

# اندازه گیری قابلیت فرسایش خاک

## بوسیله استوانه های دوار (۱)

امین علیزاده (۲)

با استفاده از اصول هیدرولیک حرکت آب در بین سیلندرهای دوار، نمونه‌های از خاک را به شکل استوانه تهیه و داخل سیلندری که قطر آن یک اینچ بیشتر از قطر نمونه خاک است قرار داده شده است. فضای خالی بین نمونه و سیلندر با آب پر شده است. با چرخش سیلندر خارجی (درحالیکه نمونه خاک ثابت است) تنش برشی به آب وارد شده که به نوبه خود به سطح نمونه خاک منتقل می‌گردد. خاک تحت تنش وارد شده شروع به فرسایش میکند. با اندازه گیری وزن نمونه در زمانهای مختلف مقدار خاک فرسایش شده را به ازاء سرعتهای مختلف اندازه‌گیری کرده و از روی آن تنش برشی بحرانی برای نمونه خاک بدست آمده است.

### بررسی نوشته ها

فرسایش موقعی صورت می‌گیرد که مقدار تنش‌های برشی *Shearing stresses* که بوسیله جریان آب به سطح خاک وارد می‌شوند به حدی افزایش یابند که بتوانند ذرات خاک را از بستر جدا سازند. با وجودیکه مقالات زیادی درین باره منتشر شده است معهذات اطلاعات موجود در زمینه نیروهای فرساینده خاک *erosive forces* و اندازه گیری آنها و همچنین میزان فرسایش *erosion rate* بسیار اندک می‌باشد از سال ۱۹۵۹ که توجه عده نسبتاً زیادی از محققین به مطالعه کمی فرسایش معطوف شده است اندازه گیری

---

۱- این تحقیق توسط نویسنده در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه کالیفرنیا (دیویس آمریکا) صورت گرفته است.

۲- استادیار گروه علوم کشاورزی و تولیدات زراعی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

تنش برشی بحرانی Critical shear stress که عبارت از حداقل نیروی لازم برای شروع فرسایش میباشد مورد توجه بوده است (Masch et al, 1965) شاید اولین اطلاعات موجود درباره اندازه گیری نیروهای فرساینده خاک مطالعات (Dunn 1959) باشد که در آزمایشات خود نمونه هائی از خاک را در داخل ظرفی پر از آب گذاشت و با استفاده از جت های آبی مستغرق آنها را تحت فرسایش قرار داده و قابلیت فرسایش خاک را با اندازه گیری تنش برشی (که بوسیله صفحات آغشته به ذرات خاک shear plate بدست آورده بود) تعیین نمود.

در این آزمایشات حد بحرانی را شرایطی تعیین کرده است که آب داخل ظرف شفافیت خود را از دست بدهد و بواسطه پراکنده شدن ذرات خاک کدر گردد.

(Smerdon and Beasley 1959) در مطالعات خود از فلوم Flume استفاده نموده اند، بدین ترتیب که نمونه خاک را در کف فلوم قرار داده و با افزایش مقدار و سرعت جریان آب آنرا تحت فرسایش قرار داده اند و با داشتن مشخصات جریان در موقع شروع فرسایش و استفاده از رابطه زیر مقدار تنش برشی بحرانی را محاسبه کرده اند

$$T = \gamma RS$$

درین رابطه T تنش برشی،  $\gamma$  وزن مخصوص آب، R شعاع هیدرولیکی فلوم و S شیب خط انرژی می باشد.

(Enger 1961) و (Abdel-Rahman 1963) نیز مطالعاتی روی فلوم انجام داده و با استفاده از رابطه 1 مقدار تنش برشی بحرانی بعضی از نمونه های خاک را در رابطه با خصوصیات مختلف خاک اندازه گیری کرده اند. (Liou 1970) در مطالعات خود از دستگاه جدیدی استفاده کرده است که در آن استوانه ای را گرفته و قاعده پائینی آن را با نمونه خاک مورد نظر پوشانده است در بالای نمونه خاک پروانه ای را تعبیه کرده است که با چرخش و بالا و پائین بردن آن تنش های برشی متفاوتی به سطح خاک وارد نموده است. جریان آب از بالای مخزن وارد و از انتهای آن خارج میگردد و هنگامیکه آب خروجی شفافیت خود را از دست می دهد زمانی است که خاک شروع به فرسایش می کند. Liou با داشتن ابعاد دستگاه و مشخصات جریان و استفاده از اصول هیدرولیکی مقدار تنش برشی بحرانی را محاسبه کرده و نتیجه گرفته است که استفاده از این دستگاه در مطالعات آزمایشگاهی بخصوص تحقیق روی نمونه های مختلف رس کاملاً " رضایت بخش می باشد. مشکلی که در تمام موارد بالا به چشم می خورد مشخص کردن نقطه شروع فرسایش می باشد که با روش مشاهده ای بدست می آید و امکان اشتباه در آن و در نتیجه اندازه گیری تنش برشی بحرانی بسیار زیاد است. برای جلوگیری از این اشکال از اصولی هیدرولیکی که (Taylor 1936) و (Espey 1963) در مورد حرکت آب در بین استوانه های دوار ارائه داده اند استفاده

نده و دستگاهی که در زیر تشریح میگردد برای مطالعات فرسایش خاک بخصوص در شرایط آزمایشگاهی پیشنهاد می شود و بطوریکه مشاهده خواهد شد با این دستگاه میتوان تنش برشی بحرانی و میزان فرسایش خاک را به طور نسبتاً " دقیق تری اندازه گیری کرد .

