

## اثر فاصله انتقال بر انتشارپذیری کلرید سدیم با استفاده از نرم افزار HYDRUS 2D

معصومه فراستی<sup>۱\*</sup> - سید مرتضی سیدیان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۴

### چکیده

انتشارپذیری یک خاصیت قابل اندازه گیری محیط متخلخل و یکی از پارامترهای مهم معادله جابجایی انتشار می باشد که در بررسی و حل مسائل مربوط به انتقال آلودگی و حفاظت از منابع آبهای زیرزمینی استفاده می شود. گاهی این کمیت برای کل محیط متخلخل ثابت در نظر گرفته می شود ولی در طول سه دهه اخیر، مطالعات فراوان نشان داده است که انتشارپذیری به فاصله انتقال و یا طول آبخوان نیز بستگی دارد. در این پژوهش به بررسی اثر ضخامت آبخوان در انتشارپذیری محلول کلرید سدیم در خاکهای ماسه ای پرداخته شده است. بدین منظور ضخامت های مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی متر تهیه و انتشارپذیری آنها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت انجام محاسبات مربوط به تعیین انتشارپذیری، از مدل بریگهام و برای شبیه سازی حرکت کلریدسدیم از مدل دو بعدی HYDRUS استفاده گردید. استفاده گردید. مدل بریگهام حل مستقیمی از معادله کلاسیک جابجایی - انتشار است که برای فواصل انتقال کوتاه پیشنهاد شده است. 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 ضخامت خاک ملاحظه نگردید. نتایج به دست آمده از نرم افزار HYDRUS 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 شده است.

واژه های کلیدی: انتشارپذیری، ضخامت خاک، HYDRUS، مدل بریگهام، کلرید سدیم

### مقدمه

منابع علمی منتشر شده در مورد آلودگی محیط زیست و عواقب آن برای جوامع بشری، گیاهان و حیوانات، افزایش چشمگیری یافته است. علاقمندی عمومی نیز به همین نسبت فزونی یافته و به موازات آن مطالعات در خصوص طبیعت محیط متخلخل (توزیع اندازه خلل و فرج، خاکدانه) و عملکرد فیزیکی و شیمیایی این محیط بر پدیده هایی چون پخشیدگی، انتشار، دفع آنیونی، جذب یا فرایندهای تبادل اثرات کاربردی روش های کنترل و پیشگیری، در حال گسترش می باشد (۳).

بشارت و همکاران (۴) در تحقیقی با استفاده از نرم افزار HYDRUS در شبیه سازی حرکت و جذب آب در خاک به ارائه نرم افزار SWMRUM پرداختند. در این تحقیق دو مدل حرکت آب در خاک شامل مدل جدید ارائه شده (SWMRUM) و دیگری نرم افزار HYDRUS بر اساس اندازه گیریهای صحرایی در باغ سیب مقایسه گردیدند. نتایج شبیه سازی شده با داده های رطوبت خاک حاصل از اندازه گیریهای میدانی مقایسه و همبستگی قابل قبولی بین آنها مشاهده شد. نتایج نشان داد که میزان جذب حداکثر آب در حدود  $0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  در عمق ۳۰-۲۵ سانتیمتری خاک و حداقل جذب

همه زباله ها و آلودگی هایی که در نتیجه فعالیت انسان به محیط زیست منتهی شوند، آلاینده هستند، صرفه نظر از اینکه غلظت آن ها باعث ایجاد تخریب مهمی در محیط زیست گردد (۶). سرعت حرکت آلاینده ها به سمت آب های زیرزمینی بستگی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آلاینده، بارندگی، آبیاری و عمق آب زیرزمینی دارد. اگر چه همه عوامل فوق الذکر بر سرعت حرکت آلاینده ها در داخل خاک موثر هستند اما پارامترها و مشخصات فیزیکی خاک به عنوان بزرگ ترین معضل در زمینه حفاظت منابع آب های زیرزمینی است و در این میان تشخیص محل و فرآیندهایی که عامل انتقال آلاینده ها به داخل سیستم های جریان آب زیرزمینی هستند از اهم مسائل به شمار می آید. مطالعه بر روی انتقال و حرکت اصلاح در محیط متخلخل از دهه های پیش آغاز شده است. در سالهای اخیر

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه  
\* - نویسنده مسئول: (Email: Farasati2760@gmail.com)

۲- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس

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 وابستگی انتشارپذیری کلرید سدیم به ضخامت خاک و شبیه سازی حرکت کلرید سدیم در خاکهای ماسه ای می باشد.

## مواد و روش ها

محل اجرای طرح آزمایشگاه آبیاری گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی بود.

