

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

موضوع :

خاکهای رَمبند و روشهای اصلاح آنها

تهیه و تنظیم

سید ابوالفضل حیدری

Heidari, seyed abolfazl

[www.mohandesidl.ir](http://www.mohandesidl.ir)

# سر فصل ها :

مقدمه

تعریف رمبندگی

تاریخچه

بررسی عوامل موثر در میزان رمبندگی

روند مطالعات صحرایی

مطالعات آزمایشگاهی

معیار های رمبندگی

روشهای اصلاح رمبندگی

منابع و مراجع

## مقدمه:

- اصولاً در طبیعت خاکها به انواع مختلف و گونه های متفاوتی یافت می شوند.
- و یکی از مشکلات اصلی نیز ساخت و ساز بر رزوی آنها به عنوان بستر خاکی است
- در اصطلاح مهندسی ژئوتکنیک برخی از خاکها دارای رفتار ویژه ای بوده و ساخت و ساز بر روی آنها مشکلات بلقوه ای دارد که به آنها خاکهای مسئله دار می گویند و در تین میان خاکهای رمبنده به عنوان بخش مهمی از خاکهای مسئله دار دارای اهمیت هستند.
- وجود خاکهای رمبنده در ۵ قاره جهان گزارش شده است و در ایران نیز بیشتر در نواحی بیابانی مرکزی یافت می شوند.
- ضرورت بررسی خاکهای رمبنده با توجه به گسترش نسبتاً وسیع این خاکها و لزوم طراحی سدها و کانالهای آبیاری و سایر ابنیه فنی در این مناطق و با توجه به توسعه شهرنشینی و لزوم گسترش شهرهای بزرگ و احداث مناطق مسکونی و لوله های آب و فاضلاب بر روی این خاکها اهمیتی زیاد پیدا می کند .

## تعریف پدیده رمبندگی:

رمبندگی به ریزش ناگهانی در اثر از دست رفتن مقاومت عامل پیوند دهنده ذرات خاک اطلاق می شود. (جنینگز و نایت ، ۱۹۷۵)





## خاکهای رمبنده:

این نوع خاکها به رطوبت حساس هستند و در اثر افزایش رطوبت دچار کاهش حجم شده و مکانیزم ریزشی آنها شروع می شود و خاکهایی که داری بیشترین پتانسیل ریزشی هستند ، غالبا در شرایط آب و هوای گرم و نیمه خشک دیده می شوند.

بنابراین نفوذ آب سطحی ، نشت از لوله ها و یابالا آمدن سطح آب زیر زمینی یا هر فرآیند دیگری موجب به وقوع پیوستن نشست های زیادی در این نوع خاکها می شود.

## تاریخچه:

- بررسی پیشرفتهای انجام شده در مکانیک خاک و پی در حوالی سالهای ۱۹۵۰ موید این مطلب است که مهمترین تحقیقات بر روی خاکهای اشباع انجام شده و به خاکهای غیر اشباع توجه خاصی مبذول نشده است. اما در سالهای بعد با مورد توجه قرار گرفتن این موضوع در کنفرانسهای بین المللی و همایشهای علمیمختلف طی سالها افراد زیادی نظریات و تحقیقات گوناگونی ارائه کردند و همچنین تلاشهای زیادی جهت ارائه یک مدل ریاضی و کامپیوتری برای ارزیابی رفتار این خاکها صورت گرفت.
- همچنین به موازات پیشرفت در زمینه ارائه ساز و کارهایی برای توجیه این پدیده و ارائه معیارها و تجهیزات آزمایشگاهی و صحرایی برای ارزیابی خاکهای رمبنده محققین مختلف تحقیقاتی در مورد روشها نحوه بهسازی خاکها رمبنده انجام داده اند.



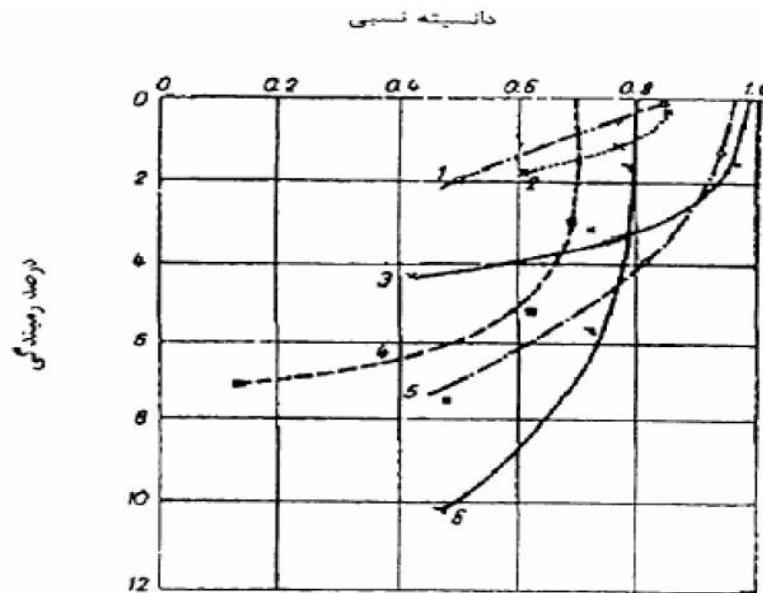
## بررسی عوامل موثر در میزان رهمندگی:

۱. دانسیته نسبی
۲. دانه بندی و درصد انواع ذرات تشکیل دهنده خاک
۳. عوامل سیمانی کننده
۴. تاثیرات دست خوردگی نمونه



# ۱. دانسیته نسبی:

بررسی نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده نشان می دهد که بین مقدار رمبندگی و دانسیته خاک ارتباط مشخصی وجود دارد به طوری که هر چه دانسیته نسبی خاک کمتر باشد میزان درصد رمبندگی بیشتر خواهد بود.

