

ارزیابی انواع روش‌های اندازه‌گیری برآورد هدایت هیدرولیکی خاک (مطالعه موردی: منطقه مشهد)

سید مجید هاشمی‌نیا^{۱*}، حسین شریفان^۲، کامران داوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۱

چکیده

یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم‌های زهکشی و تخمین جریان آب در خاک، ضریب هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی در محدوده فعالیت ریشه باشد، معمولاً از روش‌های متداولی نظیر چاهک ارنست، چاهک‌های مضاعف و روش پیزومتری برای تعیین هدایت هیدرولیکی خاک در زیر سطح ایستابی استفاده می‌شود. در بالای سطح ایستابی روش‌هایی نظیر پمپاژ به چاهک، چاهک معکوس، پرماتر گلف و ... وجود دارد که متداول‌ترین آن‌ها روش چاهک معکوس می‌باشد. در شرایط آزمایشگاهی روش‌های بار ثابت و بار افتان انجام می‌شود و یک سری مدل‌های کامپیوتری برای تخمین این ضریب نیز ارائه شده‌است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به روش‌های صحرایی (روش چاهک وارونه) و آزمایشگاهی (روش بارافتان) و مدل‌های کامپیوتری و مقایسه نتایج به‌دست آمده از این روش‌ها با روش پمپاژ به چاهک بود. نتایج نشان داد که مقادیر K به‌دست آمده از روش چاهک وارونه حدود ۵۰٪ بیش‌تر از مقادیر K اندازه‌گیری شده به روش پمپاژ به چاهک بوده و این نسبت برای مقادیر K به‌دست آمده از روش آزمایشگاهی حدود نصف و مدل‌های کامپیوتری Rosetta و Retc نیز به ترتیب ۶۸٪ و ۱۶۵٪ بود. از سوی دیگر با توجه به درصد اختلاط ذرات معدنی خاک، مدل Rosetta نسبت به مدل Retc، مقادیر K را نزدیک‌تر به مقادیر روش پمپاژ به چاهک برآورد کرد. همچنین بر اساس بافت خاک، مدل‌های Rosetta و Retc در بعضی از چاهک‌ها نتایج خوبی را ارائه نکردند.

واژه‌های کلیدی: هدایت هیدرولیکی، پمپاژ به چاهک، چاهک وارونه، بار افتان، مدل‌های Rosetta، Retc، مشهد

مقدمه

شده و در منابع مختلف توضیحات کلی در مورد آن داده شده است، اما همواره این روش‌ها دارای نقاط ضعف و قوت می‌باشند. تجربه نشان داده است که افراد مختلف متناسب با برداشت‌ها و استنباط‌هایی که از این منابع به‌دست می‌آورند روش‌هایی را به-کار می‌برند که بالقوه ممکن است به نتایج متفاوتی برسند (وزارت نیرو، ۱۳۷۵). در کلیه پروژه‌های آبیاری و زهکشی هدایت هیدرولیکی در زیرسطح اشباع باید تعیین گردد، ولی ممکن است در موارد خاص این ضریب در بالای سطح ایستابی مطالعه و بررسی شود، در این صورت اندازه‌گیری آن در شرایط محلی گاهی دشوار است و به و سایل مخصوص و افراد ورزیده نیاز دارد. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی در محدوده فعالیت ریشه باشد، معمولاً از روش‌های متداولی نظیر چاهک، چاهک‌های مضاعف و روش پیزومتری برای تعیین هدایت هیدرولیکی خاک در زیر سطح ایستابی استفاده می‌شود (نقل از حبیب زاده آذر و

هدایت هیدرولیکی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیک خاک است که در محاسبه فواصل زهکش‌های زیرزمینی و ارزیابی جریان آب زیرزمینی مورد توجه قرار می‌گیرد. در مطالعات زهکشی بسته به موقعیت سطح ایستابی و لایه غیرقابل نفوذ نسبت به عمق فعالیت ریشه، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیکی (K) خاک وجود دارد که اساس کار آن‌ها بر اندازه‌گیری سرعت جریان آب در خاک استوار است. هر چند مبانی علمی و روش‌های فنی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در حدود متعارف خود شناخته

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول: (Email: hashemini@yahoo.com)

همکاران، ۱۳۸۷) و در شرایط بالای سطح ایستابی روش‌هایی نظیر پمپاژ به چاهک، چاهک معکوس، پرماتر گلف و ... وجود دارد. در بین روش‌های فوق، روش پمپاژ به چاهک دارای دقت نسبتاً بالایی است. اساس این روش ثابت نگه‌داشتن سطح آب در داخل چاهک و اندازه‌گیری میزان آب نفوذ یافته از چاهک به اطراف دیواره چاهک می‌باشد و از معایب این روش طولانی بودن زمان، نیاز به آب فراوان و صرف هزینه بالا برای انجام آزمایش است، لذا در بسیاری از کارهای مشاوره‌ای و اجرایی از این روش کمتر استفاده شده و یا فقط برای کنترل ضرایب هیدرولیکی به دست آمده از سایر روش‌های صحرائی به کار می‌رود. در حالی که یکی از متداول‌ترین روش‌های صحرائی که بیش‌تر به کار می‌رود، روش چاهک معکوس است. در روش چاهک معکوس که به روش پورشه هم معروف است با استفاده از اوگر دستی چاهکی در مزرعه حفر و سپس چاهک تا سطح دلخواه پر از آب شده و افت سطح آب داخل چاهک نسبت به زمان اندازه‌گیری می‌شود. در این روش، آزمایش تا زمانی ادامه می‌یابد که هدایت هیدرولیکی خاک به مقدار ثابتی رسیده باشد. از مزایای این روش کوتاه بودن زمان لازم برای انجام آزمایش می‌باشد (Luthin, 1987). از سوی دیگر یکسری مدل‌های کامپیوتری نظیر Rosetta Retc و ... نیز برای تخمین هدایت هیدرولیکی ارائه شده‌اند که در این مدل‌ها با توجه به نوع بافت خاک و یا درصد اختلاط ذرات در نمونه خاک مزرعه می‌توان هدایت هیدرولیکی (ضریب آبگذری) را تخمین زد.

