



## Investigation of nitrate removal from agricultural drainage water using PRB filter in loamy sand and sandy loam soil

M. Motefares<sup>1</sup>, A Asareh<sup>1</sup>, M. Parvin nia<sup>2</sup>, M. Asadilour<sup>1</sup>, D. Khoddadi Dehkordi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>2</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, University of Yasouj, Yasouj, Iran.

### Review History:

Received: Dec. 29, 2022

Revised: Feb. 27, 2023

Accepted: Mar. 31, 2023

Available Online: Apr. 21, 2023

### Keywords:

Agricultural drainage

Earth filter

Permeable reactive barrier

Loam soil

Nitrate removal.

**ABSTRACT:** This study is focused on the treatment and reuse of agricultural drainage water using permeable reactive barriers (PRBs). To construct the physical model, a cubic iron tank with dimensions of  $1 \times 1 \times 1$  is used. Drainage pipes with a standard diameter of 16 mm are installed at a depth of 20 cm. To determine the depth of the static level, piezometer tubes are used in the model. After permeability tests and evaluating the obtained results as well as considering the availability of materials, the mixture weight ratios of the materials in PRB are selected as follows: 25% sand, 25% anthracite, 20% zeolite, 20% iron borings, and 10% poplar wood sawdust. The permeability coefficient of the PRB with this mixture after complete saturation over 24 hours is equal to 0.0322 cm/s. An initial nitrate concentration of 100 mg/liter is considered for the column to obtain the breakthrough curve of the synthetic wastewater. It takes 15 minutes to detect the nitrate breakthrough. The breakthrough curve is considered a normal curve, and the only unknown of the problem, i.e., the longitudinal diffusion coefficient ( $D_L$ ), is obtained by trial and error as  $1.5 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, which is an acceptable value. The Peclet number for the proposed PRB is 14.344, which indicates the identical effects of the dispersion and diffusion processes. In this study, the drainage filter, which includes PRB and sandy loam soil, is able to eliminate nitrate by 99.44% after 24 days.

### 1- Introduction

The excessive use of nitrogen fertilizers in agricultural fields causes nitrate leaching into aquatic environments. Nitrate eutrophication has drawn attention both as part of the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs) and as part of water regulations [1,2]. In the 1990s, permeable reactive barriers (PRBs) were used for the first time in North America for groundwater treatment. This new technology includes creating a permeable reactive zone in the flow path of contaminated groundwater. Depending on the type and compounds of the contaminants, a series of biological, chemical, or biochemical processes are initiated in these PRBs to treat a wide range of soluble organic and inorganic materials and finally prevent the movement of the contaminated groundwater plume [3].

More than 110 pilot-scale and field studies on the use of PRBs have been conducted around the world. The majority of these studies investigate the use of zero-valent iron, which is a commercial product, and the use of modern barriers that are embedded under landfills or chemical storage tanks [4-8].

Therefore, this research is aimed to construct a PRB with different low-cost adsorbents and earth materials as a drainage filter to remove or reduce nitrates in agricultural drainage water. In this way, the related environmental problems are resolved and the treated water can be reused especially for the

use in aquaculture industry or other farms.

### 2- Methods

#### 2- 1- Column tests

In treating agricultural drainage water based on the absorption method, some column tests are required, and the work performed in this part is summarized in the following steps:

1) Plotting the breakthrough curves for the PRB using a pilot column in which the adsorbent materials in a mixture with optimal weight percentages are analyzed.

2) Estimating the hydrodynamic dispersion coefficient, which is an important parameter in the transport equation of pollutants. This parameter can be measured using the laboratory results obtained from the column tests.

3) Determining the Peclet number for the drainage filter.

4) Examining the efficiency of the drainage filter in absorbing and reducing/removing soluble nitrate.

For this purpose, a physical model of the filter, which is a column of loamy soil, sandy loam, and adsorbent materials, is constructed in the laboratory.

To construct the physical model, a cubic iron tank with dimensions of 1 m × 1 m × 1 m (width × length × depth) was used. Drainage pipes with standard 16-mm diameter bore were installed at a distance of 20 cm from each other, 20 cm from the tank wall at a height of 20 cm from the bottom.

\*Corresponding author's email: ali\_assareh\_2003@yahoo.com





**Fig. 1. Layout of filter drainage pipes in the present study**

Figure (1) shows the placement of drain pipes in the filter system in the current research.

The PRB was extended to 10 cm under the drainage pipe, and 10 cm of sandy loam was used on the bottom of the tank, i.e., at the bottom part of the PRB. At the end of the drainage pipe, a valve and a flowmeter were installed to keep the water table depth and measure the amount of the discharged water.

Several more holes were drilled into the body of the physical model to insert piezometer tubes for determining the water table depth. Piezometers were installed on the left side of the tank at heights of 30, 50, and 70 cm from the bottom of the tank. To fill the left side of the model, two subsurface agricultural soil types with the textures of sandy loam and loam were used.

A storage tank, pump, and several water sprinklers were used to simulate irrigation. The amount of irrigation water was such that the soil in the drainage area was saturated. Irrigation was carried out for several consecutive days so that the biomass inside the PRB grew sufficiently. Then, the soil was irrigated using water with known nitrate concentrations.

The amount of nitrate in the drainage water was measured at different time intervals and three times with different nitrate concentrations. The drain filter system can be seen in Figure (2) after arranging all the layers.

### 3- Conclusion

The results of the permeability coefficient of a mixture of sand, sawdust, iron borings, zeolite, and anthracite in two homogeneous and layer-by-layer structures were compared. The comparison results showed that the permeability rate in the homogeneous structure was lower than that in the layer-by-layer structure. The PRB mixture containing sawdust had lower permeability than the PRB with other materials. This can be attributed to the swelling of sawdust upon the absorption



**Fig. 2. Semi-industrial system designed for nitrate removal test of the drainage filter**

of water. The permeability of the mixture containing sawdust did not change much over time after reaching saturation.

The breakthrough curve was plotted for synthetic wastewater with an initial nitrate concentration of 100 mg/L in the column. Nitrate detection and breakthrough occurred in 15 minutes. The non-uniformity in the PRB breakthrough curves indicates that the breakthrough curve can be classified as pseudo-Gaussian based on engineering approximation. The breakthrough curve was considered a normal curve, and using trial and error, the only unknown of the problem, i.e., the longitudinal dispersion coefficient ( $D_L$ ), was obtained to be  $0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ , which is an acceptable value. The Peclet number for the studied PRB was 14.344. According to the obtained Peclet number, the effects of dispersion and diffusion on the material transport are not the same.

According to the experimental results in this study, the earth filter operating process includes the following four steps:

- 1) Filtering suspended substances and microorganisms on them (if there were any) as well as removing a fraction of the dissolved contaminants through absorption processes and chemical reactions
- 2) The growth of active biomass in the filter medium
- 3) Absorption of soluble nutrients by the biomass
- 4) Biorefining of the soluble nitrate

In the study conducted by Ghasemian in 2009, the filter was not able to remove all organic compounds and other contaminants including nitrate [9]. However, due to the use of absorbents, which are highly efficient and low cost, the biological drainage filter examined in this study can remove nitrate from agricultural drainage as well as remove organic substances. In this study, the drainage filter, which included PRB and sandy loam soil, was able to reduce nitrate by 99.44% after 24 days.

## References

- [1] United Nation Environmental Assembly (UNEA), (2019).<https://environmentassembly.un.org/unea4>.
- [2] European Water Framework. The Water Framework Directive and the Floods Directive: Actions towards the 'good Status' of EU Water and to Reduce Flood Risks, (2015).
- [3] T. Soejima, In situ remediation of nitrate-contaminated groundwater using a permeable reactive barrier. Environmental Geotechnics (4th ICEG), de Mello and Almeida. 2 (2002) 811-816.
- [4] B. Harris, PRB's and their role in the sustainable remediation of groundwater. Belfast Northern Ireland, UK, (2004).
- [5] W. Ali, H. Takaijudin, KW. Yusof, M. Osman, AS. Abdurrahman, The Common Approaches of Nitrogen Removal in Bioretention System. Sustainability Volume 13, (2021).
- [6] S. Aparicio-Vázquez, C. Fall, M. Islas-Espinoza, D. Alcántara, V. Petranovskii, MT. Olguín, Influence of experimental conditions to obtain silver-modified zeolite-rich tuffs on the antimicrobial activity for Escherichia coli suspended in aqueous media, Environmental Technology & Innovation Volume 23, (2021).
- [7] A. Khalil, R. Hashaiekh, N. Hilal, 3D printed zeolite-Y for removing heavy metals from water, Journal of Water Process Engineering Volume 42, (2021).
- [8] F. Florea. Adrian, L.u. Changyong, Ch.r. Hans, B. Hansen, A zero-valent iron and zeolite filter for nitrate recycling from agricultural drainage water, Chemosphere, Volume 287, Part 1 (2022).
- [9] <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131993>
- [10] [9] M.K. Ghasemian, Modeling of biologic soil filters at pilot scale for removal of organic materials solved in civil floods, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Yasouj University., (2010).

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Motafares, A Asareh, M. Parvin nia , M. Asadi lor1, D. Khoddadi Dehkordi1, Investigation of nitrate removal from agricultural drainage water using PRB filter in loamy sand and sandy loam soil, Amirkabir J. Civil Eng., 55(5) (2023) 215-218.

