

مقایسه روشهای اندازه گیری صحرائی هدایت هیدرولیکی در بالای سطح ایستابی با روش گلف^۱ در دو نوع خاک مختلف در استان خوزستان

حیدرعلی کشکولی و محمود مشعل^۲

در این تحقیق در دو نوع خاک ماسه لومی (LS) و رس سیلتی (SiC) در قطعاتی بابعاد ۵ × ۵ و ۵ × ۱۰ متر با استفاده از دو روش چاهک معکوس و پمپاژ بدرون چاهک سطحی و همچنین روش جدید پرمامتر گلف آزمایشهایی برای تعیین ضریب آبگذری خاک منطقه بالای سفره آب زیرزمینی صورت گرفت. این آزمایشها نشان دادند که نتایج روش جدید "پرمامتر گلف" کاملاً رضایت بخش می باشند. بنابراین چون در مقایسه با روش مرسوم پمپاژ بدرون چاهک سطحی روش گلف برای هر آزمایش به زمان کمتر از ۲ ساعت در مقابل دو روز و حجم آب کمتر از ۴ لیتر در مقابل ۱۰۰۰ لیتر نیاز دارد، روش مناسب تشخیص داده شده و جهت استفاده وسیع در مطالعات صحرائی طرحهای آبیاری - زهکشی در ایران توصیه می شود.

واژه‌های کلیدی:

هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی - گلف - پرمامتر - پمپاژ به درون چاهک سطحی.

۱ - Guelph

۲ - به ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.
تاریخ دریافت: ۱۳۷۱/۸/۲۰

مقدمه:

ضریب هدایت هیدرولیکی (K) یکی از خصوصیات مهم فیزیکی خاک است که سهولت عبور آب از درون خاک را بیان می‌کند و به این دلیل فاکتور مهمی در طراحی زهکشها، برخی تأسیسات آبیاری و ارزیابی چگونگی حرکت زه آبهای آلودگی در خاک به سمت ذخایر آب زیر زمینی بشمار می‌آید. اندازه گیری میزان (K) در مزرعه و در آزمایشگاه امکان پذیر است. آنچه در انتخاب نوع روش اندازه گیری باید مد نظر قرار گیرد دقت اندازه گیری، سهولت اجرا و هزینه انجام کار می‌باشد. روشهای معمول آزمایشگاهی بدلیل جابجا شدن نمونه‌ها از حالت طبیعی و اندازه کوچک نمونه‌های برداشتی در مقایسه با روشهای صحرائی کارائی چندانی نداشته و تنها در موارد استثنایی بکار برده می‌شوند. از بین روشهای صحرائی برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی در بالای سفره آب زیرزمینی معروفترین روشها عبارتند از: روش "پمپاژ بدرون چاهک سطحی"^۱ و روش "چاهک معکوس"^۲ یا "پورشه"^۳. اخیراً نیز در نتیجه یک دهه تلاش مستمر در دانشگاه گلف در کشور کانادا وسیله جدیدی بنام "پرماترگلف" ابداع گردیده است که در مقایسه با روش پمپاژ بداخل چاهک سطحی، کاربرد آن به مراتب ساده‌تر بوده و برای انجام آزمایش در مقایسه با روش فوق به مقادیر بسیار کمتری آب نیاز دارد ضمن آنکه زمان اندازه گیری در این روش به مراتب کوتاهتر است. در این مطالعه برای مقایسه این سه روش، اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک بالای سفره آب زیرزمینی در دو نوع خاک در دو منطقه در استان خوزستان انجام گرفت. پس از تجزیه و تحلیل نتایج مشخص گردید که بهترین روش از نظر دقت، سهولت و پایین بودن هزینه‌های اجرایی جهت استفاده در طرحهای آبیاری - زهکشی روش گلف می‌باشد.

بررسی منابع:

تاریخچه روشهای اندازه گیری هدایت آبی (K) به سال ۱۹۴۳ میلادی که اولین بار روش صحرائی چاهک مستقیم توسط دایزنس هلندی ارائه شد، بر می‌گردد. روش لوله‌ای توسط کرکهام و روش پیزومتر توسط لوتین و کرکهام ارائه گردیده که بتفصیل توسط مشعل (۲) شرح

۱- Shallow well pump in (SWPI)

۲- Inverse auger hole

۳- Porchet

داده شده است. کلیه این روشها برای اندازه گیری مقدار (K) در بالای سفره آب زیرزمینی بکار می‌روند. روش چاهک سطحی توسط گلور (زانکر ۱۹۵۳) برای اندازه گیری (K) در بالای سطح ایستابی بعدها ارائه شد. روش ارائه شده چاهک سطحی برای اندازه گیری به وسایلی نظیر یک بشکه ۲۰۰ لیتری و تانکر ۱۵۰۰ لیتری آب نیاز دارد. روشهای دیگری بعدها ارائه شد که از بین آنها معروفترین روش چاهک نفوذ سنج بار ثابت (CHWP)^۱ ارائه شده توسط تالسم و هلام (۱۹۸۰) و رینولدز و همکاران (۱۹۸۳) می‌باشد.

این تکنیک بر همان فرضیات اصول روش چاهک سطحی در مقیاس کوچکتر استوار است. تئوری روش (CHWP) بعدها توسط رینولدز و همکاران (۱۹۸۵)، فیلیپ (۱۹۸۵)، رینولدز و الریک (۱۹۸۶)، الریک و همکاران (۱۹۸۹) تکامل یافت و بر اساس یک سری تحقیقات پرماترگلف برای اندازه گیری همزمان نفوذپذیری اشباع صحرائی^۲ (K_{fs}) و برخی خصوصیات دیگر خاک از وسایل ساده ساخته و معرفی گردید.

تئوری حاکم بر اشتقاق معادلات مربوطه

نظر به اینکه تئوریهای مربوط به روش پرماترگلف (GP) نسبتاً جدید بوده و تا زمان حاضر در کتابهای کلاسیک درج نگردیده‌اند و در ایران اولین بار است که این تئوری‌ها در یک تحقیق عملاً بکار برده می‌شوند، به منظور روشن تر شدن قسمت بحث و نتیجه گیری از مقاله حاضر در اینجا خلاصه‌ای از دست آوردهای تئوریک در این زمینه که در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرند ارائه خواهد شد.

جریان ثابت خروجی از یک چاهک سطحی که بوسیله مته در خاک احداث شده را بوسیله معادله زیر می‌توان بیان نمود.

$$Q = A.K_{fs} + B\phi_m \dots \dots \dots (۱) \text{ معادله شماره } ۱$$

که در آن Q دبی ثابت خروجی از چاهک، A و B توابع کلی از ارتفاع آب در چاهک (H) و شعاع چاهک (a)، K_{fs} هدایت صحرائی هیدرولیکی اشباع صحرائی و ϕ_m پتانسیل جریان

۱- Constant head well permeameter

۲- Field saturated hydraulic conductivity

ماتریک آب در خاک می باشند (۵ و ۴). در معادله فوق اولین جمله سمت راست نشان دهنده مؤلفه حالت جریان اشباع و جمله دوم نمایانگر مؤلفه غیر اشباع جریان یا کاپیلاریته خروجی است (رینولدز و همکاران ۱۹۸۵).

پتانسیل جریان ماتریک ϕ_m در معادله فوق را به صورت زیر نیز می توان نوشت.

$$\phi_m = \int_{\psi_i}^0 K(\psi) d\psi \quad \psi_i \leq \psi \leq 0 \quad \text{معادله شماره (۲)}$$

که در آن ψ بار فشار آب در خاک و $K(\psi)$ رابطه هدایت هیدرولیکی و فشار رطوبت در خاک است. حد فوقانی انتگرال یعنی ($\psi = 0$) نشان دهنده سطح جانبی پیاز رطوبتی اشباع در حالت صحرایی است که در اطراف قاعده چاهک تشکیل می شود (۳ و ۱).

