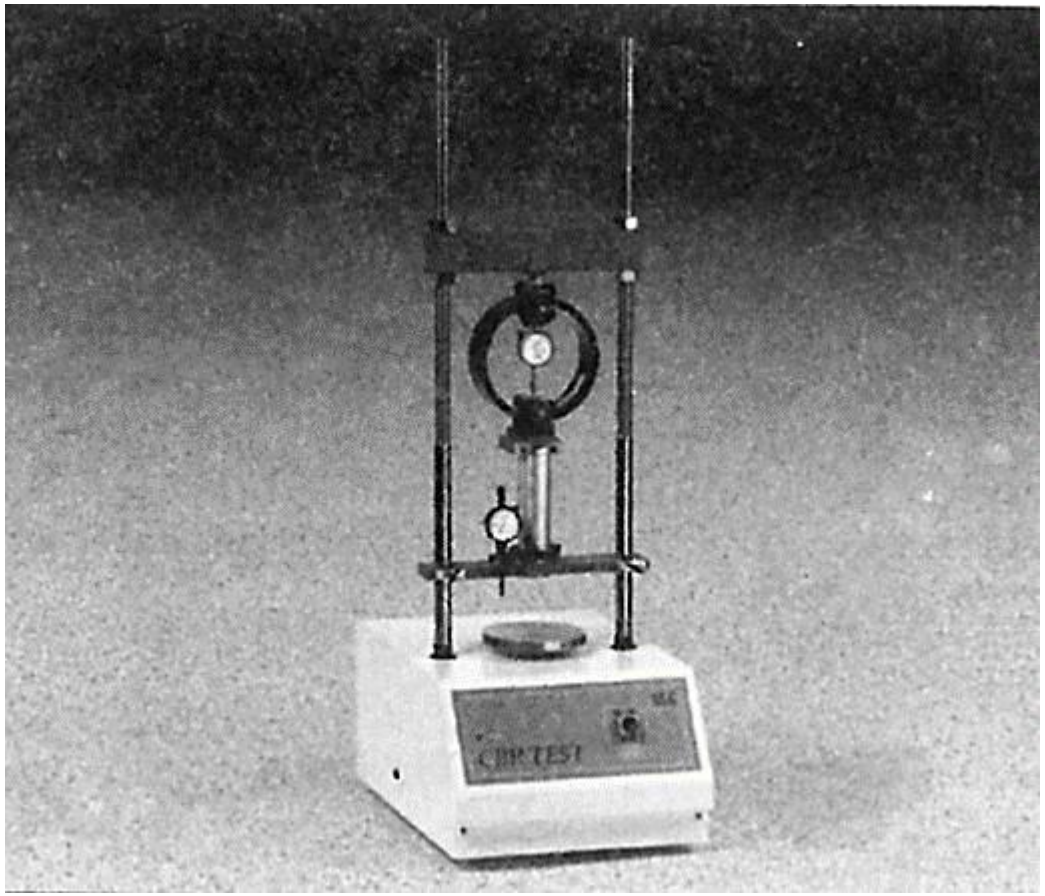
دانشگاه سمنان

آزمایش CBR (نسبت باربری کالیفرنیا)

California Bearing Ratio

AASHTO T 193-81

ASTM D 1883-87



هدف از این آزمایش، تعیین ظرفیت باربری خاک متراکم‌شده است.

آزمایش CBR متداول‌ترین روش تعیین مقاومت نسبی خاک‌ها برای راه‌سازی است.

با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان ظرفیت باربری خاک بستر و کلیهٔ لایه‌های روسازی ازقبیل زیراساس و اساس را یافت و براساس آن ضخامت این لایه‌ها را به‌دست آورد.

تئوری آزمایش

آزمایش CBR مقاومت برشی خاک را تحت شرایط کنترل‌شدهٔ درصد رطوبت و وزن مخصوص به‌دست می‌دهد این آزمایش در نهایت یک عدد را به‌عنوان نسبت باربری به‌دست می‌دهد؛ بدیهی است که این عدد برای یک خاک مشخص ثابت نیست و بستگی به شرایط تراکمی و رطوبتی خاک دارد [۱].

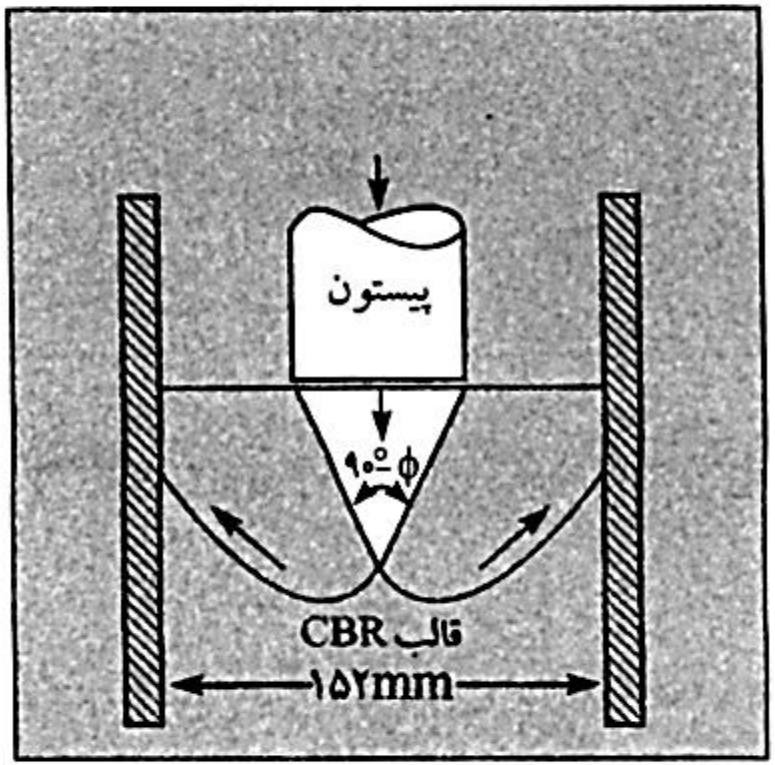
طبق تعریف، CBR یک خاک نسبت نیروی لازم برای فروبردن پیستونی با شکل، سرعت و عمق معین در خاک موردآزمایش به نیروی لازم برای فروبردن همان پیستون با همان سرعت و به همان عمق در مصالح استاندارد است، که در رابطهٔ زیر نشان داده شده‌است. مصالح استاندارد نوعی سنگ شکسته است که بار استانداردی طبق جدول ۱۶-۱ برای نفوذ پیستون استاندارد در آن موردنیاز است.