DOI: 10.22060/ceej.2023.22069.7894







## بررسی حذف نیترات از زه‌آب‌های کشاورزی با استفاده از فیلتر زهکشی PRB در خاک‌های لومی و لوم شنی

محسن متفرس<sup>۱</sup>، علی عصاره<sup>۲\*</sup>، محمد پروین نیا<sup>۱</sup>، مهدی اسدی لور<sup>۱</sup>، داوود خدادادی دهکردی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸  
بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸  
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۱  
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱

### کلمات کلیدی:

زه‌آب کشاورزی  
فیلتر خاکی  
لایه‌های نفوذپذیر فعال  
خاک لومی  
حذف نیترات

**خلاصه:** این تحقیق به بررسی تصفیه‌پذیری و احیای زه‌آب کشاورزی به کمک لایه‌های نفوذپذیر فعال می‌پردازد. برای ساخت مدل فیزیکی از یک مخزن مکعبی به ابعاد ۱ متر طول، ۱ متر عرض و ۱ متر ارتفاع از جنس آهن استفاده شده است. لوله‌های زهکش با سوراخ استاندارد به قطر ۱۶ میلی‌متر در عمق ۲۰ سانتی‌متری از کف کارگذاری شدند. لوله‌های پی‌زومتر برای تعیین عمق سطح ایستابی در بدنه مدل کارگذاری گردید. پس از انجام آزمایش‌های نفوذپذیری و بررسی نتایج آن و همچنین با توجه به میزان در دسترس بودن مواد انتخابی در عمل، نسبت اختلاط وزنی مواد به کار رفته در PRB به صورت ۲۵٪ ماسه، ۲۵٪ آنتراسیت، ۲۰٪ ژئولیت، ۲۰٪ براده آهن و ۱۰٪ خاک اره چوب سپیدار در نظر گرفته شد. ضریب نفوذپذیری PRB با ترکیب فوق بعد از اشباع کامل و گذشت زمان ۲۴ ساعت برابر ۰/۰۳۲۲ سانتی‌متر بر ثانیه بدست آمد. تعیین منحنی شکست برای پساب مصنوعی با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات برای ستون انجام گرفت. آشکارسازی و رخنه نیترات در زمان ۱۵ دقیقه اتفاق افتاد. منحنی رخنه یک منحنی نرمال محسوب شده و مقدار تنها مجهول مسأله یعنی ضریب انتشار طولی  $(D_L) \frac{m^2}{s}$  با سعی و خطا بدست آمد، که مقدار منطقی و قابل قبولی می‌باشد. عدد پکلت برای PRB مورد نظر برابر ۱۴/۳۴۴ بدست آمد که حاکی از تأثیر یکسان دو فرایند پخشیدگی و انتشار می‌باشد. در این تحقیق، فیلتر زهکش که شامل PRB و خاک لوم شنی می‌باشد قادر بوده تا نیترات را به میزان ۹۹/۴۴ درصد بعد از ۲۴ روز کاهش دهد.

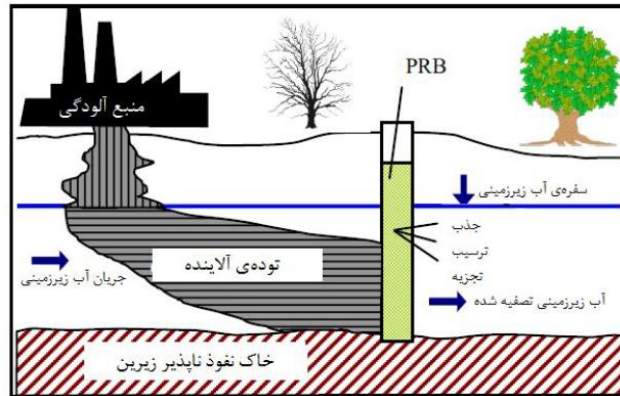
### ۱- مقدمه

کاربرد شدید کودهای نیتروژنی در مزارع کشاورزی منجر به شستشوی زیاد نیترات به محیط آبی می‌شود. اوتروفیکاسیون با نیترات هم به عنوان بخشی از اهداف پایداری سازمان ملل و هم به عنوان بخشی از مقررات آب مورد توجه قرار گرفته است [۱،۲]. رواناب از زمین‌های کشاورزی به عنوان منبع اصلی تخلیه نیتروژن به محیط آبی در نظر گرفته می‌شود [۳]. علاوه بر این، تنها حدود ۶۰ درصد از نیتروژن فعال مصرفی به عنوان کود توسط محصولات جذب می‌شود و بقیه به محیط زیست از دست می‌رود [۴]. نیتروژن اضافی که توسط گیاه جذب نمی‌شود در معرض تلفات از طریق نیترات زدایی، رواناب، تصعید و آبشویی قرار دارد که باعث آلودگی آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. نیترات یکی از آلاینده‌های منابع آب زیر زمینی است و اگر غلظت آن در آب آشامیدنی از حد مجاز (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) فراتر رود باعث یک سری اثرات منفی مانند نقض مادرزادی، سرطان،

آسیب به سیستم عصبی و بیماری مت هموگلوبینمیا می‌گردد [۱۱،۱۲]. فرایند حرکت آب و آب شویی نیترات در پروفیل خاک بسیار پیچیده است ولی شناخت چگونگی حرکت نیترات در محیط خاک و عوامل مؤثر بر حرکت آن توسط مدل‌های مختلف ممکن می‌باشد. این مدل‌ها روند حرکت آب و املاح را در سیستم خاک، گیاه و اتمسفر شبیه سازی می‌کنند و در صورت وجود ارتباط نزدیک بین داده‌های مزرعه‌ای و پیش بینی‌های مدل، می‌توان از آن به عنوان ابزاری قدرتمند در این زمینه استفاده کرد [۱۳]. از آنجایی که بیشترین مشکلات زیست محیطی زهکش‌های زیرزمینی، دفع مواد شیمیایی در کشاورزی (کودها و سموم شیمیایی) در اراضی زه دار و تخلیه املاح در اراضی شور می‌باشد، از این رو ضروری است معیارهای رایج طراحی به گونه‌ای بازنگری شوند که جنبه‌های زیست محیطی نیز در آن گنجانده شود. مدیریت سیستم‌هایی که با معیارهای رایج طراحی شده‌اند و نیز طراحی سیستم‌های زهکشی جدید، باید به گونه‌ای باشد که حجم زه‌آب‌ها و غلظت عناصر و نمک‌های موجود در آن به حداقل ممکن برسد [۵].

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ali\_assareh\_2003@yahoo.com





شکل ۱. استفاده از لایه های نفوذپذیر فعال در مسیر آب های آلوده

Fig. 1. Using PRB in the flow path of contaminated water

حرکت ابر آلودگی در آب زیرزمینی جلوگیری می‌شود [۱۴]. بیش از ۱۱۰ مورد مطالعات پابلوتی و صحرایی در رابطه با استفاده از PRB در جهان انجام شده است. این مطالعات بیش‌تر شامل استفاده از آهن صفر ظرفیتی که یک محصول تجارتي محسوب می‌گردد و لایه‌های پیشرفته امروزی است که در زیر محل‌های دفن زباله یا مخازن نگهداری مواد شیمیایی قرار داده می‌شود [۱۵-۱۸].

برای نمونه تکنیک استفاده از PRB برای حذف نیترات در آب زیرزمینی منطقه‌ای در کشور ژاپن به کار گرفته شده است. در این روش با استفاده از یک لایه نفوذپذیر که در مسیر جریان آب زیرزمینی قرار داده شده است، واکنش‌های لازم بی‌هوازی برای حذف نیترات صورت می‌گیرد. یک نوع پلاستیک ویژه که قابل مصرف توسط میکروارگانیسم‌های موجود است وظیفه تأمین الکترون لازم در واکنش بی‌هوازی نیترات‌زدایی را بر عهده دارد و پودر آهن نیز هیدرولیز پلاستیک و حذف اکسیژن جهت بی‌هوازی شدن واکنش را انجام می‌دهد. نتیجه بدست آمده بعد از چهار ماه ایجاد لایه مورد نظر حذف کامل نیترات در چاه‌های مشاهده‌ای پایین‌دست بوده است [۱۴].

در تحقیق دیگری فلوریا و همکاران در سال ۲۰۲۲ به بررسی تصفیه زه‌آب کشاورزی آلوده به نیترات با استفاده از آهن صفر ظرفیتی پرداختند. سیستم ستون فیلتر مبتنی بر آهن صفر ظرفیتی و ژئولیت در آزمایش‌های جریان پیوسته آزمایشگاهی و مزرعه آزمایش شده است. آزمایش ۴۰ روزه آزمایشگاهی، حذف ۸۲ درصد نیترات را نشان داد که ۷۰ درصد آن به آمونیوم تبدیل شد [۱۹].

نگرش سنتی حاکم بر طراحی سیستم‌های زهکشی، هدف زهکشی را منحصرأً افزایش عملکرد گیاه و بهبود شرایط محیط رشد می‌داند و اثرات زیست محیطی طرح‌های زهکشی را مورد بررسی قرار نمی‌دهد. در نگرش جدید علاوه بر اهداف کشاورزی و تولیدی، اهداف زیست محیطی نیز در طرح‌های زهکشی مورد بررسی قرار می‌گیرند [۶].