در داخل این پیاز رطوبتی ($\psi > 0$) و خارج آن ($\psi < 0$) خواهد بود. حد زیرین انتگرال یعنی ($\psi < 0$) در معادله (۲) نشان دهنده مقدار فشار اولیه رطوبت موجود در خاک قبل از شروع آزمون است. در خلال آزمایش یک ناحیه رطوبتی و غیراشباع اطراف پیاز رطوبتی اشباع شروع به گسترش می کند (۳ و ۱). درون منطقه اخیرالذکر میزان فشار رطوبت موجود در خاک از مقدار $\psi = 0$ بروی سطح پیاز رطوبتی تا میزان $\psi = \psi_i$ در جبهه مرطوب تغییر می نماید (۵). مقدار ϕ_m در معادله شماره (۲) بنابراین برابر است با سطح زیر منحنی $K(\psi)$ از مقادیر $\psi = \psi_i$ تا $\psi = 0$ ، از نظر فیزیکی قدرت کاپیلاری موجود در خاک را نشان می دهد و این بدان معنی است که خاک توانایی جذب رطوبت را داراست. بنابراین ملاحظه می شود که مقدار ϕ_m بستگی به شکل منحنی $K(\psi)$ و مقدار ψ_i دارد. به عبارتی دیگر، هرچه شیب منحنی $K(\psi)$ تندتر و مقدار ψ_i به صفر نزدیکتر باشد، میزان ϕ_m کوچکتر گردیده و بنابراین تأثیرات نیروی کاپیلاری کمتر است. در نتیجه خاکهای سبک بافت قدرت کاپیلاری کمتری را در مقایسه با خاکهای رسی دارند. رابطه تجربی دیگری را که می توان در معادله شماره (۲) بکار برد به صورت زیر است.

$$K(\psi) = K_{fs} e^{-\alpha \psi} \quad ; \quad \psi \leq 0 \quad \text{معادله شماره (۳)}$$

در معادله فوق پارامتر $\alpha(L)^{-1}$ ($0 < \alpha < \infty$) شیب خط $\ln K$ در مقابل ψ می باشد. ϕ_m را به صورت زیر نیز می توان نوشت:

$$\phi_m = \frac{1}{\alpha} (K_{fs} - K_i) \quad \text{معادله شماره (۴)}$$

که در آن K_i هدایت هیدرولیکی در $\psi = \psi_i$ است و از معادله شماره (۴) مقدار α را می توان بدست آورد.

$$\alpha = (K_{fs} - K_i) / \phi_m \quad \text{معادله شماره (۵)}$$

معادله فوق را به صورت زیر هم می توان نوشت.

$$\alpha^* = \frac{K_{fs}}{\phi_m} = \alpha / [1 - (K_i / K_{fs})] \quad \text{معادله شماره (۶)}$$

که در آن α^* برابر خواهد بود با نسبت K_{fs} / ϕ_m . در اغلب خاکها که در حالت ظرفیت مزرعه یا خشک تر باشند مقدار $\psi_i \leq -lm$ ، $K_i < K_{fs}$ و در نتیجه $\alpha^* \approx \alpha$ خواهد بود. آزمایشهای انجام یافته در سالهای اخیر توسط وایت و سالی (۱۹۸۷)، رینولدز و الریک (۱۹۸۵) و تالسما (۱۹۸۷) نشان داده اند که برای نفوذ در حالت غرقابی نسبی مثل آنچه در روش پرماترگلف اتفاق می افتد α یا α^* نسبت به بافت خاک حساسیت زیادی نداشته و بیشتر تابع ساختمان خاک (بخصوص درز، شکاف و خلل و فرج درشت) است. تعدادی از محققین از جمله وایت و سالی (۱۹۸۷)، مقادیری برای α پیشنهاد نموده اند که در محدوده بین ۱ تا 100 m^{-1} قرار می گیرند. مطابق آنچه در پی خواهد آمد ملاحظه می گردد که مقادیر α در تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از اجرای آزمایش به روش پرماترگلف بسیار مفید واقع می شوند.

شرح حل معادلات:

یکی از ابتدایی ترین معادلات مربوط به حل روش CHWP توسط گلور (زانگر ۱۹۵۳) ارائه گردید.

$$Q = 2 \pi H^2 K_{fs} / C \quad \text{معادله شماره (۷)}$$

که در آن C بستگی به نسبت H/a دارد. در معادله بالا از مؤلفه جریان کاپیلاری در خاک صرف نظر شده و به "راه حل لاپلاس" معروف است (۸).

در معادله شماره (۱) ضرایب A و B توسط رینولدز و همکاران (۱۹۸۵) به صورت زیر بدست آمده و معرفی گردیدند.

$$A = 2\pi H^2 / C + \pi a^2 \dots\dots\dots (۸)$$

$$B = 2\pi H / C$$

در معادلات فوق C فاکتور بدون بعد می باشد (رینولدز و الریک، ۱۹۸۷) که مقدار آن بستگی به H/a برای حل معادله (۱) خواهد داشت. در حالت داده شده دو فاکتور مجهول ϕ_m و K_{fs} می باشد و ناچاریم با استفاده از دو عمق استغراق اقدام به حل دو دستگاه معادله دو مجهولی بنمائیم (رینولدز و الریک، ۱۹۸۶؛ رینولدز و همکاران ۱۹۸۵). لیکن اگر معادله شماره (۶) در معادله (۱) قرار گیرد نتیجه بشرح ذیل خواهد بود.

$$K_{fs} = Q/A + B/\alpha^* \dots\dots\dots (۹)$$

$$\phi_m = Q/[A\alpha^* + B] \dots\dots\dots (۱۰)$$

بدیهی است، اگر α^* که مستقلاً اندازه گیری می گردد یا قابل تخمین است بکار رود در آن صورت تنها یک عمق استغراق یعنی H مورد نیاز خواهد بود که روش "استغراق یک عمقی نامیده می شود.

شرح انجام آزمایشها

به علت مشکلات خرید خارجی دستگاه (GP)، با استفاده از امکانات موجود در کشور این وسیله با دقت کافی و طبق مشخصات وسیله اصلی برای اولین بار در گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته و پس از حصول اطمینان از نحوه کارایی و دقت آن در این سری آزمایشها بکار رفته است. مشخصات و طرز کار با آن در مراجع (۱ و ۲) بیان شده است.

به هر حال دو منطقه در استان خوزستان برای انجام آزمایشها انتخاب گردید که یکی مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران در اهواز و دیگری روستای حسام آباد در

شهرستان شوشتر بوده است. در هر منطقه پروفیلی تا عمق یک و نیم متری حفر گردید تا از هر افق قابل تشخیص نمونه دست نخورده به منظور اندازه گیری ضریب آبگذری خاک و تجزیه بافت برداشت شود.

هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی (K_{fs}) در مزرعه بوسیله روش "پمپاژ بدرون چاهک سطحی"، روش چاهک معکوس (پورشه) و بالاخره روش چاهک نفوذسنج با بار ثابت (گلف) اندازه گیری شد. روش گلف در دو عمق بکار رفته و در بعضی از چاهکها آزمون در عمق اول بعد از انجام آزمایش در عمق دوم تکرار گردیده است. در منطقه اهواز کرتی به ابعاد ۵ × ۵ متر احداث و در شش نقطه تصادفی که کل کورت را نیز شامل باشد چاهکهایی تا عمق کمتر از یک متر از سطح زمین حفر و در آنها آزمایش پمپاژ بدرون چاهک سطحی انجام و آزمایش چاهک معکوس نیز در همین چاهکها تکرار گردید. در دوازده نقطه از این کورت نیز آزمایش مربوطه به روش گلف بعمل آمد. لیکن در منطقه شوشتر در یک کورت بزرگتر، به ابعاد تقریبی ۱۰ × ۵ متر آزمایشها صورت پذیرفت که در این منطقه نیز در شش نقطه آزمون SWPI و در همان نقاط آزمایش چاهک معکوس صورت گرفت. در ۱۰ نقطه پراکنده دیگر نیز آزمایش به روش گلف در دو عمق انجام پذیرفت. موقعیت چاهکهای اندازه گیری در دو منطقه فوق الذکر در اشکال شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است.

بحث:

تجزیه بافت خاک و اندازه گیری ضریب آبگذری اشباع خاک به روش

آزمایشگاهی:

تجزیه بافت لایه های مختلف خاک تا عمق یک و نیم متری و ضریب آبگذری آزمایشگاهی با روش بار آبی ثابت^۱ برای هر دو منطقه اهواز و شوشتر انجام گرفته است. جدولهای (۱) و (۲) این نتایج را به ترتیب برای مناطق فوق الذکر نشان می دهند.

روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی

در آزمایشهای به روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی قرائت رقوم سطح آب بعد از اشباع

چاهک ها صورت گرفت. نتایج آزمایشهای انجام شده برای مناطق مذکور بترتیب در جدولهای شماره (۳) و (۴) آورده شده است.

– روش چاهک معکوس

اجرای آزمایشهای به روش چاهک معکوس پس از اتمام "آزمایشهای پمپاژ بدرون چاهک سطحی" و در همان محل چاهکها صورت گرفت. بدین لحاظ مشکل عدم اطمینان از اشباع بودن پیرامون چاهک که از خطاهای معمول این دو روش است، منتفی می باشد. خلاصه نتایج حاصله از اجرای این روش نیز در جداول شماره (۳) و (۴) بترتیب برای مناطق اهواز و شوشتر آورده شده است.

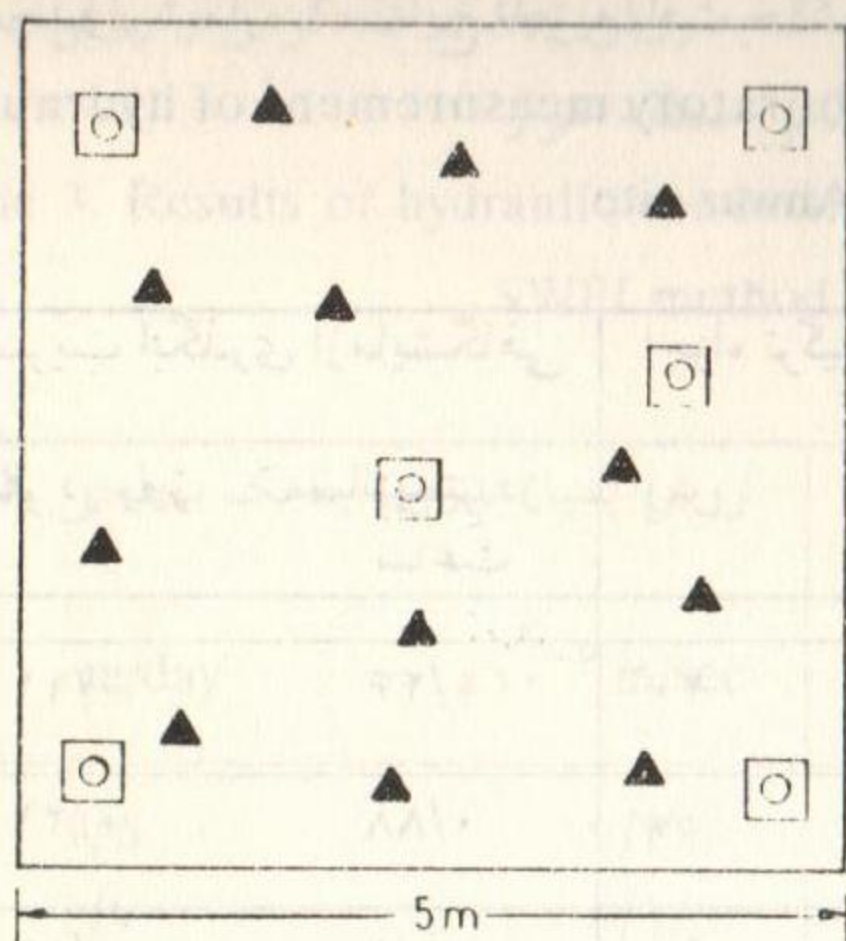
– روش پرماترگلف

آزمایشهای به روش پرماترگلف در هر دو منطقه با دو عمق مختلف درون یک چاهک صورت گرفت. در اکثر آزمایشهای دو عمقی با افزایش عمق میزان دبی کاهش یافته و در نتیجه حل دستگاه معادلات دو مجهولی در آنها منجر به نتایج غیرمنطقی (منفی) گردیده است. بنابراین جهت مقایسه بین روشهای متفاوت با استفاده از عمق اول محاسبات به روش استغراق یک عمقی (روش ریچاردز) با انتخاب α^* صورت گرفته است. در تعدادی از چاهکها جوابهای آزمایشهای دو عمقی از طریق حل معادلات دو مجهولی امکان پذیر بود که نتایج آنها در جدولهای شماره ۵ و ۶ آمده است.

اگر چه α^* برای منطقه اهواز برابر ۹ و برای منطقه شوشتر برابر ۴ انتخاب گردیده است معهذا نتیجه محاسبات K_{FS} برای هر دو منطقه با مقادیر انتخابی مساوی ۴، ۹ و ۱۲ در جدولهای شماره ۵ و ۶ وارد گردیده است. بالاخره با انتخاب $\alpha^* = \infty$ ، K_{∞} برای هر دو منطقه محاسبه و در جدولها آورده شده است (روش لاپلاس).

در جداول ۵ و ۶ میزان K محاسبه شده برای هر مقدار α^* به صورت K_{α^*} در بالای هر ستون ذکر گردیده است.