### انتخاب خاک مورد آزمایش

خاک ماسه ای متوسط برای پژوهش حاضر انتخاب گردید. از دلایل انتخاب خاک ماسه ای می توان به عدم وجود واکنش های شیمیایی - زمین شناسی در این خاک ها اشاره نمود. همچنین مواد تشکیل دهنده آبخوان ها ماسه، شن و یا سنگریزه هایی می باشد که هنوز تحکیم نشده هستند (۴). ماسه ها پس از شسته شدن، به وسیله الک های استاندارد دانه بندی شده تا اندازه ذرات و منحنی دانه بندی آنها به دست آید. سپس مقادیر D10، D60 و ضریب یکنواختی (CU=D60/D10) برای ماسه ها محاسبه می گردد. پس از الک کردن خاک ها، آزمایش در ضخامت های ۲۰ (T1)، ۴۰ (T2)، ۶۰ (T3)، ۸۰ (T4) و ۱۰۰ (T5) سانتی متر صورت گرفت. آزمایش در شرایط یکسان صورت گرفته و تنها پارامتر متغیر در مدت آزمایشات، ضخامت خاک بود. لازم به یادآوری است که هر ستون خاک دارای ۳ تکرار آزمایش و ۱۰ سانتی متر فضای آزاد بود. فرضیات آزمایشات برای شبیه سازی انتقال املاح در مزرعه عبارت بودند از ۱- تخلخل هر یک از خاک ها ثابت است و ۲- محیط متخلخل خاک ها همگن و کاملاً اشباع است. در این تحقیق کلرید سدیم به عنوان آلاینده پایدار انتخاب شد. از دلایل انتخاب این ماده می توان قابل دسترس بودن، بی خطر بودن، سهولت و دقت اندازه گیری غلظت آن به کمک دستگاه هدایت سنج را نام برد. محلول کلرید سدیم با هدایت الکتریکی ۳ میلی موس بر سانتیمتر تهیه گردید.

### روش انجام آزمایش

پس از آماده کردن ستونهای خاک و محلول کلرید سدیم با غلظت ۳ میلی موس بر سانتیمتر، ابتدا ستونهای خاک با آب مقطر اشباع گردید. بدین منظور ستون ها به صورت عمودی در آزمایشگاه آبیاری نصب شدند و سپس انتهای ستونهای خاک درون لوله مسدود شده و آب به داخل آن تا ارتفاع کمی بالاتر از ارتفاع مورد نظر اضافه شد. بعد از ریختن یک حجم مشخص از خاک، به وسیله یک تخته چوبی ماسه ها به آرامی کوبیده می شدند تا به حداکثر تراکم طبیعی برسند. بایستی قبل از شروع آزمایش از خارج شدن حباب های هوا

در حدود  $1 \text{ d}^{-1} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} / 0.05$  در عمق ۸۰ سانتیمتر اتفاق می افتد (۵). ویرنگا و وانگونختن (۱۱) آزمایش هایی در دو نوع ستون خاک، یک ستون کوچک با طول ۳۰ سانتی متر و قطر ۵/۱ سانتی متر و یک ستون بزرگ با طول ۶۰۰ سانتی متر و قطر ۹۵ سانتی متر انجام دادند. هر کدام از ستون ها با خاک شن ریز لومی با اندازه ذرات حدود یک میلی متر پر شدند به طوری که وزن مخصوص ظاهری خاک ها  $1/57$  گرم بر سانتی متر مکعب بود. متوسط مقدار انتشارپذیری ( $\alpha$ ) وقتی که تریتوم و کلرید به داخل ستون های کوچک وارد گردید به ترتیب  $0.08$  و  $0.087$  سانتی متر بدست آمد. انتشارپذیری در ستون های بزرگ برابر با ۵ سانتی متر بود در حالی که در ستون های کوچک در حدود ۱ سانتی متر به دست آمد (۱۲). آل طبا و همکاران (۱) در یک تانک افقی آزمایشگاهی به طول ۰/۴۵ متر، عرض ۰/۳۸ متر و ارتفاع ۰/۲۵ متر با استفاده از خاک های ماسه ای همگن در سه اندازه ریز، متوسط و درشت در حالت اشباع، تحت شرایط جریان یک بعدی با آلاینده کلرید سدیم، دریافتند که متوسط سرعت حرکت آلاینده در فواصل انتقال کوتاه بیشتر از متوسط سرعت حرکت آب در داخل خلل و فرج است. انتشارپذیری ماسه درشت  $7/64$  سانتی متر، ماسه متوسط  $6/3$  سانتی متر و ماسه ریز  $4/27$  سانتی متر به دست آمد. آنها همچنین در آزمایشی بر روی ماسه متوسط همگن در سه ضخامت  $8, 18$  و  $25$  سانتی متر نتیجه گرفتند که رفتار انتشار به وسیله ضخامت خاک (حجم خاک) نیز کنترل شده و تنها وابسته به فاصله انتقال نیست. معاضد و همکاران (۷) در تحقیقی به بررسی وابستگی انتشارپذیری به ضخامت آن در خاک های ماسه ای همگن درشت و متوسط در شرایط اشباع پرداخت. آزمایشات در ضخامت های اولیه ۱۰۰ میلی متر و ۲ تا ۱۰ برابر ضخامت اولیه (تا ۱۰۰۰ میلی متر) در هر دو خاک ماسه ای انجام شد. مقدار انتشارپذیری به دست آمده برای خاک های ماسه ای درشت و متوسط به ترتیب در محدوده های  $0.31$  تا  $0.64$  و  $0.13$  تا  $0.46$  سانتی متر محاسبه گردید. نتایج حاصله بیانگر عدم وابستگی انتشارپذیری به ضخامت خاک در خاک های ماسه ای همگن درشت و متوسط بوده و تغییرات به دست آمده در مقادیر انتشارپذیری خاک ها ناشی از عوامل متفاوتی از جمله خطای آزمایشات می باشد. اندرسون و همکاران (۲) به بررسی اثر مقیاس بر انتشارپذیری شیمیایی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که که معادله جابجایی - انتشار برای مطالعه ستون ها برای محیط متخلخل طبیعی مناسب بود اما برای محیط متخلخل همگن مناسب نبود. با استفاده از رابطه بین جرم و شعاع، مقادیر ابعادی به دست آمده در محدوده مناسبی قرار گرفت. نتایج نشان داد که انتشارپذیری ممکن است به حجم نمونه گیری نسبت به حرکت املاح به طور مستقیم بستگی داشته باشد.

