[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

بهبود کیفیت پساب فاضلاب شهری با استفاده از بتن متخلخل برای آبیاری

جهانگیر عابدی کوپایی[1*]، محسن جواهری طهرانی[1] و کیاچهر بهفرنیا[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۶)

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت، مشکلات کمبود آب و لزوم مصرف آب بیشتر، استفاده از آب‌های نامتعارف و پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در شرایطی که بار آلودگی زیاد نباشد، استفاده از راکتورهای بیوفیلمی معمول می‌باشد. در همین راستا، استفاده از بتن متخلخل به‌عنوان بستر رشد و تکثیر بیوفیلم، در کاهش بار آلودگی پساب بررسی گردید. بدین‌منظور یک طرح اختلاط پایه با توجه به آیین‌نامه ACI211.3R انتخاب گردید و با نظر به‌افزایش سطح ویژه بتن برای رشد بیوفیلم، در سه مرحله و در هر مرحله ۱۰ درصد وزن درشت‌دانه، ریزدانه به طرح اختلاط پایه افزوده شد. طرح آزمایش مورد استفاده بلوک کامل تصادفی می‌باشد. برای انجام آزمایش، در نزدیکی تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه صنعتی اصفهان کانالی با طول ۹ متر و به عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر ساخته شد. سپس بلوک‌های بتنی ساخته شده در کانال مذکور قرار گرفتند و عملیات فرآوری بیوفیلم برروی خلل و فرج مکعب‌های بتنی انجام پذیرفت. آزمایش‌های کیفی اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کل مواد جامد معلق (TSS) و تعداد کل کلیفرم‌ها برروی نمونه‌های پساب ورودی و خروجی به‌عمل آمد و درصد حذف هر یک از پارامترها محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد با افزوده شدن ریزدانه درصدهای حذف این پارامترها افزایش می‌یابد. به‌طور میانگین درصدهای حذف BOD، COD، TSS و تعداد کل کلیفرم‌ها برای طرح اختلاط اول (۱۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب سنگ درشت‌دانه و بدون ریزدانه) به‌ترتیب ۲۵، ۳۳، ۴۵ و۳۷ درصد می‌باشد که این اعداد با همین ترتیب برای طرح اختلاط چهارم (۱۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب سنگ درشت‌دانه و ۴۲۰ کیلوگرم در مترمکعب ماسه ریزدانه) به ۳۶، ۴۰، ۵۷ و ۸۱ می‌رسد. در نهایت می‌توان گفت بتن متخلخل می‌تواند به‌عنوان بستر بیوفیلم مورد استفاده قرار گیرد. براساس نتایج، طرح اختلاط سوم (۱۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب سنگ درشت‌دانه و ۲۸۰ کیلوگرم در مترمکعب ماسه ریزدانه) بهترین طرح اختلاط ارزیابی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پساب، بیوفیلم، BOD، COD، TSS، تعداد کل کلیفرم‌ها

