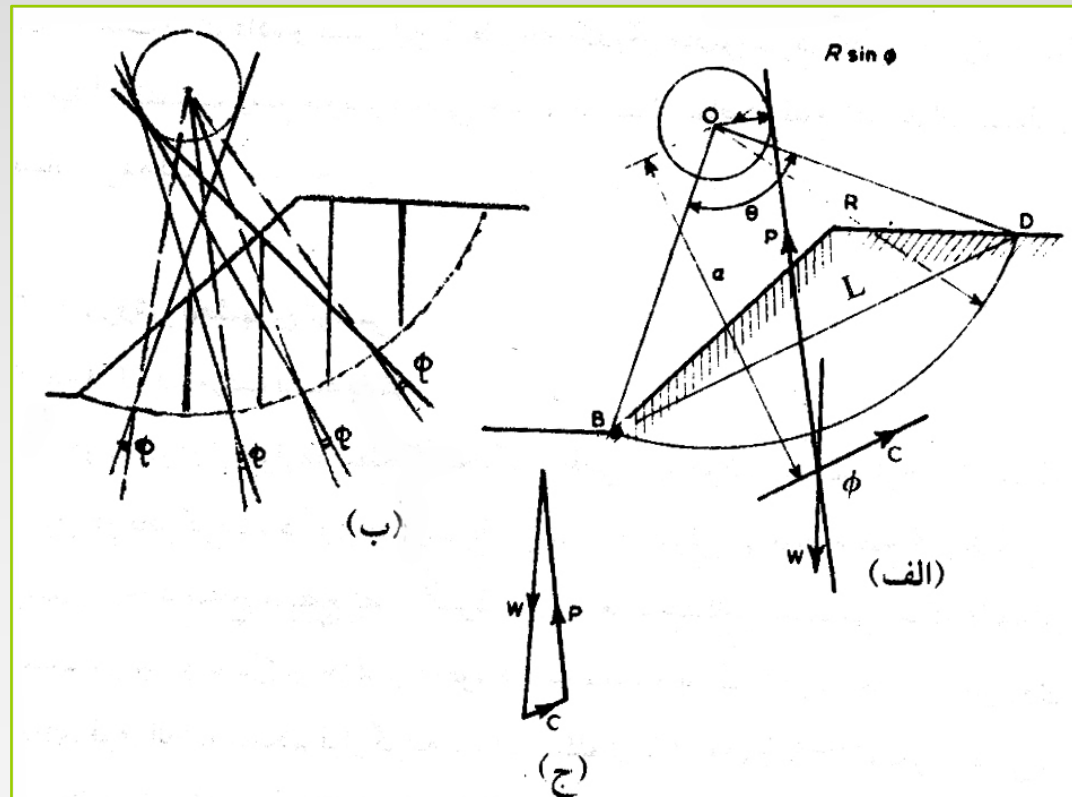
$$F = \frac{c'L + \tan \phi' (\sum W \cos \alpha - u\Delta 1)}{\sum W \sin \alpha} \quad (13)$$

برنامه محاسبه ضریب اطمینان شيروانی به روش فلنیوس

اجرای برنامه

روش تیلور

این روش که ابتدا توسط تیلور پیشنهاد شده است مبتنی بر این تصور است که نیروی
منتجه P که بر سطح لغزش به صورت مقاومت اصطکاکی در برابر لغزش عمل می کند بر
امتدادی قرار دارد که آن امتداد مماس بر دایره های به شعاع $R \sin \phi$
به مرکز O می باشد (شکل ۱۱ - الف) .



شکل ۱۱

بخش لغزنده را مانند روش باریکه های قائم ، به تعدادی قطعات تقسیم کنیم . با توجه به اینکه مقاومت اصطکاکی خاک در برابر لغزش به اندازه زاویه ϕ از راستای عمود بر سطح انحراف دارد ، امتداد این عکس العمل هاست که بر دایره ای به شعاع $R \sin \phi$ مماس می باشد (شکل ۱۱ - ب) . چون در روش تیلر برای کل لغزش دو نیروی منتهجه P و C در نظر گرفته می شود مسأله در اینجا یافتن مکان نقطه اثر این دو می باشد

با توجه به مشخصات موجود در شکل ، (L طول قوس BD و L' طول وتر BD است) گشت آور نیروی چسبندگی در امتداد قوس لغزش برابر c.L.R است که چنانچه فرض شود نیروهای چسبندگی در امتداد وتر BD عمل می کنند در این صورت مقدار کل نیروهای چسبندگی معادل CL'

a

$$C = c.L'$$

$$:$$

$$c.L.R$$

$$c.L.R = cL'_a$$

$$a = \frac{L.R}{L'} = \frac{R\theta}{2 \sin(\theta/2)}$$

حال اگر به فاصله a از مرکز دایره ، نیروی C را به موازات وتر BD رسم کنیم محل برخورد امتداد نیروی ثقل بخش لغزنده با امتداد C نقطه ای است (مانند Q) که نیروی P از آن خواهد گذشت و در این صورت مثلث نیروها (شکل ۱۱ - ج)
حالت تعادل خواهد داشت .

نکاتی که در کاربرد این روش باید مورد توجه باشد :

۱- از مفروضات در این تحلیل این است که چسبندگی C در عمق ثابت است و تنشهای منظور شده در محاسبات تنشهای کلی هستند .

۲- ضریب اطمینان نسبت بین چسبندگی نهایی موجود به چسبندگی مورد نیاز برای تعادل در نظر گرفته شده است .

$R \cdot \sin \phi$ می باشد کاملاً صحیح نیست . P

۴- برای اینکه اثر فشار آب منفذی در نظر گرفته شود ، باید نموداری رسم گردد تا فشار آب منفذی را وارد بر سطح لغزش نشان دهد . آنگاه سطح لغزش را به تعدادی قطعات تقسیم کرده و پس از محاسبه نیروی وارد بر هر سطح ، نتیجه آنها ، U ، تعیین می گردد . این نتیجه باید از O بگذرد . این نتیجه با نیروی وزن W و عکس العمل P ترکیب می شود تا نیروی C به دست آید .

۵- با فرض مقداری برای ضریب اطمینان مثلاً F_ϕ ، زاویه ϕ_m

مشخص شده و مسأله حل می شود . آنگاه نسبت $F_c = c.L' / C$

به دست می آید . اگر دو مقدار F_ϕ و F_c مساوی نشد ، مقادیر دیگری از

ضریب اطمینان آزمایش می شود تا مقادیر F_ϕ و F_c با تقریب قابل قبول

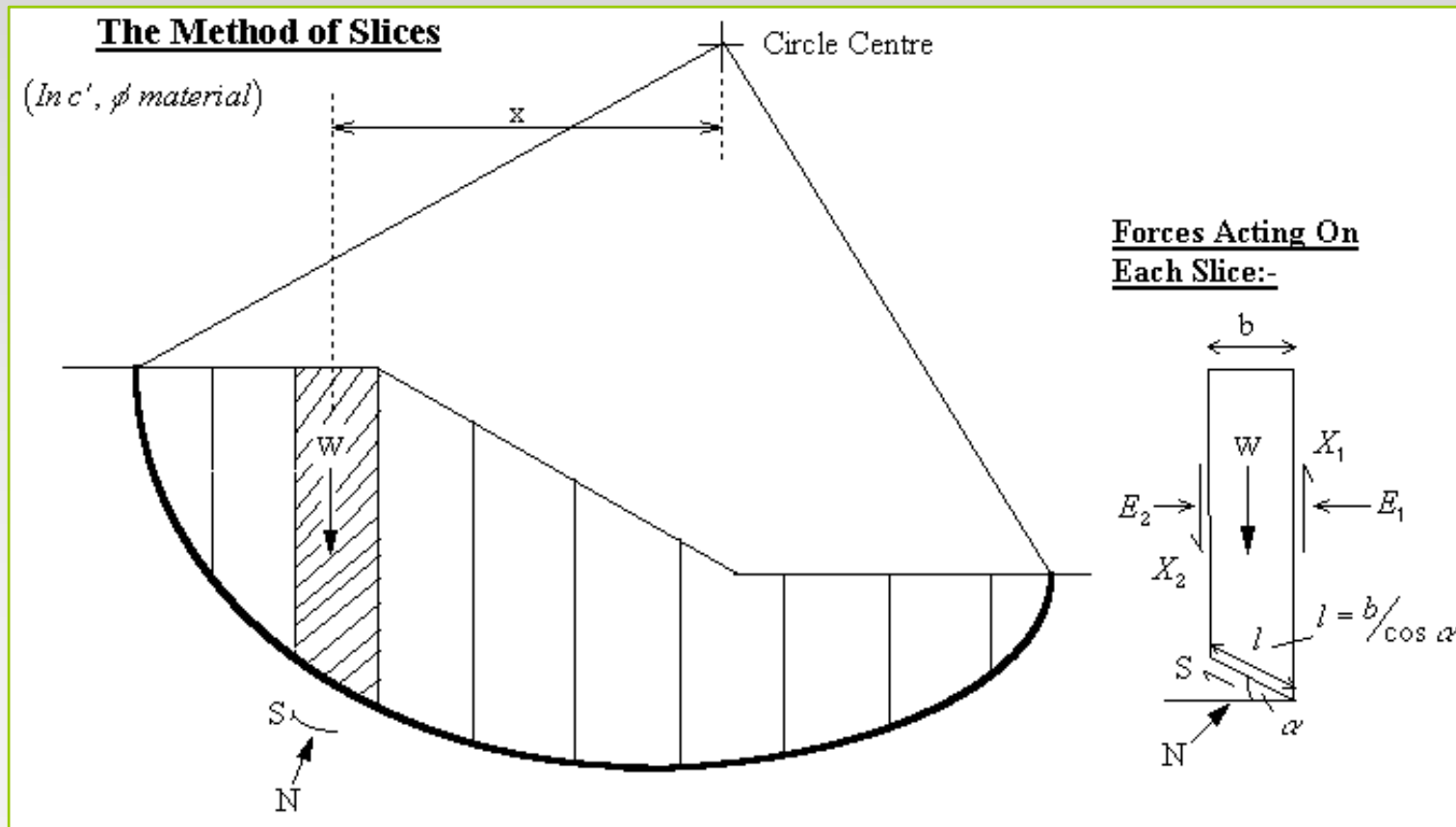
مساوی گردند .

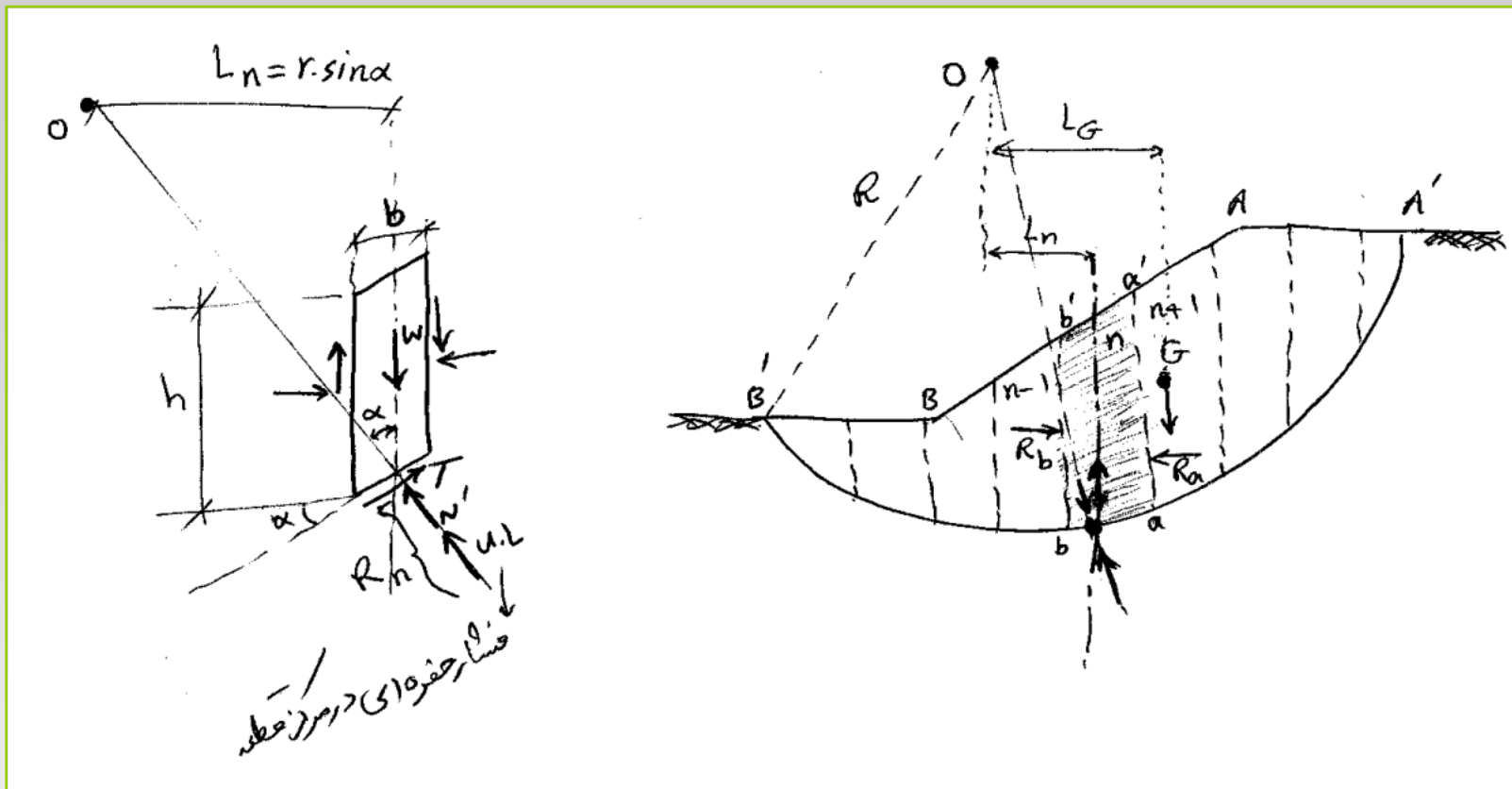
برنامه کنترل پایداری شيروانی و محاسبه ضريب اطمینان بروش تیلور

اجرای برنامه

روش برشها در تحلیل شیب :

در این روش دایره گسیختگی به قطعات مختلفی تقسیم می شود :





یکی از این برش هاست و P_n $aba'b'$

$$R_n = N' + u.L$$

$$P_n = \gamma.b.h$$

$$T = L_m.L:$$

$$(T_b, R_b, T_a, R_a)$$

گشتاور نیروهای فوق باید نسبت به نقطه O محاسبه گردند. این مسئله هیپراستاتیک است

و برای حل آن باید فرضیاتی در مورد روابط نیروهای T_i R_i

O $A'B'$ τ
 $r.\sin\alpha$ P $ABA'B'$

$$\tau = \tau_m.L = \frac{\tau_f}{F}.L \qquad \tau_r = \sum W.r.\sin\alpha \quad (P \quad W) :$$

$$\sum \frac{\tau_f}{F}.L = \sum W.\sin\alpha$$

$$F = \frac{\sum \tau_f.L}{\sum W.\sin\alpha}$$

$$F = \frac{\sum (c' + \sigma'.\tan\phi').L}{\sum W.\sin\alpha} \quad :$$

$$F = \frac{c'.L_a + \tan\phi'.\sum N'}{\sum W.\sin\alpha} \quad (*)$$

T_i R_i N' AC L_a
 \cdot N' F \cdot

روش بیشاپ :

$$T_a = T_b = 0 :$$

و برای تعادل ، نیروی برشی در کف هر قطعه برابر است با : $T = \frac{1}{F}(c'.L + N'.\tan \phi')$

لذا منتج نیروها در جهت عمودی عبارت است از :

$$W = N'.\cos \alpha + uL.\cos \alpha + \frac{\sigma'.L}{F}\sin \alpha + \frac{N'}{F}\tan \phi'.\sin \alpha$$

$$N' = \frac{W - \frac{c'.L}{F}\sin \alpha - u.L.\cos \alpha}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi'.\sin \alpha}{F}}$$

:

(*)

$$L = b \cdot \sec \alpha$$

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \left[\frac{\{c' \cdot b + (w - u \cdot b) \tan \phi'\}}{1 + \frac{\sec \alpha \cdot \tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F}} \right]$$

