# معرفی روش مناسب پر کردن ستونهای دست خورده خاک و ارزیابی آن جهت حصول محیط متخلخل همگن

**یوسف هاشمی نژاد* - محمود غلامی توران پشتی[1]**

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۴

تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۱۸

**چکیده**

فرض اولیه بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و لایسیمتری یکنواخت بودن خاک در عمق و عرض و نیز بین تکرارهای مختلف می‌باشد. علیرغم اهمیت بسیار زیاد این پیش فرضها تعداد بسیار کمی، به خصوص از گزارش‌های داخلی به جزییات روش پر کردن مجدد ستون‌های خاک دست خورده پرداخته اند. گذشته از این در مورد معیار ارزیابی یا روشی معرفی نشده است و یا روشهای معرفی شده به دلیل اتکا به نمونه برداری نوعا خود مخرب و بر هم زننده یکنواختی اولیه ستون خاک می‌باشند. در این مقاله علاوه بر شرح جزییات روش پر کردن ۳۶ لایسیمتر استوانه‌ای شکل به قطر ۳۹/۵ سانتی متر در ارتفاع ۱۵۰ سانتی متر، سه معیار جهت ارزیابی صحت پرکردن و یکنواختی ستون‌های خاک حاصله معرفی شده است.این معیارها عبارتند از افت سطح خاک، تغییر در نقطه ظرفیت زراعی و شیب منحنی های رخنه. با توجه به هر سه معیار معرفی شده مشخص می‌شود روش مورد استفاده در این تحقیق باعث یکنواختی ستون‌های خاک در عرض و عمق و نیز تقریبا بین هر۳۶ تکرار آن شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پر کردن، لایسیمتر، منحنی رخنه، یکنواختی

**مقدمه**

بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و لایسیمتری که بر روی موضوع حرکت آب و املاح در خاک انجام می‌شوند وابسته به این فرض هستند که ستون‌های خاک پر شده هم در عرض و هم در عمق یکنواخت باشند. به‌علاوه از آن جهت که بسیاری از این مطالعات از چندین ستون استفاده می‌کنند، فرض می‌شود که نحوه پرکردن یک ستون با سایر ستون‌ها تفاوت چندانی نداشته باشد. علیرغم اهمیت این فرضیات، مطالعات محدودی به جزییات روش پرکردن و یا نحوه ارزیابی این آزمایش‌ها از همگن بودن ستون خاک حاصله پرداخته اند. این در حالی است که حصول جرم مخصوص یکنواخت بسیار مشکل است، به طور مثال اولیویرا و همکاران (۶) نشان داده‌اند که حتی ریختن معمولی خاک داخل یک لوله می‌تواند منجر به لایه لایه شدن خاک شود، حتی در صورتی‌که دامنه تغییر اندازه ذرات بسیار محدود باشد. در این گزارش آمده است که به همین منظور دستگاه مجهز به موتوری نیز طراحی شده است. البته ایجاد شرایط همگن در صورتی که جرم مخصوص ظاهری مورد نظر بالا باشد، ساده‌تر است یارون و همکاران،(۱۰). بنابراین در شرایطی

---

۱- به ترتیب مربی و کارشناس ارشد مرکز ملی تحقیقات شوری

* - نویسنده مسئول : Email: Hasheminejhad@gmail.com

که یکنواختی مد نظر باشد و نه عدد جرم مخصوص می‌توان با اعمال تراکم بالاتر، شرایط یکنواخت را راحت تر ایجاد کرد ولی در شرایطی که کشت گیاه در ستون حاصله مورد نظر باشد، برای ایجاد شرایط تهویه‌ای مناسب نمی توان از تراکم بالا استفاده کرد. از طرف دیگر تراکم بالا به خصوص با استفاده از روش‌های لرزاندن، هر چند ممکن است منجر به شرایط یکنواخت در عمق گردد، ولی قطعا در عرض ستون منجر به تفکیک اندازه ذرات خواهد شد که بر روی خصوصیاتی مانند پراکندگی هیدرودینامیکی و یا روابط رطوبتی خاک تأثیرگذار خواهد بود اوالیویرا و همکاران، (۶). نتیجه عملی این گونه غیر یکنواختی در عرض ایجاد جریان ترجیحی از لبه ستون و یا افت سطح خاک می‌باشد (مشاهدات شخصی نگارنده). به نظر می‌رسد که عمده محققینی که از ستون‌های خاک پر شده استفاده می‌کنند، ستون‌های خود را در حالت خشک پر کرده اند. بعضی‌ها مانند تاپ و میلر (۹) و نیمو و میلر (۵)پر کردن را کاملا زیر آب انجام داده اند. البته این تغییرات مربوط به شرایط اولیه مورد نظرشان بوده است و نه مربوط به حصول جرم مخصوص خاص. گذشته از حالت‌های افراطی کاملا خشک و اشباع، برای لایسیمترهایی که در آن کشت گیاه انجام می‌شود حالت‌های حد واسط نیزگزارش شده است از جمله همایی (۳) که موفق شد در درصد رطوبت ۱۲ درصد یک خاک لومی را به طور یکنواخت در داخل لایسیمترهای استوانه‌ای شکل پر نماید.