### تئوری و طرز کار دستگاه

اساس کار دستگاه اندازه گیری قابلیت فرسایش خاک بر مبنای اصولی است که در دستگاههای ویسکوزیتر *Viscosimeter* به کار رفته است بدین ترتیب که دو استوانه هم محور را که یکی در داخل دیگری قرار گرفته است انتخاب نموده و فضای بین آنها با آب پر می شود (شکل ۱) .

حال اگر استوانه خارجی با سرعتی شروع به چرخش نموده و استوانه داخلی ثابت نگهداشته شود چرخش استوانه خارجی موجب خواهد شد که توسط آب تنشی برشی به سطح استوانه داخلی وارد گردد . اگر چنانچه نمونه خاک را طوری درست نمائیم که بتواند جایگزین استوانه داخلی شود با افزایش سرعت دورانی استوانه خارجی مقدار تنش برشی که روی نمونه خاک وارد می شود می تواند به حدی برسد که موجب جدا شدن ذرات خاک از نمونه خاک گردد .

بر طبق محاسبات Taylor (1936) رابطه بین سرعت دورانی استوانه خارجی و گشتاور ایجاد شده به شرح زیر است

$$W = \frac{u}{4\mu h} \left[ \frac{1}{(R_1)^2} - \frac{1}{(R_2)^2} \right] \quad (2)$$

که در آن  $w$  سرعت دورانی استوانه خارجی ،  $u$  گشتاور وارده روی استوانه داخلی ،  $h$  ارتفاع استوانه داخلی ،  $\mu$  لزوجت دینامیکی آب ،  $R_1$  شعاع خارجی استوانه داخلی و  $R_2$  شعاع داخلی استوانه خارجی است که واحدهای آنها بسته به سیستم اندازه گیری است که به کار می رود . از طرفی رابطه بین مقدار گشتاور و تنش برشی  $T$  عبارت است از

$$u = 2(R_1)^2 h T \quad (3)$$

که میتوان مقدار  $T$  را با استفاده از روابط 2 و 3 بدست آورد

$$W = \frac{T}{2\mu} \left[ 1 - \frac{(R_1)^2}{(R_2)^2} \right] \quad (4)$$

$$T = 2\mu \left[ \frac{(R_2)^2}{(R_2)^2 - (R_1)^2} \right] W \quad (5)$$

به طوریکه ملاحظه می شود با داشتن سرعت زاویه ای استوانه خارجی ، لزوجت دینامیکی آب و شعاع استوانه ها میتوان مقدار تنش وارده بر روی نمونه خاک را محاسبه کرد .  
 بعلت اصطکاک موجود مقدار تنش برشی محاسبه شده از رابطه ( 5 ) ممکن است با مقدار واقعی تنش که روی نمونه خاک وارد می شود متفاوت باشد . ازین جهت کالیبره کردن دستگاه و استفاده از منحنی های مربوطه نتیجه مطمئن تری را عاید می دهد .

### کالیبره کردن دستگاه

برای کالیبره کردن دستگاه مطابق آنچه در شکل ۲ مشاهده میشود از یک پولی ، نخ و وزنه استفاده شده است ، باین ترتیب که روی محور استوانه عقربه ای نصب شده که حرکت آن در موقع چرخش استوانه خارجی جهت و مقدار گشتاور وارده روی استوانه داخلی را نشان میدهد . اگر چنانچه روی کفه ترازو آنقدر وزنه اضافه شود که حرکت عقربه متوقف شده و جهت آن نیز تغییر یابد میتوان با داشتن مقدار وزنه و مشخصات دستگاه مقدار تنش برشی را بدست آورد (Taylor, 1936) برای دستگاهی بامشخصات زیر رابطه سرعت چرخش استوانه خارجی با مقدار تنش وارده روی استوانه داخلی که با متد فوق بدست آمده و همچنین مقایسه آن با رابطه 5 در شکل ۳ نشان داده شده است .

### ابعاد دستگاه

قطر داخلی استوانه خارجی	۴ اینچ
قطر نمونه خاک (استوانه داخلی)	۳ اینچ
ارتفاع نمونه خاک	۳/۲۱ اینچ
فاصله خالی بین دو استوانه	۵/۵ اینچ
سرعت چرخش استوانه خارجی	۱۱۰۰-۵ دور در دقیقه

به طوریکه در شکل دیده میشود تا سرعت ۴۱۰ دور در دقیقه نتایج تئوری و تجربی باهم یکسان می باشند ولی در سرعت های بالاتر دو منحنی از یکدیگر فاصله می گیرند . بخصوص اینکه شیب خط در روابط حاصله از کالیبره کردن از سرعت ۴۱۰ دور به بالا تغییر می کند علت این امر را باینصورت میتوان توضیح داد که رابطه 5 برای جریانهای آرام-Coutte-type flow صادق است (Sargunam, 1973) که فقط در سرعت های پائین میتوان چنین جریانی داشت و ناپایداری جریان در سرعت های بالا موجب چنین اختلافی میگردد .

