



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

محسن متفرس^۱، علی عصاره^{۲*}، محمد پروین نیا^۱، مهدی اسدی لور^۱، داوود خدادادی دهکردی^۱

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 نیترات را به میزان ۹۹/۴۴ درصد بعد از ۲۴ روز کاهش دهد.

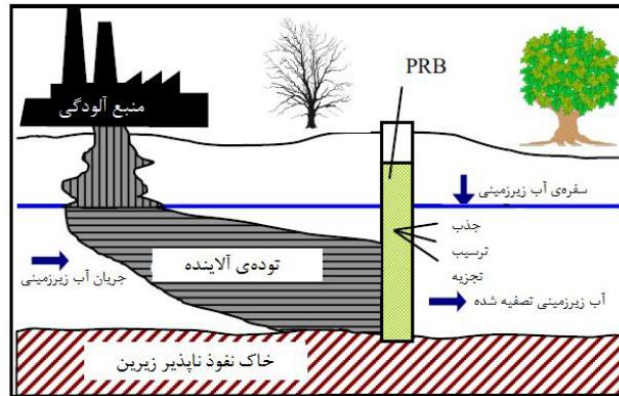
۱- مقدمه

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 می شود [۱۴]. بیش از ۱۱۰ مورد مطالعات پابلوتی و صحرایی در رابطه با استفاده از PRB در جهان انجام شده است. این مطالعات بیش تر شامل استفاده از آهن صفر ظرفیتی که یک محصول تجاری محسوب می گردد و لایه های پیشرفته امروزی است که در زیر محل های دفن زباله یا مخازن نگهداری مواد شیمیایی قرار داده می شود [۱۵-۱۸].

برای نمونه تکنیک استفاده از PRB برای حذف نیترات در آب زیرزمینی منطقه ای 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، واکنش های لازم بی هوازی برای حذف نیترات صورت می گیرد. یک نوع پلاستیک ویژه که قابل مصرف توسط میکروارگانیسم های موجود است وظیفه تأمین الکترون لازم در واکنش بی هوازی نیترات زدایی را بر عهده دارد و پودر آهن نیز هیدرولیز پلاستیک و حذف اکسیژن جهت بی هوازی شدن واکنش را انجام می دهد. نتیجه بدست آمده بعد از چهار ماه ایجاد لایه مورد نظر حذف کامل نیترات در چاه های مشاهده ای پایین دست بوده است [۱۴].

در تحقیق دیگری فلوریا و همکاران در سال ۲۰۲۲ به بررسی تصفیه زه آب کشاورزی آلوده به نیترات با استفاده از آهن صفر ظرفیتی پرداختند. سیستم ستون فیلتر مبتنی بر آهن صفر ظرفیتی و ژئولیت در آزمایش های 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 سیستم های زهکشی، هدف زهکشی را منحصرأً افزایش عملکرد گیاه و بهبود شرایط محیط رشد می داند و اثرات زیست محیطی طرح های زهکشی را مورد بررسی قرار نمی دهد. در نگرش جدید علاوه بر اهداف کشاورزی و تولیدی، اهداف زیست محیطی نیز در طرح های زهکشی مورد بررسی قرار می گیرند [۶].

یکی از شاخص های مهم در آلودگی منابع آب سطحی، زیر زمینی و زه آب جاری در شبکه های زهکشی کشاورزی، حضور نیترات می باشد که بر اثر کاربرد انواع کودهای شیمیایی، آلی (دامی و انسانی)، تجزیه گیاهان و دیگر باقی مانده های آلی در خاک و تخلیه نامناسب فاضلاب به وجود می آید. گاهی اوقات باران این عنصر کودی را به طرف آب های سطحی و زیر زمینی حرکت می دهد [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^۱ در آمریکای شمالی برای تصفیه آب های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. این فناوری جدید شامل ایجاد یک منطقه فعال و نفوذپذیر در مسیر آب های زیرزمینی آلوده (شکل ۱) می باشد. در این لایه های فعال بسته به نوع آلودگی و جنس آن ها یکسری فعالیت های بیولوژیکی، شیمیایی یا هردوی آن ها اتفاق می افتد و دامنه وسیعی از مواد محلول آلی و معدنی را تصفیه می نماید 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^۲ و زغال بیتومینه^۳ 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.