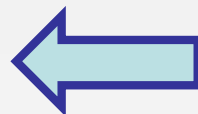
$$r_u = \frac{u}{\gamma \cdot h}$$

$$r_u = \frac{u}{\frac{w}{b}} :$$

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \left[\frac{\{c' \cdot b + w(1 - r_u) \tan \phi'\}}{1 + \frac{\sec \alpha \cdot \tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F}} \right] :$$

:

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \frac{c' \cdot b + w(1 - r_u) \cdot \tan \phi'}{m_\alpha}$$



$$m_\alpha = \left(1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F} \right) \cdot \cos \alpha$$

m_α

m_α

F

$F \quad m_\alpha$

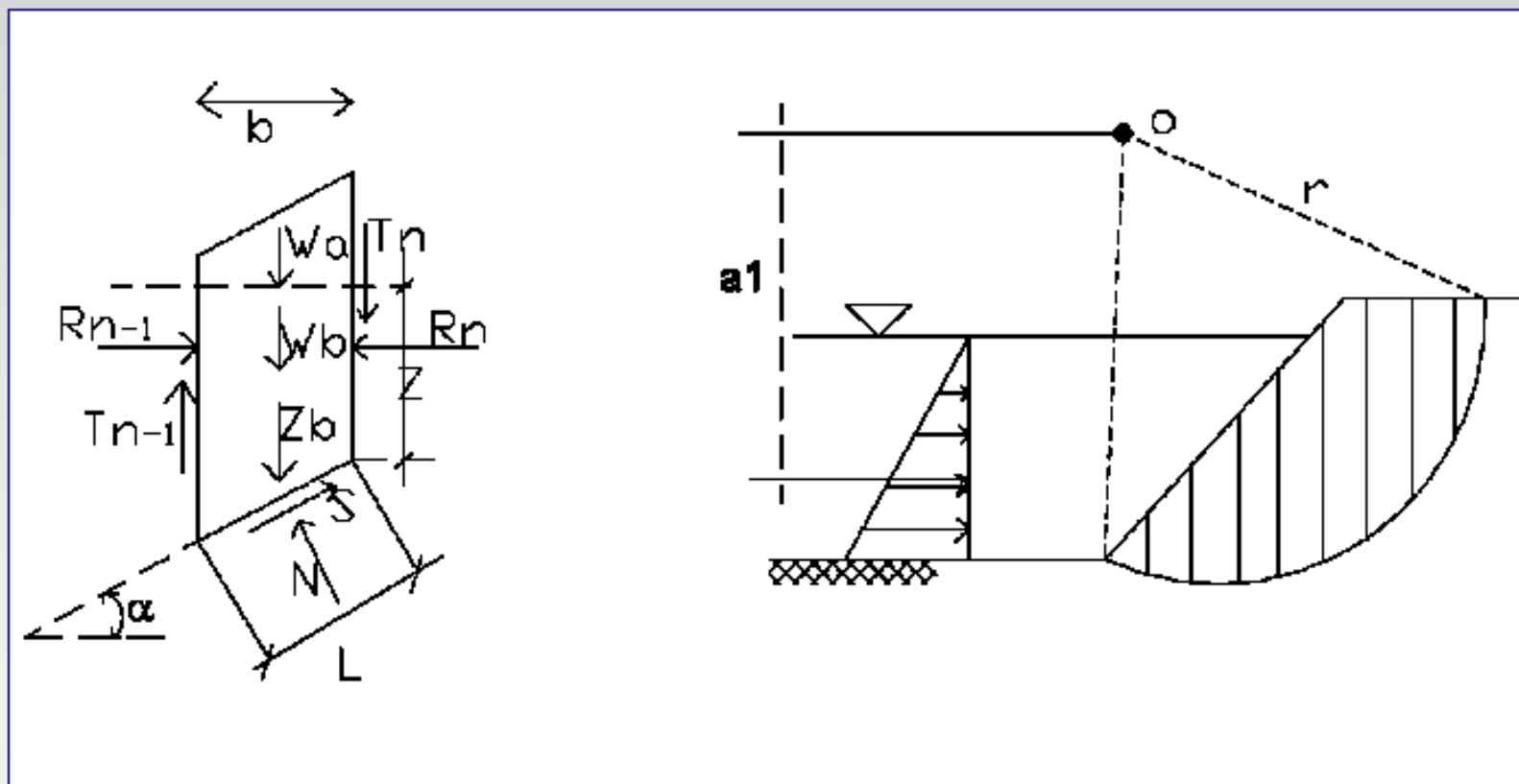
$F = F_1$

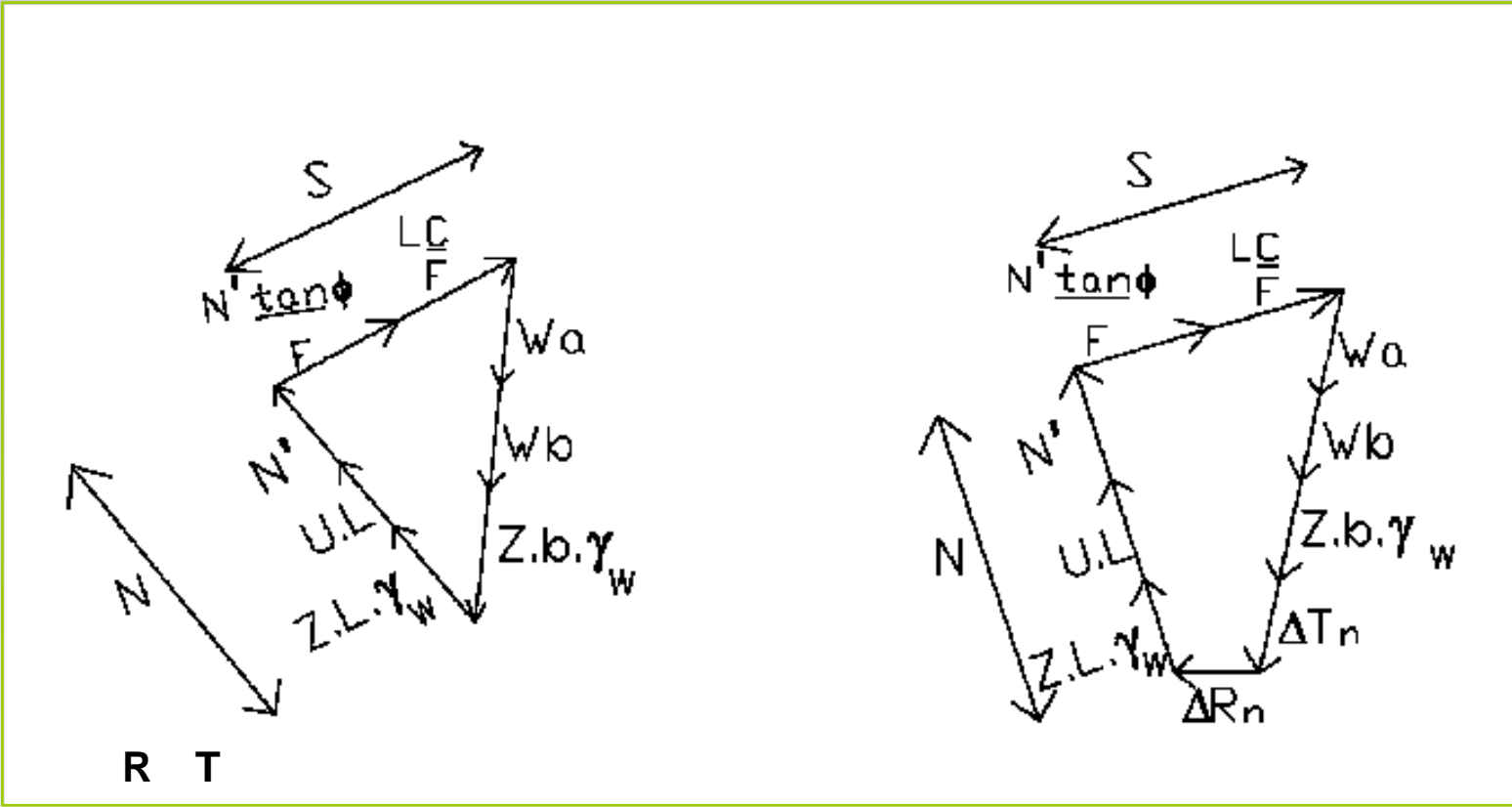
(.

)

حالت توقف آب در مقابل شیب :

در این حالت پلیگون نیروها به دو حالت و جدول نیروها به صورت شکل زیر بیان می شوند :





R T

F : N' : uL
 F : m_α : $ZL\gamma_w$

$$F = \frac{\sum \frac{c \cdot b + (w_a + w_b - ub) \cdot \tan \phi}{m_\alpha}}{\sum (w_a + w_b) \sin \alpha} \quad (R \quad T)$$

$$F \cdot m_\alpha \quad (F)$$

: R T

$$F = \frac{\sum \{c' + b[w(1 - r_u) + \Delta T] \tan \phi'\} / m_\alpha}{\sum w \cdot \sin \alpha}$$

(u) r_u

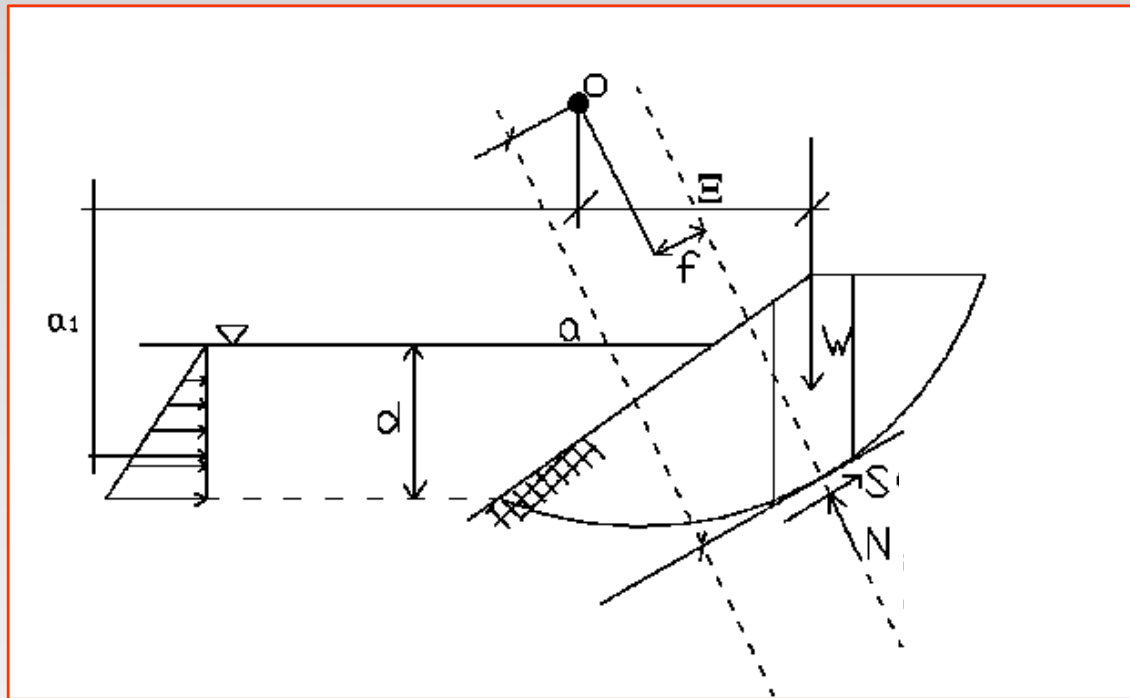
$$\sum \Delta R = 0 \quad \sum \Delta T = 0 \quad :$$

برنامه محاسبه ضریب اطمینان سطح لفرش در کنترل پایداری شیب

بروش پیشاپ

اجرای برنامه

روش سطح غیر مشخص لغزش در کنترل پایداری شیب ها :



$$\sum Wx = \sum (s.a + N.f) + \frac{1}{2} \gamma_w \cdot d^2 \cdot a_1$$

$$\tau = \frac{\tau_f}{F} = \frac{1}{F} (c' + p' \cdot \tan \phi') = \frac{1}{F} \left[c' + \left(\frac{N}{L} - \gamma_w Z - u \right) \tan \phi' \right]$$

$$S = \tau \cdot L = \frac{1}{F} [c'L + (N - ZL\gamma_w - uL) \tan \phi']$$

$$S = \frac{1}{F} (c'L + N' \cdot \tan \phi')$$

$$\sum (W_a + W_b + Zb\gamma_w)X = \frac{1}{F} \sum (c'L + N' \cdot \tan \phi')a + \sum Nf + \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_1$$

$$F = \frac{\sum (c'L + N' \cdot \tan \phi') \cdot a}{\sum (W_a + W_b + Z \cdot b \cdot \gamma_w) \cdot X - \sum N \cdot f - \frac{1}{2} \gamma_w \cdot d^2 \cdot a_1}$$

$$\sum Zb\gamma_w X - \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_1 = \sum ZL\gamma_w f = \sum (N - N_1)f \quad :$$

$$N_1 = N - ZL\gamma_w$$

N

N_1^*

(

)

N'^*

$$F = \frac{\sum (c'L + N' \tan \phi') a}{\sum (W_a + W_b) X - \sum N_1 f} \quad :$$

$$N_1 \quad N'$$

$$F$$

$$W_a + W_b + \Delta T_n + Zb\gamma_w = Zl\gamma_w \cdot \cos \alpha + (N' + uL)\cos \alpha + \frac{1}{F}(c'L + N' \cdot \tan \phi')\sin \alpha$$

$$m_\alpha = \left(1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F} \right) \cos \alpha$$

$$N' = \frac{W_a + W_b + \Delta T_n - ub - \left(\frac{c'}{F} \right) \cdot b \cdot \tan \alpha}{m_\alpha} \quad :$$

$$= N' *$$

$$= uL$$

$$= L$$

$$N_1 = N' + uL = \frac{W_a + W_b + \Delta T_n + \frac{1}{F} (u.b. \tan \phi - c'b) \tan \alpha}{m_\alpha} \quad ()$$

$$F = \frac{\sum [c'b + (W_a + W_b + \Delta T_n - ub) \tan \phi] (a / m_\alpha)}{\sum (W_a + W_b) X - \sum \left[W_a + W_b + \Delta T_n + (u.b. \tan \phi' - c'b) \frac{\tan \alpha}{F} \right] (f / m_\alpha)} \quad ()$$

f : فاصله نیروی N تا کانون

این معادله با تقریبهای پیاپی حل می شود زیرا F بدست آمده را در رابطه (2)

قرار می دهیم. از رابطه $N', N_1(2)$ محاسبه می شود. سپس از رابطه F m_α

محاسبه می شود و در رابطه (1) قرار می دهیم و ...

روش تیلور اصلاح شده :

این روش بعنوان یک روش عملی برای بررسی پایداری با در نظر گرفتن نیروهای بین قطعه ای توسط تیلور ابداع شده است . روش محاسبه نسبتاً ساده بوده و مسئله با فرضیات زیر از نظر استاتیکی معین می باشد .

