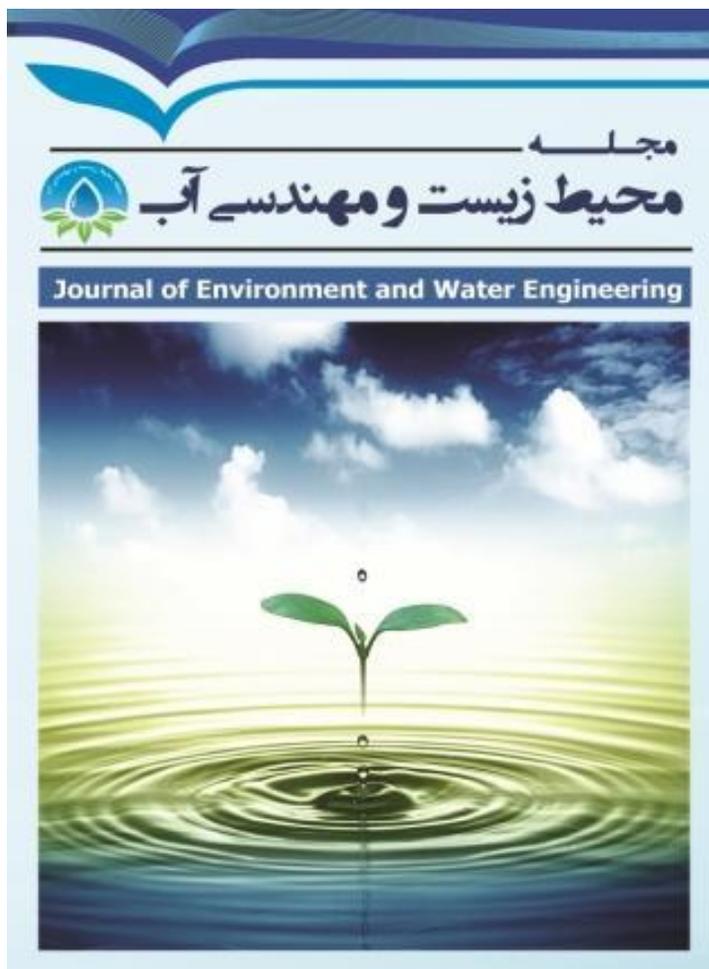


شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی به روش آنالیز ابعادی

بختیار کریمی و چنور عبدی



دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صفحات: ۳۷-۵۰

[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

نحوه ارجاع به این مقاله: کریمی ب. و عبدی چ. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی به روش آنالیز ابعادی، محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۱، صفحات: ۳۷-۵۰

**How to cite this paper;** Karimi B. and Abdi Ch. (2016). Simulation of moisture distribution pattern in surface drip irrigation system using dimension analysis, J. Environ. Water Eng. 2(1), 37-50.

## شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی به روش آنالیز

### ابعادی

بختیار کریمی<sup>۱\*</sup> و چنور عبدی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه علوم مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

\*نویسنده مسئول: Bakhtiar.Karimi@gmail.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۱۰/۲۱]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۳/۰۶]

### چکیده

شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت در ناحیه توسعه ریشه و تعیین دقیق آن در طراحی می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل مدیریت بهره‌برداری و کارایی عملکرد در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی محسوب گردد. در این تحقیق، آزمایش‌ها در یک مدل فیزیکی ساخته‌شده از جنس پلکسی‌گلاس شفاف با ابعاد  $3 \times 1/22 \times 0/5$  m و روی سه نوع بافت خاک (متوسط، سنگین و سبک) انجام شدند. دبی خروجی قطره‌چکان‌ها بازمان آبیاری ۶ ساعت و با مقادیر ۲/۴، ۴ و ۶ لیتر بر ساعت اعمال گردید. سپس به کمک قضیه  $\pi$  باکینگهام و استفاده از آنالیز ابعادی روابطی به‌منظور تخمین رطوبت خاک در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی ارائه شد. روابط تابعی از رطوبت اولیه خاک، فاصله شعاعی نقاط موردنظر، حجم آب کاربردی در زمان آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک و دبی قطره‌چکان بود. نتایج مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده نشان دادند که رابطه‌های ارائه‌شده با دقت بالایی رطوبت پروفیل خاک را پیش‌بینی می‌کنند. همچنین متوسط مقادیر شاخص میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) برای خاک رسی و برای دبی‌های مورد استفاده به ترتیب مقادیر ۰/۰۳۹، ۰/۰۸ و ۰/۰۳۶ برآورد گردید. این مقادیر برای خاک لومی به ترتیب مقادیر ۰/۱۵، ۰/۰۴۴ و ۰/۰۹۱ و برای خاک شنی به ترتیب مقادیر ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۲ می‌باشند. با به‌کارگیری این روابط در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، می‌توان توزیع رطوبت را شبیه‌سازی کرده و متناسب با آن مدیریت بهینه اعمال نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، آبیاری قطره‌ای، پیاز رطوبتی، جبهه رطوبتی، مدیریت

