

## بررسی انتشارپذیری نیترات در خاک ماسه‌ای و شبیه‌سازی آن با هایدروس دوبعدی

سید مرتضی سیدیان<sup>۱</sup>، معصومه فراستی<sup>۲</sup>، علی حشمت پور<sup>۳</sup>، اکبر رسولی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶

### چکیده

کودهای شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی از منابع آلاینده محیط زیست می‌باشند. شناخت عوامل موثر بر حرکت املاح و آب در پروفیل خاک کمک موثری در مدیریت صحیح و کاهش آبتجویی نیترات از منطقه رشد ریشه می‌نماید. در این پژوهش انتشارپذیری نیترات در خاک ماسه‌ای و شبیه‌سازی آن با هایدروس دوبعدی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ارتفاع‌های مختلف ستون خاک ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر ( $H_5-H_1$ ) تهیه و انتشارپذیری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت انجام محاسبات مربوط به تعیین انتشارپذیری، از مدل بریگهام و برای شبیه‌سازی حرکت نیترات از مدل دو بعدی هایدروس استفاده گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، انتشارپذیری خاک مقداری ثابت بوده که در دامنه قابل قبولی نوسان داشت و در محدوده نتایج به دست آمده از سایر مطالعات بود و هیچ‌گونه وابستگی آن به ارتفاع ستون خاک ملاحظه نگردید. نتایج به دست آمده از نرم‌افزار هایدروس نشان داد که با افزایش متوسط فاصله انتقال، مقدار انتشارپذیری نیترات خاک افزایش یافته به طوری که با نزدیک شدن غلظت نمونه‌ها به غلظت نهایی آلاینده مقدار آن ثابت شد.

واژه‌های کلیدی: انتشارپذیری، ضخامت خاک، مدل بریگهام، نیترات، هایدروس.

<sup>۱</sup> . استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد. S.m.seyedian@gmail.com

<sup>۲</sup> . استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه. کرمانشاه. استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس. گنبد، ۰۹۱۸۸۳۰۰۷۸۳، farasati2760@gmail.com (مسئول مکاتبه)

<sup>۳</sup> . استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد. ۰۹۱۸۸۳۱۲۷۸۳، heshmatpoura@gmail.com

<sup>۴</sup> . دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه \_ سنقر، خیابان پاسداران، ۰۹۱۸۴۲۱۲۳۴۳، akbarrasouli6@gmail.com

## مقدمه

روزانه مقادیر زیادی آلاینده، در نتیجه فعالیت‌های انسانی وارد محیط زیست می‌شوند و باعث تخریب آن می‌گردند. مهم‌ترین تأثیر این آلاینده‌ها، نشت آن‌ها در آب‌های زیرزمینی است که در نتیجه آن، منابع آب در دسترس که خود دارای محدودیت می‌باشند دچار آلودگی می‌شوند، بنابراین یافتن معیاری برای مقایسه انتشارپذیری آلاینده‌ها و بررسی آن در انواع خاک‌ها برای به دست آوردن پتانسیل آلوده شدن آبخوان‌ها ضروری بنظر می‌رسد (Besharat et al., 2012).

یکی از شاخص‌های مهم آلودگی منابع آب سطحی، زیرزمینی و زه‌آب جاری در شبکه‌های زهکشی کشاورزی، حضور نیترات می‌باشد که بر اثر کاربرد انواع کودهای شیمیایی، آلی (دامی و انسانی)، تجزیه گیاهان و دیگر باقی مانده‌های آلی در خاک و تخلیه نامناسب فاضلاب به وجود می‌آید. گاهی اوقات باران این عنصر کودی را به طرف آب‌های سطحی و زیرزمینی حرکت می‌دهد (Comeria et al., 2003, Hamilton et al., 1995).

فرایند حرکت آب و آب شویی نیترات در پروفیل خاک بسیار پیچیده است ولی شناخت چگونگی حرکت نیترات در محیط خاک و عوامل موثر بر حرکت آن توسط مدل‌های مختلف ممکن می‌باشد. این مدل‌ها روند حرکت آب و املاح را در سیستم خاک-گیاه و اتمسفر شبیه‌سازی می‌کنند و در صورت وجود ارتباط نزدیک بین داده‌های مزرعه‌ای و پیش‌بینی‌های مدل، می‌توان از آن به عنوان ابزاری قدرتمند در این زمینه استفاده کرد (Haan and Skaggs, 2003).

برخی از مدل‌های مورد استفاده شامل SOIL، MACRO، LEACHN و HYDRUS می‌باشند که با استفاده از آن‌ها می‌توان نیترات شسته شده، انتقال آن به آب‌های زیرزمینی و همچنین مدیریت نیترات را تحت شرایط مختلف پیش‌بینی نمود (Haan and Skaggs, 2003).

Tzitztos et al. (2015) به شبیه‌سازی آلودگی

نیترات در رودخانه کارلا پرداختند. شبیه‌سازی با استفاده از مدل MT3DMS و MODFLOW انجام شد. آنالیز حساسیت نشان داد که عوامل ناشناخته زیادی بر آبشویی نیترات اثر دارند. نتایج نشان داد که بیشتر مناطق آلوده شده در شرق و جنوب منطقه مورد مطالعه قرار داشتند.

مدل هایدروس دو بعدی<sup>۱</sup> یکی از مدل‌های توانمند در امر شبیه‌سازی حرکت آب، املاح و گرما می‌باشد که بر پایه حل عددی معادله ریچاردز عمل می‌کند. این مدل در سال ۱۹۹۸ توسط آزمایشگاه شوری خاک آمریکا ارائه گردید و تا کنون نسخه‌های اصلاحی آن در قالب مدل هایدروس یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی در اختیار محققین قرار گرفته است (آژدری، ۱۳۸۷).

رهبری و همکاران (۱۳۸۵) به شبیه‌سازی انتقال نیترات توسط مدل DRAINMOD-N پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت نیترات برآورد شده با مدل در زیر منطقه ریشه، در اکثر مواقع با غلظت نیترات اندازه‌گیری شده در مزرعه تطابق نسبی خوبی داشت. فراستی و سیدیان (۱۳۹۲) به بررسی اثر فاصله انتقال بر انتشارپذیری کلرید سدیم با استفاده از نرم‌افزار هایدروس دوبعدی پرداختند. نتایج به دست آمده از نرم افزار هایدروس نشان داد که با افزایش متوسط فاصله انتقال، مقدار انتشارپذیری خاک افزایش یافته به طوری که با نزدیک شدن غلظت نمونه‌ها به غلظت نهایی آلاینده مقدار آن ثابت شد.