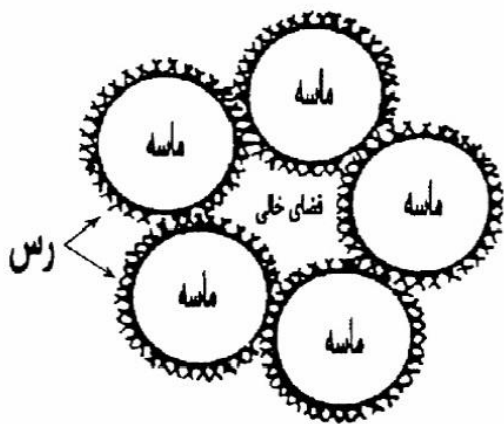


رابطه بین دانسیته نسبی خاک و درصد رمبندگی خاک

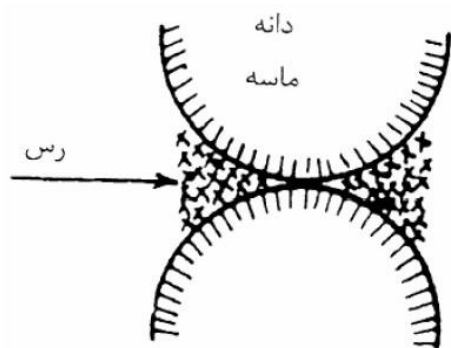
۱- ماسه دانه ریز ۲- ماسه دانه درشت ۳- شن ۴ و ۵- شن دانوب ۶- شن خیلی درشت



