



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بسط روابطی به منظور تخمین الکوی توزیع نترات در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

*بختیار کریمی^۱ و عادل سلطانی^۲

^۱استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران، عضو هیأت علمی گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور
تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۹

چکیده

سابقه و هدف: کاربرد هم‌زمان کود و آب در سیستم آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یک روش مؤثر و اقتصادی برای کشاورزی شناخته شده است. همچنین عدم مدیریت بهینه در آبیاری قطره‌ای باعث عدم کارایی توزیع آب و کود می‌شود. بدین‌وسیله مصرف بیش از حد آب و نیتروژن نه تنها عملکرد محصول را کاهش می‌دهد بلکه باعث آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود. با توجه به این‌که کیفیت آب سطحی و زیرزمینی در مناطق خشک از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است پس یک دستورالعمل جامع برای مدیریت کردن سیستم آبیاری قطره‌ای به‌منظور کشاورزی پایدار امری ضروری است.

مواد و روش‌ها: شبیه‌سازی توزیع نترات در خاک با استفاده پارامترهای زود یافت می‌تواند کمک شایانی به طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی کند. در این مطالعه، به‌منظور شبیه‌سازی آن، آزمایش‌هایی بر روی سه نوع بافت مختلف خاک و با هدف ارائه معادلاتی به‌منظور تخمین توزیع نترات در خاک در جهات مختلف در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی انجام پذیرفت. در این پژوهش، آزمایش‌ها در یک مدل پلکسی‌گلاس شفاف با ابعاد $3m \times 1.22m \times 0.5m$ و بر روی سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) به انجام رسید. قطره‌چکان‌ها در سه عمق $10cm$ ، $30cm$ و $45cm$ مورد ارزیابی قرار گرفتند. دبی قطره‌چکان‌ها با زمان آبیاری ۶ ساعت و با مقادیر $2/4 (Q_1)$ ، $4 (Q_2)$ و $6 (Q_3)$ لیتر در ساعت اعمال گردید. همچنین تیمارهای کود آبیاری شامل سه تیمار با غلظت نترات 125 ، 250 و 375 میلی‌گرم در لیتر بود. به‌منظور اعمال تیمارهای کود آبیاری در این پژوهش از کود اوره (CH_4N_2O) (46% درصد ازت) استفاده گردید.

یافته‌ها: سپس، به کمک قضیه π باکینگهام و با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی به‌منظور شبیه‌سازی توزیع نترات در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و برای سه نوع بافت مورد بررسی ارائه گردید که تابعی از نترات اولیه خاک، غلظت نترات در کود آبیاری، رطوبت اولیه خاک، فاصله شعاعی نقاط مورد نظر، حجم آب کاربردی در زمان آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک و دبی قطره‌چکان می‌باشد. نتایج ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای مدل‌های توزیع نترات در خاک بیانگر آن است که این مدل‌ها علی‌رغم پیچیدگی خاص توزیع یون نترات (به‌دلیل فعل و انفعالات و واکنش‌هایی که نترات در خاک انجام می‌دهد که شامل پدیده نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون

* مسئول مکاتبه: bakhtiar.karimi@gmail.com

می‌باشد) در خاک، دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. نتایج ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در خاک مورد استفاده در این پژوهش نشان می‌دهد که این مدل‌ها برای اعماق مختلف نصب قطره‌چکان دارای پیش‌بینی به نسبت مناسبی بوده و همچنین متوسط مقادیر شاخص میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) برای خاک رسی و برای دبی‌های مورد استفاده Q_1 ، Q_2 و Q_3 به ترتیب مقادیر ۰/۱۰۳، ۰/۱۱۷ و ۰/۱۰۹ برآورد گردید و این مقادیر برای خاک لومی به ترتیب مقادیر ۰/۱۱۹، ۰/۰۹۹ و ۰/۰۹۸ و برای خاک شنی به ترتیب مقادیر ۰/۰۷۵، ۰/۰۵۹ و ۰/۱۱ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان داد که این مدل‌ها با دقت بالایی نیترا را پیش‌بینی می‌کنند. کاربرد این معادلات در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این سیستم‌ها گردد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز ابعادی، نیترا، آبیاری قطره‌ای سطحی، شبیه‌سازی

مقدمه

نیترا را در آبیاری قطره‌ای سطحی با دبی‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که مقدار نیترا در کناره‌های پیاز رطوبتی حدود پنج برابر بیشتر از مرکز پیاز رطوبتی بوده و همچنین دریافتند که مدیریت نامناسب آبیاری باعث افزایش عمق حرکت نیترا و متناسب با آن باعث آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی شده و اثرات زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری ایجاد می‌کند (۱۰). جیوشنگ و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از هفده آزمایش و به کمک شبکه عصبی به شبیه‌سازی توزیع نیترا در خاک پرداختند که در این پژوهش با استفاده از پارامترهای ورودی از قبیل رطوبت اولیه خاک، غلظت نیترا اولیه، دبی قطره‌چکان، حجم آب کاربردی و رطوبت نهایی خاک مقادیر نیترا خاک بعد از کود آبیاری را پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که که همبستگی خوبی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد (۱۲). لی و همکاران (۲۰۰۷) به توزیع همزمان رطوبت و نیترا در خاک‌های لایه لایه و یکنواخت پرداختند و جبهه توزیع رطوبت و نیترا در سناریوهای مختلف طراحی مورد ارزیابی قرار دادند و راهکارهای مدیریتی متناسب با آن برای مدیریت بهینه کود آبیاری ارائه کردند (۱۱). بلاین و همکاران

سیستم آبیاری قطره‌ای همزمان با کود آبیاری به‌عنوان یک روش مؤثر و اقتصادی برای کشاورزی شناخته شده است. همچنین عدم مدیریت بهینه در آبیاری قطره‌ای باعث عدم کارایی توزیع آب و کود می‌شود. بدین‌وسیله مصرف بیش از حد آب و نیتروژن نه تنها عملکرد محصول را کاهش می‌دهد بلکه باعث آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود. با توجه به این‌که کیفیت آب سطحی و زیرزمینی در مناطق خشک از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است پس یک دستورالعمل جامع برای مدیریت کردن سیستم آبیاری قطره‌ای به‌منظور کشاورزی پایدار امری ضروری است (۱). آبیاری نیترا هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی (در صورتی که این آب در پایین‌دست مصرف شود) خساراتی را به دنبال دارد (۷). لام و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهش‌های خود که بر روی سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و خاک لومی سیلتی انجام دادند، به بررسی تعیین مقدار بهینه کود ازته برای ذرت پرداختند و دریافتند که مقدار بهینه کود بین ۲۲۵ و ۲۷۵ کیلوگرم در هکتار بوده و به‌ازای آن تلفات نفوذ عمقی نیترا ناچیز می‌باشد (۸). لی و همکاران (۲۰۰۴) توزیع کود