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

۲. دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: koupai@cc.iut.ac.ir

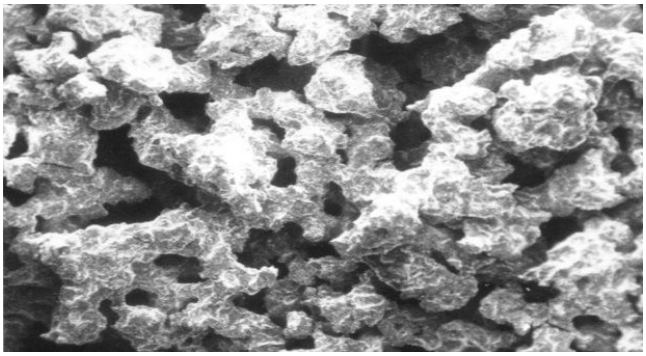
مقدمه

آب به‌عنوان ماده حیاتی بشر همچنین ماده خام کشاورزی و راه‌گشای صنعت در جوامع امروزی از اهمیت بالایی برخوردار است و تأمین آن در خیلی از کشورها به‌صورت بحران در آمده است. کشور ما باتوجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک آن از آب‌های شیرین بهره کمی برده است. از طرفی افزایش جمعیت و افزایش آلودگی هوا مدیریت شهری را بر آن می‌دارد تا با اتخاذ تدابیر درست سرانه فضای سبز افراد جامعه را افزایش دهد. حال با توجه به نیاز مبرم به آب و همچنین کمبود منابع آب، جهت تأمین نیاز آبی در کشاورزی و فضای سبز باید در جهت باز چرخانی و استفاده مجدد از پساب‌ها برنامه‌های مدیریتی لازم را اعمال کرد.

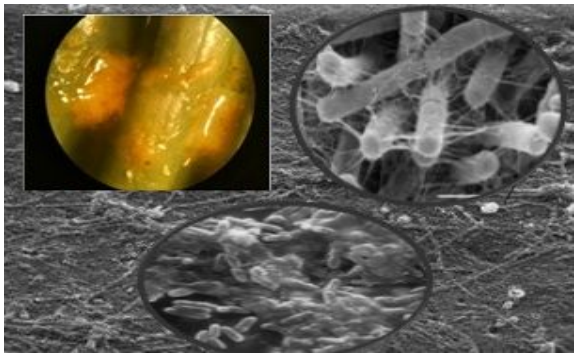
پتانسیل فاضلاب خانگی تولیدی در سطح کشور براساس سرشماری رسمی سال۱۳۸۵ به‌تفکیک شهری، روستایی و کل به‌ترتیب معادل ۳۶۷۰، ۷۲۷، ۴۳۹۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهد که براساس سناریوی معمول، حجم پساب برگشتی در جوامع شهری و روستایی کشور در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب معادل ۴۳۶۹ و ۸۲۳ میلیون مترمکعب و در مجموع ۵۱۹۲ میلیون مترمکعب در سال خواهدبود (۱۲). اعداد ذکر شده نشان دهنده یک منبع آب پایدار جهت استفاده می‌باشد. مشخصه اصلی فاضلاب‌های انسانی میزان BOD و COD بالا، عناصر مغذی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا (باکتریایی و انگلی) می‌باشد. درصورت عدم نفوذ فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب شهری فاقد فلزات سنگین درحد خطرزا می‌باشد (۷).