## ۲. دانه بندی و درصد انواع ذرات تشکیل دهنده خاک:

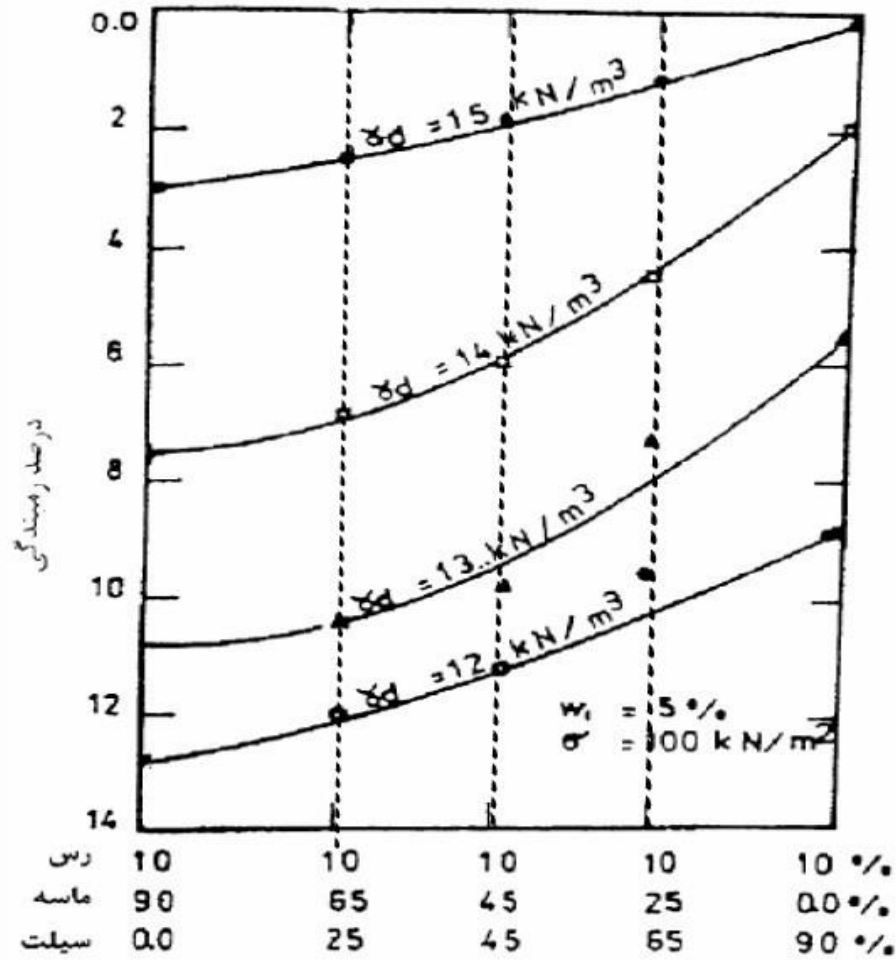


تصویر شماتیک از نحوه پوشش ذرات ماسه توسط ذرات رس



پیوند ذرات ماسه‌ای توسط ذرات رس

نوع ذرات از جهت درشت و ریز دانگی و گرد یا تیز گوشه بودن و خواصی از جمله سیمنی بودنشان داری اهمیت است. برای مثال خاکی با ترکیب دانه های رس ، سیلت ، ماسه در نظر می گیریم . برای خاکهایی با درصد معینی از رس هرچه ذرات ماسه بیشتر از سیلت باشند مقدار رمبندگی بیشتر خواهد بود.و این موضوع را به این صورت می توان بیان کرد که درجه گردگوشه بودن ذرات خاک در غلتیدن و لغزش ذرات روی هم تاثیر اساسی دارند و با توجه به گرد گوشه بودن ماسه در مقابل سیلت که ذرات آن نسبتا گوشه دار و گوشه دار هستند غلتیدن ذرات ماسه روی هم آسانتر از ذرات سیلت روی هم خواهد بود و در خاکهای ماسه ای و سیلتي که درصد کمی رس داشته باشند رسها نقش پوشانند ذرات ماسه و سیلت را برعهده دارند و باعث اتصال این ذرات با هم می شوند و حداکثر میزان رمبندی در حالتی است که خاک ماسه ای و سیلت فاقد رس باشند.



تأثیر نسبت درصدهای مختلفی از ذرات ماسه و سیلت بر رهمبندگی خاک

درصد رهمبندگی در عمق 10 متری از ذرات ماسه و سیلت در رهمبندگی 5%

درصد رهمبندگی در عمق 10 متری از ذرات ماسه و سیلت در رهمبندگی 5%

## ۳. عوامل سیمان کننده:

- عوامل سیمان کننده می توانند ذرات سیلتی ، بانده ای رسی ، اتصالات رسی ، کربنات کلسیم ، اکسید آهن و املاح با درجه انحلال بالا و مواد آلی باشد.
- اگر سیمان بین ذرات از جنس کربنات کلسیم باشد بیشترین مقدار رمبندگی را خواهیم داشت .
- اگر به جای عوامل سیمان کننده مقاومت خاک ناشی از نیروی موینگی باشد رمبندگی سریعتر اتفاق می افتد ولی در حالت سیمان شدگی شیمیایی رمبندگی کندتری را شاهد خواهیم بود.
- در صورتی که درصد رس موجود در خاک نسبتا بالا باشد ، اشباع شدن خاک ممکن است ۲ نوع تاثیر گوناگون ایجاد کنی. از طرفی تمایل خاک به رسیدن به حالت پایدار و در نتیجه کاهش حجم و از طرف دیگر تورم کانیها را باید در نظر داشت.



## ۴. تاثیر دست خوردگی نمونه:

تجارب به دست آمده در دهه های گذشته نشان می دهد روش نمونه گیری تاثیر اساسی در تشخیص رفتار خاکهای نمونه دارد. برای مثال مقایسه ای توسط میلوویچ در سال ۱۹۸۸ بین نمونه های لس (خاکی شل با ذرات سیلتی بالا ، متخلخل و به رنگ زرد نخودی) بدست آمده از نمونه گیری پیستونی دست خورده و نمونه گیری بلوکی دست نخورده انجام شده است که مشاهده می کنید:

B: نمونه دست خورده

$$\gamma_d = 16,3 \text{ kN/m}^3$$

$$\omega_o = 16,5$$

$$E = 5000 \text{ kPa}$$

$$q_u = 80 \text{ kPa}$$

A: نمونه دست نخورده

$$\gamma_d = 17,48 \text{ kN/m}^3$$

$$\omega_o = 16,5 \%$$

$$E = 19200 \text{ kPa}$$

$$q_u = 187 \text{ kPa}$$

# روند مطالعات صحرائی در بررسی پدیده رمبندگی:

این روند در ۴ بخش بیان می گردد:

۱. بررسی محلی

۲. طرح ریزی شناسایی صحرائی

۳. روش های گمانه زنی

۴. نمونه گیری از خاک



## ۱. بررسی های محلی:

- در این مرحله با تجزیه و تحلیل اشکال ویژه ای که خاکهای رمبنده در مقیاس وسیع بر روی زمین ایجاد می کنند می توان اقدام به ارزیابی مقدماتی جهت یافتن خاکهای رمبنده به عمل آورد.
- در این مرحله میتوان از عکس های هوایی و نقشه هایی زمین شناسی برای تشخیص مقدماتی استفاده کرد.
- برای مثال در مورد لسهها هم ارتفاع بودن تپه های لسی و طرح زهکش دندانه ای و پر مانند و دیوارهای قائم مرتفع و پایدار ، و رنگ زرد نخودی را مورد توجه قرار داد.



## ۲. طرح ریزی شناسایی های صحرائی:

● برنامه شناسایی برای یک سازه مشخص به چهار مقوله به شرح زیر تقسیم می شود:

۱. گرد آوری اطلاعات موجود در سازه ای مورد نظر:

اطلاعاتی شامل نوع سازه و کاربری، احتیاجات آئین نامه های ساختمانی و ...