به هر حال، بررسی میزان انتشارپذیری در ضخامتهای مختلف خاک می تواند در برنامه ریزی جهت حفظ سفره های آب زیرزمینی از

$$K(h) = K_s S_e^L \left[ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (۶)$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad m = 1 - 1/n \quad (۷)$$

که در آن: s درصد آب خاک اشباع، r درصد آب خاک باقیمانده، KS هدایت هیدرولیکی اشباع،  $\alpha$  معکوس مقدار ورود هوا در حالت اشباع و n، m و L پارامترهای وابسته به خاک هستند که با استفاده از برآزش در معادله مورد نظر بدست می آیند.

پارامترهای مدل از قبیل ویژگی های هیدرولیکی خاک شامل پارامترهای منحنی رطوبتی خاک و نیز پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (KS)، رطوبت باقی مانده ( $\theta_r$ ) و رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) در مدل ون گنوختن معلم، با استفاده از اطلاعات تجزیه مکانیکی خاک (بافت خاک) و اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری به وسیله مدل Roseta پیش بینی گردیدند.

### شرایط مرزی

معادله انتقال املاح یک معادله مشتق جزئی غیر خطی است که دارای دو متغیر مستقل زمان (t) و مکان (X) و یک متغیر وابسته غلظت (C) است. این نوع معادلات دارای جواب های زیادی هستند و برای این که جواب واحدی از آن ها به دست آید، باید شرایط اولیه و شرایط مرزی سیستم، تعریف شود (۱۰). در این تحقیق، با توجه به این که جریان آب (آبشویی) به صورت اشباع ماندگار اعمال گردید، فقط شرایط مرزی در ابتدا و انتهای ستون خاک تعریف شد. در مرز بالایی ستون، شرایط بار آبی ثابت در نظر گرفته شد و در تمام طول مدت آزمایش، ارتفاع آب روی ستون خاک ۱۰ سانتی متر ثابت بود. برای مرز پایینی ستون خاک، جریان ثابت با پتانسیل فشاری صفر در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خاک تهیه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. به منظور بررسی و اطمینان از همگنی خاک مورد مطالعه، ضریب یکنواختی خاک ماسه ای محاسبه شد. ضریب یکنواختی ۲/۲۳ می باشد. مقادیر ضریب یکنواختی کمتر از ۴ برای اطمینان از همگنی خاک ها پیشنهاد شده است (۳). لذا خاک ماسه ای از همگنی مناسبی برخوردار است.

مطمئن شد. برای این کار ضرباتی به بدنه ستون وارد می شد. حال ستون های خاک برای انجام آزمایشات آماده است. در ابتدا از بالای ستون خاک، محلول کلرید سدیم تهیه شده به ارتفاع ۱۰ سانتی متر اضافه شد و تا پایان آزمایش این ارتفاع با اضافه کردن محلول ثابت نگه داشته شد. همزمان با شروع آزمایش، نمونه برای اندازه گیری غلظت تهیه می شد. اولین قرائت در زمان t=0 انجام شد. آزمایشات تا رسیدن غلظت نمونه ها به غلظت نهایی ۳ میلی موس بر سانتی متر ادامه یافت. شکل شماتیک انجام آزمایش و وسایل مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش جهت به دست آوردن ضریب انتشارپذیری از مدل پرگهام استفاده شده است.

$$D = (VL/8)(Y_{0.84} - Y_{0.16})^2 \quad (۱)$$

$$Y = \left[ \frac{(U-1)}{U^{1/2}} \right] \quad (۲)$$

$$\alpha = (D - D^*)/V \quad (۳)$$

که در آن:  $Y_{0.84}$  و  $Y_{0.16}$  به ترتیب عبارتند از مقدار y متناسب با غلظت نسبی برابر ۰/۱۶ و ۰/۸۴، U: تعداد حجم آب تخلخل به کار رفته و V: سرعت حقیقی ( $\alpha$ ، cm/s): ضریب انتشارپذیری و  $D^*$ : ضریب پخشیدگی مولکولی می باشد که برای خاکهای ماسه ای برابر  $1 \times 10^{-5}$  سانتیمتر مربع بر ثانیه می باشد.

### مدل HYDRUS

حرکت آب در خاک بر اساس اطلاعات میدانی با استفاده از مدل HYDRUS دوبعدی (۹) شبیه سازی شد. معادله حاکم بر جریان آب در خاک معادله دو بعدی ریچاردز می باشد:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S \quad (۴)$$

که در آن  $\theta$  درصد رطوبت حجمی ( $L^3 L^{-3}$ )، h بار فشار آب در خاک (L)، t زمان (T)،  $\square(T)$ ، K هدایت هیدرولیکی ( $L T^{-1}$ )، x جهت افقی و z جهت عمودی را نشان می دهند. همچنین S نشان دهنده مقدار جذب آب توسط ریشه از خاک می باشد ( $L^3 L^{-3} T^{-1}$ ) مشخصات هیدرولیکی خاک با استفاده از رابطه ون گنوختن معلم بدست آمد (۱۱).