### طرز تهیه نمونه خاک

مخلوط آب و خاک را به خوبی بهم زده تا ماده یکنواختی بدست آید . سپس مخلوط را در استوانه هایی که قطر داخلی آنها سه اینچ است ریخته و مطابق آنچه در شکل ۴

نشان داده شده است آنرا تحکیم Consolidation میکنیم . تحکیم با افزودن تدریجی وزنه روی نمونه خاک (حداکثر ۷۵/۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع) صورت می‌گیرد پس از تحکیم که بین یک تا دو هفته طول می‌کشد نمونه خاک را با لوله ای که قبل از تحکیم در وسط آن جای گذاری شده بود خارج نموده و با کمک آن در داخل دستگاه ثابت می‌گردد .

### اندازه گیری تنش برشی بحرانی

نمونه خاک را به ارتفاع ۳/۲ اینچ تهیه کرده و مطابق شکل ۱ در داخل دستگاه قرار داده میشود . قبل از قرار دادن نمونه ، مشخصات آن از قبیل: ارتفاع ، وزن و درصد رطوبت اندازه گیری میگردد سپس فضای بین نمونه و استوانه خارجی با آب پر شده و اجازه داده می‌شود استوانه با سرعت مشخصی برای مدت معینی بچرخد پس از آن آب داخل دستگاه را خارج کرده و وزن نمونه دوباره تعیین می‌شود . اختلاف بین دو وزن عبارت خواهد بود از مقدار خاکی که در زمان چرخش تحت تنش معینی از سطح نمونه فرسایش پیدا کرده است و با داشتن درصد رطوبت آن میتوان مقدار وزن خشک شده آنرا محاسبه کرد . هرچه زمان با سرعت چرخش استوانه خارجی بیشتر باشد مقدار فرسایش خاک بیشتر خواهد شد نتایج حاصله نشان می‌دهد که رابطه زمان و مقدار فرسایش تحت سرعتهای مختلف خطی است (شکل ۵) که در تمام نمونه‌های آزمایش شده مشاهده گردیده است (Alizadeh, 1974) . حال اگر شیب هر یک از خطوط شکل ۵ را که عبارت از مقدار فرسایش در واحد زمان میباشد نسبت به سرعت چرخش مربوطه (که میتوان با استفاده از شکل ۳ آنرا به تنش برشی مربوطه تبدیل کرد) رسم شود یک رابطه خطی بدست خواهد آمد که در شکل ۶ نشان داده شده است . مشخصات این خط در واقع نماینده قابلیت فرسایش خاک می‌باشد . بطوریکه شیب آن مقدار فرسایش را نسبت به هر واحد تنش برشی وارده روی خاک نشان میدهد و محل تقاطع آن با محور X ها عبارت خواهد بود از مقدار تنشی که به ازاء آن مقدار فرسایش صفر می‌باشد بعبارت دیگر این نقطه تنش برشی بحرانی را نشان می‌دهد که خاک تحت آن شرایط شروع به فرسایش می‌کند .

