تحمل پذیری و نشست خاک (soil bearing capacity and sinkage)

- تحمل پذیری خاک یک خاصیت دینامیکی خاک است و عبارت است از فرورفتن یا نشست خاک در اثر بارگذاری. به عبارت دیگر، عکس العمل خاک است در مقابل تنش یا فشارهای عمودی وارده.

- نشست پی ساختمانها و یا فشردگی خاک زیر بار (وزن تراکتور) از این قبیل هستند.

- معیار مرسوم برای ارزیابی تحمل پذیری، عمق نشست خاک است. برای این منظور روابط ریاضی خاصی نیز تدوین شده است که رابطه بین بار اعمال شده (تنش) و نشست حاصل (کرنش) را بدست می دهد.

- برای پی ها (بارگذاری بلند مدت) با استفاده از نظریه کشسانی معادله زیر استفاده می شود:

$$Z = P\ (b\ .\ I_w)\ [(1-\nu^2)/E]$$

که Z عمق نشست خاک، P فشار یا تنش وارده (F/A)، b عرض صفحه بارگذاری (کوچکترین بعد پی)، I_w ضریب وابسته به شکل و درجه صلبیت بار، ν ضریب پواسون و E ضریب کشسانی است.

- رابطه فوق بیشتر برای محاسبه نشست الاستیک خاکهایی نظیر رس و سیلت غیر اشباع، ماسه و شن اشباع بکار برده می شود.

- زمانی که مدت بارگذاری کوتاهتر و عمق نشست بیشتری در مقایسه با پی ساختمانها وجود داشته باشد، از معادله Bernstien برای ارزیابی تحمل پذیری خاک استفاده می شود که صورت کلی آن بدین شکل است:

$$P = K Z^n$$

در این رابطه، P متوسط فشار عمودی (P=W/b.l)، K و n مشخصه های مکانیکی خاک و Z مقدار نشست یا فرونشینی خاک است.

- n یک ثابتی از خاک است که وابسته به خصوصیات خاک مورد نظر است. لیکن ثابت K ناشی از مشخصات سطح بارگذاری و خصوصیات خاک هر دو می باشد.

روش نیمه تجربی

- به عبارت دیگر، Bernstein متوجه شد که مشکل رابطه فوق برای پیش بینی نشست وسیله این است که ثابت K با تغییر سطح بارگذاری (تغییر b) تغییر می کند. در واقع در مهندسی عمران و در سال ۱۹۴۸ تیلور متوجه شد که مقدار نشست یک صفحه مستطیلی به پهنا یا عرض مستطیل بستگی دارد.

- بنابراین Bekker برای رفع این مشکل و مستقل نمودن ثابت K، آن را به صورت جدید زیر معرفی کرد:

$$K = k_c/b + k_\phi$$

که در آن ثابت K به دو بخش تقسیم شده است که یک قسمت آن حاصل از چسبندگی خاک است و یک قسمت هم ناشی از مقاومت اصطکاکی (توهم رفتگی) ذرات خاک است.

k_ϕ = frictional modulus of soil deformation

k_c = cohesive modulus of soil deformation

ثابت های k_c و k_ϕ مستقل از سطح بارگذاری هستند و تأثیر b نیز در رابطه وجود دارد.

- بنابراین معادله Bernstein به صورت زیر (معادله Bekker) تبدیل شد:

$$P = W/b.l = (k_c/b + k_\phi)\, Z^n$$

ثابت های k_c و k_ϕ ثابت های سفتی خاک (soil stiffness constants) نیز نامیده می شوند.

- معادله Bekker به عنوان مدل ریاضی تحمل پذیری خاک در عملیات تسطیح، خاک برداری و خاک ورزی بکار برده می شود و سه پارامتر n، k_c و k_ϕ به عنوان پارامترهای مرکب ارزیابی مشخصه تحمل پذیری خاک تلقی می شوند. این معادله برای خاکهای همگن تدوین شده است.

- بهرحال، این معادله با انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و مزرعه ای مورد اعتبارسنجی (validation) قرار گرفته که نتایج حاکی از کارآیی قابل قبول آن برای تبیین منحنی های فشار- نشست بوده است.

- همچنین Bekker دریافت که هنگامی که دیسکهای مدور بجای صفحات مستطیلی شکل برای آزمایشهای نشست استفاده شوند، شعاع دیسک مناسب ترین بعد برای استفاده بجای بعد b می باشد.