۲. جمع آوری اطلاعات موجود برای شرایط تحت الارضی:

در صورتی که مهندس ژئوتکنیک مسئول پروژه برنامه ای برای کسب و مطالعه اطلاعات موجود از قبل در زمین های مجاور داشته باشد صرفه جویی قابل ملاحظه ای در برنامه و هزینه شناسایی صحرائی به وجود می آید .

نقشه های زمین شناسی که توسط سازمان زمین شناسی برای نقاط مختلف کشور تهیه شده است و گزارشات شناسایی صحرائی موجود که برای مناطق مجاور تیه شده است منابع خوبی خواهند بود.

۳. بازدید مقدماتی منطقه :

در یک بازدید محلی از منطقه مورد نظر و مناطق مجاور در خیلی از مواقع اطلاعاتی به دست می آید که برای طراحی های آینده بسیار گرانبهاست ، به طور مثال نوع رویدنی های موجود در سطح زمین گاهی مواقع ممکن است نشانه هایی از نوع خاک تحت الارضی موجود بدهند.

۴. عملیات شناسایی تفصیلی :

در این مرحله گمانه های متعددی برای اخذ نمونه های دست خورده و دست نخورده در اعماق مختلف برای مشاهده و آزمونهای آزمایشگاهی حفر می کنند.

## ۳. روش های گمانه زنی:

- روشهای مختلفی برای گمانه زنی در صحرا وجود دارد که ساده ترین آنها استفاده از مته هاست.
- البته خاکهایی که از این طریق به دست می آیند دست خورده هستند و می توان از آنها در آزمایش انه بندی و حدود اتربرگ استفاده کرد.

## ۴. نمونه گیری از خاک :

● کلا ۲ نوع نمونه گیری داریم ، دست خورده و دست نخورده که البته تهیه نمونه کاملا دست نخورده عملا غیر ممکن است ، چون در اثر نمونه برداری خاک دچار انبساط می شود که مقدارش مجهول است و فروریختن نمونه باعث وارد شدن تنش های برشی به نمونه می شود که آرایش خاک را تغییر می دهد و همچنین حذف فشار ایستابی می تواند باعث تشکیل حبابهای هوا در خاک گردد.



# مطالعات آزمایشگاهی :

## شناسایی خصوصیات خاک و بررسی پتانسیل رمبندگی

- برای بدست آوردن نوع خاک و خواص فیزیکی و مکانیکی آن باید یک سری آزمایش بر روی نمونه های دست نخورده انجام داد.
- خواص شیمیایی خاک در انتخاب نوع تثبیت کننده دارای اهمیت است.
- در ادامه به آزمایشات و اهداف اشاره می شود:

۱. آزمایش دانه بندی :

در این آزمایش درصد دانه های خاک به تفکیک نوع آنها مشخص می شود.

۲. آزمایش تعیین حدود اتربرگ :

که هدف از این آزمایش مطالعه رفتار خاک در مجاورت آب می باشد و همچنین از حدود اتربرگ برای کنترل خصوصیات خاک مورد استفاده در خاکریزها نیز استفاده می شود.

در این آزمایش حد روانی LL ، حد خمیری PL و نشانه خمیری PI را به دست می آوریم.

۳. آزمایش تعیین چگالی

۴. آزمایش تحکیم:

در این آزمایش یک نمونه خاک در دستگاه ادئومتر قرار گرفته و فشار قائم تا رسیدن به فشارهای احتمالی زمین واقعی افزایش داده می شود. در این تراز بارگذاری آب به دستگاه تزریق و نمونه اشباع و تغییر شکل های احتمالی در اثر فرو نشست ثبت می گردد.

۵. آزمایشات شیمیایی:

از طریق این آزمایشات به ترکیبات شیمیایی خاک پی خواهیم برد و درصد عناصری چون سولفات و کلر و کلسیم و سدیم را می یابیم و از PH خاک مورد نظر مطلع می شویم.

# معیار های رمبندگی:

در طول سالهای مختلف معیار های گوناگونی برای شناسایی خاکهای فرو ریزشی ارائه شده است که تعدادی از مهمترین ها در ادامه مطرح می شود.

## معیار ابلف، ۱۹۴۸:

ابلف (۱۹۴۸) اولین بار ضریب رمبندگی ( $\delta_s$ ) را مطرح نمود که برای ارزیابی کمی رمبندگی خاک استفاده می شود:

$$\delta_s = \frac{\Delta e}{1 + e_1}$$

$\Delta e$  = کاهش نسبت تخلخل خاک بعد از اشباع شدن.

$e_1$  = نسبت تخلخل خاک قبل از مرطوب شدن.

در این معیار هرگاه ( $\delta_s$ ) بزرگتر از ۲٪ باشد، خاک رمبنده به شمار می رود.



## معیار کلونجر، ۱۹۵۹:

کلونجر (۱۹۵۹) معیاری برای ارزیابی رمبندگی خاکها بر اساس چگالی خشک ارائه نمود که بر اساس آن اگر چگالی خشک خاک کمتر از  $1/28 \text{ g/cm}^3$  باشد، در این صورت خاک مستعد نشست قابل ملاحظه‌ای است. از طرف دیگر، اگر چگالی خشک بیش از  $1/44 \text{ g/cm}^3$  باشد، در این صورت مقدار رمبندگی باید کم باشد، و در چگالی متوسط، نشست‌ها حالت بینابینی دارند.