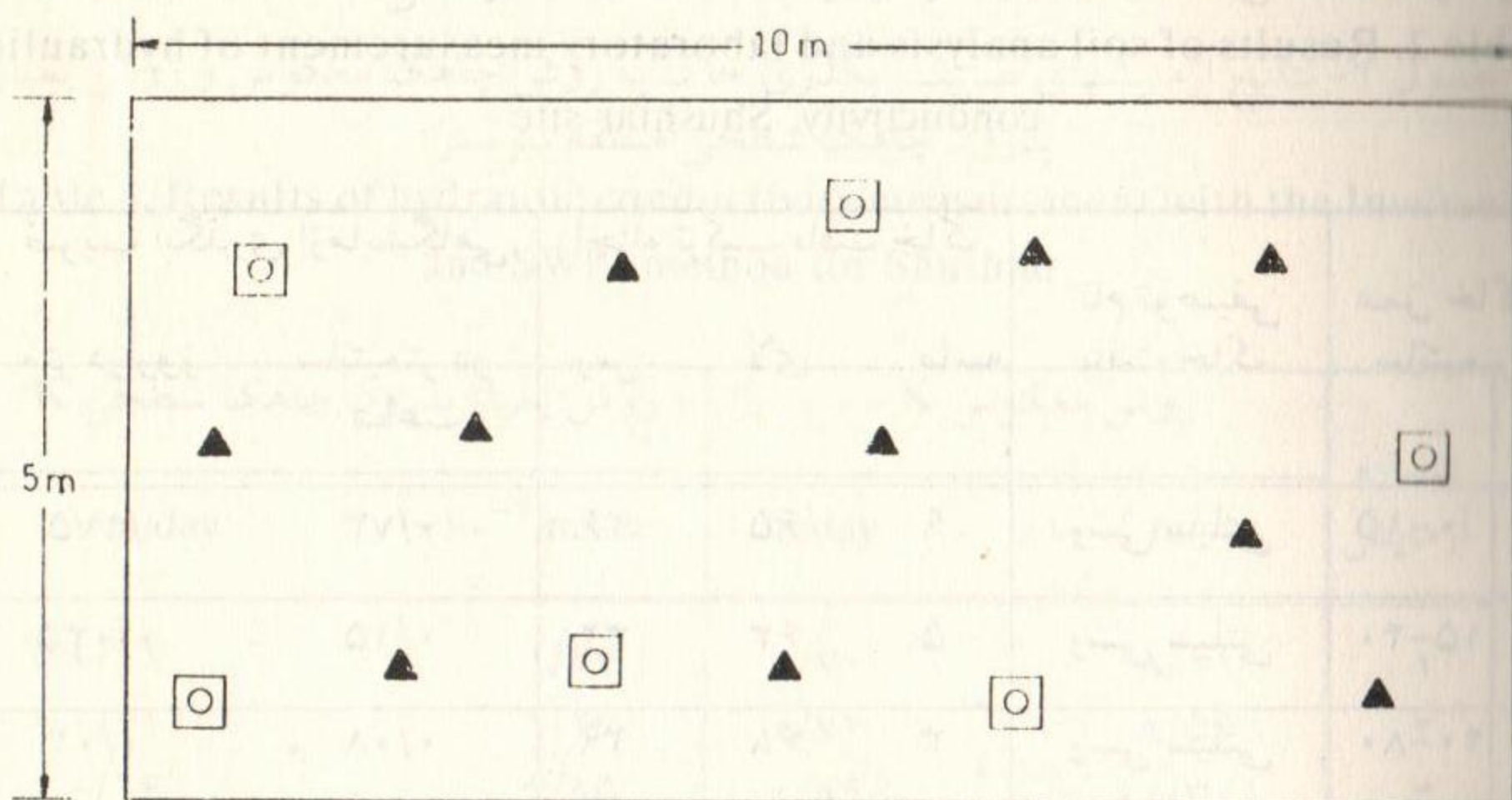
۱- روش استغراق یک عمقی با انتخاب α^* به روش محاسباتی ریچاردز نیز معروف است.



۸ روش گلف
۱۱ روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی
و روش پورشه

شکل شماره ۱- موقعیت چاهکهای اندازه گیری ضرایب آبگذری خاکها با روشهای مورد نظر در منطقه اهواز

Fig 1. Hydraulic conductivity measurement points on Ahwaz site .



شکل شماره ۲- موقعیت چاهکهای اندازه گیری ضرایب آبگذری در منطقه شوشتر

Fig 2. Hydraulic conductivity measurement points on Shushtar site

جدول ۳- نتایج آزمایشهای ضریب آبگذری خاک به روش چاهک معکوس و روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی منطقه اهواز

Table 3. Results of hydraulic conductivity measurement with the Inverse and SWPI method for Ahwaz site

روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی K		روش معکوس K		شماره آزمایش
m/day	$\times 10^{-6}$ m/sec	m/day	$\times 10^{-6}$ m/sec	
۱/۵	۱۷/۳۶	۲/۲	۲۵/۴۶	۱
۰/۷	۸/۱۱	۱/۶	۱۸/۵۲	۲
۱/۸	۲۰/۸۳	۰/۹	۱۰/۴۲	۳
۳/۵	۴۰/۵۱	۲/۰	۲۳/۱۵	۴
۱/۴	۱۶/۲۰	۱/۴	۱۶/۲۰	۵
۲/۱	۲۴/۳۱	۲/۳	۲۶/۶۲	۶

جدول ۴- نتایج آزمایشهای ضریب آبگذری خاک به روش چاهک معکوس و روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی منطقه شوشتر

Table 4. Results of hydraulic conductivity measurement with the Inverse and SWPI method for Shushtar

روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی K		روش معکوس K		شماره آزمایش
m/day	$\times 10^{-6}$ m/sec	m/day	$\times 10^{-6}$ m/sec	
۰/۱۱	۱/۲۷	۰/۷۰	۸/۱۱	۱
۰/۱۱	۱/۲۷	۰/۷۴	۸/۵۶	۲
۰/۱۶	۱/۸۵	۰/۸۹	۱۰/۳۰	۳
۰/۱۷	۱/۹۷	۰/۶۹	۷/۹۹	۴
۰/۲۰	۲/۳۱	۱/۲۳	۱۴/۲۴	۵
۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۴۱	۴/۷۵	۶

جدول شماره ۱- نتایج تجزیه بافت خاک و ضرایب آبگذری آزمایشگاهی منطقه اهواز

Table 1. Results of soil analysis and laboratory measurement of hydraulic conductivity, Ahwaz site

عمق خاک سانتیمتر	نام توصیفی بافت خاک	اجزاء ترکیب بافت خاک			ضریب آبگذری آزمایشگاهی	
		ماسه	لای	رس	سانتیمتر در ساعت	متر در روز
۰-۲۵	لوم ماسه‌ای	۵۴	۲۶	۲۰	۰/۴۶	۰/۱۱
۲۵-۹۵	ماسه لومی	۸۱	۱۲	۷	۰/۸۸	۰/۲۱
۹۵-۱۳۰	رسی سیلتی	۱	۴۹	۵۰	۰/۰۸	۰/۰۲
۱۳۰-۱۵۰	لوم رسی سیلتی	۱۹	۴۷	۳۴	۰/۰۹	۰/۰۲۱

سابقه کشت: سال ۱۳۶۹ - ۱۳۶۸ گندم سال ۱۳۶۸ - ۱۳۶۷ گندم

جدول شماره ۲- نتایج تجزیه بافت خاک و ضرایب آبگذری آزمایشگاهی منطقه شوشتر

Table 2. Results of soil analysis and laboratory measurement of hydraulic conductivity, Shushtar site

عمق خاک سانتیمتر	نام توصیفی بافت خاک	اجزاء ترکیب بافت خاک			ضریب آبگذری آزمایشگاهی	
		ماسه	لای	رس	سانتیمتر در ساعت	متر در روز
۰-۱۵	رسی سیلتی	۹	۶۵	۲۶	۰/۷۳	۰/۱۷۵
۱۵-۴۰	رسی سیلتی	۵	۶۳	۳۲	۰/۱۵	۰/۰۳۵
۴۰-۸۰	رسی سیلتی	۳	۶۸	۲۹	۰/۰۸	۰/۰۲
۸۰-۱۰۰	رسی سیلتی	۱	۶۱	۳۸	۰/۰۳	۰/۰۰۷
۱۰۰-۱۵۰	لوم سیلتی	۷	۶۹	۲۴	۰/۰۳	۰/۰۰۷

سابقه کشت: سال ۱۳۶۹ - ۱۳۶۸ آیش سال ۱۳۶۸ - ۱۳۶۷ گندم

جدول ۶- نتایج آزمایشهای ضرایب آبگذری به روش گلف در منطقه شوشتر

Table 5. Results of hydraulic conductivity measured with the Guelph method for Shushtar site .

