

فرسایش هیدرولیکی در خاکهای چسبنده

امین علیزاده

در این آزمایش تأثیری که نوع وسیله اندازه‌گیری و نیز مقدار درصد آب خاک بر قابلیت فرسایش آن (تنش برشی بحرانی و میزان فرسایش) میگذارد مطالعه شده است. برطبق نتایج حاصله تنش برشی بحرانی مستقل از وسیله اندازه‌گیری است ولی روش اندازه‌گیری بر میزان فرسایش موثر است. در خاکهای اشباع، درصد آب بر تنش برشی بحرانی موثر نیست. ولی با افزایش مقدار آب میزان فرسایش کاهش می‌یابد. در خاک‌های غیراشباع، مقدار آب علاوه بر میزان فرسایش بر تنش برشی بحرانی نیز موثر است.

مقدمه و بررسی نوشته‌ها

در سالهای اخیر به مطالعه مکانیسم فرسایش خاکها توجه زیادی شده است. آگاهی از عواملی که بر فرسایش موثرند بخصوص در طرح جاده‌ها، کانالهای آبیاری و زهکشی، خاکریزها و نیز دیگر سطوحی که فاقد پوشش گیاهی میباشند حائز اهمیت است. یکی از مشکلات موجود در این زمینه نبودن وسایل و روشهای نسبتاً " دقیق اندازه‌گیری نیروهای فرساینده خاک است. در سمپوزیم فرسایش خاک که در سال ۱۹۷۳ در شهر واشنگتن آمریکا برگزار گردید مقالات جالبی در مورد علل و مکانیسم فرسایش خاکهای چسبنده ارائه شد (۷) از جمله نتایج این سمپوزیم قبول دستگاه استوانه دوار Rotating cylinder به عنوان وسیله اندازه‌گیری فرسایش در خاکهای اشباع بود (۲). در این سمپوزیم گفته میشد که با استفاده از فلوم Flume بجای استوانه دوار نتایج حاصله ممکن است بیشتر به واقعیت نزدیک باشد. بخصوص این که استفاده از نمونه‌های خاک غیر اشباع در استوانه دوار عملی نیست. از این جهت اولین هدف در این مقاله مقایسه نتایج حاصله از استوانه دوار یا فلوم است. محققین زیادی فرسایش خاکهای فشرده شده را مطالعه نموده‌اند (۱، ۴، ۶). در اکثر این مطالعات میزان فرسایش (گرم خاک فرسایش شده در واحد سطح در دقیقه) مورد نظر بوده و به تنش برشی لازم τ_0 برای شروع فرسایش توجه نشده است. علاوه

۱- استادیار گروه علوم کشاورزی و تولیدات زراعی، دانشگاه فردوسی.

بر این روش آزمایش نیز به وضوح روشن نیست. اثر بعضی از عوامل فیزیکی شیمیائی و ترکیبات خاک بر قابلیت فرسایش قبلا "مورد مطالعه قرار گرفته است (۳) ولی تاثیر مقدار درصد آب در خاکهای اشباع و غیر اشباع بر قابلیت فرسایش تا بحال گزارش نشده است. بنابراین، دومین هدف در این مقاله مطالعه اثر مقدار درصد آب خاک بر تنش برشی بحرانی (شاخص قابلیت فرسایش خاک) است.

روش آزمایش

الف - نوع خاک. خاکی که در این آزمایش مورد مطالعه قرار گرفت نوعی خاک لومی است مرکب از ۴۰ درصد ماسه، ۴۹ درصد سیلت و ۱۱ درصد رس. تجزیه خاک با استفاده از اشعه ایکس نشان داد که نوع رس آن ترکیبی از مونت موریلونیت، کائولینیت، میکاورمی کولیت است.

ب - طرز تهیه نمونه. برای مقایسه تنش برشی بحرانی مقدار ۱/۵ کیلوگرم خاک را در یک ظرف پلاستیکی محتوی ۲۰ لیتر محلولی با SAR و غلظت‌های مختلف نمک ریخته خوب بهم زده می‌شود تا بین خاک و محلول حالت تعادل بوجود آید. سپس نمونه خاک را صاف کرده و با فشاری معادل یک کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تحکیم Consolidation میشود. محلول خارج شده از خاک به هنگام تحکیم در اندازه گیری ترکیب شیمیائی محلول داخل خاک به کار رفته است.

نمونه‌های فشرده شده Compacted از مخلوط مقدار مشخصی خاک و آب بدست آمده اند. تمام نمونه‌ها به روش استاندارد ASSHO فشرده شده و سپس در داخل کیسه پلاستیکی قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک مرطوبی نگهداری شدند تا رطوبت بحالت تعادل و یکنواخت درآید.

ج - اندازه گیری تنش برشی. لین (۱۰) در آزمایشات خود برای اندازه گیری نیروئی که آب بر بستر وارد می‌سازد از فرمول ذیل استفاده نمود.

$$\tau_0 = \gamma DS \quad (1)$$

که در آن τ_0 تنش برشی بحرانی، γ وزن مخصوص آب، D عمق جریان آب و S شیب سطح آب است. این فرمول در مورد یک فلوم دو بعدی یا یک کانال نسبتاً "وسیع صادق است ولی برای یک فلوم کم عرض شبیه آن چه در این آزمایش به کار رفته است تلاطم و جریان غیر یکنواخت آب اشتباهاتی را ببار خواهند آورد.