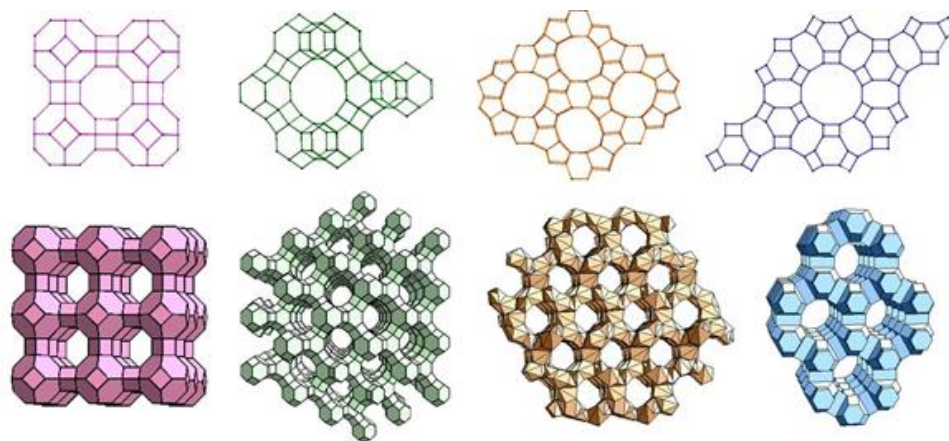
مشخصات مواد استفاده شده در ساخت فیلتر زهکش به قرار زیر می‌باشد:

۱- **آنتراسیت:** آنتراسیت^۱، 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

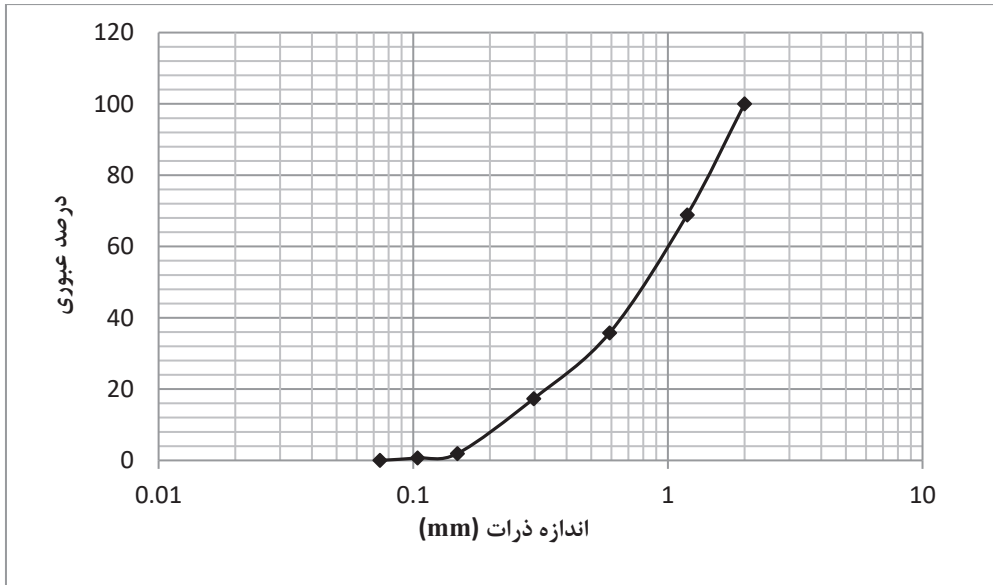
می‌باشد و در طبقه بندی خاک USCS جزء خاک‌های SW محسوب می‌گردد. ماسه مانده روی الک ۲۰۰ به صورت کامل با آب شسته شد. منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در فیلتر در شکل (۷) آمده است.

۶- خاک لومی و لوم شنی: خاک لومی ترکیبی طبیعی از سه جز اصلی رس، شن و سیلت است. در حقیقت واژه لومی^۱، 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)

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^۱ 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^۲ 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^۳ 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^۴ 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 ($^{\circ}C$)	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 می‌توان با تقریب مهندسی منحنی رخنه را شبه‌گوسی طبقه‌بندی کرد.