نتایج محاسبات دو عمقی	لاپلاس ^۲	استفراق یک عمقی (ریچاردز) ^۱			شماره		
		$K_{fs} \times 10^{-6} \text{ m-sec}^{-1} \phi m \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec} \alpha^m$	$K_{12} \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	$K_9 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$		$K_f^{(3)} \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	
۱/۰۶	۱/۹	۵/۴۸	۲/۹	۱/۶۲	۱/۴۱	۰/۸۶	۱
**	**	**	۲/۲۲	۱/۵۱	۱/۲۵	۰/۸۸۷	۲
**	**	**	۳/۲۷	۱/۸۳	۱/۶	۰/۹۷	۳
**	**	**	۱/۸۲	۱/۱۸	۱/۰۶	۰/۷۰	۴
**	**	**	۳/۲۷	۱/۸۳	۱/۶	۰/۹۷	۵
**	**	**	۱/۵۵	۱/۰۰	۰/۹	۰/۵۹	۶
**	**	**	۳/۷۷	۲/۱۱	۱/۸۴	۱/۱۲	۷
**	**	**	۲/۵۲	۱/۶۴	۱/۴۷	۰/۹۷	۸
۳/۴	۳/۱	۱/۱	۳/۲۷	۱/۸۳	۱/۶	۰/۹۷	۹
**	**	**	۲/۲۲	۱/۱۶	۱/۲	۰/۸۶	۱۰
**	**	**	۶/۹۲	۳/۸۸	۳/۲۸	۲/۱	۱۱
**	**	**	۴/۳۵	۲/۸۳	۲/۵۳	۱/۶۶	۱۲
**	**	**	۶/۲۲	۳/۵۲	۳/۰۵	۱/۸۷	۱۳
۱/۷۳	۳/۵	۵/۰	۲/۱	۱/۸۲	۱/۶۳	۱/۰۷	۱۴
**	**	**	۵/۰۴	۲/۸۲	۲/۲۶	۱/۵	۱۵
**	**	**	۴/۰۰	۲/۶۰	۲/۳۳	۱/۵۲	۱۶
**	**	**	۳/۹۱	۲/۳	۲/۰۲	۱/۲۶	۱۷
**	**	**	۲/۵۲	۱/۴۱	۱/۲۲	۰/۷۵	۱۸
**	**	**	۱/۵۵	۱/۰۰	۰/۹	۰/۵۹	۱۹

جدول ۵- نتایج آزمایشهای ضرایب آبگذری به روش گلف در منطقه اهواز

Table 5. Results of hydraulic conductivity measured with the Guelph method for Ahwaz Site .

نتایج محاسبات دو عمقی	لاپلاس ^۲	استفراق یک عمقی (ریچاردز) ^۱			شماره		
		$K_{fs} \times 10^{-6} \text{ m-sec}^{-1} \phi m \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec} \alpha^m$	$K_{12} \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	$K_9 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$		$K_f^{(3)} \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	
			۱۴/۴	۹/۲۲	۸/۳۵	۵/۴۹	۱
			۴۶/۹	۲۲/۳	۳۰/۴	۲۱/۱	۲
			۲۴/۴	۱۵/۹	۱۴/۲	۹/۲۳	۳
۳/۷۹	۵/۲	۷/۲۲	۲۱/۵	۱۴/۰	۱۲/۵	۸/۲۳	۴
			۶/۳۵	۴/۵۱	۴/۱۲	۲/۸۶	۵
			۷/۱۸	۴/۶۶	۴/۱۵	۲/۷۲	۶
			۲۸/۷	۱۸/۷	۱۶/۷	۱۱/۰	۷
			۱۷/۲	۱۱/۲	۱۰/۰	۶/۵۹	۸
			۱۵/۱	۹/۸۲	۸/۸	۵/۷۸	۹
**	**	**	۳/۹۱	۲/۷۸	۲/۵۳	۱/۷۶	۱۰
۹/۷۹	۱۶/۰	۶/۱۵	۳/۵۹	۲/۲۳	۲/۰۹	۱/۳۷	۱۱
			۲۰/۱	۱۳/۱	۱۱/۷	۷/۶۸	۱۲
			۱۷/۶	۱۲/۵	۱۱/۴	۷/۹۱	۱۳
**	**	**	۳/۷۱	۲/۶۲	۲/۴۱	۱/۶۷	۱۴
			۲۵/۸	۱۶/۸	۱۵/۰	۹/۸۸	۱۵
			۶۳/۱	۴۱/۰	۳۶/۸	۲۴/۱	۱۶

1- GP - R

2- Gp - L

** جواب منفی که غیر معقول است

۳- $K_f, K_9, K_{12}, K_\infty$ مقدار K بازاء مقادیر α بترتیب برای ۴، ۹، ۱۲ و ∞ می باشد

شماره	نتایج محاسبات دو عمقی	لاپلاس ^۲	استفراق یک عمقی (ریچاردز) ^۱
۱	۱/۰۶	۱/۹	۵/۴۸
۲	**	**	**
۳	**	**	**
۴	**	**	**
۵	**	**	**
۶	**	**	**
۷	**	**	**
۸	**	**	**
۹	۳/۴	۳/۱	۱/۱
۱۰	**	**	**
۱۱	**	**	**
۱۲	**	**	**
۱۳	۱/۷۳	۳/۵	۵/۰
۱۴	**	**	**
۱۵	**	**	**
۱۶	**	**	**

- بحث و تجزیه تحلیل آماری نتایج

برای ارقام و اعداد حاصله نسبت به محاسبه توزیع های نرمال و لوگ نرمال میانگین حسابی، هندسی، واریانس، انحراف معیار و خطای معیار اقدام و نتایج در جدولهای شماره (۷) و (۸) یکجا نشان داده شده است.

الف - انتخاب توزیع فراوانی

قبل از ارائه معیارهای مربوط به آزمون های آماری، توزیع فراوانی ارقام مناسب که بر داده های ضریب آبگذاری خاک (K_{fs}) مطابقت داشته باشد باید انتخاب شود. از آنجا که توزیع نرمال و نوع لوگ آن در این خصوص برای خواص خاک مناسب تشخیص داده شده است (واریک و نیلسن ۱۹۸۰) تنها این دو نوع توزیع مورد بررسی قرار می گیرد. در اینجا "بهترین برازش" توزیع فراوانی از مقایسه ضریب همبستگی آماری (r^2) از طریق رگرسیون خطی انحراف معیار از مقدار میانگین (u) در برابر مقادیر K_{fs} (برای توزیع نرمال) و در مقابل لگاریتم آن $\text{Log } K_{fs}$ (برای توزیع لوگ نرمال) بدست می آید. انحراف معیار از میانگین را با داشتن احتمال تجمعی می توان از جدولهای توزیع نرمال بدست آورد. ترسیم مقادیر (u) بازاء مقادیر متناظر K_{fs} مربوطه برای دو منطقه اهواز و شوشتر بترتیب در اشکال شماره (۳) و (۴) ارائه شده اند. بطوریکه این اشکال نشان می دهند مقادیر (r^2) بیشتر ناشی از برازش بهتر توزیع لوگ نرمال بر ارقام (K_{fs}) حاصل می گردد و به همین منوال مقادیر (r^2) کمتر بیانگر پراکنش تصادفی بیشتر و ضعف برازش مدل توزیع نرمال بر داده های K_{fs} می باشد (جدول ۹). بنابراین در کلیه آزمون های آماری توزیع فراوانی به صورت لوگ نرمال فرض می شود.

ب - مقایسه

روشهای اندازه گیری K_{fs} در هر منطقه بر مبنای میانگین (K_{fs})، دامنه تغییرات R^2 ، ضریب تغییرات CV^3 و فاکتور انحراف معیار (SD) مورد مقایسه قرار گرفته اند. روابط بین این پارامترها برای توزیع لوگ نرمال مختصراً توضیح داده می شوند.