در حال حاضر برای اندازه‌گیری تنش برشی دو نوع وسیله موجود است یکی برش سنج Shear meter یا ترازوی برشی Shear balance و دیگری لوله پرستون Preston tube. لوله پرستون از یک لوله به قطر خارجی d_p که روی سطح قرار گرفته و مقدار فشار کل P_t از آن قرائت میشود تشکیل یافته است. پرستون (۱۱) در سال ۱۹۴۸ نشان داد که مقدار تفاضل فشار کل و فشار استاتیک P_s یا $(P_t - P_s)$ بستگی به متغیرهای مستقل p ، v ، τ_0 و d_p دارد. فرمولی که توسط نامبرده ارائه شده عبارت است از:

$$\text{Log} \frac{\tau_0 d_p^2}{4 \rho v^2} = - 2.604 + \frac{7}{8} \log \frac{(P_t - P_s)}{40 v^2} d_p^2 \quad (2)$$

که در آن

ρ = جرم مخصوص آب برحسب اسلاگ بر فوت مکعب

v = لزجت حرکتی آب برحسب فوت مربع بر ثانیه

τ_0 = تنش برشی مرزی برحسب پوند بر فوت مربع

d_p = قطر خارجی لوله پیتو برحسب فوت

اگر طرف چپ این معادله از ۴/۵ کمتر باشد نتایج حاصله اشتباه بوده و برای مواردی که بزرگتر از ۶/۵ باشد آمارهای تجربی در دست نیست تا صحت آن ثابت گردد. پرستون خاطر نشان ساخته است که اگر بخواهیم نتایج حاصله از کاربرد این وسیله درست باشد لازم است که لوله پیتو در داخل لایه‌ای قرار گیرد که جریان آب در آن ورقه‌ای باشد. از لوله پرستون بخوبی در اندازه‌گیریهای تنش برشی استفاده شده است (۵، ۸، ۹). ایپن و همکارانش (۹) از لوله پرستون برای اندازه‌گیری توزیع تنش برشی در پیچهای کانالهای روباز استفاده نموده اند. با توجه به این که توزیع تنش برشی در سطح نمونه خاک نسبتاً "یکنواخت" بوده است لوله پرستون می‌تواند در مطالعات فرسایش نیز مورد استفاده قرار گیرد.

د - دستگاه اندازه‌گیری. اندازه‌گیری قابلیت فرسایش خاک در استوانه

های دوار و فلوم انجام شده است. شرح دستگاه استوانه دوار و طریقه اندازه‌گیری تنش برشی بحرانی توسط علیزاده (۱۳) تشریح گردیده است.

فلومی که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت بطول ۸ فوت، عرض ۶

اینچ و عمق ۱۲ اینچ است که جریان آب در آن بصورت چرخشی بوده است. بطوری

که در شکل ۱ مشاهده میشود با پیچ کنترل مقدار جریان و سویچ کنترل شیب میتوان سرعت آب و مقدار جریان را تغییر داد. نمونه خاک که در داخل استوانه آلومینیومی محصور است در فاصله ۵/۵ فوتی از انتهای فلوم در کف آن جای گذاری شده و به وسیله پیچ مخصوص می توان آن را بالا آورده تا در معرض فرسایش آب قرار گیرد. برای اندازه گیری تنش برشی از یک لوله پرستون (۸) که به این منظور تهیه گردید استفاده شد اختلاف فشار $(P_t - P_s)$ بوسیله لوله پیتو اندازه گیری گردید. نمونه قبل از گذاشتن در کف فلوم توزین شده و سپس به مدت یک دقیقه با شرایط تنظیم شده سرعت و مقدار جریان در معرض تنش برشی (فرسایش) قرار گرفت. پس از این مدت نمونه دوباره توزین شده سطح خاک را برش داده و به ترتیب بالا با تنش برشی دیگری فرسایش داده میشود. اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از فرسایش معادل مقدار خاک فرسایش شده از سطح نمونه در مدت یک دقیقه است.

نتایج و بحث

مقایسه تنش برشی بحرانی. سه نمونه از خاکی که غلظت محلول داخل آن 50 meq/l و SAR آنها ۵۰، ۴۰، ۳۰ بود تهیه و مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج این آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. بطوری که مشاهده می شود مقدار تنش برشی بحرانی (نقطه تقاطع خطوط با محور افقی) بدست آمده بوسیله هر یک از دستگاههای اندازه گیری یکسان است. ولی، میزان فرسایش اندازه گیری شده در دو روش متفاوت است (میزان فرسایش در روش استوانه دوار کمتر از فلوم است). این اختلاف ممکن است در نتیجه زبری سطح باشد. سطح خاک در نمونه هائی که به وسیله استوانه دوار مورد آزمایش قرار گرفتند صاف بوده است ولی برش نمونه در فلوم قبل از هر اندازه گیری تولید زبری در سطح میکند. نتایج مشابهی از اثر زبری سطح خاک بر میزان فرسایش قبلاً گزارش شده است (۴).