- دستگاهی که معمولاً برای ارزیابی تحمل پذیری خاک بکار برده می شود، شامل صفحه ای با ابعاد مشخص است که توسط مکانیزم خاصی بار مشخصی را به خاک وارد می کند و همزمان عمق نشست صفحه در خاک را اندازه گیری می کند. آزمون انجام شده آزمون نشست صفحه ای (Plate sinkage test) یا PST نامیده می شود.

- به منظور ارزیابی و بدست آوردن ثابت های خاک لازم است که حداقل دو آزمایش با صفحات با پهنا یا شعاع مختلف انجام شود. سپس دسته آزمایشهای مختلف اندازه گیری فشار و نشست به صورت نموداری در مقیاس log–log مورد بررسی قرار می گیرند تا ثابت های سفتی خاک با بهترین برازش بدست آیند.

روش بدست آوردن n، k_c و k_ϕ با دو آزمایش (تنها دو صفحه):

برای صفحه با پهنای b_1 $P_1 = (k_c/b_1 + k_\phi)\, Z^n$

برای صفحه با پهنای b_2 $P_2 = (k_c/b_2 + k_\phi)\, Z^n$

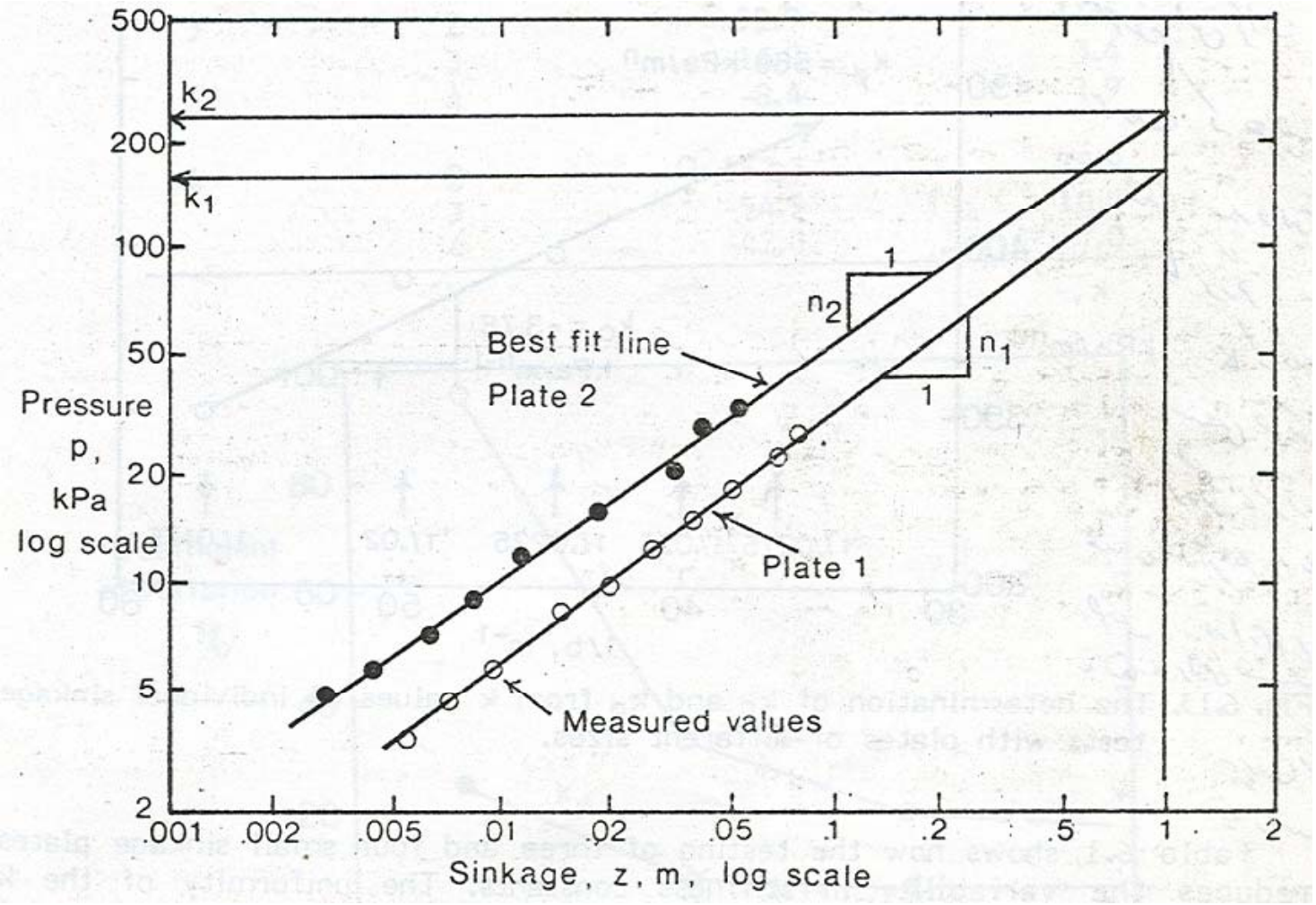
چنانچه از طرفین لگاریتم بگیریم:

$$\log P_1 = \log (k_c/b_1 + k_\phi) + n \log Z$$

$$\log P_2 = \log (k_c/b_2 + k_\phi) + n \log Z$$

به عبارت دیگر، اگر مقادیر P و Z را روی محورهای log–log رسم کنیم دو خط برای اندازه های b_1 و b_2 حاصل می شود که با استفاده از آنها ثابتهای مورد نظر بدست می آیند.

روش نیمه تجربی



اگر خاک ۱۰۰ درصد یکنواخت باشد، شیب دو منحنی یکی می شود. ولی در عمل چون خاک همگن نیست، شیب دو منحنی یکی نمی شود و پس از محاسبه شیبها، میانگین را بدست آورده و به عنوان ثابت n در نظر می گیریم.

ثابتهای k_c و k_ϕ نیز به صورت زیر بدست می آیند:

$$P_{1\ (at\ Z=1)} = K_1 = k_c/b_1 + k_\phi$$

$$P_{2\ (at\ Z=1)} = K_2 = k_c/b_2 + k_\phi$$

با حل دو معادله و دو مجهول خواهیم داشت:

$$k_c = [b_1 b_2\ (K_1 - K_2)] / (b_2 - b_1)$$

$$k_\phi = (K_2 b_2 - K_1 b_1) / (b_2 - b_1)$$

لازم به توضیح است که مقدار W در هر آزمایش برای هر دو صفحه یکی است.