۱- Best fitting

۲- Range

۳- Coefficient of variation

جدول ۷- خلاصه نتایج آماری داده های مربوط به ضریب آبگذری خاکهای منطقه اهواز

Fig 7. Summary of results of hydraulic conductivity for Ahwaz site

		K SWPI	K پورشه	K_{∞}	K_{12}	K_9	K_7
نرمال	\bar{X}	۲۱/۲۲	۲۰/۰۶	۲۴/۹۰	۱۶/۶۷	۱۵/۰۲	۱۱/۰۵
	S^2	۱۱۸/۸۱	۳۸/۲۹	۲۹۰/۰۳۶	۱۲۲/۶۵	۱۰۸/۸۶	۲۹/۵۹
	S	۱۰/۹۰	۶/۲۰	۱۷/۰۴	۱۱/۵۲	۱۰/۴۳	۷/۱۴
	SE	۴/۲۵	۲/۵۳	۴/۹۲	۳/۲۳	۳/۰۱	۲/۱۳
لوگ نرمال	\bar{X}	۱۸/۹۹	۱۹/۱۴	۱۹/۵۳	۱۳/۰۸	۱۱/۷۹	۸/۷۵
	S^2	۰/۵۲	۰/۲۳	۰/۱۱۶	۰/۱۱۳	۰/۱۱۲	۰/۰۹۲
	S	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۳
	SE	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۹۹	۰/۰۹۷	۰/۰۹۷	۰/۰۸۷

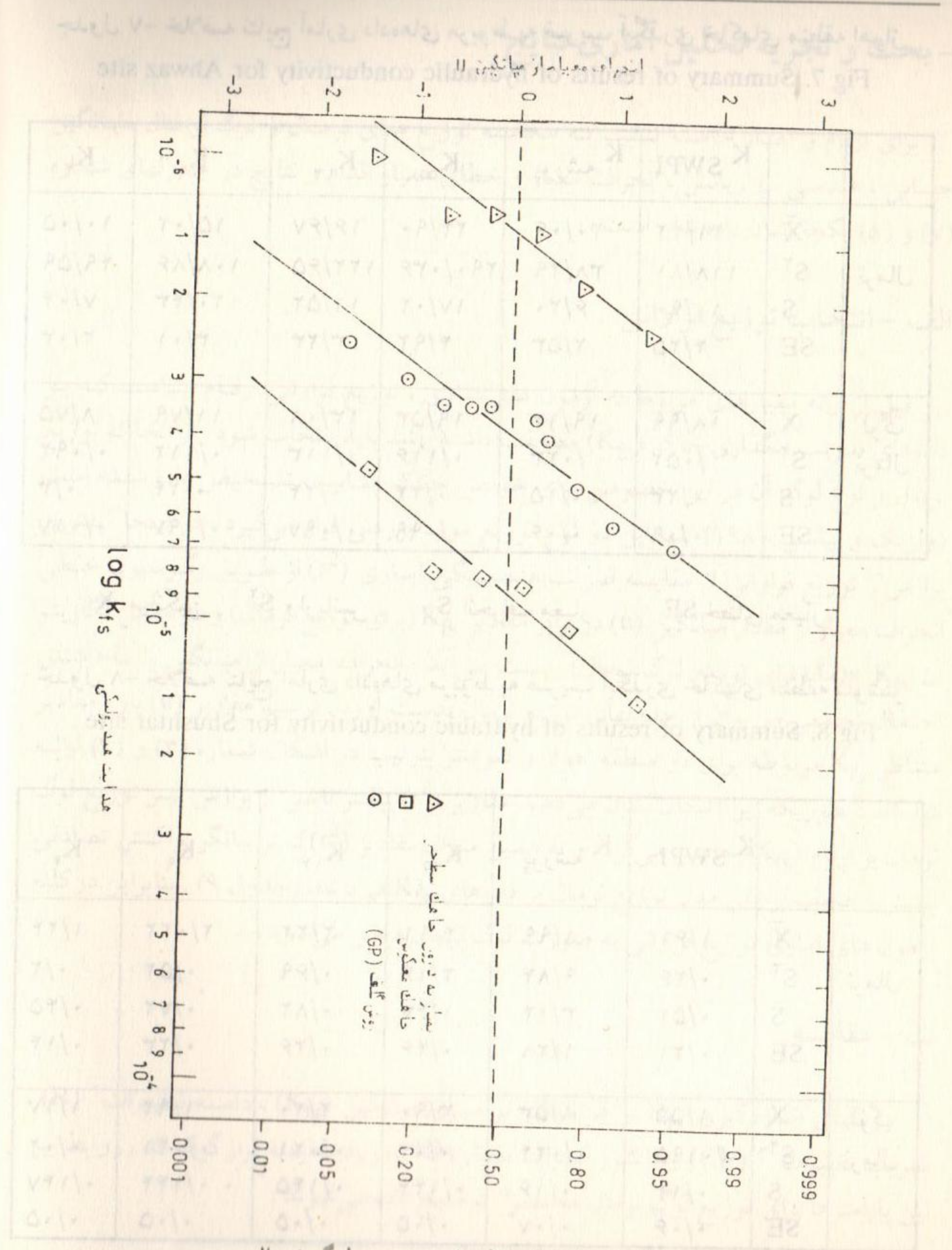
\bar{X} میانگین S^2 واریانس S انحراف معیار SE خطای معیار

جدول ۸- خلاصه نتایج آماری داده های مربوط به ضریب آبگذری خاکهای منطقه شوشتر

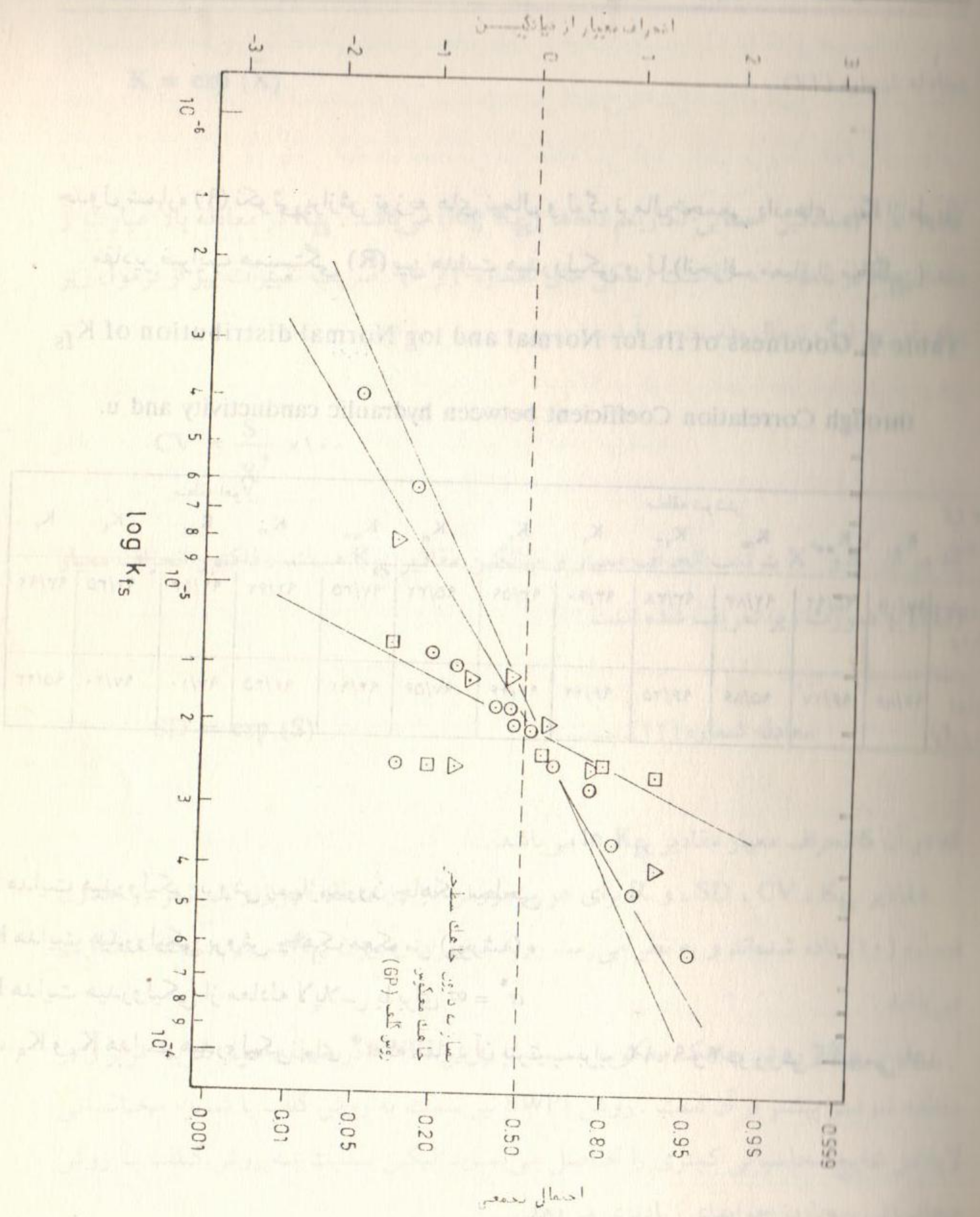
Fig 8. Summary of results of hydraulic conductivity for Shushtar site