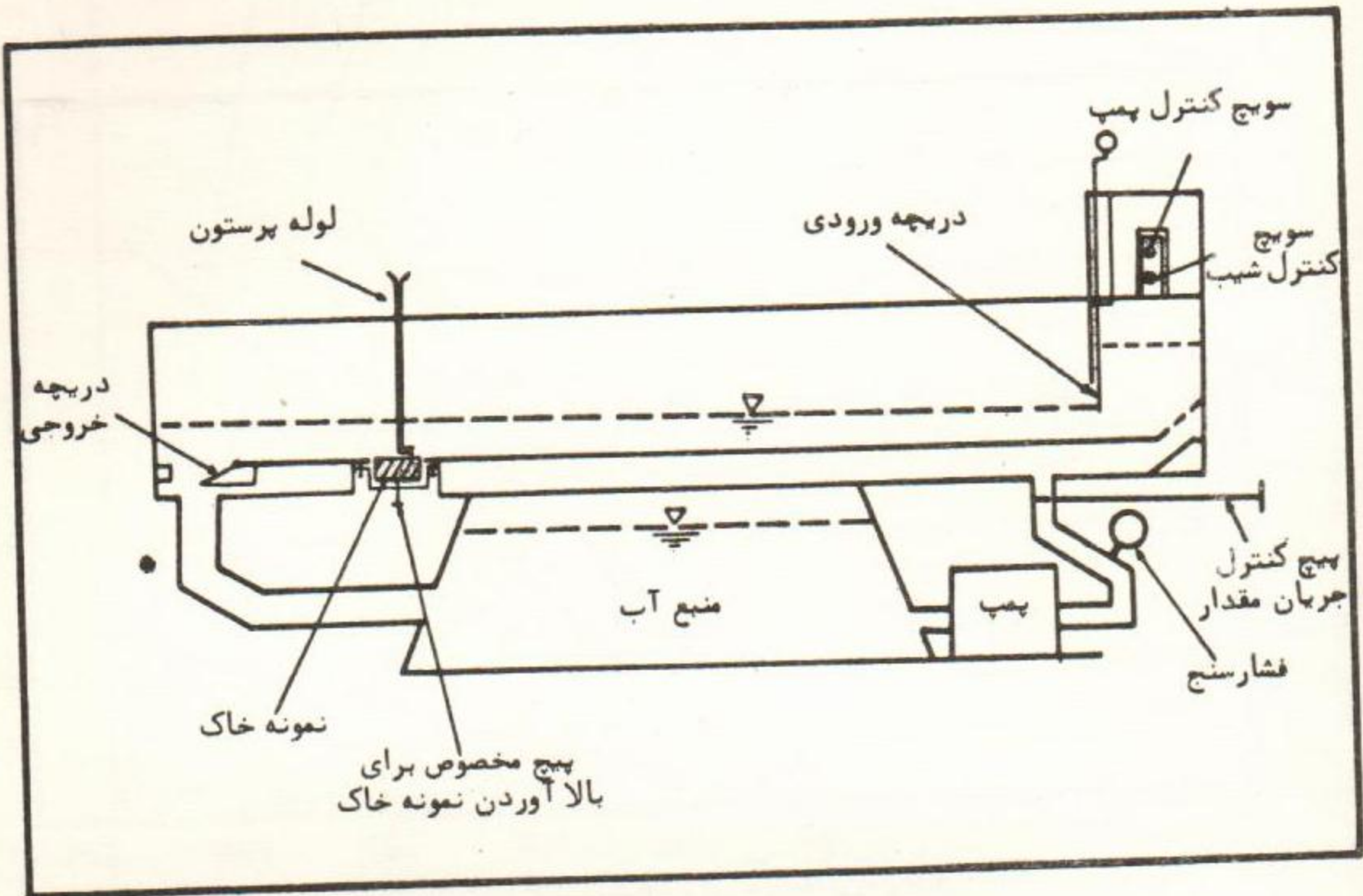
اثر مقدار درصد آب خاک. در شکل ۳ اثر مقدار درصد آب برای نمونه اشباع شده ای از یک خاک سیلتی رسی که محتوی ۲۰ درصد کائولینیت (Hydrate R) است مشاهده میشود. بطوری که در این شکل مشاهده میشود اگر SAR محلول داخل خاک کم باشد، مقدار درصد آب بر تنش برشی بحرانی موثر نیست. ولی، با کاهش مقدار آب از میزان فرسایش کاسته می شود. در این مورد چنین بنظر می رسد که اگر خاک در SAR زیاد که چسبندگی ذرات بهم دیگر کم است تحکیم گردد ممکن است تغییر جهت ذرات موجب گردد که درصد آب بر تنش برشی بحرانی موثر واقع شود.