یکی از شاخص‌های مهم در آلودگی منابع آب سطحی، زیر زمینی 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 زیر زمینی حرکت می‌دهد [۷،۸].

نیتروژن یکی از عناصر اصلی برای گیاهان است که به دو صورت آلی و معدنی وجود دارد. بیشتر از نود درصد نیتروژن کل خاک، نیتروژن آلی است که توسط گیاه قابل جذب نیست. نیتروژن معدنی شامل نیترات، آمونیوم، نیتريت و آمونیاک است که نیترات و آمونیوم به راحتی جذب گیاه شده ولی آمونیاک و نیتريت برای گیاهان سمی هستند [۹،۱۰].

برای اولین بار در دهه ۱۹۹۰ استفاده از PRBs<sup>۱</sup> در آمریکای شمالی برای تصفیه آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. این فناوری جدید شامل ایجاد یک منطقه فعال و نفوذپذیر در مسیر آب‌های زیرزمینی آلوده (شکل ۱) می‌باشد. در این لایه‌های فعال بسته به نوع آلودگی و جنس آن‌ها یکسری فعالیت‌های بیولوژیکی، شیمیایی یا هردوی آن‌ها اتفاق می‌افتد و دامنه وسیعی از مواد محلول آلی و معدنی را تصفیه می‌نماید و در نهایت از



شکل ۲. آنتراسیت طبیعی پودری مورد استفاده در فیلتر زهکشی

Fig. 2. Powder natural anthracite used in the proposed drainage filter

لیگنیت<sup>۲</sup> و زغال بیتومینه<sup>۳</sup> است. در سال ۲۰۱۰ مقدار تولید آنتراسیت در کل جهان برابر ۶۷۰ میلیون تن بوده است [۲۰]. چون شکل دانه‌ها در لایه آنتراسیت کاملاً بی‌قاعده و نامرتب است و دانه‌ها با یکدیگر تفاوت دارند، پس جرم لایه سبک‌تر بوده، لایه صافی به آسانی سفت و فشرده نمی‌شود. بنابراین صاف‌سازی نه فقط در لایه‌های سطحی که در لایه‌های عمیق‌تر نیز انجام می‌شود. بر این اساس افت فشار نسبتاً کمتر و تعداد دفعات شست‌وشو نیز کاهش پیدا می‌کند [۲۰]. مهم‌ترین ویژگی فیزیکی این ماده جاذب، سطح مخصوص قابل توجه آن است که به لحاظ ساختمان متخلخلی که دارد، ایجاد می‌گردد. سطح مؤثر در زئولیت و آنتراسیت ۳۰۰ تا ۷۵۰ مترمربع در گرم در نظر گرفته می‌شود [۲۱].

آنتراسیت مصرفی در این پژوهش به صورت پودری مطابق (شکل ۲) می‌باشد.

- زمان شست‌وشو در این تحقیق به وسیله روش‌های افت فشار، حد مجاز کدورت خروجی و روش کنترل زمان تعیین می‌شود.

- روش شست‌وشوی پیش‌بینی شده در پایلوت این تحقیق، شست‌وشوی معکوس با آب می‌باشد.

۲- **کانی زئولیت:** زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های معدنی کریستالی و هیدراته فلزات قلیایی و قلیایی خاکی با شبکه سه‌بعدی متخلخلی (شکل ۳) هستند و به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

۱) طبیعی مانند کلینوپتیلولیت، آنالسیم، لامومتایت، فیلیپسیت، موردنیت،

۲) مصنوعی یا سنتزی مانند Gamma, F, Zeolon, ZSM-5, W

بنابراین هدف این پژوهش، ساخت لایه نفوذ پذیر فعال با ترکیبات مختلفی از مواد جاذب ارزان قیمت و مصالح خاکی به عنوان فیلتر زهکشی به منظور حذف و یا کاهش میزان نیترات در زه‌آب تولیدی در جهت بهبود مشکلات زیست محیطی و بکارگیری مجدد زه‌آب بخصوص در جهت استفاده در صنعت پرورش آبزیان و یا استفاده در دیگر مزارع می‌باشد.

## ۲- مشخصات مصالح فیلتر زهکشی

با توجه به اهمیت میزان نفوذپذیری در طراحی فیلتر بیولوژیک، در ابتدا به تعیین نسبت اختلاط مناسب مواد فیلتر از نظر نفوذپذیری، پس از انجام آزمایشات بار افتان پرداخته شده است. بدین منظور درصد وزنی مواد مورد نظر برای ساخت فیلتر انتخاب و ضریب نفوذپذیری محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. این مواد و همچنین نسبت اختلاط آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر داشتن تخلخل و نفوذپذیری کافی برای عبور آب حاوی آلودگی، زمان ماند کافی در فیلتر را نیز برای آن فراهم سازند.

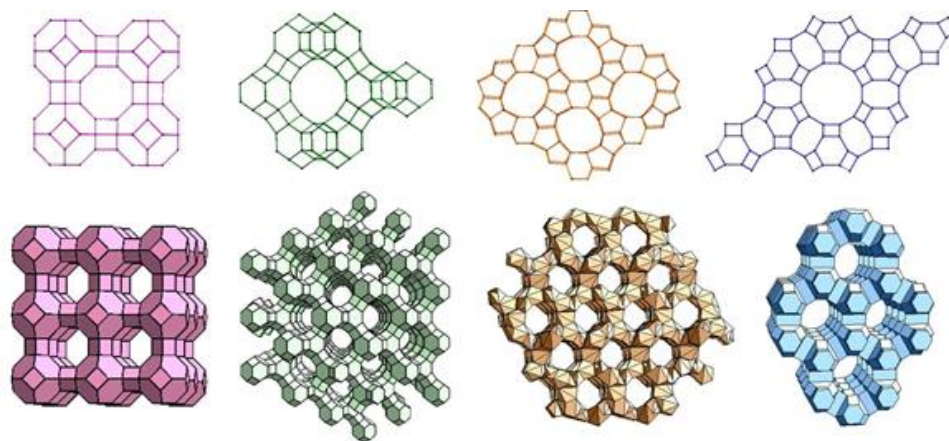
مشخصات مواد استفاده شده در ساخت فیلتر زهکش به قرار زیر می‌باشد:

۱- **آنتراسیت:** آنتراسیت<sup>۱</sup>، زغال‌سیست سخت، سیاه و براق که دارای حداقل مقدار آب و مواد فرار و بیش‌ترین مقدار کربن (بین ۹۱ الی ۹۸ درصد) می‌باشد. آنتراسیت علی‌رغم دارا بودن مقدار زیاد کربن به سختی مشتعل می‌گردد و وقتی می‌سوزد، شعله آبی کوتاه و بدون دود دارد. آنتراسیت آخرین فرآورده تغییر و تبدیل مواد گیاهی از طریق سلسله مراحل زغال نارس،

2 Lignite

3 Bituminous

1 Anthracite



شکل ۳. ساختمان متخلخل زئولیت طبیعی

Fig. 3. Porous structure of natural zeolite



شکل ۴. زئولیت طبیعی پودری مورد استفاده در فیلتر زهکش

Fig. 4. Powder natural zeolite used in the proposed drainage filter

درختان سپیدار می‌باشد (شکل ۵). تولید عمده خاک اره در کارخانه چوب‌بری می‌باشد و این کارخانه‌ها به طور معمول با یک نوع چوب سروکار دارند و خاک اره حاصل مخلوطی از چندین چوب نیست.

بنابراین اگر نیاز به تأمین خاک اره باشد، به علت تولید زیاد در کارخانه‌های چوب‌بری بایستی از این محل تأمین شود و تأمین آن از مغازه‌های نجاری مشکل است. خاک اره به طور معمول یک زباله در کارگاه چوب‌بری محسوب می‌شود و امروزه بدون قیمت است و با مراجعه به این گارگاه‌ها به هر میزان که موجود باشد در اختیار قرار می‌گیرد. در این تحقیق اندازه ذرات خاک اره مصرفی در آزمایش‌های مختلف، کوچک‌تر از الک شماره ۱۶ با چشمه ۱/۱۸ میلی‌متر بوده است.

ارزان‌بودن، بی‌خطر بودن برای خاک و محیط‌زیست و راندمان بالا در حذف آلاینده‌ها می‌تواند از جمله موارد با اهمیت در انتخاب این کانی طبیعی به عنوان اصلاح‌کننده خاک و نیز تصفیه‌کننده آب‌های آلوده و فاضلاب‌ها در ایران به شمار آید [۲۲].

در این پژوهش از زئولیت پودری مطابق شکل زیر در ساخت PRB استفاده شد.

**۳- خاک اره:** برای پایین‌آمدن هزینه فیلتر زهکش و همچنین استفاده از موادی که به عنوان ضایعات در طبیعت رها می‌شوند یا سوزانده می‌شوند، از خاک اره به عنوان یکی از مواد جاذب نیترات استفاده می‌شود. این خاک اره از کارگاه‌های چوب‌بری سطح شهر شیراز جمع‌آوری شده و شامل خاک اره





شکل ۵. خاک اره مصرفی در فیلتر زهکش

Fig. 5. Sawdust used in the proposed drainage filter



شکل ۶. راده آهن مصرفی در فیلتر زهکش

Fig. 6. Iron filings used in the proposed drainage filter

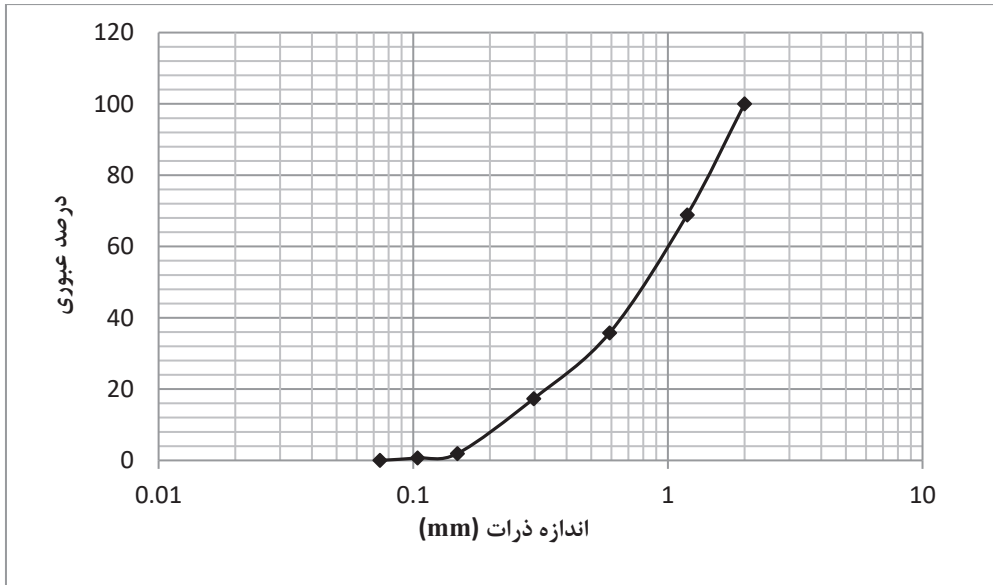
می‌باشد و در طبقه بندی خاک USCS جزء خاک‌های SW محسوب می‌گردد. ماسه مانده روی الک ۲۰۰ به صورت کامل با آب شسته شد. منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در فیلتر در شکل (۷) آمده است.

**۶- خاک لومی و لوم شنی:** خاک لومی ترکیبی طبیعی از سه جز اصلی رس، شن و سیلت است. در حقیقت واژه لومی<sup>۱</sup>، نوعی بافت خاک است که حد واسط بین بافت شنی و رسی می‌باشد. همچنین در برخی منابع، خاکی که از طغیان آب در کنار رودخانه‌ها باقی می‌ماند را نیز خاک لوم می‌گویند که

**۴- براده آهن:** از دورریز کارگاه‌های تولید در و پنجره فولادی سطح شهر شیراز تهیه شد. ذرات درشت آن جداسازی، سپس از الک شماره ۱۶ با چشمه ۱/۱۸ میلی‌متر عبور داده و روی الک شماره ۲۰۰ شسته شد. به منظور پاک کردن چربی سطح براده آهن از مواد شوینده برای شست‌وشوی آن استفاده شد. شکل زیر براده آهن مصرفی در فیلتر می‌باشد.

**۵- ماسه:** ماسه مورد استفاده از معادن شن و ماسه اطراف شهرستان شیراز و از نوع شسته و شکسته و کاملاً تیزگوشه می‌باشد. ماسه به کار رفته در آزمایش، رد شده از الک شماره ۱۰ و مانده بر روی الک شماره ۲۰۰

1 Loam



شکل ۷. منحنی دانه بندی ماسه به کار رفته در فیلتر زهکش

Fig. 7. Grading curve of the sand used in the proposed drainage filter



شکل ۸. خاک لوم شنی مورد استفاده در تحقیق حاضر

Fig. 8. Sandy loam soil used in the present study

را می‌توان احساس کرد. خاک‌های شنی وقتی که مرطوب می‌شوند لکه‌ای روی دست باقی نمی‌گذارند و قابلیت گلوله شدن هم ندارند. اما خاک‌های شنی-لومی و لوم-شنی هنگام مرطوب شدن گلوله می‌شوند. این گلوله‌های خاک در خاک لوم شنی ضعیف‌تر است و ساختارش به راحتی می‌شکند. خاک لوم شنی به دلیل سیلت و رسی که در ساختار خود دارد، هنگام مرطوب شدن انگشتان را لکه دار می‌کند. خاک لوم شنی مورد استفاده در تحقیق حاضر مطابق شکل (۸) می‌باشد.

از نظر مواد غذایی بسیار غنی بوده و جزء بهترین خاک‌های کشاورزی جهت کشت اغلب گیاهان به شمار می‌رود.

برای تعیین بافت خاک از مثلث بافت خاک استفاده شده و بسته به درصد اجزای تشکیل دهنده خاک مشخص می‌شود. به طور کلی این خاک ترکیبی طبیعی از ماسه، سیلت و رس به نسبت‌های تقریباً ۴۰-۴۰-۲۰ (۴۰ درصد ماسه، ۴۰ درصد سیلت و ۲۰ درصد رس) است.

خاک‌های درشت بافت، خاک‌های شنی، شنی لومی و لوم شنی هستند که همگی درصد شن بالایی دارند. هنگام لمس کردن این خاک‌ها، بافت شن

### ۳- آزمایش‌های ستون:

مختلف است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. ساخت مدل فیزیکی فیلتر زهکش با توجه به شرایط واقعی شبیه سازی شده است.

برای ساخت مدل فیزیکی از یک مخزن مکعبی به ابعاد ۱ متر طول، ۱ متر عرض و ۱ متر ارتفاع از جنس آهن استفاده می‌شود. لوله‌های زهکش با سوراخ استاندارد به قطر ۱۶ میلی‌متر و به فواصل ۲۰ سانتی‌متر نسبت به یکدیگر، ۲۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره مخزن و در عمق ۲۰ سانتی‌متری از کف کارگذاری شدند. شکل (۹) جایگذاری لوله‌های زهکش در سیستم فیلتر در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

لایه نفوذپذیر فعال یا PRB تا ضخامت ۱۰ سانتی‌متری زیر لوله‌ی زهکش ادامه داده و در کف مخزن و پایین PRB از ۱۰ سانتی‌متر خاک لوم شنی استفاده شد. در انتهای لوله‌های زهکش از شیرفلکه و کنتور جهت نگهداری سطح ایستابی و اندازه‌گیری مقدار خروج زه‌آب استفاده می‌گردد. چند حفره دیگر در بدنه مدل جهت کارگذاری لوله‌های پیژومتر برای تعیین عمق سطح ایستابی ایجاد می‌شود. پیژومترها در سمت چپ مخزن و در ارتفاع‌های ۳۰، ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متری از کف مخزن طراحی گردید. در سمت چپ برای پر کردن مدل، خاک زیر سطحی مزرعه‌ای با دو بافت لوم شنی و لوم تهیه گردید. شکل (۱۰) جایگذاری پیژومترها در سیستم فیلتر را نشان می‌دهد.

مدل مورد نظر طی چند مرحله و به کمک ابزارهای ایجاد تراکم، که بتواند خاک را به دانسیته ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب برساند پر شدند. مشخصات چیدمان لایه‌های آزمایش ستون در جدول (۱) آمده است.

**جدول ۱:** مشخصات لایه‌های فیلتر زهکش در آزمایش ستون در مقیاس نیمه صنعتی پس از آماده کردن فیلتر برای اندازه‌گیری تخلخل اجزای مختلف آن و از آن جایی که فیلتر باید به صورت کامل اشباع شود، ستون را از بالا آبیگری کرده و حجم آب مصرف شده برای هر جزء، اندازه‌گیری شد. تخلخل بدست آمده برای PRB فیلتر زهکش ۵۰/۲٪ می‌باشد. برای تهیه کلیه محلول‌های نیترات، از نمک نیترات کلسیم به دلیل در دسترس بودن و ارزانی (شیمی سبز) استفاده شد. جهت ساخت نمونه‌های سنتزی ابتدا محلول استاندارد بایستی تهیه شود. جرم نمک مورد استفاده برای تهیه محلول‌ها از معادله زیر بدست می‌آید:

$$W = C.V. \frac{FW_{Ca(NO_3)_2}}{2FW_{NO_3^-}} \quad (1)$$

در این تحقیق از آزمایش ستون برای بررسی تصفیه‌پذیری پساب مصنوعی حاوی نیترات استفاده شده است. سیستم به صورتی طراحی شد که پساب مصنوعی مورد آزمایش بتواند با جریان یکنواخت در فیلتر جریان داشته باشد. به این منظور از یک پمپ آب نیز استفاده شد. در رابطه با تصفیه زه‌آب کشاورزی به روش جذب، تعدادی آزمایش ستون مورد نیاز می‌باشد که مراحل زیر خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در این قسمت است:

۱) تعیین منحنی رخنه<sup>۱</sup> برای لایه نفوذپذیر فعال با استفاده از پایلوت ستون که از مواد جاذب با اختلاط وزنی بهینه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. یکی از ابزارهای بررسی فرایند پخش املاح و آلاینده‌ها منحنی رخنه می‌باشد. در واقع منحنی رخنه، ترسیم‌کننده مفهوم فیزیکی معادله انتقال-انتشار در حالت یک بعدی است [۲۳]. از نظر اصولی و آرمانی، منحنی BTC بایستی پس از خروج یک حجم مایع معادل تخلخل کل خاک، که بین پنجاه درصد جابه‌جایی است، شکل قرینه‌ای داشته باشد و اگرچه چنین وضعیتی مثلاً در خاک‌های شنی و بسیار سبک مشاهده می‌شود ولی در خاک‌های سنگین و با افزایش رس خاک و ایجاد خاک دانه‌ها، از حالت قرینگی خارج می‌شود. پدیده جابه‌جایی اختلاط‌پذیر یا ترکیب‌پذیر و منحنی BTC نه تنها از نظر علمی، بلکه از نظر عملی نیز اهمیت فراوان داشته و آبشویی املاح از خاک‌های شور و سدیمی، توزیع عناصر غذایی در محلول خاک، آلودگی و انتقال آلاینده‌ها در خاک از سطح خاک تا آب‌های زیرزمینی در چارچوب آن مطالعه می‌شوند [۲۴].

۲) تعیین ضریب پخش هیدرودینامیکی<sup>۲</sup> در معادلات انتقال آلودگی، پارامتر مهمی است که تخمین آن مد نظر می‌باشد. لذا با نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمایش ستون سنجش این پارامتر، میسر می‌شود.

۳) تعیین عدد پکلت<sup>۳</sup> برای فیلتر زهکش.

۴) بررسی عملکرد فیلتر زهکش از نظر کارایی در جذب و کاهش یا حذف نیترات محلول.

به این منظور ساخت مدل فیزیکی که ستونی از خاک لومی و لوم شنی و مواد جاذب است، در آزمایشگاه انجام می‌شود. تعیین منحنی شکست یا رخنه برای فیلتر زهکش و با استفاده از پایلوت ستون که از مواد جاذب با ترکیبات

- 1 Breakthrough Curve<sup>۴</sup> BTC
- 2 Hydrodynamic Dispersion Coefficient
- 3 Peclet Number



شکل ۹. جایگذاری لوله های زهکش در سیستم فیلتر در تحقیق حاضر

Fig. 9. Layout of filter drainage pipes in the the present study



شکل ۱۰. جایگذاری پیزومترها در سیستم فیلتر زهکش

Fig. 10. Layout of piezometers in the drainage filter system

جدول ۱. مشخصات لایه های فیلتر زهکش در آزمایش ستون در مقیاس نیمه صنعتی

Table 1. Characteristics of the drainage filter layers in column test on a semi-industrial scale

ضخامت لایه (Cm)	ماده تشکیل دهنده	لایه ها
۵۰	خاک لوم شنی	لایه اول
	پارچه متقال	لایه دوم
۴۰	مخلوط همگن (اختلاط بهینه از آنتراسیت، زئولیت، ماسه، خاک اره، براده آهن)	لایه سوم
	پارچه متقال	لایه چهارم
۱۰	خاک لوم شنی	لایه پنجم

جدول ۲. آزمایش های مورد نیاز جهت تصفیه پذیری پساب مصنوعی

Table 2. Required tests for synthetic wastewater treatment

شماره آزمایش	نوع آزمایش	جاذب	غلظت آلاینده ( $\frac{mg}{lit}$ )	دما (°C)	حجم آلاینده (lit)	زمان (hr)
۱	Column	PRB	۱۰۰	۲۵	۹۰	Up to BTC
۲	Column	PRB	۱۰۰	۲۵	۹۰	۲۴۰

۴- بحث و نتایج

۴-۱- تعیین منحنی رخنه (BTC)

در این قسمت از تحقیق، به عنوان نمونه نحوه تعیین منحنی رخنه برای پساب مصنوعی با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات تشریح می گردد. نمونه برداری از خروجی ستون از یک لوله زهکش (بستن بقیه زهکش ها و نمونه برداری از یک زهکش) در مدت زمان کل ۷۹۰ دقیقه (تا رسیدن به زمان متناظر با  $C/C_0=1$ )، ابتدا با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه تا رسیدن به زمان آشکارسازی نیترات و سپس با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه انجام شده است که نتایج آن در شکل (۱۲) جمع بندی شده است.

دقت برداشت و تعداد قرائت ها نسبت به زمان باید طوری باشد که منحنی رخنه در فیلتر زهکش با دقت خوبی قابلیت تشکیل داشته باشد. در شکل مذکور C غلظت متناظر با زمان t در خروجی فیلتر و  $C_0$  غلظت اولیه تزریق نیترات می باشد.

وجود خاک لوم شنی در بالای فیلتر موجب تأخیر در رسیدن پساب مصنوعی به فیلتر می شود، آزمایش با وجود خاک لوم شنی مشابه با شرایط زه آب کشاورزی بر روی فیلتر زهکش انجام گرفت.

در معادله (۱)، W وزن نمک نیترات کلسیم بر حسب میلی گرم، C غلظت نیترات بر حسب میلی گرم بر لیتر، V حجم محلول بر حسب لیتر،  $FW_{Ca(NO_3)_2}$  وزن فرمولی نمک نیترات کلسیم و  $FW_{NO_3^-}$  وزن فرمولی نیترات می باشد. برای انجام آزمایشات، از بطری های پلاستیکی CC500 برای نگهداری محلول ها استفاده گردید. بررسی های مطالعات پیشین حاکی از عدم جذب نیترات به دیواره این بطری ها می باشد [۲۵]. جزئیات آزمایشات ستون در جدول (۲) آورده شده است.

**جدول ۲:** آزمایش های مورد نیاز جهت تصفیه پذیری پساب مصنوعی از یک مخزن و پمپ و چند دوش آب جهت شبیه سازی آبیاری استفاده می شود. میزان آب آبیاری به صورتی انجام می گیرد که خاک در ناحیه زهکشی در حالت اشباع قرار بگیرد. چند روز آبیاری پی در پی انجام می شود تا توده بیولوژیکی درون فیلتر PRB به رشد کافی برسد؛ سپس خاک با آبی که میزان غلظت نیترات معینی دارد آبیاری می گردد. میزان نیترات در آب خروجی زهکش، در بازه های زمانی مختلف و در سه تکرار با غلظت های مختلف نیترات اندازه گیری می شود. سیستم فیلتر زهکش بعد از چیدمان تمامی لایه ها در شکل (۱۱) قابل مشاهده می باشد.

1 Formula Weight



شکل ۱۱. سیستم نیمه صنعتی طراحی شده برای آزمایش فیلتر زهکشی جهت حذف نیترات

**Fig. 11. Semi-industrial system designed for nitrate removal test of the drainage filter**

برای تعیین ضریب چولگی وجود دارد، در شکل (۱۲) غیریکنواختی در منحنی رخنه PRB وجود دارد و می توان با تقریب مهندسی منحنی رخنه را شبه گوسی طبقه بندی کرد.

انتقال املاح در شرایط صحرایی نیازمند گذشت زمان می باشد تا منحنی رخنه به حالت متقارن نزدیک شود. اما از آنجا که برداشت های آزمایشگاهی قبل از حصول شرایط ذکر شده صورت می گیرد، لذا این منحنی ها از حالت نرمال دور می شوند و ضریب انتشار به حالت مجانب<sup>۱</sup> نزدیک نمی شود.

طبیعی است وقتی چنین شرایطی محقق نشود انتقال املاح یک رفتار غیرفیکتی<sup>۲</sup> از خود بروز می دهد. از این رفتار در مراجع تحت عنوان رفتار غیرفیکتی<sup>۳</sup>، رفتار نامتعارف<sup>۲</sup> و یا رفتار غیر گوسی یاد می شود [۲۷].

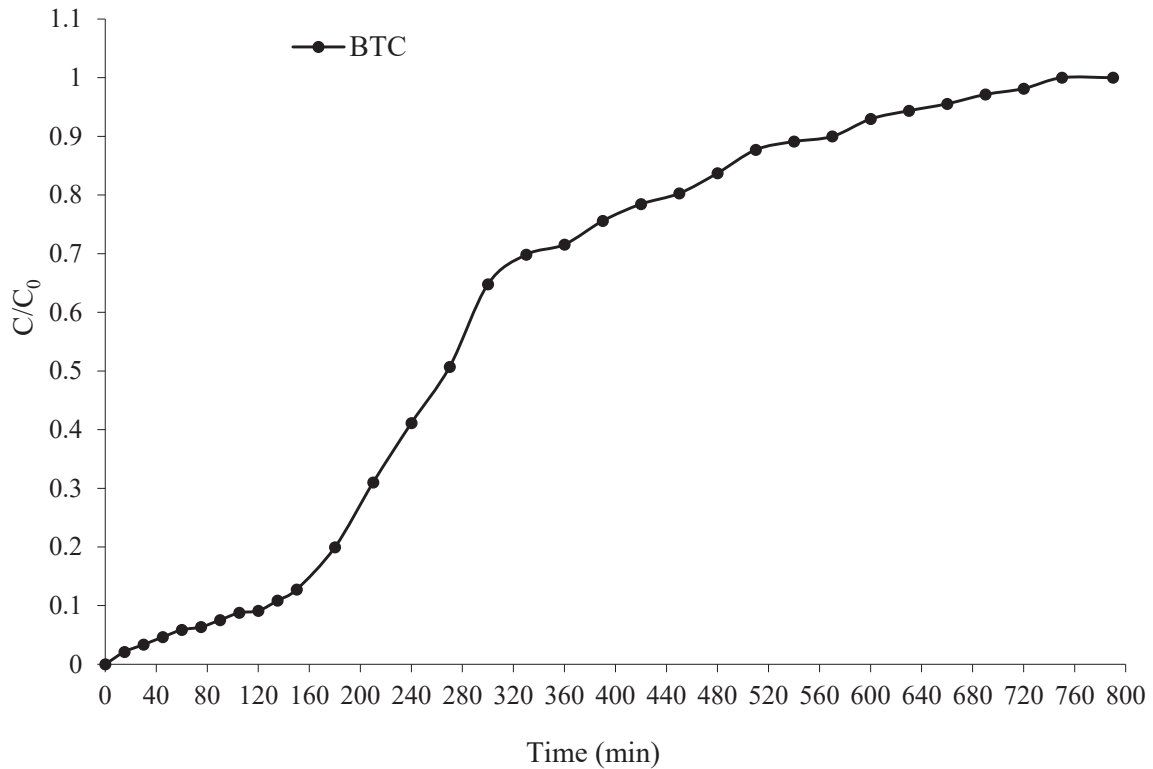
در بررسی های حاوی جاذب (مربوط به مواد جاذب) تعیین ناحیه انتقال جرم دارای اهمیت می باشد. این ناحیه بخشی از بستر ستون است که در آن پدیده جذب اتفاق می افتد، پس از اینکه آب آلوده به نیترات از این ناحیه از ستون عبور کرد، آلودگی به حداقل مقدار ممکن کاهش پیدا خواهد کرد و میزان جذب در مناطق پایینی این ناحیه، کاهش می یابد.

با اشباع شدن لایه های فوقانی جاذب این ناحیه به طرف پایین حرکت می کند، تا هنگامی که پدیده رخنه در کل عمق اتفاق افتد.

همان طور که در شکل (۱۲) دیده می شود، آشکار سازی و رخنه نیترات در زمان حدود ۱۵ دقیقه اتفاق می افتد. منحنی های رخنه برداشت شده به وسیله داده های آزمایشگاهی از حالت گوسی انحراف دارد و بازوی پایین رونده منحنی دارای چولگی می باشد که این امر نشان می دهد که نمی توان مقدار واحدی را برای ضریب انتشار پیشنهاد کرد [۲۶].

تعیین چولگی در این شرایط مشکل می باشد و البته روابط آماری خاصی

1 Asymptotic  
2 Non-Fickian  
3 Anomalous Transport



شکل ۱۲. منحنی رخنه نیترات فیلتر زهکش PRB (مواد جاذب بهینه (زئولیت، براده آهن و خاک اره به ترتیب ۲۵، ۱۵ و ۱۰ درصد وزنی) با هدایت هیدرولیکی ۰/۰۳۲۲ سانتی متر بر ثانیه و غلظت اولیه نیترات ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر)

Fig. 12. Nitrate breakthrough curve of PRB drainage filter with the optimal mixing weight ratios of 25%, 15%, and 10% for zeolite, iron borings, and sawdust, respectively, as well as a hydraulic conductivity of 0.0322 cm/s and an initial nitrate concentration of 100 mg/L.

در رابطه مذکور،  $C$  غلظت متوسط‌گیری شده در مقطع عرضی،  $u$

سرعت طولی میانگین،  $t$  زمان،  $x$  مختصات طولی در راستای جهت جریان است. با داشتن شرایط مرزی و اولیه (قانون فیک) [۲۸]:

$$\begin{aligned} C(x, 0) &= 0 \quad x \geq 0 \\ C(0, t) &= C_0 \quad t \geq 0 \\ C(\infty, t) &= 0 \quad t \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

شرط اول مبین آن است که در کلیه مقادیر  $x$  یعنی در طول ستون خاک و در زمان ( $t=0$ ) غلظت املاح صفر است. شرط دوم نیز می‌گوید که در ( $x=0$ ) یعنی مثلاً در سطح ورودی ستون خاک مورد آزمایش در کلیه مقاطع زمانی ( $t$ )، غلظت املاح  $C_0$  است.

۴-۲- ضریب انتشار طولی ( $D_L$ )

تابع خطا  $erfc$  و متمم تابع خطا  $erfx$  که به اختصار  $erfc$  نامیده می‌شود، یک تابع ریاضی است که با توزیع نرمال ارتباط دارد. به عبارت دیگر پاسخ‌ها یا حل‌هایی از معادلات و توابع ریاضی که به  $erfc$  می‌انجامد، مثلاً همانند خود فرایند پخشیدگی، توزیع نرمال دارد.

اگر در منحنی رخنه، زمان معادل نقطه  $C/C_0=0/5$  نصف زمان متناظر با  $C/C_0=1$  باشد، منحنی رخنه یک منحنی نرمال محسوب شده و می‌توان تنها مجهول مسأله یعنی ضریب انتشار طولی ( $D_L$ ) را از معادله (۲) با سعی و خطا بدست آورد.

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{x-ut}{2\sqrt{D_L t}} \right) \right] \quad (2)$$

#### ۴-۳- عدد پکلت

قدرت نسبی انتقال یا ادوکشن نسبت به انتشار به وسیله عدد بی بعد پکلت سنجیده می شود. این عدد به صورت زیر تعریف می گردد [۲۸]:

$$P_e = \frac{\langle u \rangle L}{D_L} \quad (۵)$$

که در آن  $u$  سرعت متوسط جریان،  $L$  مشخصه طولی و  $D_L$  ضریب انتشار هیدرودینامیکی می باشد. در مقیاس منفذی  $D_L$  همان ضریب پخش مولکولی ( $D_m$ ) می باشد.

با استفاده از داده های موجود و به کار بردن معادله (۵) عدد پکلت برای PRB برابر ۱۴/۳۴۴ بدست می آید.

با توجه به عدد پکلت بدست آمده تأثیر پخشیدگی و انتشار در جابه جایی مواد، یکسان نیست. در سرعت های کم، پخشیدگی نسبت به انتشار آبی نقش بیش تری در جابه جایی مواد دارد؛ زیرا ارقام بزرگ پکلت مدلول سرعت ساز و یا مسیر طولانی تر است و در چنین شرایطی آنچه موجد اختلاط مواد و انتشار آن می گردد، تغییرات و نوسانات طولی و عرضی بردار سرعت می باشد [۳۰].

#### ۴-۴- بررسی عملکرد فیلتر زهکش در حذف نیترات

پس از انتخاب مواد مورد نظر و میزان و نحوه ترکیب آن ها، فیلتر زهکش در مقیاس نیمه صنعتی ساخته شد. نحوه طراحی سیستم فیلتر به گونه ای بود که ابتدا فیلتر با آب اشباع گردید و سپس به مدت ۳ ماه به صورت یکنواخت و به وسیله پمپ در فیلتر جریان داشت تا توده بیولوژیک فرصت کافی برای رشد داشته باشد. بعد از رشد توده بیولوژیک، نمونه پساب مصنوعی با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نیترات به صورت پیوسته و با شدت جریان ثابت به فیلتر اضافه شد تا در فیلتر جریان داشته باشد.

باید دقت داشت از آنجا که سیستم روباز بوده است، تبخیر نمونه در روزهای گرم در طول آزمایش می تواند بر روی غلظت های اندازه گیری شده تأثیر گذاشته و مقدار آن ها را بالا ببرد و در نتیجه کارایی فیلتر را تا حدی پایین تر از مقدار واقعی آن نشان دهد.

به دلیل وجود خاک اره و اندازه کوچک منافذ لایه PRB، محیط فیلتر در دوره خشک نیز تا دوره زمانی بسیار طولانی مرطوب می ماند. وجود رطوبت باعث می شود توده های زیستی تشکیل شده در محیط فیلتر بتوانند در دوره خشک نیز حیات داشته باشند و از مواد تشکیل دهنده فیلتر و

با استفاده از درون یابی، زمان معادل  $C/C_0=0/5$  حدود ۲۷۰ دقیقه بدست می آید. طبق جدول (۳)، زمان دقیق معادل  $C/C_0=1$  در بازه زمانی ۷۲۰ تا ۷۵۰ قرار دارد. که حد اختلاف بین زمان معادل نقطه  $C/C_0=0/5$  و نصف زمان متناظر با  $C/C_0=1$  قابل صرف نظر بوده و منحنی یک منحنی نرمال محسوب می شود و می توان از معادله (۲) برای بدست آوردن  $D_L$  استفاده نمود.

$D_L$  با استفاده از معادله مذکور طی مراحل زیر بدست آمد:

(۱) در استفاده از این فرمول، شرایط مرزی و اولیه (برقرار بودن قانون فیک) عیناً مشابه شرایط معادله (۲) می باشد.

(۲) با جایگذاری  $t$  (زمان متناظر با  $C/C_0$ )،  $x$  (طول ستون خاک)،  $u$  (سرعت متوسط عبور جریان) که برابر است با دبی عبوری از ستون خاک تقسیم بر سطح مقطع عبور جریان و  $C/C_0$  غلظت نسبی (از داده های جدول (۳) استفاده شد) در معادله (۲) و سپس از طریق سعی و خطا ضریب انتشار طولی محاسبه شد.

محاسبات در محیط صفحه گستره اکسل انجام گردید و اکسل نیز به سهولت تابع متمم خطا (erfc) را محاسبه می نماید. در این تحقیق مقادیر پارامترها به صورت زیر است.

$$X = 0.3m$$

$$u = \frac{Q}{A} = 7.17 \times 10^{-4} \frac{cm}{s}$$

مقدار  $D_L = 1.5 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s}$  برای PRB حاصل گردید که مقدار منطقی و قابل قبولی می باشد. در این تحقیق با توجه به تحقیقات پیشین، از ضریب پخش مولکولی نیترات ( $D_m$ ) در مقایسه با عبارت انتشار مکانیکی (عبارت حاوی سرعت جریان) صرف نظر گردید [۲۹].