### نتیجه و بحث

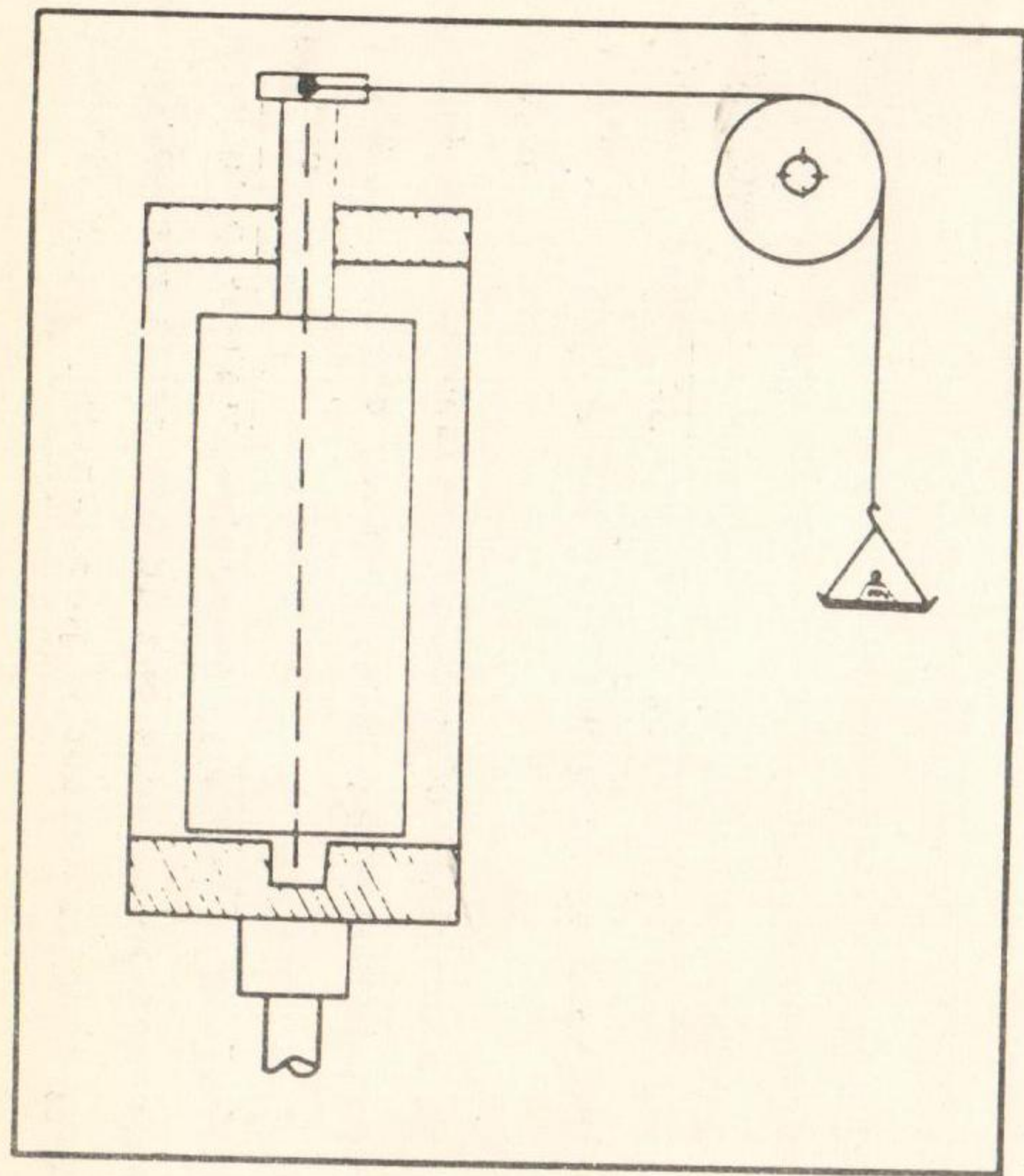
بطوریکه مشاهده می‌شود با استفاده از این دستگاه بخوبی میتوان خاکهای مختلف را چه از نظر میزان فرسایش و چه از نظر اندازه‌گیری نیروهای فرساینده خاک مطالعه کرد . در اندازه گیری تنش برشی بحرانی برخلاف آنچه قبلاً " شرح داده شده این اندازه گیری به طریق مشاهده‌ای نبوده و میتوان نقطه بحرانی را بطور نسبتاً " دقیق تری مشخص کرد . همچنین تهیه نمونه خاک درین متد آسانتر بوده و امکان کنترل آن از نظر مطالعه عوامل

مؤثر در فرسایش ساده تر می باشد . تنها اشکالی که در حال حاضر به چشم میخورد این است که از این دستگاه بیشتر برای مطالعه نمونه های دست خورده Disturbed sample میتوان استفاده کرد . البته اگر خاک استقامت کافی داشته باشد امکان این نیز میباشد که بتوان نمونه خاک دست نخورده را به ابعاد مورد نیاز برداشت کرده و داخل دستگاه قرار داد معینا لازم است که قبلا " مطالعه بیشتری چه از نظر نمونه گیری و چه از نظر دستگاه از لحاظ هیدرولیکی صورت گیرد بهر صورت از این دستگاه به خوبی میتوان در مطالعات فرسایش خاک استفاده نمود .