موسوی و حاجیان (۱۳۷۲) روش‌های صحرائی پمپاژ به داخل چاهک، چاهک وارونه، نفوذ در حوضچه و پرماتر گلف را برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک در منطقه رودشت اصفهان با یکدیگر مقایسه کردند. کاوه (۱۳۶۸) هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده با استفاده از روش چاهک وارونه را با هدایت هیدرولیکی تخمینی از روی بافت خاک مقایسه کرد.

کشکولی (۱۳۷۱) خصوصیات هیدرولیکی خاک در بالای سفره آب زیرزمینی را به روش گلف اندازه‌گیری نمود. نتایج این تحقیقات نشان داد که با این روش می‌توان به‌طور همزمان هدایت هیدرولیکی اشباع صحرائی، ضریب جذبی و رابطه هدایت هیدرولیکی با مکش رطوبت خاک را تعیین نمود. کشکولی و مختاران (۱۳۸۳) جهت تعیین سریع هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط، آنالیزهای تک عمقی پرماتر گلف را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که با انجام آزمایش گلف با استفاده از آنالیز دو عمقی میتوان ضرایب هدایت هیدرولیکی اشباع و پارامترهای مربوط به خاک غیراشباع را به‌طور همزمان به‌دست آورد.

مشعل و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف، عوامل مؤثر در بهبود اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت دو عمق، تعداد مقادیر K منفی کاهش یافت به طوری که در نسبت‌های بزرگ‌تر از ۲ تقریباً ۷۰٪ از نتایج آزمایش‌ها منطقی و غیرمنفی شد. حیدرپور و محمدزاده (۱۳۸۵) ضریب هدایت هیدرولیکی به دست آمده از روش چاهک معکوس و روش پمپاژ به داخل چاهک را در منطقه اهواز مقایسه کردند. نتایج به دست آمده از دو روش فوق نشان داد که روش چاهک معکوس به‌طور متوسط مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی را ۵۶ درصد بیش‌تر از روش پمپاژ به داخل چاهک برآورد می‌نماید. پایه و اساس اغلب روش‌های صحرائی متداول مبنی بر دستیابی به جریان پایا می‌باشد (Reynolds & Elrick, 1985). لزوم دستیابی به جریان پایا در این روش‌ها استفاده از آن‌ها را در خاک‌هایی با بافت سنگین و با هدایت هیدرولیکی کم محدود می‌کند، زیرا ایجاد جریان پایا در این خاک‌ها زمان زیادی را می‌طلبد (Reynolds & Elrick, 1990). در خاک‌هایی با بافت سنگین می‌توان با استفاده از جریان انتقالی (غیر پایا) هدایت هیدرولیکی اشباع را در مدت زمانی کوتاه اندازه‌گیری کرد (Odell et al, 1998). باگارلو و همکاران برای اندازه‌گیری سریع هدایت هیدرولیکی در خاک‌هایی با بافت سنگین، روش بارافتان ساده شده را پیشنهاد کردند (Bagarello et al, 2007). این روش به حجم آب کمی نیاز دارد و حمل و نقل تجهیزات آسان است. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده‌است، نتایج حاصل از روش SFH در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع مشابه نتایج حاصل از سایر روش‌های آزمایشگاهی (روش بار ثابت؛ فالو و همکاران، ۱۹۹۴) و صحرائی (روش نفوذسنج تک حلقه‌ای (PI)؛ Reynolds & Elrick, 1990) بوده است. (Bagarello et al, 2007, Bagarello & Sgroi, 2006)

از سوی دیگر درزی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیق خود در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی ابوریحان، به این نتیجه رسیدند که بین مقادیر هدایت هیدرولیکی برآورد شده از روش‌های چاهک وارونه و نتایج روش‌های دو عمقی، تک عمقی و رگرسیون پایه‌ای ریچاردز تفاوت معنی‌داری وجود دارد و تنها در صورتی که نتایج به دست آمده از روش‌های مذکور در ضریب ۳ ضرب شود، معادل نتایج روش چاهک وارونه خواهد بود. حبیب‌زاده آذر و همکاران (۱۳۸۷) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه، مقدار هدایت هیدرولیکی از روش‌های چاهک وارونه و پرماتر گلف را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که روش پرماتر گلف مقدار K بیش‌تری نسبت به روش چاهک معکوس برآورد کرده‌است. از سوی دیگر معتمدی و همکاران (۱۳۸۶) در منطقه چنوبیه اهواز روش‌های چاهک معکوس و پمپاژ به چاهک را برای اندازه‌گیری K مورد مقایسه قرار دادند. بررسی‌های ایشان نشان

ضریب با توجه به درصد اختلاط ذرات معدنی در خاک و با استفاده از مدل‌های Rosetta و Retc برآورد گردید.