Huang et al. (2006) بیان داشت که تغییرات انتشارپذیری در محیط‌های غیر همگن نسبت به محیط همگن از معنی‌داری بیشتری برخوردار است. Moazed et al. (2012) به بررسی اثر بافت و ضخامت خاک بر انتشارپذیری آلاینده‌ها پرداختند. ایشان در آزمایش‌های خود از بافت متوسط و اختلاط با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ماسه درشت در ضخامت‌های مختلف از ۱۵ سانتی‌متر تا ۱۲۰ سانتی‌متر استفاده کردند. نتایج

<sup>۱</sup>. Hydrus-2D

مورد نظر آب به داخل آن اضافه می‌شد. سپس به تدریج خاک از بالای ستون اضافه شد تا به ارتفاع مورد نظر برسد. بعد از ریختن یک حجم مشخص از خاک، به وسیله یک تخته چوبی خاک به آرامی کوبیده شدند تا به حداکثر تراکم طبیعی برسند. بایستی قبل از شروع آزمایش از خارج شدن حباب‌های هوا مطمئن شد. برای این کار ضرباتی به بدنه ستون وارد شد. پس از آماده شدن ستون خاک اشباع، از بالای ستون خاک، محلول نمک تهیه شده به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر اضافه شد و تا پایان آزمایش این ارتفاع با اضافه کردن محلول به صورت دستی، ثابت نگه داشته شد. نمونه برداری برای اندازه‌گیری غلظت نیترات خروجی از انتهای ستون انجام شد. اولین قرائت در زمان  $t=0$  انجام شد. آزمایش‌های انتقال با استفاده از بررسی ضریب انتشارپذیری، منحنی‌های رخنه و تعداد حجم آب تخلخل به کار گرفته شده ارزیابی می‌شوند.

در این پژوهش جهت به دست آوردن ضریب انتشارپذیری از مدل بریگهام استفاده شده است (فراستی و سیدیان، ۱۳۹۲).

$$\alpha = \frac{D-D^*}{V} \quad (1)$$

$$D = \left(\frac{VL}{8}\right) \times (Y_{0.84} - Y_{0.16})^2 \quad (2)$$

$$Y = \left[\frac{U-1}{U^{1/2}}\right] \quad (3)$$

که در روابط بالا:  $Y_{0.84}$  و  $Y_{0.16}$  به ترتیب عبارتند از مقدار  $Y$  متناسب با غلظت نسبی برابر  $0/16$  و  $0/84$ ،  $Y$  غلظت نسبی،  $U$  تعداد حجم آب تخلخل به کار رفته و  $V$  سرعت حقیقی (cm/s)،  $\alpha$  ضریب انتشارپذیری،  $L$  طول ستون خاک و  $D^*$  ضریب پخشیدگی مولکولی می‌باشد که برای خاک‌های ماسه‌ای برابر  $1 \times 10^{-5}$  سانتی‌متر مربع بر ثانیه می‌باشد.

نشان داد که میزان انتشارپذیری برای بافت‌های متوسط و اختلاط با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد با ماسه درشت و ضخامت ۱۲۰-۱۵ سانتی‌متر به ترتیب  $0/17$  تا  $0/46$ ،  $0/05$  تا  $0/85$  و  $3$  تا  $1/6$  تا  $4/6$  به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، انتشارپذیری آلاینده‌ها در خاک به بافت و ساختمان خاک وابسته است. بررسی میزان انتشارپذیری نیترات در خاک می‌تواند در برنامه‌ریزی به منظور حفظ سفره‌های آب زیرزمینی از منابع آلاینده و کنترل آلودگی در منابع آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به مطالب ذکر شده هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان انتشارپذیری نیترات در خاک ماسه‌ای و شبیه‌سازی آن با هایدروس دوبعدی بود.

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌های موردنظر در آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی انجام گرفت. برای انجام آزمایش‌ها از خاک ماسه‌ای برای پژوهش حاضر استفاده شد. خاک موردنظر پس از شسته شدن، به وسیله الک‌های استاندارد دانه‌بندی شده تا اندازه ذرات و منحنی دانه‌بندی آن‌ها به دست آید. سپس مقادیر  $D_{60}$ ،  $D_{10}$  و ضریب یکنواختی خاک‌ها محاسبه شد. پس از الک کردن خاک‌ها، ارتفاع‌های مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از ستون خاک ( $H_1$ ،  $H_2$ ،  $H_3$ ،  $H_4$  و  $H_5$ ) انتخاب گردید. هر ستون خاک دارای ۳ تکرار آزمایش و ۱۰ سانتی‌متر فضای آزاد بود. برای شبیه‌سازی انتقال املاح در مزرعه از فرض ثابت بودن تخلخل خاک ستون‌ها و همگن بودن محیط متخلخل خاک استفاده گردید. تنها پارامتر متغیر در مدت آزمایش‌ها، ارتفاع ستون خاک بود (Ayotamuno, 1998). برای تهیه محلول با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات از نمک نیترات پتاسیم استفاده گردید.

برای انجام آزمایش ابتدا ستون‌ها به صورت عمودی نصب شدند و سپس انتهای ستون‌های خاک درون لوله مسدود شده و تا ارتفاع کمی بالاتر از ارتفاع

## مدل هایدروس

حرکت آب در خاک بر اساس اطلاعات میدانی با استفاده از مدل هایدروس دوبعدی (Huang et al., 2006) شبیه‌سازی شد. معادله حاکم بر جریان آب در خاک معادله دو بعدی ریچاردز می‌باشد:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S \quad (4)$$

که در روابط بالا:  $\theta$  درصد رطوبت حجمی ( $L^3L^{-3}$ )،  $h$  بار فشار آب در خاک ( $L$ )،  $t$  زمان ( $T$ )،  $K$  هدایت هایدرولیکی ( $LT^{-1}$ )،  $x$  جهت افقی و  $z$  جهت عمودی را نشان می‌دهند. همچنین  $S$  نشان‌دهنده مقدار جذب آب توسط ریشه از خاک می‌باشد (لیتر مکعب بر لیتر مکعب بر زمان). مشخصات هایدرولیکی خاک با استفاده از رابطه ونگنوختن - معلم به دست آمد (Simunek et al., 2006).