## ۱- مقدمه

بررسی توزیع رطوبت خاک به عنوان موضوعی مهم، هم برای تحقیقات مزرعه‌ای و هم برای مدل‌سازی از اهمیت خاصی برخوردار است (Philip, 1991؛ Cote et al. 2003؛ Thorburn et al. 2003). اطلاع از الگوی توزیع رطوبت آب در ناحیه توسعه ریشه، از جمله عوامل مهم در طراحی مناسب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است. یکی از معیارهای مهمی که برای طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای باید در نظر گرفته شود، توزیع رطوبت در ناحیه توسعه ریشه است. بسته به نوع خاک، دبی قطره‌چکان، رطوبت اولیه خاک، هدایت هیدرولیکی و حجم آب کاربردی و مقادیر رطوبت در تمام نقاط اطراف پیاز رطوبتی قابل‌بررسی است (Lamm, et al. 2007). مطالعات زیادی در این زمینه به انجام رسیده است از جمله Meshkat et al. (1999) یکی از راه‌های مؤثر برای بهینه کردن برنامه‌ریزی آبیاری را استفاده از حل عددی معادلات جریان برای شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک بیان کردند. Li et al. (2004) توزیع جبهه رطوبتی را در آبیاری قطره‌ای برای دو نوع بافت خاک لومی و شنی مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفتند که می‌توان شکل توزیع جبهه رطوبتی را برای آبیاری قطره‌ای به صورت توابع نمایی نشان داد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که افزایش دبی قطره‌چکان‌ها باعث گسترش بیش‌تر جبهه رطوبتی در جهت افقی و کاهش دبی باعث گستردگی عمقی آن می‌شود (Mirzaei et al. 2005). به منظور شبیه‌سازی جبهه رطوبتی، روابطی را با دخالت عوامل فیزیکی مؤثر بر حجم خاک مرطوب شده در زیر منبع تغذیه خطی و با استفاده از قضیه  $\pi$  باکینگهام و آنالیز ابعادی به دست آوردند. در نهایت این روابط با داده‌های اندازه‌گیری شده واسنجی شد و روابط علمی- تجربی به دست آمد که هم‌خوانی بسیار خوبی با نتایج آزمایش‌ها داشتند. علاوه بر آن، معادلات ارائه شده تابعی از زمان هستند و در هر زمان امکان محاسبه‌ی قطر و عمق خاک خیس شده وجود دارد.

Cook et al. (2006) دو مدل Wet up و HYDRUS را منظور تخمین جبهه رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی مقایسه کردند و دریافتند که مدل عددی HYDRUS پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل تحلیلی Wet up دارد؛ زیرا در مدل تحلیلی، یک سری فرضیات برای حل معادله به کار رفته است که باعث شده نتایج آن با نتایج واقعی اختلاف زیادی داشته باشد. Lazarovitch et al. (2007) روش تحلیلی گشتاور را برای تخمین زمانی و مکانی جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد دادند. Kandelous و Simunek (2010) مدل تحلیلی Wet up، مدل عددی HYDRUS و مدل‌های تجربی شوارتزن و کندلوس و امین را برای تخمین الگوی جبهه رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای مقایسه کردند. مقایسه‌ی مقادیر مشاهده شده و اندازه‌گیری شده نشان داد، مدل HYDRUS نسبت به دیگر روش‌ها دارای خطای کم‌تری است. Besharat (2009) مدل HYDRUS را به منظور شبیه‌سازی توزیع رطوبت در ناحیه توسعه ریشه درخت سیب و با در نظر گرفتن تابع توزیع ریشه مورد ارزیابی قرارداد و دریافت که مدل HYDRUS تخمین درستی از شرایط رطوبتی خاک داشته است. در این مطالعه از سیستم آبیاری سطحی استفاده شد و مقادیر رطوبت در ۱۲ نقطه و تا عمق ۲ متری خاک به وسیله TDR اندازه‌گیری شد. هدف از این تحقیق، ارائه روابطی بر مبنای آنالیز ابعادی به منظور تخمین توزیع رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی متناسب با شرایط مختلف سیستم است.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- تئوری آنالیز ابعادی

بر اساس قوانین حاکم بر حرکت آب در خاک، پروفیل رطوبتی اطراف لاترال‌ها به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. برای شناخت بهتر پارامترهایی که بر نحوه شکل‌گیری این پروفیل تأثیر دارند و روابط بین این پارامترها، استفاده از آنالیز ابعادی روش

مناسبی است. یکی از قضایای مهم آنالیز ابعادی در مکانیک سیالات قضیه  $\pi$  باکینگهام است. این قضیه بیان می‌کند که اگر  $n$  متغیر بعد دار در یک معادله همگن ابعادی وجود داشته باشد که به وسیله  $m$  متغیر اصلی توصیف می‌شوند می‌توان آن‌ها را با  $n-m$  گروه بدون بعد تقسیم کرد. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$f(\theta, q, K_s, V, t, R, \theta_0) = 0 \quad (1)$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2)$$

در معادله (۱)  $\theta, q, K_s, V, t, R, \theta_0$  به ترتیب رطوبت اولیه خاک برحسب مقدار حجمی، شعاع جبهه رطوبتی نسبت به محل خروجی برحسب سانتی‌متر، زمان آبیاری برحسب دقیقه، حجم آب کاربردی برحسب لیتر، هدایت هیدرولیکی خاک برحسب متر بر ساعت، دبی خروجی از قطره‌چکان برحسب لیتر در ساعت و رطوبت خاک برحسب مقدار حجمی است. در معادله (۲) پارامترهای  $X$  و  $Y$  به ترتیب توزیع فاصله در راستای افقی و عمودی می‌باشند. در معادله (۱) هفت متغیر بعد دار  $\theta, q, K_s, V, t, R, \theta_0$  و دو متغیر اصلی  $(L, T)$  وجود دارد. لذا پنج  $(n - m = 5)$  شاخص بی‌بعد خواهیم داشت. اگر  $\pi_i$  نشان‌دهنده‌ی معادلات بدون بعد متغیرهای معادله (۱) باشد، معادله‌ی (۱) را می‌توان به شکل معادله‌ی (۳) نوشت:

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (3)$$

روش تعیین پارامترهای  $\pi$  بدین صورت است که اگر از  $n$  متغیر فوق به تعداد  $m$  (در اینجا ۲) متغیر انتخاب شود، برای هر  $\pi$  مربوط به متغیرهای فوق، از دو متغیر تکراری همراه با یک متغیر غیرتکراری استفاده می‌شود. در معادلات (۴) تا (۸) دبی قطره‌چکان و هدایت هیدرولیکی به‌عنوان متغیرهای تکراری و حجم آب نفوذ یافته، زمان آبیاری، رطوبت، شعاع پیاز رطوبتی و سطح خیس شده به‌عنوان متغیرهای غیرتکراری محسوب می‌شوند. در این معادلات توان‌ها باید به گونه‌ای تعیین شوند که هر  $\pi$  بدون بعد باشد و توان‌ها در سمت چپ معادلات برابر صفر در نظر گرفته شوند. به بیان دیگر، باید دو طرف معادلات (۴) تا (۸) از لحاظ ابعادی برابر شوند و در نهایت معادلات بدون بعد به صورت روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$\pi_1 = q^{a_1} K_s^{b_1} V^1 = (L^3 T^{-1})^{a_1} \cdot (L T^{-1})^{b_1} \cdot L^3 = \begin{cases} a_1 = -1.5 \\ b_1 = 1.5 \end{cases} \quad (4)$$

$$\pi_2 = q^{a_2} K_s^{b_2} R^1 = (L^3 T^{-1})^{a_2} \cdot (L T^{-1})^{b_2} \cdot L = \begin{cases} a_2 = -0.5 \\ b_2 = 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

$$\pi_3 = q^{a_3} K_s^{b_3} t^1 = (L^3 T^{-1})^{a_3} \cdot (L T^{-1})^{b_3} \cdot T = \begin{cases} a_3 = -0.5 \\ b_3 = +1.5 \end{cases} \quad (6)$$

$$\pi_4 = q^{a_4} K_s^{b_4} \theta^1 = (L^3 T^{-1})^{a_4} \cdot (L T^{-1})^{b_4} = \begin{cases} a_4 = 0.0 \\ b_4 = 0.0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\pi_5 = q^{a_5} K_s^{b_5} \theta_0^1 = (L^3 T^{-1})^{a_5} \cdot (L T^{-1})^{b_5} = \begin{cases} a_5 = 0.0 \\ b_5 = 0.0 \end{cases} \quad (8)$$

پس از حل معادلات (۴) تا (۸) و تعیین ضرایب  $a_1$  تا  $a_5$  و  $b_1$  تا  $b_5$ ، توان‌های  $\pi_1$  تا  $\pi_5$  از روابط زیر مشخص خواهند شد:

$$\pi_1 = \left( \frac{K_s}{q} \right)^{1.5} \cdot V \quad (9)$$

$$\pi_2 = \left( \frac{K_s}{q} \right)^{0.5} \cdot R \quad (10)$$

$$\pi_3 = \left( \frac{K_s^{1.5}}{q^{0.5}} \right) \cdot t \quad (11)$$

$$\pi_4 = \theta \quad (12)$$

$$\pi_5 = \theta_0 \quad (13)$$

اعداد  $\pi_1$  تا  $\pi_4$  بدون بعد و توابعی از  $R, \theta, \theta_0, V$  و  $t$  هستند که به صورت قراردادی با اندیس ستاره برای متغیرها نشان داده شده اند؛ بنابراین این معادلات به صورت زیر تغییر پیدا خواهند کرد:

$$V^* = \left( \frac{K_s}{q} \right)^{1.5} \cdot V \quad (14)$$

$$R^* = \left( \frac{K_s}{q} \right)^{0.5} \cdot R \quad (15)$$

$$t^* = \left( \frac{K_s^{1.5}}{q^{0.5}} \right) \cdot t \quad (16)$$

$$\theta^* = \theta \quad (17)$$

$$\theta_0^* = \theta_0 \quad (18)$$

با برقراری روابطی بین پارامترهای بدون بعد، ضرایب این معادلات به صورت بالا مشخص شدند. با توجه به اینکه این اعداد بدون بعد قابلیت ضرب و تقسیم را دارند، پس توابع  $V^*$  و  $\theta^*$  به صورت ترکیبی از چند  $\pi$  مختلف به صورت زیر ارائه می گردند:

$$\theta^* = \pi_4 \cdot \pi_5 \xrightarrow{\text{جایگزینی}} \theta^* = \theta \cdot \theta_0 \quad (19)$$

$$V^* = \sqrt{\pi_1^2 \cdot \pi_2} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} V^* = \left( \frac{K_s}{q} \right)^{\frac{7}{4}} R^{0.5} V \quad (20)$$

پس از جایگزینی روابط و ساده کردن آن ها به صورت زیر درمی آیند:

$$\theta^* = F(V^*) \quad (21)$$

$$\theta = \frac{\theta^*}{\theta_0} \quad (22)$$

با جایگزینی نهایی روابط به صورت زیر ساده می شود:

$$\theta = \frac{1}{\theta_0} F(V^*) = \frac{1}{\theta_0} \cdot m_1 \cdot V^{*n_1} \quad (23)$$