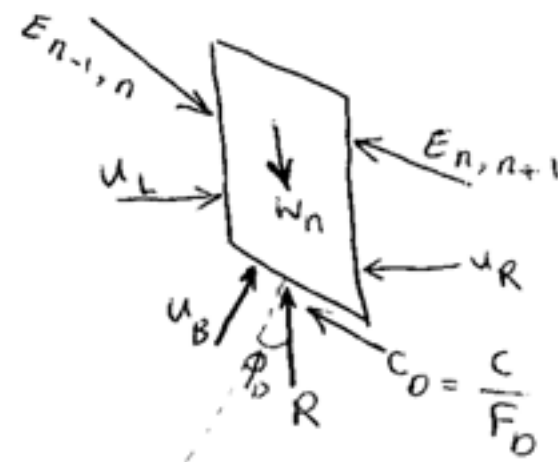
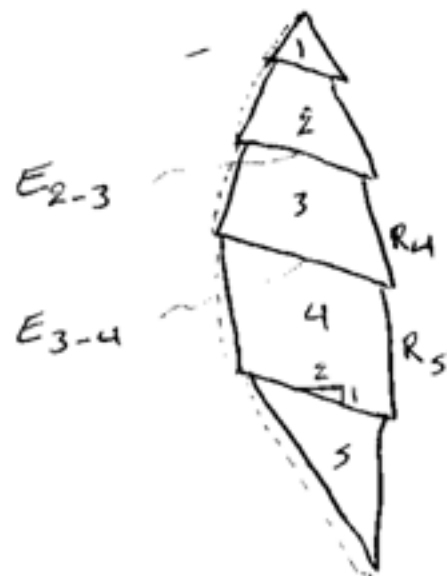
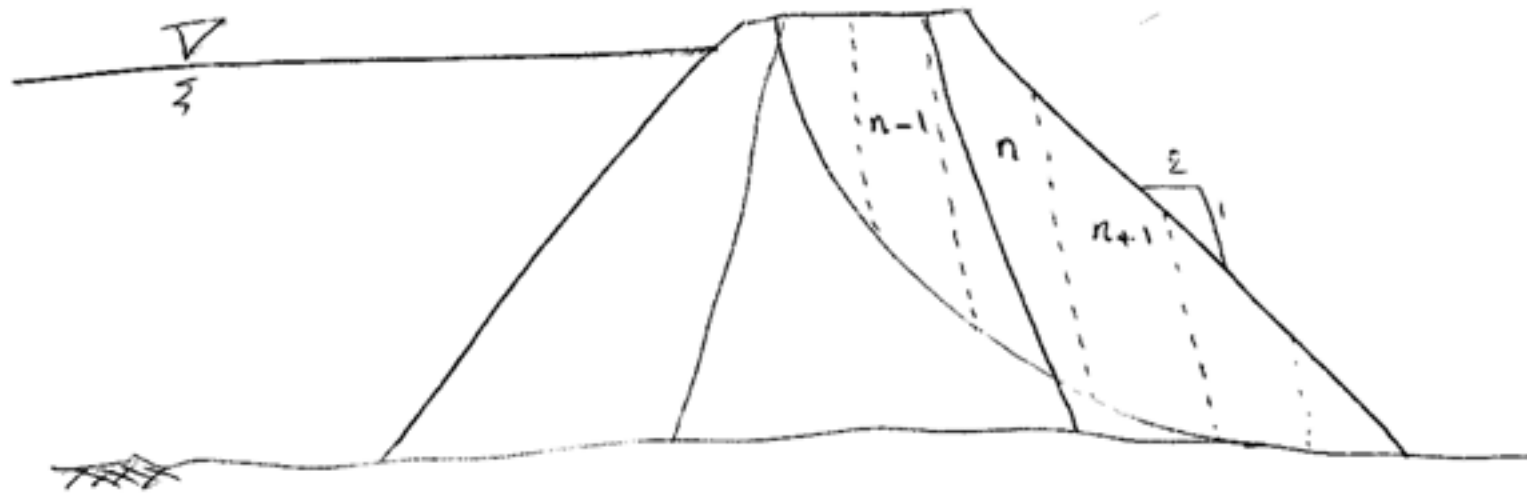
۱- جهت نیروهای بین قطعه ای بطور مشخص فرض می شود .

۲- یک ضریب اطمینان مساوی برای کلیه اجزاء مقاومت برشی در لبه پائینی قطعه در نظر گرفته می شود ، بدین ترتیب که :

$$\tau = C_D + (N_D - u)\tan \phi_D$$

$$C_D = \frac{C}{F_D} \quad \tan \phi_D = \frac{\tan \phi}{F_D} \quad \text{ضریب اطمینان است .}$$

وقتی که سطح لغزش مفروض در حالت تعادل است نیروی N_D و نیروی قائم وارد بر پائین قطعه است . (نه در حالت خرابی)



روش محاسبه بصورت زیر است :

- ۱- یک سطح لغزش مفروض برای محاسبه در نظر گرفته می شود
(این سطح لغزش می تواند به هر شکلی باشد)
- ۲- سطح لغزش مورد نظر به تعدادی قطعه تقسیم می شود ، که عرض قطعات نبایستی حتماً مساوی باشند . عرض هر قطعه تقریباً متناسب با درجه انحناء سطح لغزش انتخاب می گردد بطوریکه وتر و کمان کف قطعه چندان فرقی نداشته باشند و سطح لغزش برای هر قطعه فقط از یک نوع مصالح عبور کند .

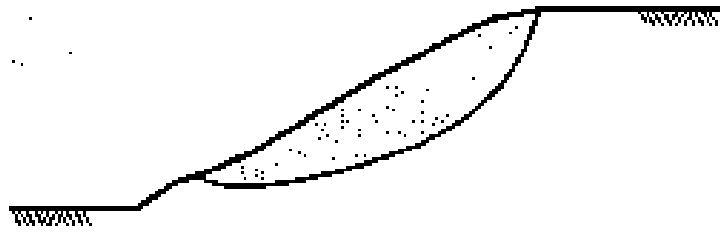
۳- بر هر قطعه نیروهائی که مشخص شد به شرح ذیل محاسبه می شوند :

الف - وزن کل قطعه (W) که برابر است با سطح قطعه ضربدر وزن مخصوص مربوطه

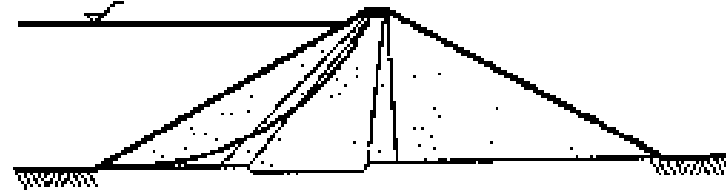
ب - نیروی کل آب وارد بر اطراف و پائین قطعه (u_B, u_R, u_L) که برابرند با فشار حفره ای متوسط ضربدر سطحی که در آن اثر می کند .

ج - نیروی چسبندگی که در لحظه خرابی در سطح پائین قطعه اثر می کند (C) که برابر است با چسبندگی واحد ضربدر سطح پائین قطعه .

۴- برای هر قطعه از برآیند نیروهای مربوط به وزن و فشار حفره ای نیروی R



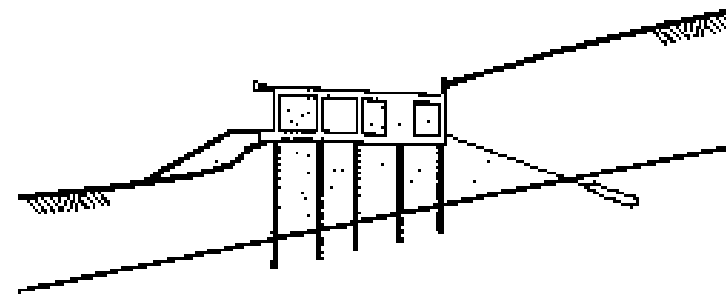
pentcs naturelles



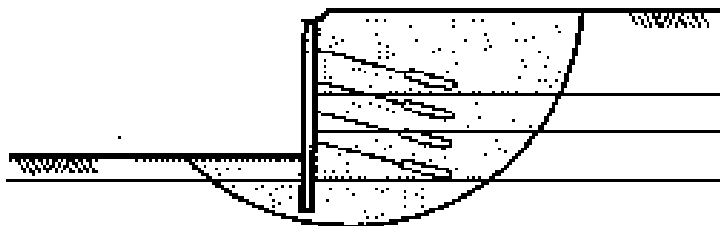
barrages



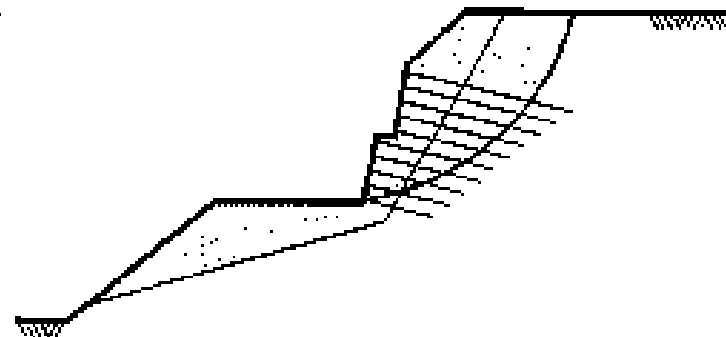
talus de d6bris et remblais



ouvrages en zone instable et stabilisation



murs ancr6s



murs clou6s, en terre arm6e ou renforc6e

- حل نهایی از روش ترسیمی با سعی و خطا حاصل می گردد .

- برای اولین آزمون یک ضریب اطمینان انتخاب شده ، مقادیر C_D

برای هر قطعه محاسبه می گردد . $(C_D = C / F_D)$

پلیگون کلیه نیروهایی که بر روی هر قطعه عمل می کند ترسیم می گردد . اگر پلیگون (چند ضلعی) بسته نشود مقدار دیگری برای ضریب اطمینان فرض می شود تا اینکه پلیگون نیروها بسته شود و در نتیجه ضریب اطمینان مربوط به سطح لغزش مفروض بدست می آید .

سدهای خاکی قسمت هشتم

دکتر سعید خرقانی

\vdots

r_u

$$r_u = \frac{u}{\gamma \cdot h}$$

h

γ

u

)

(

r_u

r_u

r_u

n, m محاسبه شده ، لیکن از تنش مؤثر در

محاسبات استفاده می شود در این حالت ضریب اطمینان (F):

$$r_u = \frac{\phi'}{\beta} \left(\frac{D_f}{\frac{C'}{\gamma H}} \right)$$

ضریب اطمینان نسبت به تغییرات فاکتور عمق D_f خیلی حساس نیست و منحنی های مربوطه فقط برای سه مقدار $D_f = 1, 1.25, 1.5$ محاسبه شده اند . همچنین تقریباً یک رابطه خطی بین $F, \frac{C'}{\gamma H}$ و بین F, r_u وجود دارد .

n, m

$\frac{C'}{\gamma H}$

ϕ', β

D_f

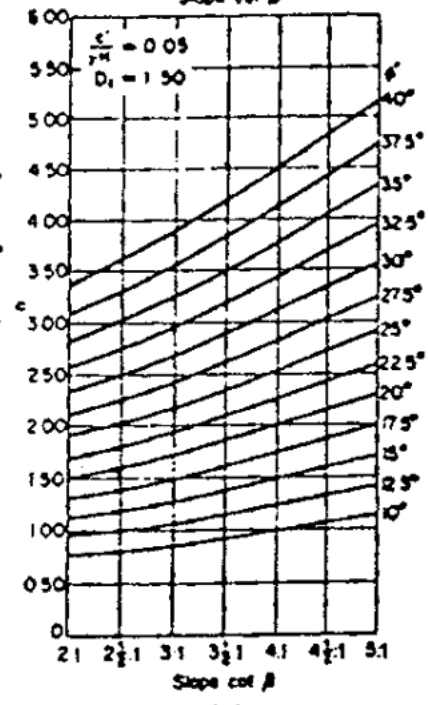
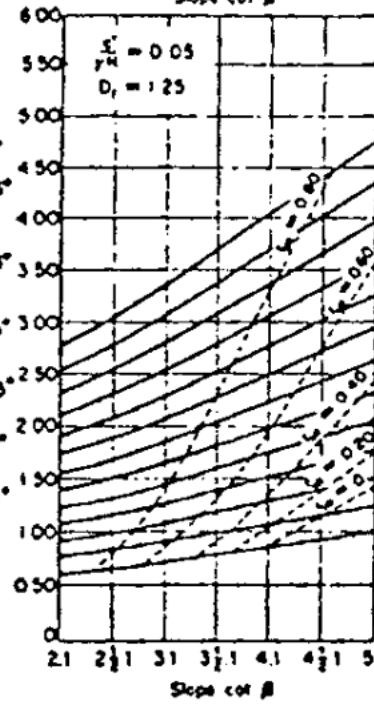
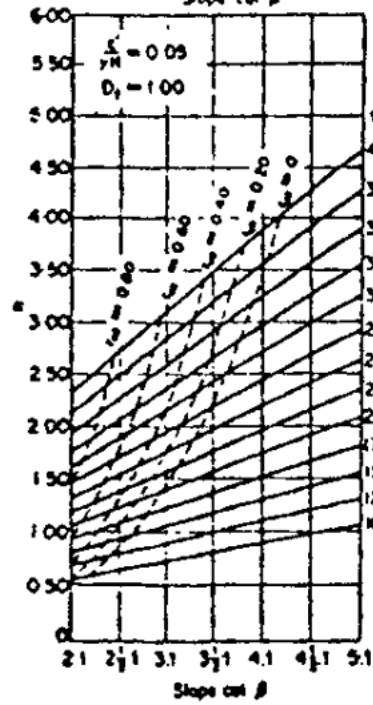
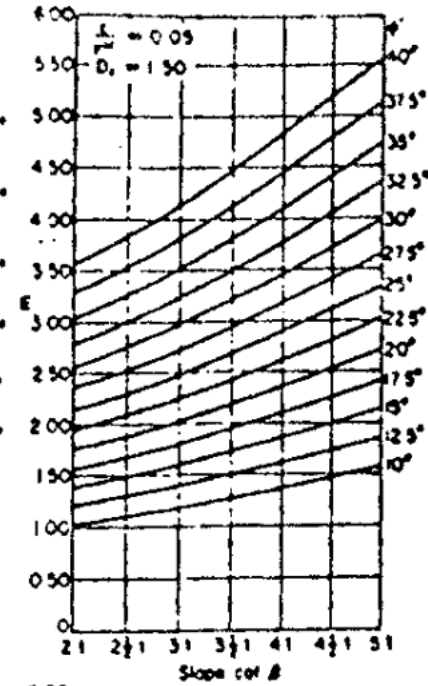
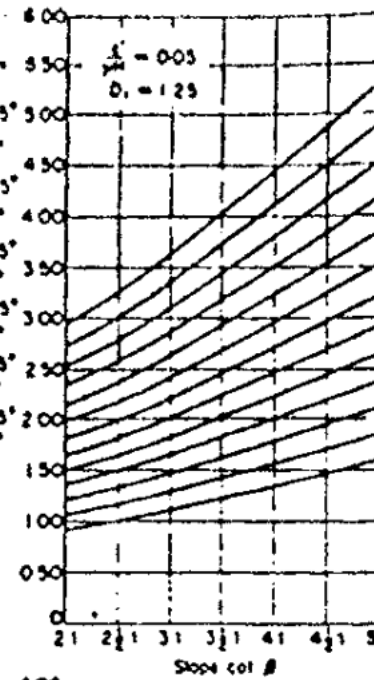
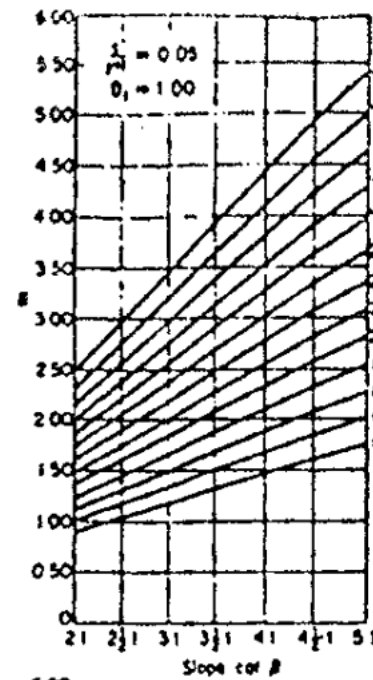
$0.5, 0.25$

