

فریدون کاوه و م - ت وان گنوکتن

اسنادیار گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران و رهبر تحقیقات آزمایشگاه

شوری خاک ایالات متحده

تاریخ وصول هشتم اردیبهشت ماه ۱۳۶۹

### چکیده

یکی از خواص بسیار مهم حاکم بر انتقال آب و محلولها در خاک هدایت هیدرولیکی (ضریب آگذری) غیر اشباع خاک است که تعیین آن در صحرا و در آزمایشگاه علاوه بر وقت گیر بودن بسیار گران تمام می شود. مضافاً آنکه بسط لحاظ تغییرات مکانی و زمانی، مفید بودن نتایج محدود و اغلب پراکنده در مسائل عملی قابل تردید است. از اینرو روشهای بسیاری برای تخمین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک با استفاده از پاره ای از خواص خاک که اندازه گیری آنها ساده تر می باشد، بوجود آمده است.

یکی از این روشها مربوط به معلم<sup>۱</sup> (۵) که در حقیقت معادله ای تعدیل شده از نوع بوردین<sup>۲</sup> می باشد. عقاید متفاوتی درباره مقدار عددی نمای P در معادلات معلم و بوردین وجود دارد. حل هر دوی این معادلات با نمای متغیر اخیراً توسط وان گنوکتن (۱۰) ارائه گردیده است. در این مقاله با استفاده از روش حل وان گنوکتن برای معادله معلم، مقدار این نما با توجه به بافت خاک برای تعدادی از خاکهای موجود در منابع ارزیابی گردید.

نتایج نشان داد که مقدار P آنطوری که توسط معلم پیشنهاد گردید يك مقدار ثابت و برابر با ۰/۵ برای خاکها با بافت متفاوت نمی باشد. همچنین نتایج نا امیدکننده آلکساندر<sup>۳</sup> (۱) و سایرین مربوط به استفاده از مقدار ۰/۵ برای P بوده است. بر اساس نتایج بدست آمده از این بررسی مقادیر P برای خاکهای رسی، لومی و ماسه ای بترتیب برابر با ۰/۵، ۱/۵ تا ۶/۵ توصیه گردید. حل معادله نسبت به مقدار آب باقیمانده ( $\theta_r$ ) آنطور که معلم پیشنهاد کرده بود حساسیت نداشت، لکن حساسیت عمدتاً "مربوط به مقدار آب اشباعی ( $\theta_s$ ) می شود.

### مقدمه

روشهای اکتشافی استفاده از آنها ساده تر بسوده و چنانکه نشان داده شود از نظر فیزیکی در یک طیف وسیع رطوبتی جوابهای صحیح تسلیم نمایند، می تواند ابزار مفیدی برای درون یابی یا برون یابی قسمت‌های منحنی نگه داشت رطوبت خاک که اطلاعات کمی برای

استفاده از توابع تحلیلی برای پیش بینی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک مزایائی دارد. برای مثال می توان مقایسه جامع تر و بهتری از خواص هیدرولیکی خاکها و افقهای مختلف ارائه نمود. همچنین در

1- Muallaem

2- Burdine

3- Alexander

آن در دسترس باشد، ارائه نمایند.

از مدل‌های مختلف ارائه شده برای محاسبه هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاکها مدلی که توسط معلم (۵)، پیشنهاد گردیده به واقعیت نزدیکتر است. اساساً "مدل معلم یک حالت تعدیلی معادله توزیع اندازه منافذ بودین (۳) می‌باشد که در آن اثرات هدایت منافذ در نظر گرفته شده است.

معادله تخمین و برآورد تحلیلی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک نیاز به رابطه‌ای دارد که بتواند بطور دقیق نگهداشت رطوبت خاک در تمامی محدوده مقادیر مشاهده شده را توصیف نماید و دقت این معادله جهت برآورد مقادیر  $K$  بستگی به دقت تئوری پایه‌ای معادله خواهد داشت.

از مجموعه توابع نگهداشت رطوبت خاک ارائه شده وان گنوکتن و هدایت هیدرولیکی معلم برای پیش بینی  $K$  (۸) مدل مطلوبی بوجود آمده که صحت آن توسط محققین زیادی مورد تأیید واقع شده است (۹)، (۲۰ و ۲۱) آنطور که وان گنوکتن و همکاران (۱۱) ذکر می‌نمایند بسیاری از مدل‌های پیش بینی کننده را می‌توان با اختلافات مهمی که در نمای نیمه تجربی  $p$  دارند، فرموله کرد. به نظر می‌رسد که تفاوت‌های ناشی از  $p$  عمدتاً "در ارتباط با کالیبره نمودن برای خاکهای مختلف بوجود آیند. همچنین وان گنوکتن و نلسون (۹) نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه مدل‌های بهبود یافته تخمین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع را مورد تأکید قرار دادند. آنها نتیجه گیری نمودند که مدل معلم در پیش بینی هدایت هیدرولیکی خاکهای مختلف کارآیی بیشتری نسبت به مدل بودین دارد و در نتیجه ارزیابی تفضیلی تری برای رابطه معلم ضروری می‌باشد.

در این بررسی کوشش بیشتری صرف مطالعه تابع معلم از طریق یک برنامه کامپیوتری پیشرفته توسط RETC - F77 که توسط وان گنوکتن (۱۰) بوجود آمد، گردید. مزیت عمده این برنامه نسبت به برنامه قبلی امکان استفاده از نمای متغیر می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه آزمایش مدل مجموعه وان گنوکتن - معلم برای نمای متغیر برای پیش بینی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک بود. خاکها عمدتاً "همانهای بودند که قبلاً توسط آلکساندر (۱) برای آزمایش مدل‌های مختلف پیش بینی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع بکار برده شدند زیرا نتایج بدست آمده توسط نامبرده برای مدل فوق با نمای ثابت ( $p=0.5$ ) پیشتهادی توسط معلم کاملاً نا امیدکننده بود.

### تئوری

روشهای تخمین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک از اطلاعات مربوط به نگهداشت آب خاک معمولاً "متکی بر مدل‌های توزیع اندازه منافذ می‌باشد که فرض می‌شود جریان آب از میان منافذ استوانه‌ای شکل خاک صورت می‌پذیرد. همچنین از معادلات داری و پویسزول<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

یکی از متداولترین و دقیقترین مدلها مربوط به معلم است. به صورت زیر:

(۱)

$$K(se) = K_s S_e^p \left[ \int_0^1 h^{-1}(x) dx \right]^2 h^{-1}(x) dx^2 \dots$$

به طوریکه  $K_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع خاک،  $p$  یک پارامتر تجربی،  $S_e$  مقدار اشباع موثر خاک است که با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (۲)$$

که در این رابطه  $\theta_s$  و  $\theta_r$  بترتیب مقادیر رطوبت اشباعی

و رطوبت باقیمانده<sup>۱</sup> می‌باشند.

معادله ۱ در سال ۱۹۷۶ توسط معلم از مدل‌های قبلی توزیع اندازه منافذ بادر نظر گرفتن اثر هدایت منافذ بدست آمد. از اطلاعات و ارقام مربوط به نمونه تعداد ۴۵ خاک درباره مقادیر  $K(h)$  و  $h$  کسه از کاتالوگ نامبرده (۶) استخراج شده بود می‌توان چنیسن نتیجه گیری کرد که ضریب تجربی  $P$  در معادله ۱ باید برابر با ۰/۵ انتخاب گردد. از آنجائی که داده های کاتالوگ معلم عمدتاً " متعلق به خاکهای دست خورده و مجدداً در آزمایشگاه کوبیده شده است، لذا مقدار  $P$  مساوی ۰/۵ فقط می‌تواند يك تقریب ابتدائی باشد و نباید برای کلیه خاکها صدق نماید.

وان گنوکتن يك فرم بسته حل آنالیتیک برای مدل تئوری تهیه شده توسط معلم پیشنهاد نمود که در آن استفاده از منحنی نگهداشت رطوبت به شکل  $s$  ارائه شده توسط خودش بکار گرفته شد که به يك فرم بسته آنالیتیک منتهی گردید.