جدول ۱۶-۱: مقادیر بار استاندارد [۱].

نفوذ (mm)	بار (kg)	فشار (kg/cm^2)	فشار (MPa)
۲٫۵	۱۳۶۶	۷۰	۶٫۹
۵	۲۰۳۹	۱۰۵	۱۰٫۳
۷٫۵	۲۵۷۲	۱۳۳	۱۳٫۰
۱۰	۳۱۶۲	۱۶۳	۱۶٫۰
۱۲٫۷	۳۵۶۲	۱۸۴	۱۸٫۰

$$CBR = \frac{\text{بار استفاده‌شده در آزمایش}}{\text{بار استاندارد}} \times ۱۰۰$$

نفوذ پیستون به داخل نمونهٔ خاک با گسیختگی خاک همراه است که در شکل ۱۶-۱ به‌طور شماتیک نشان داده شده است.



مکانیزم گسیختگی نمونه تحت اثر پیستون.

آزمایش CBR معمولاً روی نمونه‌هایی انجام می‌شود که با درصد رطوبت بهینه متراکم شده باشند.

پس از متراکم کردن نمونه‌ها تحت رطوبت بهینه، آزمایش CBR به دو صورت انجام می‌شود:

الف) قالب شامل خاک متراکم‌شده بلافاصله تحت آزمایش قرار می‌گیرد.

ب) ابتدا نمونهٔ متراکم‌شده اشباع می‌شود؛ در این حالت نمونه به‌مدت ۹۶ ساعت در آب مستغرق می‌شود و در حین اشباع شدن سرباری تقریباً معادل با وزن روسازی در محل روی آن قرار می‌گیرد. در هیچ حالتی وزن سربار نباید کمتر از ۴٫۵kg باشد. در همین مدت مقدار تورم با فاصلهٔ زمانی مشخص قرائت می‌شود و در پایان دورهٔ استغراق آزمایش CBR روی نمونه در شرایط اشباع انجام می‌شود (شکل ۱۶-۲).

آزمایش روی نمونهٔ اشباع‌شدهٔ خاک بدین منظور انجام می‌شود که [۱۳]:

الف) معلوم شود که براثر اشباع شدن چه مقدار از مقاومت خاک کاسته می‌شود.

ب) معلوم شود که آیا نمونهٔ خاک دارای قابلیت تورم است یا خیر و اگر دارای این قابلیت است، مقدار آن چقدر است.

از عدد CBR می‌توان به‌صورت مقدماتی برای انتخاب خاک لایه‌های مختلف روسازی راه و فرودگاه استفاده کرد. جدول ۱۶-۳ نمایانگر این مطلب است.

جدول ۱۶-۳: تقسیم‌بندی رتبهٔ خاک براساس CBR [۱].

عدد CBR	تقسیم‌بندی	کاربرد	سیستم طبقه‌بندی	
			آشتو	یونیفاید
۳ ـ ۰	ضعیف	خاک بستر	$A5, A6, A7$	OH, CH, MH, OL
۷ ـ ۳	ضعیف تا نسبتاً خوب	خاک بستر	$A4, A5, A6, A7$	OH, MH, OL, CH
۲۰ ـ ۷	نسبتاً خوب	زیراساس	$A2, A4, A6, A7$	OL, CL, ML, SC, SM, SP
۵۰ ـ ۲۰	خوب	اساس و زیراساس	$A1b, A2-5, A3, A2-6$	GM, GC, SW, SM, SP, GP
> ۵۰	بسیار خوب	اساس	$A1a, A2-4, A3$	GW, GM

وسایل آزمایش

۱. قالب با ارتفاع ۱۷٫۸cm و قطر ۱۵٫۲cm و حلقهٔ بالایی و یک دیسک پایینی به قطر ۱۵٫۱cm و ارتفاع ۶٫۱۴cm و سایر ملحقات (شکل ۱۶-۳).

۲. چکش تراکم به وزن ۴٫۵kg.

۳. دستگاه کرنش‌سنج برای اندازه‌گیری تورم خاک با دقت ۰٫۰۱mm.

۴. وزنه‌های اِعمال سربار.

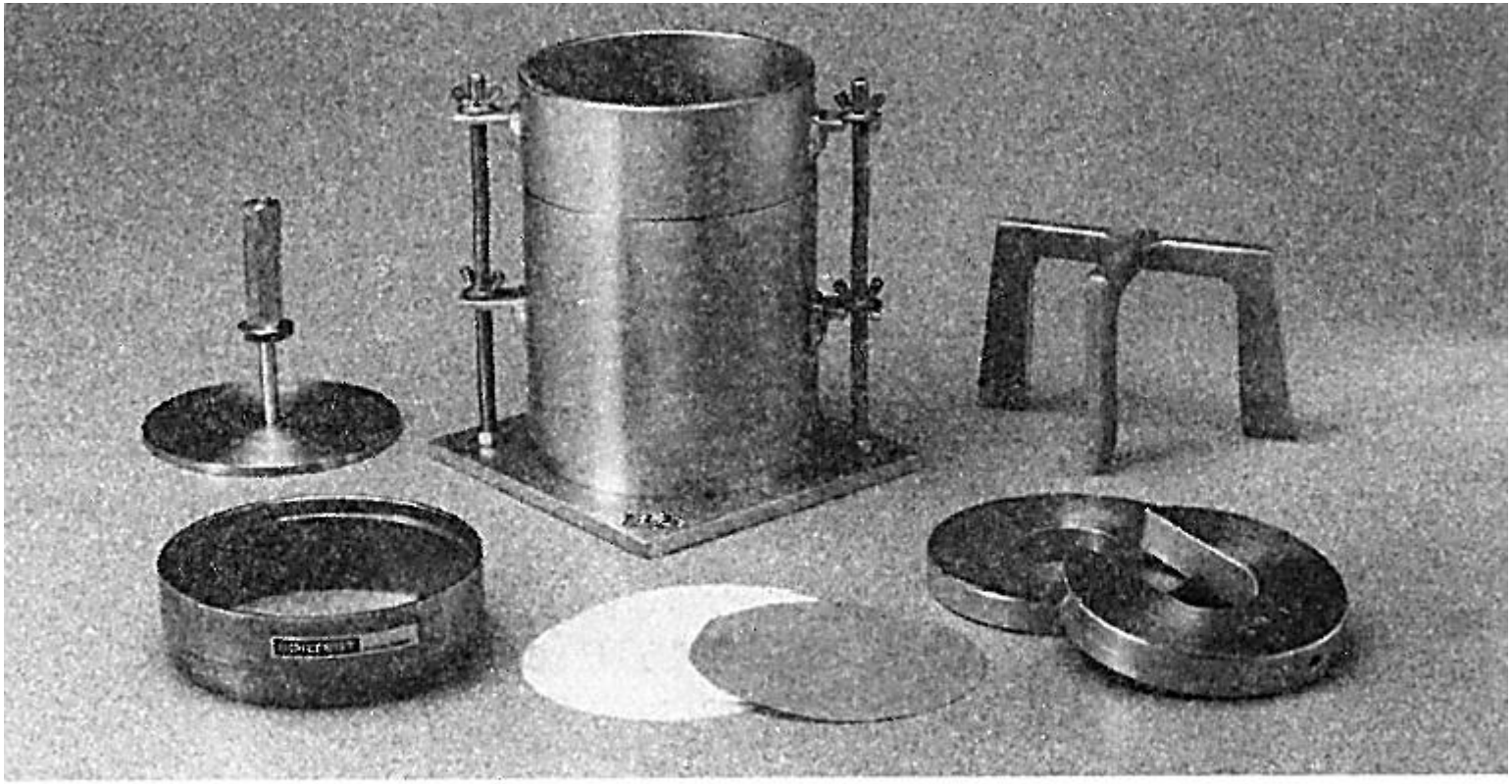
۵. پیستون فولادی با سطح مقطع $19{,}34\text{cm}^2$.