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^m)^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \quad (۵)$$

جدول ۱ - مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خاک مورد مطالعه

نوع خاک	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	CU	n
ماسه بادی	۰/۱۳	۰/۲۹	۲/۲۳	۰/۴۴

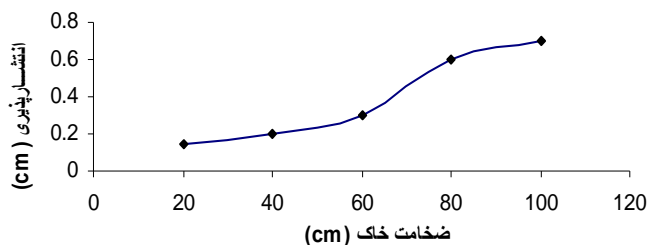
افزایش بیان شده برای انتشارپذیری خاک با دو برابر شدن ضخامت آن، آن قدر کم است که می توان گفت به دلیل خطاهای اجتناب ناپذیر، این مقدار افزایش و یا حتی بیشتر در شدت جریان های متفاوت برای یک ضخامت ثابت خاک امکان پذیر است.

منحنی های تعداد حجم آب تخلخل بکار رفته را می توان در شکل ۲ مشاهده نمود. در این نمودار، محور عمودی غلظت نسبی و محور افقی تعداد حجم آب تخلخل به کار رفته در آزمایش ها با گذشت زمان می باشد. همانطور که می دانیم آزمایش های انتقال با استفاده از بررسی ضریب انتشارپذیری، منحنی های رخنه و تعداد حجم آب تخلخل به کار گرفته شده ارزیابی می شوند. با مقایسه منحنی های رخنه آزمایش مذکور ملاحظه گردید که در همه ضخامت ها، منحنی های رخنه رسم شده از حالت متقارن خارج شده است. در همه ضخامت ها قبل از غلظت نسبی ۰/۵، حجم آب تخلخل برابر یک گردیده است. نتیجه به دست آمده با تحقیقات آل طبا و همکاران (۱) که گزارش کرده اند در فواصل انتقال کوتاه، زمان رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵ با خروج یک حجم آب تخلخل انجام نمی شود بلکه در نسبت کمتری اتفاق می افتد مطابقت داشته است. با مقایسه زمان های رسیدن به غلظت های نسبی ۰/۱۶ و ۰/۸۴ در تمامی آزمایش ها ملاحظه می شود که خاک ماسه ای با ضخامت ۱۰۰ سانتی متر از مدت زمان بیشتری برای رسیدن به غلظت نسبی ۰/۱۶ و ۰/۸۴ برخوردار می باشد. همچنین ملاحظه می شود که سرعت انتقال آلاینده در این ضخامت کمتر از سایر ضخامت ها می باشد. به طوری که برای رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵، خاک ماسه ای با ضخامت ۱۰۰ سانتی متر بیشترین حجم آب تخلخل بکار رفته را به خود اختصاص داده است.

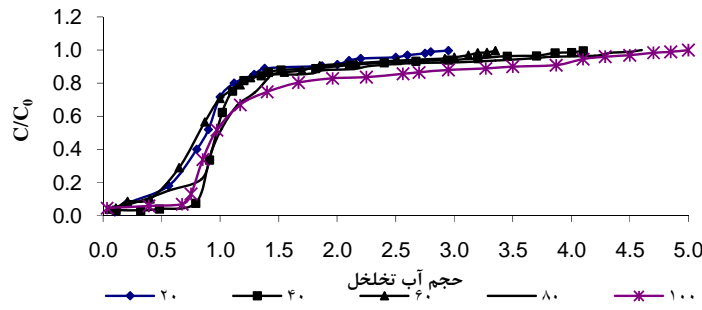
در این تحقیق، تمامی پارامترها ثابت و فقط ضخامت خاک متغیر بود. شدت جریان انتقال در آزمایش خاک ماسه ای  $10^{-3} \times 2/3$  متر بر ثانیه بود. پنج آزمایش از ضخامت های ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی متر، انجام شد. در موقع افزودن ماسه ها به داخل تانک آزمایشگاهی و کوبیدن ماسه ها با تخته چوبی سعی شد که محیط متخلخل یکنواخت و همگنی بدست آید.

مقادیر انتشارپذیری ضخامت های مختلف با استفاده از مدل تحلیلی بریگهام محاسبه گردید که در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱، حداقل مقدار انتشارپذیری ۰/۱۵ سانتی متر مربوط به ضخامت ۲۰ سانتی متر و حداکثر مقدار انتشارپذیری ۰/۷ سانتی متر مربوط به ضخامت ۱۰۰ سانتی متر و انحراف معیار ۰/۲۴ می باشد. با افزایش ضخامت خاک، مقادیر انتشارپذیری افزایش یافته اما دامنه تفاوت آنها گسترده نیست. با افزایش ضخامت خاک، تغییرات هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف و یا در هر نقطه در جهات مختلف افزایش یافته است به طوری که با اطمینان می توان گفت که دامنه گسترده مقادیر انتشارپذیری خود دلیلی بر این ادعا می باشد. دامنه مقادیر متوسط ضریب انتشارپذیری خاک ماسه ای در محدوده نتایج مطالعات سایر محققین (۸ و ۱۳) می باشد که مقادیر ضریب انتشارپذیری به دست آمده در مطالعات آزمایشگاهی در محدوده ۰/۰۱ تا ۱ سانتی متر ذکر کرده اند.