معادله نگهداشت رطوبت به صورت زیر در آن ارائه شده است:

$$s_e = [p + (\alpha h)^n]^{-m} \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\alpha$ ،  $n$  و  $m$  نشان دهنده پارامترهای تجربی می‌باشند. وان گنوکتن برای ساده نمودن راه حل، مقدار ۰/۵ را برای  $P$  توصیه نمود. این مدل بعداً " اصلاح گردید به طوری که اکنون می‌توان از مقادیر متغیر  $P$  استفاده نمود (۱۰). معلم يك روش تفضیلی

(۵) برای تعیین رطوبت باقیمانده پیشنهاد نمود. این پارامتر معمولاً در آنالیز خاکها اندازه گیری نمی‌شود. به عقیده معلم انتخاب صحیح  $\theta_r$  در تعیین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک بسیار اهمیت دارد.

در روش حل وان گنوکتن که توسط برنامه کامپیوتری RETC - F77 اجرا می‌شود مقادیر  $\theta_r$  و  $\theta_s$  متغیر در نظر گرفته شده و حدس اولیه این مقادیر برای شروع برنامه اهمیت زیادی ندارد.

همان طوری که قبلاً اشاره شد مدل معلم يك فرم اصلاح شده معادله بوردین (۳) می‌باشد که در مانیس مهندسی نفت به حد زیادی مورد استفاده قرار گرفته است و آن را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$K(s_e) = K_s s_e^p \int_0^{s_e} h^{-2}(x) dx / \int_0^1 h^{-2}(x) dx \quad (4)$$

اجزاء مختلف آن معانی قبلی را دارد.

محققین بسیاری از معادله فوق با مقادیر مختلف برای نمای  $P$  استفاده نموده‌اند که با داده های آنها به بهترین وجه برازش داده شده است. از آنجائی که مدل معلم در واقع يك فرم تعدیل شده معادله بوردین است، بنابراین از نظر تئوری احتمالاً " مقادیر  $P$  باید متغیر باشد و امکاناً " يك تابعی از جرم مخصوص ظاهری، بافت خاک، ساختار، مقدار مواد آلی و نوع کانهای رسی خاک می‌باشد. در این مطالعه مقدماتی تنها اثر بافت که مهمترین خاصیت اثر گذارنده بر  $P$  است برای تعداد محدودی خاک منظور گردید. امید است که بررسیهای لازم در زمینه سایر متغیرها برای تعداد بیشتری از خاکها در يك بانک اطلاعاتی جهانی که در حال حاضر زیر نظر وان گنوکتن و همکاران در آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده آماده می‌شود، انجام پذیرد.

### مواد و روشها

نتایج اندازه گیریهای آزمایشگاهی  $K(h)$  و  $K(\theta)$  موجود در منابع برای ۲۳ نوع خاک (جدول ۱)

جدول ۱ - فهرست خاکهای مطالعه شده در این بررسی

ردیف	نام خاک	طبقه بندی بافت خاک	مقادیر ضرایب P	منبع و تاریخ
۱	رس ردیو	لوم رسی	۲/۵ -	استیپل، ۱۹۶۹
۲	لوم رسی ردیو	لوم رسی	۰/۵ -	تاپ، ۱۹۷۱
۳	رس سبک یولو	لوم رسی	۰/۵ -	مور، ۱۹۳۹
۴	لوم رسی فولباغ	لوم رسی	۲/۵ -	تربیبات و گیلدایل، ۱۹۷۵
۵	لوم هالدی	لوم رسی	۲/۵ -	تربیبات و گیلدایل، ۱۹۷۵
۶	لوم رسی سیلنتی بنی	لوم رسی سیلنتی	۲/۵ -	تربیبات و گیلدایل، ۱۹۷۵
۷	مالکینا	رس	۲/۵ -	باتناگر و همکاران، ۱۹۷۹
۸	مزرعه حفاظتی	رس	۲/۵ -	باتناگر و همکاران، ۱۹۷۹
۹	سنگنکال	ماسه لومی	۰/۵	باتناگر و همکاران، ۱۹۷۹
۱۰	لوم ماسه ای روبیکن	لوم ماسه ای	۰/۵	تاپ، ۱۹۶۹
۱۱	لوم سیلنتی مانن سینس	لوم ماسه ای	۰/۵	واشاد، ۱۹۶۷
۱۲	لوم کاستر	لوم	۰/۵	استیپل، ۱۹۶۹
۱۳	لوم ماسه ای ریز یولو	لوم	۰/۵	مور، ۱۹۳۹
۱۴	لوم سیلنتی داندی	لوم سیلنتی	۰/۵	هاریداسن و جنسن، ۱۹۷۲
۱۵	لوم سیلنتی دابز	لوم سیلنتی	۰/۵	هاریداسن و جنسن، ۱۹۷۲
۱۶	لوم سیلنتی کاریبو	لوم سیلنتی	۰/۵	تاپ، ۱۹۷۱
۱۷	ماسه اوکلی	ماسه	۴/۵	مور، ۱۹۳۹
۱۸	ماسه روت	ماسه	۰/۵	روبین و همکاران، ۱۹۶۴
۱۹	ماسه آپلند	ماسه	۴/۰	استیپل، ۱۹۶۹
۲۰	لوم سیلنتی کلمبیا	ماسه	۰/۵	واشاد، ۱۹۶۷
۲۱	ماسه درشت هابارد	ماسه	۶/۵	گوپتا و همکاران، ۱۹۷۷
۲۲	ماسه پلین نیلد	ماسه	۱/۵	بلاک و همکاران، ۱۹۶۹
۲۳	ماسه	ماسه	۱/۵	ناراسیم هان، ۱۹۷۹

۲- لومی شامل ماسه لومی - لوم ماسه ای - لوم

۳- ماسه ای شامل ماسه

### نتایج و بحث

نتایج این بررسی به وضوح نشان می‌دهد که انتخاب مقدار ثابت P برای کلیه خاکها با بافت مختلف مناسب نمی‌باشد (جدول ۱). مطابق شکل‌های ۱ الی ۲ مقادیر برازش یافته هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاکهای رسی (۸ نمونه جدول ۱)، بطور بسیار خوبی با مقادیر مشاهده شده مطابقت می‌نماید. با استثناء لومی - رسی "ریدیو"، رس سبک "یولس" و رس "Conservation farm" مقدار P برابر است با ۲/۵. بالا بودن ضرایب همبستگی کلیه خاکهای رسی دقت مدل و مناسب بودن راه حل را به خوبی نشان می‌دهد. دلیل مقادیر متفاوت P از ۲/۵ - برای سه نمونه خاک فوق به میترالهای رس متفاوت و شرایط فشردگی متفاوت نمونه‌ها مربوط می‌باشد. دلیل دیگر بر چنین انحراف بزرگی در مقدار P می‌تواند به داده‌های نگهداشت رطوبت خاک غیر مطلوب یا نادرست مربوط شود (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲). تغییر مقدار P از ۱- تا ۴- بر طبیعت برازش مقدار K اثر زیادی نداشت. برای خاکهای لومی مقدار P دقیقاً برابر بود با ۰/۵ برای کلیه ۸ نمونه خاک تحت بررسی بود (جدول ۱ و شکل‌های ۴، ۵ و ۶). این نتایج کاملاً "منطبق با مقادیر قابل پیش بینی می‌باشد. به لحاظ آنکه خاکهای لومی يك بافت حدواسطی بین ریز و درشت دارند.

به طور کلی برای خاکهای ماسه‌ای مقدار P بین

۱/۵ تا ۶/۵ در نوسان است. نتایج این بررسی نشان

خلاصه شده توسط الکیاندر (۱) برای محاسبه هدایت هیدرولیکی غیراشباع مورد استفاده قرار گرفت. برنامه کامپیوتری بکاربرده شده جدیدترین برنامه RETC.F77 متعلق به وان گنوکتن است که معادله هدایت هیدرولیکی غیراشباع در روش معلم را به کمک مدل نگهداشت رطوبت خاک ارائه شده بوسیله وان گنوکتن حل می‌نماید و نتایج برای مقادیر متفاوت رطوبت خاک را تسلیم می‌نماید.