۶. وسیلهٔ اِعمال فشار، که با سرعت $1{,}27\frac{\text{mm}}{\text{min}}$ ($\frac{۱}{۲۰}$ اینچ در دقیقه) پیستون فولادی را در خاک فرومی‌برد که به‌وسیلهٔ دو گِیج، نیرو و مقدار نفوذ اندازه‌گیری می‌شود.

۷. مخزن آب برای اشباع کردن نمونه‌ها. ارتفاع آن باید طوری باشد که وقتی نمونه داخل آن گذاشته می‌شود، تا ۲٫۵cm بالای سطح نمونه را آب گرفته باشد.

۸. گرمخانه برای خشک کردن نمونه و تعیین درصد رطوبت.

۹. لوازم متفرقه، شامل سینی، قاشق، کاردک، کاغذ صافی، ترازو و خط‌کش لبه‌تیز.



وسایل آزمایش CBR [۱].

روش انجام آزمایش

این آزمایش همان‌طورکه گفته شد، به دو صورت خشک و اشباع قابل‌انجام است که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم، اما قبل از آن ذکر دو نکته لازم است:

- اگر کلیهٔ ذرات خاک دارای قطری کمتر از ۱۹mm باشند، مقدار ۵٫۵kg نمونهٔ خشک کافی است [۵].
- چون آزمایش تراکم و CBR محدود به خاک‌هایی است که اندازهٔ بزرگ‌ترین دانهٔ آن‌ها از ۱۹mm کوچک‌تر است، درمورد خاک‌های درشت‌دانه‌ای که اندازهٔ بزرگ‌ترین دانهٔ آن‌ها از ۱۹mm بزرگ‌تر است ابتدا باید با الک کردن، قسمت درشت‌تر از ۱۹mm را از بقیهٔ نمونهٔ خاک جدا کرد؛ این عمل باعث می‌شود که دانه‌بندی خاک به‌هم بخورد. اگر به‌جای وزن آن مقدار از دانه‌های خاک که به‌علت رد نشدن از الک ۱۹mm از بقیهٔ نمونه‌ها جدا می‌شود، به نمونهٔ خاک بخشی که دانه‌های آن بین ۵ تا ۱۹mm است اضافه شود، دانه‌بندی به مقدار قابل‌توجهی تصحیح می‌شود [۱].

الف) آزمایش روی نمونهٔ خشک

۱. ۵٫۵kg خاک را که از الک ۱۹mm گذشته است، آماده کنید و درصورت نیاز طبق روش گفته‌شده خاک را اصلاح کنید.

۲. قبل از انجام تراکم، یک نمونه از خاک را برای تعیین درصد رطوبت آن اختیارکنید (قاعدتاً خاک موردآزمایش باید کاملاً خشک باشد).

۳. خاک را به رطوبت بهینهٔ به‌دست‌آمده از آزمایش‌های تراکم (که قبلاً انجام شده است) برسانید و آن را متراکم کنید.

۴. قالب محتوی خاک را وزن کنید و سرباری به وزن بیش از ۴٫۵kg روی آن قرار دهید.

۵. مجموعه را روی دستگاه بگذارید و با چرخاندن دسته، آن را آن‌قدر بالا بیاورید تا با پیستون متصل به رینگ در تماس قرار گیرد و نیروسنج تکان بخورد.

۶. گیج‌های نفوذسنج و نیروسنج را روی صفر قرار دهید، آن‌گاه با سرعت ۱٫۲۷mm/min دستگاه را بالا بیاورید و در هر دقیقه نیروسنج را قرائت کنید.

۷. این عمل را تا ۱۵ دقیقه و نفوذ تقریبی ۱۲٫۵mm ادامه دهید.

۸. از زیر قسمت فشرده، وسط نمونه و زیر آن، نمونه‌هایی جداگانه برای تعیین درصد رطوبت بردارید.

محاسبات

اطلاعات زیر از آزمایش و اندازه‌گیری‌های ذکرشده قابل‌استنتاج است:

۱. وزن مخصوص خشک (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} = \frac{W_t}{V_t(1+\omega)}$$

که در آن:

W_t: وزن نمونهٔ کوبیده‌شده در داخل قالب،

ω: درصد رطوبت خاک که درحقیقت همان درصد رطوبت بهینه است،

V_t: حجم خاک داخل قالب است.