با استفاده از رابطه زیر و با جایگذاری  $D_m = 0$  و  $D_L$  در معادله، مقدار  $\alpha_L = 0.021m$  و  $\alpha_T = 0.0021m$  برای لایه های نفوذپذیر فعال بدست آمد که  $\alpha_T$  و  $\alpha_L$  پخش طولی<sup>۱</sup> و عرضی<sup>۲</sup> می باشد [۲۴].

$$D_L = \alpha_L u + D_m \quad (۴)$$

- 1 Longitudinal Dispersion Coefficient
- 2 Transversal Dispersion Coefficient



جدول ۳. نتایج آزمایش ستون جهت حذف نیترات توسط فیلتر زهکش در مقیاس نیمه صنعتی

Table 3. Column test results for nitrate removal by the proposed drainage filter on a semi-industrial scale

بار هیدرولیکی H.L.R (m/h)	درصد حذف نیترات (خروجی زهکش اول) (%)	غلظت نیترات (خروجی زهکش اول) (mg/lit)	دبی جریان (m <sup>3</sup> /h)	هد هیدرولیکی ثابت (cm)	مدت زمان کار سیستم در هر روز (min)	تاریخ
۰/۰۰۰۴	۸۹/۹۹	۱۰/۰۱	۰/۰۰۰۴	۵۰	۹۰۰	۱۴۰۱/۰۶/۱۸
۰/۰۰۰۴	۹۱/۵۹	۰۸/۴۱	۰/۰۰۰۴	۵۰	۸۰۰	۱۴۰۱/۰۶/۱۹
۰/۰۰۰۴	۹۳/۶۹	۰۶/۳۱	۰/۰۰۰۴	۵۰	۷۵۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۰
۰/۰۰۰۴	۹۵/۹۱	۰۴/۰۹	۰/۰۰۰۴	۵۰	۸۰۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۱
۰/۰۰۰۴	۹۶/۸۲	۰۳/۱۸	۰/۰۰۰۴	۵۰	۹۰۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۲
۰/۰۰۰۴	۹۸/۲۶	۰۱/۷۴	۰/۰۰۰۴	۵۰	۸۵۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۵
۰/۰۰۰۴	۹۸/۳۲	۰۱/۶۸	۰/۰۰۰۴	۵۰	۸۰۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۸
۰/۰۰۰۴	۹۸/۴۴	۰۱/۵۶	۰/۰۰۰۴	۵۰	۶۰۰	۱۴۰۱/۰۷/۰۱
۰/۰۰۰۴	۹۸/۹۲	۰۱/۰۸	۰/۰۰۰۴	۵۰	۹۰۰	۱۴۰۱/۰۷/۰۳
۰/۰۰۰۴	۹۹/۰۲	۰/۹۸	۰/۰۰۰۴	۵۰	۹۰۰	۱۴۰۱/۰۷/۰۷
۰/۰۰۰۴	۹۹/۴۴	۰/۵۶	۰/۰۰۰۴	۵۰	۹۰۰	۱۴۰۱/۰۷/۱۰

بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و  $Q_x$  درصد جذب نیترات توسط جاذب می‌باشد. نتایج مربوط به آزمایش کارایی فیلتر در حذف نیترات در جدول (۳) آورده شده است.

در اولین آزمایش که بر روی فیلتر صورت گرفت، از پساب مصنوعی به عنوان نمونه استفاده گردید. در این آزمایش که به مدت ۲۴ روز انجام گرفت، نمونه به طور مجموع حدود ۱۵۲ ساعت در فیلتر جریان پیدا کرد.

با توجه به جدول (۳)، راندمان حذف نیترات توسط فیلتر زهکش برای روزهای مختلف نشان داده شده است؛ که این بیانگر توانایی بالای سیستم فیلتر زهکش طراحی شده برای حذف کل نیترات محلول در مدت ۲۴ روز از پساب مصنوعی می‌باشد.

در مدت زمان این آزمایش دبی جریان و هد هیدرولیکی در فیلتر تقریباً ثابت و به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۴ مترمکعب بر ساعت و ۵۰ سانتی‌متر باقی ماند. در این تحقیق، فیلتر زهکش که شامل PRB و خاک لوم شنی می‌باشد قادر بوده تا نیترات را به میزان ۹۹/۴۴ درصد بعد از ۲۴ روز کاهش دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش ستون می‌توان انتظار داشت که فیلتر مورد نظر در دراز مدت آلودگی بسیار کمی از خود آزاد کند.

آلودگی‌های بجا مانده در محیط به عنوان ماده غذایی استفاده کنند. این توده‌های بیولوژیکی قادرند تا در هنگام کمبود مواد غذایی، از خودشان به عنوان ماده غذایی استفاده کنند، که این امر و همچنین استفاده آن‌ها از آلودگی‌های بجا مانده در محیط فیلتر سبب می‌شود تا فیلتر به صورت مستقل نفوذپذیری خود را دوباره بدست آورد.

از آنجایی که در شرایط واقعی بین هر رخداد بارندگی متوالی یا زه آب کشاورزی یک دوره خشک وجود دارد. این دوره خشک بر طبق شرایط پیش‌بینی شده می‌بایست باعث باز شدن دوباره منافذ فیلتر بر اثر تغذیه مواد غذایی موجود توسط میکروارگانیسم‌ها و از طرفی کم شدن تعداد آن‌ها در اثر کمبود مواد غذایی گردد.

درصد جذب نیترات در آزمایش های ستون در معادله (۶) بدست می‌آید.

$$Q_x = \left( \frac{C_s - C_x}{C_s} \right) \times 100 \quad (6)$$

در معادله (۵)،  $C_x$  و  $C_s$  به ترتیب غلظت نمونه استاندارد و نمونه اصلی

میلی‌گرم بر لیتر نیترات برای ستون انجام گرفت. آشکارسازی و رخنه نیترات در زمان ۱۵ دقیقه اتفاق افتاد. به دلیل وجود غیریکنواختی در منحنی رخنه PRB، می‌توان با تقریب مهندسی منحنی رخنه را شبه‌گوسی طبقه‌بندی کرد. منحنی رخنه یک منحنی نرمال محسوب شده و مقدار تنها مجهول مسأله یعنی ضریب انتشار طولی ( $D_L$ )  $\frac{m^2}{s}$   $1.5 \times 10^{-7}$  با سعی و خطا بدست آمد، که مقدار منطقی و قابل‌قبولی می‌باشد.

عدد پکلت برای PRB مورد نظر برابر  $14/344$  بدست آمد که با توجه به عدد پکلت بدست آمده تأثیر پخشیدگی و انتشار در جابه‌جایی مواد، یکسان نیست.

فرایند کار فیلتر خاکی به‌کاررفته در این پژوهش با توجه مشاهدات، شامل چهار مرحله زیر می‌باشد:

(۱) فیلتر کردن مواد معلق و میکروارگانیزم‌های چسبیده به آن‌ها (در صورت وجود) و همچنین حذف بخشی از آلودگی محلول از طریق فرایندهای جذب و واکنش‌های شیمیایی

(۲) رشد یک توده بیولوژیکی فعال در محیط فیلتر

(۳) جذب مواد غذایی محلول به وسیله توده بیولوژیکی

(۴) تصفیه بیولوژیکی نیترات محلول

در این تحقیق، فیلتر زهکش که شامل PRB و خاک لوم شنی می‌باشد قادر بوده تا نیترات را به میزان  $99/44$  درصد بعد از ۲۴ روز کاهش دهد.

وجود رطوبت باعث می‌شود توده‌های زیستی تشکیل شده در محیط فیلتر بتوانند در دوره خشک نیز حیات داشته باشند و از مواد تشکیل‌دهنده فیلتر و آلودگی‌های بجا مانده در محیط به عنوان ماده غذایی استفاده کنند. این توده‌های بیولوژیکی قادرند تا در هنگام کمبود مواد غذایی از خودشان به عنوان ماده غذایی استفاده کنند، که این امر و همچنین استفاده آن‌ها از آلودگی‌های بجا مانده در محیط فیلتر سبب می‌شود تا فیلتر به صورت مستقل نفوذپذیری خود را دوباره بدست آورد. وجود این توده بیولوژیکی در داخل فیلتر سبب می‌شود تا در دوره بارندگی مجدد رشد بیولوژیکی سریع‌تر اتفاق افتاده و فرایند تصفیه بیولوژیکی به صورت مناسب‌تری انجام شود.

مسدود شدن منافذ فیلتر بر اثر ورود ذرات معلق به آن پس از گذشت یک دوره خشک برطرف شده و نفوذپذیری آن به شرایط اولیه خود بر می‌گردد.

## منابع

قاسمیان در سال ۳۸۹۱ کیفیت سیلاب شهری را در زمان ابتدایی بارندگی در یکی از حوضه‌های شهری یاسوج که به رودخانه بشار منتهی می‌شد، مورد بررسی قرار داد. پارامترهای مورد بررسی در این زمینه TDS، TS، COD و TS بود.