## معيار گيبس و بارا، ۱۹۶۲:

گيبس و بارا (۱۹۶۲) استفاده از وزن واحد حجم خشک و حد روانی را به عنوان معیاری برای تفکیک انواع خاکهای رَمبنده و غیررَمبنده پیشنهاد نمودند. روش آنها بر این فرض استوار است که خاکی که میزان فضای خالی آن گنجایش درصد رطوبت حد روانی خاک را در حالت اشباع دارد مستعد رَمبندگی در اثر اشباع شدن است. معیار مذکور تنها هنگامی معتبر است که خاک سیمانی نشده باشد و نیز حد روانی بالای ۲۰٪ باشد.

معیار دنیسف، ۱۹۶۴:

دنیسف (۱۹۶۴) از نسبت  $\frac{e}{e_{II}}$  برای تعیین رمبنده بودن خاک استفاده کرده است. در این معیار  $e_{II}$

نسبت تخلخل در حالت روانی و  $e$  نسبت تخلخل خاک در حالت طبیعی است. در این معیار هرگاه

$\frac{e}{e_{II}} > 1$  باشد خاک رمبنده محسوب می‌شود.



## معیار فدا، ۱۹۶۶:

فدا (۱۹۶۶) شاخص رمبندگی زیر را پیشنهاد کرده است:

$$i_c = \frac{m/sr - PL}{PI}$$

که در آن  $m$  عبارتست از درصد رطوبت طبیعی و  $sr$  درجه اشباع،  $PL$  حد خمیری، و  $PI$  شاخص خمیری خاک. وی همچنین پیشنهاد کرد که خاک باید پوکی بحرانی بزرگتر مساوی ۴۰٪ داشته باشد و نیز بار اعمال شده باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا موجب رمبندگی ساختاری خاک به هنگام اشباع شدن باشد. همچنین وی چنین نتیجه‌گیری نموده است که هرگاه شاخص رمبندگی بزرگتر از ۰/۸۵ باشد، آنگاه این مقدار معرف خاکهای نیمه پایدار است. پوکی بحرانی، عبارتست از مقدار پوکی که خاک به ازای مقدار پوکی بیشتر از آن مستعد رمبندگی خواهد بود.

## معیار فوکز و بست، ۱۹۶۹:

فوکز و بست (۱۹۶۹) نیز یک شاخص رمبندگی ( $I_c$ ) پیشنهاد کرده‌اند که نسبت تخلخل‌های مذکور را به صورت زیر شامل می‌شود:

$$I_c = \frac{e_0 - e}{e_l - e_p}$$

$e_0$  - نسبت تخلخل خاک در حالت طبیعی

$e$  - نسبت تخلخل بحرانی خاک.

$e_l$  - نسبت تخلخل در حد روانی خاک.

$e_p$  - نسبت تخلخل در حد خمیری خاک.

هرگاه  $I_c$  بزرگتر از واحد باشد، خاک رمبند به حساب می‌آید.

## معیار هندی، ۱۹۷۳:

هندی (۱۹۷۳) استفاده از نسبت حد روانی به درصد رطوبت خاک در حالت اشباع را برای تعیین رمبندگی خاک پیشنهاد نمود. خاکهایی که در آنها نسبت مذکور کمتر از یک باشد رمبند و خاکهایی که در آنها نسبت مذکور بیش از یک باشد غیررمبند محسوب می‌شوند.



## معیار زار و وایزمن، ۱۹۷۳:

این معیار بر اساس نسبت وزن حجمی خشک خاک در محل به وزن حجمی خشک خاک در حالت اشباع ارائه شده است، می توان ارزیابی اولیه ای از میزان رمبندگی خاکها بدست آورد. در این

معیار اگر نسبت  $\frac{\gamma_{do}}{\gamma_{sat}}$  1.1 باشد خاک رمبنده محسوب می شود.

## معیار لین و وانگ، ۱۹۸۸:

در بسیاری از نواحی شمالی و مرکزی استان شان آن سی چین، لس‌ها تحت وزن طبقات فوقانی خود در هنگام جاری شدن سیلاب در منطقه تمایل به رمبندگی نشان می‌دهند، لین و وانگ (۱۹۸۸) رمبندگی تحت وزن خود خاک و شاخص  $i_{cz}$  را بصورت زیر تعریف کردند:

$$i_{cz} = \frac{h_z - h_{zs}}{h_1} \quad [۱۱-۲]$$

که در آن  $i_{cz}$  ضریب رمبندگی تحت وزن خود خاک،  $h_z$  ارتفاع نمونه در دستگاه تحکیم تحت فشار طبقات فوقانی که نمونه از آن عمق اخذ شده است،  $h_{zs}$  ارتفاع مشابه تحت فشار طبقات فوقانی مشابه در شرایط اشباع و  $h_1$  ارتفاع اولیه نمونه است.