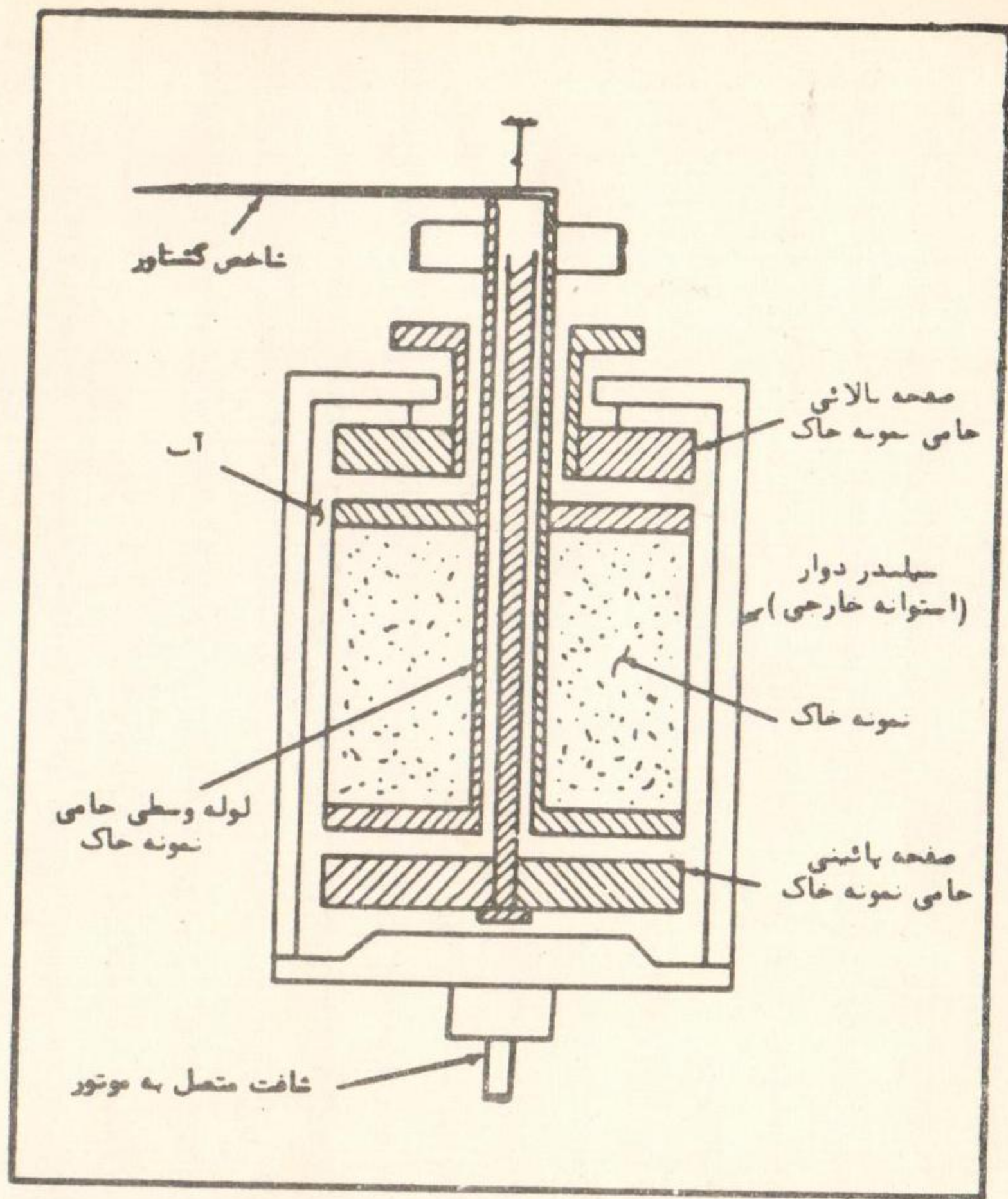
## REFERENCES

- 1- Abdel-Rahman, N.H. 1963. The effect of flowing water on cohesive beds. Thesis presented to Laboratory for Hydraulic Research and Soil Mechanics, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- 2- Alizadeh, A. 1974. Amount and type of clay and pore fluid influences on the critical shear stress and swelling of cohesive soils. ph. D. Dissertation, University of California, Davis, California
- 3- Dunn, I.S. 1959. Tractive resistance of cohesive channels. J. of the Soil Mech. and Found. Div., ASCE proc. 85(SM3).
- 4- Enger, P.F. 1961. Tractive force fluctuation around an open channel perimeter. Amer. Soc. Civil Eng Conv, phoenix.
- 5- Espey, W.H. 1963 A new test to measure the scour of cohesive soils. M.S. thesis, Univ. of Texas, Austin.
- 6- Liou, Y.D. 1970 Hydraulic erodibility of two clay systems. ph.D. dissertation. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
- 7- Masch, F.D., W.H. Espey. Jr., and W.L. Moore. 1965. Measurement of the shear resistance of cohesive sediments. proc. of the Federal Inter-Agency Sedimentation Conf., Agric. Research Service, Washington, D.C., pp.151-155.

- 8- Sargunam, A. 1973. Influence of minerology, pore fluid composition and structure of the erosion of cohesive soils. ph.D. dissertation, Univ. of Calif., Davis., California
- 9- Smerdon, E.T. and R.p. Beasley 1959. Relation of compaction and other soil properties to erosion resistance of soils. Trans ASAE 8(3).
- 10- Taylor, G.I. 1936. Fluid friction between rotating cylinders. proc. of the Royal Soc. of London, Series A, 157, pp. 546-564.