حال سئوال این‌جاست که آیا می‌شود از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب استفاده کرد؟ پاسخ مشخص است اگر حدود تصفیه فاضلاب به‌اندازه‌ای باشد که کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب درحد استانداردهای توصیه شده باشد و به‌شرط قبول فرهنگ عمومی جامعه استفاده از پساب بلامانع است (۸). اما مشکل اینجاست که اغلب شاخص‌های کیفیت پساب بیش از استانداردها می‌باشد. از جمله مهم‌ترین شاخص‌ها، میزان کلیفرم‌ها می‌باشد که معمولاً بسیار بیشتر از حد مجاز است و پارامترهای BOD و COD معمولاً در آستانه مرز خطرناکی می‌باشند. در کشورهای درحال توسعه برای ازبین بردن کلیفرم‌ها، از کلرزنی استفاده می‌شود اما به‌دلیل ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی کلر این روش تقریباً منسوخ شده است. راه حل دیگر آن است که تصفیه خانه‌های فاضلاب مجهز به‌سیستم‌های مدرن هم‌چون گندزدایی به‌کمک گاز ازن، پرتو UV و اشعه X شوند که لازمه آن صرف هزینه‌های بسیار زیاد جهت خرید، نصب و بهره‌برداری از این تجهیزات می‌باشد. همچنین با توجه به غیربومی بودن این فناوری‌ها الزاماً این راه کارها مناسب نبوده زیرا تجربه نشان داده است معمولاً این تجهیزات پس از مدتی مستهلک شده نیاز به تعویض قطعات دارند و با توجه به بعد مکانی شرکت سازنده، مدت زمانی نه‌چندان کوتاه این تجهیزات کارایی خود را از دست می‌دهند و تمامی برنامه‌ریزی‌ها را با مشکل روبرو می‌سازند (۹). راه کار دیگر آن است که با راه‌کارهای ساده و ارزان اما راهبردی کیفیت پساب را تا حد استاندرد بهبود بخشید. مشکل اصلی پساب تصفیه‌خانه‌های ایران کلیفرم بالای آنها می‌باشد از طرفی ویژگی کلیفرم‌ها، تولید مثل بالای آنها است که در نتیجه آن نیاز به مواد غذایی افزایش می‌یابد علاوه بر این حداکثر عمر اکثر این موجودات ۷۲ ساعت می‌باشد (۱۳). به‌منظور مبارزه بیولوژیک با کلیفرم‌ها باید مانع از تکثیر سریع آنها شد، برای این کار باید موادآلی موجود در پساب که به‌عنوان منبع تغذیه کلیفرم‌ها محسوب می‌شود را کاهش داد (۱۰). از طرف دیگر همان‌گونه که ذکر شد عمر کلیفرم‌ها محدود می‌باشد پس اگر بتوانیم آنها را معطل کنیم به‌صورت طبیعی می‌میرند (۱۳). در مواردی که بار آلی کم باشد معمولاً استفاده از روش‌های بیوفیلمی توصیه می‌گردد (۱). راه‌کار پیشنهادی استفاده از بتن متخلخل به‌عنوان بیوفیلتر می‌باشد. به‌طور مشخص برروی خلل و فرج زیاد بتن متخلخل بیوفیلم تشکیل می‌شود. نمایی از این خلل و فرج در شکل ۱ نشان داده شده است.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]



شکل ۱. نمونه از خلل و فرج بتن متخلخل



شکل ۲. نمونه‌ای از بیوفیلم

اصطلاح بیوفیلم به‌سلول‌هایی گفته می‌شود که روی یک سطح تثبیت‌شده و عموماً به‌وسیله یک ماتریکس از مواد پلیمری آلی، با منشأ میکروبی احاطه شده‌اند (شکل ۲). بیوفیلم می‌تواند از یک‌گونه و یا مخلوطی از چندگونه تشکیل شده باشد (۱).

توانایی باکتری‌ها برای چسبیدن به سطوح، به‌ویژه در ارگانیسم‌های پاتوژن که از این خاصیت برای شروع بیماری استفاده می‌کنند، به‌عنوان یک پدیده مهم شناخته شده‌است. درطبیعت میکروارگانیسم‌ها، اغلب در ارتباط نزدیک با سطوح جامد رشد می‌کنند، که این سطوح ممکن است بافت‌های نرم زنده، یا سطوح غیرزنده، مواد غوطه‌ور و یا ذرات خاک باشد. ارتباط و پیوستگی با سطوح جامد منجر به تشکیل بیوفیلم میکروبی می‌شود (۱).