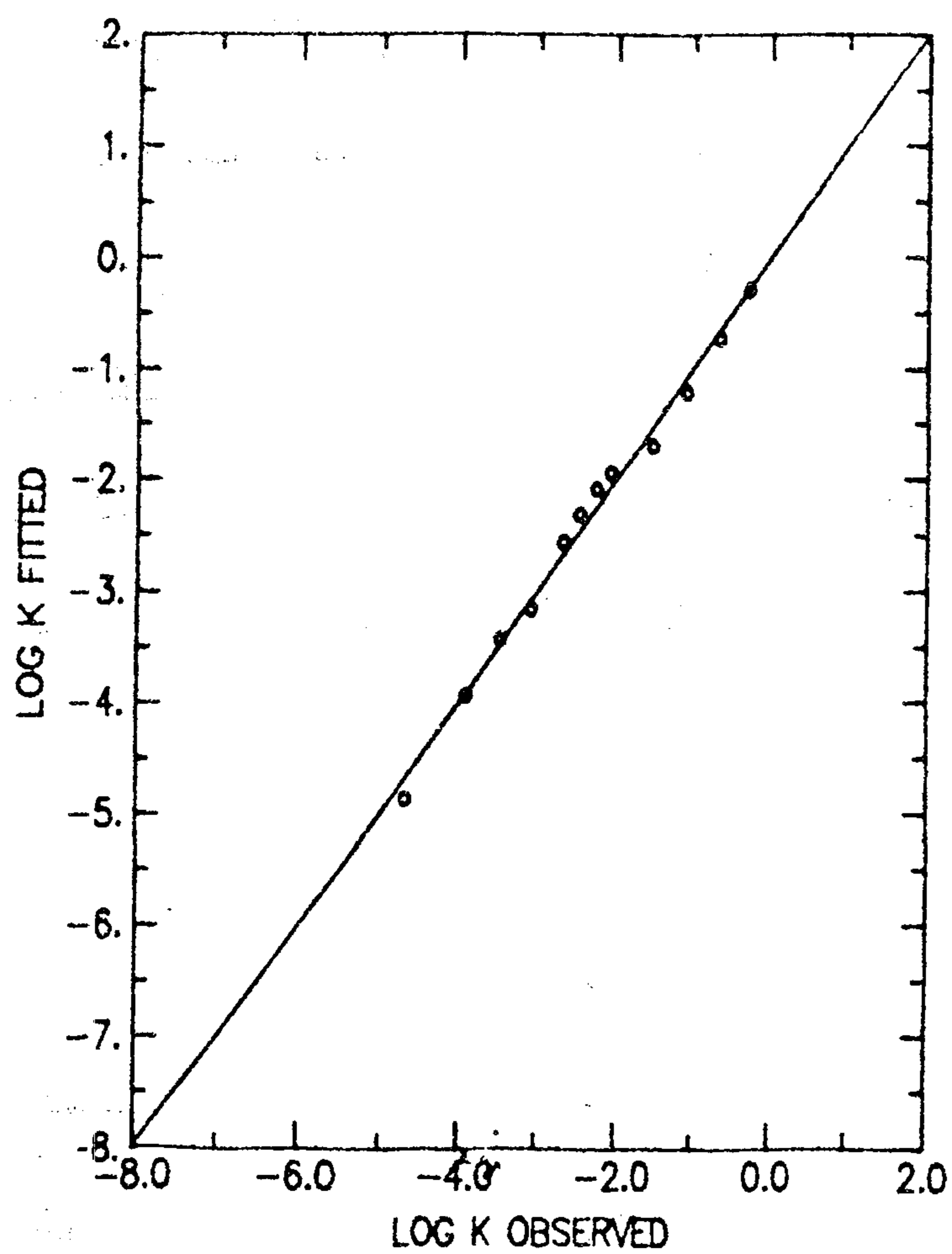
معادله فوق برای کلیه خاکهای مورد نظر با مقادیر متغیر P حل می‌شوند تا نتیجه نهائی به صورت آن مقدار P بدست می‌آید که بتواند به بهترین وجه با نتایج آزمایشی  $K(h)$  یا  $K(\theta)$  برازش داده شود. برای دربرگیری طیف وسیعی از مقادیر مشاهده شده و برازش داده شده K از مقیاس تبدیل شده لگاریتمی استفاده می‌شود. اشکال ۱ الی ۹ همبستگی ضریب هدایت هیدرولیکی خاکهای مورد استفاده در این بررسی را نشان می‌دهد. برای هر نمونه خاک ضرایب همبستگی خطی<sup>۱</sup> (r) و رگرسیون خطی<sup>۲</sup>  $(b_{yx})$  محاسبه شد و سپس يك معادله رگرسیون خطی<sup>۳</sup> مطابق جدول ۲ بدست آمد. خطای استاندارد همبستگی<sup>۴</sup>  $(S_r)$ ، میانگین مجذور انحراف از رگرسیون<sup>۵</sup>  $t_r$  محصل<sup>۶</sup>، مجذور مربعات<sup>۷</sup>، مجذور میانگین<sup>۸</sup> و  $F_e$  فیشر<sup>۹</sup> محاسبه گردید (جدول ۲ و ۳). در جدول ۴ فواصل اعتماد<sup>۱۰</sup> برای ضریب همبستگی و ضریب همبستگی خطی محاسبه و وارد شده است.

نمونه های خاک مورد نظر ۲۳ نمونه خاک به سه

گروه کلی از نظر بافت به شرح زیر تقسیم شدند:

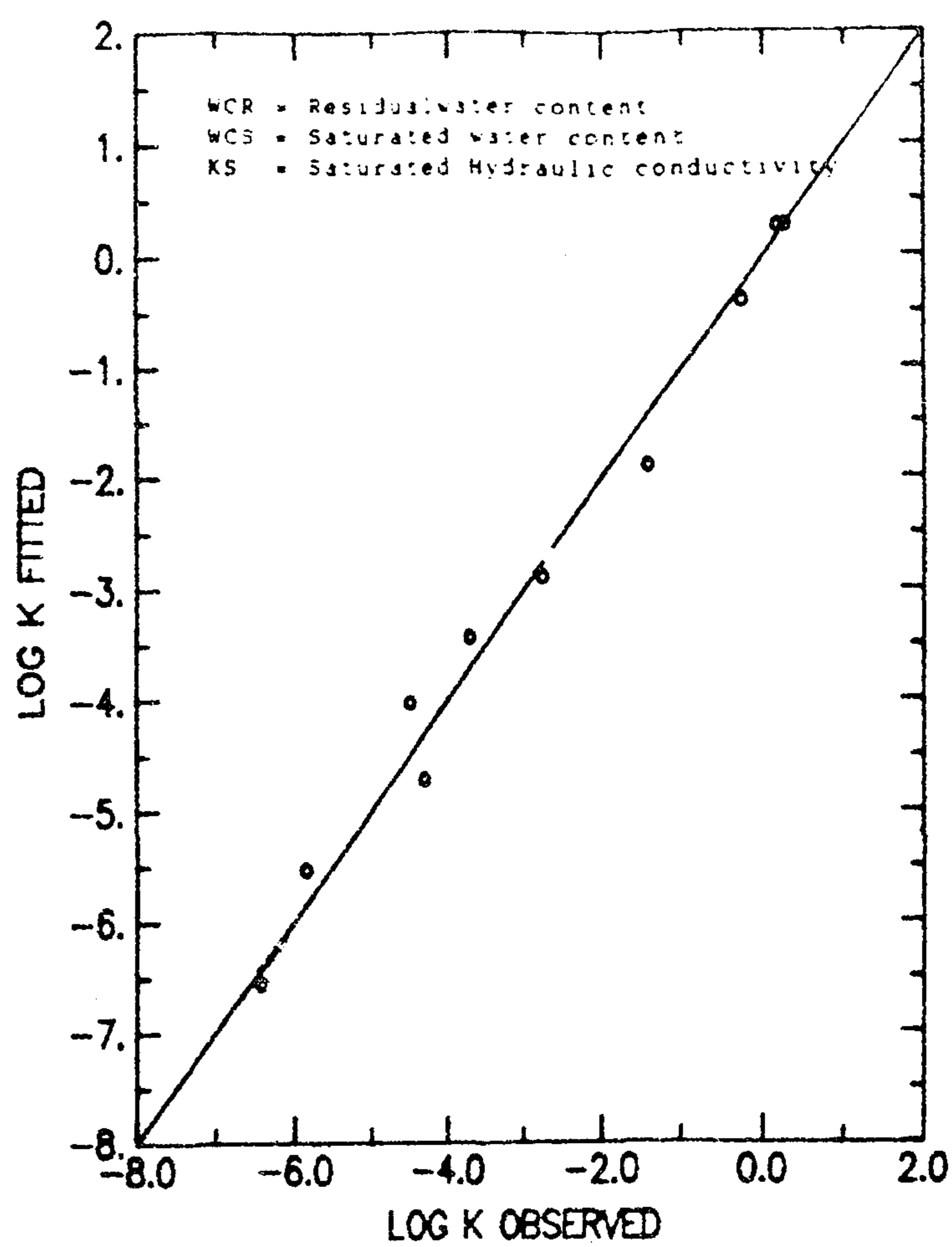
۱- رسی شامل لوم رسی، سیلتی کلی لوم و رس

WCR WCS ALPHA N KS  
.269 .520 .045 1.600 0.530



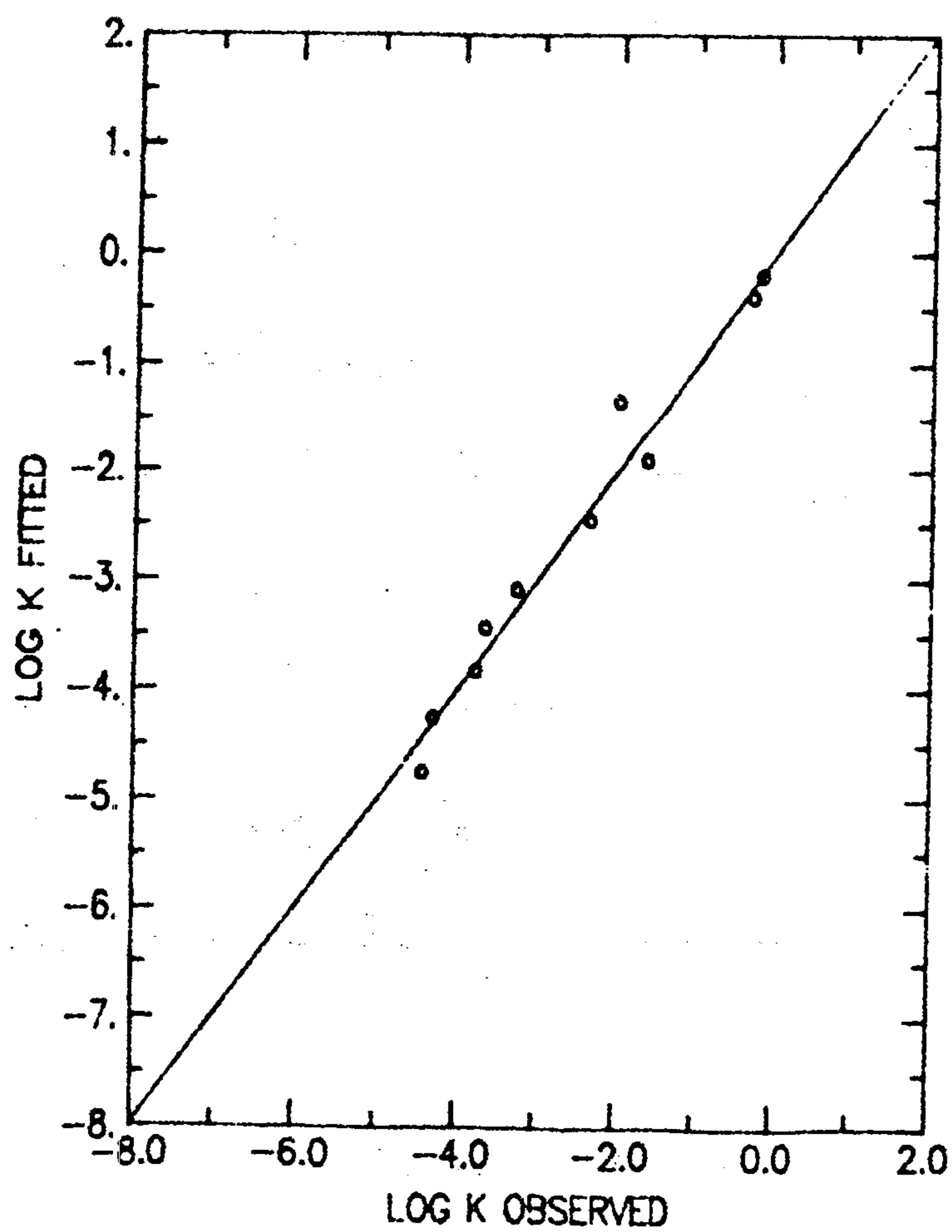
شکل ۲- برای خاک لوم هالیدی ( $P = 2/5$ ).

WCR WCS ALPHA N KS  
.083 .401 .039 1.195 1.920



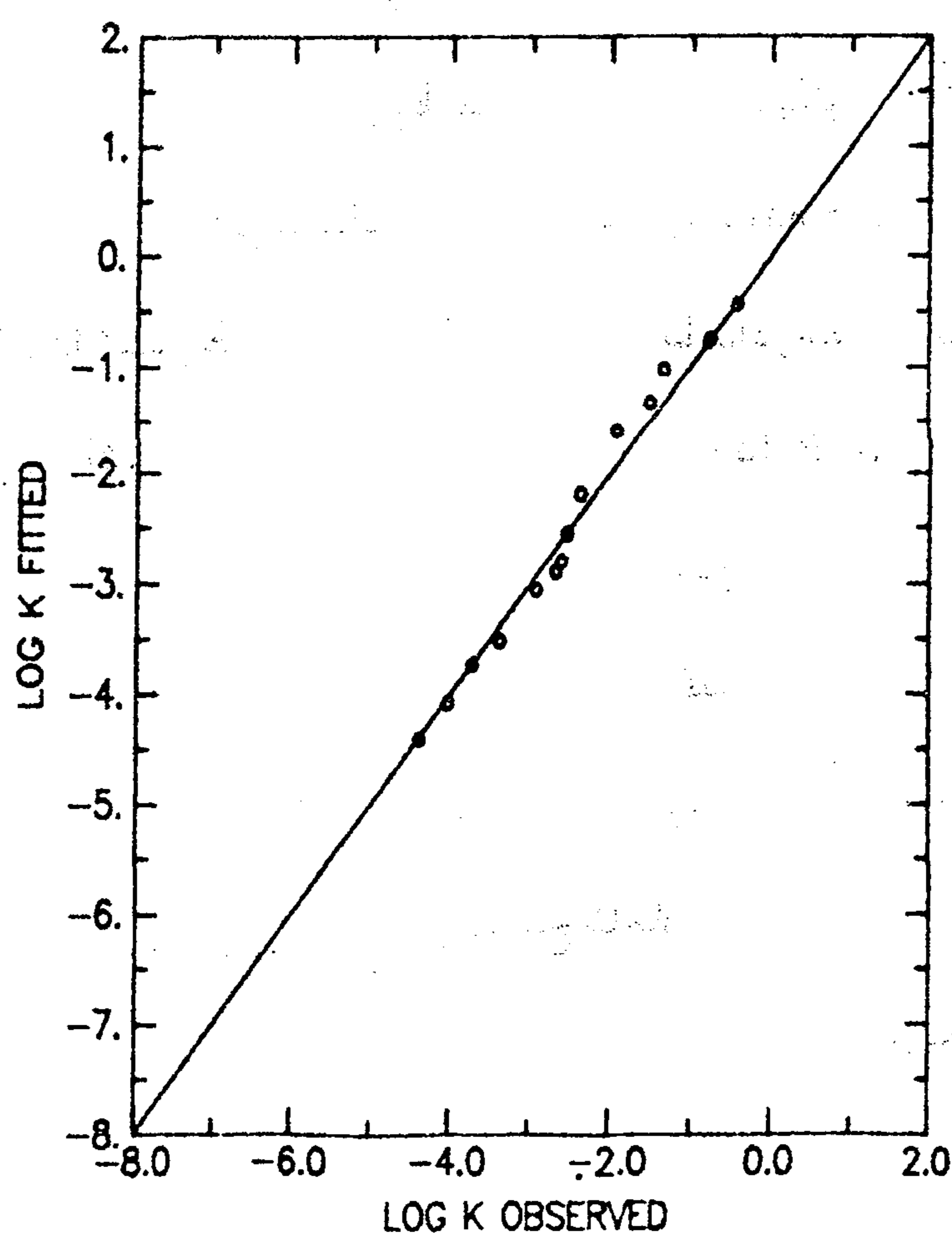
شکل ۱- برای خاک رس ردیو ( $P = -2/5$ )