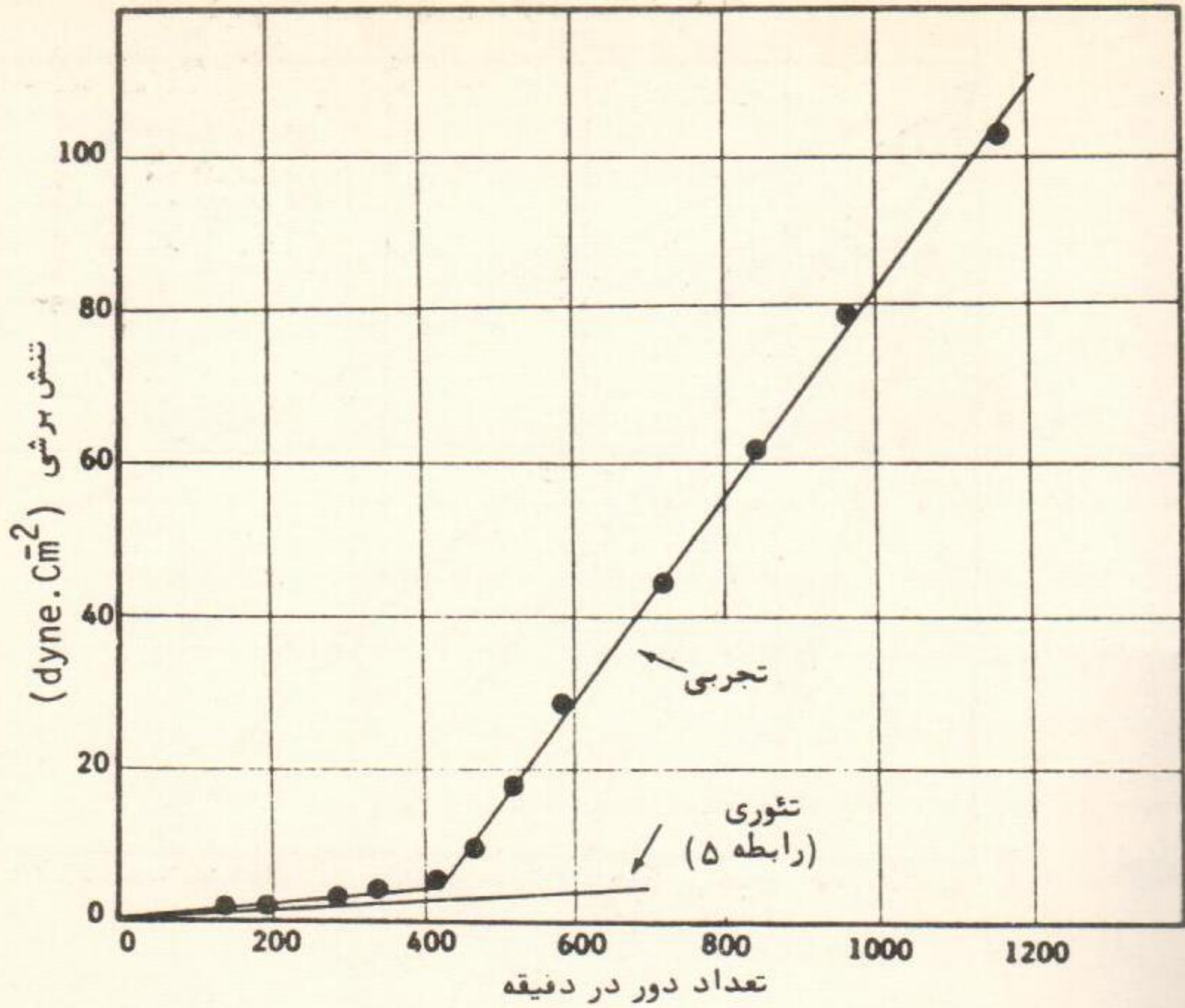


شکل ۲- روش کالیبره کردن دستگاه اندازه گیری فرسایش خاک

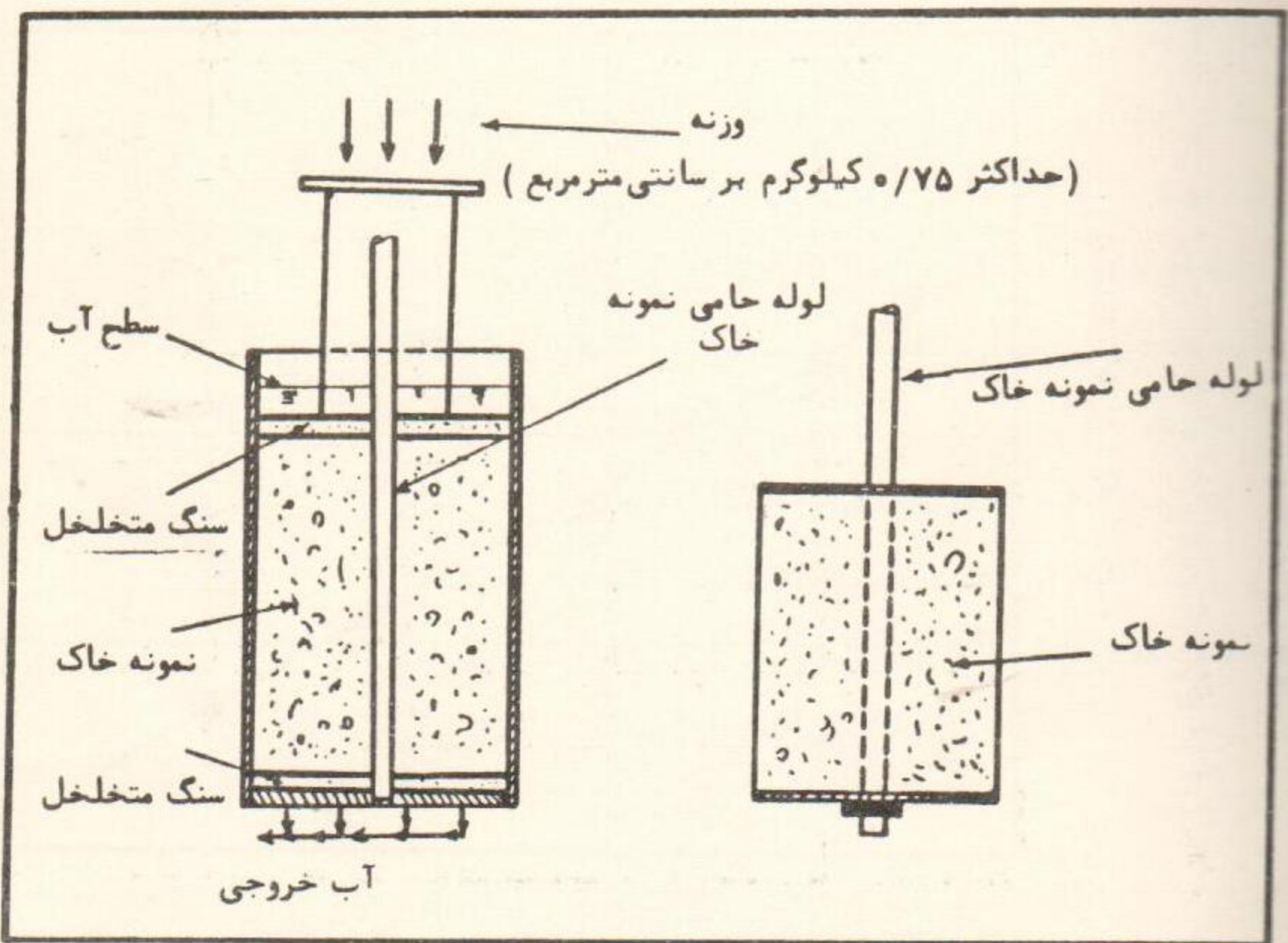