$1.1, 1.25$

:

$$F = m - nr_u$$

$D_f = 1/0$ و $1/25$ و $\frac{C^1}{8H} = 0/05$ و n برای m و n برای m و n

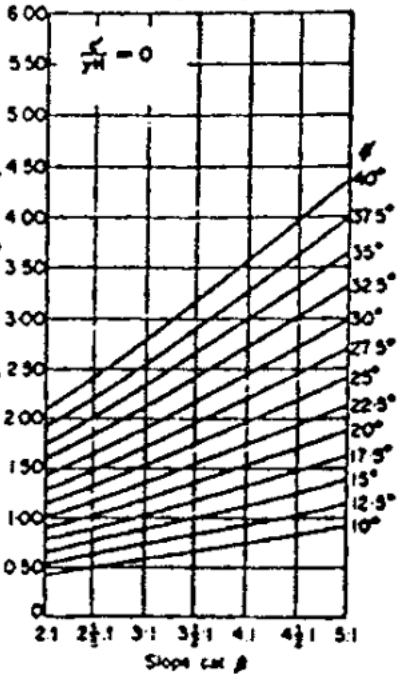
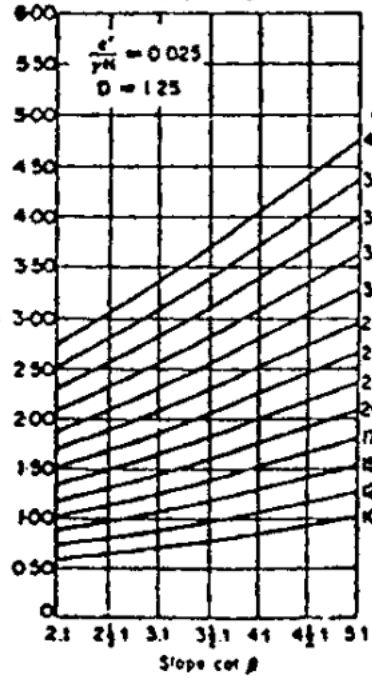
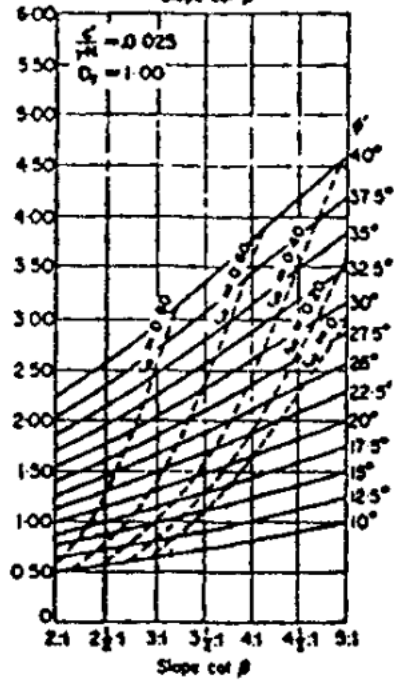
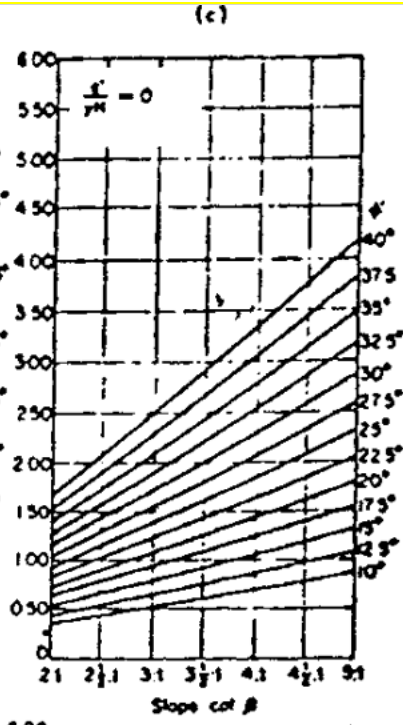
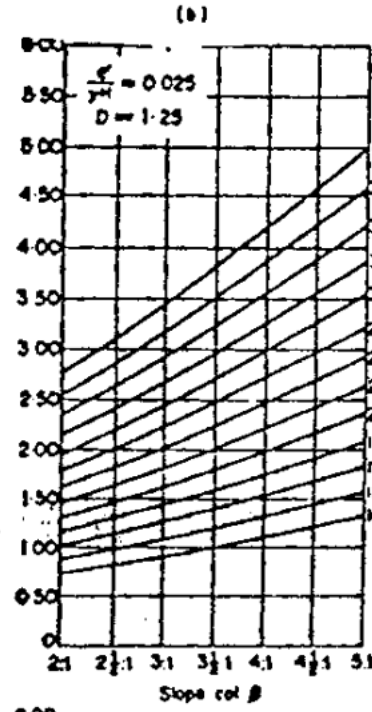
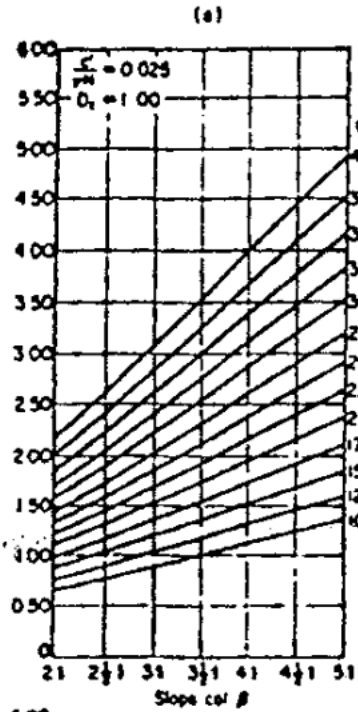


(a)

(b)

(c)

ضرائب با بدارى m و n برائى $0.25/H$ و $C'/\gamma H$ و $1/5$ و $1/10$ و $1/15$



(d)

(e)

جدول ۱۶ - ۶ - مقادیر ضرایب پایداری m' و n'

جدول الف

$$c/\gamma H = 0$$

ϕ	شیب 2:1		شیب 3:1		شیب 4:1		شیب 5:1	
	m'	n'	m'	n'	m'	n'	m'	n'
10.0	0.353	0.441	0.529	0.588	0.705	0.749	0.882	0.917
12.5	0.443	0.554	0.665	0.739	0.887	0.943	1.109	1.153
15.0	0.536	0.670	0.804	0.893	1.072	1.139	1.340	1.393
17.5	0.631	0.789	0.946	1.051	1.261	1.340	1.577	1.639
20.0	0.728	0.910	1.092	1.213	1.456	1.547	1.820	1.892
22.5	0.828	1.035	1.243	1.381	1.657	1.761	2.071	2.153
25.0	0.933	1.166	1.399	1.554	1.865	1.982	2.332	2.424
27.5	1.041	1.301	1.562	1.736	2.082	2.213	2.603	2.706
30.0	1.155	1.444	1.732	1.924	2.309	2.454	2.887	3.001
32.5	1.274	1.593	1.911	2.123	2.548	2.708	3.185	3.311
35.0	1.400	1.750	2.101	2.334	2.801	2.977	3.501	3.639
37.5	1.535	1.919	2.302	2.558	3.069	3.261	3.837	3.989
40.0	1.678	2.098	2.517	2.797	3.356	3.566	4.196	4.362

جدول ب

$$c/\gamma H = 0.025 \quad \text{و} \quad D = 1.00$$

ϕ	شیب 2:1		شیب 3:1		شیب 4:1		شیب 5:1	
	m'	n'	m'	n'	m'	n'	m'	n'
10.0	0.678	0.534	0.906	0.683	1.130	0.846	1.365	1.031
12.5	0.790	0.655	1.066	0.849	1.337	1.061	1.620	1.282
15.0	0.901	0.776	1.224	1.014	1.544	1.273	1.868	1.534
17.5	1.012	0.898	1.380	1.179	1.751	1.485	2.121	1.789
20.0	1.124	1.022	1.542	1.347	1.962	1.698	2.380	2.050
22.5	1.239	1.150	1.705	1.518	2.177	1.916	2.646	2.317
25.0	1.356	1.282	1.875	1.696	2.400	2.141	2.921	2.596
27.5	1.478	1.421	2.050	1.882	2.631	2.375	3.207	2.886
30.0	1.606	1.567	2.235	2.078	2.873	2.622	3.508	3.191
32.5	1.739	1.721	2.431	2.285	3.127	2.883	3.823	3.511
35.0	1.880	1.885	2.635	2.505	3.396	3.160	4.156	3.849
37.5	2.030	2.060	2.855	2.741	3.681	3.458	4.510	4.209
40.0	2.190	2.247	3.090	2.993	3.984	3.778	4.885	4.592

جدول پ

$$c/\gamma H = 0.025 \quad \text{و} \quad D = 1.25$$

ϕ	شیب 2:1		شیب 3:1		شیب 4:1		شیب 5:1	
	m'	n'	m'	n'	m'	n'	m'	n'
10.0	0.737	0.614	0.901	0.726	1.085	0.867	1.285	1.014
12.5	0.878	0.759	1.076	0.908	1.299	1.089	1.543	1.278
15.0	1.019	0.907	1.253	1.093	1.515	1.311	1.803	1.545
17.5	1.162	1.059	1.433	1.282	1.736	1.541	2.065	1.814
20.0	1.309	1.216	1.618	1.478	1.961	1.775	2.334	2.090
22.5	1.461	1.379	1.808	1.680	2.194	2.017	2.610	2.373
25.0	1.619	1.547	2.007	1.891	2.437	2.269	2.879	2.669
27.5	1.783	1.728	2.213	2.111	2.689	2.531	3.196	2.976
30.0	1.956	1.915	2.431	2.342	2.953	2.806	3.511	3.299
32.5	2.139	2.112	2.659	2.686	3.231	3.095	3.841	3.638
35.0	2.331	2.321	2.901	2.841	3.524	3.400	4.191	3.998
37.5	2.536	2.541	3.158	3.112	3.835	3.723	4.563	4.379
40.0	2.753	2.775	3.431	3.399	4.164	4.064	4.958	4.784

جدول ت

$$c/\gamma H = 0.05 \text{ و } D = 1.00$$

ϕ	شیب 2:1		شیب 3:1		شیب 4:1		شیب 5:1	
	m'	n'	m'	n'	m'	n'	m'	n'
10.0	0.913	0.563	1.181	0.717	1.469	0.910	1.733	1.069
12.5	1.030	0.690	1.343	0.878	1.688	1.136	1.995	1.316
15.0	1.145	0.816	1.506	1.043	1.904	1.353	2.256	1.567
17.5	1.262	0.942	1.671	1.212	2.117	1.565	2.517	1.825
20.0	1.380	1.071	1.840	1.387	2.333	1.776	2.783	2.091
22.5	1.500	1.202	2.014	1.568	2.551	1.989	3.055	2.365
25.0	1.624	1.338	2.193	1.757	2.778	2.211	3.336	2.651
27.5	1.753	1.480	2.380	1.952	3.013	2.444	3.628	2.948
30.0	1.888	1.630	2.574	2.157	3.261	2.693	3.934	3.259
32.5	2.029	1.789	2.777	2.370	3.523	2.961	4.256	3.585
35.0	2.178	1.958	2.990	2.592	3.803	3.253	4.597	3.927
37.5	2.336	2.138	3.215	2.826	4.103	3.574	4.959	4.288
40.0	2.505	2.332	3.451	3.071	4.425	3.926	5.344	4.668

جدول ث

$$c/\gamma H = 0.05 \text{ و } D = 1.25$$

ϕ	شیب 2:1		شیب 3:1		شیب 4:1		شیب 5:1	
	m'	n'	m'	n'	m'	n'	m'	n'
10.0	0.919	0.633	1.119	0.766	1.344	0.886	1.594	1.042
12.5	1.065	0.792	1.294	0.941	1.563	1.112	1.850	1.300
15.0	1.211	0.950	1.471	1.119	1.782	1.338	2.109	1.562
17.5	1.359	1.108	1.650	1.303	2.004	1.567	2.373	1.831
20.0	1.509	1.266	1.834	1.493	2.230	1.799	2.643	2.107
22.5	1.663	1.428	2.024	1.690	2.463	2.038	2.921	2.392
25.0	1.822	1.595	2.222	1.897	2.705	2.287	3.211	2.690
27.5	1.988	1.769	2.428	2.113	2.957	2.546	3.513	2.999
30.0	2.161	1.950	2.645	2.342	3.221	2.819	3.829	3.324
32.5	2.343	2.141	2.873	2.583	3.500	3.107	4.161	3.665
35.0	2.535	2.344	3.114	2.839	3.795	3.413	4.511	4.025
37.5	2.738	2.560	3.370	3.111	4.109	3.740	4.881	4.405
40.0	2.953	2.791	3.642	3.400	4.442	4.090	5.273	4.806

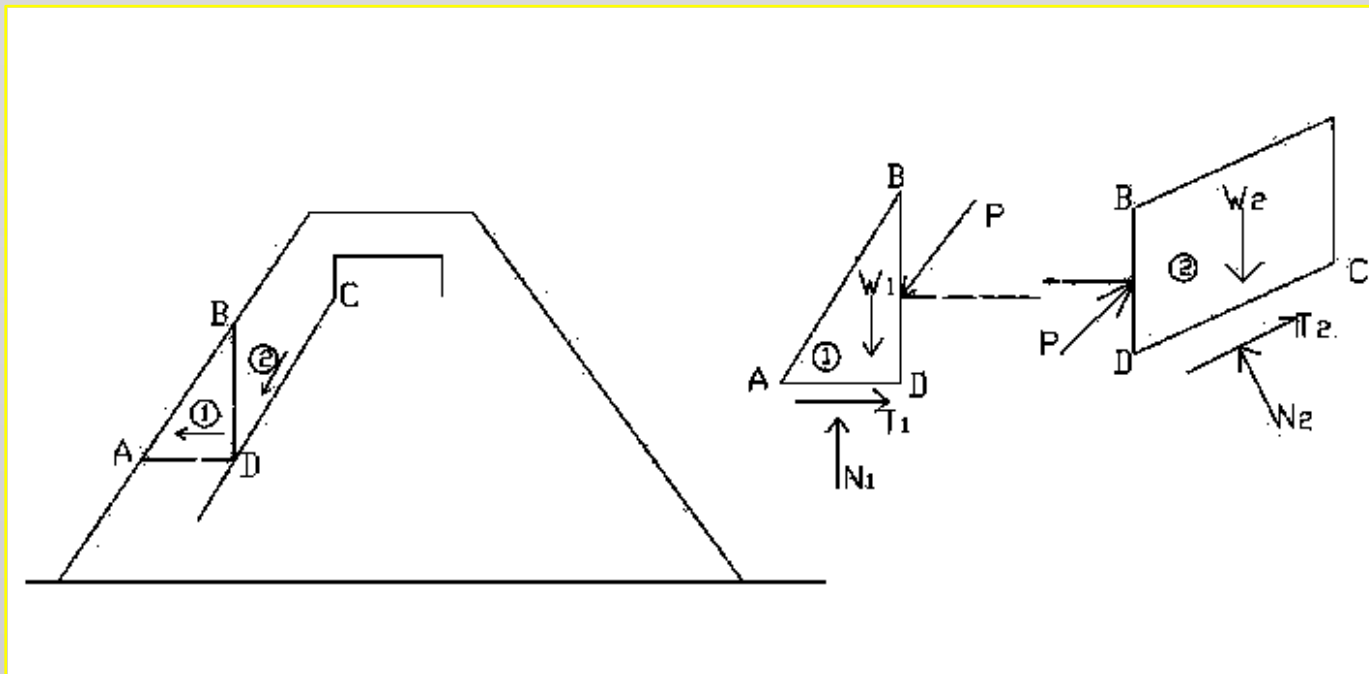
جدول ج

$$c/\gamma H = 0.05 \quad \text{و} \quad D = 1.50$$

ϕ	شیب 2:1		شیب 3:1		شیب 4:1		شیب 5:1	
	m'	n'	m'	n'	m'	n'	m'	n'
10.0	1.022	0.751	1.170	0.828	1.343	0.974	1.547	1.108
12.5	1.202	0.936	1.376	1.043	1.589	1.227	1.829	1.399
15.0	1.383	1.122	1.583	1.260	1.835	1.480	2.112	1.690
17.5	1.565	1.309	1.795	1.480	2.084	1.734	2.398	1.983
20.0	1.752	1.501	2.011	1.705	2.337	1.993	2.690	2.280
22.5	1.943	1.698	2.234	1.937	2.597	2.258	2.990	2.585
25.0	2.143	1.903	2.467	2.179	2.867	2.534	3.302	2.902
27.5	2.350	2.117	2.709	2.431	3.148	2.820	3.626	3.231
30.0	2.568	2.342	2.964	2.696	3.443	3.120	3.967	3.577
32.5	2.798	2.580	3.232	2.975	3.753	3.436	4.326	3.940
35.0	3.041	2.832	3.515	3.269	4.082	3.771	4.707	4.325
37.5	3.299	3.102	3.817	3.583	4.431	4.128	5.112	4.735
40.0	3.574	3.389	4.136	3.915	4.803	4.507	5.543	5.171

روش لغزش قطعه ای :

در بسیاری از مسائل سطح لغزش می تواند بصورت یک ، دو یا سه خط مستقیم و یا نزدیک به آن باشد ، بدون اینکه این خطوط به نرمی به یکدیگر برخورد نمایند . در محاسبات پایداری چنین سطحی از لغزش را نمی توان با یک منحنی پیوسته ، بدون خطای مشخص جایگزین نمود .