عدد CBR

روی کاغذ میلی‌متری تغییرات فشار را در برابر فرورفتگی پیستون رسم کنید. پس از رسم منحنی و تعیین مبدأ آن (تصحیح این منحنی در بخش ۶ ذکر خواهد شد) می‌توان به‌راحتی عدد CBR را که از یکی از دو نسبت زیر حاصل می‌شود تعیین کرد.

$$CBR = \frac{P_{۲٫۵}}{۷۰} \qquad \text{یا} \qquad CBR = \frac{P_{۵}}{۱۰۵}$$

که در آن، $P_{۲٫۵}$ و $P_{۵}$ عبارتند از فشارهای لازم برای فروبردن ۲٫۵mm یا ۵mm از پیستون در خاک و ۷۰ و $۱۰۵\text{kg/cm}^۲$، فشارهای لازم برای فروبردن پیستون به همان اندازه در مصالح استاندارد است. معمولاً عدد CBR مقدار $\frac{P_{۲٫۵}}{۷۰}$ است. درصورتی‌که $\frac{P_{۵}}{۱۰۵}$ مقدار بیشتری را نشان دهد، آزمایش باید مجدداً انجام شود. اگر نتیجهٔ یکسان با حالت قبل به‌دست آمد، در آن صورت عدد CBR مقدار $\frac{P_{۵}}{۱۰۵}$ خواهد بود.

بحث در خطا و دقت آزمایش

تصحیح نتایج آزمایش [۱۳]

گاهی ممکن است به‌علت وجود نقطهٔ عطف یا به‌علت خطای ناشی از ناهموار بودن سطح نمونهٔ خاک در محل تماس با پیستون، لازم باشد که منحنی فشار- فرورفتگی تصحیح شود؛ در این صورت تعیین CBR خاک باید پس از تصحیح منحنی فشار-فرورفتگی انجام شود.

نحوهٔ تصحیح به‌طوری‌که در شکل ۱۶-۴ نشان داده شده، تعیین مبدأ جدید محورهای مختصات و انتقال مبدأ به این نقطه است. منحنی (۱) در این شکل صحیح است و تصحیح آن لازم نیست، درحالی‌که منحنی‌های (۲) و (۳) باید اصلاح شوند. منحنی (۲) دارای یک تقعر کوچک در قسمت ابتدای آن است که ناشی از ناهمواری سطح نمونهٔ خاک در محل تماس با پیستون است. برای تصحیح این خطا باید قسمت خطی منحنی را ادامه داد تا محور افقی را در نقطه‌ای قطع کند. این نقطه محل جدید مبدأ مختصات است و محاسبات باید در محورهای مختصات جدید انجام شود. منحنی (۳) دارای یک نقطهٔ عطف است که باید تصحیح شود. نحوهٔ تصحیح به این ترتیب است که روی منحنی از نقطه‌ای که دارای بیشترین شیب است باید خطی مماس بر منحنی رسم شود تا محور افقی را در نقطه‌ای قطع کند که این نقطه محل جدید مبدأ مختصات است.

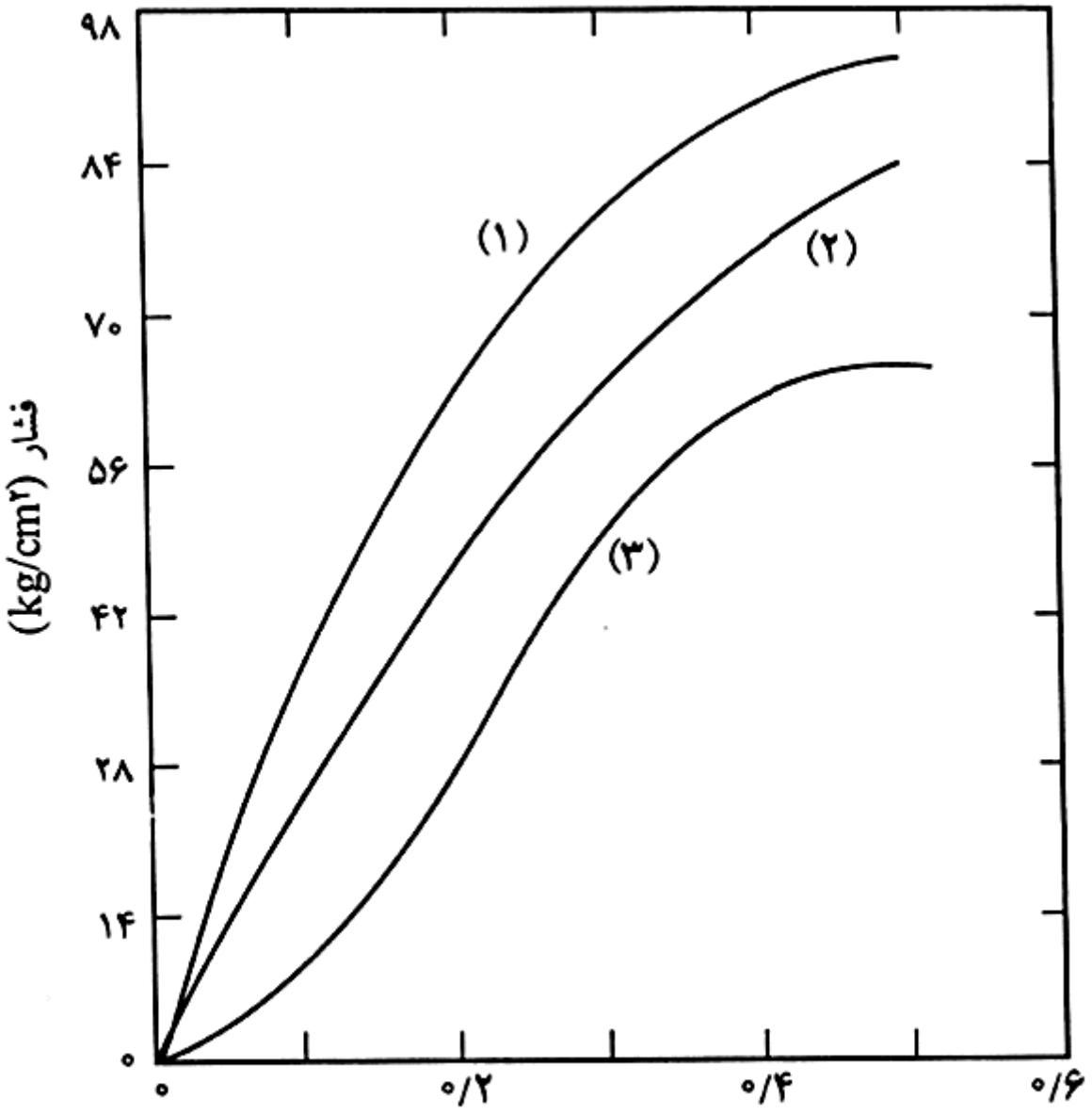
بررسی عوامل مؤثر بر CBR [۱۳]

CBR خاک‌ها تابعی از جنس، میزان رطوبت، وزن مخصوص خاک و نحوهٔ انجام آزمایش است که در ادامه به آن اشاره می‌شود:

۱. **جنس خاک:** CBR خاک‌های درشت‌دانه از CBR خاک‌های ریزدانه بیشتر است. هرچه خاکی بیشتر متراکم شود، CBR آن بیشتر خواهد بود.