روش پمپاژ به چاهک

از این روش در شرایطی که سطح ایستابی و لایه غیرقابل نفوذ هر دو پائین‌تر از محدوده ریشه گیاه باشند، استفاده می‌گردد. اساس این روش عبارت است از اندازه‌گیری حجم آبی که به‌صورت افقی وارد چاهی می‌شود که سطح آب در داخل آن به‌وسیله یک شیر شناور اتوماتیک ثابت نگه داشته شده است (شکل ۱). آزمایش باید تا اشباع شدن کامل خاک اطراف چاهک و ثابت شدن دبی آب از مخزن ادامه یابد و سپس ضریب آبگذری خاک محاسبه شود. در این روش بسته به موقعیت سطح ایستابی نسبت به سطح آب در چاهک با استفاده از یکی روابط زیر، ضریب آبگذری محاسبه می‌شود.

$$K = 1440 \frac{\left[\ln \left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r} \right)^2 + 1} \right) - 1 \right]}{2\pi h^2} Q \quad (1) \quad Tu \geq 3h \text{ حالت اول:}$$

$$K = 1440 \frac{\left[3 \ln \left(\frac{h}{r} \right) \right]}{\pi (h + 2T_u)} Q \quad (2) \quad 3h > Tu \geq h \text{ حالت دوم:}$$

روش چاهک وارونه

در روش چاهک وارونه (پورشه) با توجه به اینکه نفوذ آب در چاهک عمدتاً از دیواره و مقداری هم از کف آن صورت می‌گیرد، معادله این روش عبارتست از:

$$K = \frac{1.15 r \left[\log \left(h_1 + \frac{r}{2} \right) - \log \left(h_2 + \frac{r}{2} \right) \right]}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

در صورتی که نمودار تغییرات لگاریتمی $h_t + r/2$ (محور عمودی) در مقابل زمان (t، محور افقی) رسم شود، شیب خط حاصله برابر $\tan(a)$ خواهد بود که

$$K = 1.15 r \cdot \tan(a) \quad (4)$$

که در معادلات فوق K = ضریب هدایت هیدرولیکی خاک؛ h = عمق آب در چاهک؛ r = شعاع چاهک و t زمان، Q = دبی پمپاژ شده به چاهک، T_u = فاصله سطح ایستابی داخل چاهک تا لایه محدودکننده، D = عمق چاهک می‌باشد.

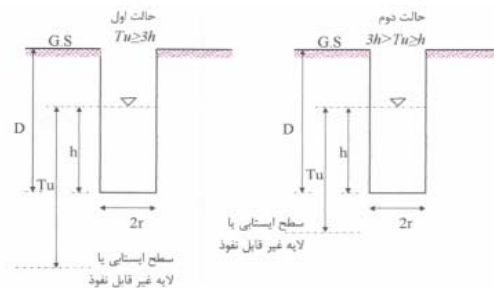
داد که روش چاهک معکوس به‌طور متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی را ۴۴ درصد بیش‌تر از روش دیگر برآورد می‌کند. علاوه بر این بهترین رابطه بین ضریب هدایت هیدرولیکی به‌دست آمده از هر دو روش، یک رابطه خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۸ بود.

علیزاده و همکاران (۱۳۸۷) در آزمایشی، هدایت هیدرولیکی اشباع را در مزرعه دانشکده کشاورزی کرج به دو روش بار افتان ساده شده (SFH) و استوانه‌های مضاعف برآورد و نتایج را مورد بررسی قرار دادند. اختلاف ۹/۶ درصدی مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع به‌دست آمده از دو روش همخوانی نسبتاً خوب نتایج این دو روش را نشان داد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق ارزیابی روش صحرایی چاهک وارونه (پورشه) و روش آزمایشگاهی (بار افتان/بار ثابت) و همچنین مدل‌های تخمین هدایت هیدرولیکی برای انواع مختلف بافت خاک بود. بدین منظور مقادیر اندازه‌گیری شده به روش چاهک وارونه و آزمایشگاهی و همچنین مقادیر برآورد شده این پارامتر از مدل‌های Rosetta و Retc با مقادیر اندازه‌گیری شده این ضریب از روش پمپاژ به چاهک (به‌عنوان روش استاندارد) مقایسه شدند. از سوی دیگر این تحقیق در مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزارع شماره ۱ و ۲ و پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و یکی از مزارع در ناحیه جنوب‌غربی مشهد انجام شد. قابل ذکر است که عمق خاک زراعی در مزرعه شماره ۱ برابر یک متر، در مزرعه شماره ۲ بین ۱ تا ۱/۵ متر و در مابقی اراضی بیش از این هم می‌رسید. از سوی دیگر بافت خاک در اکثر نقاط بین لوم سنی تا لوم سیلتی‌متغیر بود.