این موقعیت وقتی امکان پذیر است که لایه های ضعیفی در بین شیب یا در زیر آن وجود داشته و یا وقتی که شیب بر روی لایه بسیار محکمی قرار گرفته باشد با استفاده از روش لغزش قطعه ای می توان ضریب اطمینان مناسب و معمولاً بسیار دقیقی را حدس زد. طی این روش توده خاک مورد لغزش به دو یا سه قسمت قطعه می شود. مقاومت برشی در طول این سطوح لغزش برحسب پارامترهای مورد استفاده مقاومت F برشی و ضریب اطمینان که برای تمام قطعات یکسان است بیان می گردد

در شکل فوق سه نیروی نامشخص N_2, N_1, p و یک شیب نامشخص α (شیب نیروی بین قطعه ای) و یک ضریب اطمینان نامشخص F وجود دارد. بنابراین پنج مجهول درمقابل چهار معادله تعادل نیروها وجود دارد (دو معادله برای هر قطعه) و سیستم از نظر استاتیکی نامعین است برای اینکه سیستم معین شود مقداری برای α فرض شده و ضریب اطمینان بدست می آید.

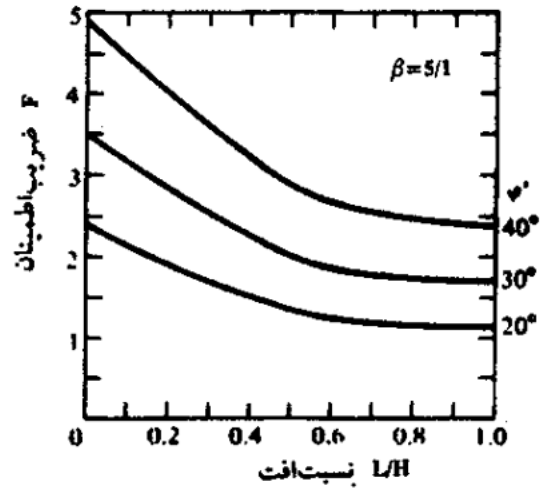
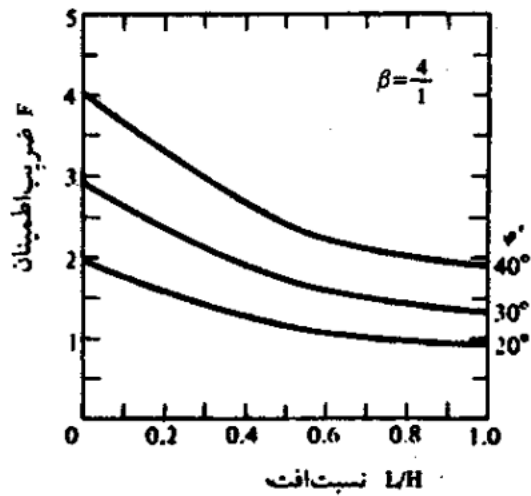
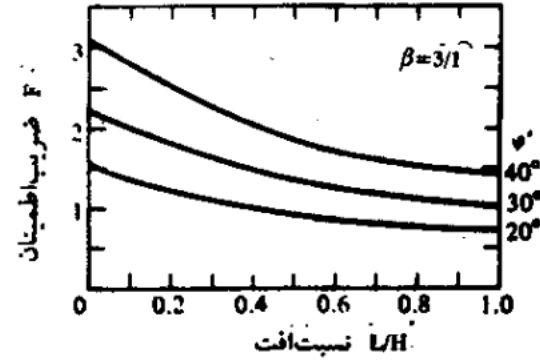
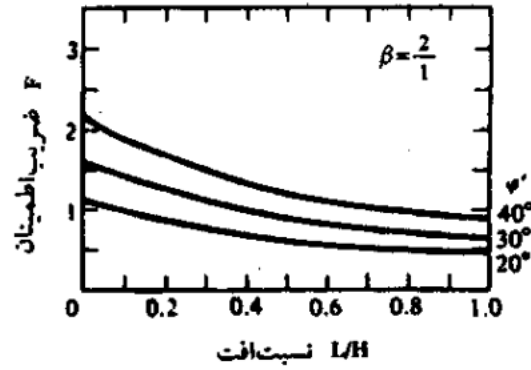
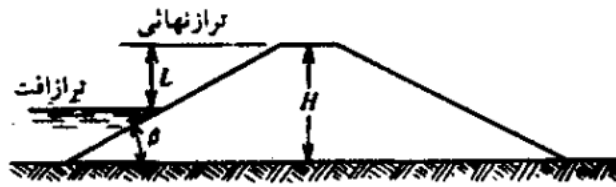
روش “مرگنسترن” در شرایط تخلیه سریع مخزن

چنانچه مخزن سد در فاصله زمانی کوتاهی (مثلاً چند روز یا حتی چند هفته) به مقدار زیادی تخلیه گردد و به عبارت دیگر سطح آب مخزن پایین آورده شود ، به علت نیروی زه موجود در بخش مغزه (یا در کل بدنه سدهای همگن) که به سمت مخزن و در جهت تخریب عمل می کند ، از ضریب اطمینان دامنه بالادست کاسته می گردد .

روشهای مختلفی برای تحلیل پایداری دامنه بالادست در این شرایط وجود دارد که از جمله استفاده از نمودارهای تهیه شده توسط «مرگنسترن» می باشد. البته در روشی که توسط نامبرده به کار برده شده است شالوده سد به صورت سنگ یا لایه بسیار محکمی تصور شده است و از این رو تحلیل پایداری یا گسیختگی سد فقط بر اساس مقاومت یا عدم مقاومت بدنه سد صورت گرفته است.

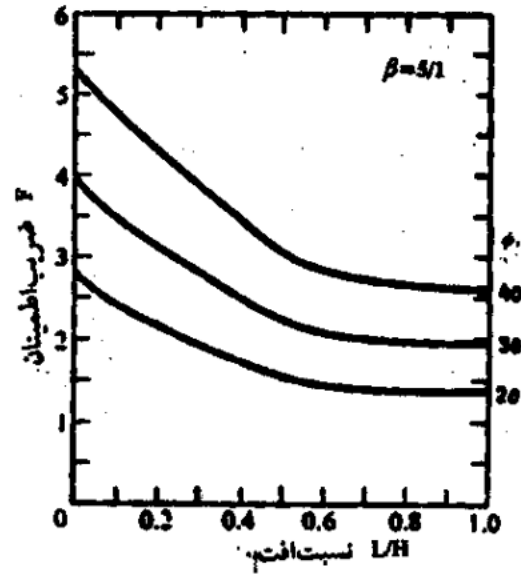
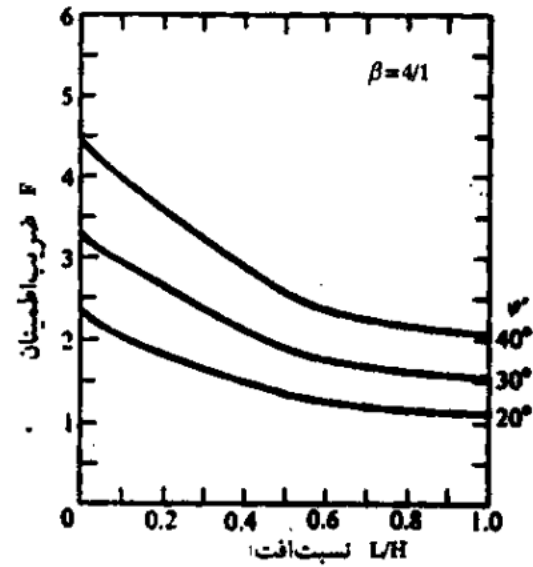
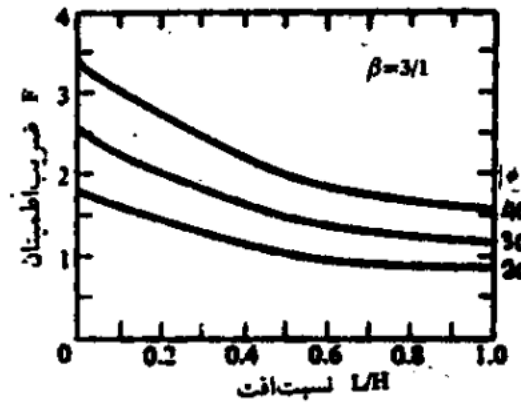
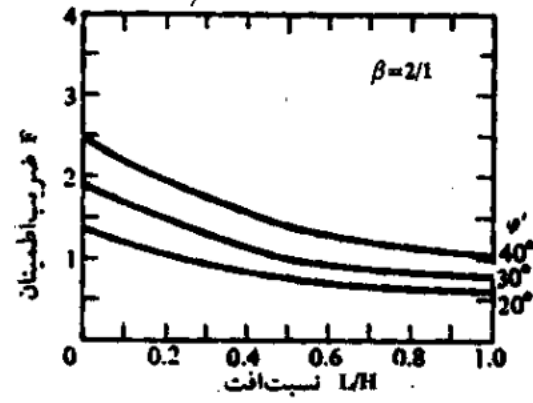
- فرضیاتی که در محاسبات و نتیجه گیریها در این روش به کار برده شده است
- پارامترهای مقاومت خاک در تمام بدنه سد ثابت و یکنواخت است (ϕ', C')
 - فشار آب منفذی در هر نقطه عبارت است از وزن واحد آب ضرب در ارتفاع آن نقطه تا سطح خاک دامنه در بالای آن
 - ضریب فشار منفذی در بدنه سد $(B = \Delta u / \Delta \sigma_1)$ در شرایط افت سریع سطح آب، برابر واحد است
 - دایره های لغزش تصویری برای بررسی پایداری، دایره هایی هستند که بر سطح قاعده سد مماس گردند
 - در محاسبات و نمودارها H نشان دهنده ارتفاع سد از تاج تا تراز قاعده سد است و L بیانگر ارتفاع افت سطح آب از حالت مخزن پر تا وضعیت جدید بعد از تخلیه سریع است.
 - وزن واحد اشباع خاک دو برابر وزن واحد آب در نظر گرفته می شود.

با توجه به اینکه عوامل و پارامترهای متفاوتی در بررسی پایداری مؤثر است ، از این رو نمودار تهیه شده برای تعیین ضریب اطمینان ، بر حسب مقدار پارامتر $C' / \gamma H$ (عدد پایداری) ، نسبت L / H (افت نسبی سطح آب) ، β (زاویه شیب دامنه) ، φ' (زاویه اصطکاک داخلی بدنه یا مغزه) تنظیم گردیده است .



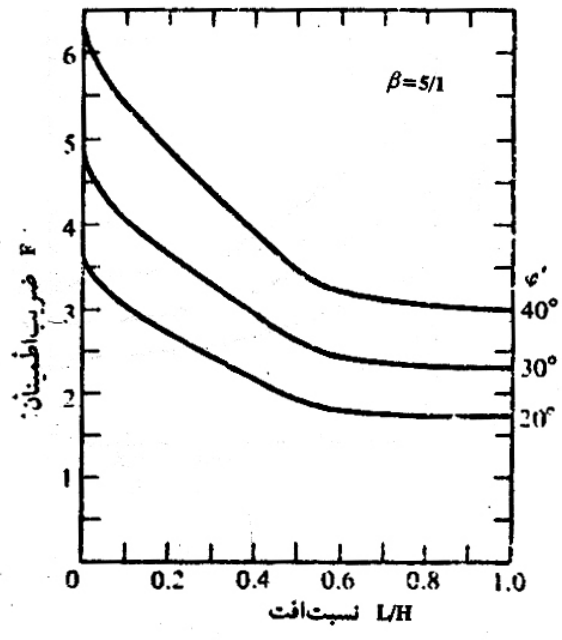
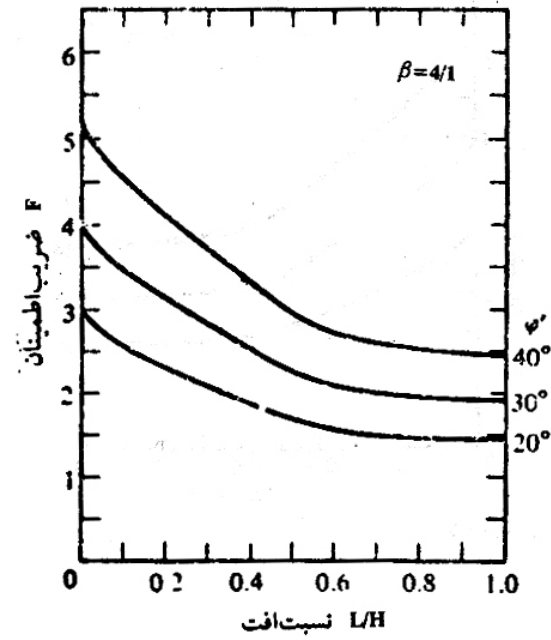
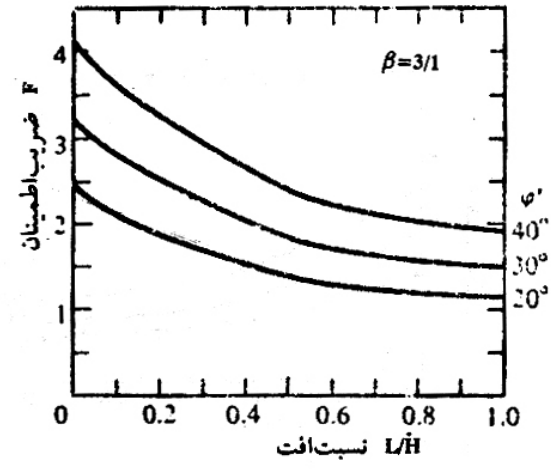
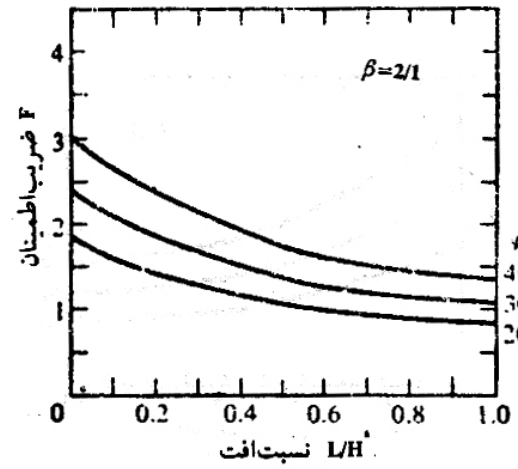
$$c'/\gamma H = 0.0125$$

شکل ۹-۲۰ - تعیین ضریب اطمینان برای شرایط $c'/\gamma H = 0.0125$



$$c/\gamma H = 0.25$$

شکل ۹-۲۱ - تعیین ضریب اطمینان برای شرایط $c/\gamma H = 0.25$



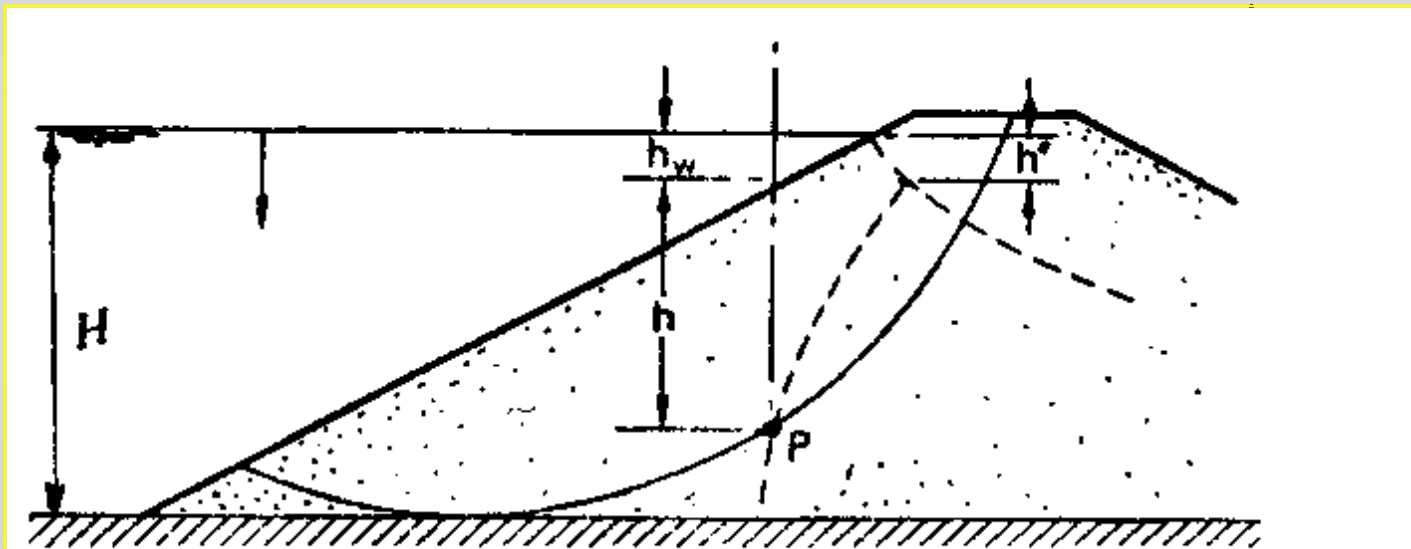
شکل ۹ - ۲۲ - تعیین ضریب اطمینان برای شرایط $\dot{c}/\gamma H = 0.05$

**برنامه کنترل پایداری و محاسبه ضریب اطمینان در
حالت افت سریع آب (تخلیه سریع مخزن)
بروش مرگسترون**

اجرای برنامه

بر آورد مقدار فشار حفره ای در سدهای خاکی در تخلیه سریع آب از سد :

اگر برابر شکل زیر در لحظه معینی به اندازه h_w



شکل - نشان دهنده حالت تخلیه سریع آب از سد

P'_0 = فشار آب حفره ای قبل از تخلیه سریع آب از سد.