## شرایط اولیه و انتهایی داده شده به مدل

شرایط اولیه توزیع نیترات در خاک میزان نیترات اولیه خاک در نظر گرفته شد. همچنین فرض شد از جوانب جریانی صورت نمی‌گیرد و مرز انتهایی مرز زهکش آزاد است. مدل مذکور در حل معادله جریان و انتقال املاح شرایط مرزی مناسبی را در ارتباط با اتمسفر و بخش زهکش در نظر می‌گیرد.

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$K(h) = K_s S_e^L \left[ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (6)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad m = 1 - 1/n \quad (7)$$

که در روابط بالا:  $s$  درصد آب خاک اشباع،  $r$  درصد آب خاک باقیمانده،  $K_s$  هدایت هایدرولیکی اشباع،  $\alpha$  عکس مکش ورود هوا در حالت اشباع و  $n$ ،  $m$  و  $L$  پارامترهای وابسته به خاک هستند که با استفاده از برازش بر معادله مورد نظر به دست می‌آیند.

پارامترهای مدل از قبیل ویژگی‌های هایدرولیکی خاک شامل پارامترهای منحنی رطوبتی خاک و نیز پارامتر هدایت هایدرولیکی اشباع خاک ( $K_s$ )، رطوبت باقیمانده ( $\theta_r$ ) و رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) در مدل ونگنوختن معلم، با استفاده از اطلاعات تجزیه مکانیکی خاک (بافت خاک) و اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری به وسیله مدل رزتا<sup>۱</sup> پیش‌بینی گردیدند.

## پارامترهای هایدرولیکی خاک

این پارامترها توسط مدل رزتا تعیین می‌شود. این مدل در نرم‌افزار هایدروس دوبعدی قرار دارد و بر اساس شبکه عصبی مصنوعی کار می‌کند. مدل مذکور با وارد کردن داده‌های بافت خاک، درصد دانه‌بندی خاک، درصد رطوبت در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم پارامترهای هایدرولیکی خاک را تخمین می‌زند که مقدار عددی این پارامترها برای اجرای مدل هایدروس ضروری می‌باشد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی خاک نشان داد بافت خاک مورد مطالعه ماسه‌ای بود. با توجه به درصد‌های مختلف ذرات شن، سیلت و رس خاک مورد مطالعه پارامترهای هایدرولیکی جداگانه به دست آمد (جدول ۱).

در جدول (۱)  $\theta_s$  رطوبت اشباع خاک،  $\theta_r$  رطوبت باقی‌مانده خاک،  $\alpha$  و  $n$  ضرایب مربوط به توابع هایدرولیکی خاک هستند و  $K_s$  ضریب نفوذپذیری خاک در حالت اشباع می‌باشد که توسط شبکه عصبی تخمین زده می‌شود. همانگونه که گفته شد اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک مورد آزمایش به منظور اجرای مدل هایدروس دو بعدی ضروری است. مشخصات فیزیکی و هایدرولیکی اندازه‌گیری شده خاک مورد آزمایش در جدول (۲) نشان داده شده است.

<sup>۱</sup>. Rosseta

جدول (۱): پارامترهای هیدرولیکی تولید شده توسط مدل هایدروس دو بعدی

پارامتر	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	Ks	l
	۰/۰۴۶	۰/۳۸۲	۰/۰۳۷۵	۲/۴۱	۰/۱۹	۰/۵

جدول (۲): مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خاک مورد مطالعه

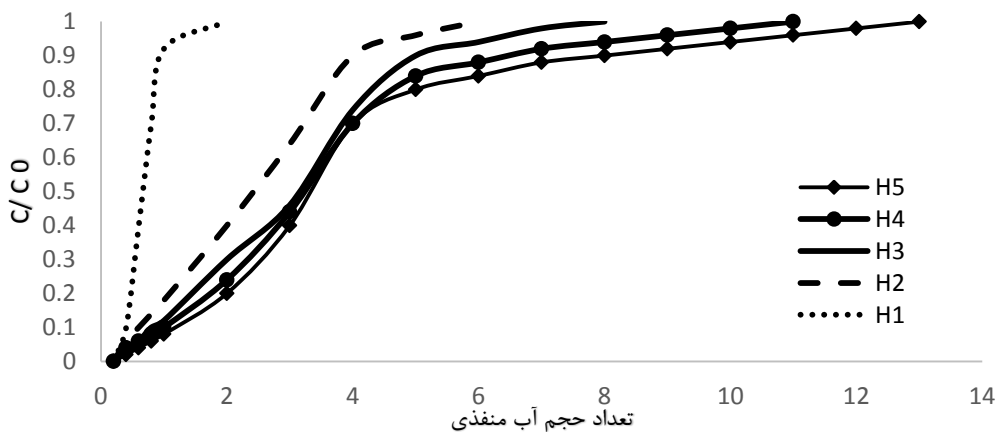
نوع خاک	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	CU	n
ماسه ای	۰/۱۳	۰/۲۹	۲/۲۳	۰/۴۵

هم‌خوانی داشته است. Al-Tabba and Ayotamuno (2000) نتیجه گرفته‌اند که با افزایش ارتفاع ستون خاک، مقدار انتشارپذیری آن افزایش یافته به طوری که با دو برابر شدن ضخامت خاک، انتشارپذیری آن ۱۸ درصد افزایش یافته و این مقادیر بالاتر از یک بوده است، اما مقادیر به دست آمده در این تحقیق تا ۱ سانتی‌متر نوسان داشته است. منحنی‌های تعداد حجم آب تخلخل بکار رفته را می‌توان در شکل (۱) مشاهده نمود. در این نمودار، محور عمودی غلظت نسبی و محور افقی تعداد حجم آب تخلخل به کار رفته برای ارتفاع‌های H<sub>5</sub>-H<sub>1</sub> در آزمایش‌ها با گذشت زمان می‌باشد. با مقایسه منحنی‌های رخنه آزمایش مذکور ملاحظه گردید که در همه ارتفاع ستون خاک، منحنی‌های رخنه رسم شده از حالت متقارن خارج شده است. در همه ارتفاع‌های ستون خاک زمان رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵ با خروج یک حجم آب تخلخل انجام نشده بلکه در نسبت کمتری اتفاق افتاد. نتیجه به دست آمده با تحقیقات (2000) Al-Tabba and Ayotamuno مطابقت داشت. با مقایسه زمان‌های رسیدن به غلظت‌های نسبی ۰/۱۶ و ۰/۸۴ در تمامی آزمایش‌ها ملاحظه گردید که خاک ماسه‌ای با ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر از مدت زمان بیشتری برای رسیدن به غلظت نسبی ۰/۱۶ و ۰/۸۴ برخوردار می‌باشد. همچنین ملاحظه شد که سرعت انتشارپذیری نیترا در ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر کمتر از سایر ضخامت‌ها بود. به طوری که برای رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵، خاک ماسه‌ای با ضخامت ۱۰۰ سانتی‌متر بیشترین حجم آب تخلخل بکار رفته را به خود اختصاص داد. در شکل (۱)