در این تحقیق برای ۹ نقطه مختلف در مزرعه شماره ۱، ۵ نقطه مختلف در مزرعه شماره ۲ و ۳ نقطه در اراضی کشاورزی پردیس دانشگاه ۳ نقطه در مزرعه اطراف مشهد، مقادیر هدایت هیدرولیکی خاک در شرایط بالای سطح ایستابی و به روش‌های پمپاژ به چاهک، چاهک وارونه و بار افتان/بار ثابت اندازه‌گیری شد. به‌علاوه این

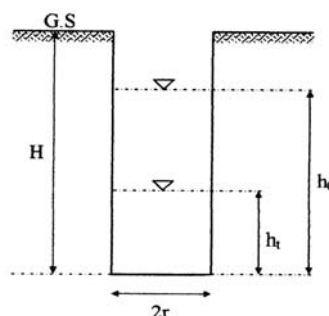


شکل ۱- روش پمپاژ به چاهک

مدل‌های کامپیوتری

مدل‌های کامپیوتری Rosetta و Retc برای تخمین ضریب آبگذری ارائه شده‌اند. این دو مدل بر اساس اطلاعات مربوط به بافت خاک، درصد اختلاط ذرات معدنی، مواد آلی درون خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک می‌باشند. در گزینه درصد اختلاط از روش شبکه‌های عصبی استفاده می‌شود. بنابراین پس از مشخص شدن نقاط مورد نظر در مزرعه، توسط اوگر چاهک‌هایی به عمق تقریبی ۱۰-۰/۸ متر و به شعاع ۳/۵ سانتی‌متر حفر شدند. لذا برای هر یک از روش‌های مورد نظر بدین‌گونه عمل شده که پس از حفاری و حصول اطمینان از اشباع شدن خاک اطراف چاهک، در روش پمپاژ به چاهک، سعی بر ثابت نگه داشتن سطح ایستابی داخل چاهک شده و با قرائت دبی ورودی نسبت به زمان و با استفاده از معادله مربوطه (معادله ۲ برای حالت دوم)، هدایت هیدرولیکی به روش پمپاژ به چاهک برآورد گردید. از سوی دیگر در روش چاهک وارونه نیز برای آخرین بار به داخل چاهک آب ریخته و مطابق شکل (۲) پائین رفتن سطح آب داخل چاهک نسبت به زمان ثبت شد. لازم به ذکر است پس از تجهیز چاهک‌ها، آزمایش چاهک معکوس سه بار متوالی انجام شد. سپس نمودار مقادیر لگاریتمی $(h+r/2)$ در مقابل زمان ترسیم و از اتصال نقاط به یکدیگر، یک یا چند خط به‌دست آمد. با توجه به این خطوط شکسته، بهترین آن‌ها انتخاب و نقاط ابتدایی و انتهایی آن‌ها به‌عنوان زمان‌های مبنا در معادله (۳) به‌کار برده شد. سپس با توجه به این نمودار و معادله مربوطه (معادله ۳ یا ۴) مقادیر هدایت هیدرولیکی در نقاط مورد نظر برآورد شد.

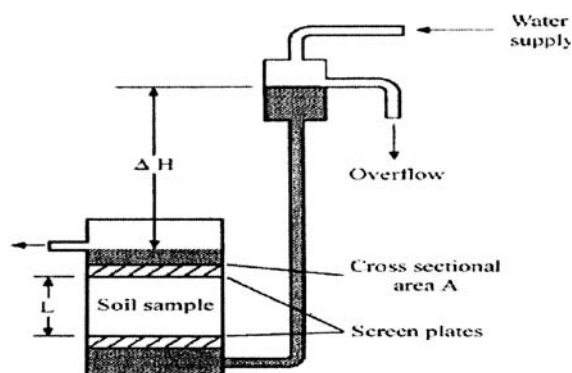
برای برآورد K به روش آزمایشگاهی، در نقاطی که چاهک حفاری شده بود، با استفاده از سیلندرهایی لبه تیز (به قطر ۷ سانتی‌متر) طوری از خاک نمونه برداری شد که تراکم و تخریب در نمونه‌ها به حداقل ممکن برسد. در ادامه سطح خاک هر یک از نقاط انتخابی به آرامی و به‌وسیله‌ی یک کاردک تیز، مسطح گردید. برای کاهش احتمال خطای حاصل از جریان تدریجی بین خاک و جداره سیلندر، سطح خاک نزدیک دیواره‌های سیلندر به وسیله یک ماله به آرامی حرکت داده شد تا خاک با دیواره‌های سیلندر تماس داشته باشد. سپس مطابق شکل (۳) شیلنگ رابط مانومتر به ورودی سیلندر متصل گردید و شیرهای مربوطه باز شد تا حدی که نمونه خاک داخل سیلندر به حد اشباع برسد. بعد از خارج شدن آب از خروجی سیلندر، پارامترهای مورد نیاز در مدت زمان مورد نظر برای سه بار برداشت شدند. با قرار دادن این پارامترها در معادله (۵) برای روش بار افتان و معادله (۶) برای بار ثابت، مقدار K به‌دست آمد. در نهایت با در اختیار داشتن درصدهای اختلاط ذرات خاک در نمونه‌های برداشت شده از چاهک‌ها، هدایت هیدرولیکی با استفاده از مدل‌های Rosetta و Retc ضرائب هدایت



شکل ۲- نحوه قرائت تغییرات موقعیت سطح ایستابی داخل چاهک نسبت به زمان

روش آزمایشگاهی بار افتان و ثابت

در این آزمایش مطابق شکل (۳) پس از نمونه‌گیری خاک توسط سیلندر و انتقال آن به آزمایشگاه، مقادیر حجم آب خارج شده و افت سطح آب در داخل مانومتر در مدت زمان معین اندازه‌گیری شده و با استفاده از معادله‌های (۵ و ۶) مقدار هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان و یا بار ثابت به‌دست آمد.