WCR WCS ALPHA N KS  
.100 .360 .005 1.415 0.650



شکل ۴- برای خاک ماسه لومی سنگنکال ( $P = 0/5$ )

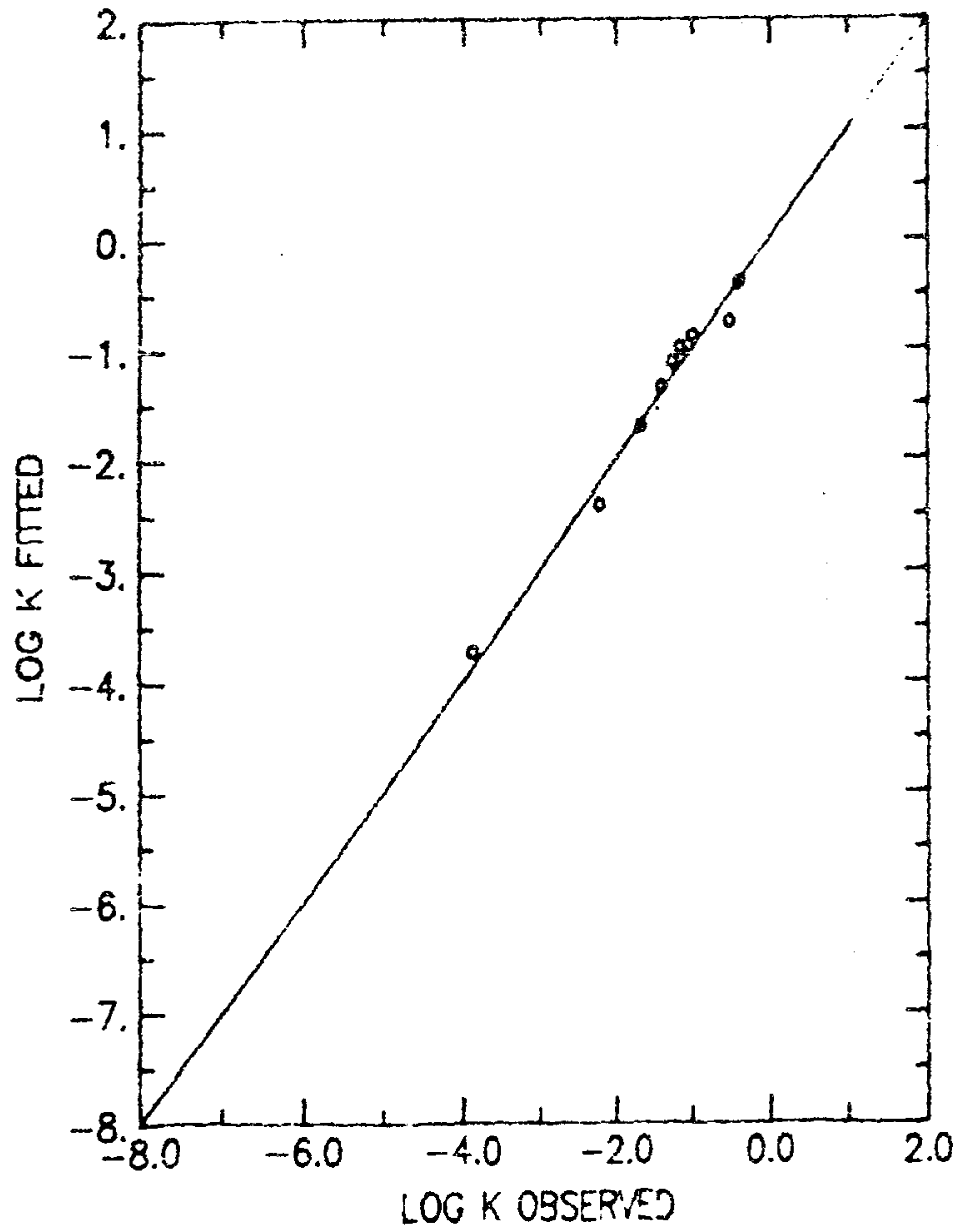
WCR WCS ALPHA N KS  
.294 .531 .028 1.606 0.370



شکل ۳- برای خاک لوم رسی سیلنتی بنجی ( $P = -2/5$ )

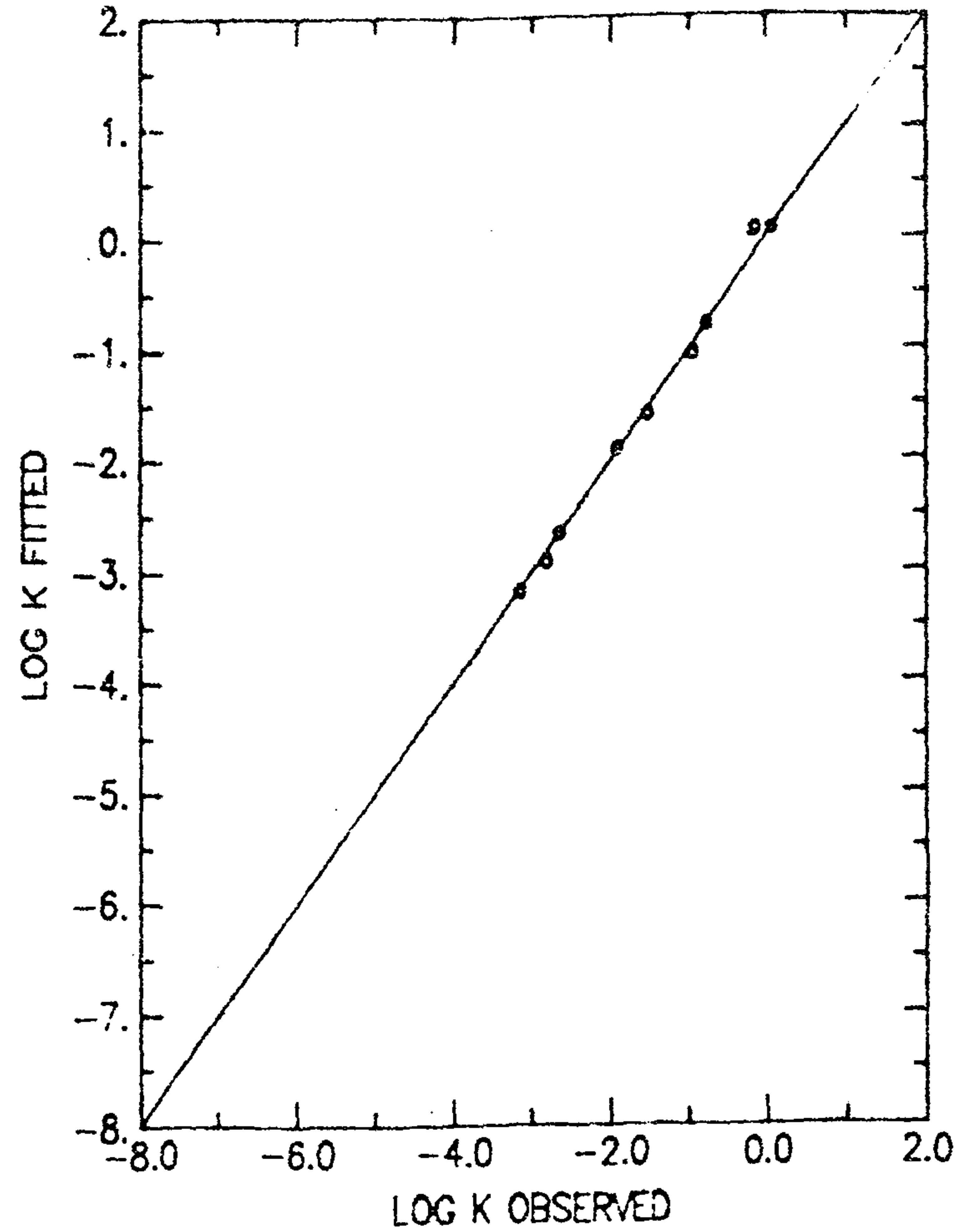
اشکال مربوط به مقادیر هدایت هیدرولیکی غیر اشباع اندازه گیری شده و برازش شده به روش وان گنوکتن - معلم برای خاکهای مختلف.