ولی ، هنوز نتایج رضایت بخشی که بتوان در این مورد ارائه نمود در دست نیست .
رابطه میزان فرسایش و تنش برشی در مورد نمونه های فشرده شده خاک لومی
(منحنی فشردگی مطابق شکل ۴ است) در شکل ۵ نشان داده شده است . بطوریکه
دیده می شود با افزایش درصد آب مقدار تنش برشی بحرانی نیز افزایش می یابد .
چنین می شود استنباط کرد که با افزایش درصد آب قابلیت تورم خاک کاهش یافته و
در نتیجه تنش برشی بحرانی افزایش می یابد یعنی در خاکهای فشرده شده تنش
بحرانی تابعی از درصد آب و وزن مخصوص خاک است . در شکل ۶ رابطه بین درصد
آب و تنش برشی بحرانی مشاهده میشود . بطوری که از این شکل بر می آید در مقدار
آب حدود ۱۵ درصد تنش برشی بحرانی صفر است . این مقدار معادل درصد مطلوب
آب از نظر فشردگی خاک (نقطه ماگزیمم در شکل ۴) می باشد .

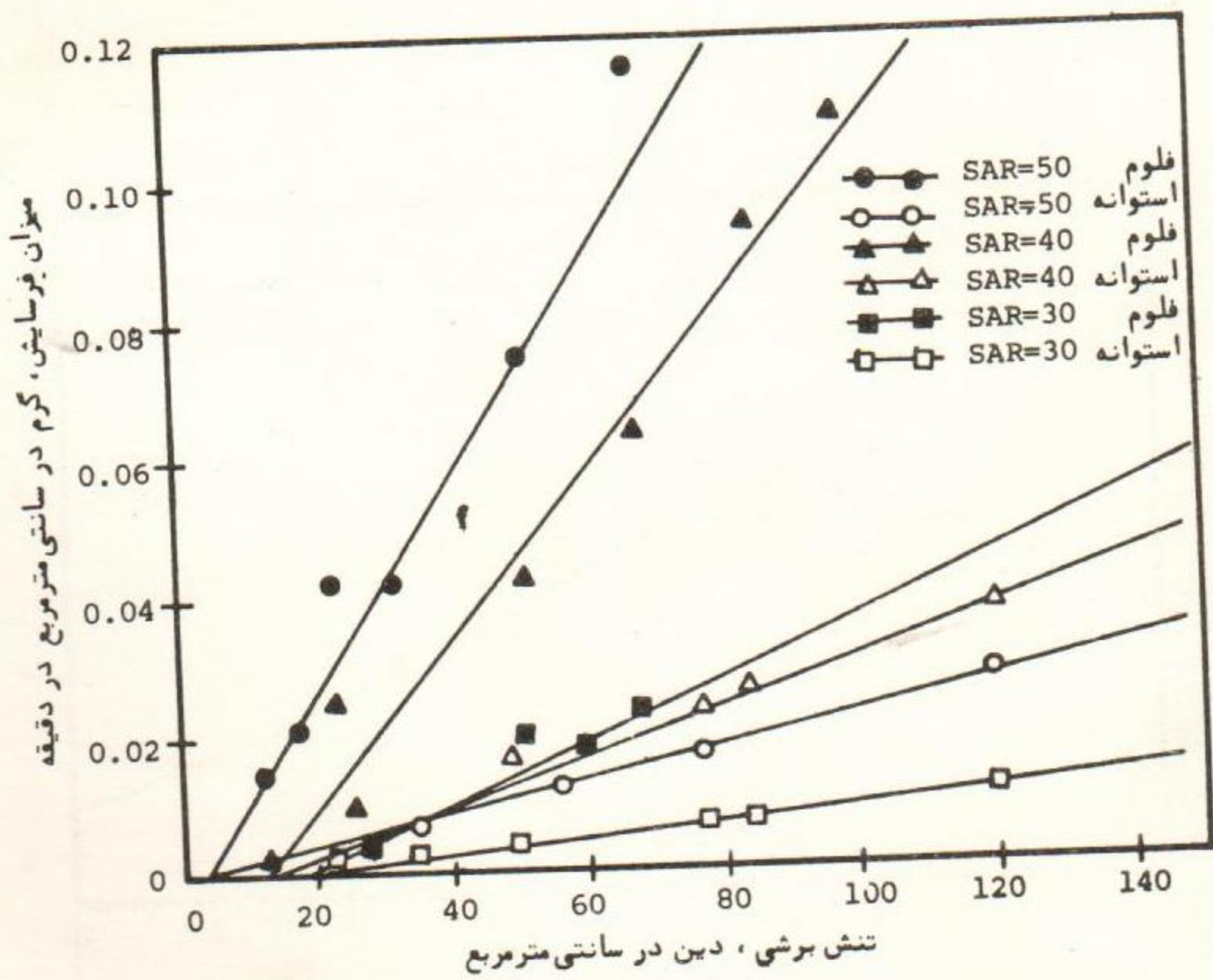
نتیجه گیری

- بطور کلی از آمار حاصل از این آزمایش چنین نتیجه گیری می شود که .
- ۱- تنش برشی بحرانی خاک مستقل از نوع وسیله اندازه گیری است . البته
نمونه های فشرده شده نمی تواند بوسیله استوانه دوار مورد آزمایش قرار گیرند حال
آنکه در فلوم میتوان هم از نمونه فشرده شده و هم از نمونه اشباع شده استفاده کرد .
 - ۲- میزان فرسایش در یک نمونه خاک بسته به روش اندازه گیری متفاوت بوده