با توجه به نتایج حاصله (شکل ۱)، می توان گفت که هیچگونه وابستگی ضریب انتشارپذیری خاک به ضخامت آن در خاک های ماسه ای همگن در شرایط اشباع وجود ندارد که با تحقیقات معاضد و همکاران (۶) همخوانی داشته است. آل طبا و همکاران (۱) نتیجه گرفته اند که با افزایش ضخامت خاک، مقدار انتشارپذیری آن افزایش یافته به طوری که با دو برابر شدن ضخامت خاک، انتشارپذیری آن ۱۸ درصد افزایش می یابد. در مورد نتایج آل طبا و همکاران (۱) یادآوری نکات زیر ضروری است: آزمایش های آل طبا و همکاران (۱) در سه ضخامت ۸، ۱۸ و ۲۵ سانتی متر خاک ماسه ای متوسط و با شدت جریان  $10^{-5} \times 4/5$  متر بر ثانیه انجام شده است. بنابراین از گستردگی ضخامت و یا تکرارهای کافی برخوردار نیست. آل طبا و همکاران (۱) برای خاک ماسه ای متوسط در ضخامت های ۸، ۱۸ و ۲۵ سانتی متر، مقدار انتشارپذیری را به ترتیب ۵/۳، ۶/۳ و ۷/۲ سانتی متر به دست آورده اند. ملاحظه می شود مقادیر انتشارپذیری به دست آمده با نتایج مطالعات آزمایشگاهی سایر محققین (۸ و ۱۳) تطابق ندارد، به طوری که مقادیر به دست آمده در مطالعات آزمایشگاهی در محدوده ۰/۰۱ تا ۱ سانتی متر بوده است. مقدار



شکل ۱- مقادیر انتشارپذیری برای خاکهای ماسه ای در ضخامت های مختلف



شکل ۲- منحنی رخنه مربوط به خاک ماسه بادی با ضخامت های مختلف

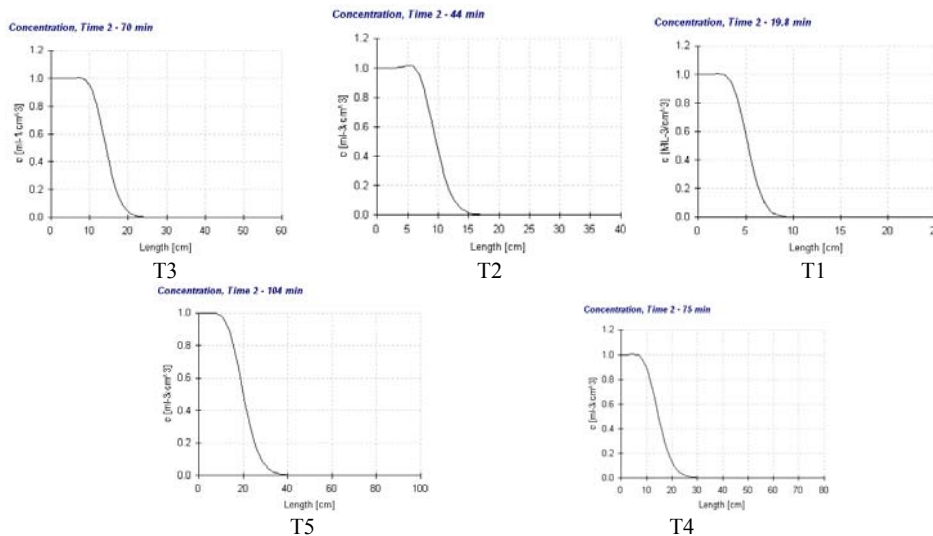
ستون خاک پخش گردیده است و با افزایش ضخامت، سرعت پخش کلرید سدیم کاهش یافته است. هنوز در هیچ یک از ضخامت ها کلرید سدیم به انتهای ستون نرسیده بنابراین غلظت خروجی صفر می باشد. شکل ۳، تغییرات غلظت خروجی کلرید سدیم را در مقابل طول ستون خاک در مرحله اول زمانی نشان می دهد. در T1، T2، T3، T4 و T5 کلرید سدیم به ترتیب تا ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری از سطح خاک پیشروی نموده است. سرعت پخش کلرید سدیم در طول T1 بیشتر و در طول T5 کمتر از سایر ضخامت ها می باشد.

شکل ۴، تغییرات غلظت خروجی کلرید سدیم را در مقابل طول ستون خاک در مرحله دوم زمانی نشان می دهد. در T1، T2، T3، T4 و T5 کلرید سدیم به ترتیب تا ۱۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۵ سانتیمتری از سطح خاک پیشروی نموده است که نشان دهنده سرعت پخش بالای کلرید سدیم در ضخامت T1 و سرعت پایین تر در ضخامت T5 می باشد.