برای ارزیابی یکنواختی پر کردن معمولا از معیار اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری در عمق استفاده می‌شود، ولی از آن جایی که حتی ریختن ساده توده‌ای از خاک روی همدیگر منجر به تفکیک عرضی اندازه ذرات می‌شود، این گونه تغییرات را نمی توان با اندازه گیری تخلخل یا جرم مخصوص ظاهری در عمق به دست آورد. به طور مثال ریپل و همکاران (۷) که توزیع اندازه ذرات را در عمق و عرض اندازه‌گیری کردند، گزارش کردند که حتی ستون‌هایی که در عمق یکنواخت هستند، در واقع ممکن است در عرض غیر یکنواخت باشند. بنابراین برای حصول اطمینان کامل از یکنواختی ستون خاک اندازه گیری های جرم مخصوص بایستی هم در عرض و هم در عمق صورت گیرد. البته انجام این کار خود موجب به هم خوردن ستون خاک اولیه شده و حتی در صورتی‌که نحوه پر کردن اولیه مناسب باشد، عملیات نمونه برداری این یکنواختی را از بین خواهد برد به‌اضافه اینکه اخذ نمونه دست نخورده علاوه بر مشکلات و حساسیت‌های مربوط به آن، نیازمند در اختیار داشتن ابزار و تجهیزات خاصی نیز می‌باشد. در این مقاله روش پرکردن ۳۶ عدد لایسیمتر استوانه‌ای شکل به قطر ۳۹/۵ سانتی متر در ارتفاع ۱۵۰ سانتی متر که برای آزمایش تعیین نیاز آبشویی یونجه مورد استفاده قرارگرفتند تشریح شده است. ضمن اینکه معیارهای پیشنهادی ارزیابی یکنواختی ستون‌ها در عرض و عمق و نیز بین ستون‌های مختلف ارایه شده است.

**(جدول ۱) - برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب و خاک مورد استفاده در آزمایش**

| پارامتر | آب | خاک |
|---|---|---|
| شوری (dS/m) | ۰,۴۰۷ | ۲,۷ |
| کربن آلی (٪) | ۰ | ۰,۳ |
| شن (٪) | - | ۶۵ |
| سیلت(٪) | - | ۲۷,۶ |
| رس(٪) | - | ۷,۴ |
| بافت خاک | - | لوم شنی |
| غلظت کلر ( meq/L) | ۰,۶۷ | - |
| غلظت سدیم ( meq/L) | ۰,۶۲ | - |

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۳۶ عدد لوله پلی اتیلنی به قطر داخلی ۳۹/۵ سانتیمتر در ارتفاع ۱۵۰ سانتیمتر برش داده شده و پس

از نصب و آب بندی اتصالات در گلخانه رو باز نصب گردیدند. در انتهای خروجی هرکدام از ستون‌ها یک عدد توری سیمی با اندازه منافذ ۰/۵ سانتی متر قرار داده شد و سپس تمامی ستونها تا ارتفاع ۱۵ سانتی متر ازکف به وسیله شن شسته نخودی پرگردید. بعد از حصول اطمینان از عدم نشست ارتفاعی شن مذکور اقدام به پرکردن ستون‌ها به وسیله خاک مورد نظرگردید. خاک مورد نظر یک لایه خاک سطحی با بافت لوم شنی (Sandy Loam) بود که از مزرعه‌ای واقع در حسین آباد رستاق یزد به محل مرکز ملی تحقیقات شوری انتقال یافته بود. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب و خاک مورد استفاده در این آزمایش در (جدول شماره ۱) درج گردیده است. خاک مورد نیاز که وزنی حدود ۱۰ تن داشت به وسیله غربال با اندازه منافذ ۱ سانتی متر به دقت الک شد. به جهت فقر شدید مواد آلی در نمونه خاک و به منظور بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در دوره رشد گیاه در آن، خاک مذکور قبل از استفاده با کود دامی کاملا پوسیده و الک شده به نسبت ۱۰:۱ با دقت مخلوط و کاملا یکنواخت گردید. از آنجا که تجارب شخصی نگارندگان در پرکردن ستون‌های مشابه نشان داده بود که حداکثر یکنواختی با اعمال کمترین ضربات در رطوبت‌های حدود ۱۲ درصد وزنی حادث می‌شود و هم‌چنین جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب شرایط مناسبی را برای رشد گیاه فراهم می‌کند بنابراین اعداد مذکور به عنوان هدف انتخاب شدند. در عمل برای ایجاد درصد رطوبت مورد نظر، یک روز قبل از پر کردن ستون‌ها ابتدا مقداری ( حدود ۱/۵ تن) خاک با آب مخلوط می‌گردید، پس از اینکه به حدود درصد رطوبت مورد نظر می‌رسید، خاک مرطوب را کاملا به هم زده و یکنواخت می‌شد. پس از یکنواخت شدن تمام خاک مورد نیاز تعداد ۶ نمونه خاک جهت تعیین درصد رطوبت وزنی به آزمایشگاه منتقل می‌شد. از آن جهت که تعیین رطوبت خاک در آزمایشگاه نیازمند دوره زمانی حداقل ۲۴ ساعتی است، لذا جهت جلوگیری از تبخیر آب از سطح توده خاک مرطوب، روی آن به وسیله پوشش پلاستیکی کاملا پوشانده می‌شد. پس از آماده شدن نتایج آزمایشگاه با توجه به محاسبات انجام شده ( نمونه‌ای از آن برای یک لایه ۱۰ سانتی متری با درصد رطوبت وزنی ۱۲ درصد در زیر ارائه شده است)، مقدار خاک مرطوب مورد نیاز برای حصول جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب در فواصل ۱۰ سانتی متری تعیین می‌شد.

حجم کل در یک لایه ۱۰ (سانتی متر مکعب ):

$V_T = \pi r^2 h = \pi \times 19.75^2 \times 10 = ۳۸۴۵۸$

وزن خاک خشک مورد نیاز( گرم) :

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_T} \Rightarrow 1.35 = \frac{m_s}{38458} \Rightarrow m_s = 51919$$

وزن خاک مرطوب مورد نیاز ( گرم) :

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \Rightarrow 0.12 = \frac{m_w}{51919} \Rightarrow m_w = 6230$$

$$m_{s+w} = m_s + m_w = 58149$$

پس از تعیین خاک مرطوب مورد نیاز، دقیقا به همان مقدار خاک به وسیله ترازوی دیجیتال توزین و داخل لایسیمتر ریخته می‌شد. در این مرحله پس از پهن کردن خاک در کف لایسیمتر، به سطح خاک به وسیله کوبه‌ای که به وسیله نگارندگان طراحی و ساخته شده بود ( تصویر ۱- الف) ضربه زده می‌شد تا سطح خاک فقط به اندازه ۱۰ سانتی متر از ارتفاع قبلی اش بالاتر آمده باشد. تعداد این ضربات به وسیله کنترل مداوم ارتفاع خاک به وسیله خط‌کش تعیین می‌شد. پس از رسیدن ارتفاع خاک به حد مورد نظرکوبه از داخل لایسیمتر خارج و به وسیله یک میله نوک تیز (تصویر ۱- ب) سطح خاک کاملا خراش داده می‌شد تا تماس کاملی با لایه بعدی داشته باشد و در ضمن

کناره های ستون کاملا به وسیله نوک میله‌کوبیده می‌شد تا از اثر حاشیه‌ای جلوگیری شود.

(تصویر ۱) - نمایی از نحوه کوبیدن ( الف) و خراش دادن ( ب) سطح خاک

(تصویر ۲) - پوشاندن سطح خاک به وسیله کیسه پلاستیکی

به این ترتیب برای پرکردن ۱۲۰ سانتی متر خاک درون لایسیمتر این سری فعالیت‌ها بایستی ۱۲ مرتبه مثل هم تکرار می‌گردید. ضمن اینکه این نحوه پرکردن برای تمام ۳۶ عدد لایسیمتر نیز با دقت زیاد انجام شد. بلافاصله پس از اینکه پر کردن هرکدام از لایسیمترها تمام می‌شد، سطح آن به وسیله یک کیسه پلاستیکی پوشانیده و به وسیله کش محکم از تبخیر آب از سطح خاک جلوگیری می‌شد ( تصویر ۲). این عمل آنگونه که در ادامه نشان داده خواهد شد برای تعیین نقطه FC در خاک مورد استفاده بسیار مفید واقع شد که از آن به عنوان معیاری جهت صحت پر کردن استفاده گردید.

## معیارهای ارزیابی صحت پرکردن

به دلیل مشکلاتی‌که در روش اخذ نمونه دست نخورده وجود دارد و به برخی از آنها در قسمت مقدمه اشاره گردید، در این مقاله با توجه به تجارب شخصی نگارندگان از مشکلات ستون‌های ناهمگن ( افت سطح خاک، خروج سریع و ناگهانی زهاب در لحظات اولیه آبیاری و تغییرات نامنظم شوری زهکش خروجی) معیارهای زیر به عنوان اطمینان از صحت روش پر کردن ستون خاک معرفی می‌شوند:

۱- اندازه گیری افت سطح خاک پس از آبیاری

۲- اندازه گیری ظرفیت نگهداری آب در نقطه FC

۳- شیب منحنی های رخنه

(Break Through Curve BTC)

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک معرفی شده‌اند بلیک و هارت(۱) این روش‌ها عبارتند از تهیه نمونه دست نخورده لوتز (۴)، حفر چاله تیزدال (۸) ، fhanروش کلوخه براشر و همکاران (۲) و روشهای تشعشعی تیزدال (۸). ولی این روش‌ها مستلزم اخذ نمونه از اعماق مختلف خاک بوده و منجر به به‌هم خوردن شرایط یکنواخت حاصله خواهد شد. در نتیجه به ناچار از روش‌های غیر مستقیم برای ارزیابی صحت روش معرفی شده استفاده گردید. برای معیار اول فرض بر این است که اگر فرآیند پرکردن ستون در عمق و عرض یکنواخت صورت گرفته باشد از ایجاد جریان در لبه ستون جلوگیری شده و در نتیجه جریان ترجیحی از این مکان صورت

نخواهد گرفت و در نتیجه نفوذ تدریجی آب در خاک، حتی در مقادیر پایین جرم مخصوص ظاهری افت سطح خاک مشاهده نخواهد شد. برای اندازه گیری این معیار ۲۴ ساعت پس از اولین آبیاری ارتفاع خاک در تک تک ستون‌ها به وسیله خط کش اندازه گیری و با مقدار قبلی مقایسه گردید.

اگر نفوذ آب در خاک از تمام توده خاک انجام شود و هم‌چنین نحوه پرکردن تمامی ستون‌ها مشابه هم باشد بایستی در شرایط ثابت همه ستون‌ها در نقطه FC مقدار مساوی آب نگهداری نمایند. برای آزمون کردن این موضوع پس از پر کردن تمام ستون‌ها برای هر کدام از آن‌ها مقدار ۱۴ کیلوگرم آب به وسیله ترازوی دیجیتال به دقت توزین و به خاک اضافه شد، بلافاصله پس از آبیاری سطح لایسیمترها مجددا به وسیله کیسه پلاستیکی پوشانده شد. پس از ۲۴ ساعت چون هنوز زهکش از هیچ کدام از لایسیمترها خارج نشده بود مجددا ۱۴ کیلوگرم آب دیگر به ستون‌ها اضافه شد و پس از ۴۸ ساعت از آبیاری دوم وزن آب خارج شده از زهکش تک تک لایسیمترها به دقت توزین گردید (تصویر ۳) و سپس با توجه به محاسبه تغییرات درصد رطوبت از روی بیلان آب برقرار شده که در آن تمامی عوامل مشخص بودند مقدار آب باقیمانده در لایسیمترها ۴۸ ساعت پس از آبیاری مشخص گردید و از روی آن درصد رطوبت نقطه ظرفیت زراعی تعیین شد. از مقایسه اعداد حاصله با یکدیگر و نیز با میانگین کلی دقت و صحت فرآیند پرکردن مشخص شد. توضیح اینکه فقط برای لایسیمتر شماره ۱ به دلیل اینکه رطوبت اولیه هنگام پرکردن آن نصف بقیه بود افزودن ۲۸ لیتر آب منجر به خروج زهکش از این لایسیمتر نشد، در نتیجه ۱۴ لیتر دیگر آب به آن اضافه و خواندن زهکش آن نیز ۲۴ ساعت بعد انجام شد.

(تصویر ۳) - نحوه توزین زهکش جمع آوری شده پس از آبیاری

با توجه به اینکه در هر بار اندازه‌گیری زهکش‌ها علاوه بر توزین وزن زهکش خارج شده، شوری آن نیز برای تمامی زهکش‌ها به وسیله شوری سنج قابل حمل اندازه گیری می‌شد، پس این امکان وجود داشت که مشابه منحنی های رخنه تغییرات شوری زهکش خروجی در مقابل تعداد حجم منفذ زهکش خارج شده رسم گردد. هر چند در این نوع آزمایش امکان برقراری دقیق تمام پیش شرط‌ها مانند جریان اشباع ماندگار وجود نداشت ولی به دلیل اینکه آزمایش در اواخر فصل زمستان انجام می‌شد که در آن تبخیرمحدود بود و نیز آبیاری همه روزه انجام می‌شد بنابراین با تقریب قابل قبولی احتمالا می‌توان منحنی های به‌دست آمده را منحنی های رخنه خاک مورد استفاده نامید. هرچند در این زمینه ملاک روند تغییرات بوده است و نه مقادیرمطلق آن‌ها که ممکن است در سایر مطالعات اهمیت داشته باشد.

برای تحلیل آماری نتایج حاصله، با توجه به اینکه رطوبت اولیه خاک در لحظه پرکردن لایسیمتر متفاوت بود، لذا کل لایسیمترها به ۵ گروه دارای رطوبت اولیه همسان تقسیم بندی و از لحاظ سه معیار مورد بحث، به روش دانکن مورد مقایسه میانگین‌ها قرارگرفتند.

## نتایج و بحث

(جدول شماره ۲) مقایسه آماری میانگین ۳ معیار معرفی شده را در تیمارهایی با رطوبت اولیه متفاوت نشان می‌دهد.

**(جدول ۲) - مقایسه میانگین‌های اندازه‌گیری شده از سه معیار ارزیابی صحت روش پرکردن.**

| درصد رطوبت حجمی اولیه | معیار ارزیابی صحت | | |
|---|---|---|---|
| | ارتفاع خاک پس از آبیاری | نقطه ظرفیت زراعی | شیب منحنی رخنه |
| ۱۳,۷۲ | ۱۱۹,۷۴$^{bc}$ | ۲۷,۸۸$^{ab}$ | -۷۷,۹۹$^{ab}$ |
| ۱۴,۰۰ | ۱۱۹,۹$^{a}$ | ۲۸,۳۰$^{a}$ | -۷۳,۷۴$^{a}$ |
| ۱۴,۱۹ | ۱۱۹,۶۷$^{c}$ | ۲۵,۶۹$^{c}$ | -۱۰۰,۳۱$^{c}$ |
| ۱۴,۶۷ | ۱۱۹,۷۴$^{bc}$ | ۲۷,۴۲$^{b}$ | -۱۵۷,۹۷$^{d}$ |
| ۱۶,۴۰ | ۱۱۹,۸۳$^{ab}$ | ۲۸,۰۱$^{ab}$ | -۹۶,۹۸$^{bc}$ |

در هر ستون اعداد دارای بالانویس لاتین مشترک در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف آماری معنی داری با یکدیگر ندارند.

با توجه به جدول فوق هر چند تفاوت‌های آماری بین لایسیمترها از لحاظ پارامترهای مورد بررسی وجود دارد ولی همان گونه که در ادامه نشان داده خواهد شد این تفاوت‌ها بسیار جزیی و در حد خطای آزمایشی می‌باشد ولی به دلیل اینکه انحراف معیار اندازه گیری‌ها بسیار پایین می‌باشد منجر به ایجاد تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارهای مختلف گردیده است.

**۱-افت سطح خاک در داخل لایسیمتر:** با توجه به این‌که در مرحله پرکردن، دقیقا به اندازه ۱۵ سانتی متر از بالای تمامی لایسیمترها خالی نگه داشته شده بود، بنابراین پس از اولین آبیاری تغییر عمق خاک از لبه لایسیمتر مجددا اندازه‌گیری و تأثیرآن برتغییر جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید. همان‌گونه که در (جدول ۳) مشهود است تغییر ارتفاع خاک در داخل لایسیمتر بسیار ناچیز بوده و در نتیجه با محاسبه مشخص می‌شود که جرم مخصوص ظاهری حاصله تا دو رقم اعشار تفاوتی با عدد ۱/۳۵ مورد نظر ندارد. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش مورد استفاده با موفقیت توانسته است جرم مخصوص مورد نظر را در ستون‌های خاک مورد بررسی ایجاد نماید.

**(جدول ۳)- تغییر ارتفاع خاک داخل لایسیمتر پس از اولین آبیاری**

| شماره لایسیمتر | ارتفاع خاک (cm) | شماره لایسیمتر | ارتفاع خاک (cm) | شماره لایسیمتر | ارتفاع خاک (cm) | شماره لایسیمتر | ارتفاع خاک (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۱۹۰۸ | ۱۰ | ۱۱۹۰۸ | ۱۹ | ۱۱۹۰۷ | ۲۸ | ۱۱۹۰۸ |
| ۲ | ۱۱۹۰۹ | ۱۱ | ۱۱۹۰۹ | ۲۰ | ۱۱۹۰۷ | ۲۹ | ۱۱۹۰۸ |
| ۳ | ۱۲۰ | ۱۲ | ۱۱۹۰۹ | ۲۱ | ۱۱۹۰۷ | ۳۰ | ۱۱۹۰۹ |
| ۴ | ۱۱۹۰۹ | ۱۳ | ۱۱۹۰۹ | ۲۲ | ۱۱۹۰۷ | ۳۱ | ۱۱۹۰۹ |
| ۵ | ۱۱۹۰۸ | ۱۴ | ۱۱۹۰۹ | ۲۳ | ۱۱۹۰۵ | ۳۲ | ۱۱۹۰۹ |
| ۶ | ۱۱۹۰۶ | ۱۵ | ۱۲۰ | ۲۴ | ۱۱۹۰۸ | ۳۳ | ۱۱۹۰۹ |
| ۷ | ۱۱۹۰۷ | ۱۶ | ۱۱۹۰۹ | ۲۵ | ۱۱۹۰۸ | ۳۴ | ۱۲۰ |
| ۸ | ۱۱۹۰۸ | ۱۷ | ۱۱۹۰۹ | ۲۶ | ۱۱۹۰۸ | ۳۵ | ۱۲۰ |
| ۹ | ۱۱۹۰۸ | ۱۸ | ۱۱۹۰۸ | ۲۷ | ۱۱۹۰۸ | ۳۶ | ۱۱۹۰۹ |

**۲- اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب در نقطه FC**

با ایجاد موازنه جرمی آب و با معلوم بودن اجزای آن و صفرکردن جزء تبخیر در اولین آبیاری‌ها امکان محاسبه ظرفیت نگهداری آب خاک در نقطه FC فراهم آمد. نتایج این محاسبات به طور خلاصه در (جدول شماره ۴) آمده است.

همان‌گونه که در جدول نیز ارایه شده است انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده برای نقطه FC از میانگین آن‌ها یعنی ۲۷/۷۵ درصد بسیار کم می‌باشد. تنها انحراف قابل توجه مربوط به (ستون شماره ۱) است که دلیل آن مربوط به فاصله زمانی بین آخرین آبیاری تا زمان خواندن حجم و شوری زهکش می‌باشد به نحوی که این زمان برای سایر لایسیمترها ۴۸ ساعت و برای ستون شماره ۱ فقط ۲۴ ساعت بوده است بنابراین در زمان اندازه گیری زهکش هنوز بخشی از آب

ثقلی موجود در این ستون از آن خارج نشده است. نزدیک بودن اعداد به یکدیگر و به میانگین کلی آنها ( انحراف‌های موجود به دلیل محتوای رطوبتی متفاوت اولیه می‌باشد) نشان از دقت و مشابهت روش کار برای تمامی ستون‌ها دارد. بنابراین روش پرکردن مورد استفاده در این آزمایش قابل توصیه برای موارد مشابه می‌باشد.

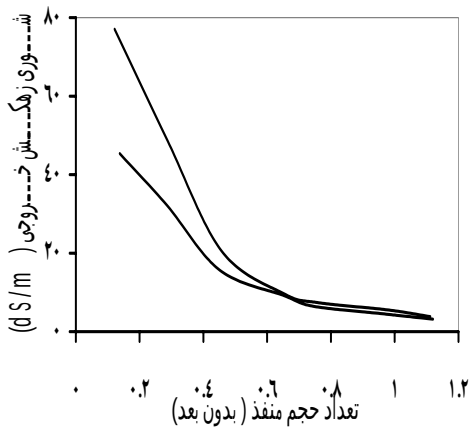
(جدول۴) - تعیین ظرفیت نگهداری آب در نقطه FC از روی بیلان موازنه آب

| درصد رطوبت حجمی نقطه FC | حجم زهکش (لیتر) | حجم آبیاری (لیتر) | درصد رطوبت حجمی اولیه | شماره لایسیمتر | درصد رطوبت حجمی نقطه FC | حجم زهکش (لیتر) | حجم آبیاری (لیتر) | درصد رطوبت حجمی اولیه | شماره لایسیمتر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۶/۹۳ | ۹/۹۸ | ۲۸ | ۱۴/۶۷ | ۱۹ | ۳۳/۹۹ | ۵/۱۸ | ۴۲ | ۸/۹۵ | ۱ |
| ۲۷/۷۶ | ۸/۷۷ | ۲۸ | ۱۴/۶۷ | ۲۰ | ۲۸/۹۸ | ۷/۹۱ | ۲۸ | ۱۴/۳۱ | ۲ |
| ۲۷/۵۰ | ۹/۱۴ | ۲۸ | ۱۴/۶۷ | ۲۱ | ۲۸/۰۰ | ۷ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۳ |
| ۲۵/۲۹ | ۱۱/۶۸ | ۲۸ | ۱۴/۱۹ | ۲۲ | ۲۷/۷۴ | ۷/۳۸ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۴ |
| ۲۵/۶۷ | ۱۱/۱۱ | ۲۸ | ۱۴/۱۹ | ۲۳ | ۲۸/۸۸ | ۹/۶۵ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۵ |
| ۲۵/۵۸ | ۱۱/۲۵ | ۲۸ | ۱۴/۱۹ | ۲۴ | ۲۷/۶۳ | ۷/۵۴ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۶ |
| ۲۶/۱۳ | ۱۰/۴۴ | ۲۸ | ۱۴/۱۹ | ۲۵ | ۲۷/۵۸ | ۷/۶۲ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۷ |
| ۲۶/۰۰ | ۱۰/۶۴ | ۲۸ | ۱۴/۱۹ | ۲۶ | ۲۸/۷۰ | ۹/۹۱ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۸ |
| ۲۷/۹۳ | ۱۱/۰۵ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۲۷ | ۲۸/۴۹ | ۶/۲۸ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۹ |
| ۲۷/۹۳ | ۱۱/۰۶ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۲۸ | ۲۷/۸۹ | ۷/۱۶ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۱۰ |
| ۲۸/۵۴ | ۱۰/۱۵ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۲۹ | ۲۸/۴۷ | ۶/۳ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۱۱ |
| ۲۸/۴۳ | ۱۰/۳۱ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۰ | ۲۸/۰۵ | ۶/۹۲ | ۲۸ | ۱۳/۷۲ | ۱۲ |
| ۲۹/۰۰ | ۹/۴۷ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۱ | ۲۶/۸۶ | ۱۲/۶۳ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۱۳ |
| ۲۸/۲۰ | ۱۰/۶۶ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۲ | ۲۸/۳۶ | ۶/۸۹ | ۲۸ | ۱۴/۰۰ | ۱۴ |
| ۲۸/۵۰ | ۱۰/۲۲ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۳ | ۲۷/۷۱ | ۷/۸۵ | ۲۸ | ۱۴/۰۰ | ۱۵ |
| ۲۸/۲۰ | ۱۰/۶۵ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۴ | ۲۸/۲۳ | ۷/۰۸ | ۲۸ | ۱۴/۰۰ | ۱۶ |
| ۲۷/۵۲ | ۱۱/۶۵ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۵ | ۲۷/۱۳ | ۹/۶۸ | ۲۸ | ۱۴/۶۷ | ۱۷ |
| ۲۵/۷۷ | ۱۴/۲۲ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۳۶ | ۲۶/۷۵ | ۱۲/۷۹ | ۲۸ | ۱۶/۴۰ | ۱۸ |

**۳- شیب منحنی های رخنه (Break Through Curve BTC)**

با توجه به حجم منافذ محاسبه شده برای هر لایسیمتر تغییرات EC زهکش خروجی در مقابل تعداد حجم منفذ زهکش خارج شده رسم‌گردید. در تصویر ۴ منحنی رخنه برای دو لایسیمتر به طور نمونه رسم شده است. منحنی بالایی مربوط به لایسیمتر شماره ۲۰ است که فقط پنج عدد از لایسیمترهای مورد بررسی از چنین روندی تبعیت می‌کنند و منحنی پایینی مربوط به لایسیمتر شماره ۸ است که ۳۱ لایسیمتر باقیمانده از این روند پیروی می‌کنند. باتوجه به شیب منحنی های حاصله مشخص می‌شود که در عمده لایسیمترها ( ۳۱ لایسیمتر) تغییرات شوری زهکش خروجی از شیبی یکنواخت پیروی می‌کنند. البته در پنج لایسیمتر در لحظات اولیه نفوذ مقدار EC زهکش بسیار بالا بوده و سپس با شیب بسیار تندی کاهش می‌یابد. این پدیده احتمالا به

دلیل جریان ترجیحی املاح از منافذ درشت در لحظات اولیه می‌باشد که باعث تغییرات شدید شوری زهکش خروجی گردیده است. هر چند در زمان‌های پایانی ( در حجم زهکش معادل ۱ حجم منفذ) مقادیر شوری زهکش در تمامی لایسیمترها بسیار به یکدیگر نزدیک شده و نیز از شیب یکنواختی تبعیت می‌کنند. بنابراین برای هدف مطرح شده در این طرح که تعیین نیاز آبشویی گیاه یونجه می‌باشد، روش مورد استفاده مناسب به نظر می‌رسد.




**(تصویر ۴) - تغییرات شوری زهکش در مقابل تعداد های شماره ۸ ( پایینی) و شماره ۲۰ ( بالایی)**

## منابع


1- Blake, G.R., and K.H. Hartge, 1986, Bulk density. In: A. Klute (editor), Methods of soil analysis, Part 1- Physical and Mineralogical methods. ASA-SSSA.
2- Brasher, B.R., D.P. Franzmeier, V. Valassis, and S.E. Davidson, 1966, Use of Saran Resin to coat natural soil clods for bulk density and moisture retention measurements. Soil Sci. 101: 108.
3- Homaee, M., 1999, Root water uptake under non- uniform transient salinity and water stress. Ph.D. thesis, Wageningen Agricultural University.
4- Lutz, J.F., 1947, Apparatus for collecting undisturbed soil samples. Soil Sci. 64: 399-401.
5- Nimmo, J.R., and E.E. Miller, 1986, The temperature dependence of isothermal moisture vs. potential characteristics of soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 1105- 1113.
6- Oliviera, I.B., A.H. Demond and A. Salehzadeh, 1996, Packing of sands for the production of homogeneous porous media. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 49- 53.
7- Ripple, C.D., R.V. James and J. Rubin, 1974, Packing-induced radial particle-size segregation: influence on hydrodynamic dispersion and water transfer measurements. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 219- 222.
8- Tisdall, A.L., 1951, Comparision of methods of determining apparent density of soils. Aust. J. Agric. Res. 2: 349- 354.
9- Topp, G.C. and E.E. Miller, 1966, Hystertic moisture characteristics and hydraulic conductivity for glass-bead. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 156- 162.
10- Yaron, B., E. Bresler, and J. Shalhevet, 1966, A method for uniform packing of soil columns. Soil Sci. 101: 205- 209.

# Introducing an appropriate packing method in disturbed soil columns and its verification to achieve a homogeneous porous media

**Y.Hashemi nejhad[*] – M.Gholami[1]**

The initial assumption of many laboratory, greenhouse and lysimetric experiments is the longtitudal and latitudal homogeneity of repacked soil columns as well as homogeneity between different replications. Despite the great importance of these assumptions, a few reports, especially among domestic studies, have discussed the details of packing procedure. On the other hand, in most cases no criterion is introduced as verification standards, while the methods introduced are dependent on soil sampling which itself is destructive. This paper has discussed the details of packing procedure used for filling 36 cylindrical lysimeters having 39.5 cm internal diameter and 150 cm height. In addition, 3 nondestructive criteria have been introduced to verify the packing procedure and homogeneity in repacked soil columns. These criteria include the soil surface depression, variation in field capacity (FC) point, and the slope of breakthrough curves (BTCs). Based on all introduced criteria, the introduced packing procedure produced longtitudal and latitudal homogeneity in repacked soil columns and similarity between 36 replications.

**Key words**: Soil packing, lysimeter, Breakthrough curve (BTC), Homogeneity

*- Corresponding author Email: Hasheminejhad@gmail.com
1 - National Salinity Research Center