

# بررسی اثر ضخامت و بافت خاک بر انتشار پذیری آلاینده‌ها در خاک های ماسه‌ای

هادی معاضد<sup>۱</sup>، معصومه فراستی<sup>۲</sup>، مهدی دلقندی<sup>۳</sup>

۱-دانشیار گروه آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۲

## 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 انتشار پذیری به فاصله انتقال و یا طول آبخوان نیز بستگی دارد. در این پژوهش به بررسی اثر بافت و ضخامت خاک در انتشار پذیری محلول کلرید سدیم ( به عنوان یک آلاینده نمونه) در خاکهای ماسه ای پرداخته شده است. بدین منظور ۴ بافت ماسه ای متفاوت (ماسه متوسط و اختلاط ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی ماسه درشت با ماسه متوسط) در ۸ ضخامت ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ سانتی متر تهیه و انتشارپذیری آنها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت انجام محاسبات مربوط به تعیین انتشار پذیری، از مدل بریگهام استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش ضخامت لایه خاک و میزان اختلاط ماسه درشت با ماسه متوسط، مقدار انتشار پذیری افزایش می یابد.

واژه‌های کلیدی: انتشار پذیری، آلودگی، بافت خاک، ضخامت خاک.

## مقدمه

انتشار، دفع آنیونی، جذب یا فرایندهای تبادل و اثرات کاربردی روش های کنترل و پیشگیری، در حال گسترش می باشد (ایواتومونو، ۱۹۹۸). مدل های ریاضی متعددی برای بیان حرکت املاح در محیط متخلخل ارائه گردیده است. این مدل ها عموماً بر اساس معادله یک بعدی جابجایی-انتشار برای ماده محلول پایدار<sup>۳</sup> (بدون واکنش) در محیط متخلخل همگن<sup>۴</sup> و همگون<sup>۵</sup> در حالت اشباع و

مطالعه بر روی انتقال و حرکت املاح در محیط متخلخل از دهه های پیش آغاز شده است. در سالهای اخیر 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،

1 -Ayotamuno  
2 -one Dimensional Advection-Dispersion Equation  
3 -Non Reactive Dissolved Constituents  
4 -Homogeneous  
5 -Isotropic

حجم دیگر در حرکت است. به عبارتی، یک محلول غیر همگن که در یک محیط متخلخل مانند خاک در حال حرکت است موجب فرایند دیگری می‌شود که از نظر مکانیسم عمل با پخشیدگی مولکولی متفاوت است ولی نتیجه‌ای مشابه آن که به همگن شدن غلظت محلول می‌انجامد به بار می‌آورد، این فرایند که در مواردی بر فرایند پخشیدگی نیز غلبه می‌کند انتشار مکانیکی نام داشته و از سرعت جریان غیر یکنواخت محلول خاک در خلل و فرج خاک ناشی می‌شود.

$$D_m = \alpha V \quad (2)$$

که در این رابطه:

$D_m$ : ضریب انتشار مکانیکی ( $L^2T^{-1}$ )

$\alpha$ : ضریب انتشارپذیری محیط متخلخل ( $L$ )

عموماً فرآیندهای پخشیدگی مولکولی و انتشار مکانیکی به دلیل این که در مقیاس میکروسکوپی تاثیر آنها بطور مشابه نشان داده شده است ضرایب آنها قابل جمع کردن می‌باشد (بیر، ۱۹۷۲). از این رو رابطه زیر را می‌توان نوشت:

$$D = \alpha V + D^* \quad (3)$$

که در آن

$D$ : ضریب انتشار هیدرودینامیکی ( $L^2T^{-1}$ )

$D^*$ : ضریب پخشیدگی مولکولی محلول در داخل محیط متخلخل است.

معروف پور و همکاران (۱۳۸۷) با توجه به خاکهای ماسه‌ای در ضخامتهای مختلف به این نتیجه رسیدند که میزان انتشارپذیری با افزایش ضخامت نوسان مثبت دارد ولی معنی‌دار نیست.

ویرنگا و همکاران (۱۹۸۹) آزمایش‌هایی در دو نوع ستون خاک، یک ستون کوچک با طول ۳۰ سانتی متر و قطر ۵/۱ سانتی متر و یک ستون بزرگ با

تحت شرایط جریان دایمی یکنواخت پایه ریزی شده اند (اویاتومونو، ۱۹۹۸).

عمومی‌ترین شکل معادله یک بعدی جابجایی-انتشار به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dl^2} - V \frac{dc}{dl} \quad (1)$$

که در آن:

$l$ : طول منحنی وار مسیر جریان

$V$ : متوسط سرعت واقعی آب زیرزمینی

$D$ : ضریب انتشار هیدرودینامیکی و یا انتشار آبی در

جهت طولی (در جهت جریان)

$C$ : غلظت ماده محلول

$t$ : زمان انجام آزمایش

معادله (۱) بر اساس فرضیات زیر استوار می‌باشد (گیلهم، ۱۹۸۲ و وروبیجت، ۱۹۹۴):

۱- آلاینده‌ها قابل حل در آب می‌باشند.

۲- خصوصیات سیال (وزن حجمی و لزجت) مستقل از غلظت محلول می‌باشد.

۳- سیال تراکم‌ناپذیر است.

۴- ضرایب پخشیدگی مولکولی و انتشار مکانیکی قابل جمع کردن هستند.

۵- معادله  $V = \frac{q}{n}$  سرعت سیال در داخل خلل

و فرج،  $q$  سرعت دارسی و  $n$  تخلخل) قابل کاربرد است.

۶- ماده محلول در آب پایدار و بدون واکنش است در یک لوله مستقیم یا خلل و فرج خاک، آب یا محلول آبی در لوله‌های گشادتر، سریعتر از لوله‌های تنگتر حرکت کرده و همچنین سرعت در مرکز لوله بیشتر از سرعت در دیواره لوله است. بنابراین، بخشی از حجم آب درون لوله با سرعت بیشتری نسبت به

1 -Steady State Uniform Flow

2 -Gillham

3 -Verruijt

4 -Bear

5 -Wierenga

گرفت. برای جریان موازی تا لایه ای، منحنی رخنه نامتقارن بوده و با افزایش میزان دبی جریان، نامتقارنی افزایش یافت. برای جریان عمودی تا لایه ای، منحنی رخنه متقارن بود. ردیابهای برومید و اسید آمینو دارای ضریب انتشارپذیری متفاوتی بودند. آزمایشات ضخامت نشان داد که ضخامت لایه های مجزا با تخلخل و اندازه ذرات متفاوت از کمتر از ۱ تا چندین میلی متر و گاهی بیشتر از ۱ سانتیمتر است (باشار، ۲۰۰۶).

گوانهوا هوانگ (۲۰۰۶) بیان داشت که تغییرات انتشارپذیری در محیطهای غیر همگن نسبت به محیط همگن از معنی داری بیشتری برخوردار است.

معاضد و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی به بررسی اثر ضخامت بر انتشارپذیری پرداختند. کلرید سدیم با هدایت الکتریکی ۱۴ دسی زیمنس بر متر به کار گرفته شد. نتایج به دست آمده نشان داد (۱) مقادیر انتشارپذیری به دست آمده در خاکهای شنی متوسط و درشت با ۱۰۰ سانتیمتر ضخامت در محدوده ۰/۶۵-۰/۲۵ و ۰/۳۳-۰/۱۱ به ترتیب بوده و مقادیر انتشارپذیری برای هر دو خاک در محدوده ۰/۰۱-۰/۰۱ سانتیمتر که با نتایج سایر محققین همخوانی دارد. (۲) مقادیر انتشارپذیری به دست آمده در خاکهای شنی متوسط و درشت با ۱۰۰۰-۲۰۰ سانتیمتر ضخامت در محدوده ۰/۶۳-۰/۳۱ و ۰/۴۶-۰/۰۰ به ترتیب بوده که با نتایج سایر محققین همخوانی دارد. (۳) در آبخوان های شنی همگن، با ذرات درشت و متوسط، انتشارپذیری وابسته به ضخامت آبخوان بوده است.

به هر حال، بررسی میزان انتشارپذیری در بافتها و ضخامتهای مختلف خاک می تواند در برنامه ریزی جهت حفظ سفره های 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 وابستگی انتشارپذیری

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 ۱ میلی متر پر شدند به طوری که وزن مخصوص ظاهری خاک ها ۱/۵۷ گرم بر سانتی متر مکعب بود. متوسط مقدار انتشارپذیری ( $\alpha$ ) وقتی که تریتیوم و کلرید به داخل ستون های کوچک وارد گردید به ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۷ 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.

آل طبا و همکاران (۲۰۰۰) 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 ۷/۶۴ سانتی متر، ماسه متوسط ۶/۳ سانتی متر و ماسه ریز ۴/۲۷ سانتی متر به دست آمد. آنها همچنین در آزمایشی بر روی ماسه متوسط همگن در سه ضخامت ۸، ۱۸ و ۲۵ سانتی متر نتیجه گرفتند که رفتار انتشار به وسیله ضخامت خاک (حجم خاک) نیز کنترل شده و تنها وابسته به فاصله انتقال نیست. در تحقیقی آزمایشات انتقال املاح برای یک خاک شنی غیر اشباع و دست نخورده انجام گرفت. آزمایشات با دبی های مختلف و منحنی رخنه با موقعیت های مختلف با استفاده از پروب های TDR اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری برای دبی جریان های (۰/۱۶-۱/۵۴ سانتیمتر بر روز) وجود ندارد (جاواکس، ۲۰۰۳).

در تحقیقی آزمایشات ستون ها در جریان دائمی با استفاده از نمونه های موازی، عمودی تا لایه ای انجام

کلرید سدیم به بافت و ضخامت خاک در خاکهای ماسه ای می باشد.

یکسان صورت گرفته و تنها پارامتر متغیر در مدت آزمایشات، ضخامت خاک بود.

## مواد و روش ها

### انتخاب و تهیه خاک

خاک ماسه ای در دو اندازه متوسط و درشت برای پژوهش حاضر انتخاب شد. ماسه ها پس از شسته شدن، به وسیله الک های استاندارد دانه بندی شد تا اندازه ذرات و منحنی دانه بندی آنها به دست آید. سپس مقادیر D60، D10 و ضریب یکنواختی ( $CU=D60/D10$ ) برای ماسه ها محاسبه گردید. هدف از انتخاب دو اندازه متفاوت برای ذرات ماسه در این پژوهش، ایجاد اختلاف های واضح در اندازه ذرات خاک ها و به تبع آن در میزان نفوذ پذیری و سایر خصوصیات ژئوهیدرولوژی آن ها بود.

پس از الک کردن خاک ها، چهار بافت ماسه متوسط (T1)، ماسه متوسط و ۱۰ درصد ماسه درشت (T2)، ماسه متوسط و ۲۰ درصد ماسه درشت (T3)، ماسه متوسط و ۳۰ درصد ماسه درشت (T4) تهیه گردید و از هر بافت هشت ستون خاک به ارتفاع ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ سانتی متری مهیا گردید. 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.

اولین آزمایشات در هر ۴ بافت در ضخامت خاک ۱۵ سانتی متر صورت گرفت. سپس آزمایشات بعدی در ضخامت های ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ سانتی متر انجام شد. آزمایشات فوق الذکر در شرایط

### انتخاب و تهیه ماده آلاینده

در بیشتر مطالعات آزمایشگاهی انتقال آلاینده های پایدار، از برومید، کلرید سدیم و یا آب اکسیژنه به عنوان ماده آلاینده استفاده شده است. در این تحقیق به دلیل سهولت تهیه و دقت اندازه گیری بوسیله دستگاه هدایت سنج و بی خطر بودن، از کلرید سدیم استفاده گردید. محلول کلرید سدیم با هدایت الکتریکی ۳/۵ میلی زیمنس بر سانتیمتر تهیه شد. بدین منظور به آب شهر که میزان شوری آن حدود ۲/۵ میلی زیمنس بر سانتیمتر بود، به تدریج نمک اضافه و میزان هدایت الکتریکی آن مرتباً اندازه گیری شد تا اینکه به ۳/۵ میلی زیمنس بر سانتیمتر رسید.

### روش انجام آزمایش

پس از آماده کردن ستونهای خاک و محلول کلرید سدیم با غلظت ۳/۵ میلی زیمنس بر سانتی متر، ابتدا ستون های خاک با آب مقطر اشباع گردید. بدین منظور ستون ها به صورت عمودی در آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده مهندسی علوم آب 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 می شد. سپس هر یک از بافت های تهیه شده به تدریج از بالای ستون خاک اضافه می شد تا به ارتفاع مورد نظر برسد. بعد از ریختن یک حجم مشخص از هر بافت، 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 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

$$D = (VL/8)(Y_{0.84} - Y_{0.16})^2 \quad (۴)$$

که در آن  $Y = \left[ \frac{U-1}{U^{1/2}} \right]$  و  $Y_{0.16}$  و  $Y_{0.84}$  به

ترتیب عبارتند از مقدار  $y$  متناسب با غلظت نسبی برابر  $۰/۱۶$  و  $۰/۸۴$ .

$U$ : تعداد حجم آب تخلخل به کار رفته

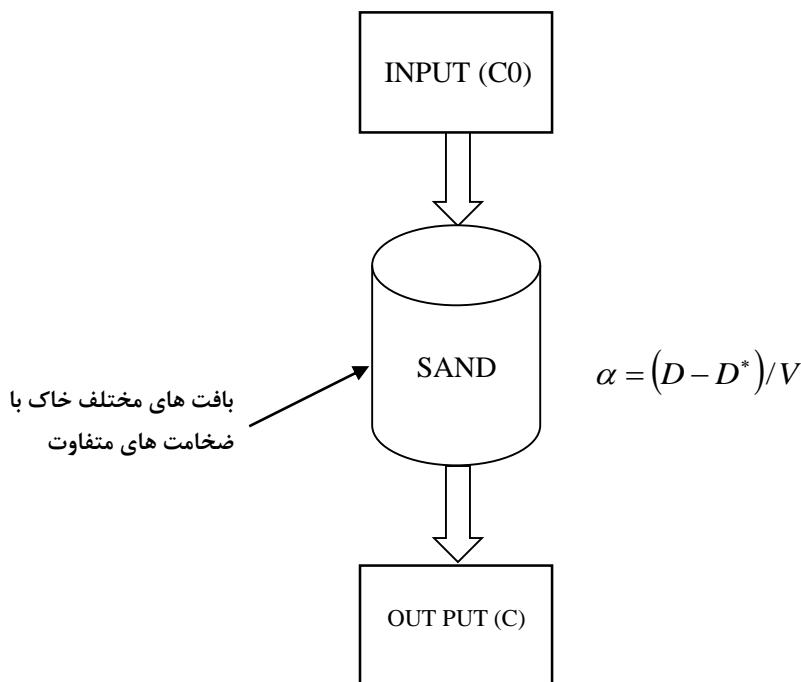
$V$ : سرعت حقیقی (cm/s)

با توجه به رابطه (۳)،  $\alpha$  به صورت زیر تعیین می شود:

$$\alpha = (D - D^*)/V \quad (۵)$$

که در این رابطه،  $D^*$  ضریب پخشیدگی مولکولی می باشد که برای خاکهای ماسه ای برابر  $۱۰^{-۵} * ۱$  سانتی متر مربع بر ثانیه می باشد.

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. سپس در فواصل زمانی تقریباً ۲ تا ۵ دقیقه غلظت محلول خروجی از ستونها اندازه گیری می شد. آزمایشات تا رسیدن غلظت نمونه ها به غلظت نهایی  $۳/۵$  میلی زیمنس بر سانتی متر ادامه می یافت. همه آزمایشات در محدوده  $۳۰$  درجه سانتی گراد انجام شدند. 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 بریگهام استفاده شده است.



شکل ۱- طرح شماتیک انجام آزمایش

با توجه به بافت و ضخامت خاک نشان داده شده است. در شکل (۲) نیز تغییرات انتشار پذیری در مقابل ضخامت خاک رسم شده است. متوسط انتشارپذیری هر آزمایش با استفاده از میانگین حسابی بدست آمد. متوسط انتشارپذیری

### نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی بافت های خاک تهیه شده در جدول (۱) نشان داده شده است. مقادیر انتشار پذیری هر چهار بافت خاک با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. در جدول (۲) مقادیر انتشارپذیری

زمان های رسیدن به غلظت های نسبی ۰/۱۶ و ۰/۸۴ در تمامی آزمایشات ملاحظه می شود که بافت T4 (ما سه متو سط و ۳۰ در صد ما سه در شت) از مدت زمان بیشتری برای رسیدن به غلظت نسبی ۰/۱۶ و ۰/۸۴ برخوردار می باشد.

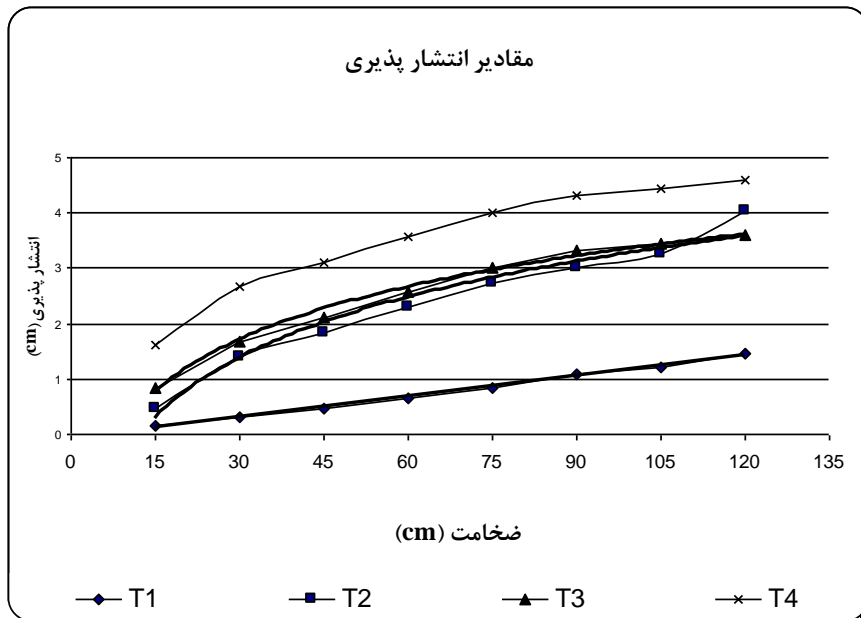
بافت T1 در محدوده ۰/۱۷ تا ۱/۴۵ سانتی متر، در بافت T2 در محدوده ۰/۴۶ تا ۴/۰۵ سانتی متر، بافت T3 در محدوده ۰/۸۵ تا ۳/۶ سانتی متر و در بافت T4 در محدوده ۱/۶ تا ۴/۶ سانتی متر است. در شکل (۳) منحنی های رخنه به دست آمده در آزمایشات برای هر چهار بافت نشان داده شده اند. با مقایسه

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی بافتهای خاک مورد مطالعه

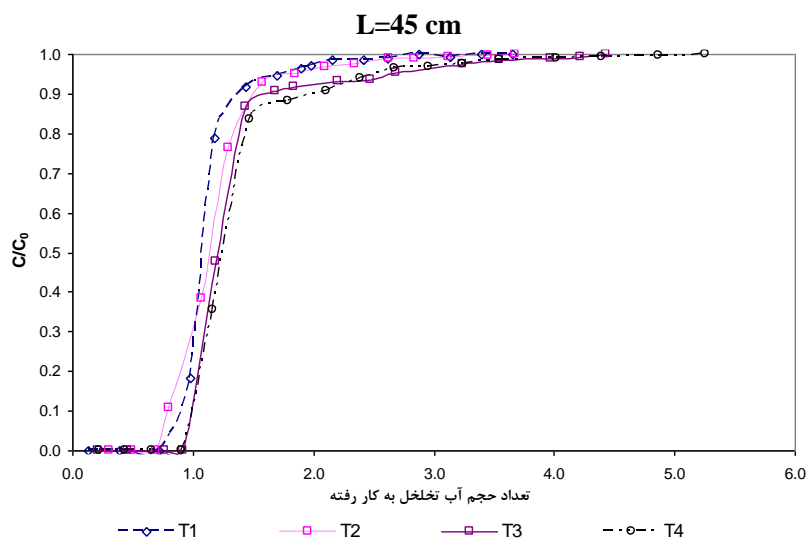
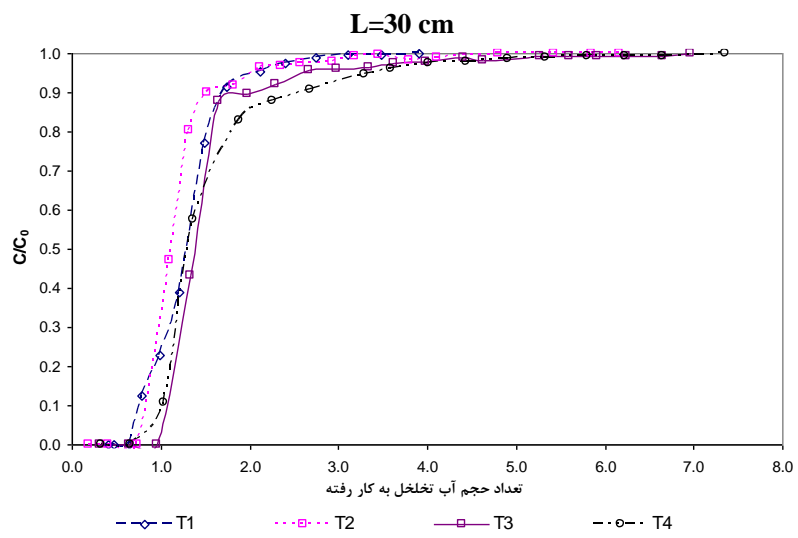
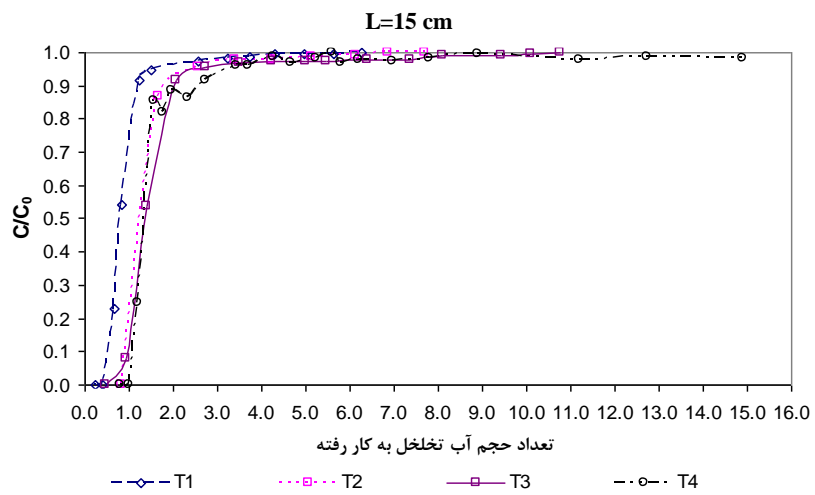
n	CU	D <sub>60</sub> (mm)	D <sub>10</sub> (mm)	نوع خاک
۰/۴۴	۱/۶۱۵	۰/۲۱	۰/۱۳	T1
۰/۳۷	۱/۷۱۴	۰/۲۴	۰/۱۴	T2
۰/۳۶	۱/۷۵۰	۰/۲۸	۰/۱۶	T3
۰/۴۰	۱/۸۳	۰/۳۳	۰/۱۸	T4

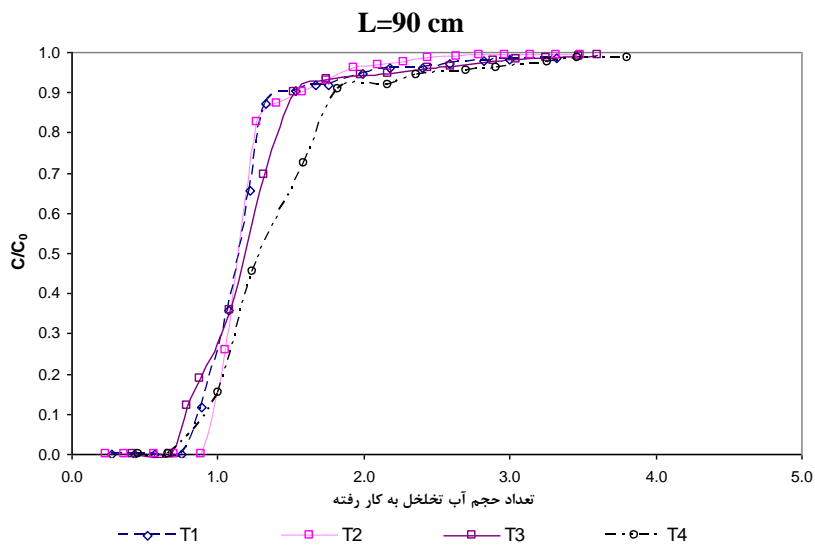
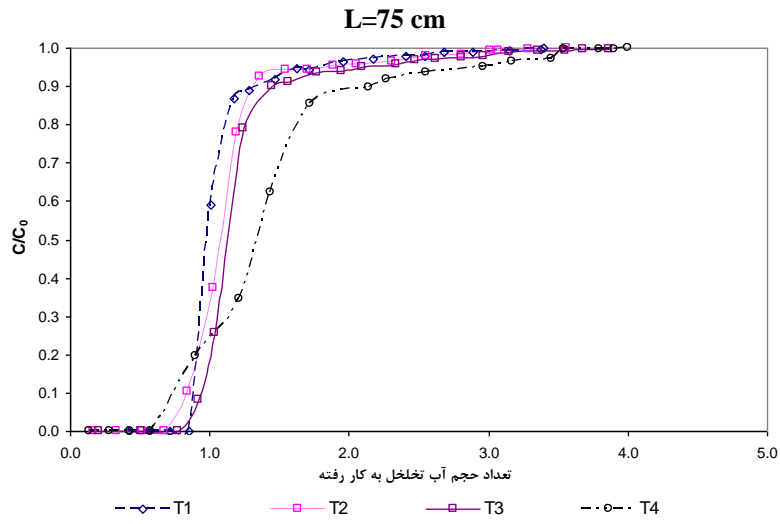
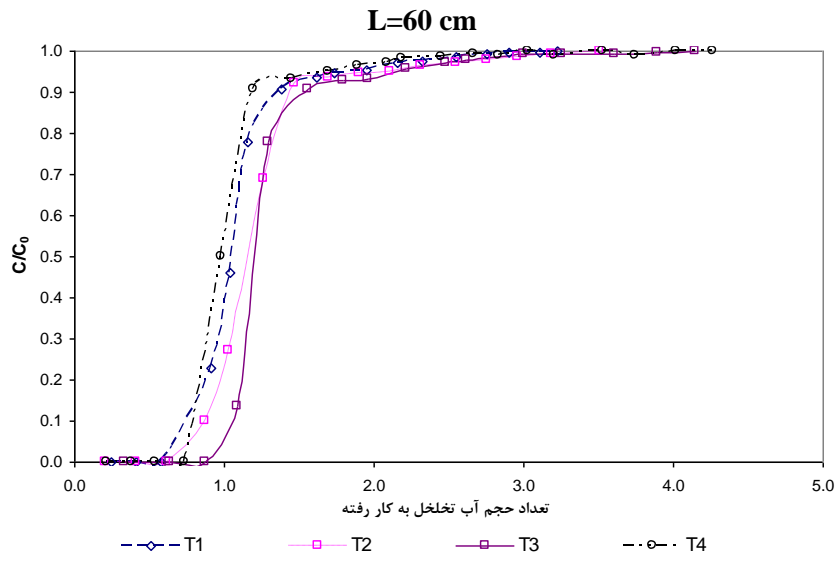
جدول ۲- مقادیر انتشار پذیری به دست آمده با توجه به بافت و ضخامتهای مختلف خاک

بافت / ضخامت	15	30	45	60	75	90	105	120
1	0.17	0.3	0.46	0.64	0.85	1.1	1.2	1.45
2	0.46	1.39	1.84	2.29	2.74	3.01	3.25	4.05
3	0.85	1.67	2.12	2.57	3.02	3.32	3.45	3.6
4	1.6	2.66	3.11	3.56	4.01	4.31	4.44	4.6

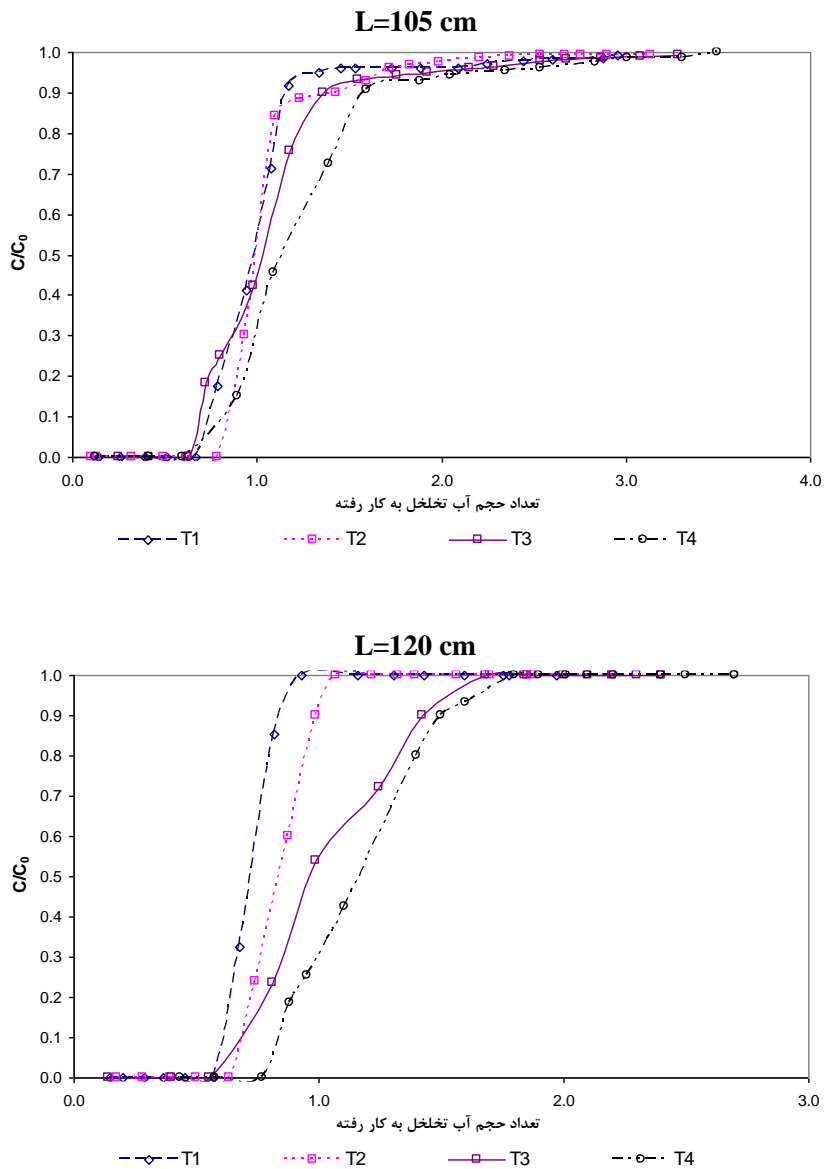


شکل ۲- مقادیر انتشار پذیری برای خاکهای ماسه ای در ضخامت ها و بافت های مختلف









شکل ۳- منحنی رخنه مربوط به بافت های T1، T2، T3 و T4

بافت T1، رابطه خطی دارای بالاترین ضریب همبستگی بود اما در سه بافت دیگر، تابع لگاریتمی دارای بالاترین ضریب همبستگی بود.

با برازش خط رگرسیونی بر نقاط نمودار ضخامت - انتشار پذیری، توابع رگرسیونی با ضریب همبستگی بالا به دست آمد که در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- توابع رگرسیونی حاصل برازش نمودار ضخامت - انتشار پذیری

تابع رگرسیونی	R <sup>2</sup>	بافت
$y = 0.0124x - 0.0639$	۰/۹۹	T1
$y = 0.0305 x + 0.3221$	۰/۹۷	T2
$y = 0.0256 x + 0.85$	۰/۹۴	T3
$y = 0.0269 x + 1.7175$	۰/۹۲	T4

دانه دانه ای است و تحقیقات هونگ (۲۰۰۶) نیز گویای این مطلب می باشد که انتشارپذیری در محیط غیرهمگن و نامتجانس دارای مقادیر بیشتری نسبت به محیط متجانس و همگن است.

### نتیجه گیری

نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش ضخامت در هر بافت خاک، مقدار انتشار پذیری افزایش می یابد. میزان انتشار پذیری در خاک ماسه ای نسبت به سایر بافتها کمتر می باشد و با افزایش میزان اختلاط، انتشار پذیری به طور محسوسی افزایش می یابد. تغییرات هدایت هیدرولیکی که در نتیجه افزایش ضخامت خاک می باشد سبب ایجاد یک دامنه گسترده در مقادیر انتشار پذیری می گردد. مقادیر بالای پخشیدگی به دست آمده در بافتهای مرکب می تواند به علت عدم تجانس محیط و وابستگی خاص لایه ها به هندسه آنها باشد. عدم تجانس می تواند باعث پیچیدگی توزیع سرعت شود که نتیجه آن انتشار و گستردگی آلودگی در مقایسه با یک محیط همگن و دانه دانه ای است و تحقیقات هوانگ نیز گویای این مطلب بود که انتشارپذیری در محیط غیرهمگن و نامتجانس دارای مقادیر بیشتری نسبت به محیط متجانس و همگن است. آل طبا و همکاران (۲۰۰۰) و معاضد و همکاران (۲۰۰۹) وابستگی انتشار پذیری و ضخامت خاک را در خاکهای ماسه ای تأیید نمودند، اما در تحقیق صورت پذیرفته توسط معروف پور هر چند مقادیر انتشار پذیری در محدوده قابل قبولی نوسان داشتند ولی وی آن را ناشی از خطاهای آزمایشی و عوامل دیگر دانست.

نتایج به دست آمده، نشان می دهد که با افزایش درصد اختلاط ماسه درشت و در حقیقت سبکتر شدن بافت خاک، مقادیر انتشار پذیری به نحو نسبتاً محسوسی افزایش یافته است. این امر می تواند ناشی از تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی و سبکتر شدن بافت خاک باشد که تغییرات سرعت را در پی خواهد داشت. نتایج حاصله از تحقیقات صورت پذیرفته در این راستا مانند آل طبا و همکاران (۲۰۰۰) این امر را تأیید می نماید.

با بررسی اثر ضخامت بر مقدار انتشار پذیری، مشخص شد که با افزایش ضخامت ستون خاک، مقدار انتشار پذیری افزایش می یابد. میزان انتشار پذیری در بافت T1 نسبت به سایر بافتها کمتر می باشد و با افزایش میزان اختلاط، انتشار پذیری به طور محسوسی افزایش می یابد. با میانگین گیری از مقادیر انتشار پذیری تکرارهای مختلف از هر بافت و ضخامتهای مختلف، مشاهده شد که انتشار پذیری در بافت T1 (ماسه متوسط) در محدوده ۰/۷۷ سانتیمتر با انحراف معیار ۰/۳۵، در بافت T1 (ماسه متوسط و ۱۰ درصد ماسه درشت) در محدوده ۲/۳۸ سانتیمتر با انحراف معیار ۰/۹۴، در بافت T3 (ماسه متوسط و ۲۰ درصد ماسه درشت) در محدوده ۲/۵۸ سانتیمتر با انحراف معیار ۰/۹۱ و در بافت T3 (ماسه متوسط و ۳۰ درصد ماسه درشت) در محدوده ۳/۵۴ سانتیمتر با انحراف معیار ۱ در حال نوسان است. مقادیر بالای انتشار پذیری به دست آمده در بافتهای با درصد اختلاط بالا، می تواند به علت عدم تجانس محیط باشد. عدم تجانس می تواند باعث پیچیدگی توزیع سرعت شود که نتیجه آن انتشار و گستردگی آلودگی در مقایسه با یک محیط همگن و

منابع

۱. معروف پور، عیسی. حیدر علی کشکولی. هادی معاضد. (۱۳۸۴). بررسی وابستگی انتشارپذیری به ضخامت آن در خاکهای ماسه‌ای همگن اشباع. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز. شماره ۱۴، قسمت ب.
2. 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.
3. Ayotamuno, J.M. (1998). Cotaminant Transport and immobilization in Stratified Sands. Ph. D Thesis, University of Birmingham, UK.
4. Bear, J. (1972). *Dynamics of Flow in Prous Media*. Elsevier, New York.
5. Bear, J. and Verruijt, A. (1994). *Modeling groundwater flow and pollution*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
6. Gillham, R., and Cherry, J. (1982). Contaminant migration in saturated unconsolidated geologic deposits, *Geological Society of America*. 31-62.
7. Huang, G. (2006). Evidence of one-dimensional scale-dependent fractional advection–dispersion, *Journal of Contaminant Hydrology*, In Press, Corrected Proof, Available online.
8. Jury, W. A., Dyson, J.S. and Butters, G.L. (1990). A Transfer Function Model of Field Scale transport under transient water flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:327-332.
9. Wierenga, P.J. and Van Genuchten, M.Th. (1989). Solute transport through small and large on Saturated Soil Columns. *Groundwater*, 27:35-42.
10. Bashar, K and Tellam, J.( 2006). Non-reactive solute movement through saturated laboratory samples of undisturbed stratified sandstone. chool of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, U.K. <sup>1</sup> Department of Geology, Jahangirnagar University, Dhaka, Bangladesh.
11. 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.
12. Javaux , M. and Vanclooster , M. (2003). Scale- and Rate-Dependent Solute Transport within an Unsaturated Sandy Monolith. Published in *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1334-1343.