باید توجه داشت، راه‌کار پس از تصفیه‌خانه مدنظر می‌باشد زیرا پس از تصفیه ثانویه BOD تا حد زیادی پایین آمده و لجن ایجاد شده برروی سطوح خلل و فرج (که در اینجا به‌عنوان بیوفیلم محسوب می‌شود) کم بوده و موجب گرفتگی در مدت زمان مشخصی نمی‌شود. به‌علت پایین آمدن غلظت موادآلی در پساب، میکروارگانیزم‌ها دچار شوک غذایی می‌شوند و تمایل به‌تشکیل بیوفیلم دارند (۱۰). در اینجا بتن متخلخل به‌عنوان تکمیل کننده فرآیند تصفیه فاضلاب می‌باشد تا کیفیت پساب مناسب شود. نکته دیگر آن‌که اکثر تصفیه‌خانه‌های ایران از مشکل عدم ته‌نشینی لجن (به‌علت به‌وجود آمدن میکروارگانیسم‌های رشته‌ای و درنتیجه کم‌وزن شدن) رنج می‌برند و بهره‌برداران را با مشکل مواجه می‌سازند (۱۳)، بتن متخلخل به‌عنوان نوعی فیلتر شنی عمل می‌کند. این بدان معناست که میکروارگانیسم‌های ته‌نشین نشده در حوض ته‌نشینی ثانویه را به دام می‌اندازد و کیفیت پساب خروجی را تا حد مطلوبی بهبود می‌بخشد. در واقع درصورت استفاده از بتن متخلخل به‌دلیل وجود شیره سیمان ذرات سنگی را به‌هم چسبانده دیگر نیاز به محفظه جهت نگهداری ذرات کنار هم نبوده و می‌توان ذرات را به اشکال گوناگونی که قالب‌بندی قابل اجرا داشته باشند، درآورد.

بتن سبک یا بتن متخلخل در سال ۱۹۲۴ میلادی توسط یک مهندس سوئدی ابداع گردید (۴). ویژگی‌های منحصر به‌فرد بتن متخلخل از جمله مقاومت در برابر یخ‌زدگی، کم‌وزن بودن، تخلخل بالا و افزایش ضریب نفوذپذیری باعث شد تا برای استفاده در روسازی معابر مورد استقبال قرار گیرد (۲۶). دیرکز و همکاران (به نقل از ۶) در تحقیقی کارایی ۹ فیلتر مختلف در تصفیه یک سیلاب مصنوعی را با یکدیگر مقایسه کردند در این فیلترها از ماسه‌های با دانه‌بندی مختلف و همچنین اکسید و هیدروکسیدآهن استفاده شده بود. همه فیلترها ابتدا برای فشارهای هیدرولیکی متفاوت مورد آزمایش قرار گرفتند و سرعت جریان در هر فیلتر نسبت به افزایش فشار هیدرولیکی آن با همدیگر مقایسه شد. سپس کارایی فیلترها درحذف آلودگی‌های مختلف نسبت به زمان و در یک دوره ۸ ماهه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. همچنین استویک و همکاران در تحقیقی گزارش کردند که برای بهینه کردن حذف باکتری‌ها در سیستم تصفیه باید چگونگی تأثیر فاکتورهای جاندار و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