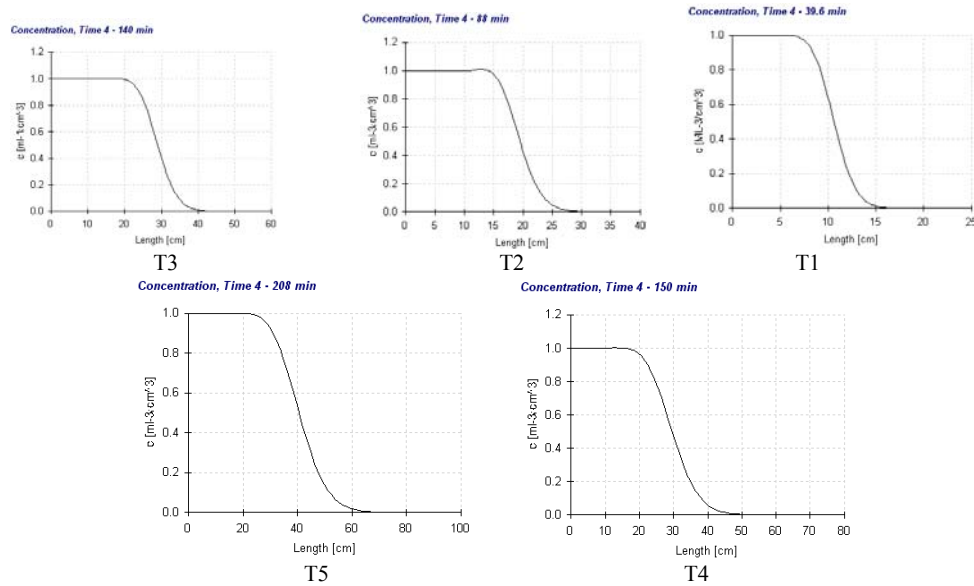
با توجه به نحوه حرکت آلاینده در داخل محیط متخلخل که بیانگر عدم یکسان بودن هدایت هیدرولیکی خاک در نقاط مختلف و جهات مختلف می باشد می توان این موضوع را یکی از دلایل اختلافات ناچیز بین انتشارپذیری محاسبه شده برای خاک مورد مطالعه بیان نمود.

### نتایج به دست آمده از HYDRUS

شبیه سازی حرکت کلرید سدیم در خاک مورد مطالعه در چهار مرحله برای هر یک از ضخامت های مورد مطالعه در شکل های ۳-۶ نشان داده شده است. مدت زمان آزمایش برای هر یک از بافت ها به چهار مرحله تقسیم گردیده است. شکل ۳ نتایج شبیه سازی را در مرحله اول زمان اجرای مدل پس از مدت زمان ۱۹/۸، ۴۴، ۷۰، ۷۵ و ۱۰۶ دقیقه به ترتیب برای ضخامت های T1 تا T5 نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد در T1 کلرید سدیم به سرعت در



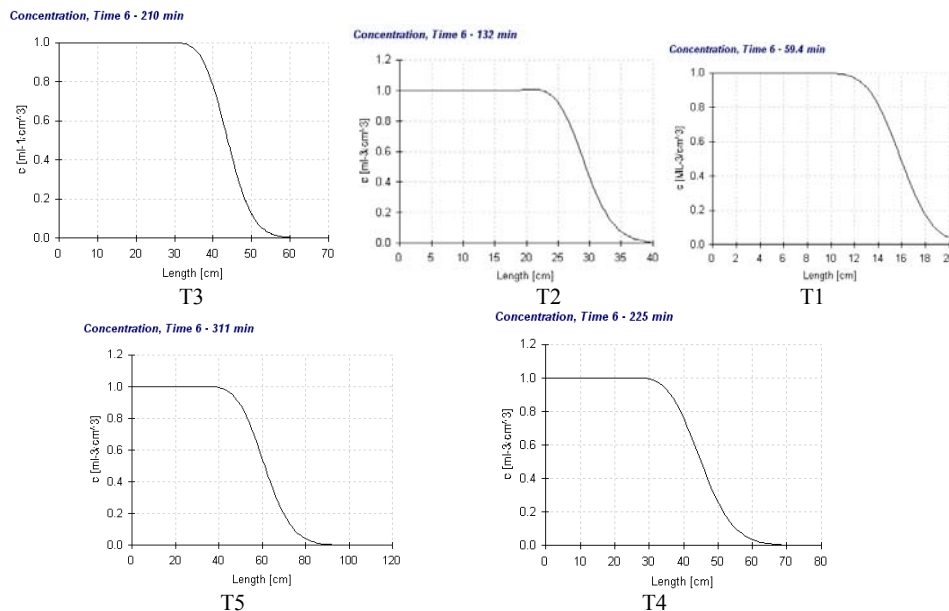
شکل ۳- منحنی تغییرات غلظت کلرید سدیم برای ضخامت های مختلف خاک در مرحله اول زمانی



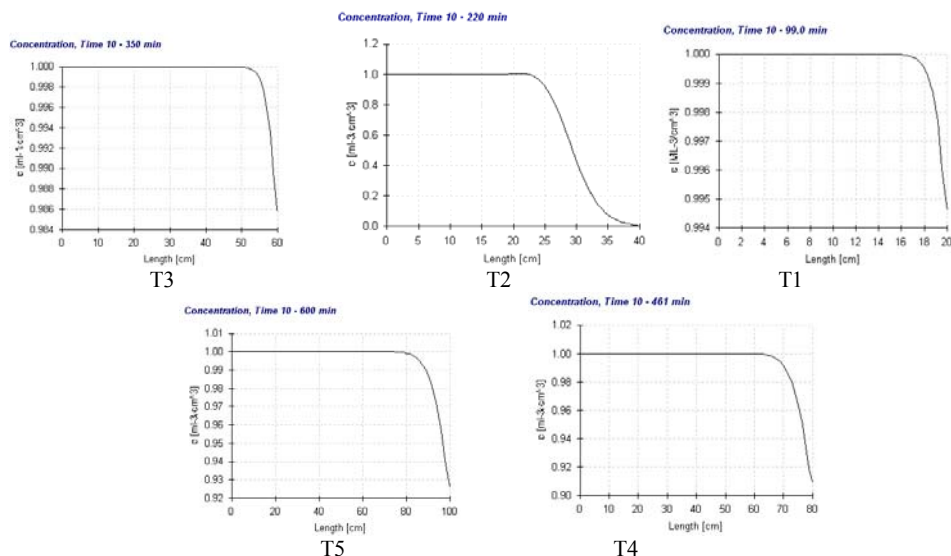
شکل ۴- منحنی تغییرات غلظت کلرید سدیم برای ضخامت های مختلف خاک در مرحله دوم زمانی