انتقال املاح در شرایط صحرایی نیازمند گذشت زمان می‌باشد تا منحنی رخنه به حالت متقارن نزدیک شود. اما از آنجا که برداشت‌های آزمایشگاهی قبل از حصول شرایط ذکر شده صورت می‌گیرد، لذا این منحنی‌ها از حالت نرمال دور می‌شوند و ضریب انتشار به حالت مجانب^۱ نزدیک نمی‌شود.

طبیعی است وقتی چنین شرایطی محقق نشود انتقال املاح یک رفتار غیرفیکتی^۲ از خود بروز می‌دهد. از این رفتار در مراجع تحت عنوان رفتار غیرفیکتی^۳، رفتار نامتعارف^۲ و یا رفتار غیر گوسی یاد می‌شود [۲۷].

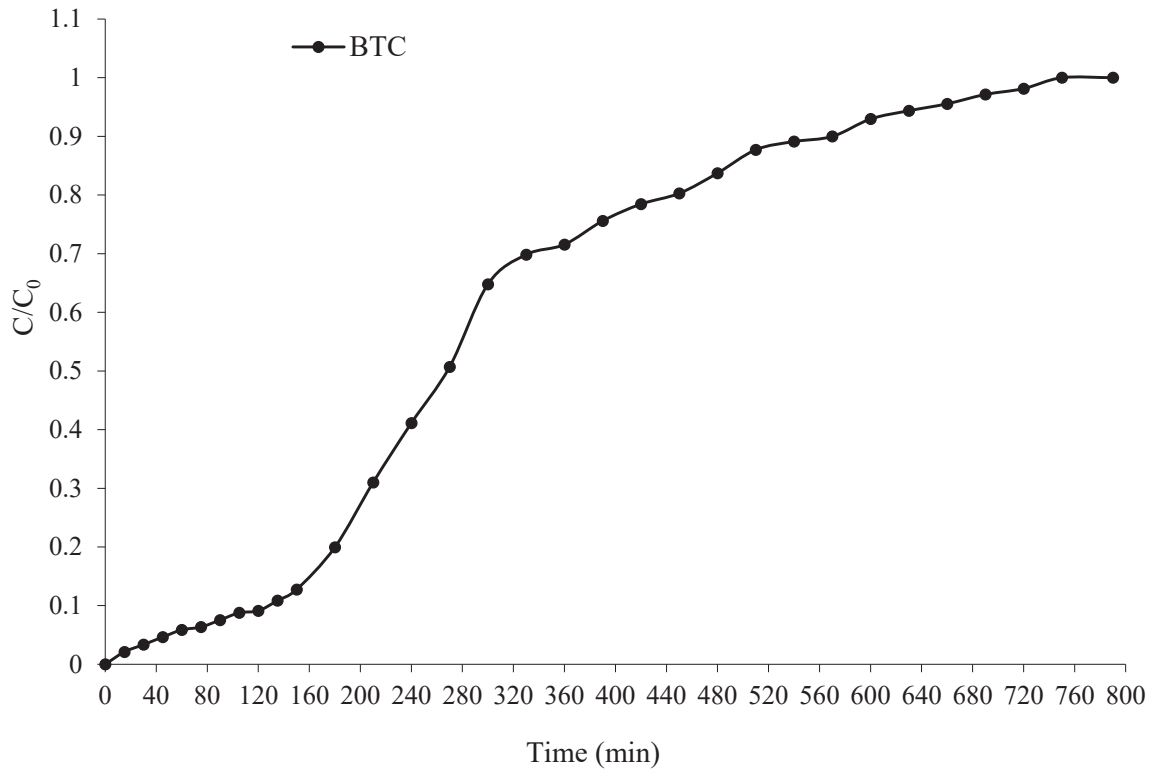
در بررسی‌های حاوی جاذب (مربوط به مواد جاذب) تعیین ناحیه انتقال جرم دارای اهمیت می‌باشد. این ناحیه بخشی از بستر ستون است که در آن پدیده جذب اتفاق می‌افتد، پس از اینکه آب آلوده به نیترات از این ناحیه از ستون عبور کرد، آلودگی به حداقل مقدار ممکن کاهش پیدا خواهد کرد و میزان جذب در مناطق پایینی این ناحیه،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

با اشباع شدن لایه‌های فوقانی جاذب این ناحیه به طرف پایین حرکت می‌کند، تا هنگامی که پدیده رخنه در کل عمق اتفاق افتد.

همان‌طور که در شکل (۱۲) دیده می‌شود، آشکارسازی و رخنه نیترات در زمان حدود ۱۵ دقیقه اتفاق می‌افتد. منحنی‌های رخنه برداشت‌شده به وسیله داده‌های آزمایشگاهی از حالت گوسی انحراف دارد و بازوی پایین‌رونده منحنی دارای چولگی می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که نمی‌توان مقدار واحدی را برای ضریب انتشار پیشنهاد کرد [۲۶].

تعیین چولگی در این شرایط مشکل می‌باشد 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 بی‌بعد پکلت سنجیده می‌شود. این عدد به صورت زیر تعریف می‌گردد [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 می‌باشد. در مقیاس منفذی D_L همان ضریب پخش مولکولی (D_m) می‌باشد.

با استفاده از داده‌های موجود و به کار بردن معادله (۵) عدد پکلت برای PRB برابر ۱۴/۳۴۴ بدست می‌آید.

با توجه به عدد پکلت بدست آمده تأثیر پخشیدگی و انتشار در جابه‌جایی مواد، یکسان نیست. در سرعت‌های کم، پخشیدگی نسبت به انتشار آبی نقش بیش‌تری در جابه‌جایی مواد دارد؛ زیرا ارقام بزرگ پکلت مدلول سرعت ساز و یا مسیر طولانی‌تر است و در چنین شرایطی آنچه موجد اختلاط مواد و انتشار آن می‌گردد، تغییرات و نوسانات طولی و عرضی بردار سرعت می‌باشد [۳۰].

۴-۴- بررسی عملکرد فیلتر زهکش در حذف نیترات

پس از انتخاب مواد مورد نظر و میزان و نحوه ترکیب آن‌ها، فیلتر زهکش در مقیاس نیمه صنعتی ساخته شد. نحوه طراحی سیستم فیلتر به گونه‌ای 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 میلی‌گرم 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 می‌تواند بر روی غلظت‌های اندازه‌گیری شده تأثیر گذاشته و مقدار آن‌ها را بالا ببرد و در نتیجه کارایی فیلتر را تا حدی پایین‌تر 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 می‌ماند. وجود رطوبت باعث می‌شود توده‌های زیستی تشکیل شده در محیط فیلتر بتوانند در دوره خشک نیز حیات داشته باشند و از مواد تشکیل دهنده فیلتر و

با استفاده از درون‌یابی، زمان معادل $C/C_0=0/5$ حدود ۲۷۰ دقیقه بدست می‌آید. 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 صرف‌نظر بوده و منحنی یک منحنی نرمال محسوب می‌شود و می‌توان 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) می‌باشد.

(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 داده‌های 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 می‌نماید. 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 قابل‌قبولی می‌باشد. 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) صرف‌نظر 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 لایه‌های نفوذپذیر فعال بدست آمد که α_T و α_L پخش طولی^۱ و عرضی^۲ می‌باشد [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 ³ /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 میلی گرم بر لیتر و Q_x درصد جذب نیترات توسط جاذب می باشد. 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 می باشد.

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 سانتی متر باقی ماند. در این تحقیق، فیلتر زهکش که شامل PRB و خاک لوم شنی می باشد 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 می توان انتظار داشت که فیلتر مورد نظر در دراز مدت آلودگی بسیار کمی از خود آزاد کند.

آلودگی های بجا مانده در محیط به عنوان ماده غذایی استفاده کنند. این توده های بیولوژیکی قادرند تا در هنگام کمبود مواد غذایی، از خودشان به عنوان ماده غذایی استفاده کنند، که این امر و همچنین استفاده آن ها از آلودگی های بجا مانده در محیط فیلتر سبب می شود 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 پیش بینی شده می بایست باعث باز شدن دوباره منافذ فیلتر بر اثر تغذیه مواد غذایی موجود توسط میکروارگانیزمها و از طرفی کم شدن تعداد آن ها در اثر کمبود مواد غذایی گردد.

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

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

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) $\frac{m^2}{s}$ 1.5×10^{-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 جابه جایی 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 89% 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. Abdurrasheed, 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 -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