WCR WCS ALPHA N KS  
.249 .523 .006 2.534 0.400



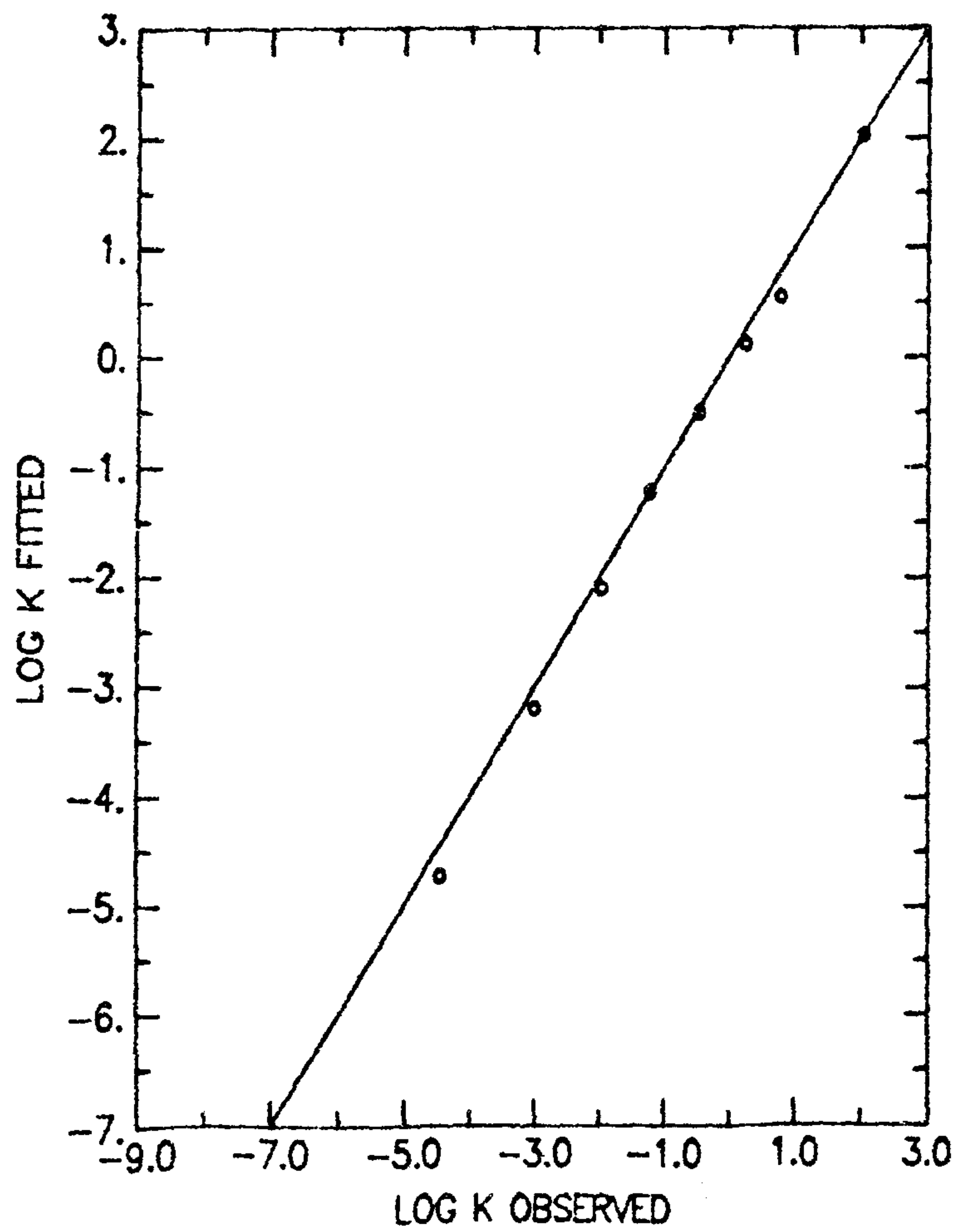
شکل ۶- برای خاک لوم سیلتي داندی ( P = ۰/۵ )

WCR WCS ALPHA N KS  
.089 .349 .027 1.921 1.200



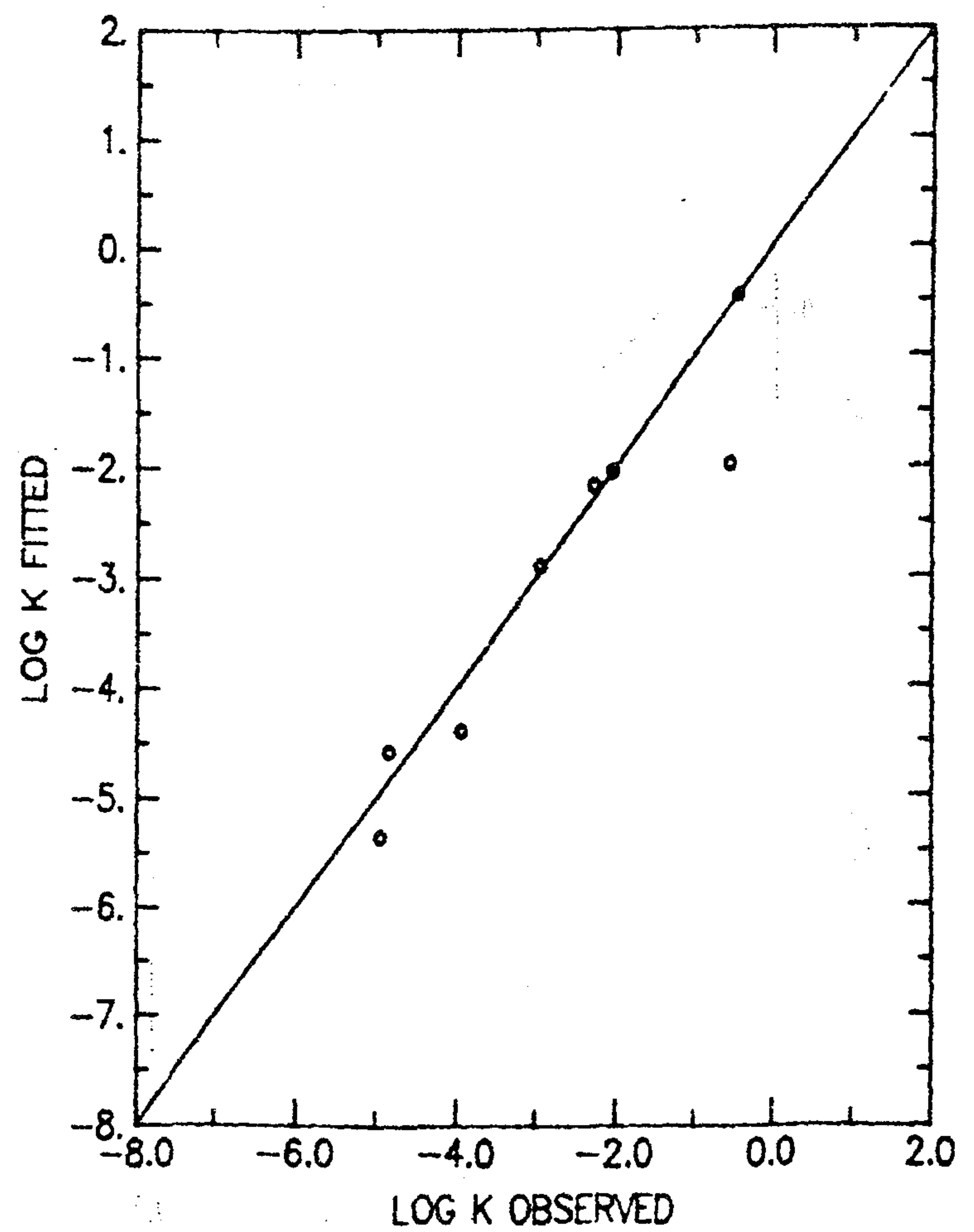
شکل ۵- برای خاک لوم ماسه‌ای روبیکان ( P = ۰/۵ )