۲. **رطوبت:** رطوبت تأثیر منفی بر CBR خاک‌ها و به‌خصوص خاک‌های ریزدانه دارد و با افزایش میزان رطوبت خاک از CBR آن کاسته می‌شود.

تذکر: درصورتی‌که نمونه مربوط به نقطه‌ای باشد که بالای سطح آب زیرزمینی واقع است، برای آزمایش، نیازی به اشباع شدن ندارد و روی آن آزمایش CBR مستقیماً بعد از تراکم قابل‌انجام است (به‌طور کلی CBR روی نمونهٔ خشک بیشتر برای مناطق خشک یا جایی است که سطح آب زیرزمینی پایین است)؛ برعکس اگر نقطه مربوط به زیر سطح آب زیرزمینی باشد، نمونهٔ خاک متراکم‌شده در قالب CBR باید قبلاً اشباع گردد [۱۳].



تصحیح منحنی‌های CBR [۱۳].

۳. وزن مخصوص: با افزایش وزن مخصوص خاک CBR افزایش می‌یابد.

۴. نحوهٔ انجام آزمایش: درمورد خاک‌های درشت‌دانه که دارای قابلیت تورم قابل‌ملاحظه‌ای نیستند، وجود سربار در مرحله‌ای که نمونهٔ خاک برای اشباع شدن در داخل آب قرار می‌گیرد تأثیر چندانی ندارد، درحالی‌که همین سربار در مرحلهٔ بارگذاری برای تعیین CBR فوق‌العاده اهمیت دارد و عدم وجود سربار باعث می‌شود که CBR به‌دست‌آمده کمتر از مقدار واقعی باشد. از طرف دیگر درمورد خاک‌های ریزدانه و به‌خصوص خاک‌های رُسی که براثر جذب آب متورم می‌شوند و میزان تورم بستگی به وزن سربار دارد، وجود سربار در مرحلهٔ اشباع شدن نمونه اهمیت زیادی دارد، درحالی‌که وجود همین سربار در مرحلهٔ بارگذاری برای تعیین CBR از اهمیت زیادی برخوردار نیست.

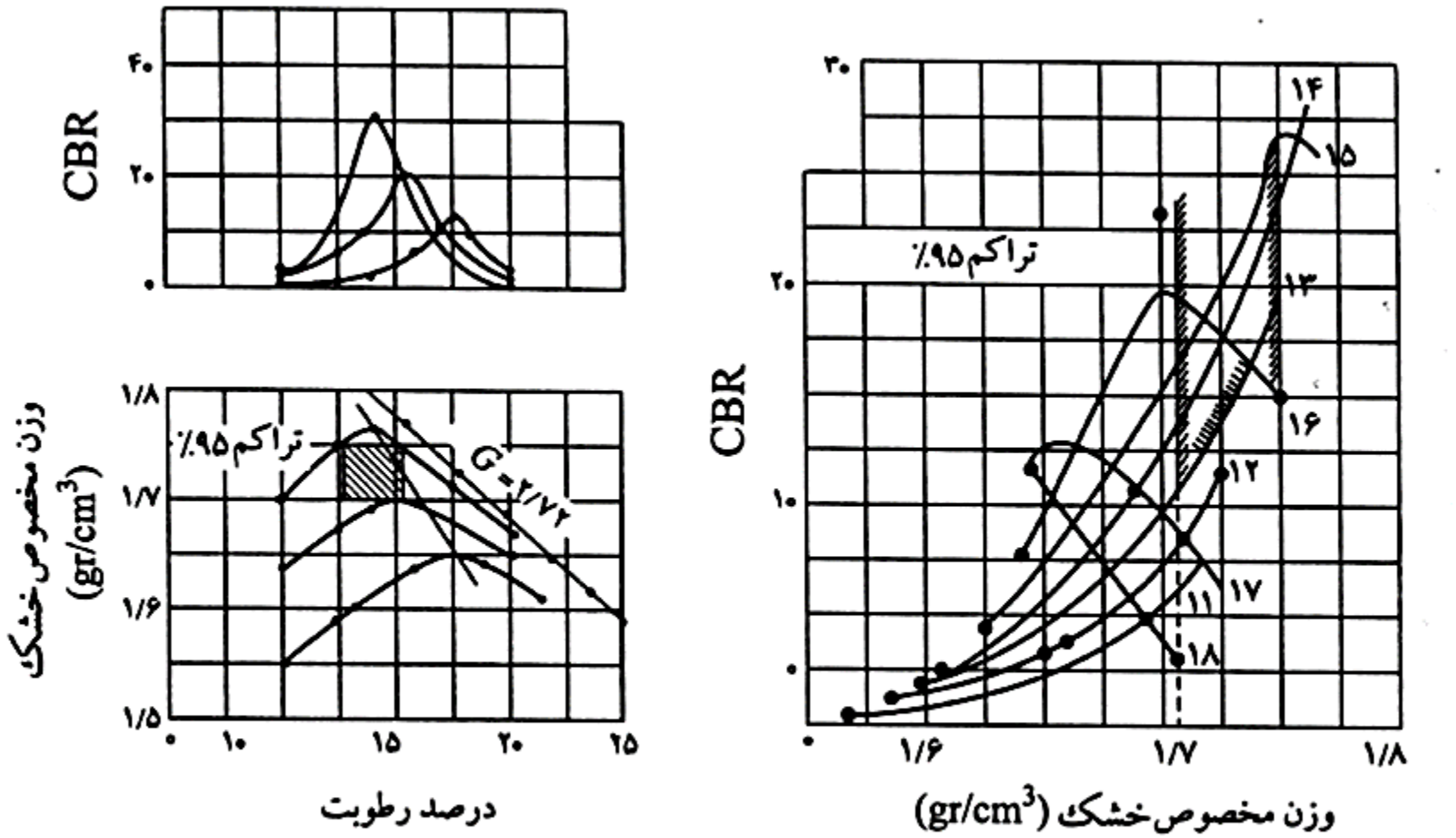
خاک‌ها را ازلحاظ نحوهٔ انجام آزمایش CBR به سه دسته تقسیم می‌کنند: خاک‌های درشت‌دانه، خاک‌های ریزدانه با قابلیت تورم پایین و خاک‌های ریزدانه با قابلیت تورم بالا. درمورد خاک‌های درشت‌دانه که شامل GW، GP، SW و SP هستند، معمولاً در درصد رطوبت بهینه متراکم می‌شوند و تحت آزمایش CBR قرار می‌گیرند و در این درصد رطوبت دارای بیشترین وزن مخصوص و بزرگ‌ترین مقدار CBR هستند که همین عدد مبنای طرح روسازی قرار می‌گیرد.