و این اختلاف احتمالا " در اثر زبری سطح خاک است .
 - ۳- در نمونه هائی از خاک که SAR محلول داخل آن کم است تنش برشی
بحرانی مستقل از درصد آب نمونه است ولی در خاکهای فشرده شده این مقدار بستگی
به درصد آب دارد .
- هرچه مقدار درصد آب افزایش یابد مقدار تورم خاک کمتر شده و تنش برشی
لازم برای شروع فرسایش افزایش می یابد .
- ۴- مکانیسم شروع فرسایش در خاکهای اشباع بوسیله ساختمان خاک و شیب
فشار اسمتیک بین آب و محلول داخل خاک کنترل میشود (۳) . در نمونه های خاک
اشباع که SAR محلول داخل آنها کم است شیب فشار اسمتیک و جهت ذرات در
حین تحکیم عوض نشده لذا تورم خاک زیاد موثر نیست . یعنی تنش برشی بحرانی
تحت تاثیر مقدار آب قرار نمی گیرد . در خاک فشرده شده نیز تنش برشی بحرانی
بوسیله تورم کنترل میشود ولی مکانیسم تورم در این دو مورد متفاوت است . در خاک
فشرده شده تورم و بنابراین شکستن باندها در اثر جذب آب است در حالیکه در خاک

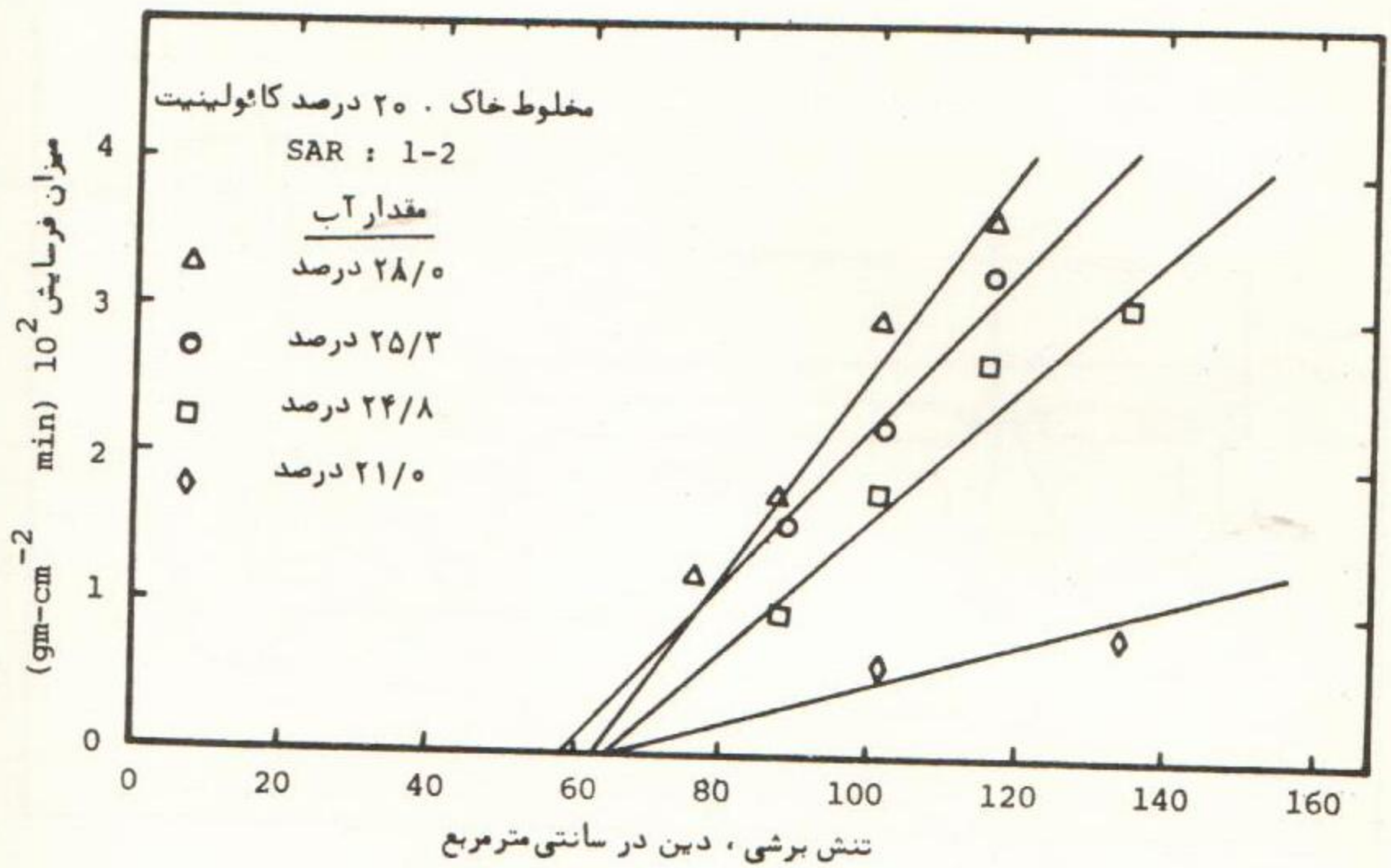
اشباع ساختمان و شیب فشار اسمتیک نقش اساسی دارد . باید در نظر داشت که روش های مختلف فشردن خاک تولید ساختمان های متفاوت نموده که در نتیجه مقدار تورم آنها نیز متفاوت بوده (۱۲) لذا تنش برشی بحرانی نیز تفاوت می کند .