از این پژوهش، ارائه روابطی با استفاده از آنالیز ابعادی و به منظور تخمین توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی در شرایط مختلف بهره‌برداری می‌باشد. **تئوری آنالیز ابعادی:** مطالعات زیادی در زمینه توزیع جبهه رطوبتی در حین آبیاری با استفاده از آنالیز ابعادی صورت گرفته است. اما تاکنون معادله برای توزیع نیترات در ناحیه پیاز رطوبتی ارائه نشده است. هدف اصلی این پژوهش، ارائه معادله کلی در ارزیابی توزیع نیترات در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به روش آنالیز ابعادی می‌باشد (۵، ۶، ۹، ۱۳، ۱۶ و ۱۷). بر اساس قوانین حاکم بر حرکت آب در خاک استنباط این است که پروفیل توزیع رطوبت و نیترات اطراف لاترال‌ها به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. برای شناخت بهتر پارامترهایی که در این ارتباط تأثیر دارند و یا روابط بین این پارامترها استفاده از آنالیز ابعادی روش مناسبی می‌باشد. یکی از قضایای مهم آنالیز ابعادی در مکانیک سیالات قضیه π باکینگهام می‌باشد. این قضیه بیان می‌کند که اگر n متغیر بعددار 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. از جمله متغیرهای به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$f(N, \theta, F, q, K_s, V, t, R, \theta_0, N_0) = 0 \quad (1)$$

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

خاک و مقادیر نیترات خاک می‌باشد. که در معادله فوق ده متغیر بعددار $(N, \theta, F, q, K_s, V, t, R, \theta_0, N_0)$ و سه متغیر اصلی (L, T, M) وجود دارد. بنابراین هفت $(n - m = 7)$ عدد بی‌بعد خواهیم داشت.

(۲۰۰۶) به شبیه‌سازی توزیع کودهای پرکاربرد نیترات، اوره و آمونیوم با استفاده از هایدروس دو بعدی پرداختند. نتایج این پژوهش که برای چهار سیستم آبیاری قطره‌ای و برای پنج سناریو مختلف کود آبیاری انجام گرفت، نشان داد که مدل هایدروس عملکرد بالایی در شبیه‌سازی کودهای مورد استفاده دارد (۱). هر چند که در زمینه شبیه‌سازی توزیع رطوبت مطالعات زیادی به انجام رسیده است (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶) اما بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در زمینه توزیع نیترات در آبیاری قطره‌ای مربوط به ارزیابی مکانی توزیع این یون پرکاربرد در خاک بوده و پژوهش‌های اندکی بر روی مدل‌سازی توزیع نیترات در خاک به انجام رسیده است که در بیش‌تر مطالعات مدل هایدروس برای شبیه‌سازی استفاده شده است که این مدل هر چند دقیق و پرکاربرد می‌باشد اما نیاز به پارامترهای ورودی زیادی دارد که اندازه‌گیری آن‌ها هزینه‌بر و مشکل می‌باشد. از معیارهای مهمی که برای طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای باید در نظر گرفته شود، توزیع رطوبت و نیترات در ناحیه توسعه ریشه می‌باشد. بسته به نوع خاک، دبی قطره‌چکان، رطوبت اولیه خاک، هدایت هیدرولیکی، حجم آب کاربردی و غلظت کود آبیاری و مقادیر رطوبت و نیترات در تمام نقاط اطراف پیاز رطوبتی قابل بررسی است. بنابراین، هدف

که در آن‌ها، $N, \theta, F, q, K_s, V, t, R, \theta_0, N_0$ به ترتیب نیترات اولیه خاک، رطوبت اولیه خاک، شعاع جبهه رطوبتی نسبت به محل خروجی، زمان آبیاری، حجم آب کاربردی، هدایت هیدرولیکی خاک، دبی خروجی از قطره‌چکان، غلظت نیترات در آب آبیاری، رطوبت

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (۳)$$

روش تعیین پارامترهای π بدین صورت است که اگر از n متغیر فوق به تعداد m (در اینجا ۳) متغیر انتخاب شود، برای هر π مربوط به متغیرهای فوق، از سه متغیر تکراری همراه با یک متغیر غیر تکراری استفاده می‌شود و در نهایت معادلات بدون بعد به شکل روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$\pi_1 = q^{a_1} K_s^{b_1} F^{c_1} V = (L^3 T^{-1})^{a_1} (L T^{-1})^{b_1} (M L^{-3})^{c_1} L^3 = \begin{cases} a_1 = -\frac{3}{2} \\ b_1 = \frac{3}{2} \\ c_1 = 0 \end{cases} \quad (۴)$$

$$\pi_2 = q^{a_2} K_s^{b_2} F^{c_2} R = (L^3 T^{-1})^{a_2} (L T^{-1})^{b_2} (M L^{-3})^{c_2} L^1 = \begin{cases} a_2 = -\frac{1}{2} \\ b_2 = \frac{1}{2} \\ c_2 = 0 \end{cases} \quad (۵)$$

$$\pi_3 = q^{a_3} K_s^{b_3} F^{c_3} N = (L^3 T^{-1})^{a_3} (L T^{-1})^{b_3} (M L^{-3})^{c_3} M L^{-3} = \begin{cases} a_3 = 0 \\ b_3 = 0 \\ c_3 = -1 \end{cases} \quad (۶)$$

$$\pi_4 = q^{a_4} K_s^{b_4} F^{c_4} \theta = (L^3 T^{-1})^{a_4} (L T^{-1})^{b_4} (M L^{-3})^{c_4} = \begin{cases} a_4 = 0 \\ b_4 = 0 \\ c_4 = 0 \end{cases} \quad (۷)$$

$$\pi_5 = q^{a_5} K_s^{b_5} F^{c_5} t = (L^3 T^{-1})^{a_5} (L T^{-1})^{b_5} (M L^{-3})^{c_5} T = \begin{cases} a_5 = -\frac{1}{2} \\ b_5 = \frac{3}{2} \\ c_5 = 0 \end{cases} \quad (۸)$$

$$\pi_6 = q^{a_6} K_s^{b_6} F^{c_6} N_0 = (L^3 T^{-1})^{a_6} (L T^{-1})^{b_6} (M L^{-3})^{c_6} M L^{-3} = \begin{cases} a_6 = 0 \\ b_6 = 0 \\ c_6 = -1 \end{cases} \quad (۹)$$

$$\pi_7 = q^{a_7} K_s^{b_7} F^{c_7} \theta_0 = (L^3 T^{-1})^{a_7} (L T^{-1})^{b_7} (M L^{-3})^{c_7} = \begin{cases} a_7 = 0 \\ b_7 = 0 \\ c_7 = 0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

π_7 از روابط زیر مشخص خواهند شد:

پس از حل معادلات و تعیین ضرایب $a_1, a_2, a_3 \dots a_7$ و $b_1, b_2, b_3 \dots b_7$ توان‌های π_1 تا

$$\pi_1 = \left(\frac{K_s}{q}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot V \quad (11)$$

$$\pi_2 = \left(\frac{K_s}{q}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot R \quad (12)$$

$$\pi_3 = \frac{N}{F} \quad (13)$$

$$\pi_4 = \theta \quad (14)$$

$$\pi_5 = \frac{K_s^{\frac{3}{2}}}{q^{\frac{1}{2}}} \cdot t \quad (15)$$

$$\pi_6 = \frac{N_0}{F} \quad (16)$$

$$\pi_7 = \theta_0 \quad (17)$$

می‌شوند. بنابراین این معادلات به صورت زیر تغییر پیدا خواهد کرد:

اعداد π_1 تا π_7 بدون بعد و توابعی از $N, \theta, V, t, R, \theta_0, N_0$ هستند و به صورت قراردادی با اندیس ستاره از خود آن متغیرها نشان داده

$$V^* = \left(\frac{K_s}{q}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot V \quad (18)$$

$$R^* = \left(\frac{K_s}{q}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot R \quad (19)$$

$$N^* = \frac{N}{F} \quad (20)$$

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

$$t^* = \frac{K_s^{\frac{3}{2}}}{q^{\frac{1}{2}}} \cdot t \quad (22)$$

$$N_0^* = \frac{N_0}{F} \quad (23)$$

$$\theta_0^* = \theta_0 \quad (24)$$

به صورت ترکیبی از چند π مختلف ارائه می‌گردد که به صورت زیر می‌باشد:

با برقراری روابطی بین پارامترهای بدون بعد، ضرایب این معادلات به صورت روابط بالا مشخص شدند. با توجه به این که این اعداد بدون بعد قابلیت ضرب و تقسیم را دارند پس توابع N^* ، V^* و θ^*

$$N^* = \pi_3 \cdot \pi_7 \cdot \sqrt{\pi_6} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} N^* = \frac{N \theta_0}{F} \sqrt{\frac{N_0}{F}} = \frac{N N_0^{0.5} \theta_0}{F^{1.5}} \quad (25)$$

$$V^* = \sqrt{\pi_1^2 \cdot \pi_2} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} V^* = \left(\frac{K_S}{q}\right)^{\frac{7}{4}} R^{0.5} V \quad (26)$$

پس از جایگزینی روابط و ساده کردن آن روابط به صورت زیر در می‌آید:

$$N^* = F(V^*) \quad (26)$$

$$N = \frac{N^* F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \quad (27)$$

پس با جایگزینی نهایی روابط به صورت زیر ساده می‌شود:

$$N = \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} F(V^*) = \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \cdot m_1 \cdot V^{*n_1} \quad (28)$$

به جای V^* ، θ^* مقادیر آنها را جایگزین کنیم که معادلات به صورت زیر خواهد شد:

که در آنها، m_1 و n_1 ضرایب ثابت می‌باشند. برای برگرداندن روابط بدون بعد به شکل ابعادی آن، باید

$$N^* = m_2 \cdot V^{*n_2} \xrightarrow{\text{معادلات جایگزینی}} \frac{N N_0^{0.5} \theta_0}{F^{1.5}} = m_2 \cdot \left(\left(\frac{K_S}{q}\right)^{\frac{7}{4}} R^{0.5} V \right)^{n_2} \xrightarrow{\text{جایگزینی}}$$

$$N = m_2 \cdot \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \cdot \left(\frac{K_S}{q}\right)^{\frac{7}{4} n_2} R^{0.5 n_2} V^{n_2} \quad (29)$$

EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقدار منفی داشته باشند مقادیر زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است، در حالی که مقدار زیاد RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کم‌تر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات چقدر است. آماره CD نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری‌ها، نشان می‌دهد. مقدار آماره 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 می‌باشد. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی این آماره‌ها برابر با $CRM=0$ ، $EF=0$ ، $CD=1$ ، $RMSE=0$ ، $ME=0$ خواهد شد.

با در نظر گرفتن توابع بالا و برازش روابط توانی بین اعداد بدون بعد، ضرایب معادلات (m_1, m_2) بدون بعد محاسبه گردید. این محاسبات برای هر سه نوع بافت خاک جداگانه انجام گرفت. همچنین ضریب همبستگی بین اعداد بدون بعد با دقت قابل قبول برازش داده شد. سپس در مرحله بعد برای ارزیابی اعتبار مدل، از تحلیل خطاها و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد. آماره‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل، حداکثر خطا^۱، میانگین ریشه دوم خطا^۲، ضریب تبیین^۳، کارایی مدل^۴ و ضریب باقی‌مانده^۵ هستند که تعریف ریاضی این آماره‌ها به صورت زیر است.

که در آن‌ها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کار رفته و \bar{O} میانگین مقادیر متوسط اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. حداقل مقدار ME ، $RMSE$ و CD صفر است. حداکثر مقدار

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (30)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

$$CD = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (32)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (33)$$

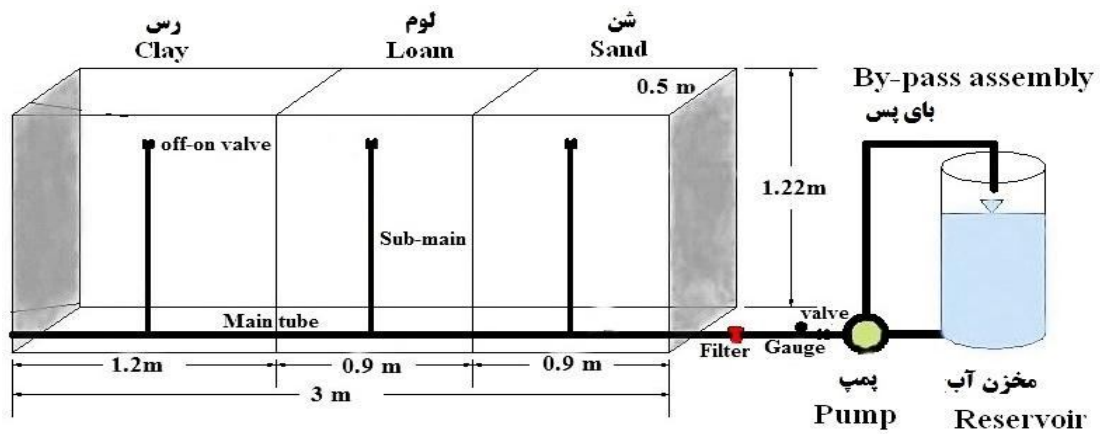
$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (34)$$

