



چهارمین کنگره بین المللی

# عمران، معماری و توسعه شهری

دانشگاه شهید بهشتی - تهران

تاریخ : 1395-10-10

شماره : AB-02599-BAH/TC

پیوست : ندارد

## گواهینامه موقت پذیرش، چاپ و ارائه مقاله

سرکار خانم / جناب آقای آرش کمیلی، علی اختریور

بدینوسیله به استحضار می رساند مقاله جنابعالی با کد پیگیری "AB-02599-BAH" و تحت عنوان:

بررسی عددی انتشار آلودگی نفتی در خاکهای غیر اشباع

با توجه به نظر کمیته داوری چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری جهت چاپ و ارائه در این کنگره که در تاریخ 7 الی 9 دی ماه 1395 در دانشگاه شهید بهشتی تهران دارای مجوز ISC وزارت علوم به شماره 95160-70403 برگزار خواهد شد پذیرفته گردیده است. توفیق روزافزون حضرتعالی را از درگاه خداوند متعال مسئلت می نمایم.

با تقدیم احترام

دکتر افشام کیوانی

دبیر علمی کنگره



4<sup>th</sup>.  
International Congress on

**CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE &  
URBAN DEVELOPMENT**

SHAHID BEHESHTI University IRAN-TEHRN



چهارمین کنگره بین المللی

# عمران، معماری و توسعه شهری

دانشگاه شهید بهشتی - تهران

تاریخ : 1395-10-10

شماره : AB-02599-BAH/TC

پیوست : ندارد

## گواهینامه موقت پذیرش، چاپ و ارائه مقاله

سرکار خانم / جناب آقای آرش کمیلی، علی اختریور

بدینوسیله به استحضار می رساند مقاله جنابعالی با کد پیگیری "AB-02599-BAH" و تحت عنوان:

بررسی عددی انتشار آلودگی نفتی در خاکهای غیر اشباع

با توجه به نظر کمیته داوری چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری جهت چاپ و ارائه در این کنگره که در تاریخ 7 الی 9 دی ماه 1395 در دانشگاه شهید بهشتی تهران دارای مجوز ISC وزارت علوم به شماره 95160-70403 برگزار خواهد شد پذیرفته گردیده است. توفیق روزافزون حضرتعالی را از درگاه خداوند متعال مسئلت می نمایم.

با تقدیم احترام

دکتر افشام کیوانی

دبیر علمی کنگره



4<sup>th</sup>.  
International Congress on

**CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE &  
URBAN DEVELOPMENT**

SHAHID BEHESHTI University IRAN-TEHRN

## بررسی عددی انتشار آلودگی نفتی در انواع خاکهای غیر اشباع

آرش کمیلی<sup>۱\*</sup>، علی اخترپور<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار خاک و پی دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

در سال های اخیر آلودگی خاک ها به یکی از بزرگ ترین مشکلات زیست محیطی تبدیل شده است . از آلاینده های هیدروکربنی و نفتی می توان به عنوان یکی از مهم ترین منابع آلودگی نام برد . آلودگی محیط متخلخل زیرزمینی به طور معمول قابل مشاهده نیست و در عین حال همواره امکان انتشار آلودگی در گستره وسیع تر وجود دارد . انباشت آلودگی به مرور زمان باعث بروز اختلال و دگرگونی در شرایط منابع آب زیرزمینی و به طور کلی خاک ها می شود . برای موفقیت در رفع آلودگی ها نیاز به درک رفتار و توانایی پیشبینی انتشار آلاینده ها داریم . در این مقاله ، با استفاده از مدل عددی که بر پایه المان محدود می باشد تغییرات روند انتشار آلاینده هیدروکربنی نسبت به انواع خاک مورد بررسی قرار گرفته است . نتایج حاصل از تحلیل مدل با در نظر گرفتن محیط غیر اشباع خاک ارائه شده است تا این امکان را داشته باشیم که با دانستن نوع خاک، نحوه و سرعت انتشار آلاینده را پیشبینی کنیم.

**واژه های کلیدی:** آلودگی هیدروکربنی، المان محدود، محیط غیر اشباع، نوع خاک

### ۱- مقدمه

آلودگی خاک عبارت است از وجود ، پخش یا آمیختن یک یا چند ماده خارجی به خاک که کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن را به طوری که برای انسان یا سایر موجودات زنده و همچنین آثار و ابنیه زیان آور باشد، تغییر دهد. در کشور نفت خیزی همچون ایران، آلودگی خاک با ترکیبات نفتی موضوعی چالش بر انگیز می باشد. عموماً در ایران و همچنین در بسیاری از کشورهای دیگر، در معادن اکتشافی نفت، پالایشگاه ها و ... به دلایلی از جمله نشت آلاینده های نفتی از مخازن نگهداری آنها، نشت از خطوط انتقال به دلیل پوسیدگی و خرابی لوله های انتقال فرآورده های نفتی و ... ، خاک اطراف این مکان ها دچار آلودگی های نفتی می شوند . به طور مثال بررسی پایگاه داده بین المللی نشت نفتی نشان داد که در اوایل دهه ۱۹۶۰ حدود ۱،۱۴ میلیون متر مکعب از نفت به داخل آب های دریایی ایالات متحده آمریکا نشت کرد که این مساله ناشی از ۸۲۶ حادثه در برگیرنده تانکرها، بشکه ها و وسایل انتقال بوده است . از سویی حدود ۰،۷۶ میلیون متر مکعب نفت در اثر نشت از لوله های انتقال نفت موجب آلودگی خاک ها گردید. هر چقدر مواد نفتی به عمق بیشتری از خاک نفوذ کنند رفع آلودگی مشکل تر و هزینه آن چندین برابر خواهد بود . متداول ترین آلاینده های نفتی در خاک شامل نفت، گازوئیل، حلال های کلر دار ، ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن (BTEX) و... می باشد.

در سال های اخیر بررسی انتشار این آلودگی ها و همچنین پاکسازی خاک های آلوده به فرآورده های نفتی یکی از حساس ترین و حیاتی ترین مسائل پیچیده ژئوتکنیک زیست محیطی به شمار می رود. گیتی پور و همکاران [۱] در سال ۱۳۸۱ با استفاده از آزمایش های مختلف صحرائی و آزمایشگاهی به بررسی میزان آلودگی خاک های اطراف پالایشگاه ها پرداختند. آن ها در این تحقیق با استفاده از روش های مختلف آزمایشگاهی و نمونه برداری، به بررسی میزان غلظت آلودگی

خاک اطراف پالایشگاه تهران پرداختند. Kamon و همکاران [۲] نیز در سال ۲۰۰۳ با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی صورت پذیرفته، به ارائه روابطی بین سه پارامتر نفوذپذیری، درجه اشباع و فشار مؤئینه در زمینه انتشار آلودگی نفتی از نوع آلودگی غیر محلول سنگین تر از آب (DNAPL) پرداختند. هدف آن ها از انجام چنین مطالعاتی به کار بردن این روابط در مطالعه الگوی انتشار آلودگی بوده است. Wilson و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۶ یک روش تحلیلی برای شبیه سازی جریان DNAPL ها و انتقال آن ها در محیط های متخلخل ارائه نمودند. هدف آن ها بیان مدل مفهومی و فرمول بندی معادلات حاکم بر جریان این آلاینده ها بوده است. احتشامی و احمدنیا [۴] در سال ۱۳۸۵ با استفاده از روش عددی، به بررسی فرآیند نشت و تخمین میزان غلظت ماده نشت کننده پرداخته و بر این اساس اقدامات لازم برای کنترل آلودگی محیط را نیز اعلام داشتند. در سال ۲۰۰۹ Qin و همکاران [۵] روشی برای شبیه سازی و بهینه سازی روش های مدیریت زائدات نفتی و کنترل روش های پاک سازی محیط های آلوده به این مواد ارائه نمودند.

## ۲- ساز و کار انتشار آلودگی

عوامل موثر بر روند انتشار آلودگی در خاک شامل دو فرایند اصلی انتقال (transport) و تضعیف (attenuation) است . فرایند انتقال می تواند با معادلات مبتنی بر قوانین جریان سیالات بیان می شود . این معادلات می توانند با یک سری معادلات تعادل جرمی که بیانگر پدیده تضعیف در انتشار آلودگی در خاک است ترکیب شوند تا معادله اصلی انتشار آلودگی در خاک به دست آید . لازم به ذکر است که در این مقاله فرایند انتقال به دلیل اهمیت آن در مورد انتشار آلاینده نفتی در خاک مورد بررسی قرار گرفته و از فرایند تضعیف که شامل جذب سطحی و تجزیه رادیواکتیوی می باشد صرف نظر شده است .

### ۲-۱- فرایند انتقال (transport process) :

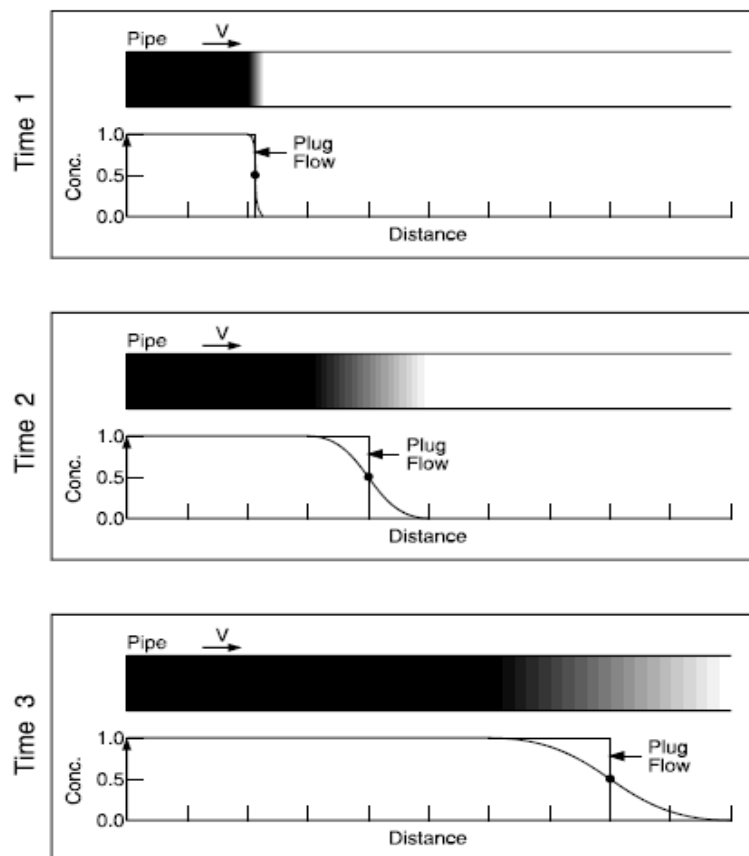
دو پارامتر اساسی در پدیده انتقال آلودگی ، جابه جایی آلودگی بین دو نقطه (advection) و پراکندگی آلودگی هنگام جابه جایی (dispersion) است . پدیده جابه جایی بین دو نقطه یعنی حرکت آلودگی همراه جریان سیال موجود در خاک بین دو نقطه . پراکندگی نیز به معنی گسترده شدن ناحیه انتقال آلودگی در خلال جریان سیال حاوی ماده آلاینده می باشد. پدیده انتقال آلودگی در خاک را می توان با مثالی از تزریق آلاینده در یک لوله که حاوی خاک ماسه ای است بیان کرد (شکل ۱). با تزریق آلودگی در لوله ، فرض می شود آلودگی با سرعت ثابت  $v$  همراه سیال در طول لوله حرکت می کند . با توجه به تعاریف ارائه شده مشخص است که به این انتقال آلودگی همراه سیال در طول لوله پدیده جابه جایی آلودگی گفته می شود. همین طور که آلاینده به همراه سیال در طول لوله پیش می رود ، دپار یک پراکندگی نیز می شود که این موضوع به دلیل وجود ذرات خاک و حفرات بین آن ها است.

### ۲-۲- فرمول بندی انتشار آلاینده

در این قسمت فرمول بندی معادله دیفرانسیلی پدیده انتشار آلودگی در خاک بر اساس ساز و کار گفته شده در قسمت قبل بیان شده است :

$$\left(\theta + \rho_d \frac{\partial S}{\partial C}\right) \frac{\partial C}{\partial t} = \theta D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - U \frac{\partial C}{\partial X} - \lambda \theta C - \lambda S \rho_d \quad (1)$$

که  $C$  غلظت آلاینده در محیط خاکی در مکان و زمان خاص،  $X$  متغیر مکان،  $t$  متغیر زمان،  $U$  سرعت ظاهری جریان آلودگی در خاک،  $D$  ضریب پراکندگی هیدرودینامیکی در انتشار آلودگی،  $\theta$  محتوای آب حجمی در خاک های اشباع و غیر اشباع،  $\rho_d$  چگالی خشک خاک،  $S$  میزان آلاینده جذب شده در واحد جرم خاک و  $\lambda$  ضریب تجزیه می باشد. پارامترهای  $U$  و  $D$  در معادله بالا مربوط به فرایند انتقال و پارامترهای  $S$  و  $\lambda$  مربوط به فرایند تضعیف می باشند . از این معادله کلی در روش های عددی مختلف برای محاسبه میزان انتشار آلودگی می توان استفاده کرد . در این مقاله با استفاده از روش المان محدود در بسته CTran از نرم افزار GeoStudio مدل سازی عددی انتشار آلودگی در خاک انجام شده است.



شکل ۱: پدیده انتقال آلاینده در خاک [۶]

### ۳- معرفی مدل و پارامترهای خاک و آلاینده

در این مقاله برای بررسی مدل انتشار آلودگی نفتی در خاک ، مدل محیط خاکی به طول ۶۰ و عمق ۴۰ متر در نظر گرفته شده است که در عمق ۴۰ متری سنگ بستر فرض شده است و آلاینده از نقطه ای در وسط سطح خاک با یک دبی ثابت انتشار می یابد. برای آنالیز مدل به روش المان محدود از نرم افزار GeoStudio و بسته های Seep و CTran استفاده می کنیم . بدین ترتیب که ابتدا مدل سازی را در Seep به منظور محاسبه سرعت جریان های آب زیرزمینی و اعمال مکش ناشی از شرایط غیر اشباع انجام می دهیم . سپس مدل ساخته شده را جهت بررسی انتشار آلودگی وارد بسته CTran می کنیم . با توجه به اینکه چگالی نسبی آلاینده را بیشتر از یک در نظر می گیریم در بسته CTran باید از تحلیل density-dependent استفاده کرد . مشخصات خاک و آلاینده مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است . ضرایب پراکندگی طولی و در راستای عمود بر جهت جریان، با توجه به مقادیر پیشنهاد شده توسط Krahn [۷] انتخاب شده اند.

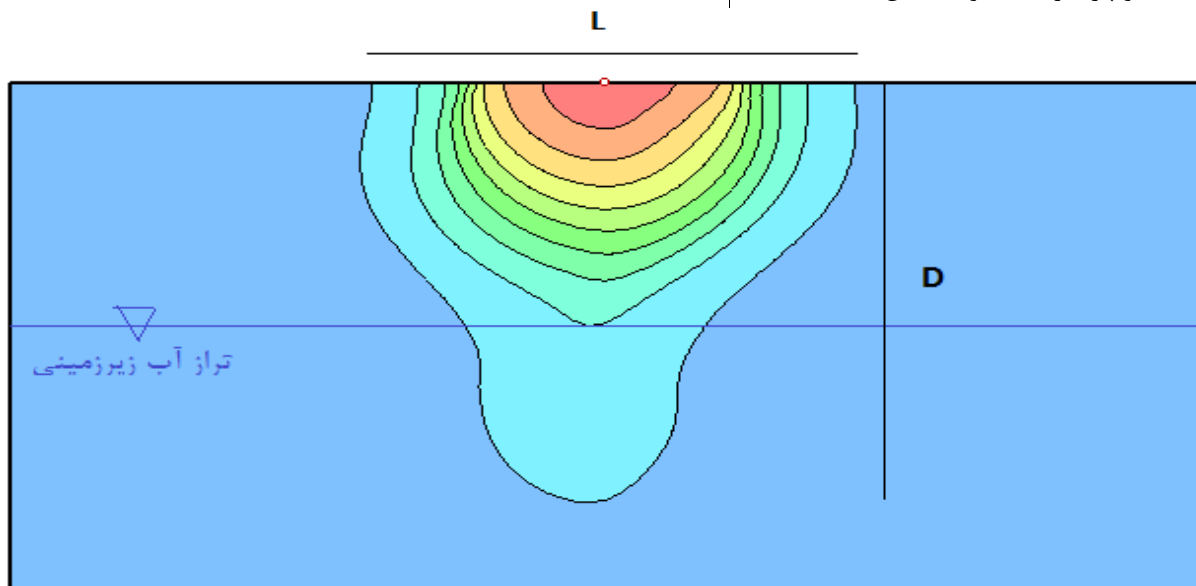
**جدول ۱: پارامترهای استفاده شده در مدل عددی**

| اندازه | واحد              | پارامتر            |
|--------|-------------------|--------------------|
| ۱/۲    | -                 | چگالی نسبی آلاینده |
| ۱e-۵   | متر مکعب بر ثانیه | دبی ورودی آلاینده  |
| ۲۰     | متر               | عمق آب زیرزمینی    |
| ۴      | متر               | ضریب پراکندگی طولی |
| ۲      | متر               | ضریب پراکندگی عرضی |
| ۳۶۵    | روز               | زمان               |

#### ۴- تحلیل تغییرات انتشار آلودگی نفتی در انواع خاک ها

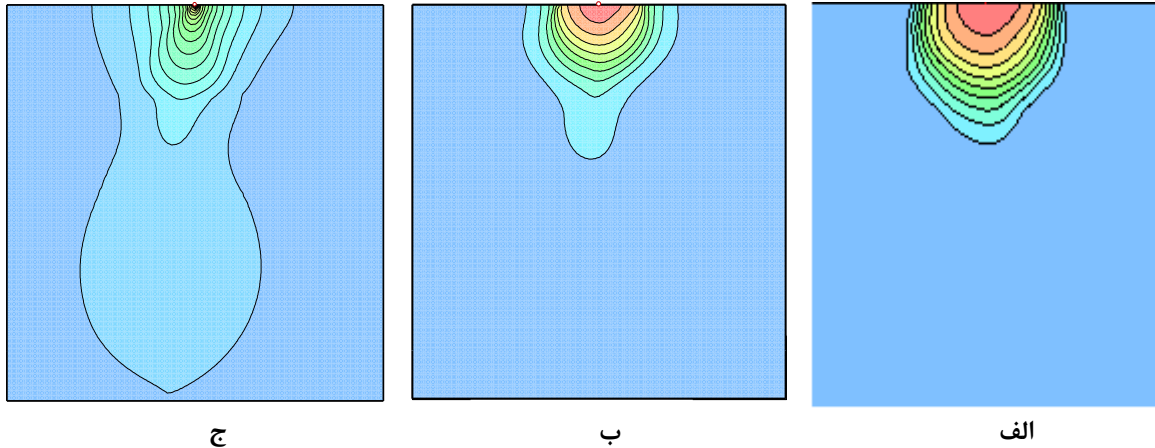
مهم ترین عامل تاثیرگذار بر روند انتشار آلودگی در خاک، نفوذپذیری خاک می باشد. در مدل عددی برای بدست آوردن تاثیرات نفوذ پذیری بر روند انتشار آلودگی باید برای انواع خاک درصد آب حجمی، مکش حداکثر و ضریب پخش مناسب با آن خاک را در محاسبات نرم افزار وارد کرد. پس بررسی تغییرات انتشار آلودگی نسبت به نفوذپذیری به علت ثابت نبودن سایر عوامل بی معنی است و این تغییرات باید با توجه به نوع خاک بررسی شود.

مدل انتشار آلودگی بر اساس دو پارامتر اصلی گستردگی سطح انتشار آلودگی (L) و عمق نفوذ آلودگی در خاک (D) بررسی و تحلیل می شود. در شکل ۲ مدل انتشار آلودگی نفتی در یک خاک همگن ماسه ای و همچنین نمونه ای از خطوط هم غلظت و پارامترهای L و D نشان داده شده است.



**شکل ۲: مدل انتشار آلودگی نفتی در یک خاک همگن ماسه ای**

همچنین در شکل ۳ تاثیر تغییر مقادیر نفوذپذیری را بر روند انتشار و اندازه L و D مشاهده می کنید :



شکل ۳: الف) ماسه سیلتی (ب) ماسه تمیز (ج) خاک شنی

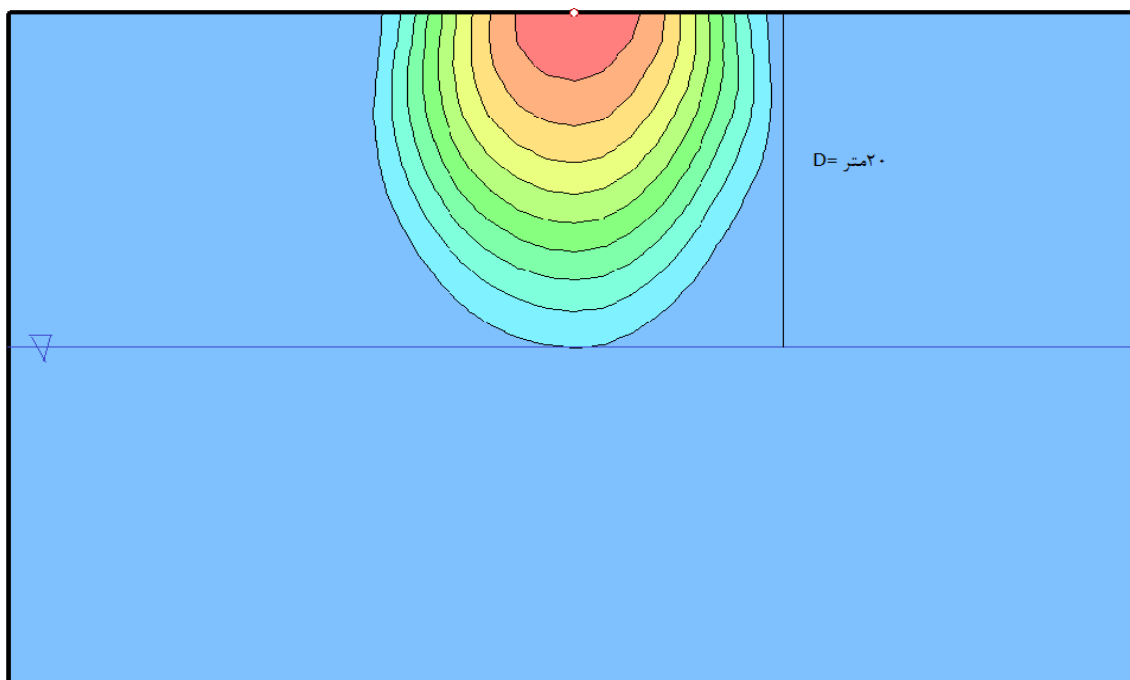
حال برای مقایسه صحیح انتشار آلودگی در انواع خاک ها مدت زمانی را که آلودگی برای رسیدن به سطح آب زیرزمینی مسئله طی می کند را بدست آورده و بررسی می کنیم. آنالیز عددی در نرم افزار بر روی چهار نوع خاک ماسه، ماسه سیلتی، رس سیلتی و رس انجام می شود. در جدول ۲ مشخصات خاک های مورد بررسی آمده است:

جدول ۲: مشخصات خاک های مورد بررسی

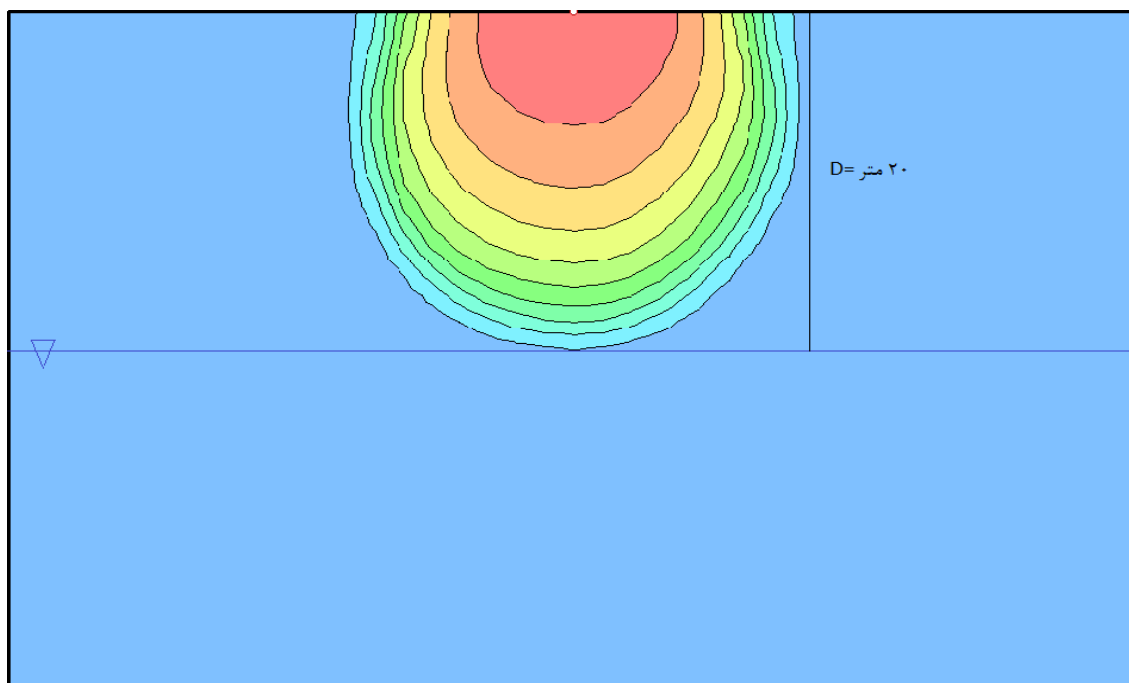
| نوع خاک    | درصد آب حجمی | نفوذپذیری (متر بر ثانیه) | ضریب پخش (مترمربع بر ثانیه) |
|------------|--------------|--------------------------|-----------------------------|
| ماسه       | ۰/۳۵         | ۱e-۵                     | ۱e-۷                        |
| ماسه سیلتی | ۰/۳۸         | ۱e-۶                     | ۱e-۷                        |
| رس سیلتی   | ۰/۴۵         | ۵e-۸                     | ۱e-۹                        |
| رس         | ۰/۵          | ۱e-۹                     | ۱e-۹                        |

در شکل های ۴ تا ۷ نحوه انتشار آلودگی تا لحظه رسیدن به آب زیرزمینی که همان عمق نفوذ ۲۰ متر می باشد در خاک های ذکر شده نشان داده شده است. همچنین مدت زمانی را که آلاینده در هر خاک ۲۰ متر طی کرده و به آب زیرزمینی رسیده است در جدول ۳ آورده شده است.

با توجه به این شکل ها مشخص است که در خاک های رس سیلتی و رس که ریزدانه می باشند در لحظه رسیدن به سطح آب، گسترش آلودگی در سطح خاک خیلی بیشتر از خاک درشت دانه می باشد که به معنی بیشتر بودن پارامتر L در یک عمق نفوذ آلودگی ثابت D در خاک های ریزدانه می باشد. این موضوع بدین معنا می باشد که با ریزدانه تر شدن خاک آلودگی بیشتر در سطح پخش می شود و سح بیشتری از خاک را آلوده می کند.  
لازم به ذکر است که در خاک ریز دانه به علت نفوذپذیری بسیار کم با اعمال دبی ورودی آلاینده گفته شده، فشار وارد بر آب بالا می رود که برای مقایسه بین انواع خاک از این مسئله صرف نظر کردیم.

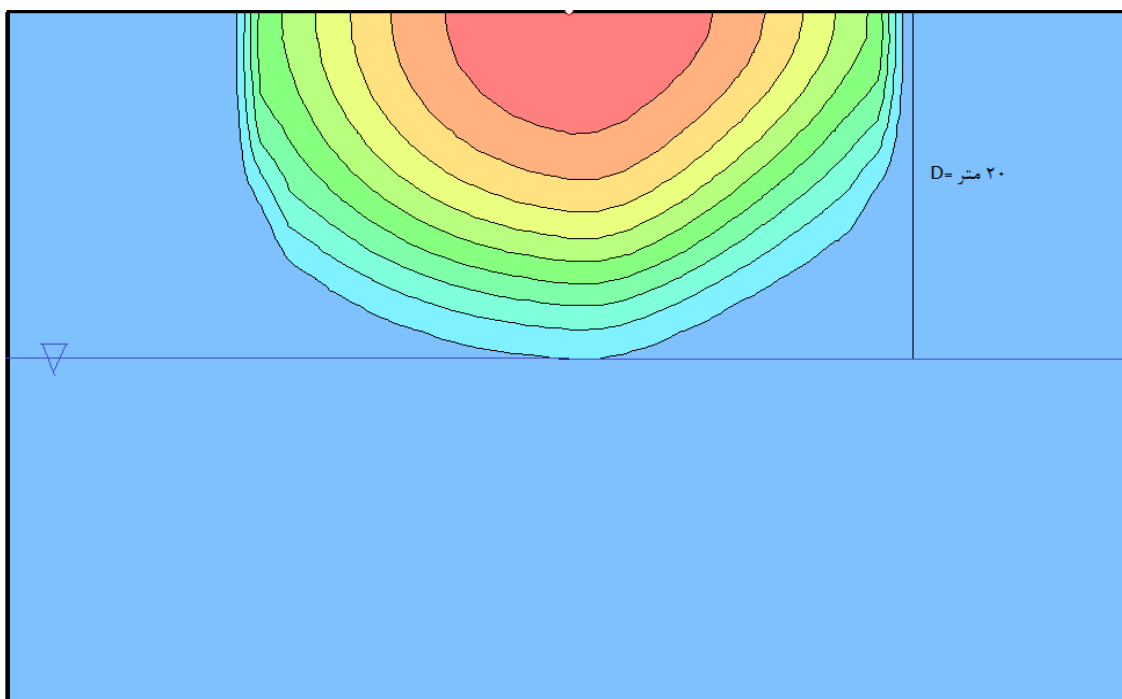


شکل ۴: نحوه انتشار آلودگی در زمان رسیدن به آب زیرزمینی در عمق ۲۰ متری سطح خاک ماسه ای

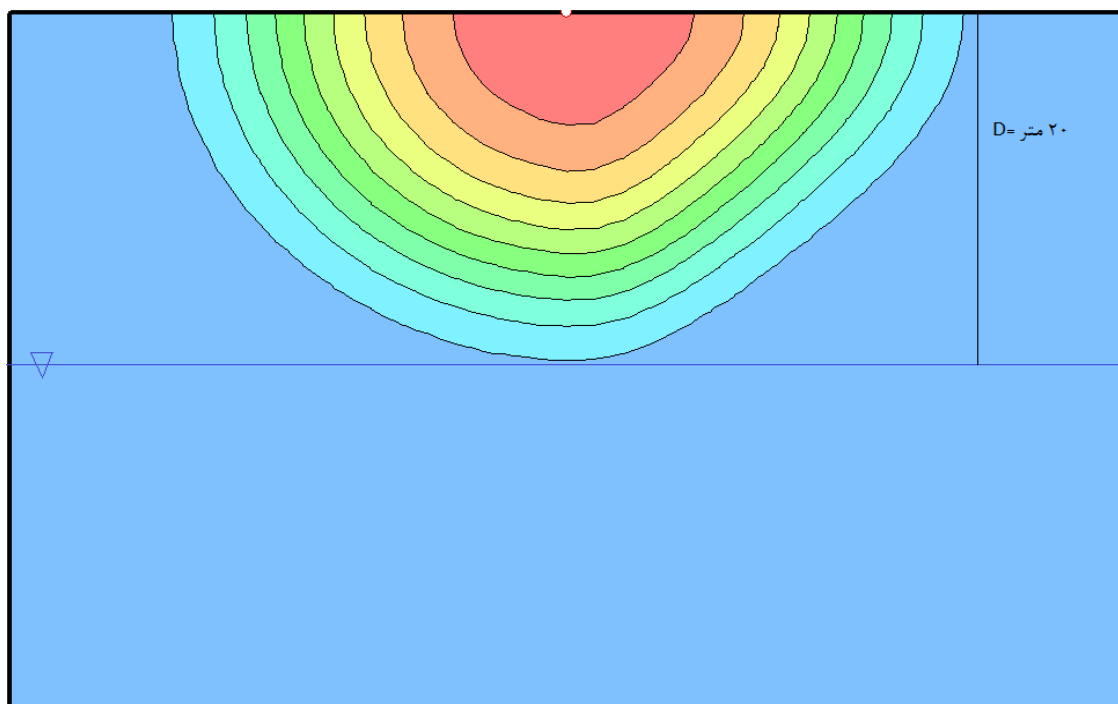


شکل ۵: نحوه انتشار آلودگی در زمان رسیدن به آب زیرزمینی در عمق ۲۰ متری سطح خاک ماسه ای سیلتی





شکل ۶: نحوه انتشار آلودگی در زمان رسیدن به آب زیرزمینی در عمق ۲۰ متری سطح خاک سیلتی



شکل ۷: نحوه انتشار آلودگی در زمان رسیدن به آب زیرزمینی در عمق ۲۰ متری سطح خاک رسی

**جدول ۳: مدت زمان سپری شده برای رسیدن آلاینده به سطح آب در هر خاک**

| نوع خاک    | زمان رسیدن به سطح آب زیرزمینی |
|------------|-------------------------------|
| ماسه       | ۱۰ روز                        |
| ماسه سیلتی | ۵۷ روز                        |
| رس سیلتی   | ۱۸۴ روز                       |
| رس         | ۲۶۴ روز                       |

با توجه به جدول ۳ در می یابیم مدت زمان لازم برای اینکه آلاینده فاصله ۲۰ متر را طی کند و به آب زیرزمینی ورود کند و باعث آلوده شدن آن شود با ریزدانه تر شدن خاک به مقدار زیادی افزایش می یابد. همان طور که مشخص است در خاک ماسه ای که نفوذ پذیری زیادی دارد ظرف مدت ۱۰ روز آلاینده وارد آب می شود که این مدت زمان برای خاک رس با نفوذپذیری خیلی کم به ۲۶۴ روز می رسد.

#### ۵- بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی بر عمق نفوذ آلاینده

در این بخش به بررسی تغییرات عمق نفوذ آلودگی با تغییر در تراز آب زیرزمینی در خاک های بررسی شده می پردازیم. بدین منظور در مرحله اول تراز آب را در ۱۰ متر پایین تر از بخش قبل، یعنی در فاصله ۳۰ متری از سطح زمین در نظر می گیریم و بعد از تحلیل انتشار آلاینده توسط نرم افزار، عمقی را که آلودگی در زمان های به دست آمده در بخش قبل برای هر خاک، نفوذ می کند را اندازه می گیریم. در مرحله دوم تراز آب را به ۱۰ متر بالاتر از بخش قبل، یعنی به فاصله ۱۰ متری از سطح زمین انتقال می دهیم و همانند مرحله اول آنالیز می کنیم. نتایج آنالیز در جدول ۴ ارائه شده است.

**جدول ۴: بررسی تغییرات عمق نفوذ آلاینده در خاک با تغییرات تراز آب زیرزمینی**

| نوع خاک               | عمق نفوذ آلاینده وقتی تراز آب در ۳۰ متری سطح زمین باشد | عمق نفوذ آلاینده وقتی تراز آب در ۲۰ متری سطح زمین باشد | عمق نفوذ آلاینده وقتی تراز آب در ۱۰ متری سطح زمین باشد |
|-----------------------|--|--|--|
| ماسه بعد ۱۰ روز       | ۳۳ متر   | ۲۰ متر   | ۱۳/۵ متر   |
| ماسه سیلتی بعد ۵۷ روز | ۲۲ متر   | ۲۰ متر   | ۱۶/۵ متر   |
| رس سیلتی بعد ۱۸۴ روز  | ۲۰ متر   | ۲۰ متر   | ۲۰ متر   |
| رس بعد ۲۶۴ روز        | ۲۰/۵ متر   | ۲۰ متر   | ۲۰ متر   |

با توجه به جدول ۴ مشاهده می شود که با پایین آمدن سطح آب زیرزمینی در خاک های ماسه دار و درشت دانه تر، آلاینده تا عمق بیشتری در خاک نفوذ می کند و با بالا آمدن سطح آب عمق نفوذ آلاینده به داخل خاک کاهش می یابد. این بدین معنا می باشد که در نواحی دارای بارندگی زیاد که آب زیرزمینی در تراز بالاتری قرار دارد ، عمق نفوذ آلاینده نسبت به نواحی خشک که تراز آب پایین تر است، کمتر می باشد. اما مشاهده می شود که در خاک های ریزدانه تغییر در تراز آب زیرزمینی تاثیر چندانی بر مقدار نفوذ آلاینده به داخل خاک ندارد. البته این مسئله بعد از گذشت چند سال از نشر آلاینده در خاک ریزدانه ممکن است نمود پیدا کند.

#### ۶- نتیجه گیری

در روند انتشار آلودگی در خاک مقدار عمق نفوذ آلودگی (D) و سطح پخش آن (L) حائز اهمیت می باشد. یکی از مهم ترین پارامترهای خاک که تغییرات آن بر این دو مقدار تاثیر زیادی می گذارد، نفوذپذیری خاک می باشد. بررسی تغییرات نفوذپذیری بر روند انتشار باید در غالب تغییرات نوع خاک صورت پذیرد. در چهار نوع خاک بررسی شده در این تحقیق مشاهده شد که اگر عمق آب زیرزمینی در ۲۰ متری سطح خاک باشد، مدت زمانی که طول می کشد آلودگی به مرز آب زیرزمینی برسد (D=20m)، در خاک ریزدانه خیلی بیشتر از خاک ماسه ای می باشد و این زمان برای هر ۴ نوع خاک ماسه، ماسه سیلتی، رس سیلتی و رس بدست آمد. همچنین در خاک ریزدانه به دلیل نفوذپذیری کمتر، گسترش آلودگی در سطح خاک خیلی بیشتر از خاک درشت دانه می باشد که به معنی بیشتر بودن پارامتر L در یک عمق نفوذ آلودگی ثابت D در خاک های ریزدانه می باشد در گام بعدی اثر تغییر در تراز آب بر عمق نفوذ آلودگی در زمان های بدست آمده از حالت قبل برای هر خاک را بررسی کردیم. مشاهده شد در مناطقی که دارای خاک ماسه ای و ماسه ای سیلتی می باشند، هرچه تراز آب زیرزمینی بالاتر باشد عمق نفوذ آلاینده کمتر است و برعکس. در خاک های ریزدانه تغییرات تراز آب تاثیر چندانی بر عمق نفوذ نمیگذارد.

## مراجع

- [۱] گیتی پور، س؛ نبی بیدهندی، غ؛ گرجی، م؛ "آلودگی خاک های پالایشگاه جنوب تهران در اثر ترکیبات نفتی"، مجله محیط شناسی، شماره ۳۴، صفحه ۳۹-۴۵، ۱۳۸۱
- [2] Kamon, M., Endo, K., and Katsumi, T., 2003, Measuring the k-S-p relations on DNAPLs migration: Engineering Geology, v. 70, no. 3-4, p. 351-363.
- [3] Willson, C. S., Weaver, J. W., and Charbeneau, R. J., 2006, A screening model for simulating DNAPL flow and transport in porous media: theoretical development: Environmental Modelling & Software, v. 21, no. 1, p. 16-32.
- [۴] احتشامی، م؛ احمدنیا، ر؛ "مدل سازی نشت هیدروکربن های نفتی در منابع خاک آب های زیرزمینی"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۲۹، ۴۷-۵۷، ۱۳۸۵
- [5] Qin, X. S., Huang, G. H., and He, L., 2009, Simulation and optimization technologies for petroleum waste management and remediation process control: Journal of Environmental Management, v. 90, no. 1, p. 54-76.
- [6] C-Tran Engineering Book, manual of Geo-studio software, 2012
- [7] Krahn, J, C-Tran Engineering Book, manual of Geo-studio software, 2004