مقادیر ضریب یکنواختی کمتر از ۴ برای اطمینان از همگنی خاک‌ها پیشنهاد شده است (۳). ضریب یکنواختی خاک ماسه‌ای مورد آزمایش ۲/۲۳ به دست آمد (جدول ۲). لذا خاک ماسه‌ای مورد مطالعه از همگنی مناسبی برخوردار بود. مقادیر انتشارپذیری ارتفاع‌های مختلف ستون خاک با استفاده از مدل تحلیلی بریگهام محاسبه گردید. مقدار انتشارپذیری برای ضخامت‌های H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>, H<sub>4</sub> و H<sub>5</sub> به ترتیب برابر ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۹ و ۱/۰ سانتی‌متر به دست آمد. با افزایش ارتفاع خاک، مقادیر انتشارپذیری افزایش یافته اما دامنه تفاوت آن‌ها گسترده نبود و کمتر از ۱ گردید. مقدار افزایش بیان شده برای انتشارپذیری خاک با دو برابر شدن ضخامت آن، آن قدر کم است که می‌توان گفت به دلیل خطاهای اجتناب‌ناپذیر، این مقدار افزایش و یا حتی بیشتر در شدت جریان‌های متفاوت برای یک ضخامت ثابت خاک امکان‌پذیر است. با افزایش ارتفاع ستون خاک، تغییرات هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف و یا در هر نقطه در جهات مختلف افزایش یافت به طوری که دامنه گسترده مقادیر انتشارپذیری خود دلیلی بر این ادعا می‌باشد. در نتایج مطالعات سایر محققین (Simunek et al., 2006, Comerio et al., 2003) ضریب انتشارپذیری در محدوده ۰/۰۱ تا ۱ سانتی‌متر بود و دامنه مقادیر متوسط ضریب انتشارپذیری خاک ماسه‌ای مورد مطالعه نیز در این محدوده بود. با توجه به نتایج حاصله، می‌توان گفت که هیچ‌گونه وابستگی ضریب انتشارپذیری خاک به ارتفاع ستون خاک در خاک‌های ماسه‌ای همگن در شرایط اشباع وجود نداشته که با تحقیقات (2012) Moazed et al.,

باشد پدیده عقب افتادگی از شدت بیشتری برخوردار بوده و منحنی رخنه متناسب با آن، چولگی به راست پیدا می‌کند. برای این که آلاینده در داخل خاک به صورت پیستونی حرکت نماید بایستی شدت جریان انتقال و یا به عبارتی سرعت داری در تمامی نقاط داخل محیط متخلخل و در هر نقطه در تمامی جهات با هم برابر باشد، که لازمه چنین موضوعی، همگن و همگون بودن خاک است. ایجاد چنین محیط متخلخلی کاری مشکل و حتی غیر ممکن می‌باشد. در این پژوهش سعی شد محیط متخلخل همگنی ایجاد شود به طوری که قطر دانه‌های خاک در بازه کوچکی انتخاب شد تا ضریب یکنواختی (CU) خاک از ۴ کمتر باشد. اما ایجاد یک محیط هم تراکم، کاری مشکل و دشوار می‌باشد.

مشاهده می‌گردد که منحنی‌های رخنه نمونه‌های  $H_4$  و  $H_5$  تقریباً تا رسیدن به غلظت نهایی به موازات هم می‌باشد در حالی که این موضوع در منحنی‌های رخنه سایر ستون‌های خاک صدق نمی‌کند. با توجه به شکل (۱) در همه ستون‌های خاک قبل از غلظت نسبی ۰/۵، حجم آب تخلخل برابر یک گردیده است. همچنین سرعت انتقال آلاینده در نمونه  $H_5$  کمتر از سایر ارتفاع‌ها بود. به طوری که برای رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵، نمونه‌های  $H_5$  بیشترین حجم آب تخلخل به کار رفته را به خود اختصاص داده است. منحنی‌های رخنه مربوط به این آزمایش‌ها، بیشترین چولگی را به سمت راست دارند. در منحنی رخنه، در  $H_1$  غلظت خروجی سریع‌تر از سایر ستون‌ها برابر غلظت ورودی شد که دلیل آن کمتر بودن ارتفاع ستون خاک (۲۰ سانتی‌متر) نسبت به سایر ضخامت‌ها می‌باشد. مطالعات تجربی Besharat et al. نشان داده است که وقتی شدت جریان آب در محیط متخلخل کم

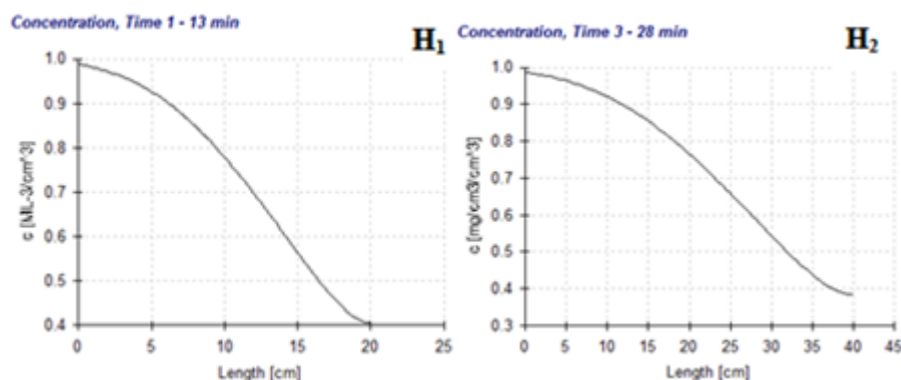


شکل (۱): منحنی رخنه مربوط به ارتفاع‌های  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$