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

مواد و روش‌ها

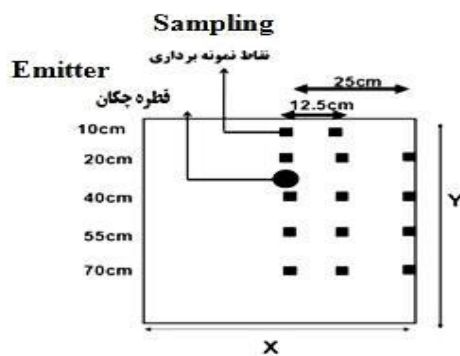
روش انجام آزمایش: این آزمایش‌ها در یک مدل پلکسی گلاس با ابعاد $3m \times 1/22m \times 0/5m$ و در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسید. این محفظه شفاف به سه بخش مجزا تفکیک شده (شکل ۱) و امکان انجام هم‌زمان سه آزمایش هم‌زمان فراهم شده بود. در این مطالعه از سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) استفاده گردید (جدول ۱). 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 محفظه مربوط به خاک سنگین (۱/۲ متر) بزرگ‌تر از خاک‌های با بافت سبک و متوسط (هر کدام ۰/۹ متر) طراحی شد (شکل ۱). قطره‌چکان‌ها در سه عمق $15cm$ ، $30cm$ و $45cm$ مورد ارزیابی قرار گرفتند. دبی قطره‌چکان‌ها مورد استفاده در این پژوهش (نتایج ساخت کشور امریکا) $2/4 (Q_1)$ ، $4 (Q_1)$ و $6 (Q_2)$ لیتر بوده و مدت زمان آبیاری در همه تیمارها ۶ ساعت بود. نمای کاملی از موقعیت نصب تجهیزات در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین تیمارهای کود آبیاری شامل سه تیمار با غلظت نیترات 125 ، 250 و 375 میلی‌گرم در لیتر بود. به‌منظور اعمال تیمارهای کود آبیاری در این پژوهش از کود اوره (CH_4N_2O) (۴۶ درصد ازت) استفاده گردید. دلیل انتخاب کود اوره این است که این کود در بین کشاورزان عمومیت دارد و بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین به‌عنوان یک

ترکیب مطمئن که دارای حلالیت کامل می‌باشد شناخته شده است. اما سایر ترکیبات ممکن است انحلال کامل را پیدا نکنند و موجبات گرفتگی قطره‌چکان‌ها را فراهم کنند. در پژوهش حاضر تیمارهای کود آبیاری در یک سوم انتهایی زمان آبیاری انجام شد. همچنین به‌منظور جلوگیری از ایجاد جریان‌ات ترجیحی در حین آزمایش، با استفاده از چسب و پاشیدن شن، یک سطح نسبتاً زبر ایجاد گردید؛ به‌گونه‌ای این چسب شفافیت بدنه مدل را حفظ کرده بود (۳، ۴). همچنین پس از پایان آزمایش‌ها و در هنگام تخلیه خاک از محفظه‌ها، از نقاط مشخص شده در شکل ۲ نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید تا رطوبت و نیترات خاک اندازه‌گیری شود. تخلیه محفظه‌ها باید به‌صورت کاملاً دقیق انجام گیرد و در هنگام تخلیه آن نمونه‌های رطوبت و نیترات به‌وسیله بیلچه جمع‌آوری (مطابق شکل ۲) گردد. به‌منظور اندازه‌گیری نیترات ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در هوای آزمایشگاه نگهداری گردید تا خشک شوند سپس با تهیه نسبت‌های مشخص عصاره اشباع و قرار دادن در داخل شیکر این نمونه‌ها کاملاً مخلوط می‌گردید. سپس این عصاره با عبور از کاغذ صافی در داخل ظرف‌های مخصوص قرار گرفته و آماده اندازه‌گیری گردید. سپس نیترات با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج 410 اندازه‌گیری شد.



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

Figure 1. Laboratory lysimeter and related fittings for experiments.



شکل ۲- نمایی از نقاط اندازه‌گیری نیترات در هر محفظه و نمایی از نمونه‌برداری خاک در نقاط مشخص شده پس از انجام آزمایش.

Figure 2. View of the nitrate measurement points in each box and a view of the soil sampling at specified points after the test.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده.

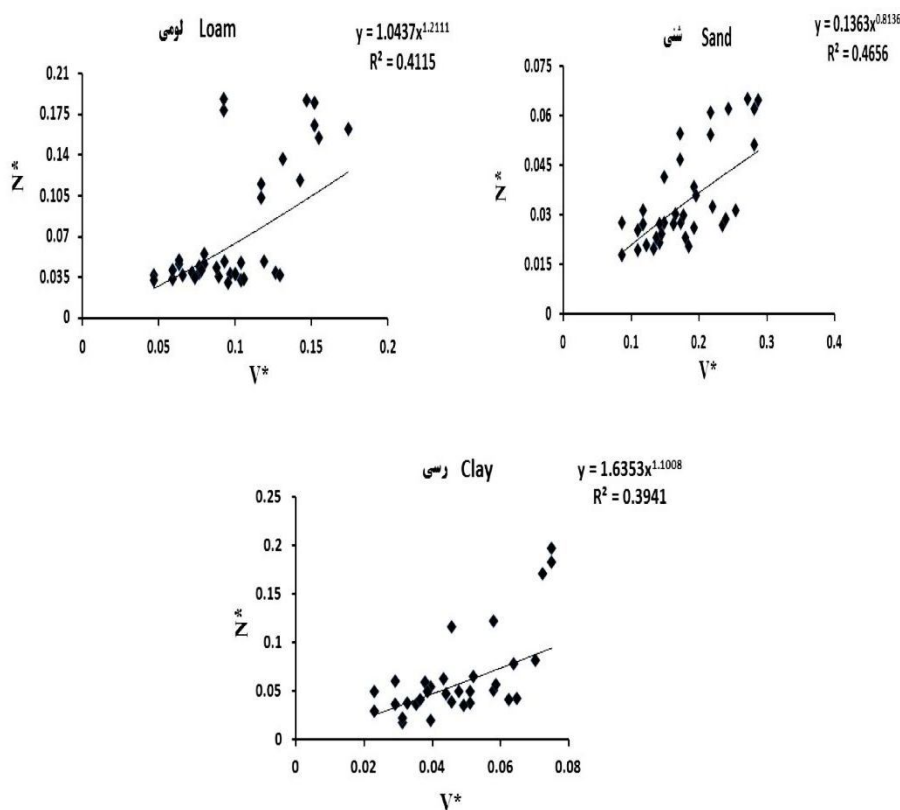
Table 1. The physical properties of used soils.

نمونه خاک (sample)	شن (%sand)	سیلت (%silt)	رس (%clay)	بافت خاک (Texture)	چگالی ظاهری (Bulk Density)	چگالی حقیقی (Density)	درصد رطوبت وزنی (F.C)	درصد رطوبت اشباع (Saturate%)
بافت سنگین (Heavy)	46	18	36	رسی - شنی (Sandy-clay)	1.2	2.65	21.6	37.5
بافت متوسط (Medium)	55	22	23	لومی - رسی - شنی (Sandy-Clay-Loamy)	1.35	2.65	18.7	34.5
بافت سبک (light)	76	13	11	شنی - لومی (Loam-sandy)	1.45	2.59	14.1	30.1

نتایج و بحث

نتایج برازش معادلات ضرایب بدون بعد برای شبیه‌سازی نیترات به انجام رسید و ضرایب معادلات برازش داده شد. با توجه به شکل ۳ ضریب همبستگی بین N^* و V^* در خاک رسی ۳۹/۴ درصد می‌باشد و متناسب با آن ضریب معادله برازش داده شده ۱/۶۳۵ و توان معادله ۱/۱ می‌باشد که باید این ضرایب در معادلات اصلی مربوط به توزیع نیترات در خاک

جاگذاری گردد. به همین ترتیب ضرایب مربوط به توزیع نیترات در خاک لومی محاسبه گردید که ضرایب معادلات به ترتیب ۱/۰۴۳ و ۱/۲۱۱ با ضریب همبستگی ۴۱/۱ می‌باشد. نتایج برای خاک شنی نشان می‌دهد که ضریب معادله و توان معادله و ضریب همبستگی مربوط به این برازش به ترتیب ۰/۸۱۳، ۰/۱۳۶ و ۶۶/۵ می‌باشد.