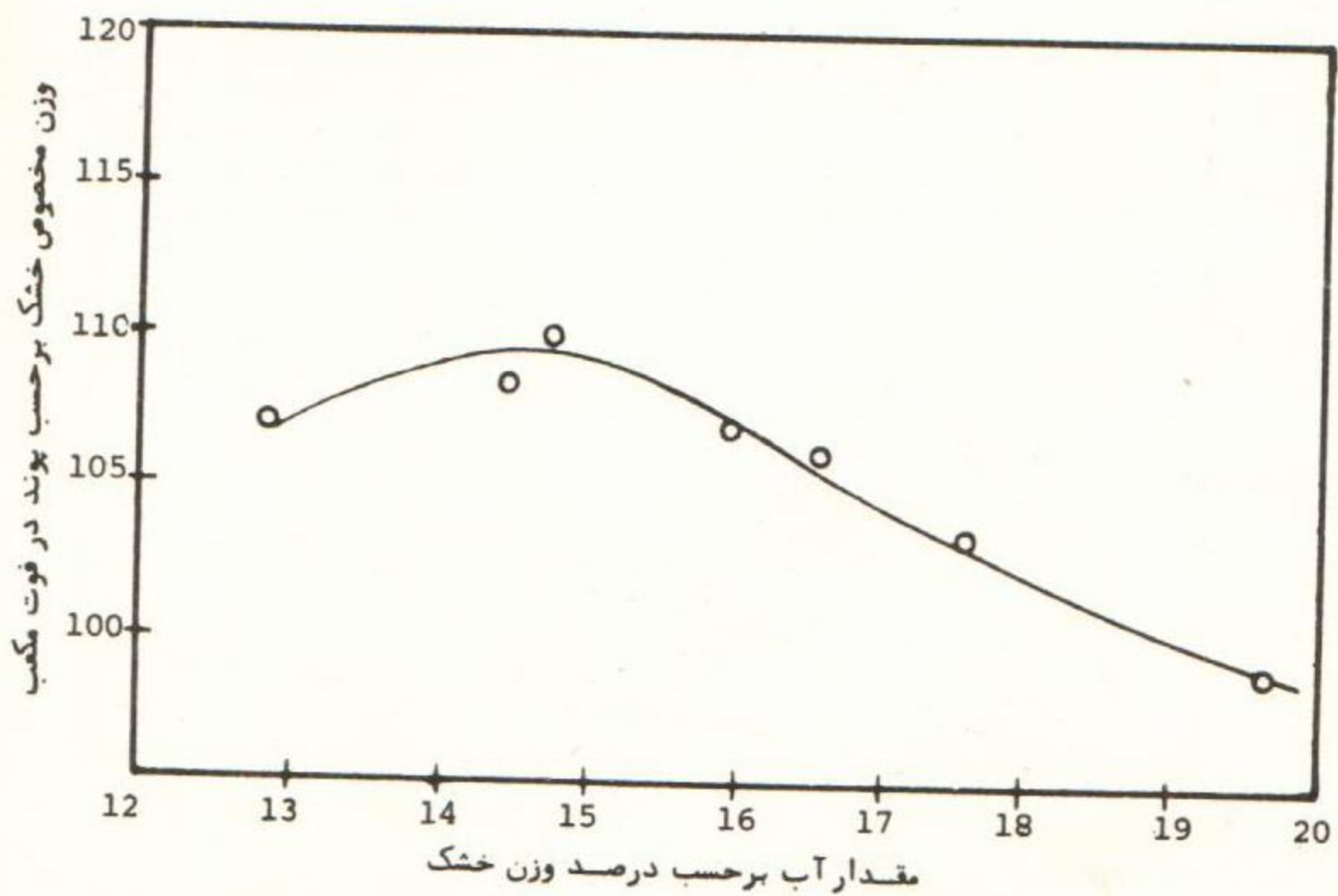
شکل ۱ - تصویر شماتیک فلوم



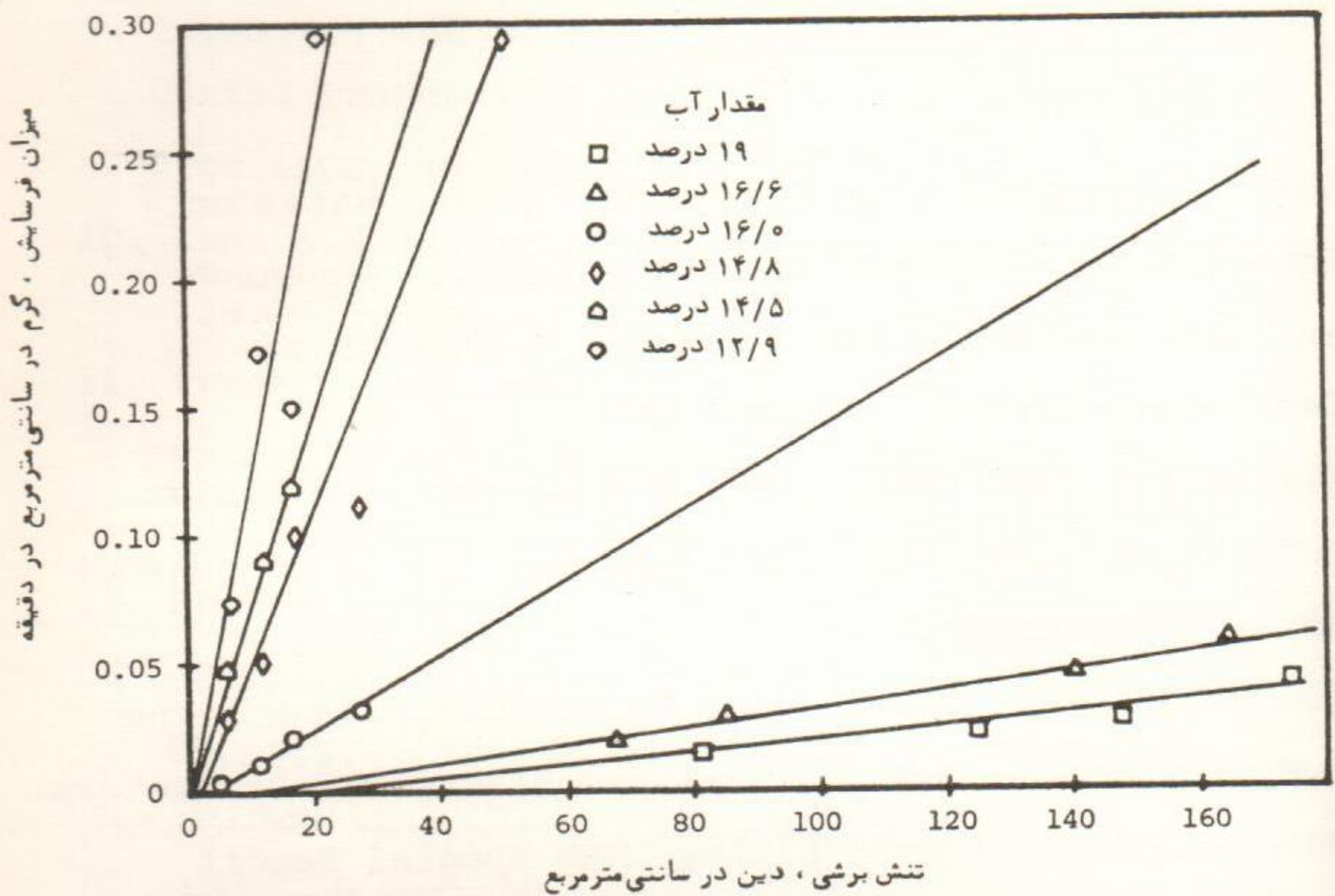
شکل ۲ - مقایسه رابطه بین میزان فرسایش و تنش برشی در استوانه دوار و فلوم