شکل ۱- مقطع دستگاه اندازه گیری فرسایش خاک



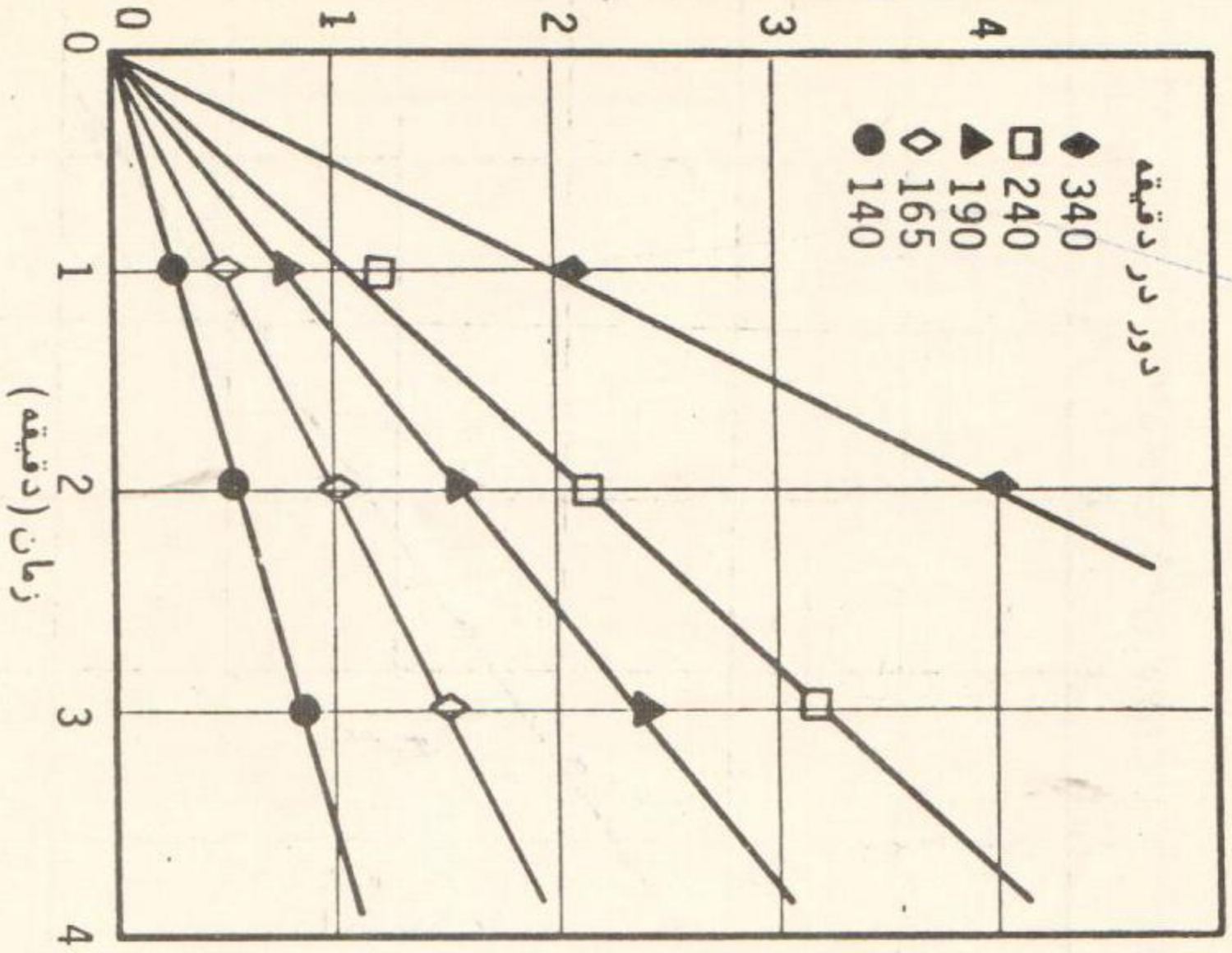


شکل ۳- رابطه بین تعداد دور چرخش استوانه خارجی و مقدار تنش وارده روی استوانه داخلی