شکل ۳- برازش رابطه بین اعداد بدون بعد N^* و V^* در سیستم آبیاری سطحی برای سه نوع بافت خاک مورد بررسی.

Figure 3. Fitting the relationship between N^* and V^* dimensionless numbers in surface irrigation system for three types of soil.

نوشته می‌شوند (رابطه ۱۹ به‌عنوان نمونه‌ای از روند تعیین ضریب و توان‌ها ارائه شده است):

حال با جای‌گذاری ضرایب و توان‌ها در معادلات قبلی، روابط مربوط به توزیع نیترات به شکل زیر

$$N^* = m_2 \cdot V^{*n_2} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} \frac{N N_0^{0.5} \theta_0}{F^{1.5}} = m_2 \cdot \left(\left(\frac{K_s}{q} \right)^{\frac{7}{4}} R^{0.5} V \right)^{n_2} \xrightarrow{\text{جایگزینی}} N$$

$$= m_2 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{\frac{7}{4} n_2} R^{0.5 n_2} V^{n_2} \xrightarrow{m_2=1.635 \quad n_2=1.1} \quad (19) \text{ رسی}$$

$$N(x, y) = 1.635 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1.925} R^{0.55} V^{1.1}$$

$$N(x, y) = 1.043 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{2.119} R^{0.605} V^{1.211} \quad (20) \text{ لومی}$$

$$N(x, y) = 0.136 \frac{F^{1.5}}{\theta_0 N_0^{0.5}} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1.423} R^{0.406} V^{0.813} \quad (21) \text{ شنی}$$

پیش‌بینی شده می‌باشد. در این گراف‌ها محور Z مربوط به مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده می‌باشد و محور X مربوط به مختصات افقی نقاط و محور Y مربوط به مختصات عمودی نقاط در پیاز رطوبتی می‌باشد. یادآور می‌شوم که در این پژوهش با فرض متقارن شکل پیاز رطوبتی، نمونه‌برداری از سمت راست پیاز رطوبتی صورت گرفت و متناسب با آن قطره‌چکان در وسط مبدا مختصات فرضی قرار گرفته و مبدأ مختصات خود قطره‌چکان در نظر گرفته شد. نتایج ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای مدل‌های توزیع نیترات در خاک بیانگر آن است که این مدل‌ها علی‌رغم پیچیدگی خاص توزیع یون نیترات (به دلیل فعل و انفعالات و واکنش‌هایی که نیترات در خاک انجام می‌دهد که شامل پدیده نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون می‌باشد) در خاک، دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. نتایج ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در خاک رسی (شکل ۴) نشان می‌دهد که این مدل‌ها برای اعماق مختلف نصب قطره‌چکان دارای پیش‌بینی نسبتاً مناسبی بوده و همچنین پارامترهای آماری مربوط به این ارزیابی

در رابطه‌های بالا ابعاد پارامترهای این معادلات به صورت زیر می‌باشد که در آن توزیع نیترات در خاک $(N(x, y))$ در نقطه‌ای به مختصات X و Y بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، رطوبت اولیه خاک (θ_0) بر حسب مقدار حجمی، دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها (q) بر حسب لیتر در ساعت، هدایت هیدرولیکی خاک (K_s) بر حسب متر بر ساعت، غلظت نیترات در آب آبیاری و مربوط به دوره زمانی یک سوم انتهایی زمان آبیاری (F) بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، نیترات اولیه خاک (N_0) بر حسب میلی‌گرم بر سانتی‌متر مکعب، شعاع نقاط مورد نظر در پیاز رطوبتی (R) بر حسب سانتی‌متر و حجم آب کاربردی مورد استفاده در زمان آبیاری (V) بر حسب لیتر می‌باشد.

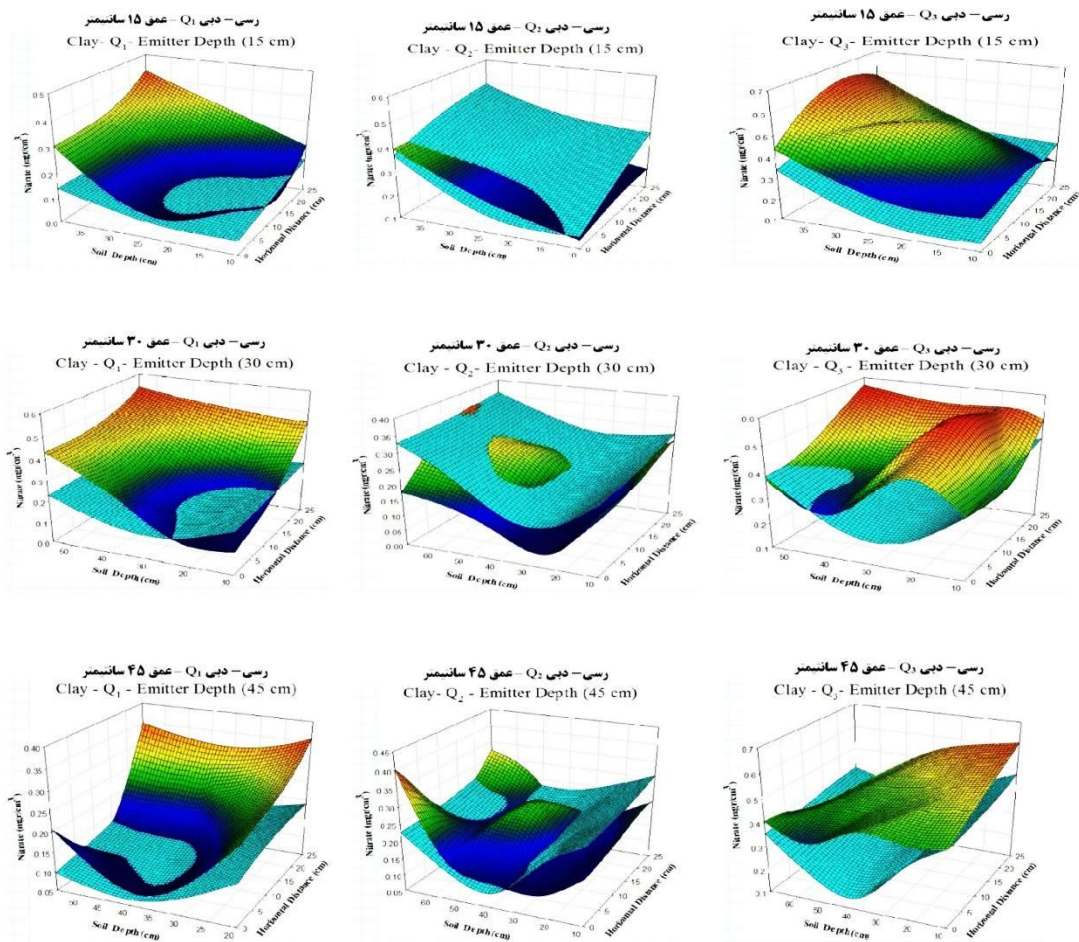
پس ارزیابی معادلات برآزش داده شده، برای رسم مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده از نرم‌افزار Sigma Plot استفاده گردید تا مقایسه بین این آن‌ها به آسانی صورت گیرد. که در این شکل‌ها (شکل‌های ۴ تا ۶) گراف‌های رنگین‌کمانی مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده و گراف‌های آبی رنگ مربوط مقادیر