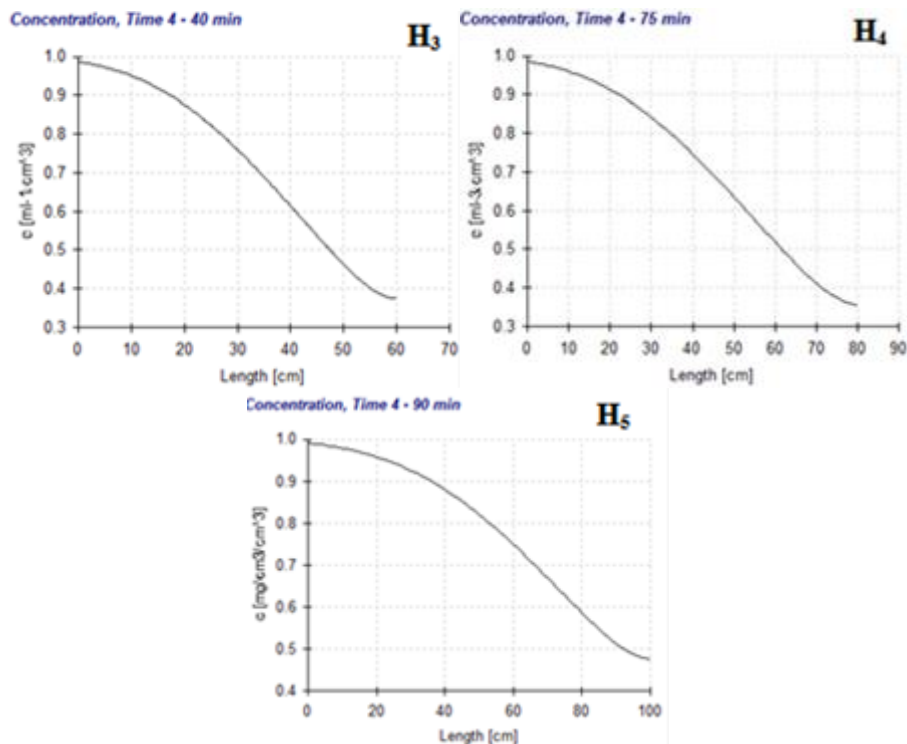
## شبیه‌سازی هایدروس

شبیه‌سازی تغییرات غلظت نسبی (نسبت غلظت خروجی به غلظت ورودی نیترات) نسبت به ارتفاع ستون خاک مورد مطالعه در شکل‌های (۲) تا (۵) نشان داده شده است. کل مدت زمان آزمایش برای هر یک از ارتفاع‌های  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$  به چهار مرحله تقسیم گردید. در شکل‌های (۲) تا (۵) محور افقی نشان‌دهنده افزایش ارتفاع از بالای ستون خاک و محور عمودی نشان‌دهنده غلظت نسبی نیترات می‌باشد. با افزایش فاصله از سطح خاک (افزایش ارتفاع) انتظار می‌رود که غلظت خروجی نیترات افزایش یافته و غلظت نسبی بیشتر شده است اما میزان افزایش غلظت نسبی در ارتفاع‌های مختلف ستون خاک متفاوت است. زمان‌های ذکر شده در بالای نمودارها زمان گذارنده شده نسبت به شروع آزمایش را نشان می‌دهد. به عنوان مثال در شکل (۲) زمان ۱۲ دقیقه در بالای نمودار  $H_1$ ، زمان ۱۲ دقیقه پس از شروع آزمایش را در ستون خاک ۲۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد.

شکل (۲) تغییرات غلظت نسبی (غلظت ورودی/غلظت خروجی) را در مرحله اول زمانی ۱۳، ۲۸، ۴۰، ۷۵ و ۹۰ دقیقه به ترتیب برای ارتفاع‌های  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$  نشان می‌دهد. در  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$  نیترات به ترتیب تا ۵/۵، ۱۱، ۱۶، ۲۱ و ۳۴ سانتی‌متری از سطح خاک پیشروی نموده است. با توجه به اعداد به دست آمده نیترات ورودی به انتهای ستون‌های خاک نرسیده و خروجی صفر است. مدت زمان آزمایش در  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$  به ترتیب ۱۳، ۲۸، ۴۰، ۷۵ و ۹۰ دقیقه بود. همانطور که مشاهده می‌گردد در  $H_1$  پس از ۱۳ دقیقه نیترات به ۵/۵ سانتی‌متری خاک رسیده است و در  $H_2$  پس از ۹۰ دقیقه نیترات به ۳۴ سانتی‌متری ستون خاک رسیده است. با توجه به شکل (۲) در ارتفاع‌های کمتر ستون خاک، نیترات به سرعت در ستون خاک پخش گردیده است و با افزایش ارتفاع به دلیل اعوجاج و پیچ و خم‌های مسیر حرکت نیترات، سرعت پخش نیترات کاهش یافت.



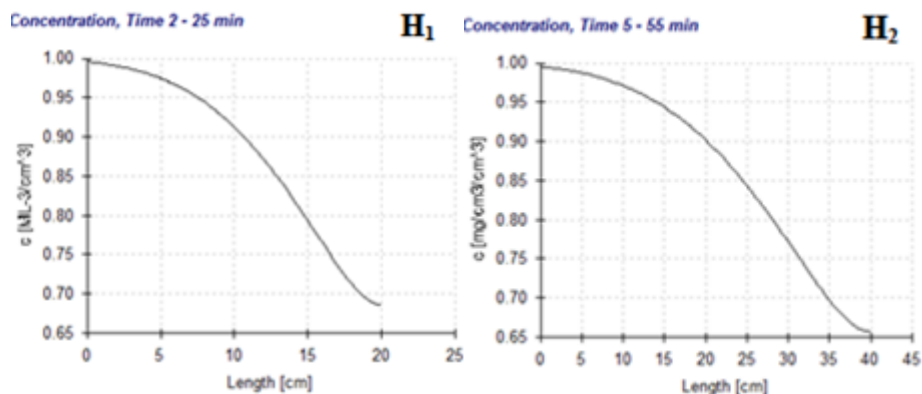
شکل (۲): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله اول زمانی