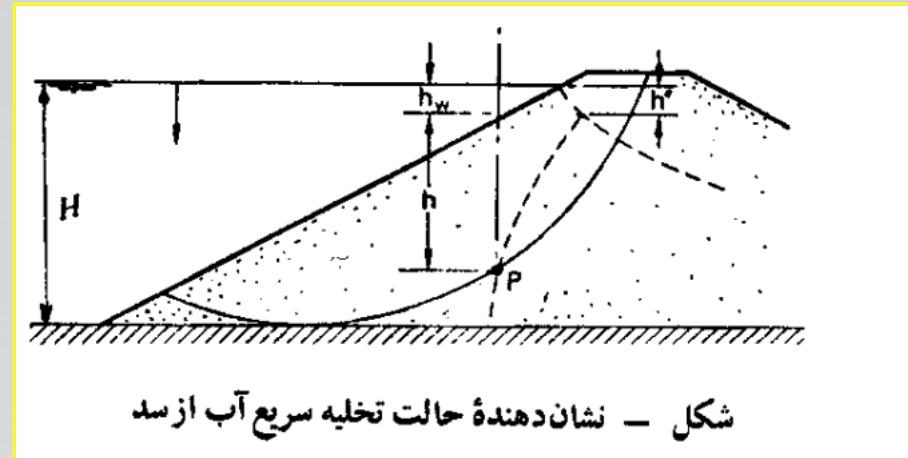
$$P_0' = \gamma(h + h_w - h')$$

$$P = \gamma h_w$$

$$\Delta P' = -\beta \cdot \gamma \cdot h_w$$

$$P' = P_0' + \Delta P' = \gamma[h + h_w(1 - \beta) - h']$$

$$r_P = \frac{P'}{D_S \cdot h} = \frac{\gamma}{D_S} \left[1 + \frac{h_w}{h}(1 - \beta) - \frac{h'}{h} \right]$$



P_0' = فشار آب حفره ای قبل از تخلیه سریع آب از سد .

P = فشار آب تخلیه شده .

$\Delta P'$ = تغییرات فشار در موقع تخلیه سریع .

P' = فشار آب حفره ای منتهی در موقع تخلیه سریع .

r_P = نسبت فشار آب حفره ای به فشار حاصل از وزن خاک اشباع شده از آب در

نقطه

D_S = وزن مخصوص خاک اشباع از آب .

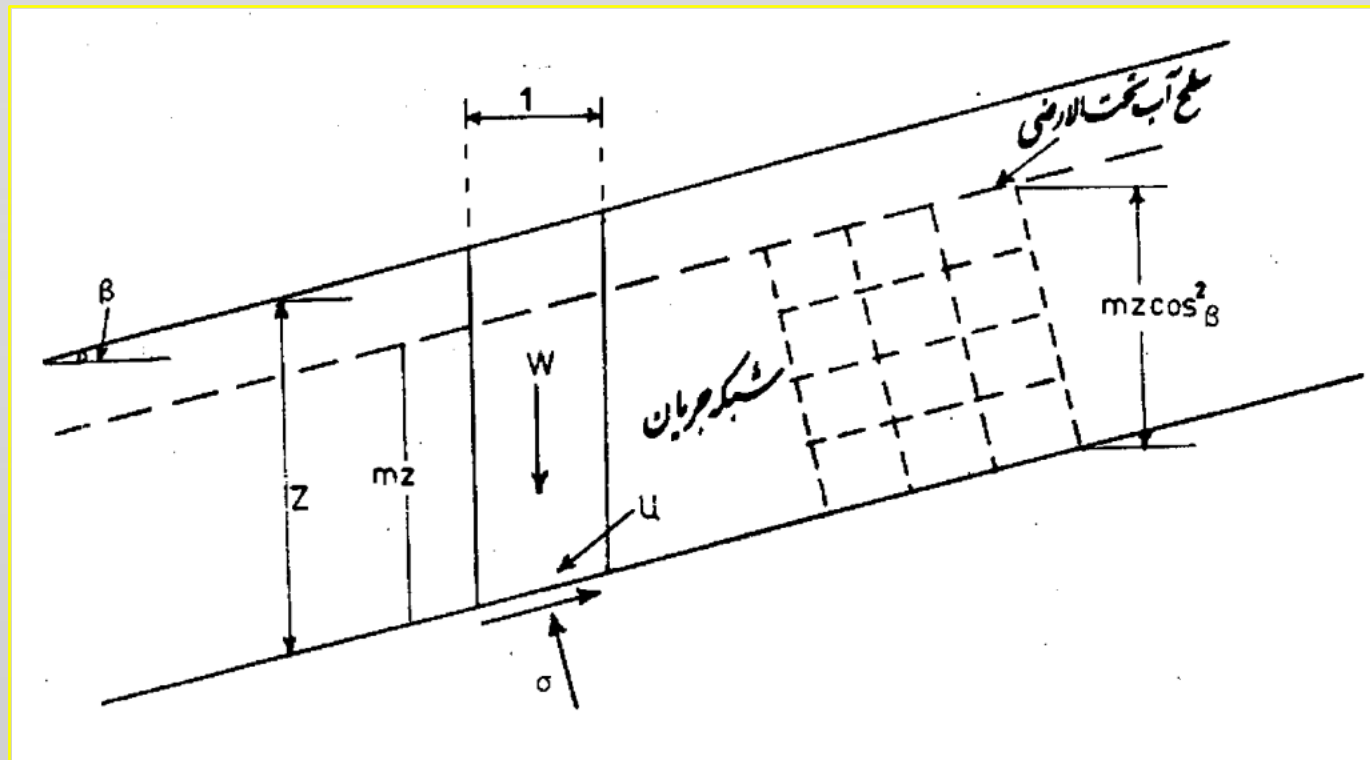
لغزش انتقالی :

یک حالت ساده ، که مبتنی بر فرض های زیر است ، شرح داده می شود :

- ۱- سطح گسیختگی ، یک سطح مستوی ، موازی سطح شیبدار می باشد .
- ۲- سطح گسیختگی در عمق کمی ، در مقایسه با طول شیب ، قرار دارد ؛ بنابراین می توان فرض کرد که طول شیب بی نهایت و تأثیر دو سر آن قابل اغماض می باشد
- ۳- سطح آب زیر زمینی موازی سطح شیب و جریان آب در خاک پایدار و در امتداد شیب می باشد .

در شکل زیر ، زاویه شیب نسبت به افق با β ، ارتفاع سطح گسیختگی با Z و ارتفاع سطح آب تحت الارضی از سطح شکست با mz نشان داده شده است . $(0 < m < 1)$

نیروهائی که از طرفین به یک برش قائم اثر می کند با یکدیگر برابر و مختلف الجهد می باشند ؛ بنابراین وضعیت تنش ، در نقاط مختلف سطح گسیختگی ، یکسان می باشد .



مقاومت برشی خاک ، بر حسب تنش مؤثر ، در سطح گسیختگی برابر است با

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

$$F = \frac{\tau_f}{\tau}$$

ضریب اطمینان F ، برابر است با :
(۱۴)

σ, τ و u به ترتیب برابرند با :

$$\sigma = [(1 - m)\gamma + m\gamma_{sat}]z \cos^2 \beta$$

$$\tau = [(1 - m)\gamma + m\gamma_{sat}]z \sin \beta \cos \beta \quad (۱۵)$$

$$u = mz\gamma_w \cos^2 \beta \quad (۱۶)$$

$$(۱۷)$$

شرائط خاص :

۱- $c' = 0$ و $m = 0$ (یعنی خاک ، بین سطح زمین و سطح شکست ، اشباع نمی باشد) .

$$F = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \quad (18)$$

۲- $c' = 0$ و $m = 1$ (یعنی سطح آب زیرزمینی منطبق بر سطح خاک است) .

$$F = \frac{\gamma' \tan \phi'}{\gamma_{sat} \tan \beta} \quad (19)$$

لازم به یادآوری است که در شرائطی که $c' = 0$ است ، ضریب اطمینان بستگی به z ندارد . اما اگر $c' > 0$ باشد ، ضریب اطمینان تابع z بوده و β ممکن است از ϕ' بیشتر باشد مشروط بر آنکه z از یک “ حد بحرانی “ کمتر باشد .

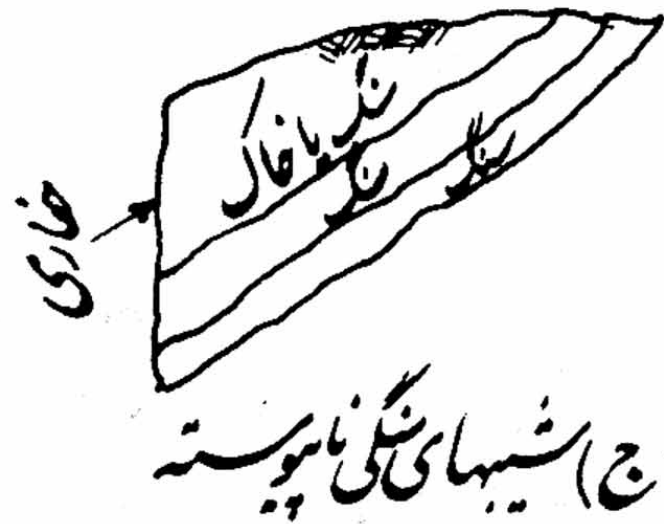
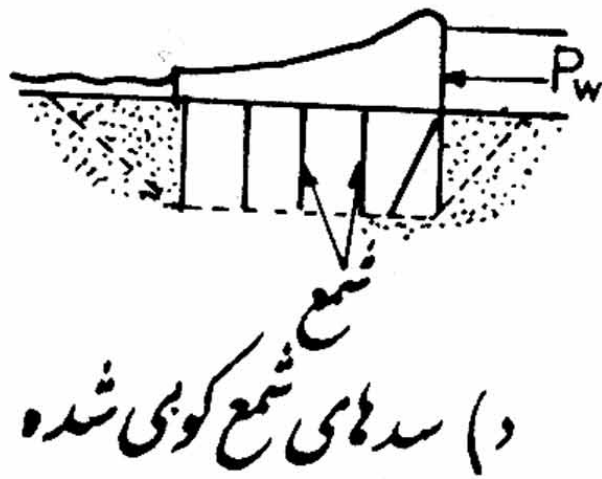
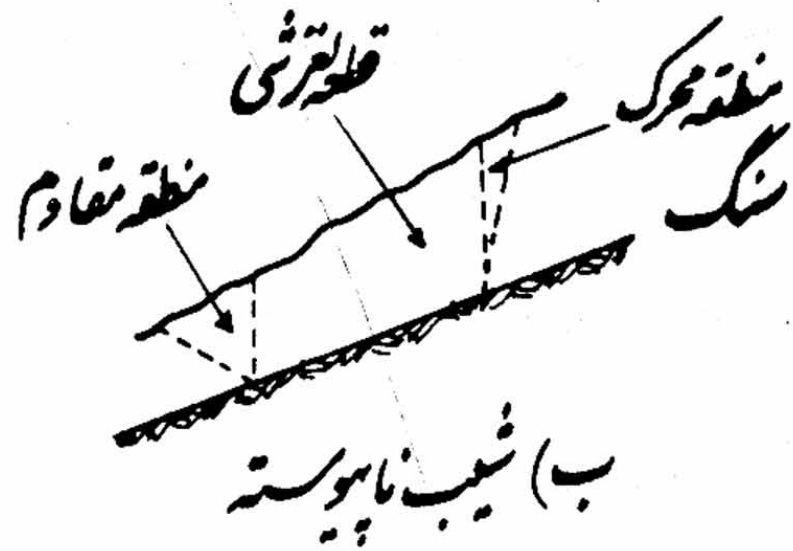
در حل مسائل ، برحسب تنش کل ، از پارامترهای مقاومت برشی

c_u و ϕ_u استفاده می شود و $u = 0$ می باشد .

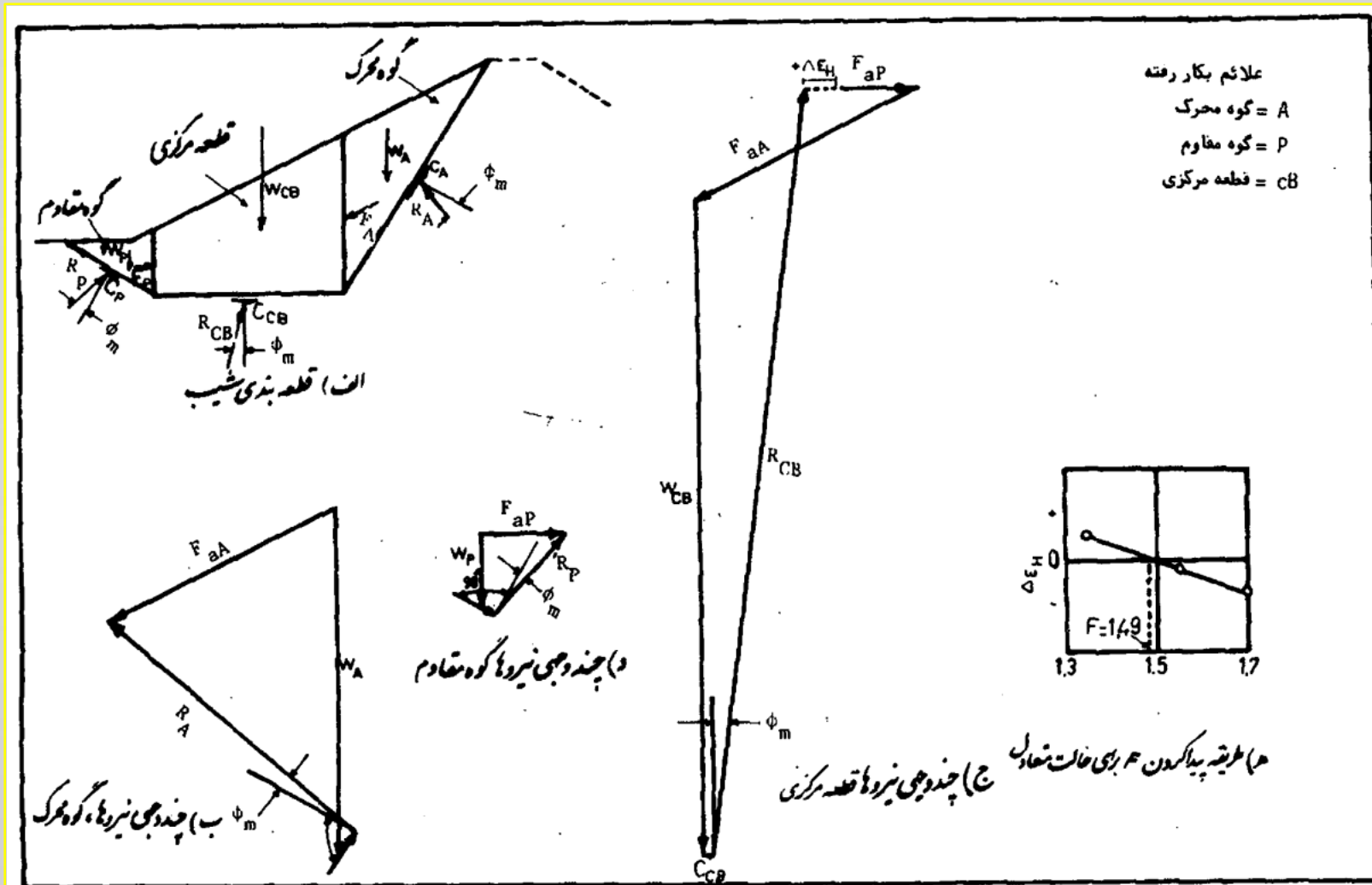
لغزش گوه ای

در این روش ، سطح لغزش به صورت یک سری خطوط مستقیم شکسته در نظر گرفته می شود . این روش برای شیبهای سنگی بخصوص شیبهایی که از لایه های مختلف تشکیل شده ، مناسب است .