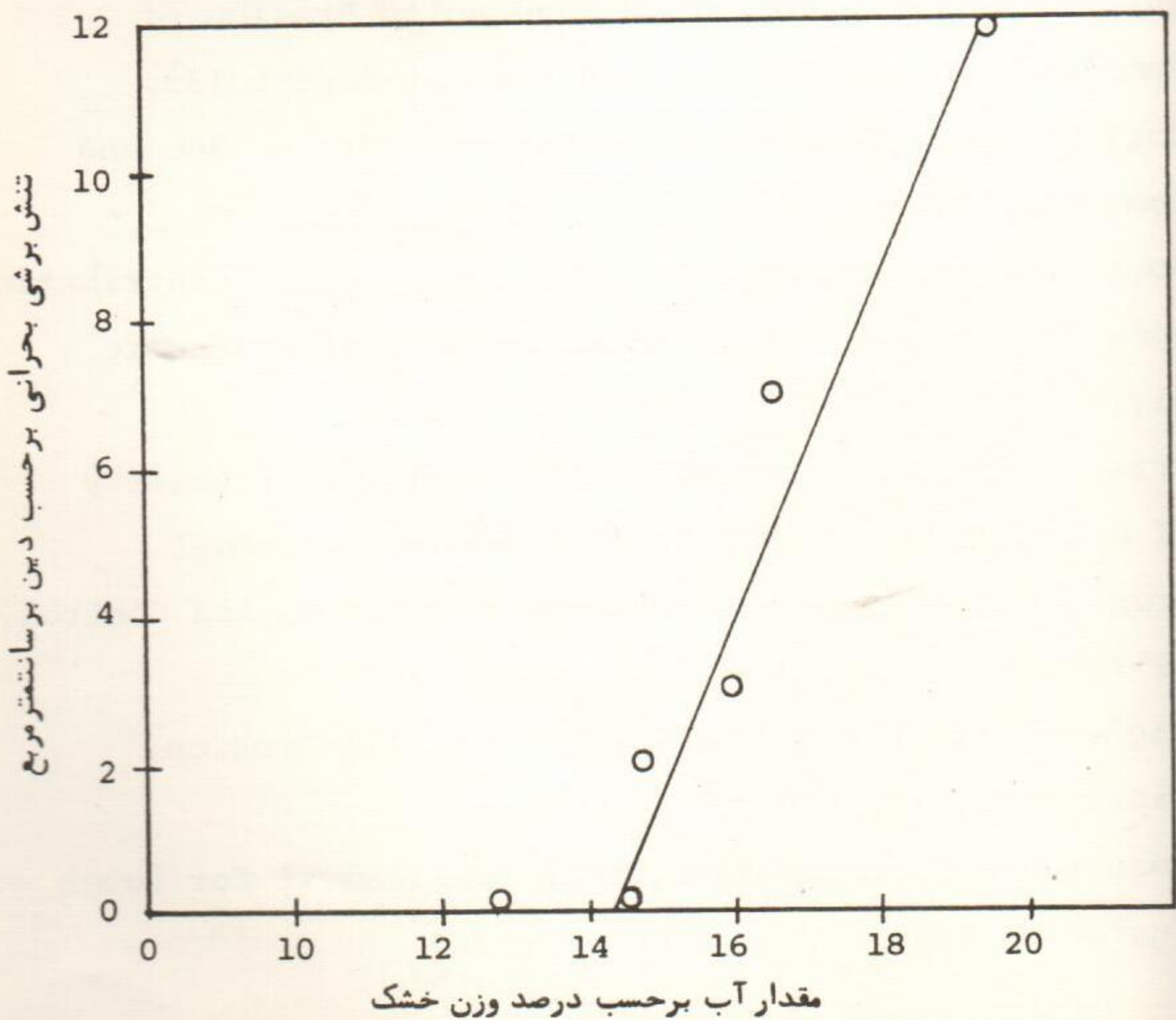
شکل ۳ - اثر مقدار درصد آب بر تنش برشی بحرانی و میزان فرسایش (نوع خاک ، سیلتی ، رسی)



شکل ۴ - منحنی فشردگی در مورد خاک لومی



شکل ۵ - رابطه بین تنش برشی و میزان فرسایش برای خاک لومی فشرده شده با مقادیر مختلف آب



شکل ۶ - اثر مقدار درصد آب بر تنش برشی بحرانی در خاک لومی فشرده شده

منابع

1. Abdel-Rahman, N.N., The Effect of Flowing Water on Cohesive Beds. Laboratory for Hydraulic Research and Soil Mechanics, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, thesis, 1962.
2. Alizadeh, A. Type and Amount of Clay and Pore Fluid Influences on the Critical Shear Stress of Cohesive Soils, Ph.D. thesis, Univ, of Calif. Davis, 1974.
3. Arulanandan, K., Sargunam, A., Loganathan, P., and Krone R.B. Application of Chemical and Electrical Parameters to Prediction of Erodibility. HRB Special Report 135, Soil Erosion: Causes and Mechanisms; Prevention and Control, 1973.
4. Christensen, R., and Das, B., Hydraulic Erosion of Remolded Cohesive Soils. HRB Special Report 135, Soil Erosion: Causes and Mechanisms; Prevention and Control, 1973.
5. Gosh, S.N. and Roy, N., Boundry Shear Stress Distribution Open Channel Flow. Proc. ASCE. Journal of Hydraulic Div. HY2, Vol. 96, 1970.
6. Crissinger, E.H. Ephemeral Erosion and the Stability of Cohesive Soils. HRB Special Report 135, Soil Erosion: Causes and Mechanisms; Prevention and Control, 1973.
7. Highway Research Board, Report 135, Soil Erosion, Washington, D.C., 1973.
8. Hwange, L. and Larsen, E.M., Shear Measurement for Rough Surfaces. Proc. ASCE, Vol. 80, HY2, 1963.

9. Ippen, A.T. and Drinker, P.A., Boundary Shear Stress in Curved Trapezoidal Channels. Jour. Hydraulics Div., Proc. ASCE; No. HY5, 1962.
10. Lane, E.W. Design of Stable Channels. Trans. ASCE Vol. 120, 1955.
11. Preston, J.H., Determination of Turbulent Skin Friction by Means of Pitot Tubes. J. Roy. Aeron. Soc., Vol. 8, 1954.
12. Seed, H.B., and Chan, C.R., Structure and Strength of Compacted Clays. J. Soil Mech. Found. Div. ASCE, Vol 85, 1959.

۱۳- علیزاده . الف . اندازه گیری قابلیت فرسایش خاک بوسیله استوانه های دوار ،
مجله علمی کشاورزی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه جندی شاپور ، اهواز ، سال
اول ، شماره ۲ ، ۱۳۵۴ ص ۱-۱۰