ادامه شکل (۲): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله اول زمانی

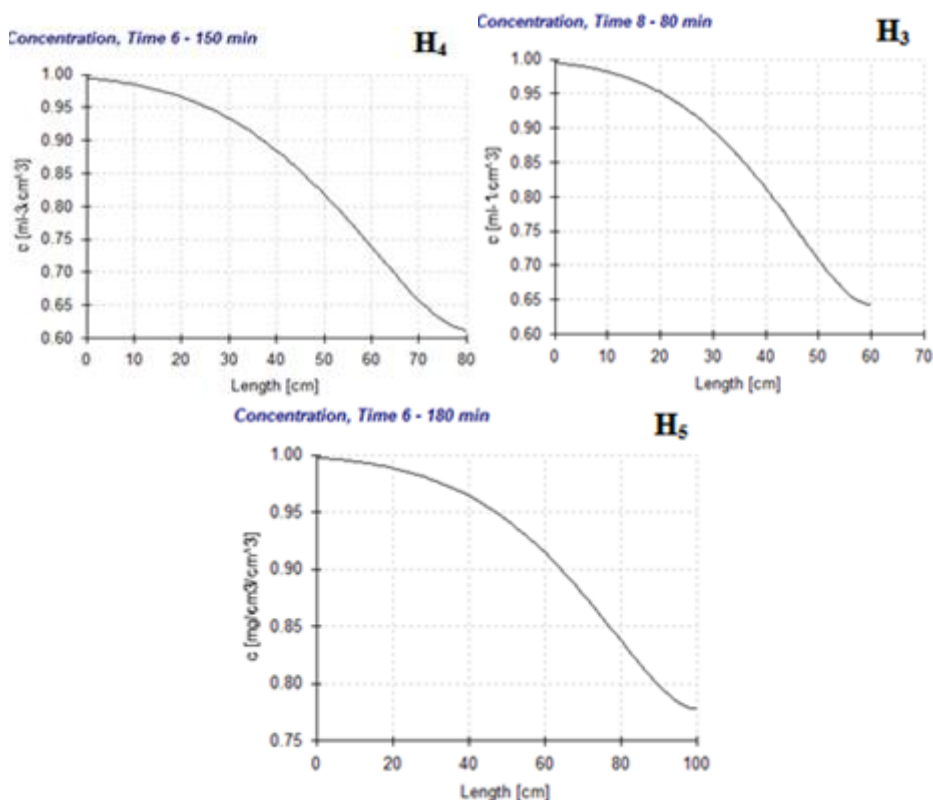
پیشروی نموده است. سرعت پخش نیترات در ارتفاع  $H_1$  بیشتر و در طول  $H_5$  کمتر از سایر ارتفاع‌ها بوده است. در این مرحله نیز در هیچ یک از ارتفاع‌ها نیترات خروجی از ستون خاک با نیترات ورودی برابر نشده است.

شکل (۳) نتایج شبیه سازی را در مرحله دوم زمانی پس از مدت زمان ۲۵، ۵۵، ۸۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه به ترتیب برای  $H_1$ ،  $H_2$ ،  $H_3$ ،  $H_4$  و  $H_5$  نشان می‌دهد. در  $H_1$ ،  $H_2$ ،  $H_3$  و  $H_4$  نیترات به ترتیب تا ۱۰، ۱۹، ۲۸، ۳۵ و ۶۱ سانتی‌متری از سطح خاک



شکل (۳): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله دوم زمانی

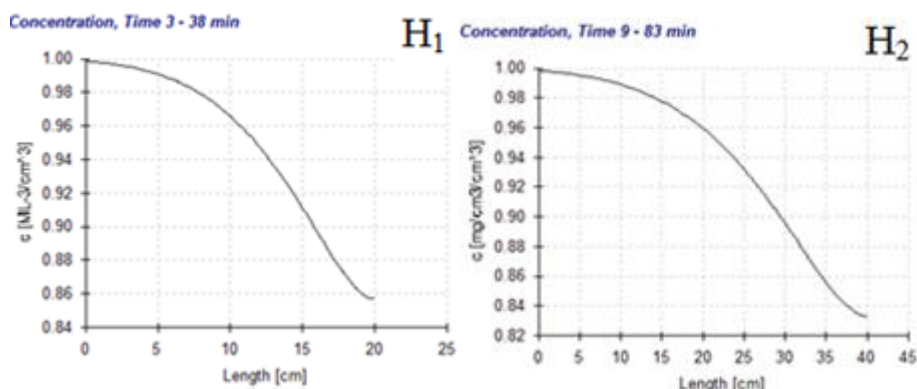




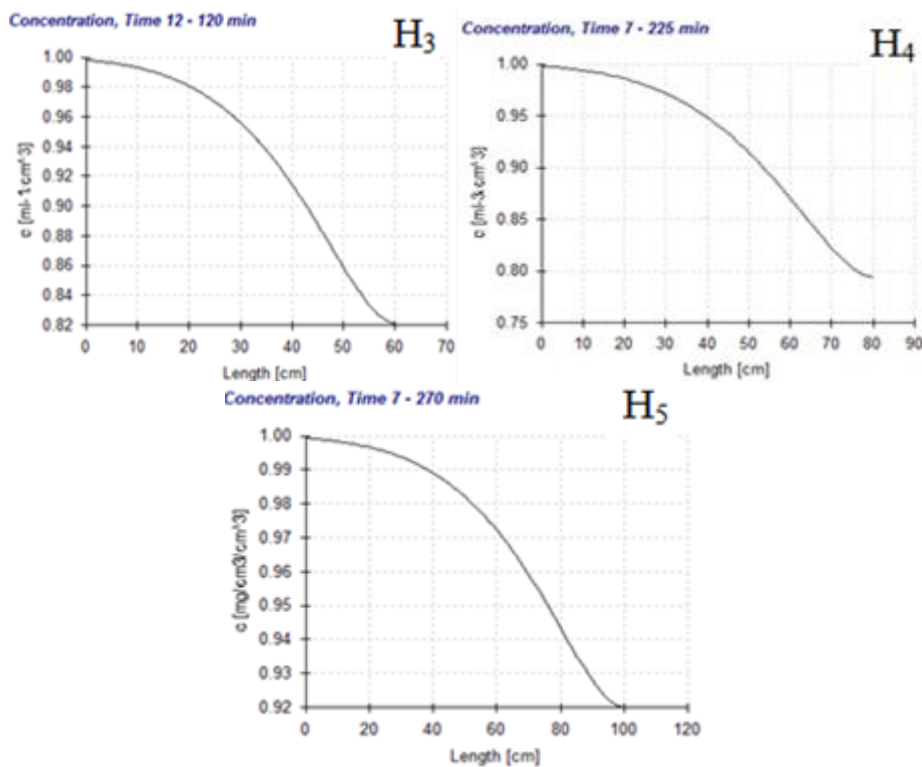
ادامه شکل (۳): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله دوم زمانی

خاک پیشروی نموده است. در این مرحله در هیچ یک از ارتفاع‌ها غلظت نیترات خروجی با نیترات ورودی برابر نشد. با توجه به شکل (۴) سرعت پخش نیترات در طول  $H_1$  و  $H_2$  بیشتر بوده و در ارتفاع‌های  $H_4$ ،  $H_3$  و  $H_5$  سرعت پخش نیترات کاهش یافت.