هدف نهایی این تحقیق، طراحی و بررسی یک فیلتر خاکی بیولوژیک به منظور حذف آلودگی‌های آلی رواناب قبل از نفوذ به زمین بود. در این سیستم، لایه‌های متناوب از فیلترهای ژئوتکستایل غیر بافته‌شده و مخلوط ماسه و خاک اره برای کاهش و حذف آلودگی به کار رفت. به منظور بررسی عملکرد فیلتر مورد نظر آزمایش‌های ستون و ناپیوسته انجام شد. در آزمایش‌های انجام‌شده، فیلتر قادر بود تا پس از رشد توده بیولوژیک در محیط خود، COD را به میزان ۸۹٪ کاهش داده و میزان نهایی آن را از  $140$  میلی‌گرم بر لیتر به  $15$  میلی‌گرم بر لیتر کاهش دهد [۳۱]. در تحقیق مذکور فیلتر قادر نبود تا تمامی مواد آلی را حذف کند و قادر به حذف بقیه آلاینده‌ها شامل نیترات نبود.

اما فیلتر بیولوژیکی زهکشی شده‌ی مورد آزمایش در تحقیق حاضر، به دلیل استفاده از جاذب‌های مؤثر در جذب آلاینده‌ها و ارزان قیمت علاوه بر حذف مواد آلی قادر به حذف نیترات از زه آب کشاورزی نیز می‌باشد.

## ۵- نتیجه گیری

بررسی میزان نفوذپذیری مواد تشکیل‌دهنده فیلتر و همچنین آلودگی آزاد شده از این مواد در حالت اشباع در آب نشان دهنده نتایج زیر می‌باشد. مقایسه نتایج ضریب نفوذپذیری ترکیب ماسه، خاک اره، براده آهن، ژئولیت و آنتراسیت در دو حالت همگن و لایه‌ای با یکدیگر نشان داد که سرعت نفوذپذیری ترکیبات ساخته شده در حالت همگن، نسبت به حالت لایه‌ای با مواد متناظر، کمتر می‌باشد. ترکیبات PRB حاوی خاک‌اره نسبت به ترکیبات دیگر از نفوذپذیری کمتری برخوردار می‌باشند که این حالت ناشی از خاصیت تورم‌پذیری خاک‌اره در هنگام جذب آب است. نفوذپذیری ترکیبات شامل خاک‌اره پس از رسیدن به حالت اشباع با گذشت زمان تغییر چندانی ندارد.

پس از انتخاب مواد مورد نظر و میزان و نحوه ترکیب آن‌ها، فیلتر زهکش در مقیاس نیمه صنعتی ساخته شد. نحوه طراحی این سیستم به گونه‌ای بود که نمونه پساب مصنوعی حاوی نیترات به صورت پیوسته و با شدت جریان ثابت در فیلتر جریان داشته باشد.

تعیین منحنی شکست برای پساب مصنوعی با غلظت اولیه  $100$

- Management, (60) (2003) 199-216.
- [11] P. A. Hamilton, and D. A. Helsel, Effects of agriculture on ground-water quality in five regions of the UStates. *Ground Water*, (33) (1995) 217-226.
- [12] J.N. Galloway, F.J. Dentener, D.G. Capone, E.W. Boyer, R.W. Howarth, S.P. Seitzinger, G.P. Anser, C. Cleveland, P.E. Green, D.M. Holland, A.F. Karl, J.H. Michaels, A. Porter and C. Vorosmarty, Nitrogen cycles past, present and future. *Biogeochemistry*, 70(2) (2004) 153-226.
- [13] S. Heumann, J. Bottcher and G. Springob, N mineralization parameter of sandy arable soils. *J. Plant Nut*, 166(2) (2002) 308-318.
- [14] T. Soejima, In situ remediation of nitrate-contaminated groundwater using a permeable reactive barrier. *Environmental Geotechnics (4th ICEG)*, de Mello and Almeida. 2 (2002) 811-816.
- [15] B. Harris, PRB's and their role in the sustainable remediation of groundwater. Belfast Northern Ireland, UK, (2004).
- [16] W. Ali, H. Takaijudin, KW. Yusof, M. Osman, AS. Abdurraheed, The Common Approaches of Nitrogen Removal in Bioretention System. *Sustainability Volume 13*, (2021).
- [17] S. Aparicio-Vázquez, C. Fall, M. Islas-Espinoza, D. Alcántara, V. Petranovskii, MT. Olguín, Influence of experimental conditions to obtain silver-modified zeolite-rich tuffs on the antimicrobial activity for *Escherichia coli* suspended in aqueous media, *Environmental Technology & Innovation Volume 23*, (2021).
- [18] A. Khalil, R. Hashaikeh, N. Hilal, 3D printed zeolite-Y for removing heavy metals from water, *Journal of Water Process Engineering Volume 42*, (2021).
- [19] F. Florea. Adrian, L.u. Changyong, Ch.r. Hans, B. Hansen, A zero-valent iron and zeolite filter for nitrate recycling from agricultural drainage water, *Chemosphere*, Volume 287, Part 1 (2022).  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131993>
- [20] N. Delbazi, M. Ahmadi Moghadam, A. Takdastan, N. Jafar Zade Haghighi Fard, A comparison of filter
- [1] United Nation Environmental Assembly (UNEA), (2019). <https://environmentassembly.un.org/unea4>.
- [2] European Water Framework. The Water Framework Directive and the Floods Directive: Actions towards the 'good Status' of EU Water and to Reduce Flood Risks, (2015).
- [3] European Environment Agency, European Waters Assessment of Status and Pressures. <https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water>, (2018).
- [4] M.A. Sutton, C.M. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. Grinsven, B. Grizzetti, European nitrogen assessment (ENA). In: Winiwarter, W., Hettelingh, J.-P. (Eds.), *Future Scenarios of Nitrogen in Europe*, (2011) 556–557.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988> (chapter 24).
- [5] J.M. Jemison and R.H. Fox, Nitrate leaching from nitrogen fertilized and manured corn measured with zero-tension pan lysimeters. *J. Environ. Qual*, 23(2) (1994) 337-343.
- [6] D.R. Keeney, Nitrate in groundwater-agricultural contribution and control. P 329-351. In *Proc. Conference. Of Agricultural Impacts on Ground Water*, Omaha, Nebrasaka, (1987) 11-13.  
National Water Well Association, Dublin, OH
- [7] P. K. Haan and R. W. Skaggs, Effect of Parameter Uncertainty on DRAINMOD Predictions: II, (2003)
- [8] S. Darbandi, Environmental Considerations in the Design and Management of Drainage Networks, Second Technical Workshop on Drainage and Environment, 27 Ardibehesht, Tehran, Iran. (2002). (In Persian)
- [9] B. Nazari, A. Liaqat, M. Parsi-Nejad, and A. Naseri, Optimization of the installation depth of underground drains with economic and environmental considerations, 5th Technical Workshop on Drainage and Environment, November 16, Tehran, Iran, (2007). (In Persian)
- [10] M. R. Comeira, R. M. Fernando and L. S. Pereira, Monitoring water land NO<sub>3</sub>-N in irrigated maize fields in the Sorraia Watershed, Portugal. *Agricultural Water*

- [26] S. Anwar, A. Cortis, M.C. Sukop, Lattice boltzmann simulation of solute transport in heterogeneous porous media with conduits to estimate macroscopic continuous time random walk model parameters. *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 8 (2008) 213-221.
- [27] M. Sedghi-Asl, Investigation of the limits of the dupuit analogue for steady gradually varied flow through coarse porous media, PhD Thesis, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, (2010).
- [28] J. Bear, *Dynamics of fluids in porous media*, Elsevier Science, New York, (1972).
- [29] M. Ehtashami, A. Sharifi, Ualitative model aquifer Rey, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (2006) 1-9.
- [30] M. Baiboudi, *Soil physics*, Tehran University Press, 8th Edn, (2005).
- [31] M.K. Ghasemian, Modeling of biologic soil filters at pilot scale for removal of organic materials solved in civil floods, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Yasouj University., (2010).
- performance layer of sand-floor and bilayer filter with lika and anthracite floors in the removal of organic matter and turbidity, *Journal of Health and Environment, Journal Scientific Research*, 3 (2011) 301-312. (In Persian)
- [21] M.T. Samadi, M. Salimi, M.H. Saghi, Comparison of mercury removal from drinking water by activated carbon columns packed with natural zeolite Clinoptilolite and anthracite, *Journal of Water and Wastewater*, 4 (2009) 54-59. (In Persian)
- [22] M. Kamali, S. Haji, Application of zeolite in water and wastewater treatment, *First Conference on Biology Environmental Refining Technologies*, (2011).
- [23] R.A. Freeze and J.A. Cherry, *Ground water*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1979).
- [24] M. Bayburdi, *soil physics*, 8th edition, number 1672, Tehran University Press, (2014).
- [25] M. Javad Akhundi, F. Godhi Arous Mahaleh, Investigation of Arak plain water quality in terms of nitrate and hardness in consecutive years, *3rd Iran Water Resources Management Conference*, (2008).

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Motafares, A Asareh, M. Parvin nia , M. Asadi lor, D. Khoddadi Dehkordi, *Investigation of nitrate removal from agricultural drainage water using PRB filter in loamy sand and sandy loam soil, Amirkabir J. Civil Eng., 55(5) (2023) 1005-1020.*

DOI: 10.22060/ceej.2023.22069.7894