		K SWPI	K پورشه	K_{∞}	K_{12}	K_9	K_7
نرمال	\bar{X}	۱/۶۱	۸/۹۹	۴/۱۱	۲/۲۲	۲/۰۲۲	۱/۲۲
	S^2	۰/۲۶	۹/۸۴	۲/۱۶	۰/۶۹	۰/۵۲	۰/۲
	S	۰/۵۱	۳/۱۴	۱/۴۷	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۴۵
	SE	۰/۲۱	۱/۲۸	۰/۴۶	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۱۴
لوگ نرمال	X	۱/۵۵	۸/۵۳	۳/۹۰	۲/۲۰	۱/۹۲	۱/۱۷
	S^2	۰/۰۱۹۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲
	S	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴۴	۰/۱۴۵	۰/۱۴۴	۰/۱۴۷
	SE	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

\bar{X} میانگین S^2 واریانس S انحراف معیار SE خطای معیار



شکل ۳- نمودار فراکتیل - توزیع لوگ نرمال
 Fig 3. Fractile diagram - log normal distribution (Ahwaz)



شکل ۴- نمودار فراکتیل توزیع لوگ نرمال - شوشتر
 Fig 4. Fractile diagram - log normal distribution (Shushtar)

K = exp (X̄) معادله شماره (۱۱)

جدول شماره (۹) نکوئی برازش توزیع های نرمال و لوگ نرمال تجمعی داده های Kfs از طریق مقادیر ضرایب همبستگی (R) بین هدایت هیدرولیکی و U (انحراف معیار از میانگین)

Table 9. Goodness of fit for Normal and log Normal distribution of Kfs through Correlation Coefficient between hydraulic conductivity and u.

CV = (S* / X*) * 100

که در آن میانگین حسابی لگاریتم داده ها (log Kfs) می باشد. Kfs در معادله بالا عبارت از مقدار Kfs در نقطه U = 0 است (شکل های شماره ۳ و ۴). ضریب تغییرات نیز از فرمول زیر برای توزیع لوگ نرمال بدست می آید.

Table with 13 columns: Type of distribution, Region, K*, K**, Kinf, K12, K9, K4, K*, K**, Kinf, K12, K9, K4. Rows include Normal distribution and Log normal distribution.

SD = exp (S) معادله شماره (۱۲).....

که در آن S انحراف معیار مقادیر ln Kfs می باشد. مقادیر Kfs، CV، SD، و R برای هر سه روش در دو منطقه اهواز و شوشتر در جدول شماره (۱۰) داده شده اند و به نظر می رسد روند تغییرات میزان Kfs در دو منطقه متفاوت می باشد. مقدار Kfs از روش چاهک معکوس نسبت به روش SWPI در منطقه اهواز تقریباً برابر و در منطقه شوشتر بیشتر از آن است. روش SWPI نیز نسبت به روش گلف با شیوه محاسباتی لاپلاس نتایج محاسباتی کمتری را حاصل می نماید لیکن نسبت به روش گلف با روش محاسباتی ریچاردز جوابهای زیادتری می دهد.

K* هدایت هیدرولیکی بروش پمپاژ بدون چاهک سطحی
K** هدایت هیدرولیکی بروش چاهک معکوس (پورشه)،
Kinf هدایت هیدرولیکی از معادله لاپلاس یا برای alpha* = infinity

K12، K9، K4 هدایت هیدرولیکی برای alpha* که مقادیر آن بترتیب برابر ۱۲، ۹ و ۴ در روش گلف می باشد.

بنابراین ملاحظه می شود که در این سه روش اندازه گیری هدایت هیدرولیکی، برای یک نوع خاک مشخص روشهای معادلی نیستند و مشخصاً برای یک خاک یکنواخت رس سیلتی

جوابهای متفاوتی را عرضه می نمایند. بطوریکه از جدول شماره (۱۰) قابل استنباط است مقادیر CV و SD در خاک ماسه لومی نسبت به رس سیلتی کاهش قابل توجهی را نشان می دهد هر چند این کاهش در روش چاهک معکوس ملاحظه نمی شود. بنظر می رسد که در درون هر نوع خاک تمام روشهای اعمالی مقادیر CV و SD متشابهی را عرضه کنند. در اینجا CV روش چاهک معکوس تقریباً نصف روش گلف در خاک سبک (ماسه لومی) است لیکن تفاوت کمتری در میزان CV از روشهای چاهک معکوس و پمپاژ بدرون چاهک سطحی دیده می شود. در خاک سنگین رس سیلتی شوشتر تغییرات CV و SD در کلیه روشها ناچیز است و کمترین مقدار آن در روش پمپاژ بدرون چاهک سطحی ملاحظه می شود.

تفاوت های ارائه شده در جدول شماره (۱۰) و اشکال شماره (۳) و (۴) نمایانگر تغییرات طبیعی موجود بین خاکهاست که در تفاوت بین مقادیر K_{fs} متجلی می شود. بطوریکه در خاک ماسه لومی منطقه اهواز دامنه تغییرات K_{fs} بطور متوسط با CV مربوطه حدود ۵۰٪ و فاکتور انحراف معیار (SD) در حد ۱/۴۵ محاسبه گردیده است. در خاک رس سیلتی ناحیه شوشتر دامنه تغییرات K_{fs} بطور متوسط با CV آن حدود ۳۴٪ و مقدار SD در حد ۱/۲۵ بدست آمده است.

این چنین تغییراتی که در زمینی به مساحت تقریبی کمتر از ۵۰ متر مربع بوجود می آید بر لزوم اندازه گیری های بیشتر تأکید دارد تا بتوان میانگین معنی داری را بدست آورد که تغییرات ناشی از فاصله نقاط اندازه گیری را بطور مناسبی تشریح و بیان نماید. در حقیقت برای بعضی کاربردها ضرورت تکرار آزمایشها مهمتر از دقت زیاد در اندازه گیریهای منفرد K_{fs} برای یک نقطه می باشد.

بالتجیه، آنچه باید در انتخاب روش اندازه گیری مد نظر قرار گیرد در درجه نخست دقت اندازه گیری و پس از آن سهولت و هزینه کار است، ولی بهرحال مقادیر اندازه گیری شده K_{fs} از هر روش موقعی دارای اهمیت کافی خواهد بود که اختلاف های موجود در جدول شماره (۱۰) در محدوده مورد قبولی قرار داشته باشد. این اختلاف ها ذیلاً بحث می شوند:

توجه به K_{fs} ، CV و SD بین روشها را می توان برحسب نقشی که ماکروپورها (خلل و فرج درشت) در اندازه گیری K_{fs} ایفاء می نمایند توضیح داد.

نوع خاکهای لوم (با بافت موزون) اغلب شامل خلل و فرج درشت استوانه ای، کرم راهها مسیرهای ریشه و شکافها هستند. از طرف دیگر خاکهای رسی به علت دارا بودن خلل و فرج درشت از لحاظ هیدرولیکی اثرات کمتری را نشان داده و در نتیجه ارقام کوچکتری را ارائه کنند. همانطوریکه قبلاً اشاره شد، روش گلف (GP) نتایج بزرگتری (از نظر ارقام هدایت آبی) را ارائه می دهند و چنین بنظر می رسد که جوابهای حاصل از آزمون گلف را بایستی حتماً قدری بیشتر در نظر گرفت.

جدول شماره (۱۰) - میانگین های هندسی K_s ضریب تغییرات CV و فاکتور انحراف معیار SD از اندازه گیری های K_{fs} بوسیله هر سه روش اعمال شده برای دو نوع خاک

Tabl 10. Geometric mean (K_s), Coefficient of Variation (CV) and Standard deviation (SD) of K_{fs} by three methods for the two soils.

نام منطقه و نوع بافت خاک	روش اعمال شده	K_s	R	CV%	SD
- اهواز	SWPI	۱۸/۹۹	۳۲/۴۱	۵۱	۱/۲۶
	پورشه	۱۹/۱۴	۱۶/۲۰	۳۱	۱/۱۶
	GP-L ^۱	۱۹/۵۳	۵۹/۱۰	۶۸	۱/۴۰
	GP-R ^۲	۱۱/۷۹	۳۲/۲۷	۶۹	۱/۴۰
- شوشتر	SWPI	۱/۵۵	۱/۳۴	۳۲	۱/۱۵
	پورشه	۸/۵۳	۹/۴۹	۳۵	۱/۱۷
	GP-L	۳/۹۰	۴/۴۰	۳۶	۱/۱۵
	GP-R	۱/۱۷	۱/۲۵	۳۶	۱/۱۶

X[#] انحراف معیار و میانگین مقادیر K_{fs}

۱- GP-L روش گلف با متد لاپلاس

۲- GP-R روش گلف با متد ریچارد

خلاصه و نتیجه گیری

این مطالعات بر مبنای نتایج بدست آمده از آزمایشها با سه روش مختلف اندازه گیری هدایت هیدرولیکی (K) در دو نوع خاک با بافتهای متفاوت به انجام رسیده است. هر روش دارای حجم نمونه مشخصه متفاوت، ابعاد مختلف، روش متنوع استفاده از آب در خاک و شرایط مرزی مربوطه می باشد. این عوامل بعلاوه غیر همگونی و طبیعت خاکهای صحرایی مشترکا در مقادیر بدست آمده K_{fs} تأثیر می گذارند. در هر دو منطقه مورد آزمایش روش پورشه نتایج نسبتاً بالاتری را نسبت به روش SWPI و پرماترگلف (GP-R) ایجاد می کنند. زیادتیر بودن جوابهای حاصل در روش چاهک معکوس، البته بعلت واحد فرض کردن گرادیان فشار در اثبات فرمول مربوطه است. بنابراین روشهای SWPI و GP از این لحاظ مناسب ترند. در روش پرماترگلف نتایج رقمی زیادتری نسبت به SWPI بدست می آید که این مسئله بخاطر بهبود روش و اصلاح معادله جریان خروجی از چاهک است لیکن نتایج حاصل از روش (GP-R) که با در نظر گرفتن تأثیر جریان غیر اشباع بدست آمده اند واقع بینانه تر می باشند. هر سه روش دارای تغییر پذیری های متفاوتی می باشند که ناشی از طبیعت خاکها، غیر همگونی آنها و تأثیر متفاوت هوای محبوس^۱ بر مقدار K_{fs} در هر روش است. روش چاهک معکوس و SWPI روش های نسبتاً قدیمی و مرسوم اندازه گیری میزان ضریب آبگذری خاک می باشند لیکن روش پرماترگلف (GP) روش ابداعی نوینی است که در مقایسه با روشهای قدیم قابلیت کارایی خود را به عنوان یک "روش مناسب" جهت اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاکها در این مطالعه نشان داده است. بنابراین با اطمینان می توان این روش را جهت انجام مطالعات صحرائی مختلف طرحهای آبیاری زهکشی و بررسیهای مزرعه ای پیشنهاد نمود.

۱- Trapped air

منابع:

- ۱- کشکولی، حیدرعلی. (۱۳۷۳). اندازه گیری هم زمان خصوصیات هیدرولیکی خاک در بالای سفره آب زیرزمینی به روش گلف "گزیده مقالات سومین کنگره علوم خاک، انجمن خاکشناسی ایران.
- ۲- مشعل، محمود. (۱۳۶۹). بررسی و مقایسه روشهای اندازه گیری ضریب آبگذری در بالای سفره آب زیرزمینی و معرفی روش گلف. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری دانشگاه شهید چمران - اهواز. ۱۲۰ صفحه.
- 3- Bouwer . H . and R .D . Jackson. 1974 . Determining soil properties . In Drainage for Agriculture. J. Van Schilfgaarde (ed.) Agronomy. Madison wis.
- 4- Elrick D.E., W.D. Reynolds and K.A. Tan. 1989. Hydraulic conductivity measurements in the usaturated zone using impoved well permeameter analysis. Groundwater Monit. Review.
- 5- Philip. J.R. 1985. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil. Water Resour. Res. Vol. 21, No.7. : 1025-1033.
- 6- Reynolds, W.D. and D.E. Elrick. 1985. In situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α - parameter using the 0Guelph permeameter. Soil Sci. Vol. 140, No.4.: 292-302.

- 7- Reynolds. W.D. and D.E., Elrick. 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vados zone of field saturated hydraulic conductivity sorptivity and the conductivity - pressure head relationship, *Groundwater Monit. Rev.* Vol. 6, No.1,: 84-95 .
- 8- Reynolds, W.D. and D.E.Elrick 1987. A laboratory and numerical assessment of the Guelph permeameter method. *Soil Sci.* Vol. 144, No. 4,: 282-292.
- 9- Reynolds, W.D., E.Elrick and G.C.Topp. 1983. Re - examination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil Sci.* 136: 250-268.
- 10- Reynolds, W.D., D.E. Elrick and B.E. Clothier. 1985. The constant head well permeameter, Effect of unsaturated flow. *Soil Sci.* Vol. 189, No.2, : 172-180 .
- 11- Smettem, K.R.J. 1986. Analysis for water flow from cylindrical macropores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1139-1142 .
- 12- Talsma, T. 1987. Re - evaluation of the well permeameter as a field method for measuring hydraulic conductivity. *Aust. J. Soil. Res.* Vol.25, : 361-368.
- 13- Talsma T. and P.M. Hallam 1980. Hydraulic conductivity measurement of forest catchments. *Aust. J. Soil. Res.* 30: 139-148.
- 14- Warrick, A.W. and Nielsen, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In D.Hillel *Applications of soil physics.* Academic press, New York, N.Y. : 319-344.
- 15- White I. and I Sully. 1987 . Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. *Water Resource Res.* Vol. 23, No.8,: 1514-1522.