که در معادلات فوق  $m_1$  و  $n_1$  ضرایب ثابت می‌باشند. برای برگرداندن روابط بدون بعد به شکل ابعادی آن، بایستی بجای  $\theta^*, V^*$  مقادیر آن‌ها را جایگزین کنیم که معادلات به صورت زیر خواهد شد:

$$\theta^* = m_1 \cdot V^{*n_1} \xrightarrow{\text{معادلات جایگزینی}} \theta \cdot \theta_0 = m_1 \cdot \left( \left( \frac{K_s}{q} \right)^{\frac{7}{4}} R^{0.5} V \right)^{n_1} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} \theta =$$

$$m_1 \cdot \frac{1}{\theta_0} \cdot \left( \frac{K_s}{q} \right)^{\frac{7}{4} n_1} R^{0.5 n_1} V^{n_1} \quad (24)$$

با در نظر گرفتن توابع بالا و بر آزش روابط توانی بین اعداد بدون بعد، ضرایب معادلات ( $m_1, n_1$ ) بدون بعد محاسبه گردید. این محاسبات برای هر سه نوع بافت خاک جداگانه انجام گرفت. همچنین ضریب همبستگی بین اعداد با دقت قابل قبول بر آزش داده شد. در مرحله بعد برای ارزیابی اعتبار مدل، از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد.

## ۲-۲- آماره‌های ارزیابی

آماره‌های مورد استفاده شامل حداکثر خطا<sup>۱</sup>، میانگین ریشه دوم خطا<sup>۲</sup>، ضریب تبیین<sup>۳</sup>، کارایی مدل<sup>۴</sup> و ضریب باقیمانده<sup>۵</sup> هستند که تعریف ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر است.

$$ME = \text{MAX} |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (25)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (27)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (28)$$

که در روابط (۲۵) تا (۲۸)  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد نمونه‌های بکار رفته و  $\bar{O}$  بیانگر مقادیر متوسط اندازه‌گیری‌ها می‌باشند. حداقل مقدار  $ME$ ،  $RMSE$  و  $CD$  صفر است. حداکثر مقدار  $EF$  برابر یک است.  $EF$  و  $CRM$  می‌توانند مقدار منفی داشته باشند مقادیر زیاد  $ME$  نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است، درحالی‌که مقدار زیاد  $RMSE$  نشان می‌دهد که برآورد بیش‌ازحد و یا کم‌تر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات چقدر است. آماره  $CD$  نسبت پراکندگی بین

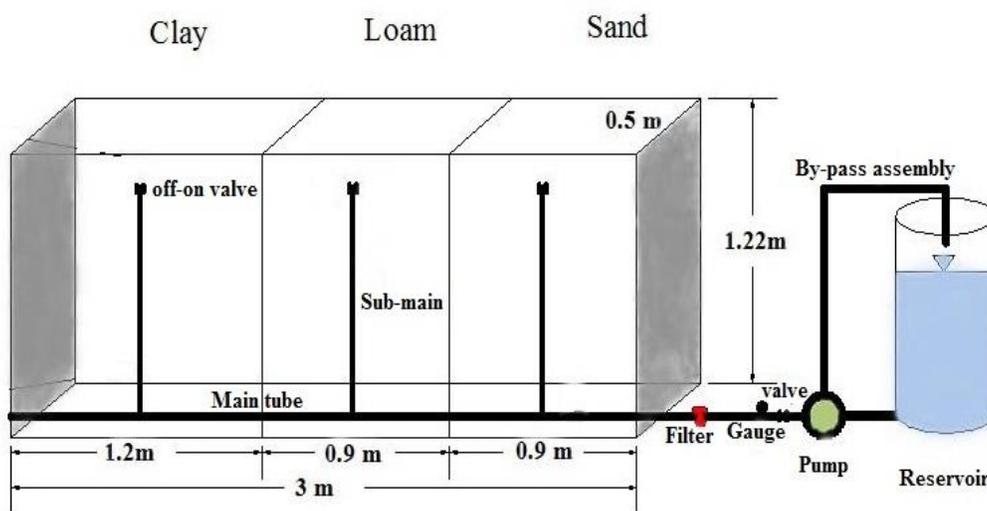
- 
- 1- ME
  - 2- RMSE
  - 3- CD
  - 4- EF
  - 5- CRM

مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری‌ها را نشان می‌دهد. مقدار آماره‌ی  $EF$ ، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی  $EF$  بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتری از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. آماره  $CRM$  نیز نشانگر تمایل مدل به مقادیر اندازه‌گیری‌ها است. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده باهم برابر شوند، مقدار عددی این آماره‌ها برابر با  $CRM=0$ ,  $EF=0$ ,  $CD=1$ ,  $RMSE=0$ ,  $ME=0$  خواهد شد.

## ۲-۳- روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در یک مدل پلکسی گلاس با ابعاد  $3 \times 1/22 \times 0/5$  متر و در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسید. این محفظه‌ی شفاف به سه بخش مجزا تفکیک شده و امکان انجام هم‌زمان سه آزمایش فراهم شده بود (شکل ۱). در این مطالعه از سه نوع بافت خاک متوسط، سنگین و سبک استفاده گردید. برخی مشخصات مهم فیزیکی خاک‌های مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. طراحی مدل آزمایشگاهی به‌گونه‌ای انجام گرفت که هر قسمت مربوط به یک نوع خاک باشد. با توجه به اینکه توزیع افقی آب در خاک‌های سنگین بیش‌تر است، عرض محفظه‌ی مربوط به خاک سنگین ( $1/2$  متر) بزرگ‌تر از خاک‌های با بافت سبک و متوسط (هرکدام  $0/9$  متر) طراحی شد (شکل ۱). دبی قطره‌چکان‌ها (نتافیم<sup>۱</sup> ساخت کشور آمریکا)،  $2/4$ ،  $4$  و  $6$  لیتر در ساعت اعمال گردید. مدت‌زمان آبیاری در کلیه تیمارها  $6$  ساعت بود. همچنین به‌منظور جلوگیری از ایجاد جریانات ترجیحی در حین آزمایش، با استفاده از چسب و پاشیدن شن، یک سطح نسبتاً زبر ایجاد گردید؛ به‌طوری‌که این چسب شفافیت بدنه‌ی مدل را حفظ کرده بود (Kandelous و Simunek، 2010a؛ Kandelous و Simunek، 2010b).

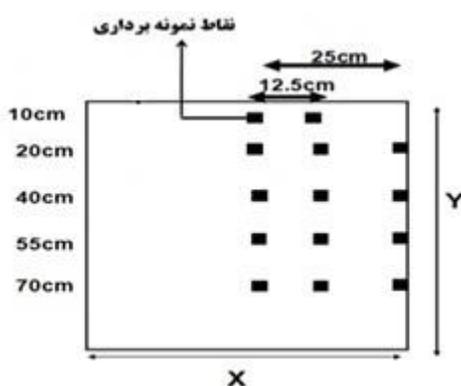
همچنین پس از پایان آزمایش‌ها و در هنگام تخلیه‌ی خاک از محفظه‌ها، از نقاط مشخص شده در شکل (۲ الف و ب) نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید تا رطوبت وزنی خاک اندازه‌گیری شود.



شکل ۱- لایسی‌متر آزمایشگاهی و اتصالات مربوط برای انجام آزمایش‌ها.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده

نمونه	درصد رطوبت	چگالی	چگالی	بافت	درصد درسد	درصد درسد	درصد درسد
	F.C وزنی	حقیقی ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	ظاهری ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	خاک	رس	سیلت	شن
خاک	۲۱/۶	۲/۶۵	۱/۲	رسی-شنی	۳۶	۱۸	۴۶
بافت سنگین	۱۸/۷	۲/۶۵	۱/۳۵	لومی-رسی-شنی	۲۳	۲۲	۵۵
بافت متوسط	۱۴/۱	۲/۵۹	۱/۴۵	شنی-لومی	۱۱	۱۳	۷۶



(ب)

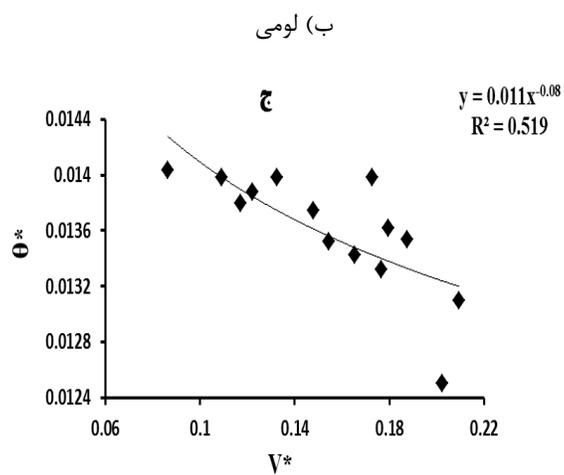
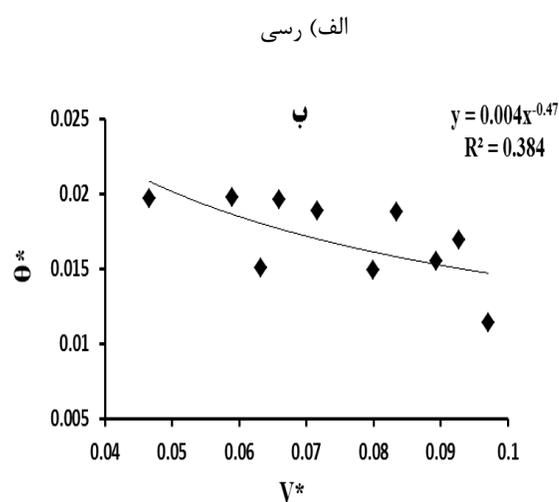
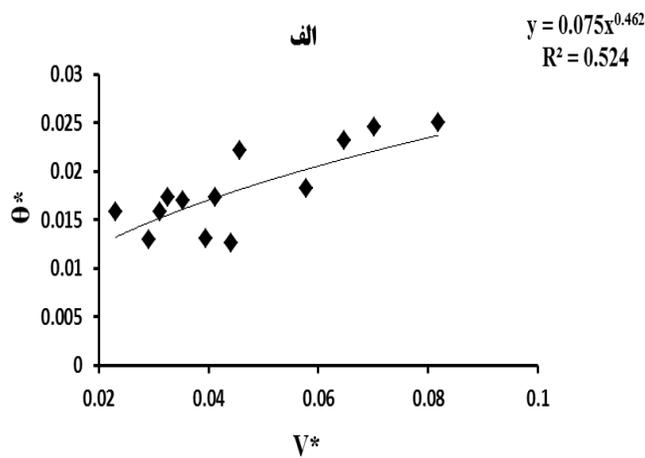


(الف)

شکل ۲- (الف) نمایی از نمونه برداری خاک در نقاط مشخص شده پس از انجام آزمایش و (ب) نمایی از نقاط اندازه گیری رطوبت در هر محفظه

### ۳- یافته‌ها و بحث

نتایج برآزش معادلات ضرایب بدون بعد نشان دادند که اعداد بدون بعد همبستگی نسبتاً بالایی با همدیگر دارند. با توجه به شکل (۳) ضریب همبستگی بین  $\theta^*$  و  $V^*$  (به ترتیب رطوبت و حجم آب کاربردی) در خاک رسی ۰/۵۲۴، ضریب معادله بر آزش داده شده ۰/۰۷۵ و توان معادله ۰/۴۶۲ است. ضرایب باید در معادلات اصلی مربوط به توزیع رطوبت در خاک جاگذاری گردند. به همین ترتیب ضرایب مربوط به توزیع رطوبت در خاک لومی محاسبه گردید. این ضرایب به ترتیب ۰/۰۰۴ و ۰/۴۷- با ضریب همبستگی ۰/۳۸۴ می باشند. همچنین ضریب همبستگی بین اعداد بدون بعد  $\theta^*$  و  $V^*$  در خاک شنی ۰/۵۱۹ است. ضریب معادله مربوطه ۰/۰۱۱ و توان معادله ۰/۰۸- به دست آمد.



ج) شنى

شكل ۳- بر آزش رابطه بين اعداد بدون بعد  $\theta^*$  و  $V^*$  در سيستم آبيارى قطره‌اى سطحى برآى سه نوع بافت خاك موردبررسى الف) رسى، ب)

لومى و ج) شنى

با جاگذاری ضرایب و توان‌ها در معادلات قبلی، روابط مربوط به توزیع رطوبت برای خاک‌های رسی، لومی و شنی به ترتیب به صورت روابط (۲۹)، (۳۰) و (۳۱) به دست آمدند. رابطه‌ی (۲۹) به‌عنوان نمونه‌ای از روند تعیین ضرایب و توان‌ها با جزئیات بیشتری از مراحل استخراج، ارائه شده است:

$$\theta^* = m_1 \cdot V^{*n_1} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} \theta \cdot \theta_0 = m_1 \cdot \left( \left( \frac{K_s}{q} \right)^{\frac{z}{4}} R^{0.5} V \right)^{n_1} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} \theta \quad (29)$$

$$= m_1 \frac{1}{\theta_0} \left( \frac{K_s}{q} \right)^{\frac{z}{4} n_1} R^{0.5 n_1} V^{n_1} \xrightarrow{m_1=0.075 \quad n_1=0.462}$$

$$\theta(x, y) = 0.075 \frac{1}{\theta_0} \left( \frac{K_s}{q} \right)^{0.808} R^{0.231} V^{0.462}$$

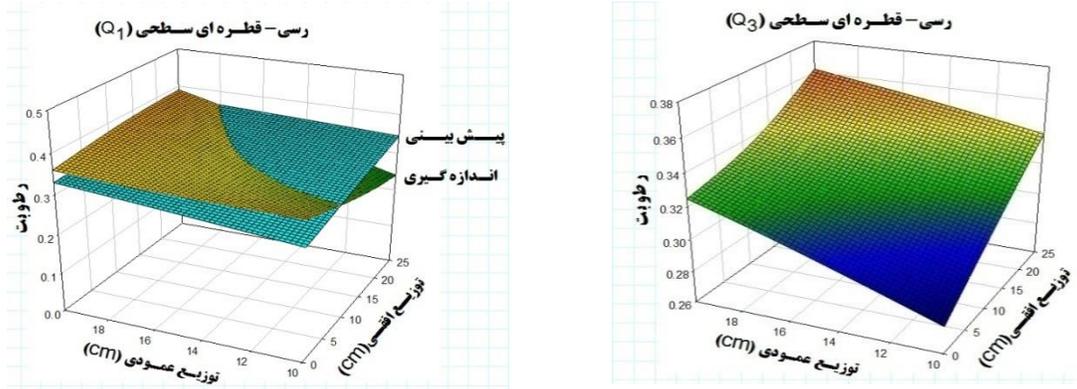
$$\theta(x, y) = 0.004 \frac{1}{\theta_0} \left( \frac{K_s}{q} \right)^{-0.822} R^{-0.235} V^{-0.47} \quad (30)$$

$$\theta(x, y) = 0.011 \frac{1}{\theta_0} \left( \frac{K_s}{q} \right)^{-0.14} R^{-0.04} V^{-0.08} \quad (31)$$

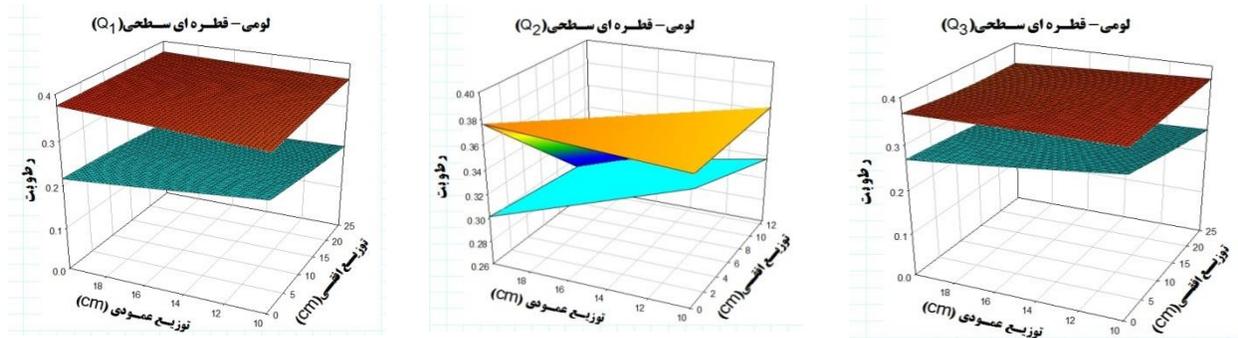
در معادلات (۲۹) الی (۳۱) ابعاد پارامترها به این صورت است: توزیع رطوبت در خاک  $(\theta(x, y))$  در نقطه‌ای به مختصات  $x$  و  $y$  برحسب مقدار حجمی رطوبت خاک، رطوبت اولیه خاک  $(\theta_0)$  برحسب مقدار حجمی، دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها  $(q)$  برحسب لیتر در ساعت، هدایت هیدرولیکی خاک  $(K_s)$  برحسب متر بر ساعت، شعاع نقاط موردنظر در پیاز رطوبتی  $(R)$  برحسب سانتی‌متر و حجم آب کاربردی مورد استفاده در زمان آبیاری  $(V)$  برحسب لیتر است.

در ارزیابی معادلات بر آزمون داده شده، برای رسم مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده از نرم‌افزار Sigma Plot استفاده گردید تا مقایسه بین این دو مقادیر به آسانی صورت گیرد (شکل‌های ۴ تا ۶). گراف‌های رنگین‌کمانی مربوط به مقادیر اندازه‌گیری و گراف‌های آبی‌رنگ مربوط به مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشند. در این گراف‌ها محور  $Z$  مربوط به مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده است و محور  $X$  مربوط به مختصات افقی نقاط در پیاز رطوبتی و محور  $Y$  مربوط به مختصات عمودی نقاط در پیاز رطوبتی است. نتایج ارزیابی معادلات پیشنهادی توزیع رطوبت خاک در دستگاه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و برای خاک رسی نشان دادند که این مدل‌ها دارای عملکرد مناسبی در تخمین رطوبت می‌باشند. همچنین نتایج این مقایسه برای هر سه تیمار دبی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین در مورد تیمار مربوط به دبی ۴ لیتر در ساعت لازم به ذکر است که چون تعداد نقاط اندازه‌گیری کم بوده نرم‌افزار Sigma Plot نتوانسته با این تعداد نقاط محدود گرافی را ترسیم نماید. پس از محاسبه پارامترهای آماری خطا، ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده محاسبه شد. این مقادیر برای دبی‌های ۲/۴، ۴ و ۶ لیتر در ساعت خاک شنی به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۹۵۷ و ۰/۸۴۶ بودند که در جدول (۲) نتایج آنالیز آماری آورده شده است. نتایج آنالیز آماری مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که پارامترهای آماری خطا در حد قابل قبول می‌باشند. ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در خاک لومی نشان‌دهنده کارایی مناسب این مدل‌ها می‌باشند (شکل ۵). همچنین مقادیر پارامترهای آماری در دامنه معقولی بوده و ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در این خاک برای سه دبی ۲/۴، ۴ و ۶ به ترتیب ۰/۷۹۲، ۰/۷۰۰ و ۰/۶۶۵ به دست آمد. نتایج این گراف‌ها نشان می‌دهند که مدل دارای کارایی بالای برای تخمین رطوبت در پیاز رطوبتی است. همچنین نتایج پارامترهای آماری نیز نشان می‌دهد که این مدل‌ها دارای خطای کمی می‌باشند (جدول ۲) و ضریب همبستگی بین

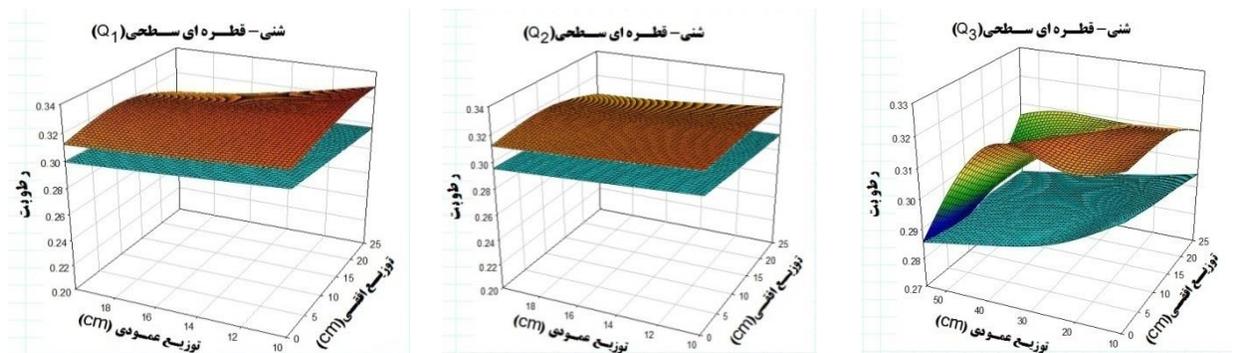
مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده در این خاک و برای دبی مورد استفاده به ترتیب مقادیر ۰/۷۲۶، ۰/۷۱۴ و ۰/۶۸۳ است. همچنین مقادیر میانگین شاخص میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) برای خاک رسی و برای دبی های مورد استفاده  $Q_1$ ،  $Q_2$  و  $Q_3$  به ترتیب مقادیر ۰/۰۳۹، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۳۶ برآورد گردید. این مقادیر برای خاک لومی به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۰۴۴ و ۰/۰۹۱ و برای خاک شنی به ترتیب ۰/۰۱۸، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۲ است.



شکل ۴- مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده توزیع دوبعدی رطوبت در خاک رسی در آبیاری قطره ای سطحی



شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده توزیع دوبعدی رطوبت در خاک لومی در آبیاری قطره ای سطحی



شکل ۶- مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده توزیع دوبعدی رطوبت در خاک شنی در آبیاری قطره ای سطحی

جدول ۲- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای رطوبت در خاک

R <sup>2</sup>	CRM	CD	RMSE	ME	دبی (لیتر در ساعت)	نوع خاک
۰/۷۵	۰/۰۷۱	۰/۹۷	۰/۰۳۹	۰/۰۶۳	۲/۴	رسی
۰/۹۵۷	-۰/۲	۰/۲۳	۰/۰۸	۰/۱۱	۴	
۰/۸۴۶	۰/۰۴۷	۱/۱۶	۰/۰۳۶	۰/۰۰۳	۶	
۰/۷۹۲	۰/۴۰۲	۰/۰۰۴	۰/۱۵	۰/۱۸	۲/۴	لومی
۰/۷۰	۰/۰۸۵	۱/۴۸	۰/۰۴۴	۰/۰۷۵	۴	
۰/۶۶۵	۰/۲۴۶	۰/۰۰۷	۰/۰۹۱	۰/۱۱۱	۶	
۰/۷۲۶	۰/۰۵۳	۰/۲۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲۶	۲/۴	شنی
۰/۷۱۴	۰/۰۶	۰/۰۹۴	۰/۰۱۹	۰/۰۲۳	۴	
۰/۶۸۳	۰/۰۵۸	۰/۳۱۴	۰/۰۲	۰/۰۳	۶	

#### ۴- نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک برای طراحی مناسب دستگاه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه، به منظور شبیه‌سازی این پدیده، آزمایش‌ها بر روی سه نوع بافت مختلف خاک و باهدف ارائه معادلاتی به منظور پیش‌بینی الگوی توزیع رطوبت در خاک در جهت‌های مختلف در دستگاه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی انجام پذیرفت. به منظور تعیین ضرایب و توان‌های معادلات، از روش آنالیز ابعادی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد معادلات به دست آمده در این مطالعه، قادرند با دقت مناسبی، توزیع رطوبت در خاک در جهات افقی و عمودی را شبیه‌سازی نمایند. کاربرد این معادلات در طراحی دستگاه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این دستگاه‌ها گردد.

#### References

- Besharat S., Saddradini A. and Shahmorad S. (2009). Assessment of soil water uptake by plant based on field studies and solving the governing equations. PhD thesis in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, pp: 137 [in Persian].
- Cook F. J., Thorburn P. J., Fitch P., Charlesworth P. B. and Bristow K. L. (2006). Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environ Model Softw*, 21:1353-1359.
- Cote C. M., Bristow K. L., Charlesworth P. B., Cook F. J. and Thorburn P. J. (2003). Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation, *Irrig. Sci.* 22: 143-156.
- Kandelous M. M. and Simunek J. (2010 a). Comparison of numerical, analytical and empirical models to estimate wetting pattern for surface and subsurface drip irrigation, *Irrig. Sci.* 28: 435-444.

- Kandelous M. M. and Simunek J. (2010 b). Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D, *Agri. Water mang.* 97: 1070-1076.
- Lamm F. R., Ayars J. E. and Nakayama F. S. (2007). *Micro irrigation for crop production (design, operation and management)*. Elsevier book. 618 pp.
- Lazarovitch N., Warrick A. W., Furman A. and Simunek J. (2007). Subsurface water distribution from drip irrigation described by moment analyses, *Vadose Zone J*, 6:116–123.
- Li J., Zhang J. and Rao M. (2004). Wetting Pattern and Nitrogen Distribution as Affected by Fertilization Strategies from a Surface Point Source, *Agri. Water Mang*, 67: 89-104.
- Meshkat M., Warner R. C. and Workman S. R. (1999). Modeling of Evaporation Reduction in Drip Irrigation, *J. Irrig. Drain. Eng*, 125 (6), 315- 323.
- Mirzaei F., Liaghat A. M., Sohrabi T. M. and Omid M. (2005). Simulation of the wetting front from a linear source in tape irrigation systems, *Journal of Agricultural Engineering Researchs*, 6(23),53-66.
- Philip J. R. (1991). Effects of root and subirrigation depth on evaporation and percolation losses, *Soil Sci. Soc. Am. J*, 55: 1520- 1523.
- Thorburn P. J., Cook F. J. and Bristow K. L. (2003). Soil- dependant wetting from trickle emitters: Implications for system design and management, *Irrig. Sci*, 22: 121-127.

## Simulation of Moisture Distribution Pattern in Surface Drip Irrigation System Using Dimension Analysis

Bakhtiar Karimi<sup>1\*</sup>, Chonur Abdi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant professor of Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup> MSc, Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

\*Corresponding Author: Bakhtiar.Karimi@gmail.com

Received: January 11, 2016

Accepted: May 26, 2016

### Abstract:

Simulation of moisture distribution pattern in the root zone and accurate determination for design can be considered as one of the criteria for improving yield productivity and utilization management in surface irrigation systems. In this study, experiments were carried out in a transparent plexy-glass physical model (0.5×1.22× 3 m) on three different soil textures (fine, heavy and medium). The emitter outflows were considered as 2.4, 4 and 6 l/hr with irrigation duration of 6 hrs. Then, using the  $\pi$  theorem of Buckingham and Dimension Analysis (DA), equations were developed to estimate the pattern of moisture distribution (horizontal and vertical) in three soil textures in subsurface drip irrigation. These equations were as function of initial moisture, radial distance of points, applied water volume, hydraulic conductivity and emitter outflows. Comparison between simulated and observed values showed that these equations are capable in predicting the pattern of moisture distribution in different directions. The average of Root Mean Square Error (RMSE) values in clay soil and for emitter outflows 2.4, 4 and 6 l/hr were 0.039, 0.08 and 0.036, respectively. These values for loamy soil were 0.15, 0.044 and 0.091, respectively; while for sandy soil were 0.018, 0.019 and 0.02, respectively. Using these equations in designing surface drip irrigation systems, the moisture distribution could be simply simulated and optimum management can be accordingly applied.

**Keywords:** Drip Irrigation, Moisture Bulb, Moisture Front, Management, Irrigation