شکل بعد مواردی را که برای بررسی پایداری آنها روش آنالیز گوه ای مناسب می باشد . نشان می دهد



برای بدست آوردن ضریب اطمینان سطح لغزش ، ابتدا توده خاک به دو یا سه قطعه تقسیم می شود



شکل - روش آنالیز گوه‌ای

شکل (۲۱، الف) یک قسمت از سد خاکی را نشان می دهد که به منظور بررسی پایداری در مقابل لغزش به سه قطعه، یک گوه محرک (اکتیو)، یک قطعه مرکزی و یک گوه مقاوم (پاسیو) تقسیم شده است. نیروهای وارده به قطعات نیز در این شکل نشان داده شده است. در اینجا پنج نیروی R_3, R_2, R_1, F_P, F_a ، زاویه ϕ_m و همچنین ضریب اطمینان در مقابل لغزش F مجهول می باشند. بنابراین تعداد هفت مجهول در مقابل شش معادله تعادل نیروها (دو معادله برای هر قطعه) وجود دارد. حل مسئله از راه آزمون و خطا به دست می آید. به این ترتیب که ابتدا یک ضریب اطمینان، F ، در نظر گرفته می شود و مقادیر ϕ_m از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F}$$

سپس چند ضلعی نیروهای وارد به هر قطعه ترسیم می شود
(شکل ۲۱ . ب ، ج و د) چنانچه چند وجهی نیروها بسته
نشود مقدار دیگری برای ضریب اطمینان فرض می شود و
محاسبات ادامه پیدا می کند تا چند ضلعی نیروها بسته شود .

در این روش ، ضریب اطمینان به دست آمده مربوط است به
شرایط تعادل نیروهای افقی و عمودی که بر روی سطح لغزش و
یا داخل آن عمل می کند و از نیروهای بین قطعه ای صرفنظر
شده است . $(E_1 = E_2 = X_1 = X_2 = 0)$

پایداری سدهای خاکی

بررسی پایداری شیروانیها در سدهای خاکی ، شامل یافتن ضریب اطمینان در مقابل ریزش می باشد . مقدار ضریب اطمینان را می توان با یکی از روشهای ارائه شده در قسمت های قبلی بدست آورد و سپس با حداقل مجاز ضریب اطمینان مقایسه کرد. حداقل مجاز ضریب اطمینان ، عددی است که بر اساس تجربیات مختلفی از سدهای خاکی ساخته شده بدست آمده مقدار حداقل مجاز ضریب اطمینان بستگی به شرایط بحرانی و نوع آزمایش مقاومت برشی دارد .

(UU)

S (CU)

Q

R

(CD)

		S (3) Q	1.3 ⁽²⁾		
		S R	1.0 ⁽⁴⁾		
		S R	1.2		
		$(\frac{R+S}{2}), R < S$ $S, R > S$	1.5	()	
		$(\frac{S+R}{2}), R < S$ $S, R > S$	1.5		
		(5)	1.0	()	

۱- این ضرائب برای سد بر روی فونداسیون شیل رسی قابل استفاده نیست . برای این شرایط ضریب اطمینان بیشتری باید بکار رود

۲- برای خاکریز بیش از ۱۵ متر بر روی فونداسیون نسبتاً سست حداقل ضریب اطمینان $1/4$ بکار برید .

۳- در مناطقی که فشار منفذی وجود نداشته و نخواهد داشت از آزمایش S استفاده شود .

۴- در مواردی که در محاسبات پایداری سرعت افت سریع و فشار آب منفذی از شبکه جریان بدست می آید ، ضریب اطمینان نباید از $1/5$ کمتر باشد .

۵- از مقاومت برشی مربوط به حالت مربوطه استفاده شود .

سدهای خاکی قسمت نهم

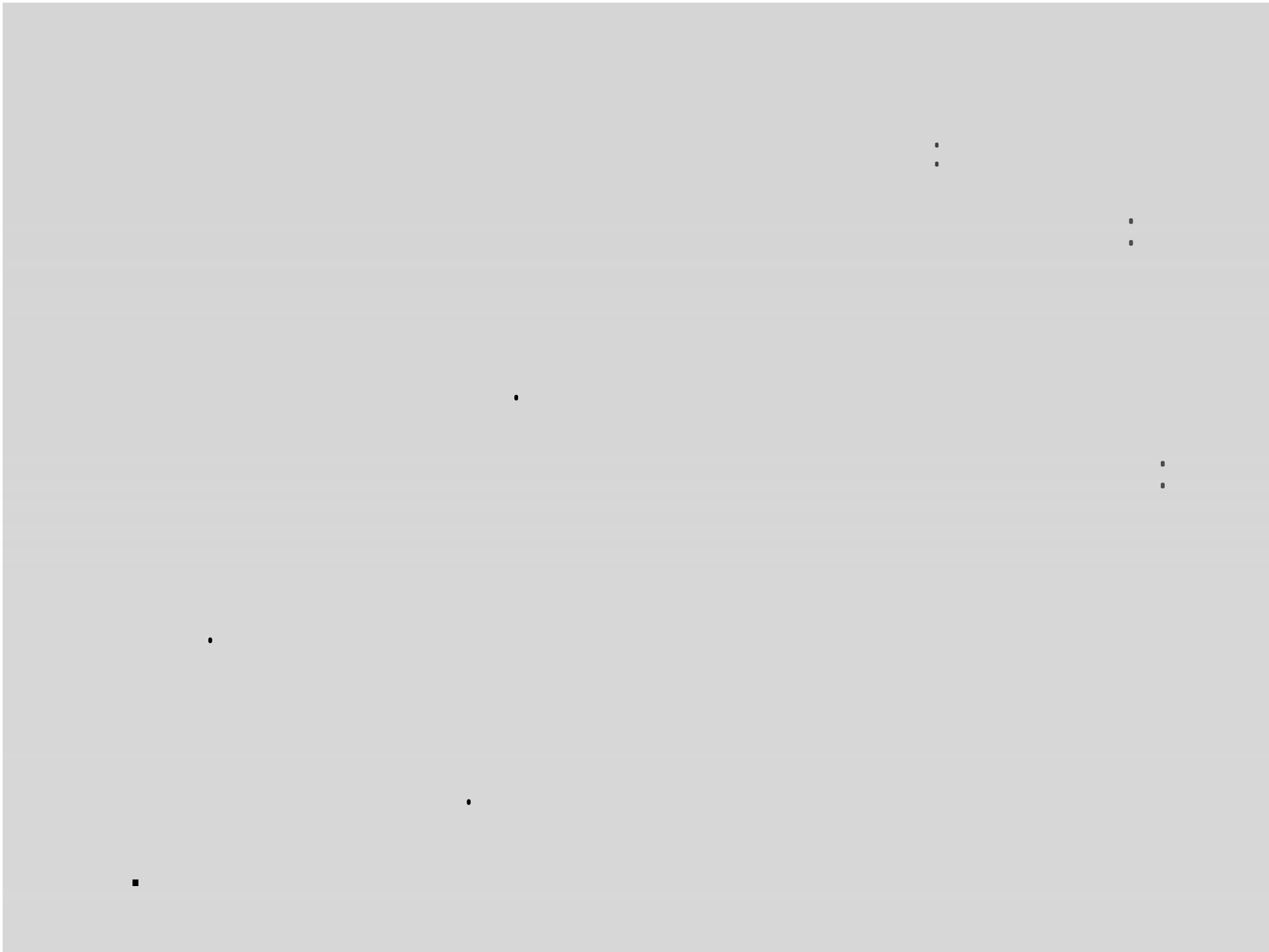
دکتر سعید خرقانی

()

■
■

•

•



تحکیم یک بعدی

چنانچه تغییر شکل خاک فقط در یک جهت امکان پذیر باشد ، تحکیم حاصله را تحکیم یک بعدی می نامند . در عمل ، تحکیم بصورت سه بعدی بوده زیرا مقدار تغییر شکل در سه جهت امکان پذیر می باشد ولی برای سادگی محاسبات از تئوری تحکیم یک بعدی استفاده می شود که در این صورت جوابهای بدست آمده حدود ۱۰ تا ۱۵٪ کمتر از حالت سه بعدی می باشد .

محاسبه نشست ناشی از تحکیم

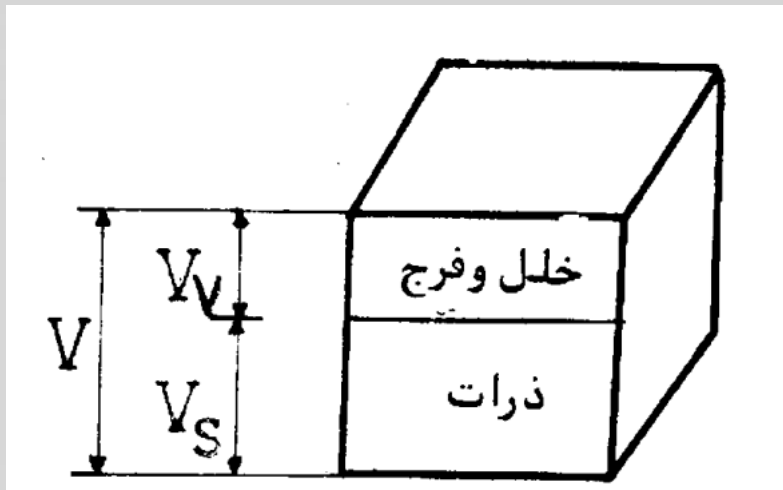
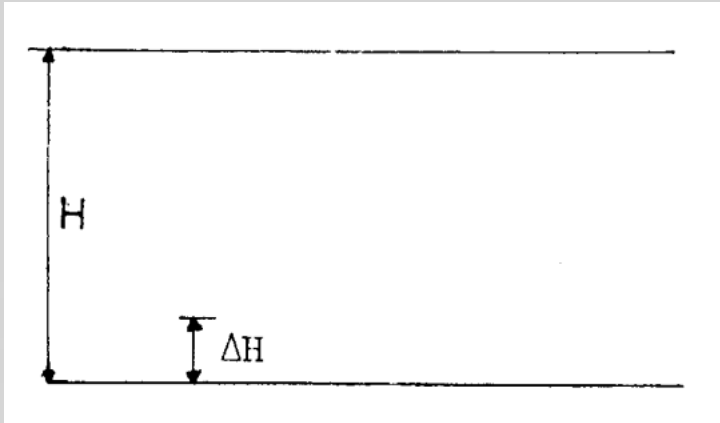
با از بین رفتن تنش منفذی ، مقدار تنش مؤثر در خاک افزایش می یابد و همراه با آن تغییر حجم در خاک رخ می دهد . تغییر حجم خاک باعث تغییر مکان سطح توده خاک شده که آن را نشست تحکیم می نامند . ذیلاً محاسبه نشست ناشی از تحکیم یک بعدی و سه بعدی ارائه می گردد :

محاسبه تحکیم یک بعدی

(ΔH)

H

() .



)

() . (

:

$$V_v = e_o \times V_s = e_o$$

:

$$V = V_v + V_s = 1 + e_o$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad :$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H \times a}{H_o \times a} = \frac{\Delta H}{H_o}$$

$$\frac{\Delta e}{1 + e_o} = \frac{\Delta H}{H_o} \quad :$$

:

$$\Delta H = H_o \frac{\Delta e}{1 + e_o} \quad ()$$

:

$$\Delta e = C_c \log \frac{\sigma_o' + \sigma_v'}{\sigma_o'} \quad ()$$

$$\Delta H = \frac{C_c}{1 + e_o} H_o \log \frac{\sigma_o' + \sigma_v'}{\sigma_o'} \quad ()$$

$$C_c = \frac{e_o - e}{\log(\sigma_o' - \sigma_v') - \log(\sigma_o')} = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_o' + \sigma_v'}{\sigma_o'}} \quad ()$$

$$e = e_o - C_c \log \frac{\sigma_o' + \sigma_v'}{\sigma_o'}$$

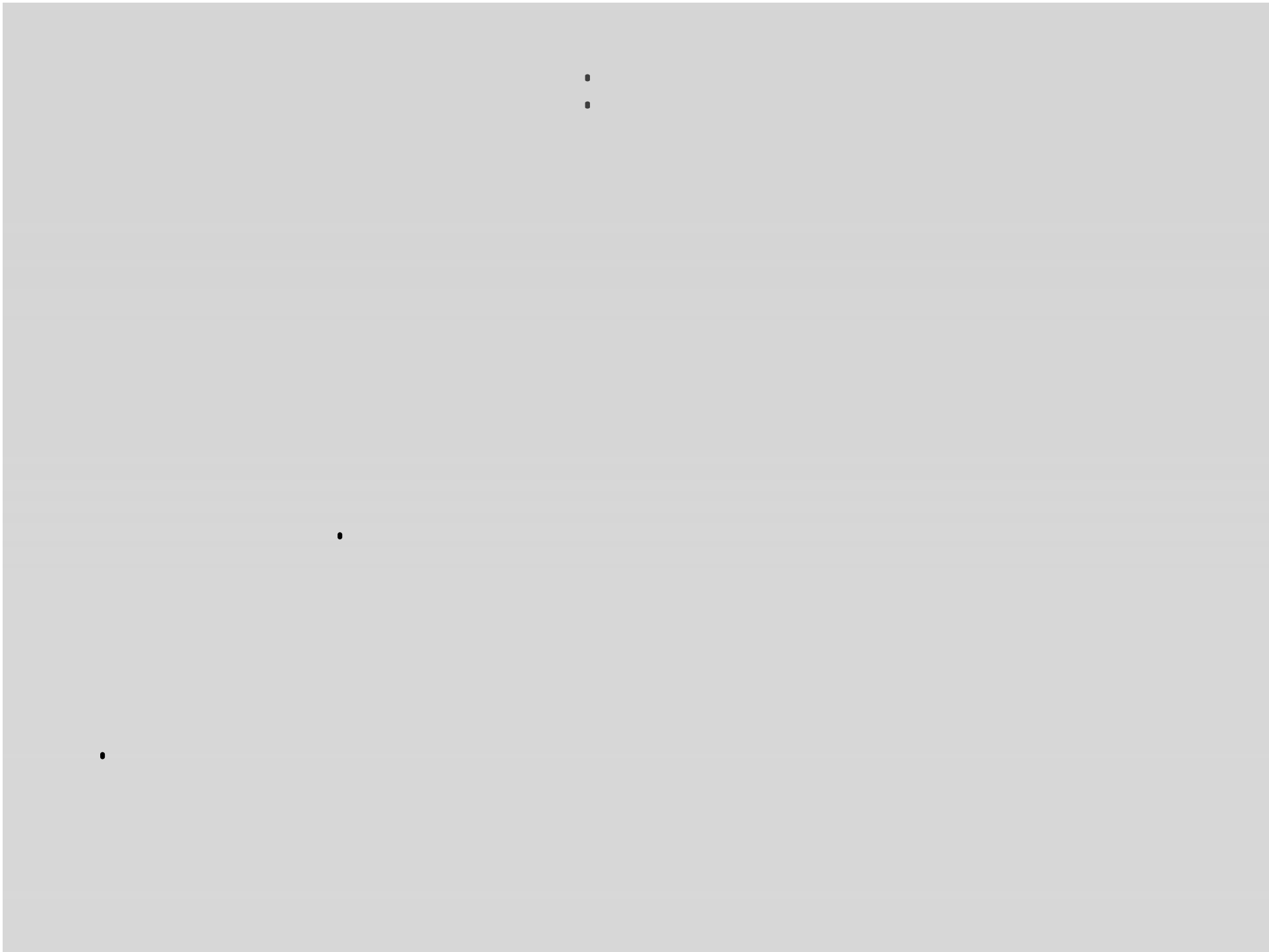
)

:

C_c
(())

$$C_c = 0.009(W_L - 10) \quad :$$

$$C_c = 0.007(W_L - 10)$$



σ_1' $()$ σ_2' σ_1' σ_1'

.

 $()$

.

 $()$

در لحظه $t = t_1$ مقدار تنش مؤثر روی جزء بسیار کوچکی به ضخامت dz و در عمق z برابر با σ' تنش منفذی اضافی برابر u می باشد بنابراین در زمان t_2 می توان نوشت:

$$\sigma_2 = \sigma' + u \quad (5)$$

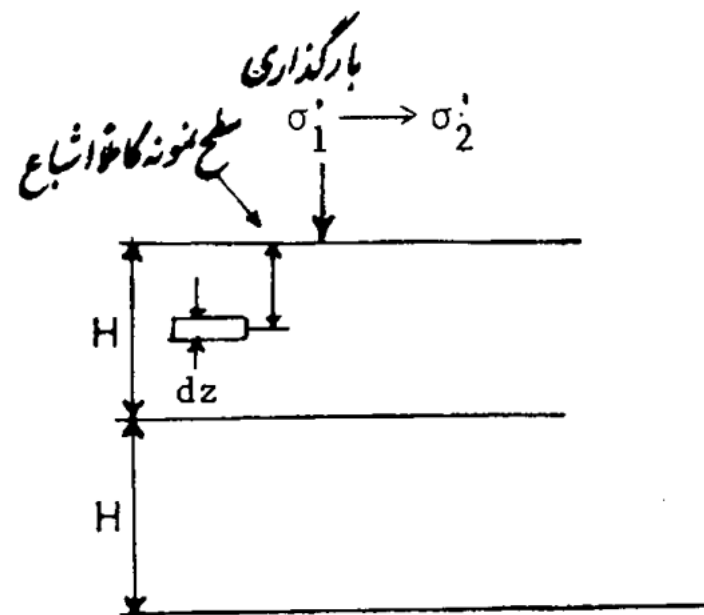
مقدار u در هر لحظه t بستگی به عمق z و ضریب آبگذری خاک K و فاصله دورترین نقطه توده خاک از سطح زهکشی H و نسبت پوکی خاک e دارد. همچنین مقدار u بستگی به شیب منحنی تنش - نسبت پوکی بر روی مقیاس طبیعی دارد

شیب این منحنی را ضریب فشردگی نامیده و با a_v نشان می دهند و مقدار آن برابر است با:

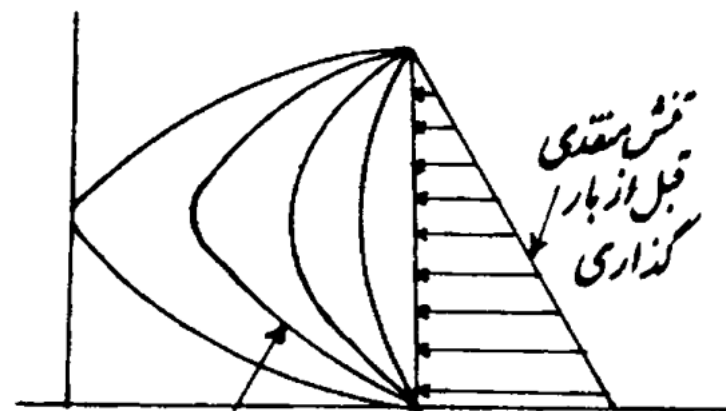
$$a_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \quad (6)$$

علامت منفی به این خاطر است که با

افزایش تنش، مقدار نسبت پوکی خاک کاهش می یابد



(الف)



شکل (۲)

سرعت تحکیم (ب)

$$V = Ki \quad \vdots$$

.

$$A \quad i \quad t_o \quad V \quad Q$$

$$Q = Ki A t_o \quad \vdots$$

$$z \quad t$$

$$i_z = \frac{\partial h}{\partial z} \quad \vdots$$

$$\vdots \quad h \gamma_w \quad u$$

$$i_z = \frac{\partial h}{\partial z} = \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z}$$

⋮

$$z + dz$$

$$i_{z+dz} = i_z + \frac{\partial i_z}{\partial z} dz = \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dz$$

Q_{in} dt Q_{out}

$$Q_{in} = k i_z A dt = k \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \cdot 1 dt$$

:

$$Q_{out} = k i_{z+dz} A dt = k \left[\frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dz \right] \cdot 1 dt$$

:

 Δt

$$Q_{out} - Q_{in} = k \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \cdot dz \cdot dt$$

()

.

 Δh

$$a_v = \frac{-de}{d\sigma'} \quad :$$

$$de = -a_v d\sigma' \quad :$$

u

σ'

$$\sigma' + u = \text{ثابت مقدار} \quad :$$

:

$$d\sigma' + du = 0$$

$$d\sigma' = -du$$

:

$$de = a_v du$$

:

$$de = a_v \frac{\partial u}{\partial t} dt \quad ()$$

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H \quad :$$

: dt

$$\Delta h = \frac{de}{1 + e_o} dz$$

: () de

$$\Delta h = \left(a_v \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \cdot dt \right) \frac{1}{1 + e_o} dz \quad ()$$

: () ()

$$k \frac{1}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dz dt = \left(a_v \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \cdot dt \right) \frac{dz}{1 + e_o}$$

:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left[\frac{k(1 + e_o)}{a_v \gamma_w} \right] \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad ()$$

()

C_v

$$C_v = \frac{k(1 + e_o)}{a_v \gamma_w}$$

.

()

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_o}$$

:

()

()

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_o}$$

u

.

.

.

t, z

.

u

.

.

t, z

j, i

$:(\quad)$

t

J

z

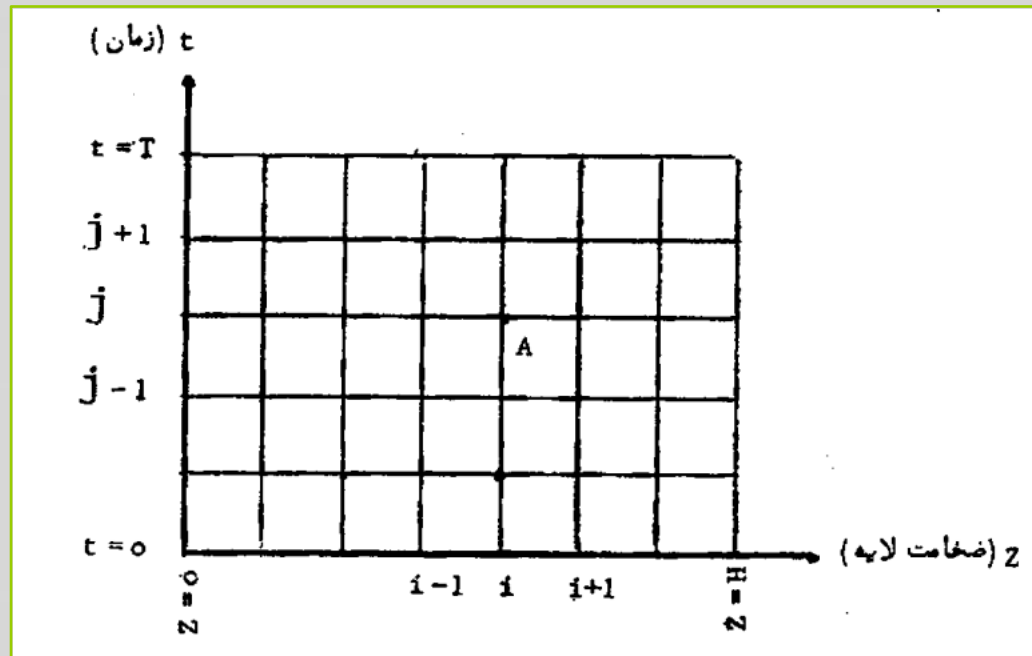
i

.

i, j

A

$u_{i,j}$



(z, t)

:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} \quad ()$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{(\Delta z)^2} \quad ()$$

:

() ()

$$\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} = C_v \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{(\Delta z)^2}$$

$$\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} = C_v \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{(\Delta z)^2}$$

t

$u_{i,j+1}$

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} + A(u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j})$$

()

$$A = \frac{C_v \Delta t}{(\Delta z)^2}$$

$A \approx 0.2$

$A < 0.5$

Δt

Δt

()

()

$7.9m^2 / year$ c_v

.

:

()

.

⋮

$$\Delta z = 2$$

:

Δt

$$A = 0.2$$

$$A = \frac{C_v t}{(\Delta z)^2} \Rightarrow 0.2 = \frac{7.9 \Delta t}{2^2} \Rightarrow \Delta t = 0.1$$

n z

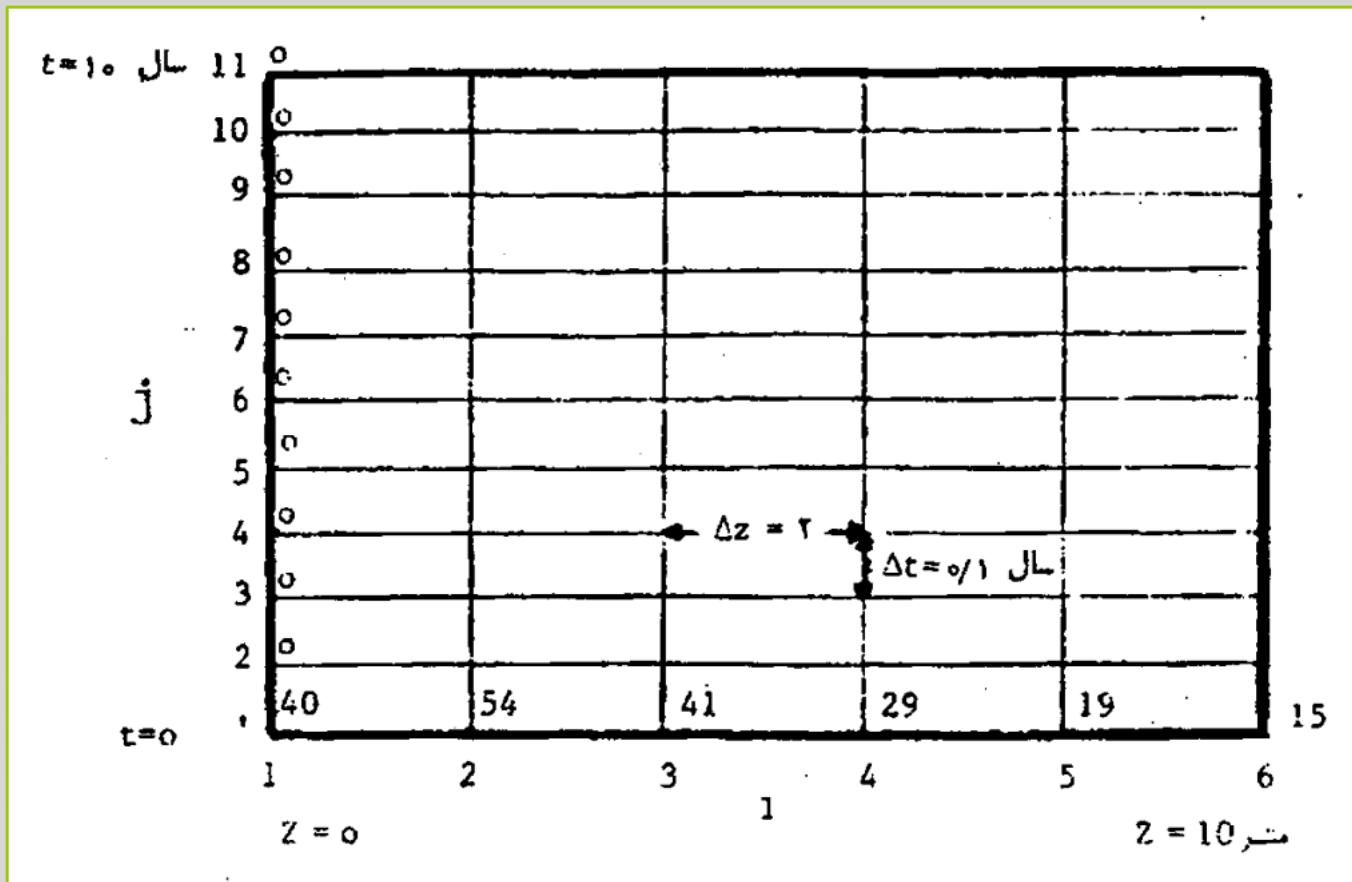
⋮

$$n = \frac{\text{ضخامت لایه}}{\Delta z} + 1 = \frac{10}{2} + 1 = 6$$

:

m, t

$$m = \frac{\text{زمان}}{\Delta t} + 1 = \frac{10}{0.1} + 1 = 11$$



:

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} + 0.2(u_{i-1,j} - 2u_{i,j}) \quad (\quad)$$

$$i = n$$

$$j = 1 \Rightarrow m$$

$$u_{i-1,j} = u_{i+1,j}$$

$$z = 15$$

:

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} + 0.2(u_{i-1,j} - 2u_{i,j})$$

()

$$i = n$$

$$j = 1 \Rightarrow m$$

$$(i = 1)$$

$$(j = 1)$$

.

.

u

$$u_{2,2} = u_{2,1} + 0.2(u_{1,1} - 2u_{2,1} + u_{3,1})$$

$$i = 2, \quad j = 1$$

:

$$u_{2,2} = 54 + 0.2(0 - 2 \times 54 + 41) = 40.6 \text{ KN} / m^2$$

$$u_{3,2} = u_{3,1} + 0.2(u_{2,1} - 2u_{3,1} + u_{4,1})$$

$$i = 3, j = 1$$

$$u_{3,2} = 41 + 0.2(54 \times 2 + 41 + 29) = 41.2 \text{ KN} / m^2$$

: () $u_{5,2}$ & $u_{4,2}$

$$u_{4,2} = 29.4 \text{ KN} / m^2$$

$$u_{5,2} = 20.2 \text{ KN} / m^2$$

: () $u_{6,2}$

$$u_{6,2} = u_{6,1} + 0.2(2 \times u_{5,1} - 2 \times u_{6,1})$$

$$i = 6, j = 1$$

$$u_{6,2} = 15 + 0.2(2 \times 19 - 2 \times 15) = 16.6 \text{ KN} / m^2$$

i $j=2$ $u_{6,3}$ $u_{3,3}$

11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	J 1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13/1	14/1	15/2	16/3	18/5	20/7	23/10	27/15	32/22	40/35	54	2
21/9	23/2	24/6	26/3	28/2	30/4	32/9	35/7	38/5	41/2	41	3
25/3	26	26/7	27/5	28/3	29/0	29/6	30/0	29/9	29/4	29	4
25/2	25/2	25/1	24/9	24/5	24/0	23/3	22/4	21/3	20/2	19	5
24/7	24/4	24	23/4	22/6	21/7	20/6	19/4	18/0	16/6	15	6

برنامه حل عددی معادله تحکیم و محاسبه توزیع فشار منفذی در اثر تحکیم

اجرای برنامه