شکل (۴) نتایج شبیه‌سازی را در مرحله سوم زمانی پس از مدت زمان  $37/5$ ،  $82/5$ ،  $120$ ،  $225$  و  $270$  دقیقه به ترتیب برای  $H_1$ ،  $H_2$ ،  $H_3$ ،  $H_4$  و  $H_5$  نشان می‌دهد. در  $H_1$ ،  $H_2$ ،  $H_3$  و  $H_4$  نیترات به ترتیب تا  $15$ ،  $28$ ،  $41$ ،  $51$  و  $60$  سانتی‌متری از سطح



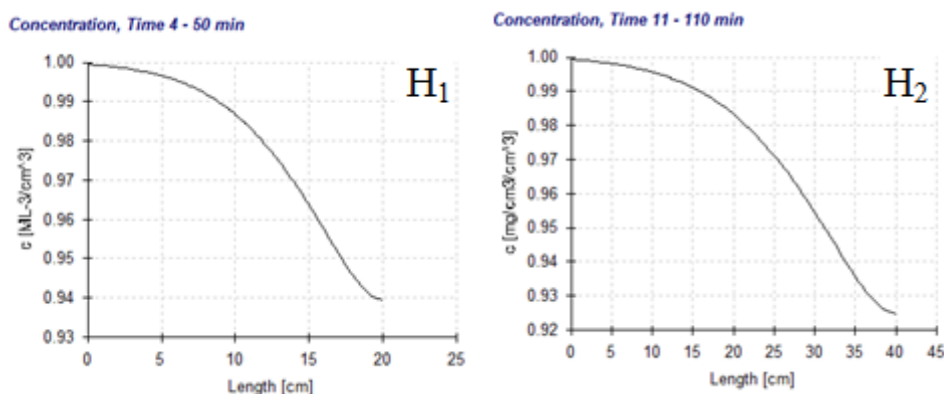
شکل (۴): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله سوم زمانی



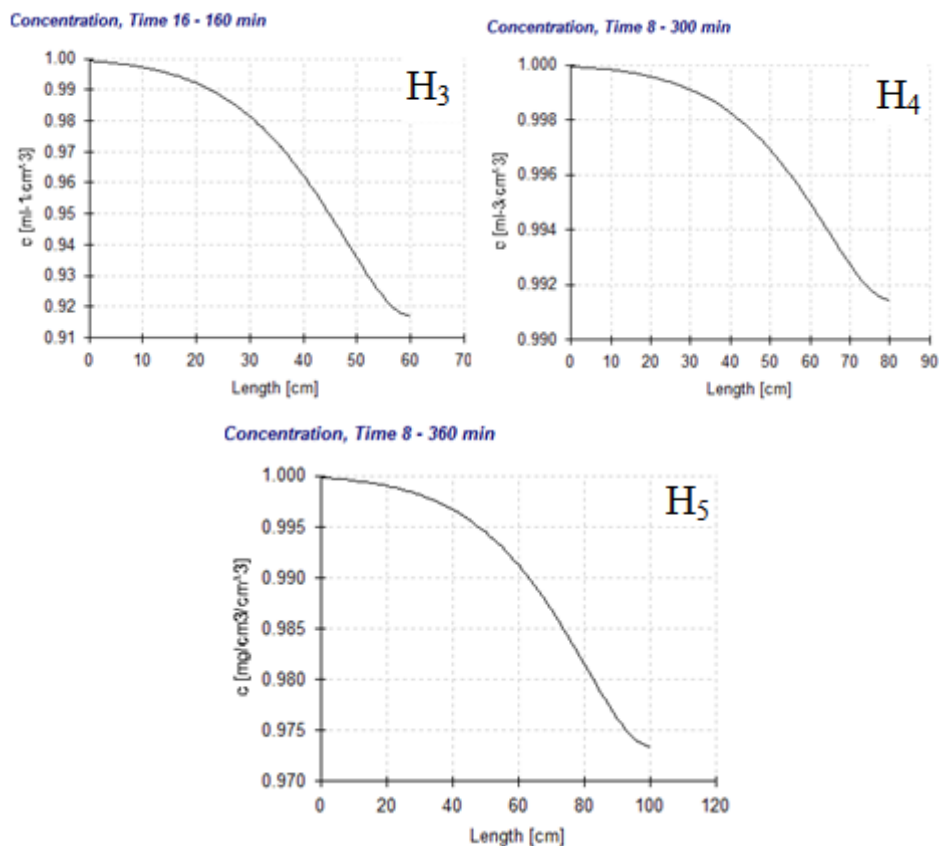
ادامه شکل (۴): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله سوم زمانی

پخش نیترات در طول H<sub>1</sub> بیشتر بوده و در مدت زمان کمتری غلظت نیترات خروجی برابر ورودی شد. اما در ارتفاع H<sub>5</sub> غلظت خروجی نیترات پس از ۳۶۰ دقیقه برابر غلظت ورودی شد که نشان دهنده سرعت پایین پخش نیترات در این ارتفاع می باشد.

شکل (۵) نتایج شبیه‌سازی را در مرحله چهارم زمانی پس از مدت زمان ۵۰، ۱۱۰، ۱۶۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ دقیقه به ترتیب برای H<sub>1</sub>، H<sub>2</sub>، H<sub>3</sub>، H<sub>4</sub> و H<sub>5</sub> نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۵)، در همه ارتفاع‌ها، نیترات در تمام ستون خاک پخش گردید. سرعت



شکل (۵): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله چهارم زمانی



ادامه شکل (۵): تغییرات غلظت نسبی نیترات برای ارتفاع‌های مختلف خاک در مرحله چهارم زمانی

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، انتشارپذیری خاک تقریباً مقداری ثابت بوده که در دامنه قابل قبولی نوسان داشت و در محدوده نتایج به دست آمده از سایر مطالعات بود و هیچگونه وابستگی آن به ارتفاع ستون خاک ملاحظه نگردید. در فواصل انتقال کوتاه، سرعت حرکت آلاینده از سرعت واقعی سیال در محیط متخلخل بیشتر بوده و زمان رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵ در تعداد حجم آب تخلخل کمتری از واحد روی می‌دهد. مطالعات متعددی وابستگی انتشارپذیری خاک را به متوسط فاصله انتقال گزارش کرده‌اند. این وابستگی به اشتباه تحت عنوان اثرات مقیاس در گزارش‌ها و مطالعات آزمایشگاهی و میدانی بیان شده است. متوسط فاصله انتقال در واقع بیانگر موقعیت پیشانی جبهه آلاینده در زمان مشخص  $t$