- همچنین می توان به معیار های زیر نیز اشاره کرد:
  - معیار بر اساس حد روانی و دانسیته خشک در محل
  - معیار ASTM مبتنی بر نتایج تک آزمایش تحکیم مضاعف و معیار هانستون.



# روشهای اصلاح خاکهای رمبنده:

- بهترین تکنیک یا ترکیب روشهای کاهش فروریزی برای پروژههای با خاک فروریزی یا رمبنده بستگی دارد به عوامل مختلفی از جمله:
  ۱. زمانبندی مراحل فروریزی خاک و اینکه آبا در زمان مطالعات یا حین ساخت و یا بعد استقرار سازه رخ دهد.
  ۲. منابع اصلی اعمال تنش ، سرباره یا بارهای سازه‌ای
  ۳. حدود عمق خاکهای فروریزی که عمیق یا سطحی هستند.
  ۴. منابع احتمالی ترشده‌گی
  ۵. هزینه اصلاح کاهش فروریزش ، شامل هزینه های خطر پذیری و قابلیت اعتماد که با توجه به موارد فوق یک روش مناسب برای پروژه مورد نظر انتخاب می شود.

۱. جمع آوری خاکهای حساس به رطوبت
۲. جمع آوری و ترکم مجدد
۳. اجتناب از تر شدگی
۴. پایدار سازی شیمیایی یا تزریق
۵. پیش مرطوب کردن
۶. تر شدگی کنترل شده
۷. تراکم دینامیکی
۸. شمع ها یا پی های پایه ای
۹. روش انفجار آبی
۱۰. تراکم خاکها فروریزی با انرژی انفجار
۱۱. روش کنترل تراکم
۱۲. روش بالشتک ماسه ای

در ادامه به شرح برخی از روشهای فوق می پردازیم.

## ۲. جمع آوری و تراکم مجدد:

- وقتی خاکهای روریزی قبل از ساخت شناسایی می شوند، جمع آوری و تراکم عموماً انتخاب شده و می تواند موثر باشد و در صورتی که عمق جمع آوری خاک سطحی یا تقریباً سطحی باشد این گزینه باعث هدر رفتن هزینه اولیه نمی گردد.
- در کالیفرنیا جنوبی تا عمق ۶ تا ۱۰ متر در اکثر موارد این خاکها جمع آوری و تراکم شده اند و لازم است اطمینان حاصل گردد خاک متراکم شده دارای پتانسیل فرو ریزی اندکی خواهد بود.



## ۵. پیش مرطوب کردن:

- اساس روش پیش مرطوب کردن یا غرقاب کردن آن است که در ابتدا خاک را در مرض آب قرار می دهیم تا کاهش حج یابد، سپس سازه را احداث می کنیم.
- برای انجام این کار دور تا دور محوطه مورد نظر را با خاکریز موقتا دیوار سازی کرده و سپس درون آن را با آب پر می کنیم، پس از رطوبت گیری خاک باید یک لایه ۱۵ تا ۱۰ سانتی متری شن و ماسه روی خاک ریخته شود تا رطوبت خاک در محل عملیات ساخت حفظ شود، زمان لازم برای این روش طولانی است.

## ۷. تراکم دینامیکی:

- تراکم دینامیکی عمیق عموماً به طور گسترده در مناطق مختلف به کار برده میشود ، صفت عمیق از آن جهت به کار برده می شود که عمق خاک اصلاح شده در صورت استفاده از غلتکهای سطحی به طور قابل ملاحظه ای بیشتر است .
- به هر حال به نظر می رسد که فرآیند تحکیم تا عمق ۵ متر کار آمد بوده و بیشترین تاثیر را در اعماق ۳ متر بالایی داشته باشد و در صورتی که وزنه های نسبتاً بزرگی از ارتفاع های بالاتر سقوط کند در آن صورت کارایی می تواند تا اعماق بیشتر ادامه یابد.
- باید اشاره کرد در صورتی که کارایی تا عمق ۶ متر مد نظر باشد ممکن است تراکم در عمق ۶ متر حداقل بوده و در اعماق ۲ متر به حد قابل قبول برسد.

## ۸. اجرای شمع :

- این کار موجب انتقال بار به تراز پایین تری از کف خاک فرو ریزی یا عمق تر شدگی می گردد.
- هزینه های پی هی عمیق معمولا بالاتر از هزینه میانگین برای گزینه اصلاح است.



## ۱۰. روش تراکم فروریزی با انرژی انفجار:

- در صورت تراکم این خاکها وارد حالت تعادلی جدیدی میشوند که پایداری آن فقط در صورتی تامین می شود که کرنش حجمی آن به اندازه کافی بزرگ و تغییرات درجه آزادی بین ذرات کامل باشد در میان منابع انرژی که توانایی باز آرای ذرات در یک توده خاکی در رطوبت بهینه و یا ایجاد یک بهم خوردگی در ساختار خاکهای فروریزی در حالت غرقاب را دارند ، انفجار یکی از مهمترین آنهاست.
- سازمانهای مختلفی روشهای تراکم فروریزی را بررسی کرده و آنها را به ۲ گروه طبقه بندی کرده اند.
  - گروه اول: انرژی حاصل از یک انفجار که مستقیماً موجب تراکم یک خاک غرقاب شده که به حد مایع نرسیده و فقط پیوند هسته ای بین ذرات آن شدیداً تضعیف شده است که البته طراح و مجری موظف هستند که بهم خوردگی یک نواخت ساختار خاک در تمام توده خاک غرقاب مطمئن شوند.
  - گروه دوم: ناحیه متراکم با عملکرد انرژی حاصل از انفجار همزمان مجموعه ای از خرجها در یک توده خاکی فروریزی ایجاد می شود.