شکل ۴- روش تهیه نمونه خاک

کاهش وزن نمونه خاک 100 (GR.Cm<sup>-2</sup>)

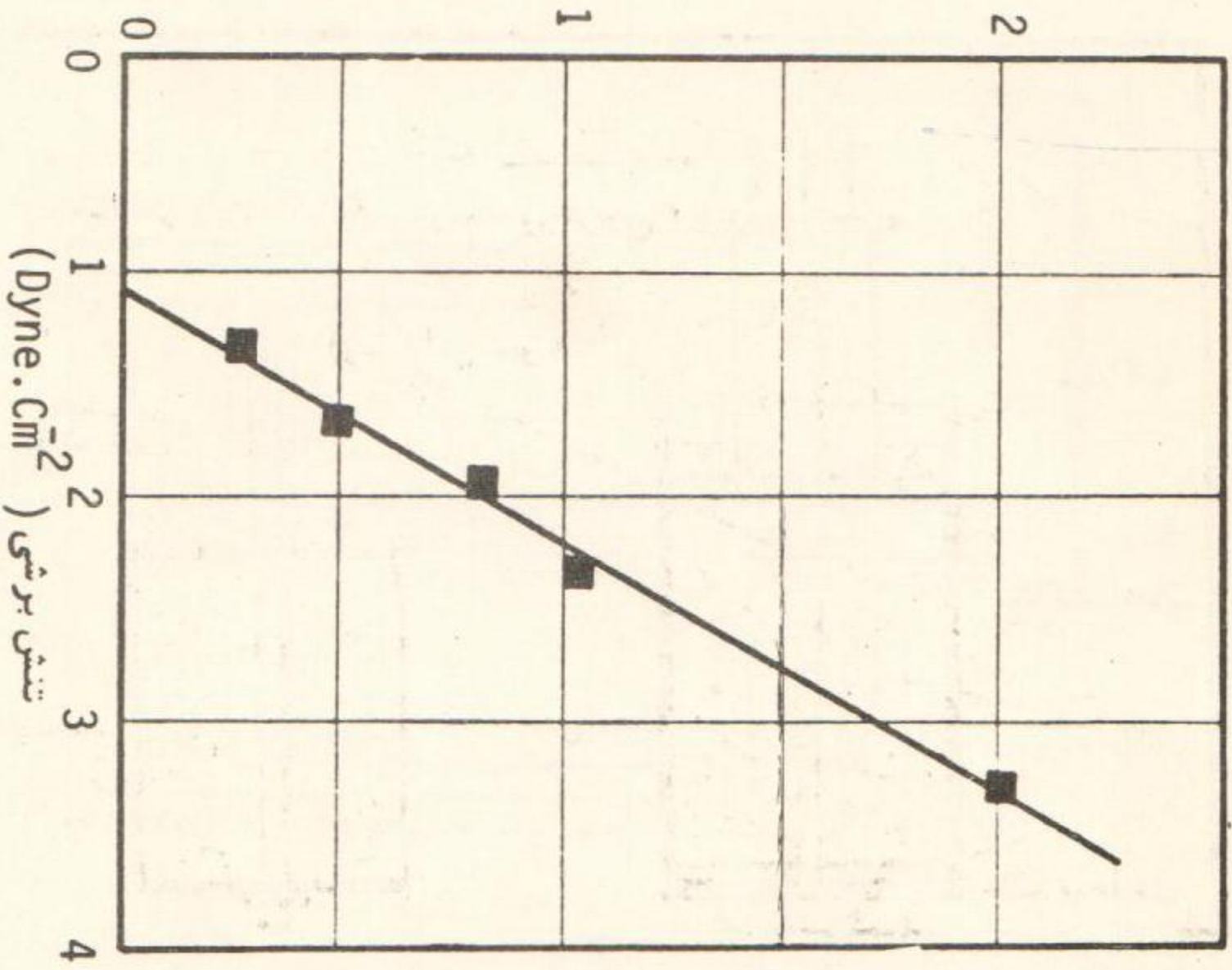


شکل ۵ - رابطه بین مقدار کاهش وزن نمونه (فرسایش خاک)

با زمان برای تعداد دوره‌های مختلف چرخش استوانه خارجی

(نوع خاک 10am Y010)

میزان فرسایش 100 (GR.Cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>)



شکل ۶ - رابطه بین میزان فرسایش خاک و تنش برشی

(نوع خاک 10am Y010)