با توجه به نتایج مدل بریگهام و نرم‌افزار هایدروس دوبعدی، با افزایش ارتفاع ستون خاک سرعت پخش نیترات در خاک کاهش یافت. غلظت خروجی نیترات در ستون خاک ۲۰ سانتی‌متری سریع‌تر از سایر ستون‌های خاک با غلظت ورودی برابر گردید. زیرا با افزایش ارتفاع ستون خاک مسیر حرکت نیترات طولانی‌تر شده و دیرتر غلظت خروجی به انتهای ستون خاک رسیده و مدت زمان یکسان شدن غلظت نیترات ورودی و خروجی بیشتر می‌شود. شبیه‌سازی نیترات با استفاده از نرم‌افزار هایدروس نشان داد که با افزایش متوسط فاصله انتقال مدت زمان و میزان انتشارپذیری نیترات در خاک افزایش یافته به طوری که با نزدیک شدن غلظت نمونه‌ها به غلظت نهایی آلاینده مقدار آن ثابت شده است. نتایج به دست آمده با تحقیقات Anderson et al., (2012) و فراستی و سیدیان (۱۳۹۲) مطابقت داشت.

### تقدیر و تشکر

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه گنبدکاووس بابت حمایت مالی این طرح تشکر می‌گردد.

می‌باشد. نتایج به دست آمده از نرم‌افزار هایدروس نشان داد که با افزایش متوسط فاصله انتقال مقدار انتشارپذیری نترات در خاک افزایش یافته به طوری که با نزدیک شدن غلظت نمونه‌ها به غلظت نهایی آلاینده مقدار آن ثابت شد اما تغییرات ناچیز بود.

### منابع

- اژدری، خ. ۱۳۸۷. شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل HYDRUS-2D. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۲(۴):۱۱-۵۰.
- فراستی، م. و م. سیدیان. ۱۳۹۲. اثر فاصله انتقال بر انتشارپذیری کلرید سدیم با استفاده از نرم‌افزار HYDRUS 2D. نشریه آب و خاک مشهد، ۷(۴): ۸۳۱-۸۲۳.
- Al-Tabbaa, A. and J. M. Ayotamuno. 2000. One dimensional solute transport in stratified sands at short travel distances. *Journal of Hazardous Materials*. 73: 1-15.
- Andersona, S. H., B. Haeffnerb and R. L. Peytonc. 2012. Influence of Scale on Chemical Dispersivity in Geomedia, *Procedia Computer Science* 12:242 – 247.
- Ayotamuno, J. M. 1998. Cotaminant Transport and immobilization in Stratified Sands. Ph. D Thesis, University of Birmingham, UK .
- Besharat, S., A. H., Nazemi, A. A. Sadroldini, and S. Shahmorad. 2012. Applications of HYDRUS and the Proposed SWMRUM Software in Simulating Water Flow with Root Water Uptake through Soils. *Water and Science Journal*. 21(4):121-137
- Comeira, M. R., R. M. Fernando and L. S. Pereira. 2003. Monitoring water land NO<sub>3</sub>-N in irrigated maize fields in the Sorraia Watershed, Portugal. *Agricultural Water Management*, (60): 199-216.
- Haan, P. K. and R. W. Skaggs 2003. Effect of Parameter Uncertainty on DRAINMOD Predictions: II.
- Hamilton, P. A., and D. A. Helsel. 1995. Effects of agriculture on ground-water quality in five regions of the USates. *Ground Water*, (33): 217-226.
- Huang, G., Q. Huang and Z. Hongbin. 2006. Evidence of one-dimensional scale-dependent fractional advection–dispersion, *Journal of Contaminant Hydrology*. 85 (1-2):53-71
- Moazed, H., E. Maroufpour, H. A. Kashkouli and J.M.V. Samani. 2009. Laboratory Scale Effect of Aquifer Thickness on Dispersivity of Porous Media. *Journal of Applied Sciences* 9(3):542-548. ISSN1812-5654.
- Simunek, J., M. Sejna and M. Th. Van Genuchten. 2006. The HYDRUS software package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, User Manual Version 1.0, PC-Progress, Prague, Czech Republic.
- Tziatzios, G., P. Sidiropoulos, L. Vasiliades, N. Mylopoulos and A. Laboratory. 2015. Contamination in lake karala aquifer. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece.

## Evaluation of Nitrate Dispersivity in Sandy Soil and Simulation by HYDRUS-2D

Morteza Seyedian<sup>1</sup>, Masoumeh Farasati<sup>2</sup>, Ali Heshmatpour<sup>3</sup>, Akbar Rasooli<sup>4</sup>

### Abstract

Chemical fertilizers used in agriculture are sources of environmental pollution. Factors affecting the movement of salt and water in the soil profile help effective management and reduce nitrate leaching from the root zone. In the present study,  $\text{NO}_3^-$  dispersivity in sandy soil and simulation by hydrus2D has been investigated. In order to perform it, 5 different height of soil column 20, 40, 60, 80 and 100 cm (H1-H5) selected. Brigham model was used for calculation of dispersivity and HYDRUS software was used for simulation of  $\text{NO}_3^-$  movement. Results of the HYDRUS simulation indicated that the dispersivity of sandy porous media was not dependent on the height. The result of HYDRUS showed that with increase of aquifer length, dispersivity increased but it was not significant.

**Keywords:** Brigham model, Dispersivity, HYDRUS,  $\text{NO}_3^-$ , Soil columns.

<sup>1</sup>. Assistant Professor, agricultural faculty, Gonbad University, Gonbad, Iran. Email: S.m.seyedian@gmail.com

<sup>2</sup>. Corresponding author, Assistant Professor, agricultural faculty, Razi University, Kermanshah, Iran. Agricultural faculty, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. Assistant Professor, agricultural faculty, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. Email: Farasati2760@gmail.com

<sup>3</sup>. Assistant Professor, agricultural faculty, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. Email: heshmatpoura@gmail.com

<sup>4</sup>. Graduate student, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: akbarrasouli6@gmail.com