چند نکتهٔ مهم [۱۳]

الف) به‌طور کلی با افزایش درصد رطوبت، تا رسیدن به درصد رطوبت بهینه، CBR افزایش می‌یابد و در درصد رطوبت بهینه، CBR به بیشترین مقدار خود می‌رسد و بعد از آن با افزایش درصد رطوبت تراکم، از CBR خاک کاسته می‌شود.

میزان تورم این خاک‌ها معمولاً با افزایش میزان رطوبت تراکم کاهش می‌یابد و برای درصد رطوبت برابر یا بیشتر از درصد رطوبت بهینه میزان تورم خاک تقریباً ثابت می‌ماند.

ب) در یک میزان رطوبت معین، CBR در حالت اشباع اغلب خاک‌های ریزدانه با افزایش وزن مخصوص خشک اضافه می‌شود تا به حداکثر خود برسد، سپس با افزایش بیشتر وزن مخصوص از CBR خاک کاسته می‌شود. البته این پدیده درمورد خاک‌های رُسی با حد روانی زیاد (CH) بیشتر و درمورد خاک‌های رُسی لای‌دار با حد روانی کم (CL) کمتر است که علت آن جذب مقداری از بار واردشده بر خاک‌های ریزدانهٔ اشباع‌شده توسط آب‌های منفذی خاک است (شکل ۱۶-۵).



منحنی‌های درصد رطوبت، انرژی تراکم، CBR و وزن مخصوص خشک برای یک نمونهٔ رس لای‌دار [۱۳]

ج) آزمایش تعیین CBR خاک‌ها در محل: آزمایش تعیین مقاومت در جای خاک‌ها معمولاً به علل زیر انجام می‌شود:

۱. خاک درشت‌دانه است و معلوم شده که تغییرات میزان رطوبت آن اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقاومت خاک ندارد.

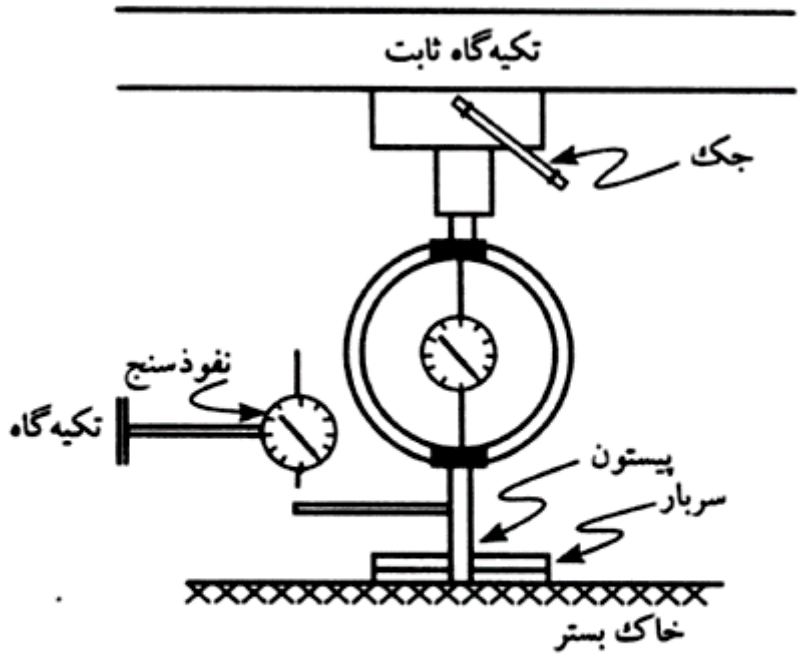
۲. میزان رطوبت اشباع خاک بیش از ۸۰٪ است.

۳. بنا به موقعیت ویژهٔ خاک، میزان رطوبت آن به حالت تعادل رسیده است و تغییرات آن بسیار اندک است. نحوهٔ تعیین CBR خاک‌ها در محل، مشابه تعیین CBR آزمایشگاهی است، با این تفاوت که نمونهٔ خاک در همان حالت و میزان رطوبت طبیعی تحت آزمایش قرار می‌گیرد (شکل‌های ۱۶-۶ و ۱۶-۷).

معمولاً سه آزمایش CBR در محل انجام می‌شود. درصورتی‌که حداکثر اختلاف مقادیر به‌دست‌آمده طبق جدول ۱۶-۴ باشد، آزمایش موردقبول است و در غیر این صورت باید سه آزمایش دیگر انجام شود و مقدار متوسط شش آزمایش در طراحی استفاده شود.

جدول ۱۶-۴: حداکثر اختلاف قابل‌قبول بین مقادیر CBR (سه آزمایش) [۱۳].

مقدار متوسط CBR	حداکثر اختلاف قابل‌قبول
۱۰	۳
۱۰ ـ ۳۰	۵
۳۰ ـ ۶۰	۱۰
۶۰	—



نحوهٔ انجام آزمایش CBR در محل [۱۳].

د) نمونه‌گیری از خاک‌های حساس برای تعیین CBR: برای نمونه‌گیری از خاک‌های حساس باید از نمونه‌های دست‌نخورده استفاده کرد. نمونه‌های دست‌نخوردهٔ خاک‌ها معمولاً به یکی از روش‌های زیر به‌دست می‌آیند:

۱. به‌کار بردن استوانهٔ فلزی آزمایش CBR: این استوانه باید لبه‌های تیز داشته باشد و با فشار ملایمی به داخل خاک رانده شود. این روش نمونه‌گیری برای خاک‌های ریزدانهٔ نرم مناسب است.

۲. به‌کار بردن استوانهٔ فلزی دونیم‌شونده: در این روش ابتدا خاک اطراف نمونه برداشته می‌شود تا نمونه‌ای مخروطی‌شکل به‌دست آید. این نمونهٔ خاک مخروطی‌شکل باید دارای قطری کمتر از قطر داخلی استوانهٔ فلزی دونیم‌شونده باشد. سپس استوانهٔ فلزی با دقت زیاد روی نمونهٔ خاک قرار داده می‌شود و اطراف آن با پارافین مذاب پُر می‌شود. پس از سفت شدن پارافین نمونهٔ مخروطی‌شکل خاک از قاعده بریده و به آزمایشگاه حمل می‌شود

۳. به‌کار بردن جعبهٔ نمونه‌گیر: این روش همانند استوانهٔ فلزی دونیم‌شونده است، با این تفاوت که مختص خاک‌های درشت‌دانه است.

مثال

از یک خاک با مشخصات زیر که قبلاً به‌وسیلهٔ آزمایش تراکم، درصد رطوبت بهینهٔ آن ٪۱۸٫۷ تعیین شده است، دو نمونه برای آزمایش CBR ساخته می‌شود. نمونهٔ شماره ۱، ابتدا تحت آزمایش تورم قرار می‌گیرد و سپس آزمایش CBR در حالت اشباع روی آن انجام می‌شود و نمونهٔ شماره ۲ فقط به‌صورت خشک آزمایش می‌شود. نتایج آزمایش‌ها در جداول ۱۶ـ۵، ۱۶ـ۶ و ۱۶ـ۷ آورده شده است

مشخصات خاک: رس سیلتی، $\omega_L = ٪۲۸٫۴, \omega_P = ٪۱۹٫۸$

وزن چکش: ۴٫۵kg　　تعداد لایه‌ها: ۵　　تعداد ضربات در هر لایه: ۵۶

درصد رطوبت تراکم: ٪۱۸٫۷　　قطر قالب: ۱۵٫۲cm　　ارتفاع خاک (H): ۱۲٫۷cm

حجم خاک $V_t = \frac{\pi}{۴}(۱۵٫۲)^۲ \times ۱۲٫۷ = ۲۳۰۴\text{cm}^۳$

نمونهٔ ۱ $\gamma_d = \frac{۴۷۰۴}{۲۳۰۴(۱ + ۰٫۱۸۷)} = ۱٫۷۲۰\text{gr/cm}^۳$

نمونهٔ ۲ $\gamma_d = \frac{۴۷۲۱}{۲۳۰۴(۱ + ۰٫۱۸۷)} = ۱٫۷۲۶\text{gr/cm}^۳$

جدول ۱۶-۵: اطلاعات به‌دست‌آمده از آزمایش تورم CBR

زمان (ساعت)	قالب شماره ۱		قالب شماره ۲	
	قرائت گِیج (×۰٫۰۱mm)	$\frac{S}{H} \times ۱۰۰$	قرائت گِیج	$\frac{S}{H} \times ۱۰۰$
۰	۰	۰	اشباع نشده است	
۱	۰٫۰۴۷	۰٫۰۳۷		
۲	۰٫۰۷۱	۰٫۰۵۶		
۴	۰٫۱۰۸	۰٫۰۸۵		
۱۴	۰٫۱۴۰	۰٫۱۱۰		
۲۴	۰٫۱۹۰	۰٫۱۲۰		
۳۷٫۵	۰٫۲۷۲	۰٫۲۱۴		
۴۹٫۵	۰٫۳۰۰	۰٫۲۳۶		
۶۱٫۵	۰٫۳۲۵	۰٫۲۵۶		
۷۳٫۵	۰٫۳۳۵	۰٫۲۶۴		
۹۸٫۵	۰٫۳۵۵	۰٫۲۸۰		

جدول ۱۶-۶: سایر اطلاعات به‌دست‌آمده.

شمارهٔ قالب		۱	۲
سربار	(kg)	۴٫۵	—
وزن اولیهٔ خاک مرطوب + قالب + دیسک پایینی	(gr)	۱۲۰۵۶	۱۲۰۹۵
وزن نهایی خاک مرطوب + قالب + دیسک پایینی	(gr)	۱۲۱۳۰	—
وزن قالب + دیسک پایینی	(gr)	۷۳۵۲	۷۳۷۴
وزن اولیهٔ خاک مرطوب (W_t)	(gr)	۴۷۰۴	۴۷۲۱
وزن آب جذب‌شده (W_w)	(gr)	۷۴	—
درصد آب جذب‌شده		٪۱٫۵۷	—

جدول ۱۶-۷: اطلاعات به‌دست‌آمده از آزمایش CBR روی دو نمونهٔ خشک و اشباع.

	قالب شماره ۲ (خشک)		قالب شماره ۱ (اشباع)	
فرورفتگی (mm)	قرائت گِیج بار (×۰٫۵۷۹kg/)	فشار (kPa)	قرائت گِیج بار (×۰٫۵۷۹kg/)	فشار (kPa)
۰٫۰	۰	۰	۰	۰
۰٫۵	۱۰۰	۲۹۳	۳۳	۹۷
۱٫۰	۱۵۴	۴۵۲	۵۷	۱۶۷
۱٫۵	۱۸۸	۵۵۲	۷۸	۲۲۹
۲٫۰	۲۲۲	۶۵۱	۹۶	۲۸۲
۲٫۵	۲۵۱	۷۳۷	۱۱۳	۳۳۲
۳٫۰	۲۷۷	۸۱۳	۱۳۱	۳۸۴
۴٫۰	۳۰۱	۸۸۳	۱۴۹	۴۳۷
۵٫۰	۳۴۷	۱۰۲۰	۱۸۱	۵۳۱
۶٫۰	۳۸۸	۱۱۴۰	۲۰۴	۶۰۰
۷٫۵	۴۲۹	۱۲۶۰	۲۴۹	۷۳۱
۹٫۰	۴۹۴	۱۴۵۰	۲۷۴	۸۰۴
۱۰٫۰	۵۲۵	۱۵۴۱	۲۹۰	۸۶۰
۱۲٫۵	۶۳۵	۱۸۶۳	۳۳۲	۹۷۴

در شکل ۱۶-۷، منحنی تغییرات فشار-فرورفتگی برای هر دو آزمایش رسم شده است و سپس با استفاده از آن، CBR دو نمونه به‌دست آمده است.

نمونهٔ ۱

$$CBR_{۲/۵} = \frac{۳۲۵}{۶۹۰۰} \times ۱۰۰ = ۴/۷$$

$$CBR_{۵} = \frac{۵۳۵}{۱۰۳۰۰} \times ۱۰۰ = ۵/۲$$

نمونهٔ ۲

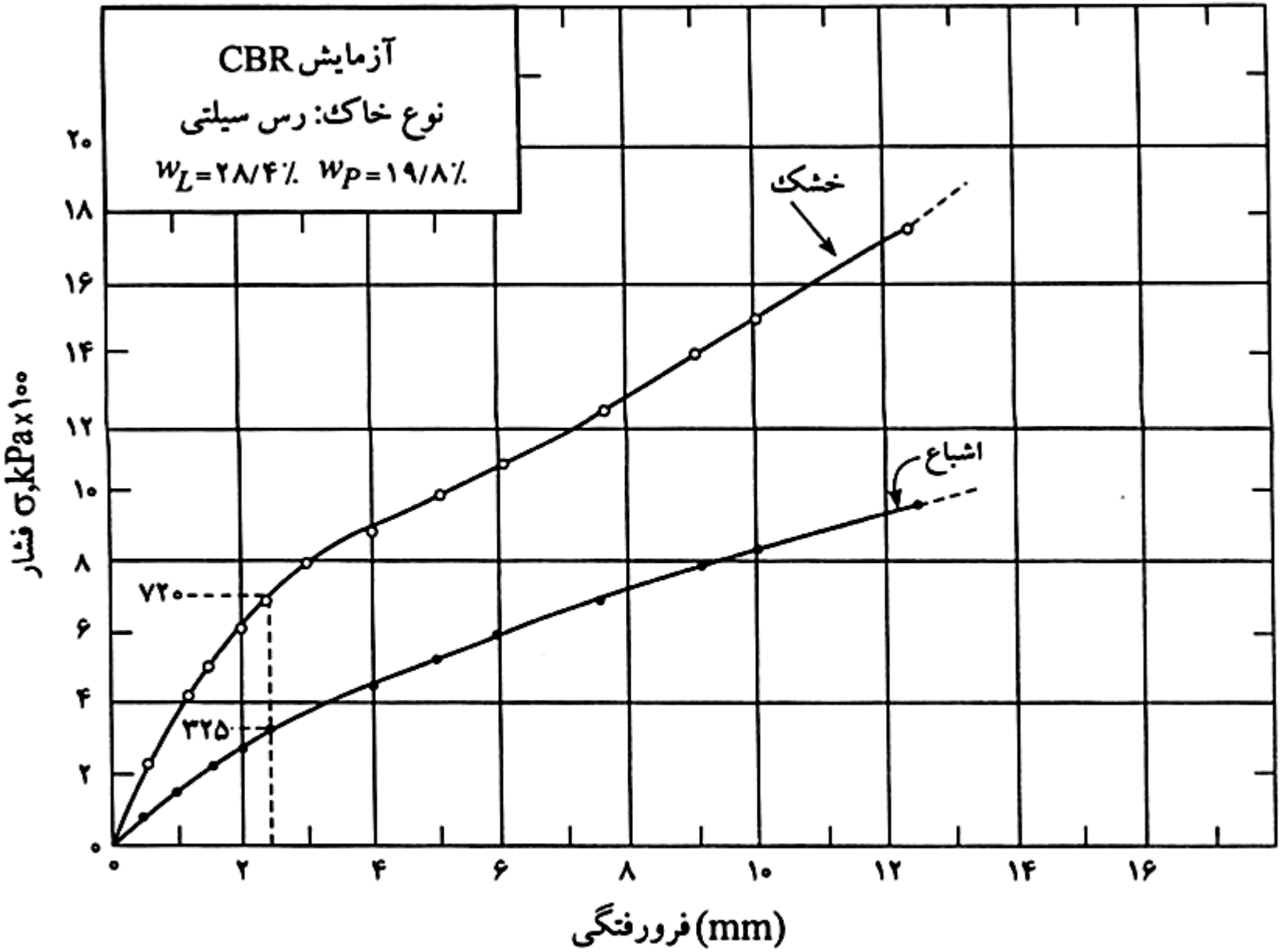
$$CBR_{۲/۵} = \frac{۷۲۰}{۶۹۰۰} \times ۱۰۰ = ۱۰/۴$$

$$CBR_{۵} = \frac{۱۰۲۰}{۱۰۳۰۰} \times ۱۰۰ = ۹/۹$$

برای نمونهٔ اشباع (شماره ۱)، چون $CBR_{۲/۵} < CBR_{۵}$ است، باید آزمایش تکرار شود و اگر باز هم این‌چنین شد، CBR اشباع همان $CBR_{۵}$ درنظر گرفته می‌شود.

برای نمونهٔ خشک (شماره ۲)، چون $CBR_{۲/۵} > CBR_{۵}$ است، پس CBR خشک برابر ۱۰/۴ خواهد بود. مشاهده می‌شود که اشباع نمونه، CBR خاک را حدود ۵۰ درصد کاهش می‌دهد.

طبق جدول ۱۶-۳، اگر این خاک اشباع نشود، خاک نسبتاً خوبی است و برای لایهٔ زیراساس روسازی مناسب است. ولی اگر احتمال دهیم که این خاک اشباع شود، نباید از آن در لایه‌های روسازی استفاده کرد، اما به‌عنوان خاک بستر مشکلی ندارد. درضمن جدول ۱۶-۵ نشان می‌دهد که درصورت اشباع با سربار ۴/۵ کیلوگرم، این خاک حدود ٪۰/۳ تورم خواهد داشت که به این مسئله نیز در طرح روسازی باید توجه کرد.



شکل ۱۶-۷ نمودار فشار-فرورفتگی برای محاسبهٔ CBR خاک.