شکل ۳- دستگاه بار افتان برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در آزمایشگاه

$$K = \frac{2.3 \cdot a \cdot L}{A \cdot t} \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (5)$$

$$K = \frac{V_o \cdot L}{A \cdot t \cdot H} \quad (6)$$

که در این معادلات K = هدایت هیدرولیکی خاک؛ L = ارتفاع نمونه خاک داخل سیلندر؛ a = سطح مقطع مانومتر؛ A = سطح مقطع نمونه خاک؛ h_1 و h_2 = ارتفاع سطح آب در دو زمان مشخص t_1 و t_2 (در معادله ۵)؛ V_o : حجم آب جمع شده در استوانه در زمان t ؛ H : اختلاف ارتفاع هیدرولیکی (در معادله ۶) و t = مدت زمان انجام آزمایش است.

برآورد می‌کند و باید این ضریب تصحیح مد نظر قرار گیرد (شکل ۵ سمت راست).

بررسی روش آزمایشگاهی

در این قسمت مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده از روش آزمایشگاهی (بار افتان برای خاک‌های سنگین و بار ثابت برای خاک‌های سبک‌تر) با مقادیر K اندازه‌گیری شده از روش صحرائی پمپاژ به چاهک مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش پمپاژ به چاهک مقدار K بیش‌تری نسبت به روش بار افتان برآورد می‌کند (به‌طور متوسط حدود ۲ برابر). این مساله در نتایجی که محققینی همچون حیدرپور و محمدزاده (۱۳۸۵) و معتمدی و همکاران (۱۳۸۶) ارائه کرده‌اند به چشم می‌خورد. علت بالاتر بودن مقادیر K در روش پمپاژ به چاهک را می‌توان در نحوه ورود آب به داخل خاک از سطوح جانبی دیواره چاهک دانست که حرکت آب به داخل چاهک عمده‌تاً افقی است. در واقع روش بار افتان و ثابت متضمن حرکت آب بصورت عمودی است و ضریب K را برای جریان عمودی بدست می‌آورد. در حالی که مقادیر K در روش پمپاژ به چاهک عمده‌تاً مربوط به جریان افقی است و این دو مقدار با یکدیگر اختلاف دارند. در شکل ۴ (سمت چپ) تغییرات مقادیر K به روش‌های چاهک وارونه و آزمایشگاهی نسبت به یکدیگر (نظیر به نظیر) نشان داده شده و رابطه همبستگی بین آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که رابطه نسبتاً خوبی بین این دو برقرار است، به طوری که ضریب همبستگی حدود ۸۰٪ می‌باشد. در شکل ۵ (سمت چپ) نیز می‌توان دریافت که مقادیر K روش آزمایشگاهی کمتر از مقدار روش پمپاژ به چاهک می‌باشد و این باید تصحیح گردد. سایر مشخصه‌های آماری در جدول ۲ آمده است. از مقایسه و آنالیز آماری می‌توان نتیجه گرفت که روش چاهک وارونه مقادیر نزدیک‌تری را به روش پمپاژ به دست آورده‌اند تا روش آزمایشگاهی

نتیجه‌گیری

مزرعه تحقیقاتی شماره ۱ با بافت خاک نیمه سبک تا نیمه سنگین دارای هدایت هیدرولیکی بین ۰/۲ تا حدود ۰/۸ متر در روز به روش پمپاژ به چاهک بوده در حالی که بافت خاک در نقاطی از مزرعه شماره ۲ تقریباً نیمه سنگین بوده و میزان K بین ۰/۱ تا ۰/۷ متر در روز تغییر می‌کند. در مزرعه پردیس دانشگاه مقدار هدایت هیدرولیکی به دلیل لومی بودن خاک کمتر بوده و خاک مزرعه اطراف مشهد، تقریباً نیمه سبک تا نیمه سنگین بود.

هیدرولیکی خاک‌های منطقه مطالعاتی نیز تخمین زده شدند. برای ارزیابی مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده به روش‌های صحرائی، آزمایشگاهی و تخمینی به طریق مدل کامپیوتری نسبت به مقادیر K بدست آمده به روش پمپاژ به چاهک، از یکسری مشخصه‌های آماری نظیر خطا، خطای نسبی، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R)، انحراف معیار عمومی (GSD)، نسبت اختلاف (t)، مقایسه نسبت به خط ایده‌آل (۱:۱) همچنین برای بی‌بعدسازی مقادیر خطا از RMSE نرمال (NRMSE) (برحسب درصد) استفاده شده است (طریقه‌ی محاسبه‌ی تعدادی از آن‌ها در جدول ۱ آمده است).

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌های مورد نظر و برداشت داده‌های اندازه‌گیری شده به روش‌های پمپاژ به چاهک، چاهک وارونه، روش آزمایشگاهی و برای به حداقل رساندن خطا، این کار چند بار تکرار شد و متوسط آنها ارائه و مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به درصد اختلاط ذرات خاک در هریک از موقعیت‌ها و با استفاده از مدل‌های مورد نظر، میزان هدایت هیدرولیکی تخمین زده شد. در ادامه نتایج حاصله هریک از روش‌ها نسبت به روش پمپاژ به چاهک و با استفاده از مشخصه‌های آماری و یکسری نمودار خاص، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

ارزیابی روش چاهک وارونه

نتایج ناشی از مقایسه مقادیر K به روش چاهک وارونه با مقادیر K به روش پمپاژ به چاهک، نشان داد که به‌طور متوسط اختلاف ضریب هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده حدود ۰/۱۸ متر بر روز بوده و کم‌ترین اختلاف مربوط به چاهک شماره ۱۵ در ناحیه پردیس و بیش‌ترین اختلاف مربوط به چاهک شماره ۳ واقع در مزرعه شماره ۱ بود. به طوری که مقدار K به روش چاهک وارونه بیش‌تر از مقدار K به روش پمپاژ به چاهک تخمین زده شده است و این اختلاف بین ۳۴٪ تا ۷۴٪ بود، همچنین روش چاهک وارونه به‌طور متوسط برای ۲۰ چاهک مورد نظر مقدار K را به‌طور مجزا، حدود ۵۱٪ بیش‌تر از مقدار K به روش پمپاژ به چاهک برآورد کرده است، در حالی که حیدرپور و محمدزاده (۱۳۸۵) این مقدار را حدود ۵۶٪ و معتمدی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیق خود ۴۴٪ برآورد کرده‌اند که تطابق خوبی با نتایج تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. مقادیر مشخصه‌های آماری در انتهای جدول ۱ آمده است. در شکل ۴ (سمت راست) نیز رابطه رگرسیونی خوبی بین مقادیر K برآورد شده به دو روش فوق دیده می‌شود و با مقایسه نسبت به خط ایده‌آل (۱:۱) نیز می‌توان گفت که روش چاهک وارونه مقدار بیش‌تری را نسبت به روش پمپاژ به چاهک

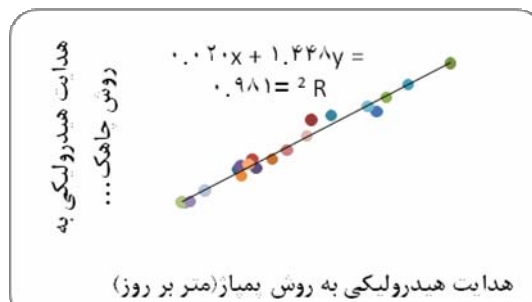
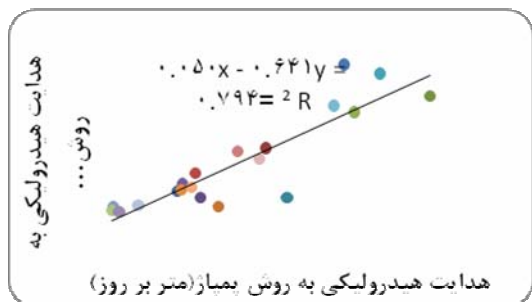
جدول ۱- شاخص‌های آماری برای ارزیابی مقادیر هدایت هیدرولیکی

ردیف	نام شاخص آماری	معادله	شماره معادله
۱	خطا	$Error = y_i - \hat{y}_i$	۶
۲	خطای نسبی	$Error = Error / y_i$	۷
۳	ریشه میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$	۸
۴	ضریب ناش - ساتکلیف	$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	۹
۵	انحراف معیار عمومی	$GSD = \frac{RMSE}{\bar{y}}$	۱۰
۶	نسبت اختلاف	$r = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \hat{y}_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2}$	۱۱

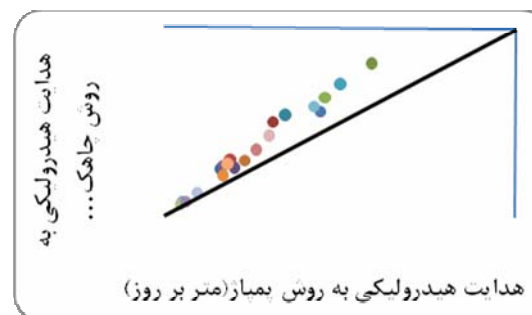
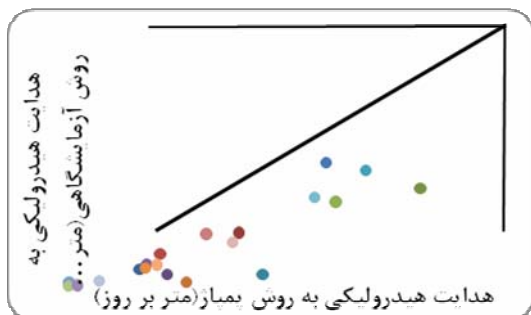
\bar{y} : مقادیر K اندازه‌گیری شده به روش پمپاژ به چاهک، \hat{y}_i : مقادیر K اندازه‌گیری شده به روش چاهک وارونه و یا آزمایشگاهی و یا تخمینی توسط مدل کامپیوتری، \bar{y}_{mean} : میانگین مقادیر K اندازه‌گیری شده به روش پمپاژ به چاهک، \bar{y}_{mean} : میانگین مقادیر K اندازه‌گیری شده به روش چاهک وارونه و یا آزمایشگاهی و یا تخمینی توسط مدل کامپیوتری و n: تعداد داده‌ها

جدول ۲- مقایسه مقادیر هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده به روش‌های چاهک وارونه و آزمایشگاهی نسبت به روش پمپاژ به چاهک

نام مزرعه	شماره نقطه	K به روش پمپاژ به چاهک (متر بر روز)		روش چاهک معکوس		روش آزمایشگاهی	
		مقدار K	میزان خطا	خطای نسبی	مقدار K	میزان خطا	خطای نسبی
مزرعه شماره ۱	۱	۰/۲۲۱	-۰/۳۷۲	-۰/۱۵۱	-۰/۶۸	۰/۰۹	-۰/۲۸۲
	۲	۰/۴۳۲	-۰/۷۵۲	-۰/۳۲۰	-۰/۷۴	۰/۲۳	-۰/۵۲۲
	۳	۰/۸۲۲	۱/۲	-۰/۳۷۸	-۰/۴۶	۰/۴۱	۰/۷۹
	۴	۰/۲۷۷	-۰/۳۸	-۰/۱۰۳	-۰/۳۷	۰/۰۷	-۰/۳۱
	۵	۰/۴۸۵	-۰/۷۹۵	-۰/۳۱۰	-۰/۶۴	۰/۰۷	-۰/۷۲۵
	۶	۰/۳۱۹	۰/۴۵	-۰/۱۳۱	-۰/۴۱	۰/۰۴	۰/۴۱
	۷	۰/۶۱۸	-۰/۸۲۸	-۰/۲۱۰	-۰/۳۴	۰/۵۱	-۰/۳۱۸
	۸	۰/۲۶۵	-۰/۴۵۴	-۰/۱۸۹	-۰/۷۱	۰/۱۵۱	-۰/۳۰۳
مزرعه شماره ۲	۹	۰/۶۴۱	-۰/۹۴۲	-۰/۳۰۲	-۰/۴۷	۰/۳۵۱	-۰/۵۹۱
	۱۰	۰/۲۳۴	-۰/۴۰۴	-۰/۱۷۰	-۰/۷۳	۰/۱۱	-۰/۲۹۴
	۱۱	۰/۷۰۷	۱/۰۴	-۰/۳۳۷	-۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۵۶
	۱۲	۰/۲۳۲	-۰/۳۲	-۰/۰۸۸	-۰/۳۸	۰/۰۹۴	-۰/۲۲۶
	۱۳	۰/۰۷۲	-۰/۱۰۸	-۰/۰۳۷	-۰/۵۲	۰/۰۳۹	-۰/۰۶۹
	۱۴	۰/۳۶۴	-۰/۵۲۱	-۰/۱۵۷	-۰/۴۳	۰/۲۲۴	-۰/۲۹۷
	۱۵	۰/۰۶۷	۰/۱	-۰/۰۳۳	-۰/۴۹	۰/۰۲۵	-۰/۰۷۵
	۱۶	۰/۰۸۶	-۰/۱۲	-۰/۰۳۴	-۰/۳۹	۰/۰۲۱	-۰/۰۹۹
پردیس	۱۷	۰/۵۹۳	-۰/۸۷۱	-۰/۲۷۸	-۰/۴۷	۰/۳۷۳	-۰/۴۹۸
	۱۸	۰/۲۵۵	-۰/۴۱۱	-۰/۱۵۶	-۰/۶۱	۰/۱۰۲	-۰/۳۰۹
	۱۹	۰/۱۳۲	-۰/۱۹۲	-۰/۰۶۰	-۰/۴۵	۰/۰۴۳	-۰/۱۴۹
	۲۰	۰/۴۱۷	-۰/۶۳۴	-۰/۲۱۷	-۰/۵۲	۰/۱۹۷	-۰/۴۳۷
مشخصه‌های آماری	میانگین	۰/۳۶۲	-۰/۵۴۵	-۰/۱۸۳	-۰/۵۱	۰/۵۴۵	-۰/۳۶۳
	RMSE		۰/۶۶۸			۱/۳۰۸	
	NRMSE		۶۰/۷۶			۲۶۷/۵۸	
	GSD		۱/۲۳			۷/۲۰۹	
r		۱/۵۰۶			۰/۵۰۲		



شکل ۴- نمودار رگرسیونی K اندازه‌گیری شده به روش‌های چاهک وارونه (سمت راست) و آزمایشگاهی (سمت چپ) با روش بمباز به چاهک



شکل ۵- مقایسه مقادیر K اندازه‌گیری شده به روش‌های چاهک وارونه (سمت راست) و آزمایشگاهی (سمت چپ) با روش بمباز به چاهک نسبت به خط ایده‌آل

منابع

هدایت هیدرولیکی تخمینی از روی بافت خاک، مجله علمی کشاورزی، ۱۳، ۴۳-۶۳.

کشکولی، ح.ع. ۱۳۷۱. اندازه‌گیری همزمان خصوصیات هیدرولیکی خاک در بالای سفره آب‌زیرزمینی. مجموعه مقالات سومین کنگره علوم خاک ایران.

کشکولی، ح.ع. و مختاران، ر. ۱۳۸۳. ارزیابی آنالیزهای تک عمقی پرماتر گلف جهت تعیین سریع هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در یک خاک با بافت متوسط. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

مشعل، م.و.، شقاقی، م. و مقدم، ز. ۱۳۸۵. بررسی عوامل مؤثر در بهبود اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از آنالیز دو عمقی گلف. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲-۱۴ اردیبهشت.

معمدی، ب.، نصر اصفهانی، م.ج.، برومند نسب، س. و احدیان، ج. ۱۳۸۶. مقایسه ضریب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از روش چاهک معکوس با روش بمباز در چنیبیه اهواز، مجموعه مقالات هفتمین

حبیب زاده آذر، ب.، بابازاده، ح. و زینالزاده، ک. ۱۳۸۷. مقایسه دو روش نفوذ گلف و چاهک معکوس در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

حیدرپور، م. و محمدزاده، ج. ۱۳۸۵. مقایسه ضریب هدایت هیدرولیکی به دست آمده از روش چاهک معکوس و روش بمباز به داخل چاهک. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

درزی، ع.، شقاقی، م.، یاری، ع. و پهلوان، ر. ۱۳۸۵. ارزیابی روش چاهک وارونه و آنالیزهای پرماتر گلف به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های لومی، مجله علمی پژوهشی کشاورزی.

علیزاده، ح.ع.، لیاقت، ع.م. و نظری، ب. ۱۳۸۷. استفاده از روش بار افتان ساده شده برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع، مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

کاوه، ف. ۱۳۶۸. مقایسه هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در صحرا با

- conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 66-73.
- Luthin, J.N. 1978. Drainage Engineering. R. E. Krieger Publ. Co., Huntington, N.Y., 281 p.
- Odell, B.P., Groenevelt, P.H. and Elrick, D.E. 1998. Rapid determination of hydraulic conductivity in clay liners by early-time analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 62, 56-62.
- Reynolds, W.D and Elrick, D.E. 1985. In situ measurement of saturated hydraulic conductivity sorptivity α parameter using Guelph permeameter. Soil Sci. 140 (4):292-302.
- Reynolds, W.D and Elrick, D.E. 1990. Ponded infiltration from a single ring. I. Analysis of steady flow. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, 1233-1241.
- کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه صنعت آب و برق شهیدعباسپور).
- موسوی، س.ف و حاجیان، ن. ۱۳۷۲. مقایسه چهار روش اندازه گیری صحرایی ضریب هدایت هیدرولیکی در منطقه ۲۸۱ - رودشت اصفهان. مجموعه مقالات سمینار ملی آبیاری و زهکشی، ۲۹۲.
- وزارت نیرو. ۱۳۷۵. دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک به روش چاهک معکوس (پورشه)، نشریه ۱۷۴-الف، وزارت نیرو.
- وزارت نیرو. ۱۳۷۵. دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیکی خاک. نشریه ۱۵۵-الف، وزارت نیرو.
- Bagarello, V and Sgroi, A. 2004. Using the single-ring infiltrometer method to detect temporal changes in surface soil field-saturated hydraulic conductivity. Soil Till. Res. 76, 13-24.
- Bagarello, V., Iovino, M and Elrick, D.E. 2007. A simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic

Evaluation Determining of Hydraulic Conductivity Methods (Case Study: Mashhad Area)

S.M.Hasheminia^{1*}, H.Sharifan², K.Davari³

Received: Nov.27,2013 Accepted: Mar.12,2014

Abstract

Soil hydraulic conductivity (K) is an important parameter in designing drainage systems and estimating water flow in soils. Where water table is close to crop water root zone, saturated K is commonly determined by using Ernest auger hole, double auger hole and piezometer methods. For determining K above water table, methods such as pumping to hole, Golf permeameter and inverse auger hole are available, where the latter is the most common. Under laboratory conditions, constant and falling head methods are used. The purpose of this research was to determine K values of different soils in Mashhad area using inverse auger hole method and compare the results with laboratory findings. Moreover, the result of these two methods was then compared with estimations made via Rosetta and Rtec computer models. The results indicated that K obtained by using auger hole method was about 1.50 times higher than the values derived from pumping to hole laboratory method. And K values of laboratory was half of pumping to hole method values and computer models of Rosetta and Rtec K estimated K that 68% , 165% bigger than K of pumping to hole method. Rosetta model also showed close estimations with pumping to hole method and the same difference existed with laboratory method, when the percentage of soil minerals was considered in the model. However, when only the soil textural class was used in Rosetta and Rtec models, the results showed considerable difference with measured values in the field.

Key words: Hydraulic conductivity, pumping to hole, inverse auger hole, falling head, Rosetta, Rtec Mashhad.

1- Lecturer, Water Engineering Dep., Ferdowsi University of Mashhad

2- Associate professor of Water Engineering Department, water and soil Engineering College, Gorgan Agriculture Science and Natural Resource University

3- Associate professor of Water Engineering Department, water and soil Engineering College, University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: hasheminia@yahoo.com)