پخش گردیده است که به دلیل ضخامت کمتر آنها در مقایسه با T4 و T5 و سرعت پخش بالای کلرید سدیم در آنها می باشد. شکل ۷، نتایج شبیه سازی مراحل زمانی مختلف را در طول های مختلف T1، T3، T4 و T5 را نشان می دهد.

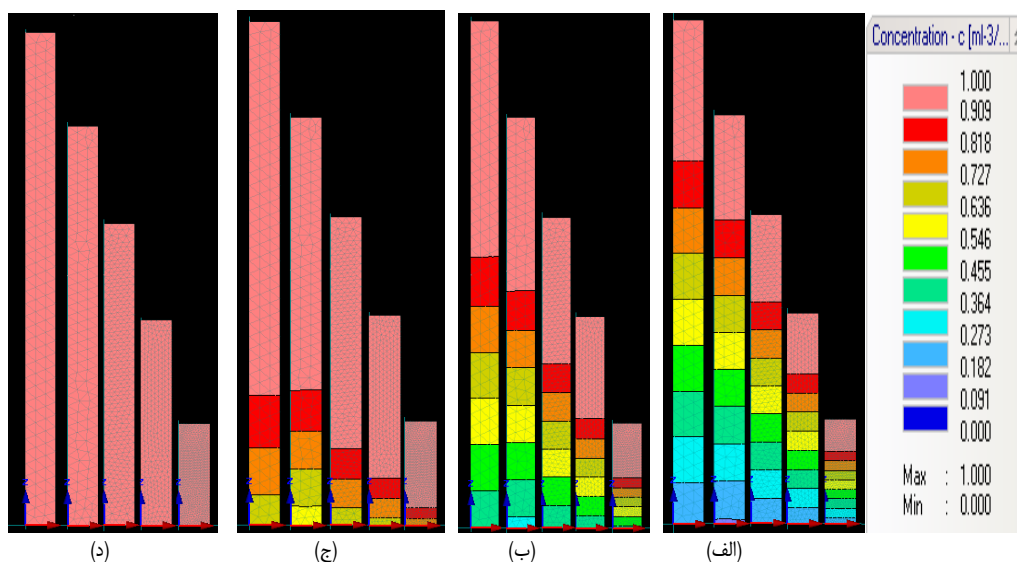
شکل ۵، تغییرات غلظت خروجی کلرید سدیم را در مقابل ضخامت خاک در مرحله سوم زمانی نشان می دهد. در T1، T2، T3، T4 و T5 کلرید سدیم به ترتیب تا ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۷۰ و ۹۰ سانتیمتر از ستون خاک پیشروی نموده است. با توجه به شکل ۶ در ضخامت های T1، T2 و T3 کلرید سدیم در تمام ضخامت خاک



شکل ۵- منحنی تغییرات غلظت کلرید سدیم برای ضخامت های مختلف خاک در مرحله سوم زمانی



شکل ۶- منحنی تغییرات غلظت کلرید سدیم برای ضخامت های مختلف خاک در مرحله چهارم زمانی



شکل ۷- نتایج شبیه سازی کلرید سدیم با استفاده از نرم افزار Hydrus در طول های مختلف ستون خاک (T1-T5) در چهار مرحله زمانی

نشده است. شکل ۷ (ج)، نتایج شبیه سازی مرحله سوم در طول های T1، T2، T3، T4 و T5 به ترتیب پس از گذشت مدت زمان ۷۵، ۱۵۰، ۲۶۳ و ۴۶۱ دقیقه نشان می دهد. شکل ۷ (د) نیز تغییرات غلظت خروجی کلرید سدیم را در مقابل ضخامت خاک در مرحله آخر نشان می دهد. پس از گذشت مدت زمان ۲۰۰، ۲۲۰، ۳۲۰، ۴۶۱ و ۶۰۰ دقیقه از گذشت آزمایش همه ضخامت های مورد مطالعه کل ستون خاک دارای غلظت ۳ میلی موس بر سانتیمتر کلرید سدیم شده و غلظت خروجی با غلظت ورودی برابر گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی کلرید سدیم با استفاده از نرم افزار