WCR WCS ALPHA N KS  
.021 .298 .059 4.025 108.0



شکل ۸- برای خاک ماسه درشت هوبارد ( P = ۶/۵ )

WCR WCS ALPHA N KS  
.050 .311 .026 2.250 0.360



شکل ۷- برای خاک ماسه اوکلی ( P = ۴/۵ )

اشکال مربوط به مقادیر هدایت هیدرولیکی غیر اشباع اندازه‌گیری شده و برازش شده به روش وان گنوکتن - معلم برای خاکهای مختلف

جدول ۳. خطای استاندارد ضریب همبستگی، مجذور میانگین انحراف از رگرسیون و توزیع محصل خاکهای بررسی شده

نام خاک	تعداد جفت‌ها	خطای استاندارد ضریب همبستگی (sr)	مجذور میانگین انحراف ضریب رگرسیون (syx)	محاسبه شده	یک درصد درجه اهمیت (tol)
رس ردیو	۱۰	۰/۰۴۲	۰/۲۸۴	* ۲۳/۶۴	۳/۳۶
لوم رسی ردیو	۸	۰/۰۱۸	۰/۰۶۴	* ۵۵/۵۰	۳/۷۱
رس سبک یولو	۲۱	۰/۰۴۴	۰/۱۷۶	* ۲۲/۳۰	۲/۸۶
لوم رسی فولباغ	۱۰	۰/۰۳۹	۰/۱۵۲	* ۲۵/۵۰	۳/۳۶
لوم هالیدی	۱۲	۰/۰۲۸	۰/۱۲۳	* ۳۵/۵۷	۳/۱۷
لوم رسی سیلنتی بنی	۱۴	۰/۰۳۴	۰/۱۵۶	* ۲۹/۲۰	۳/۰۶
مالگینا	۱۲	۰/۰۵۳	۰/۱۷۹	* ۱۸/۶۰	۳/۱۷
مزرعه حفاظتی	۱۰	۰/۰۷۰	۰/۲۶۰	* ۱۴/۰۰	۳/۳۶
سنگلنکال	۱۰	۰/۰۶۱	۰/۲۹۰	* ۱۶/۱۵	۳/۳۶
لوم ماسه‌ای روییکن	۹	۰/۰۱۷	۰/۰۵۶	* ۵۸/۷۶	۳/۵۰
لوم سیلنتی مونت شیس	۱۰	۰/۰۳۹	۰/۰۹۷	* ۲۵/۵۰	۳/۳۶
لوم کاستر	۷	۰/۰۸۰	۰/۳۱۶	* ۱۲/۳۰	۴/۰۲
لوم ماسه‌ای ریز یولو	۹	۰/۱۰۴	۰/۳۵۱	* ۹/۲۴	۳/۵۰
لوم سیلنتی دانه‌ای	۸	۰/۰۳۲	۰/۰۹۱	* ۳۱/۱۶	۳/۷۱
لوم سیلنتی دایز	۹	۰/۰۲۹	۰/۱۱۴	* ۳۴/۳۸	۳/۵۰
لوم سیلنتی کاریبو	۱۲	۰/۰۲۳	۰/۰۴۶	* ۴۳/۳۵	۳/۱۱
ماسه اوکلی	۸	۰/۰۱۸	۰/۰۷۹	* ۵۵/۵۰	۳/۷۱
ماسه روت	۷	۰/۰۲۴	۱/۱۰	NS ۳/۶۰	۴/۰۲
ماسه آپلند	۱۱	۰/۰۲۱	۰/۱۴۹	* ۴۷/۵۲	۳/۲۵
ماسه سیلنتی کلمبیا	۹	۰/۰۵۶	۰/۱۲۶	* ۱۷/۶۶	۳/۵۰
ماسه درشت هابارد	۸	۰/۰۱۸	۰/۰۷۲	* ۵۵/۵۰	۳/۷۱
ماسه پلین فیلد	۱۶	۰/۰۴۳	۰/۱۹۸	* ۲۲/۹۵	۲/۹۸
ماسه	۹	۰/۰۲۹	۰/۱۱۷	* ۳۴/۳۸	۳/۵۰

\* دارای اهمیت در سطح ۱ درصد

NS فاقد اهمیت در سطح ۱ درصد



جدول ۴ - فواصل اعتماد خاکهای بررسی شده

فواصل اعتماد	تعداد جفت ها	نام خاک
$r \pm t_{01} sr = 0/993 \pm 0/141$ $byx \pm t_{01} sb = 0/952 \pm 0/134$	t01 sr t01 sb ۱۰	رس ردیو
$r \pm t_{01} sr = 0/999 \pm 0/067$ $byx \pm t_{01} sb = 1/00 \pm 0/067$	t01 sr t01 sb ۸	لوم رسی ردیو
$r \pm t_{01} sr = 0/981 \pm 0/126$ $byx \pm t_{01} sb = 0/980 \pm 0/126$	t01 sr t01 sb ۲۱	رس سبک بولو
$r \pm t_{01} sr = 0/994 \pm 0/131$ $byx \pm t_{01} sb = 1/065 \pm 0/141$	t01 sr t01 sb ۱۰	لوم رسی فولباغ
$r \pm t_{01} sr = 0/996 \pm 0/089$ $byx \pm t_{01} sb = 0/997 \pm 0/089$	t01 sr t01 sb ۱۲	لوم هالیدی
$r \pm t_{01} sr = 0/993 \pm 0/104$ $byx \pm t_{01} sb = 1/059 \pm 0/110$	t01 sr t01 sb ۱۴	لوم رسی سیلنتی بنی
$r \pm t_{01} sr = 0/986 \pm 0/168$ $byx \pm t_{01} sb = 0/935 \pm 0/159$	t01 sr t01 sb ۱۲	مالگینا
$r \pm t_{01} sr = 0/980 \pm 0/235$ $byx \pm t_{01} sb = 1/07 \pm 0/255$	t01 sr t01 sb ۱۰	مزرعه حفاظتی
$r \pm t_{01} sr = 0/985 \pm 0/205$ $byx \pm t_{01} sb = 1/00 \pm 0/208$	t01 sr t01 sb ۱۰	سنگلنیکال
$r \pm t_{01} sr = 0/999 \pm 0/060$ $byx \pm t_{01} sb = 1/00 \pm 0/060$	t01 sr t01 sb ۹	لوم ماسه ای روبیکن
$r \pm t_{01} sr = 0/994 \pm 0/131$ $byx \pm t_{01} sb = 0/999 \pm 0/131$	t01 sr t01 sb ۱۰	لوم سیلنتی مونت سنیس
$r \pm t_{01} sr = 0/984 \pm 0/322$ $byx \pm t_{01} sb = 0/967 \pm 0/318$	t01 sr t01 sb ۷	لوم کاستر
$r \pm t_{01} sr = 0/961 \pm 0/364$ $byx \pm t_{01} sb = 0/90 \pm 0/343$	t01 sr t01 sb ۹	لوم ماسه ای ریزیولو
$r \pm t_{01} sr = 0/997 \pm 0/118$ $byx \pm t_{01} sb = 0/96 \pm 0/115$	t01 sr t01 sb ۸	لوم سیلنتی دانه ای
$r \pm t_{01} sr = 0/997 \pm 0/115$ $byx \pm t_{01} sb = 0/999 \pm 0/102$	t01 sr t01 sb ۹	لوم سیلنتی دابز

ادامه جدول ۴ - فواصل اعتماد خاکهای بررسی شده

نام خاک	تعداد جفت ها	فواصل اعتماد
لوم سیلنتی کاریبو	۱۳	$r \pm t_{01} sr = 0/997 \pm 0/072$ $byx \pm t_{01} sb = 0/985 \pm 0/072$
ماسه اوکلی	۸	$r \pm t_{01} sr = 0/999 \pm 0/067$ $byx \pm t_{01} sb = 0/999 \pm 0/067$
ماسه روت	۷	$r \pm t_{01} sr = 0/85 \pm 0/951$ $byx \pm t_{01} sb = 0/776 \pm 0/866$
ماسه آپلند	۱۱	$r \pm t_{01} sr = 0/998 \pm 0/068$ $byx \pm t_{01} sb = 0/989 \pm 0/068$
لوم سیلنتی کلمبیا	۹	$r \pm t_{01} sr = 0/989 \pm 0/196$ $byx \pm t_{01} sb = 1/03 \pm 0/196$
ماسه درشت هابارد	۸	$r \pm t_{01} sr = 0/999 \pm 0/067$ $byx \pm t_{01} sb = 1/07 \pm 0/070$
ماسه پلین فیلد	۱۶	$r \pm t_{01} sr = 0/987 \pm 0/128$ $byx \pm t_{01} sb = 1/00 \pm 0/131$
ماسه	۹	$r \pm t_{01} sr = 0/87 \pm 0/102$ $byx \pm t_{01} sb = 0/87 \pm 0/088$

وان گنوکتن (۸) مبنی بر بی‌تاثیر بودن مقدار رطوبت باقیمانده در حل معادله معلم به آن اشاره شده بود، مورد تأیید قرار گرفت. بهر حال از آنجائی که معلم (۵) توصیه نموده بود که تعیین مقدار آب باقیمانده پیش نیاز هر روش پیش بینی از رطوبت است، بنابراین مقادیر آب باقیمانده متفاوتی نسبت به سه ارقام پیشنهادی معلم برای کلیه نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت و تفاوت قابل توجهی بین نتایج بدست نیامد و در کلیه حالات مقادیر برآزش یافته K بدون توجه به مقدار اولیه رطوبت باقیمانده رضایت بخش بود.

پارامتر دیگری که مورد بررسی قرار گرفت مقدار رطوبت خاک در حالت اشباع بود. در پاره‌ای از نمونه‌ها نتایج نسبت به مقادیر رطوبت اشباع اولیه حساسیت

می‌دهد تازمانی که مقادیر P مثبت و درون محدوده فوق باشد. مقادیر برآزش یافته بسیار نزدیک به مقادیر مشاهده شده K می‌باشد (جدول ۱ و شکل‌های ۷، ۸ و ۹). به هر حال دو استثناء در خاکهای ماسه مشاهده شد که یکی مربوط به خاک سیلت لوم "کلمبیا" با نمائی برابر با ۰/۵ می‌شود. اگرچه این نمونه خاک سیلت لوم است، لکن مطابق جدول ۱ بافت آن به شکل ماسه طبقه بندی شده که خود جای بحث و بررسی دارد. همچنین ضد و نقیض بودن نتایج می‌تواند به نتایج K مشاهده شده مشکوک مربوط باشد. ضریب همبستگی این خاک ۰/۸۵ بود که خیلی پائین است و تغییرات وسیع P نتوانسته است آن را بهبود بخشد.

همچنین در این مطالعه نکته‌ای که قبلاً توسط

اشکال اساسی الکساندر وسایرین در بدست آوردن نتایج نامناسب استفاده از مقادیر ثابت  $P$  (۰/۵) بر اساس توصیه معلم بود. دقت مدل در پیش بینی  $K$  را می توان از درجه همبستگی بالائی (جدول ۲) که توسط  $t$  در سطح ۱٪ معنی دار بودند مشاهده نمود (جدول ۳ و ۴). با استثناء یک خاک (یعنی ماسه روت) ضریب رگرسیون خطی بسیار نزدیک به یک می باشد که نشان دهنده بزرگتر از کامل داده ها است. گوا اینکه فاصله اعتماد این نمونه اخیر رضایت بخش نمی باشد.

زیادی نشان دادند و همگرایی مطلوب در حل معادله حاصل نگردید. پس از تغییر رطوبت اشباع اولیه به مقدار مناسبی به سادگی همگرایی مناسب حاصل گردید. الکساندر نتیجه گیری نمود که روش وان گنوکتن - معلم به طور کلی نمی تواند در تمام محدوده  $K(h)$  مناسبی برای غالب خاکها پیش بینی نماید. نتایج این مطالعه نشان می دهد که حتی برای نمونه های مورد استفاده توسط الکساندر روش فوق بسیار دقیق می باشد و نتایج بسیار مطلوبی بدست می دهد (جدول ۲، ۳ و ۴).

#### REFERENCES:

- 1- Alexander, L. 1984. Predicting steady upward flux from the water table. Masters Thesis, Department of Biological and Agricultural Engineering. North Carolina State University, Raleigh, 207 pp.
- 2- Alexander, L. & R.W. Skaggs. 1986. Predicting unsaturated hydraulic conductivity from the soil water characteristic Transactions of the Am. Soc. Agric. Engr. 29(1): 176-184.
- 3- Burdine, N.T. 1953. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. Pet. Trans, Am. Inst. Mining Engr. 198: 71-77.
- 4- Marquardt, D.W. 1963. An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters J. Soc. Ind. App. Math. 11: 431-441.
- 5- Mualem, T. 1976 a. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res. 12(3): 513-522.
- 6- Mualem, T. 1976 b. A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Research project Report No. 442, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa.
- 7- Stephens, D.B. & K.R. Rehfeldt. 1985. Evaluation of closed form analytical models to calculate conductivity in a fine sand. Soil Sci. Soc. Am. J.
- 8- Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 14: 892-898.
- 9- Van Genuchten, M.Th. & D.R. Nielsen. 1985, On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. Annales Geophysicae, 3(5): 615-628.
- 10- Van Genuchten, M.Th. 1988. Program RETC.F77, unpublished U.S. Salinity Laboratory, Riverside, CA.
- 11- Van Genuchten, M.Th., F.Kaveh., W.B. Russel. & S.R. Yates. 1988. Direct and indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. Presented at Symposium on "Land qualities in Space and Time". August 1988.

A Further Look at a New Unsaturated Hydraulic Conductivity Equation.

F.KAVEH. and M. Th. VAN GENUCHTEN

Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation, University of Shahid Chamran, Ahvaz Iran, and research leader, Soil Salinity Laboratory U.S.A.

Received for Publication April 28, 1990.

**SUMMARY**

One of the most important hydraulic properties of soils is the unsaturated hydraulic conductivity which its field measurement is both expensive and time consuming process. Furthermore due to variability of this property both in space and time, the limited data obtained from these measurements can not be used for practical field situations. Due to this limitation a number of methods for estimating unsaturated hydraulic conductivity have been devised which use some easily determined soil properties for this purpose.

One of these methods is due to Mualem (5) whose equation is a modified Burdine type equation. There are some disagreements about the value of power  $P$  in both Burdine and Mualem equations. Recently Van Genuchten (10) solved both equations with variable  $P$ . In the present paper we have used Van Genuchten's solution with variable  $P$  for a wide variety of different soils.

The results of this paper have shown that  $P$  does not have a fixed value of 0.5 as suggested by Mualem for all textural soil groups. We also found that the disappointing results of Alexander (1) and others were mainly due to assumption of a fixed value of 0.5 for  $P$ . According to the results of this work the value of  $P$  for clayey, loamy, and sandy soils was equal to 2.5, 0.5 and 1.5-6.5 respectively. The solution was not sensitive to residual water content ( $\theta_r$ ) as suggested by Mualem, but the sensitivity was mainly due to saturated water content ( $\theta_s$ ).