# ۱۱. تزریق :

- برجسته ترین موقعیت در تزریق مربوط به زمانی است که از تزریق در معادن استفاده شد.
- تکنیک تزریق همزمان با دوره ساخت سدهای بزرگ رشد یافته است. ساخته شدن بعضی از این سدها فقط در اثر عملیات تزریق امکان پذیر بوده است . مخصوصا سدهای خاکی با دهها متر ارتفاع که بر روی رسوبات آبرفتی ضخیم قرار گرفته بودند. اجرای اینگونه سدهای خاکی یک اثر انکار ناپذیر روی تکنیک تزریق در زمین های آبرفتی داشت و سبب پیشرفت زیادی در آن شد البته در آنزمان تزریق در سنگ ها کاملا شناخته شده بود.
- بهسازی زمین منطقه ای با تزریق با تزریق توسط یک مهندس همانند معالجه یک بیمار توسط یک پزشک است. همانطور که یک پزشک برای معالجه به شناخت کامل وضع بیمار و اطلاع از داروها اقدام می نماید یک مهندس نیز با آشنایی کامل با وضعیت و مشخصات زمین منطقه و توجه به خاصیت هر دوغاب جهت بهسازی زمین اقدام به تزریق نموده و اینکار باید برای شناخت کامل از وضعیت زمین با نمونه برداری و آزمایشات ضروری و همچنین شناخت انواع دوغابها و موارد کاربرد آنها انجام شود.



- تزریق با ۲ یا چند تا از مکانیسم ۳گانه باعث اصلاح خاک می شود. اول در صورتی که لزجت دوغاب به اندازه کافی کم و نفوذ پذیری خاکی به اندازه کافی زیاد باشد تادوغاب به سادگی در خاک نفوذ کرده و مقاومت آن را شدیداً افزایش خواهد داد. دوم برای دوغاب با لزجت بالاتر و خاکی با نفوذ پذیری پایین تر ذرات دوغاب باعث فشردگی و تراکم خاک اطراف می شود که این فرایند را دوغاب تراکم می گویند. مکانیسم سوم که می توان آن را تسطیح خاک نامید مستقل از رخداد مکانیسم نفوذ یا تراکم ، در صورتی که دوغاب کافی در مکانها و عمق های مناسب ریخته شوند ، نواحی دوغابی تحت باربری بارهای سازه و سربار جواب داده و نواحی سست باقی مانده بین ذرات دوغاب تا حدودی باربر خواهند شد
- مزیت قابل توجه تزریق این است که می توان بعد از استقرار سازه نیز مورد استفاده قرار گیرد و عیب اصلی تزریق هزینه اولیه بالای آن است که به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از سایر گزینه هاست .

● یک مهندس طرح هنگام استفاده از تزریق باد در مورد موارد زیر تصمیم بگیرد:

- ۱ . محل گمانه ها و عمق آنها
- ۲ . میزان پر شدگی درزها و منفذها
- ۳ . مشخصات دوغاب یا دوغابهای که باید به کاربرده شوند.
- ۴ . برنامه کار و مراحل اجرای تزریق



○ برای تصمیم‌گیری به اطلاعات زیر نیاز است:

۱. نتایج واطلاعات کامل و موثق در مورد مکانیک خاک مورد نظر  
۲. اطلاعات کافی در مورد ابعاد هندسی حجمی که باید عمل تزریق و بهسازی انجام شود.

۳. میزان تغییراتی که در خاک در اثر تزریق صورت می‌گیرد.

• مرحله بعدی ساخت و عمل آوری دوغاب است:

• تهیه دوغاب خاص همیشه نیازمند یک رشته عملیات آماده‌سازی است حتی اگر ترکیبات دوغاب به صورت مخلوط آماده و حاضری در اختیار باشد. تائسیسات مورد نیاز به طور کلی به مقدار دبی و کل حجم دوغابی که باید تزریق شود بستگی دارد.

## نازل های تزریق :

● نازل های تزریق در واقع آخرین وسیله انتهایی ترین وسیله در عملیات تزریق هستند که دوغاب را به دل زمین تزریق می کنند. ۳ نوع نازل داریم که هر کدام کاربرد خاصی دارند.