با توجه به شکل ۷ (الف) کلرید سدیم در مرحله اول زمانی برای طول های مختلف T1، T2، T3، T4 و T5 پس از گذشت مدت زمان ۴۰، ۴۴، ۶۴، ۷۵ و ۱۰۶ دقیقه به صورت نشان داده شده پخش گردیده است. شکل ۷ (ب)، نتایج شبیه سازی مرحله دوم را در ضخامت های T1، T2، T3، T4 و T5 به ترتیب پس از گذشت مدت زمان ۸۰، ۸۸، ۱۲۸، ۱۵۰ و ۲۱۲ دقیقه از شروع آزمایش نشان می دهد. با توجه به شکل ۷ (ب)، در ضخامت های T1 و T2 کلرید سدیم تقریباً به یک اندازه در ستون خاک پخش گردیده است. هنوز در هیچ یک از ضخامت ها غلظت خروجی با غلظت ورودی برابر

انتقال کوتاه سرعت حرکت آلاینده از سرعت واقعی سیال در داخل محیط متخلخل بیشتر بوده و زمان رسیدن به غلظت نسبی ۰/۵ در تعداد حجم آب تخلخل کمتری از واحد روی می دهد که نتایج پژوهش حاضر نیز با آن مطابقت داشته است. مطالعات متعددی وابستگی انتشارپذیری خاک را به متوسط فاصله انتقال گزارش کرده اند. این وابستگی به اشتباه تحت عنوان اثرات مقیاس در گزارش ها و مطالعات آزمایشگاهی و میدانی بیان شده است. متوسط فاصله انتقال در واقع بیانگر موقعیت پیشانی جبهه آلاینده در زمان مشخص  $t$  می باشد. نتایج به دست آمده از نرم افزار HYDRUS نشان داد که با افزایش متوسط فاصله انتقال مقدار انتشارپذیری خاک افزایش یافته به طوری که با نزدیک شدن غلظت نمونه ها به غلظت نهایی آلاینده مقدار آن ثابت شده است.

HYDRUS نشان داد که با افزایش متوسط فاصله انتقال مدت زمان و میزان انتشارپذیری کلرید سدیم در خاک افزایش یافته به طوری که با نزدیک شدن غلظت نمونه ها به غلظت نهایی آلاینده مقدار آن ثابت شده است. اما میزان افزایش انتشارپذیری معنی دار نبوده است. نتایج به دست آمده با تحقیقات اندرسون و همکاران (۲) مطابقت داشته است

### نتیجه گیری

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 ضخامت خاک ملاحظه نگردید. مطالعات گذشته نشان داده است که در فواصل

### منابع

- 1- Al Tabbaa A. and Ayotamuno J.M. 2000. One dimensional solute transport in stratified sands at short travel distances. *Journal of Hazardous Materials*. 73: 1-15.
- 2- Anderson S.H., Haffner B. and Peyton R.L. 2012. Influence of Scale on Chemical Dispersivity in Geomedia, *Procedia Computer Science* 12:242 – 247.
- 3- Ayotamuno J.M. 1998. Cotaminant Transport and immobilization in Stratified Sands. Ph. D Thesis, University of Birmingham, UK.
- 4- Besharat S., Nazemi A.H., Sadroldini A.A. and Shahmorad S. 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).
- 5- Freeze R.A. and Cherry J.A. 1979. *Groundwater*, 604 pp., Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- 6- Moazed, H., Maroufpour E., Kashkouli H.A. and Samani J.M.V. 2009. Laboratory Scale Effect of Aquifer Thickness on Dispersivity of Porous Media. *Journal of Applied Sciences* 9(3):542-548. ISSN1812-5654.
- 7- Pickens J.F. and Grisak G.E. 1981. Scale – dependent dispersion in a stratified granular aquifer, *Water Resource: Res.* 17(4): 191-121
- 8- Simunek J., Sejna M. and Van Genuchten M.Th. 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.
- 9- Starr J.L., Parlange J.Y. and Frink C.R. 1986. Water and chloride movement through a layered field soil. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 50: 1384-1390.
- 10- Van Genuchten M.Th. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci Soc Am J* 44: 892–898.
- 11- Wierenga P.J. and Van Genuchten M.Th. 1989. Solute transport through small and large on Saturated Soil Columns. *Groundwater*, 27:35-42.





## Effect of Scale on NaCl Dispersivity by HYDRUS 2D

M. Farasati<sup>1\*</sup>- S.M. Seyedian<sup>2</sup>

Received: 13-03-2013

Accepted: 15-09-2013

### Abstract

Dispersivity is an important property of a porous medium and Advection-Dispersion equation (ADE). It is used in solving problems related to pollutants migration by groundwater. Numerical models are frequently used for simulation of water movement in soils. In the present study, the dependence of NaCl dispersivity on thickness of the aquifer materials has been investigated. In order to perform it, 5 different thickness of soil column (20, 40, 60, 80 and 100 cm) selected. The physical model used in the study consisted of a cylindrical tank with inner diameter of 6cm and 5 thicknesses 20, 40, 60, 80 and 100 cm of soil column designated by T1, T2, T3, T4 and T5 respectively. Sodium chloride with an electrical conductivity (EC) of  $3 \text{ dSm}^{-1}$  was selected as conservative pollutant. For calculation of dispersivity Brigham model and for simulation of NaCl movement HYDRUS software used. Results of the study indicated that the dispersivity of sandy porous was not dependent on the thickness. The result of HYDRUS showed that with increase of aquifer length, dispersivity increased but it was not significant.

**Keywords:** Dispersivity, Soil thickness, HYDRUS, Brigham model, NaCl

---

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran  
(\*Corresponding Author Email: farasati2760@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Watershed Management, College of Agriculture, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran