

## استفاده از روش فراکتال جهت بررسی اثر مقیاس طولی بر ضریب انتشارپذیری عناصر ناپایدار در خاک

یاسر حسینی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران

(YASER\_HOSEINI@YMAIL.COM)

هادی معاضد

هیئت علمی دانشگاه شهید چمران دانشکده علوم ومهندسی آب

عبدعلی ناصری

هیئت علمی دانشگاه شهید چمران دانشکده علوم ومهندسی آب

فریبرز عباسی

هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی

سید عطا.. ساکبی

مدیریت شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کشور (گروه مطالعات کرخه)

### چکیده:

یکی از خصوصیات مهم در مدلسازی حرکت املاح در خاک تعیین دقیق مقدار انتشار هیدرودینامیکی املاح در خاک می باشد. این پارامتر از دو قسمت پخشیدگی مولکولی و انتشار مکانیکی تشکیل شده است. در انتقال املاح در شرایط جریان اشباع مکانیسم انتشار مکانیکی اهمیت بسزایی را دارا می باشد. علت اصلی فرآیند انتشار مکانیکی تغییرات میکروسکوپی سرعت جریان در منافذ خاک می باشد و به صورت ضریبی از سرعت جریان بیان می گردد. این ضریب در پژوهشها به عنوان ضریب انتشار پذیری نامیده می شود. تحقیقات زیادی وابستگی این ضریب را به فاصله انتقال آلاینده نشان داده است. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از تئوری فراکتال ژئومتری روشی برای تعیین این ضریب ارائه گردد. در این مطالعه روند افزایش ضریب انتشار پذیری نسبت به طول نمونه در کل ستون آزمایش مشاهده گردید که تابع افزایشی آن با توجه به نظریه فراکتال ژئومتری از نوع توانی بوده است. تئوری فراکتال ژئومتری بر اساس تفاوت بین مسیر مستقیم حرکت جریان و مسیر واقعی جریان و فرضیات مندلبروت استوار می باشد. براین اساس نسبت مسیر واقعی جریان به مسیر مستقیم جریان از نوعی تابع توانی پیروی می نماید، و که ضریب انتشار پذیری را در خاک می توان با توجه به این پدیده دست آورد در تحقیق حاضر انتشار پذیری در طول نمونه از رابطه  $\lambda_{(cm)} = 0.284 \times L_{(cm)}^{0.74}$  پیروی نمود، که در این رابطه  $\lambda_{(cm)}$  عبارتند از ضریب انتشارپذیری

طولی و  $L_{(cm)}$  مقیاس طولی نمونه می باشد.

کلمات کلیدی: انتشار پذیری، انتقال املاح، ستون عمودی، تئوری فراکتال ژئومتری

مقدمه:

انتشارپذیری<sup>1</sup> یک پارامتر قابل اندازه گیری محیط متخلخل می باشد که در معادله جابجایی - انتشار<sup>2</sup> به کار رفته است. گاهی این کمیت برای کل محیط متخلخل ثابت در نظر گرفته می شود. ولی در طول سه دهه اخیر مطالعات فراوانی که صورت گرفته نشان داده است که تعیین یک مقدار ثابت برای انتشارپذیری همیشه کافی نبوده، بلکه انتشارپذیری به «فاصله انتقال<sup>3</sup>» و یا طول آبخوان بستگی دارد (ویرنگا، 2004). دانستن نحوه حرکت املاح در خاک جهت شناسایی و جلوگیری از منابع آلوده کننده آبهای زیرزمینی امری ضروری است در این زمینه مدل‌های زیادی برای بررسی حرکت املاح در خاک ارائه شده است. این مدل‌ها به خوبی قادر به شبیه سازی حرکت املاح در خاک‌های همگن می باشند ولی در شرایط مزرعه ای از دقت زیادی برخوردار نمی باشند. و علت اصلی این عدم تطابق، تغییرات مکانی خصوصیات خاکها می باشد. یکی از مدل‌های ارائه شده در خاک‌های همگن مدل CDE یا معادله کلاسیک جابجایی - انتشار در خاک می باشد. این مدل در شرایطی که خاک همگن بوده و جریان در محیط اشباع صورت گیرد و املاح با خاک واکنش انجام ندهند (املاح پایدار) به خوبی قادر به شبیه سازی جریان املاح در محیط متخلخل می باشد ولی در شرایط مزرعه ای کمتر همه موارد نام برده شده میسر می گردد. از این رو بررسی حرکت املاح در شرایطی که خاک ناهمگن بوده و املاح با خاک واکنش داده و جذب شوند با شرایط مزرعه تطابق مناسبی خواهد داشت. همچنین، تعیین معادله CDE با در نظر گرفتن اثر مقیاس مسئله مهمی است که نتایج مدل CDE را به واقعیت نزدیکتر می سازد. یکی از فرضیات مطرح شده در رابطه با تاثیر فاکتور مقیاس بر ضریب انتشار پذیری در خاک، فرضیه فراکتال می باشد. لذا هدف از این تحقیق، شبیه سازی حرکت املاح واکنش دهنده (ناپایدار) در خاک بوسیله مدل عددی توسعه یافته CDE و در نظر گرفتن اثر مقیاس با توجه به فرضیه فراکتال زئومتری برای معادله انتقال - انتشار می باشد.

دو مثال که توسط پیکنز<sup>4</sup> و گریساک<sup>5</sup> (2003) ارائه شده است نحوه تأثیر فاکتور مقیاس برانتشار پذیری را روشن می سازد. آنها نشان دادند که مقدار ضریب انتشار پذیری طولی ( $\alpha L$ ) برابر 0.35 سانتیمتر است وقتی که طول ستون خاک برابر 30 سانتیمتر باشد. و وقتی که طول ستون خاک به 3 متر برسد مقدار آن به 3 سانتیمتر می رسد، و وقتی نهایتاً طول ستون خاک به 500 سانتیمتر می رسد مقدار آن به 9 سانتیمتر می رسد. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول ستون خاک، مقدار انتشار پذیری طولی جهت تطابق داده ها با مقادیر بدست آمده از فرمول CDE باید افزایش یابد. لامند<sup>6</sup> و پودسرف<sup>7</sup> (1978) گرافی را انتشار دادند که در آن مقدار ضریب انتشار پذیری طولی را نسبت به طول جریان در یک کاغذ لگاریتمی ترسیم نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که رابطه  $\alpha L = 0.1x$  بین آنها برقرار است. گلهار<sup>8</sup> (2003) نیز همین آزمایش را با داده های بیشتری انجام داد و به همین نتیجه رسید. اوکیس و ادورتی<sup>9</sup> (1977) با تزریق شعاعی<sup>9</sup> و ضربانی<sup>10</sup> در دو چاه، در آبخوان ماسه سنگی دریافتند که مقدار انتشارپذیری برای کل عمق نفوذی 2 تا 4 برابر مقدار آن در لایه های جدا<sup>11</sup> 11 بود. جینس و همکاران (1988) با درجه اطمینان 95٪، همبستگی مثبت و ضعیفی (0/37) بین عمق و

<sup>1</sup> -Dispersivity  
<sup>2</sup> -Advection-Dispersion  
<sup>3</sup> -Travel Distance  
<sup>4</sup> - Pickens  
<sup>5</sup> - Grisak  
<sup>6</sup> - Lallemant  
<sup>7</sup> - Peoudecercf  
<sup>8</sup> - Gelhar  
<sup>9</sup> -Radial Injection  
<sup>10</sup> -Pulse Injection  
<sup>11</sup> Discrete Layers

انتشارپذیری در بالای عمق 3 متر با استفاده از برومید در شرایط آبیاری دائمی غرقابی به دست آوردند. کیس (به نقل از آیوتامونو، 1998) به افزایش ناچیزی در مقدار انتشارپذیری با عمق (تا 2متر)، با استفاده از ردیاب های نیترات و تریتیوم در آزمایش های مزرعه ای در حالت غیراشباع دست یافت.

### تئوری مسئله:

الف- معادله کلی جابجایی املاح در جریان اشباع:

عمومی ترین شکل معادله ی یک بعدی جابجایی انتشار<sup>12</sup>، به صورت ساده و کاربردی زیر ارائه می شود:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{d^2 c}{dl^2} - v \frac{dc}{dl} \quad (1)$$

L: طول منحنی وار مسیر جریان.

V: متوسط سرعت واقعی آب زیرزمینی.

D: ضریب انتشار هیدرودینامیکی در جهت طولی (در جهت جریان).

C: غلظت ماده محلول.

T: زمان انجام آزمایش.

پیشگام بودن مؤلفه هایی از سرعت جریان مایعات در خاک سبب می شود که بخش پیشتاز با مایع موجود ترکیب شده و غلظت متفاوتی بخود بگیرد. البته میزان و شدت اختلاط بستگی به عواملی از قبیل میانگین سرعت، توزیع خلل و فرج، میزان رطوبت خاک، شیب غلظت املاح و... داشته و در صورتی که سرعت جریان قابل توجه باشد، تأثیر نسبی انتشار مکانیکی بیش از پخشیدگی گردیده و می توان از پخشیدگی صرف نظر نمود. از طرف دیگر در مواردی که محلول خاک در حال سکون باشد، انتشار مکانیکی نقشی ایفا نمی کند. در اشتقاق معادلات پخشیدگی املاح از ضریب دیگری (Dm) استفاده می شود که با میانگین سرعت جریان v، رابطه ی خطی زیر را دارد:

$$D_m = \alpha \cdot v \quad (2)$$

که  $\alpha$  یک ضریب تجربی موسوم به انتشارپذیری<sup>13</sup> می باشد.

بعلت تشابه تأثیر بین پخشیدگی و انتشار مکانیکی بهتر است این دو فرآیند را جمع پذیر تلقی کرده و ضریب Ds و Dm را در یک ضریب پخشیدگی و انتشار D که تابعی از رطوبت خاک  $\theta$  و میانگین سرعت V است ادغام شود. مجموع دو فرآیند پخشیدگی مولکولی و انتشار مکانیکی را، انتشار هیدرودینامیکی می گویند.

$$D(\theta, V) = D_s + D_m(v) \quad (3)$$

<sup>12</sup> -Advecion Dispersion

<sup>13</sup> -Dispersivity

ب - اثر فراکتال ژئومتری:

انتشار پذیری طولی که با طول جریان در ارتباط می باشد را انتشار پذیری اصلی (Macro dispersion) می نامند. حتی در محیط هایی که به نظر همگن می رسند تغییرات هدایت هیدرولیکی در مسیر جریان باعث تغییر سرعت جریان در آنها شده و تغییرات انتشار پذیری مکانیکی را به همراه دارد. یکی از روشهای ریاضی برای بیان پدیده انتشار، روش روده واری فراکتال (Fractal geometry) می باشد. مندل بروت ۱۴ (1993) اساس این روش بر این اصل استوار می باشد که پدیده هایی که از یک قانون معین پیروی نمی کنند در مقیاس های مختلف تکرار می شوند. این پدیده به نام خود شبیهی (Self-Similarity) شناخته می شود. به عقیده مندلبروت اندازه گیری طول یک خط غیرمستقیم با مقیاس های متفاوت نتایج متفاوتی را دربردارد به طوری که اگر به طور مثال مقیاس اندازه گیری 100 km باشد عددی که به دست می آید با زمانی که مقیاس اندازه گیری 1m باشد متفاوت خواهد بود. مندلبروت نشان داد که طول ثابتی وجود دارد که به واحد اندازه گیری مربوط نمی باشد.

$$J = N\eta^f = \text{مقدار ثابت} \quad (4)$$

J= طول ثابت = N= تعداد واحد ها =  $\eta$  , واحد اندازه گیری = f , ضریب روده واری

f مقادیری بین 1 و 2 را اختیار می کند. اگر f=1 باشد، خط مستقیم است و اگر 2 باشد خط غیر مستقیم و نامنظم است. بر اساس نظریه فوق بین ضریب انتشار پذیری طولی در حالتی که مسیر را مستقیم فرض کنیم و در حالتی که مسیر را به صورت فراکتال در نظر بگیریم رابطه زیر برقرار می شود:

$$\alpha_m = \alpha_l \eta^{1-f} X_s^{f-1} \quad (5)$$

رابطه (5) بیانگر این مسئله است که با افزایش طول نمونه گیری ضریب انتشار طولی افزایش می یابد. اگر f=1

بگیریم مقدار  $\alpha_m = \alpha_l$  می شود.