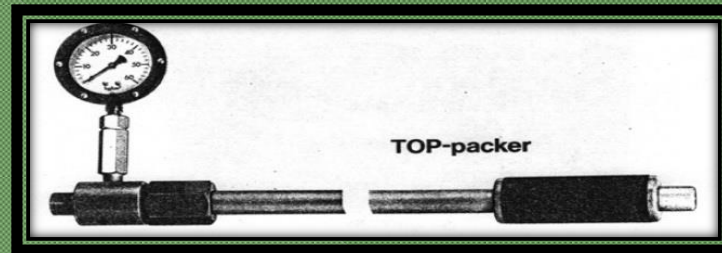
۱. USE پوکر :

این نوع پکر ها خود منبسط شونده محکم و یک وسیله چند منظوره می باشند که نه تنها از آنها به عنوان نازل تزریق استفاده می شود بلکه برای مشخص کردن قابلیت نفوذ پذیری زمینهای سنگی و اندازه گیری میزان افت آب نیز به کار می روند.



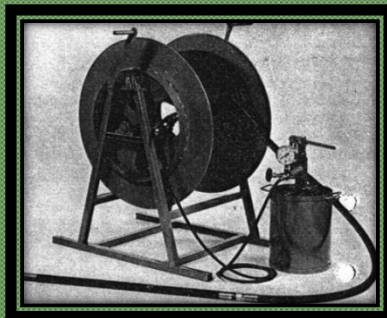
## ۲. TOP پکر :

وقتی امکان تزریق تمام گمانه ها در یک عملیات میسر باشد از این پکر استفاده می شود و در واقع برای گمانه های کم عمق استفاده می شود در نزدیکی سطح زمین قرار می گیرد.



## ۳. SPP پکر :

از این نوع پکر هم به صورت منفرد و هم به صورت دابل استفاده می شود. انبساط حلقه لاستیکی به صورت هیدرولیکی و هوای فشرده در تمام طول پکر انجام گرفته و در نتیجه جدار گمانه و حلقه لاستیکی آب بندی خوبی می شود و کمتر باعث فرسودگی پکر می شود.





# روشهای تزریق:

## الف) تزریق نفوذی: با فشار متوسط بدون خراب کردن پی

در این روش هدف این است که شکستگی های طبیعی جا به جا شوند و در این روش معمولا فشار کمتر از ۰/۱۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع در طول گمانه می باشد. موثر ترین روش تزریق تا حدی است که به تزریق تا حدی ادامه داد که ناحیه تزریق دیگر دوغاب نپذیرد و بدین منظور باید حداقل مدت ۱۵ دقیقه روی ناحیه تزریق ادامه داد تا کاهش فشار آنچنانی مشاهده نشود و از پر شدن درزها و منفذهای ناحیه مطمئن شد.

## ب) تزریق جابه جایی: تزریق با فشار زیاد با شکستن بیشتر شکافها

این روش یا عث شکافتن هیدرولیکی درزها شده و مخلوط رقیق دوغاب می تواند فشارهای هیدرولیکی را تا مدتی به درون شکستگی ها هدایت نماید. در اثر این عمل مقداری آب از دوغاب تزریق شده به بیرون رسوخ کرده پس از قطع فشار تزریق درزها بسته و آب ساکن به بیرون هدایت می گردد.

تزریق جابه جایی برای تزریق سطحی در زمین های سنگی مناسب نمی باشد چرا که ممکن است در اثر فشارهای هیدرولیکی، لایه های زمین بلند شوند، از این رو لازم است سطح سنگها با ایجاد سربار اضافی و مخلوط شکافها و درزها به منظور جلوگیری از فرار دوغاب و افت فشار قبلا به وسیله بتن پوشیده شود.

## ۳. روش بالشتک ماسه ای :

تجربه نشان داده که اگر ۱.۵ متر خاک دانه ای روی خاک رَمبنده باشد ، هیچ مشکلی از لحاظ رَمبندگی بروز نخواهد کرد. اگر درصد رَمبندگی خاک را داشته باشیم به نظر می رسد که جایگزین عمیق معینی از خاک رَمبنده با خاک دانه ای به همان نسبت رَمبندگی را کاهش می دهد و لی واقعیت این است که تاثیر یک لایه خاک دانه ای بیش از این می باشد .یکی از ارزان ترین روشهای مقابله با رَمبندگی خاک به کاربردن یک لایه ماسه بین خاک رَمبنده و سازه است. این لایه ماسه مقدار رَمبندگی را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد لذا برخی این روش را یکی از مطمئن ترین راههای مقابله با رَمبندگی خاک می دانند در عین حال به سبب ارزان بودن مصالح دانه‌های به کار رفته برای تثبیت و عدم نیاز به تجهیزات خاص قیمت آن نیز کم است. لایه ماسه را بالشتک ماسه ای می نامند.

# منابع و ماخذ:

[www.mohandesidl.ir](http://www.mohandesidl.ir)

۱. مجیدی ، علیرضا (۱۳۸۰) مکانیک خاک و مهندسی پی، چاپ اول
۲. ارجمند ، محمد علی (۱۳۷۴) رفتار شالوده های مختلف بر روی خاکها رمبندهو ریزشی
۳. کیوانی ، عبد الله (۱۳۶۹) اصول تکنولوژی تزریق ، چاپ اول
۴. مخرب ، مهدی (۱۳۷۴) بررسی عوامل موثر بر تغییر شکل حجمی خاکهای رمبنده ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه شیراز