شبییه‌سازی برای عمق نصب ۱۵ و برای دبی‌های مورد استفاده به ترتیب مقادیر ۶۸/۵، ۷۱/۸ و ۶۷/۶ و برای عمق نصب ۳۰ سانتی‌متری به ترتیب مقادیر ۷۷، ۷۶/۶، ۷۶/۷ و ۶۲/۹ و برای عمق نصب ۴۵ سانتی‌متری ۹۳، ۷۶/۷ و ۶۴/۷ می‌باشد.

نتیجه‌گیری

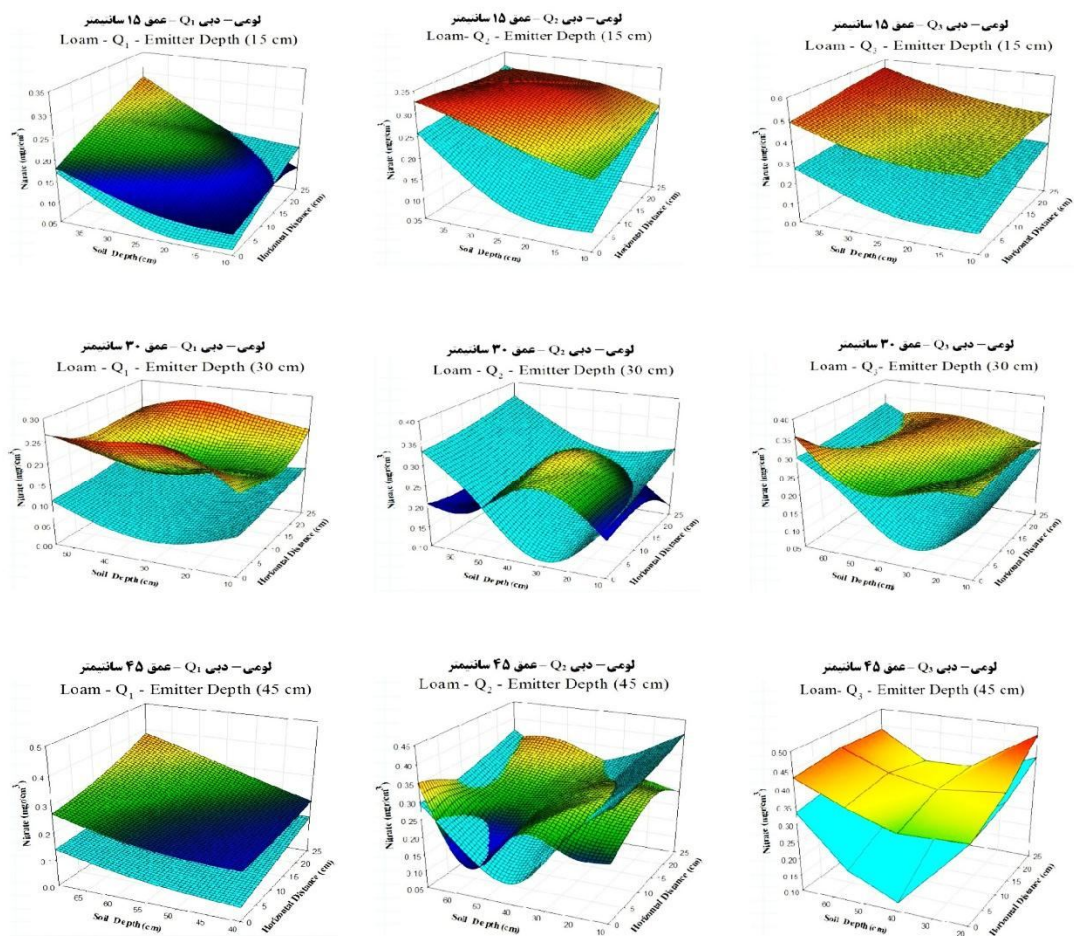
شبییه‌سازی توزیع نیترات در خاک با استفاده پارامترهای زود یافت می‌تواند کمک شایانی به طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی کند. در این مطالعه، به منظور شبیه‌سازی آن، آزمایش‌هایی بر روی سه نوع بافت مختلف خاک و با هدف ارائه معادلاتی به منظور تخمین توزیع نیترات در خاک در جهات مختلف در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی انجام پذیرفت. به منظور تعیین ضرایب و توان‌های معادلات، از روش آنالیز ابعادی استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که معادلات حاصل شده در این مطالعه، قادرند با دقت قابل‌قبولی، توزیع نیترات در خاک در جهات افقی و عمودی را شبیه‌سازی نمایند. همچنین نتایج این پژوهش با مطالعه کریمی و همکاران (۲۰۱۵a, b) که با استفاده از آنالیز ابعادی به ترتیب به شبیه‌سازی سرعت جبهه پیشروی و توزیع مجدد رطوبتی پرداخته بودند، مقایسه گردید و همه این پژوهش‌ها عملکرد بالای آنالیز ابعادی را برای شبیه‌سازی تأیید می‌نمایند. همچنین کاربرد معادلات ارائه شده در این پژوهش در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این سیستم‌ها گردد (۵، ۶).

(جدول ۲) نشان داد که این پارامترها در دامنه قابل‌قبولی می‌باشد. نتایج ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در خاک رسی و برای عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر و برای دبی‌های $(Q_1) 2/4$ ، $(Q_2) 6$ و (Q_3) لیتر در ساعت به ترتیب ۷۶/۲، ۷۲/۳ و ۷۳/۳ درصد می‌باشد. همچنین ضریب همبستگی برای عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر و برای دبی‌های مورد استفاده به ترتیب مقادیر ۶۸/۵، ۷۸/۲ و ۷۰/۵ می‌باشد و پارامترهای آماری خطا هم در جدول ۲ در دامنه مناسبی می‌باشد و برای عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر مقادیر ضریب همبستگی به ترتیب ۶۴/۲، ۶۹/۵ و ۵۹/۴ و پارامترهای آماری نیز مطابق جدول ۲ در دامنه قابل‌قبولی می‌باشد. در شکل ۵ نتایج ارزیابی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی برای خاک لومی نیز علی‌رغم پیچیدگی‌های یون نیترات دارای تخمین دقیقی بوده و پارامترهای آماری (جدول ۳) نیز در دامنه مناسبی می‌باشد. همچنین ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی برای عمق نصب ۱۵ سانتی‌متر و برای دبی‌های مورد استفاده این پژوهش به ترتیب مقادیر ۷۶/۶، ۶۵/۶ و ۸۱/۵ می‌باشد و برای عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر این مقادیر به ترتیب ۶۴/۴، ۷۵/۸ و ۷۲/۹ می‌باشد و برای عمق نصب ۴۵ سانتی‌متر به ترتیب مقادیر ۸۵/۴، ۶۵/۷ و ۷۱/۶ می‌باشد. همچنین نتایج این مقایسه برای خاک شنی نیز به انجام رسید و مدل‌های ارائه شده پیش‌بینی نسبتاً خوبی از الگوی توزیع نیترات داشته (شکل ۶) و پارامترهای آماری نیز در رنج مناسبی هستند (جدول ۴) و ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و



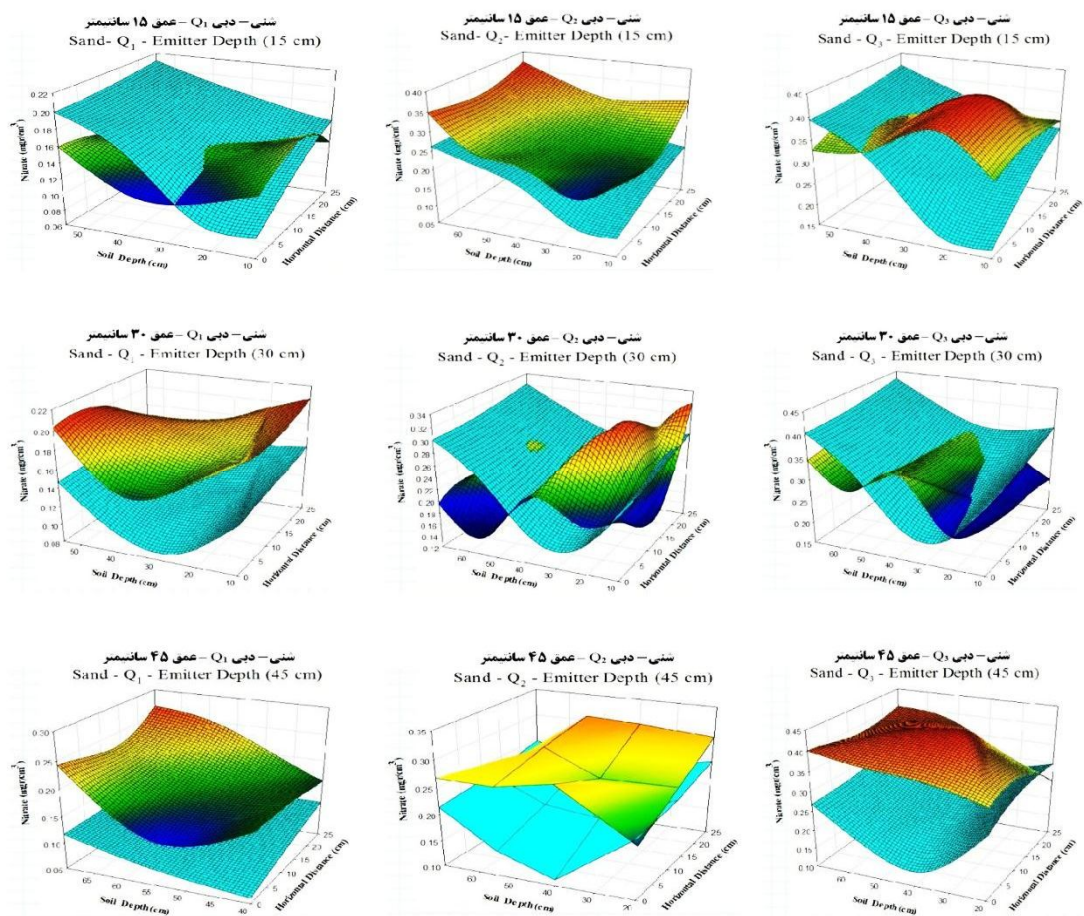
شکل ۴- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توزیع دوبعدی نیترات در خاک رسی برای دبی‌های مورد استفاده و برای اعماق ۱۵ (ردیف اول)، ۳۰ (ردیف دوم) و ۴۵ (ردیف سوم) سانتی‌متر.

Figure 4. Comparison of the measured and simulated two-dimensional distribution of nitrate in the clay soil for the depth of 15cm (First Row), 30 cm (Second Row), 45 cm (Third Row).



شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توزیع دویعدی نیترات در خاک لومی برای دبی‌های مورد استفاده و برای اعماق ۱۵ (ردیف اول)، ۳۰ (ردیف دوم) و ۴۵ (ردیف سوم) سانتی‌متر.

Figure 5. Comparison of the measured and simulated two-dimensional distribution of nitrate in the loamy soil for the depth of 15cm (First Row), 30 cm (Second Row), 45 cm (Third Row).



شکل ۶- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توزیع دوبعدی نیترات در خاک شنی برای دبی‌های مورد استفاده و برای اعماق ۱۵ (ردیف اول)، ۳۰ (ردیف دوم) و ۴۵ (ردیف سوم) سانتی‌متر.

Figure 6. Comparison of the measured and simulated two-dimensional distribution of nitrate in the sandy soil for the depth of 15cm (First Row), 30 cm (Second Row), 45 cm (Third Row).

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

Table 2. Comparing the statistical parameters of the simulation and measured data for nitrate in clay.

R ²	CRM	CD	RMSE	ME	دبی (flow rate)	عمق نصب (cm) (depth)
76.2	0.447	1.29	0.117	0.182	Q ₁	
72.3	-0.155	0.726	0.073	0.142	Q ₂	15
73.3	0.292	0.387	0.12	0.215	Q ₃	
68.5	0.303	2.49	0.153	0.259	Q ₁	
78.2	0.327	0.74	0.078	0.154	Q ₂	30
70.5	0.187	0.887	0.12	0.245	Q ₃	
64.2	0.372	1.47	0.105	0.183	Q ₁	
69.5	-0.036	1.89	0.082	0.176	Q ₂	45
59.4	0.258	0.241	0.141	0.277	Q ₃	

جدول ۳- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای نیترات در خاک لومی.

Table 3. Comparing the statistical parameters of the simulation and measured data for nitrate in loamy soil.

R ²	CRM	CD	RMSE	ME	دبی (flow rate)	عمق نصب (cm) (depth)
76.6	0.205	0.989	0.046	0.081	Q ₁	
65.6	0.265	0.137	0.09	0.151	Q ₂	15
81.5	0.52	0.067	0.222	0.26	Q ₃	
64.4	0.55	0.119	0.129	0.204	Q ₁	
75.8	-0.076	0.34	0.088	0.143	Q ₂	30
72.9	0.216	0.187	0.08	0.139	Q ₃	
85.4	0.515	0.117	0.117	0.15	Q ₁	
65.7	-0.041	0.577	0.073	0.144	Q ₂	45
71.6	0.212	0.155	0.105	0.198	Q ₃	

جدول ۴- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای نیترات در خاک شنی.

Table 4. Comparing the statistical parameters of the simulation and measured data for nitrate in sandy soil.

R ²	CRM	CD	RMSE	ME	دبی (flow rate)	عمق نصب (cm) (depth)
68.5	-0.092	0.128	0.042	0.059	Q ₁	
71.8	0.274	0.294	0.079	0.138	Q ₂	15
67.6	0.125	0.126	0.106	0.229	Q ₃	
76.6	0.274	0.132	0.052	0.069	Q ₁	
77	-0.136	0.536	0.069	0.106	Q ₂	30
62.9	-0.088	0.547	0.057	0.114	Q ₃	
93	0.47	0.164	0.094	0.126	Q ₁	
76.7	0.231	0.253	0.085	0.174	Q ₂	45
64.7	0.367	0.038	0.152	0.232	Q ₃	

منابع

1. Blaine, R.H., Simunek, J., and Hopmans, J.W. 2006. Evaluation of urea–ammonium–nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural water management*. 86: 102-113.
2. Bufon, V.B. 2010. Optimizing Subsurface Drip Irrigation Design and Management with Hydrus-2D/3D Model. Ph.D. thesis, Texas Tech University.
3. Kandelous, M.M., and Simunek, J. 2010a. Comparison of numerical, analytical and empirical models to estimate wetting pattern for surface and subsurface drip irrigation. *Irrig. Sci.* 28: 435-444.
4. Kandelous, M.M., and Simunek, J. 2010b. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. *Agri. Water Manage.* 97: 1070-1076.
5. Karimi, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., and Ababaei, B. 2015a. Developing Equations to Estimate the Advance Velocity of the Wetting Front in Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems by Dimensional Analysis. *Water and Soil Science*. 25: 1. 101-112.
6. Karimi, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., and Ababaei, B. 2015b. Developing Equations to Predict the Pattern of Soils Moisture Redistribution in Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems Using Dimension Analysis. *Water and Soil Conservation*. 21: 6. 223-237.
7. Lamm, F.R., Ayars, J.E., and Nakayama, F.S. 2007. *Micro Irrigation for Crop Production (Design, Operation and Management)*. Elsevier book.
8. Lamm, F.R., Schlege, A.J., and Clark, G.A. 2004. Development of a best management practice for nitrogen fertigation of corn using SDI. *Applied Engineering Agriculture*. 20: 2. 211-220.
9. 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.
10. 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 Manage.* 67: 89-104.
11. Li, J., Sheng, J.H.Y., Li, B., and Liu, Y. 2007. Wetting patterns and nitrate distributions in layered-textural soils under drip irrigation. *Agricultural Sciences in China*. 6: 970. 970-980.
12. Jiusheng, L., Yoder, R.E., Odhiambo, L.O., and Zhang, J. 2004. Simulation of nitrate distribution under Simulation of nitrate distribution under drip irrigation using artificial neural networks. *J. Irrig. Sci.* 23: 29-37.
13. 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. *J. Agric. Engin. Res.* 6: 23. 53-66.
14. Provenzano, G. 2007. Using HYDRUS-2D simulation model to evaluate wetted soil volume in subsurface drip irrigation systems. *J. Irrig. Drain. Eng.* 133: 4. 342-349.
15. Siyal, A.A., and Skaggs, T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural water management*. 96: 893-904.
16. Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., and Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *J. Agric. Water Manage.* 83: 130-134.
17. Sheng, S.Q., Zuoxin, L., Zhenying, W., and Haijun, L. 2007. Simulation of the soil wetting shape under porous pipe sub irrigation using dimensional Analysis. *J. Irrig. Drain.* 56: 389-398.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Developing equations to estimate nitrate distribution pattern in subsurface drip irrigation systems

***B. Karimi¹ and A. Soltani²**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran,

²Faculty of Member, Dept. of Agriculture, Payam Noor University, Iran

Received: 11/10/2015; Accepted: 05/29/2016

Abstract

Background and Objectives: Drip irrigation with fertigation provides an effective and economical way to supply water and nutrients to crops. However, less-than-optimum management of micro irrigation systems may cause inefficient water and nutrient use, thereby diminishing expected yield benefits and contributing to ground water pollution if water and nitrogen applications are excessive. The quality of ground and surface waters is specifically vulnerable in dry regions where agricultural production occurs mostly by irrigation. Robust guidelines for managing micro irrigation systems are needed so that the principles of sustainable agriculture are satisfied.

Materials and Methods: Simulation of nitrate distribution in soil by means of found early parameters can effectively help to design the subsurface drip irrigation system. In this study, in order to develop equations to estimate the nitrate distribution, the experiments were done on three different soil textures and in different directions. In this study, experiments were carried out in a transparent plexy-glass tank (0.5m.1.22m.3m) using three different soil textures (fine, heavy and medium). The drippers were installed at 3 different soil depths (15cm, 30cm and 45cm). The emitter outflows were considered 2.4, 4 and 6 lit/hr with irrigation duration of 6hr. The fertigation treatments include treatments with nitrate concentrations of 125, 250 and 375 mg per liter. The fertigation treatments include treatments with nitrate concentrations of 125, 250 and 375 mg per liter. In order to fulfil the fertigation treatments was used urea (CH₄N₂O) (46% nitrogen).

Results: By using the π theorem of Buckingham and Dimension Analysis (DA), equations were developed to estimate the pattern of nitrate distribution (horizontal and vertical) in three soil textures. These equations are as function of initial nitrate, nitrate concentrations in fertigation, initial moisture, radial distance of points, applied water volume, hydraulic conductivity and emitter outflows. The results of the measured and simulated values for suggested models of nitrate distribution showed that despite the complexity of this ion, specifically the nitrate distribution in different conditions (due to the interactions and reactions of nitrates in the soil due to the phenomenon of the nitrification and denitrification), have a good performance. The average of Root Mean Square Error (RMSE) values in clay soil and for emitter outflows 2.4, 4 and 6 lit/hr were 0.103, 0.117 and 0.109, respectively. These values for loamy soil were 0.119, 0.099 and 0.098, respectively and for sandy soil were 0.075, 0.059 and 0.11, respectively.

Conclusion: The results of the comparisons between simulated and observed values showed that these equations are very capable in predicting the pattern of nitrate distribution in different directions. Considering these equations in designing surface drip irrigation systems could improve system performance.

Keywords: Dimension analysis, Nitrate, Surface drip irrigation, Simulation

* Corresponding Author; Email: bakhtiar.karimi@gmail.com