### مواد و روشها:

#### 1 - تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول شماره 1 نشان داده شده است. همچنین در جدول شماره 2 میزان آنیونها و کاتیونهای نمونه مشخص شده است و در جدول شماره 3 بافت خاک نشان داده شده است.

جدول 1 نتایج آزمایشات EC-TDS-PH

EC	گچ %	TDS mg/lit	EC(ds/m)	PH
1.32	0.74	1048	3.03	7.4

جدول 2- نتایج آزمایش های Na+,Ca2+,Mg2+,K+,Cl-,So4=

14- Mandelbrot

Meg/lit					
Anions		Cations			
Cl-	So4=	K+	Mg2+	Ca2+	Na+
10	34	0.35	8	23	2.01

جدول 3- خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه

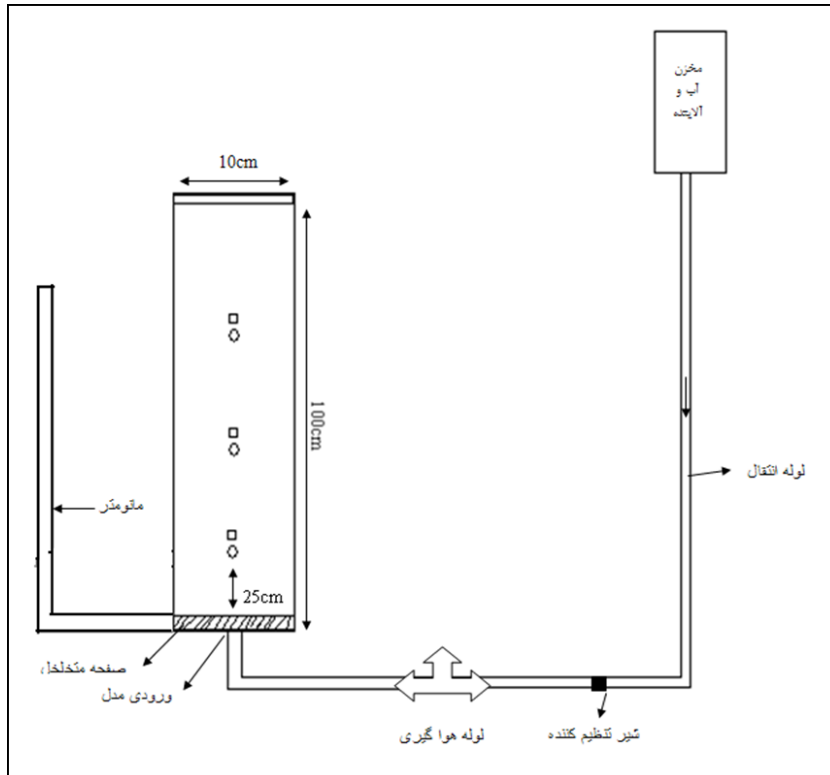
Texture	Sand%	Clay%	Silt%
Si-cl-l	51	22	27

## 2- آزمایشات جذب سطحی فسفر

آزمایشات جذب سطحی فسفر در 2 نمونه خاک به صورت زیر انجام شد. مقدار 2 گرم خاک را در داخل لوله سانتریفوژ ریخته و به آن 40 میلی لیتر محلول کلرید کلسیم 1٪ مولار حاوی فسفر به غلظت های 4-12-25-50-70 میلی گرم در لیتر فسفر که از نمک فسفات منوپتاسیم (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) تهیه شدند، و دو قطره تولوئن (به منظور جلوگیری از فعالیت میکروارگانیزم ها)، اضافه گردید. نمونه ها به مدت 30 دقیقه توسط تکان دهنده مکانیکی تکان داده شد. و پس از 24 ساعت سکون در دمای 25 درجه سانتیگراد، به مدت 30 دقیقه دیگر تکان داده شد. در پایان لوله های سانتریفوژ به مدت 10 دقیقه با 2000 دور در دقیقه سانتریفوژ (با استفاده از دستگاه سانتریفوژ مدل (Hettich K25) گردید. به منظور حصول اطمینان از زلال بودن محلول روئی از کاغذ صافی واتمن 42 عبور داده شد، سپس غلظت فسفر به روش مورفی و ریلی تعیین گردید

## 3- مدل فیزیکی پژوهش:

مدل فیزیکی مورد استفاده در آزمایشات (طراحی و ساخته شده در دانشکده ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز) یک لوله PVC به ارتفاع 100cm بود. مدل از 3 قسمت ورودی، محیط تخلخل و خروجی تشکیل شده بود که بر روی یک چهار پایه قرار داده شده بود و جریان آب و آلاینده از قسمت ورودی که در کف مدل قرار داشت وارد محیط متخلخل می شد. در قسمت بالای ورودی، یک صفحه از جنس پلکسی گلاس و یک پارچه نازک برای جلوگیری از ریزش ذرات خاک وجود داشت. آب و یا آلاینده از منبع توسط یک لوله به قسمت ورودی می رسید و وارد محیط متخلخل می شد که در طول این مسیر شیر کنترل و یک شیر تخلیه هوا وجود داشت تا از ورود هوا به سیستم جلوگیری شود. در بدنه مدل و در طول های 5، 12، 25، 50، 75 و 100 سانتی متر از کف مدل لوله های به منظور نمونه گیری تعبیه شده بود. شمای مدل فیزیکی مورد استفاده در شکل (1) نمایش داده شده است.



شکل (1): شماتیک مدل آزمایشی

## نتایج:

### 1- جذب سطحی فسفر:

نتایج آزمایش مطالعه همدماهای جذب فسفر در خاک در جداول (4) و (5) ارائه شده است این نتایج نشان می دهد که هر کدام از مدلها به خوبی ارتباط فسفر محلول در تعادل و فسفر جذب سطحی شده را نشان می دهند. همانطور که در جداول (4) تا (5) نشان داده شده است، ضرایب همبستگی برای هر یک از این مدلها با انجام آزمایش T-student در سطح یک درصد معنی دار می باشد. از میان این روابط رابطه خطی با داشتن ضریب همبستگی بالاتر از دقت بیشتری برخوردار می باشد. همچنین معادله ون های و فراندلیچ نیز نسبت به معادله لانگمویر یک سطحی و دو سطحی دارای ضریب همبستگی بالاتری می باشد. شایروانی و شریعت مداری نیز در خاکهای استان اصفهان به همین نتیجه دست یافتند. ضمناً یازبرینی و لچ نیز در مورد معادله ون های چنین نتیجه ای را بدست آوردند. با وجود اینکه داده های جذب سطحی فسفر با معادله لانگ مویر یک سطحی مطابقت داشت، اما هنگامی که این معادله به دو سطح اول و دم تقسیم گردید دارای ضریب همبستگی بیشتری نسبت به لانگمویر یک سطحی شد. وجود دو قسمت در همدمای لانگ مویر بیانگر دو محل مشخص با میل ترکیبی متفاوت برای جذب می باشد. ثابت انرژی پیوندی در قسمت اول به مراتب بزرگتر از ثابت انرژی پیوندی در قسمت دوم می باشد. این بدان معنی است که در غلظتهای پایین محلول تعادل، فسفر در محلهایی جذب می شود که با انرژی بیشتری نگهداری می شود. به عبارت دیگر مقدار فسفر جذب شده در قسمت اول معادله کمتر از قسمت دوم معادله می باشد، اما با انرژی بیشتری در قسمت اول نگهداری می شود.

جدول(4): نتایج مربوط به معادله لانگ مویر یک سطحی و دو سطحی

معادله لانگمویر								
شماره نمونه	b	k	r-s	b1	k1	b2	k2	r-s
1	666	0.08	***80	105	17	987	0.02	***83
2	598	0.17	***86	90	16.2	1292	0.01	***87

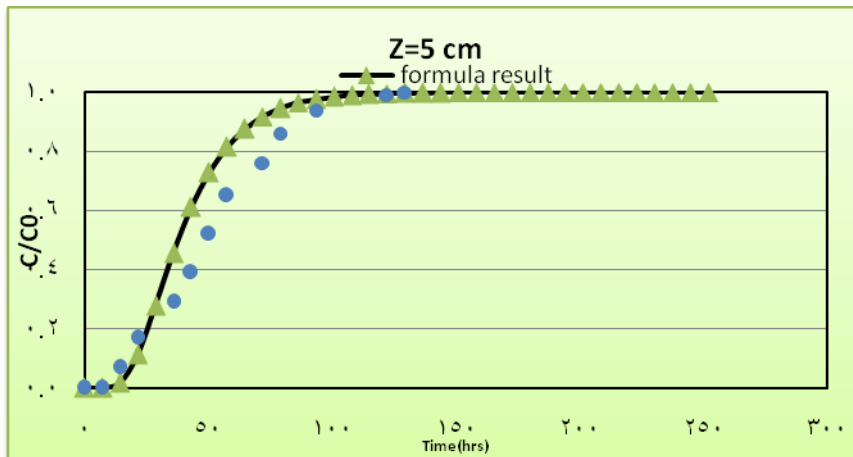
جدول(5): نتایج مربوط به معادلات فروندلیچ و ون های و خطی

معادله خطی		معادله ون های		معادله فروند لیچ			معادله
r-s	k	r-s	n	r-s	k	1/n	شماره نمونه
***95	10.9	***94	80.45	***95	92.1	0.44	1
***92	11.1	***90	74.49	***87	156	0.32	2

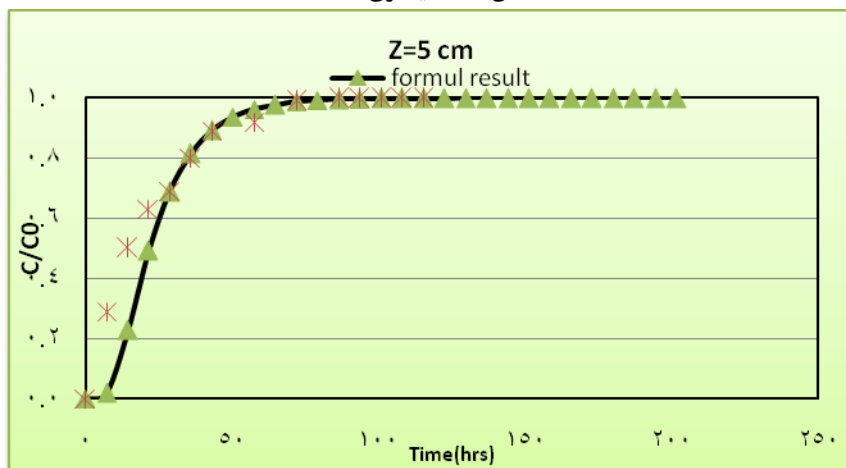
\*\*\* معنی دار در سطح یک درصد

## 2- آزمایش های انتقال آلاینده با شدت جریان و فواصل انتقال متفاوت:

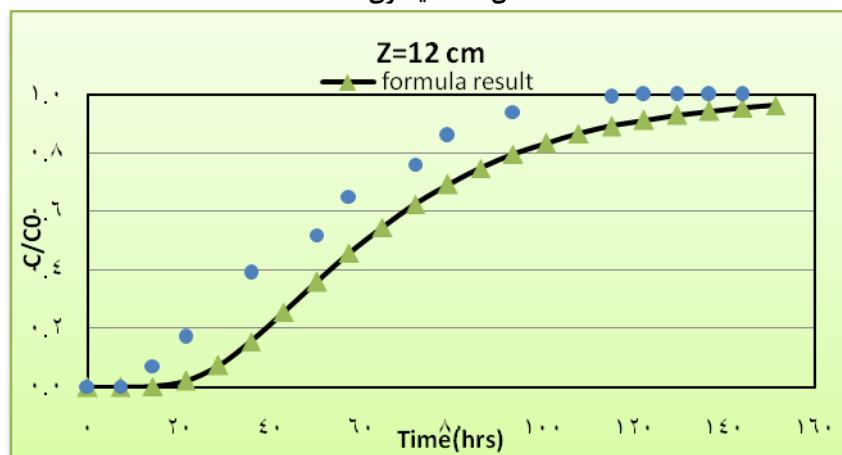
این بخش شامل نتایج آزمایش های انتقال املاح (آلاینده ها) با منبع نقطه ای دائمی در خاک با شدت جریان ها و فواصل انتقال متفاوت است. در تمامی آزمایش ها کلیه شرایط یکسان و ثابت نگه داشته شد و تنها شدت جریان و فاصله انتقال آلاینده متغیر بود. آزمایشات در پنج فاصله انتقال 5، 12، 25، 50، 75 و 100 سانتی متر انجام شد. شدت جریان انتقال آلاینده که حداقل مقدار آن  $3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  و حداکثر آن  $4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  بود. با استفاده از برنامه کامپیوتری که قادر است با فرض رابطه توانی بین ضریب انتشار پذیری و طول نمونه بهترین مقادیر b (توان معادله) و a (ضریب معادله) را به گونه ای تعیین کند که کمترین واریانس را بین مقادیر غلظت مشاهده شده و حاصل از معادله انتقال - انتشار بدست بیاورد. با استفاده از فرمول CDE با مقادیر مختلف a, b به طوریکه بتوان کمترین واریانس را بین مقادیر مشاهده شده و نتایج حاصل از فرمول CDE بدست آورد مقادیر مختلف a, b برای هر یک از آزمایشات و اعماق 5، 12، 25، 50، 75، 100 سانتیمتری بدست آمد؛ که نتایج در اشکال (2) تا (14) نشان داده شده است جهت بررسی میزان نزدیکی داده های بدست آمده از آزمایش با مقادیر حاصل از برنامه کامپیوتری آزمون T- student برای اعماق مختلف و هر یک از آزمایشات انجام گرفت. نتایج نشان داد که فقط در عمق 100 سانتیمتری بین مقادیر غلظت نسبی حاصل از آزمایش و برنامه کامپیوتری اختلاف معنی داری در سطح 5 درصد دیده می شود و در سایر اعماق این اختلاف در سطح 5 درصد معنی دار نمی باشد. این به این معنی می باشد که برنامه به خوبی توانسته است با تغییر مقادیر مختلف a و b معادله CDE را به خوبی از بین مقادیر بدست آمده از آزمایش عبور دهد و بهترین مقادیر a و b را استخراج نماید.



شکل(2): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش اول در عمق 5 سانتیمتری

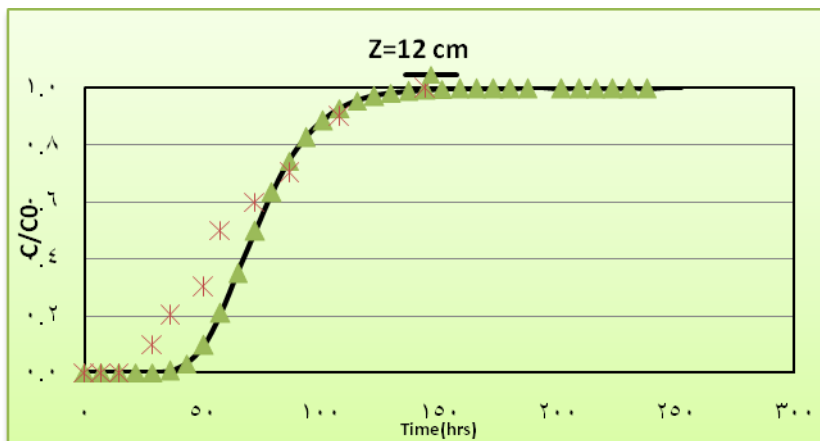


شکل(3): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش دوم در عمق 5 سانتیمتری

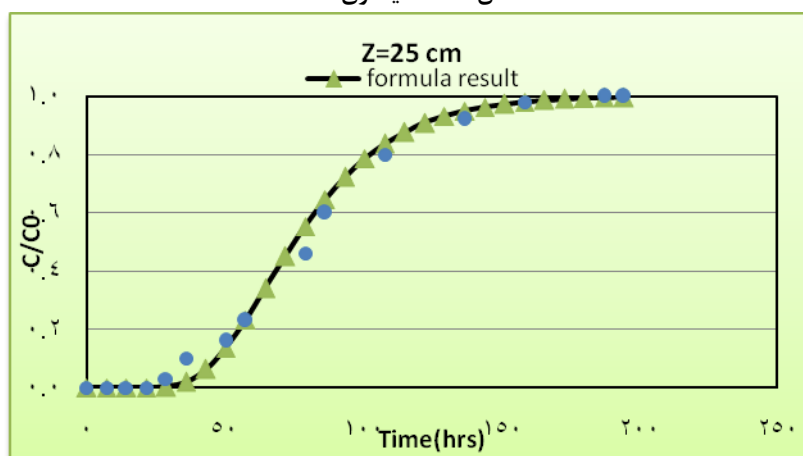


شکل(4): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش اول در عمق 12 سانتیمتری

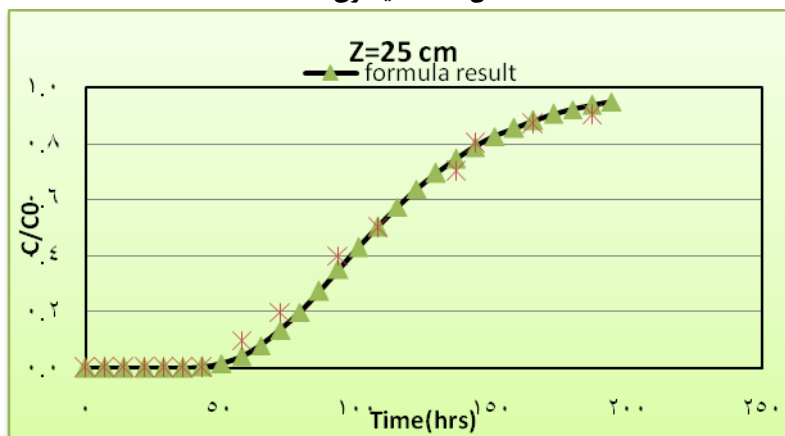




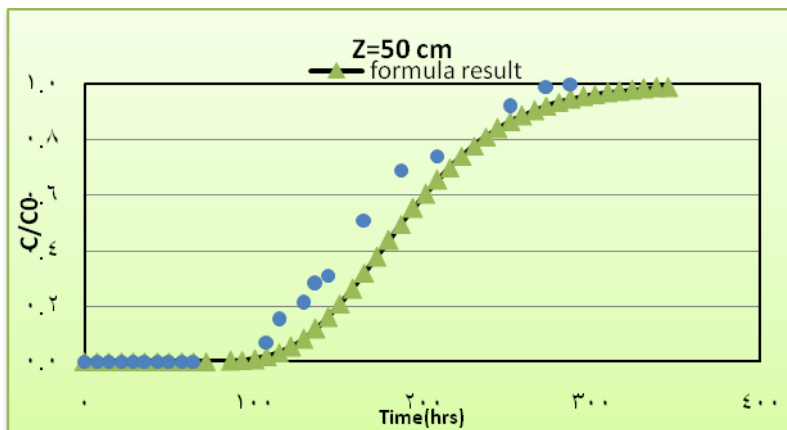
شکل(5): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش دوم در عمق 12 سانتیمتری



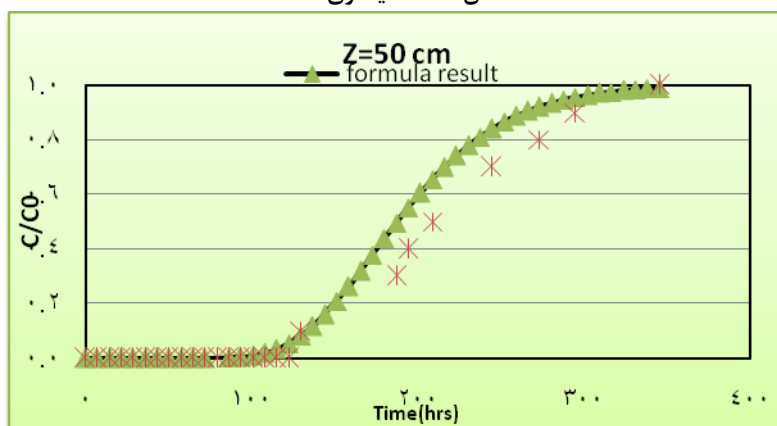
شکل(6): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش اول در عمق 25 سانتیمتری



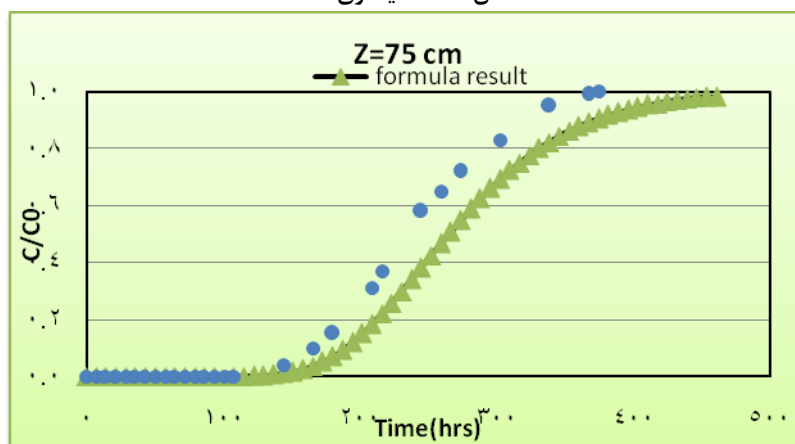
شکل(7): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش دوم در عمق 25 سانتیمتری



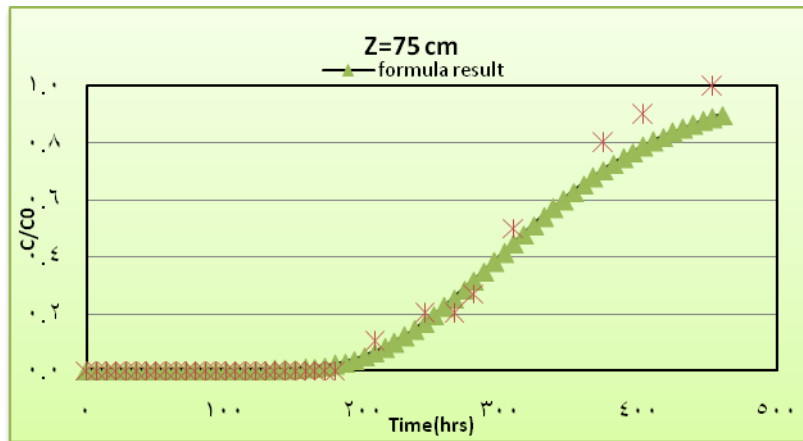
شکل(8): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش اول در عمق 50 سانتیمتری



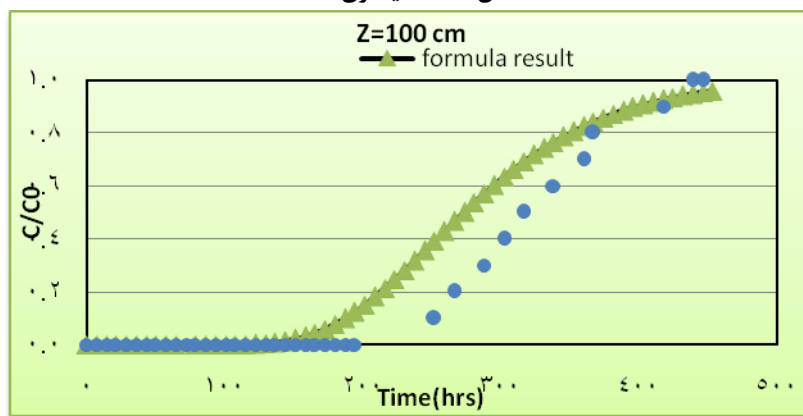
شکل(9): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش دوم در عمق 50 سانتیمتری



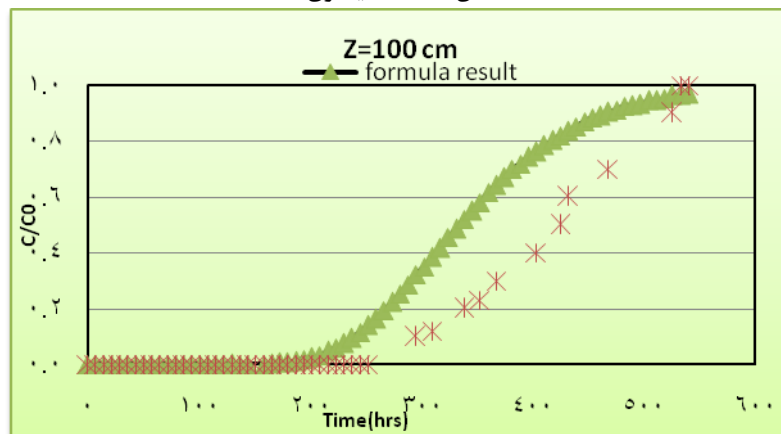
شکل(10): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b و نتایج حاصل از آزمایش اول در عمق 75 سانتیمتری



شکل(11): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b ونتایج حاصل از آزمایش دوم در عمق 75 سانتیمتری



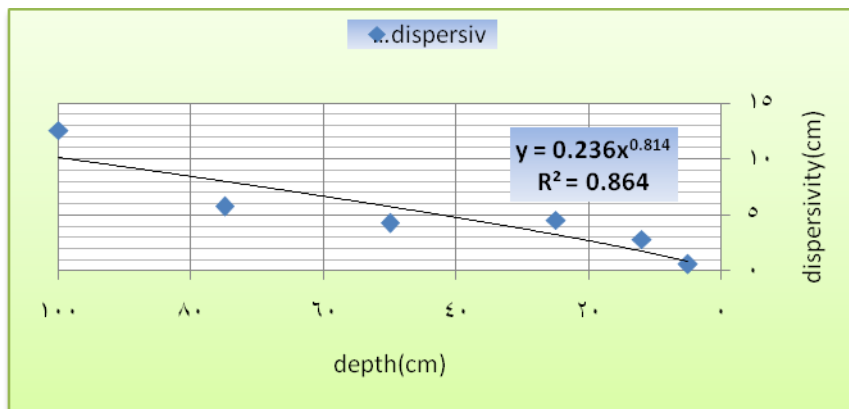
شکل(13): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b ونتایج حاصل از آزمایش اول در عمق 100 سانتیمتری



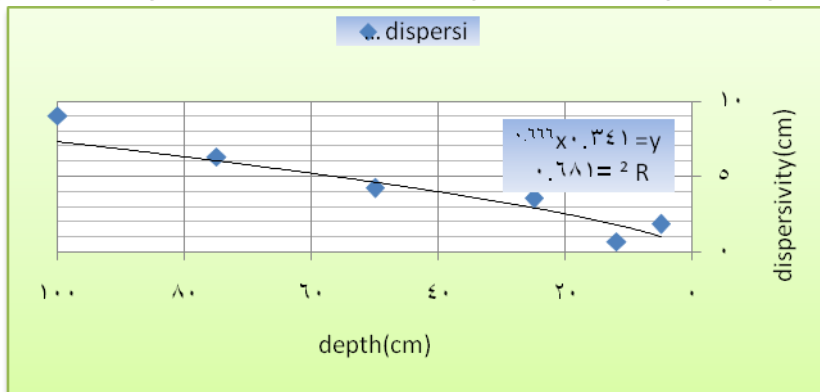
شکل(14): بهترین خط برازش داده شده منحنی BTC حاصل از فرمول CDE با مقادیر مختلف a,b ونتایج حاصل از آزمایش دوم در عمق 100 سانتیمتری

مقادیر بهینه بدست آمده برای مقادیر مختلف a , b نیز در جدول شماره(6) نشان داده شده است. در این جدول  $\lambda 1$  و  $\lambda 2$  عبارتند از ضریب انتشارپذیری در آزمایش اول و دوم. با استفاده از رگرسیون توانی معادله بهترین خط برازش داده شده بین مقادیر مختلف ضریب انتشار پذیری بدست آمده از آزمایش اول و اعماق مختلف ستون خاک بدست آمد که در شکل

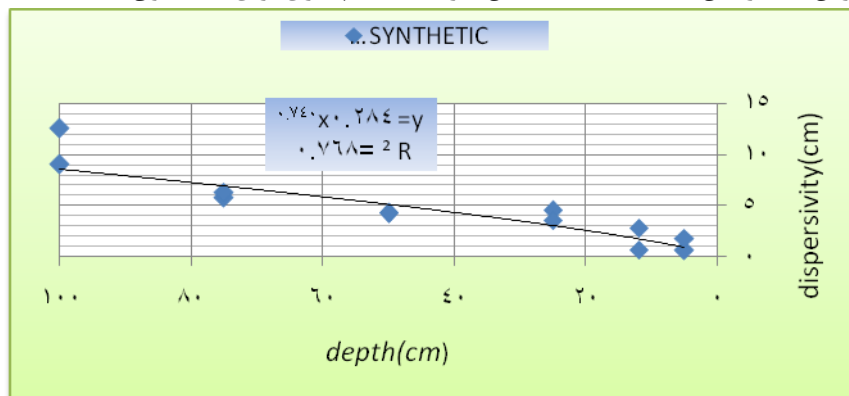
(15) نشان داده شده است. ضریب انتشار پذیری در آزمایش اول برای کل ستون خاک از رابطه  $L^{0.81} \lambda = 0.236$  پیروی میکند که در این رابطه  $\lambda$  ضریب انتشار پذیری بر حسب سانتیمتر و  $L$  برابر طول ستون خاک بر حسب سانتیمتر می باشد، این معادله دارای ضریب رگرسیون 86 در صد است. همچنین معادله توانی ضریب انتشار پذیری در آزمایش دوم نیز در شکل (16) نشان داده شده است ضریب انتشار پذیری در آزمایش دوم برای کل ستون خاک از رابطه  $L^{0.66} \lambda = 0.341$  تبعیت می نماید، این معادله دارای ضریب رگرسیون 66 در صد می باشد. همچنین نمودار رگرسیون توانی برای همه مقادیر ضریب انتشار پذیری در اعماق مختلف ستون خاک در شکل (17) نشان داده شده است. معادله رگرسیون برای کل ستون خاک و برای هر دو آزمایش از رابطه  $L^{0.74} \lambda = 0.284$  و با ضریب رگرسیون 76 در صد می باشد. با توجه به ضرایب رگرسیونی بدست آمده مشخص می گردد که آزمایش اول به طور مشخصتری رابطه ضریب انتشار پذیری را با طول ستون خاک نشان می دهد.



شکل(15):بهترین خط برازش داده شده جهت تعیین ضریب انتشارپذیری برای کل ستون خاک در آزمایش اول



شکل(16):بهترین خط برازش داده شده جهت تعیین ضریب انتشارپذیری برای کل ستون خاک در آزمایش دوم



شکل(17):بهترین خط برازش داده شده جهت تعیین ضریب انتشارپذیری برای کل ستون خاک در آزمایش اول و دوم

جدول(6): مقادیر مختلف ضریب انتشار پذیری در اعماق مختلف ستون خاک

Depth (cm)	a1	a2	b1	b2	$\lambda_1$	$\lambda_2$	v1 (cm/hr)	v2 (cm/hr)	D1 (cm <sup>2</sup> /hr)	D2 (cm <sup>2</sup> /hr)
5.00	0.08	0.09	1.30	1.90	0.61	1.82	4.00	3.50	2.13	6.39
12.00	0.03	0.06	1.90	1.00	2.81	0.69	4.00	3.50	9.83	2.40
25.00	0.05	0.03	1.40	1.50	4.53	3.57	4.00	3.50	15.85	12.50
50.00	0.06	0.06	1.10	1.10	4.23	4.23	4.00	3.50	14.79	14.79
75.00	0.05	0.03	1.10	1.25	5.77	6.31	4.00	3.50	20.21	22.07
100.00	0.05	0.06	1.20	1.10	12.56	9.06	4.00	3.50	43.96	31.70

### منابع فارسی:

- 1- آبخوان ، مهندسین مشاور.1369. گزارش نهایی مطالعات مرحله اول. جلد چهارم، خاک شناسی. شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی. طرح کشت و صنعت نیشکر دانیال (شعبیه).
- 2- اسفندیه، مریم، بررسی سینتتیک واجذب کادمیوم از خاکهای استان گیلان . یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان پردیس علوم کشاورزی و منابع طبیعی تیرماه 1384.
- 3- انگوتی، م. و ع. نگارستان. 1373. مطالعه جذب سطحی فسفر در سه سری خاک منطقه شهریار با استفاده از هم دماهای جذب. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- 4- توللی، ح و ا. سمنانی. 1381. روش های تجزیه خاک ها، گیاهان ، آب ها و کودها انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

- 5- Abenin, J. O. and H. Tiessen. 1994. The effects of soil properties on differential phosphate sorption by semiarid soils from northeast Brazil. Soil Sci, 157:36-45.
- 6- Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1962. Carbonate. Pp. 1379-1396. In: C. A. Amer, E., D. R. Boudin, C. A. Black, and E. R. Duke. 1955. Charaacterization of phosphorus by anion exchange resin adsorption and P32- equilibration. Plant Soil, 6: 391-408.
- 7- Amapu, I.Y., Chude, V.O., Singl , U., Jubrin, J.M. and Adam, S. (2000). Testing a dynamic phosphorus model in the sub-humid Nigeria savannah agro-ecology. Proceedings of the 26th Annual conference of soil science society of Nigeria, Ibadan, Oyo State Nigeria, Oct 30-Nov 3 2000. pp 270-278
- 8- Anderson, M.P.1997.using models to simulate the monvment of contaminates through ground water flow system: CRC critical Reviews in Environmental control, V. 9p.97-156.
- 9- Anghiononi, I., V. C. Baligar and R. J. Wright. 1996. Phosphate sorption isotherm characteristics and availability parameters of Appalanchian acidic soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal, 27:2033-2048.
- 10- Antonio, V. and M. Pigna. 2002. Competitive sorption of Arsenate and Phosphate on different clay minerals and soils. Soil. Sci. Soc. Am. J, 66:1788-1796.