روش نیمه تجربی

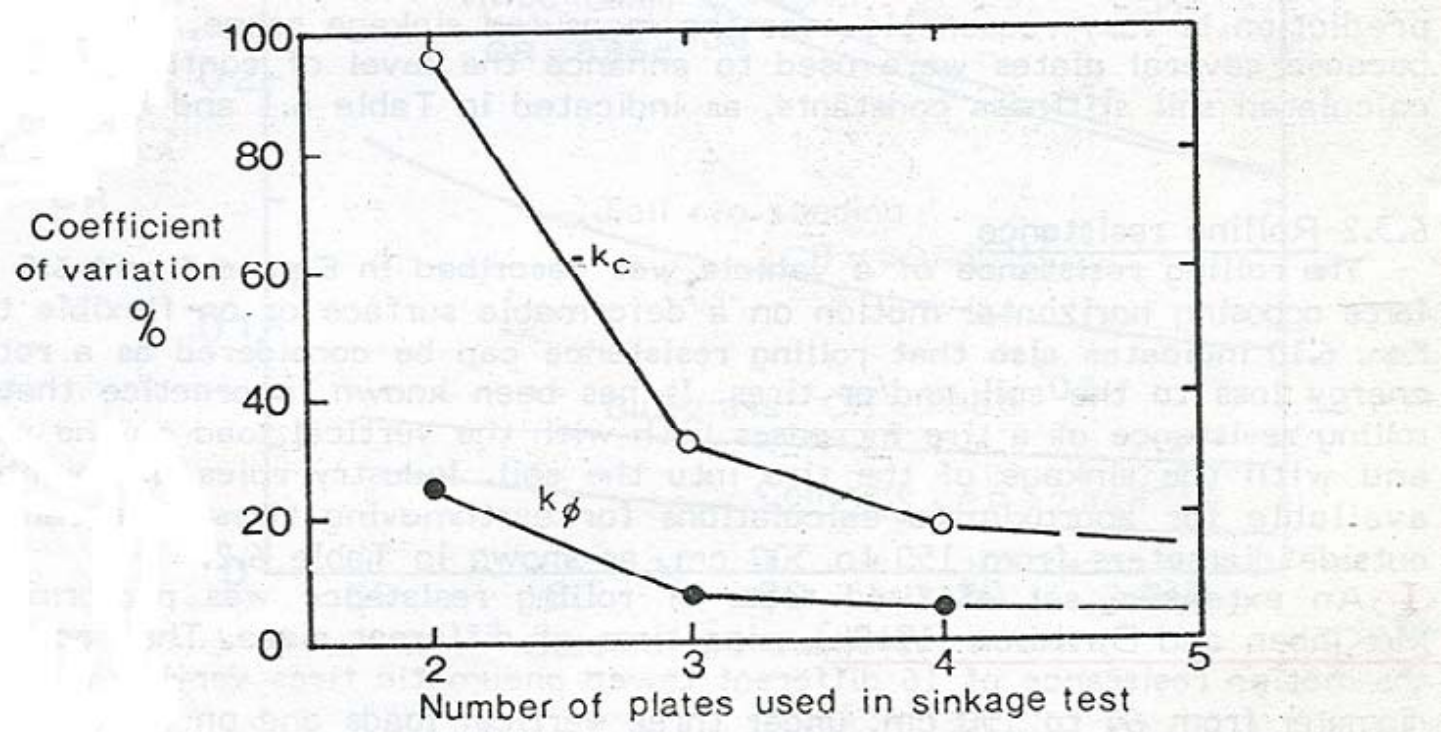
- همانطور که قبلاً اشاره شد، با حداقل دو آزمایش و به روشی که تشریح شد می توان پارامترها و یا ثابتهای تحکیم یا سفتی خاک را بدست آورد. لیکن بدست آوردن این ثابتها با استفاده از تنها دو صفحه و مخصوصاً صفحات کوچک ممکن است غیر دقیق باشد.
- زیرا تغییر پذیری و غیر یکنواختی زیادی در خاک و حتی نمونه خاکهایی که با دقت در آزمایشگاه تهیه شده اند وجود دارد، چه رسد به محلهای مختلف در یک مزرعه.
- بهرحال استفاده از صفحات بزرگ در حدود ۳۰ سانتیمتر و یا بیشتر میتواند تغییر در نتایج آزمایش را کاهش دهد. اما از سوی دیگر این صفحات بزرگ احتیاج به بارهای بزرگ برای رسیدن به نشستهای عملی و قابل اندازه گیری دارند و بنابراین کاربرد آنها سخت و هزینه بر است.
- صفحات مستطیلی شکل و مدور کوچک در حدود ۵ تا ۱۰ سانتیمتر براحتی قابل آزمایش هستند. لیکن Fan در سال ۱۹۸۵ نشان داد هنگامی که تنها دو صفحه کوچک در یک خاک شنی خشک آماده شده به یک روش ثابت استفاده شدند، تغییرات در k_c و k_ϕ می تواند به ترتیب در حدود ۱۵۰ و ۳۵% باشد. هنگامی که چند صفحه بجای دو صفحه استفاده شد، تغییرات در k_c و k_ϕ به صورت شدیدی کاهش یافت.

روش نیمه تجربی

Coefficients of variation of k_c and k_ϕ constants calculated from series of sinkage tests with two, three and four circular plates of diameters 4.5 to 6.5 cm in a dry sand. Each test series comprised five penetrations for each plate. The average n value for all tests was 0.624 with a coefficient of variation of three percent (Fan, 1985).

Test series	Number of plates used	Coefficients of variation, % k_c	Coefficients of variation, % k_ϕ
1	2	-53.4	18.3
	3	-21.6	9.6
	4	-11.2	5.9
2	2	-126.1	34.6
	3	-32.9	8.5
	4	-13.2	4.8
3	2	-52.9	11.5
	3	-16.0	3.4
	4	-8.4	1.9
4	2	-157.3	28.9
	3	-54.5	10.0
	4	-42.0	7.0

روش نیمه تجربی



The average coefficients of variation in k_c and k_ϕ as a function of the number of small plates used in penetration tests (Fan, 1985). By permission of the author.

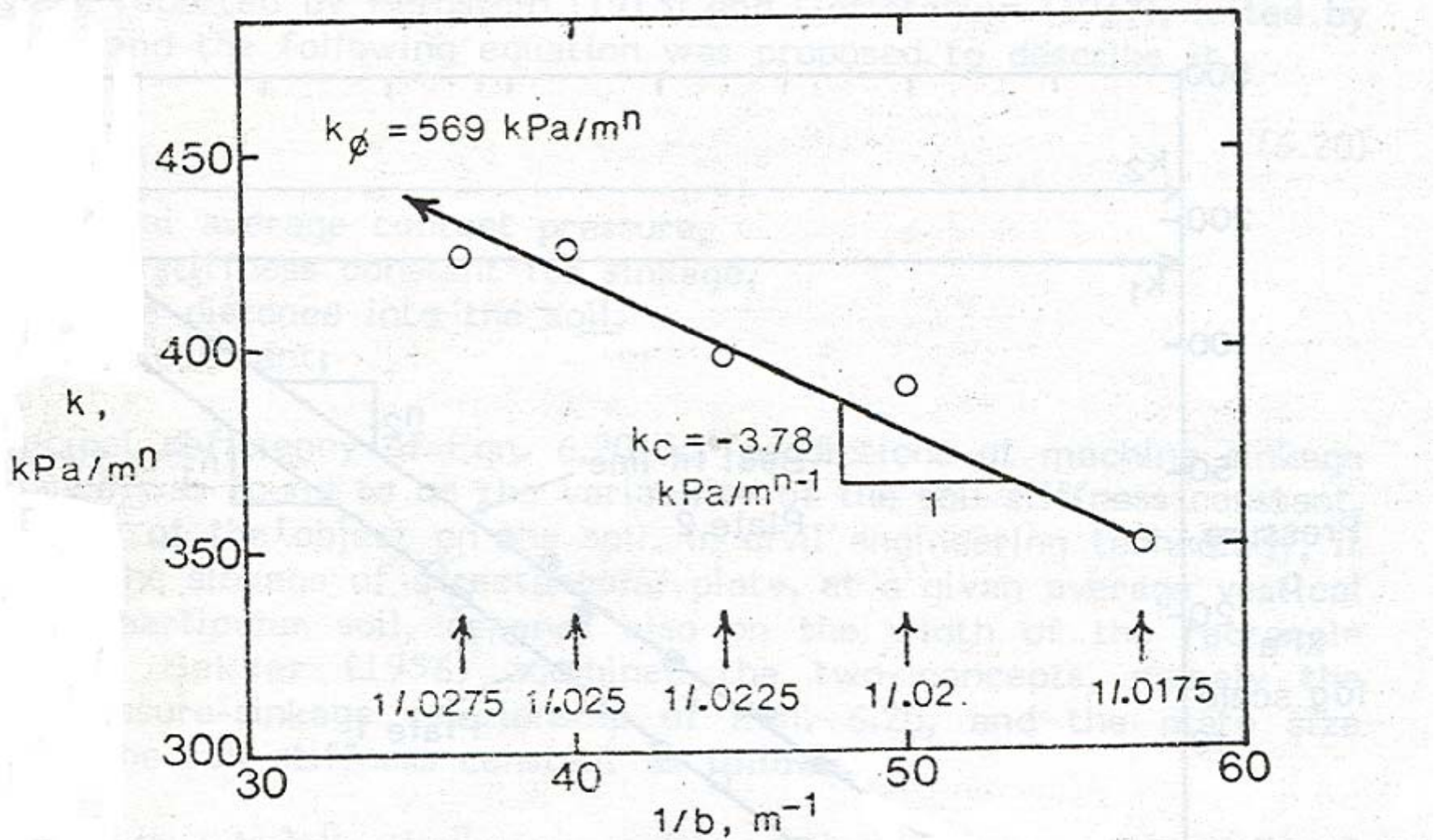
روش بدست آوردن n، k_c و k_ϕ با بیش ازدو صفحه:

۱ـ ابتـدا مقـادیر P و Z را روی محورهـای log–log رسـم مـی کنـیم تـا خطوط تغییر فشار برحسب مقدار نشست برای هر اندازه b بدست آید. این معادله به فرم $\log P = \log K + n \log Z$ خواهد بود.

۲ـ مقـادیر K'_i (عرض از مبدا خطوط رسم شده بـازاء هر صفحه) و n (شیب خطوط) را بدست می آوریم.

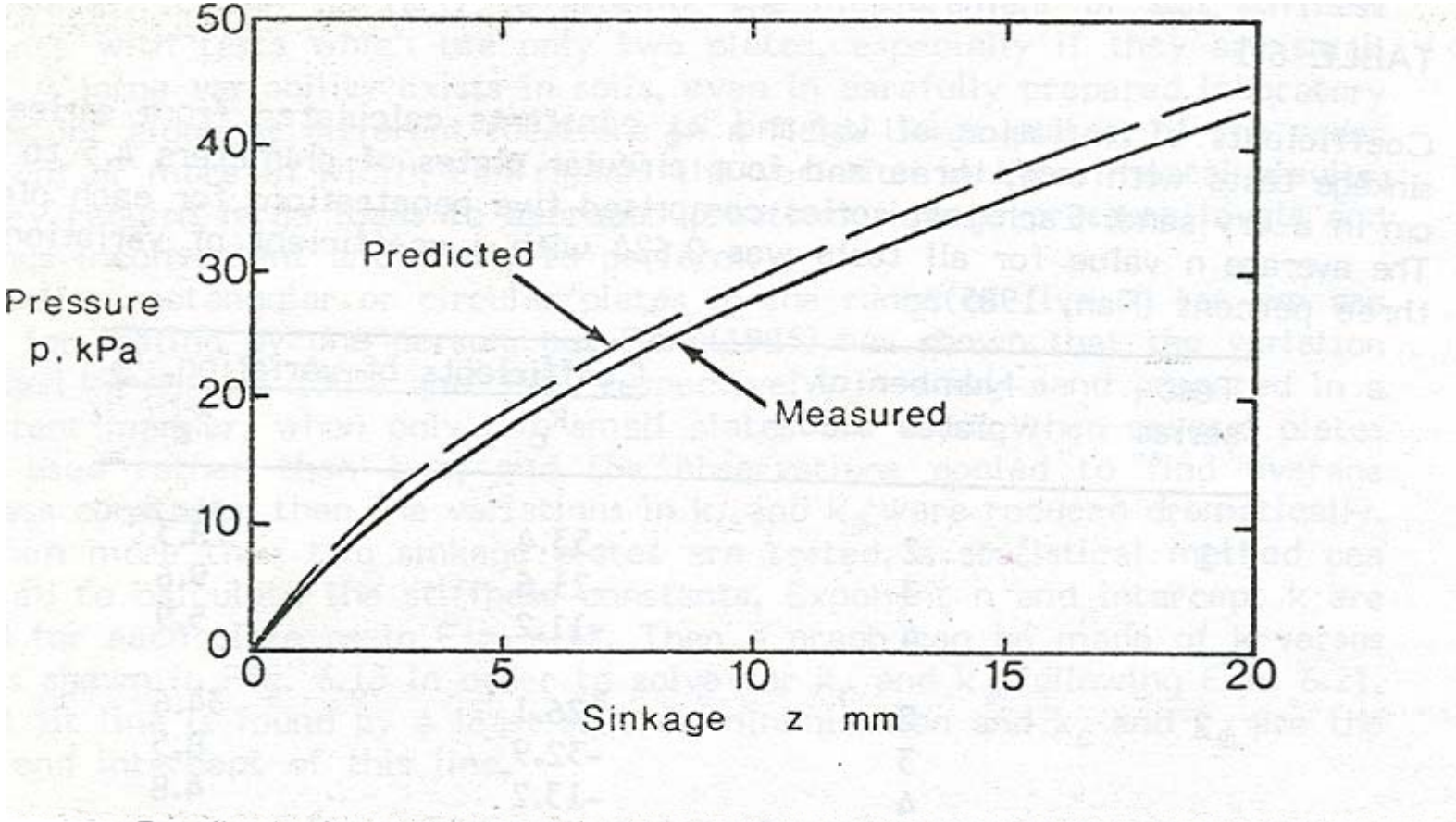
۳ـ سـپس منحنـی مقـادیر ده بـه تـوان K'_i را برحسـب مقـادیر $1/b'_i$ رسـم میکنیم. منحنی رسم شده خطی با رابطه $K = k_c/b + k_\phi$ است. شیب و عرض از مبدا این خط به ترتیب مقادیر k_c و k_ϕ را نتیجه می دهد.

روش نیمه تجربی



The determination of k_c and k_ϕ from k values of individual sinkage tests with plates of different sizes.

چنانچه مقادیر بدست آمده برای ثابتهای سفتی خاک (soil stiffness moduli) را در معادله Bekker قرار دهیم، مقادیر نشست خاک تحت بارهای مختلف با اندازه های مختلف سطح تماس به آسانی قابل تعیین خواهد بود.



Prediction of sinkage of a 15 cm diameter plate from the results of five plates of diameters 4.5-6.5 cm on dry sand (Fan, 1985). By permission of the author.