غیرجاندار و تبادل آنها با یکدیگر را مورد بررسی قرار داد. بیو فیلم‌ها در حذف باکتری‌ها مؤثرند به‌همین دلیل به اطلاعاتی در مورد ساختار و ترکیب آنها نیاز است (۲۳). زارع در سال ۱۳۸۳ اعلام کرد وجود یک سازه متخلخل در کنار رودخانه‌ها و به موازات آنها باعث می‌شود دانه‌های بزرگ فاضلاب به درون تأسیسات تصفیه‌خانه وارد نشود. همچنین با تولید لجن در بین بتن شرایط تصفیه هوازی فاضلاب فراهم می‌شود و بهترین سنگ به‌دست آمده برای ریزدانه‌های درون بتن، پوکه‌های معدنی می‌باشد، که با وجود کم بودن جذب شیره بتن به‌علت متخلخل‌بودن، شیره بتن در ریزدانه‌ها نفوذ می‌کند و ریزدانه‌ها درهم قفل می‌شود (۵). از بتن متخلخل به‌عنوان فیلتر تصفیه آب می‌توان استفاده کرد (۱۱)، دراین باره تقی‌زاده و همکاران گزارش کردند که تصفیه کند افقی با بتن متخلخل به‌دلیل رشد توده‌های بیولوژیکی برای از بین بردن باکتری‌ها مناسب است، به‌طوری‌که استفاده از بتن متخلخل باعث کاهش ۱۰۰-۹۰ درصدی باکتری‌های کلیفرم می‌شود. سطح مورد نیاز برای دو فیلتر با سطح عمودی ۲/۶ مترمربع، ۷۰٪ کمتر از فضای مورد نیاز فیلترهای کند است. افزایش سرعت تصفیه باعث کاهش زمان بهره‌برداری می‌شود. ضخامت متوسط این فیلتر ۹ سانتی‌متر و مصالح مصرفی آن ۹۰٪ مصالح مورد نیاز فیلترهای کند می‌باشد. برای اقتصادی‌بودن طرح نیز می‌توان از سیمان و شن موجود در منطقه استفاده کرد، این نوع فیلتر برای جوامع کوچک مناسب است، به‌علاوه تعمیر و شست و شوی آنها نسبت به فیلترهای شنی افقی آسان‌تر خواهد بود (۲۴). تاوفیک و همکاران در تحقیقی در مقیاس آزمایشگاهی سیستم اصلاح پساب (Up flow Anaerobic Sludge Blanket) و (Moving Bed Biofilm Reactor) را در دمای ۲۲-۳۵ درجه مورد ارزیابی قرار دادند. به‌طوری‌که کل سیستم اصلاح در زمان‌های واکنش هیدرولیکی متفاوت ۵، ۱۰ و ۱۳/۳ ساعت عمل کرد. در نهایت بازده حذف total COD، colloidal COD و soluble COD به‌ترتیب تا ۹۲، ۸۹ و ۸۰ درصد افزایش یافت، اما حذف suspended CODدر زمان‌های واکنش هیدرولیکی‌های مختلف تفاوت خاصی نداشت که این نشان دهندهٔ آن است که حذف suspended COD به زمان‌های واکنش هیدرولیکی بستگی ندارد (۲۵). چوی و همکاران نیز اعلام کردند درصورت استفاده از بتن متخلخل به‌عنوان بیوفیلتر، BOD موجود در جریان خروجی به‌طور میانگین از ۱۰/۴ در جریان ورودی به ۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. به این ترتیب بازده حذف BOD به‌طور متوسط ۷۴٪ بود. کل میزان نیتروژن در جریان ورودی فاضلاب به‌طور میانگین ۹/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر بود درحالی‌که این میزان در جریان خروجی به ۴/۷۱ رسید، درنتیجه درصد حذف نیتروژن کل، ۴۷٪ است. درمورد کل فسفر موجود نیز در جریان ورودی مقدار آن ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر بود که در خروجی میزان آن به ۰/۵۹ رسید به این ترتیب ۶۰٪ حذف فسفر کل داشته‌است (۱۶). همچنین ویلسن و همکاران بیان کردند زمان ماند فیلترها با افزایش سرعت تخلیه تغییر می‌کند. فیلترهای شنی تنها اصلاح کننده‌های فیزیکی نیستند بلکه می‌توانند به‌طور اساسی از نظر بیولوژیکی هم عمل کنند. طول فیلترها و سرعت تخلیه تأثیر چندانی در زمان ماند هیدرولیکی فیلترها ندارد درحالی‌که توده زیستی نقش مهمی در عملکرد فیلترها دارد (۲۷).

هدف از انجام این طرح بررسی توانایی بتن متخلخل به‌عنوان بستری جهت رشد و توسعه بیوفیلم برروی خلل و فرج آن و همچنین به‌دست آوردن طرح اختلاط بهینه بتن متخلخل جهت رشد و توسعه بیوفیلم و مشخص شدن درصد کاهش پارامترهای کیفی آب در حضور بیوفیلم تشکیل یافته بروی بتن متخلخل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش در مجاورت تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی اصفهان به ساخت کانالی با ابعاد ۲۰×۳۰ سانتی‌متر ارتفاع و عرض و به طول ۸ متر اقدام شد. به این منظور با بیل مکانیکی گودبرداری لازم به‌عمل آمد و پس از دیوار چینی، دیواره‌ها و کف کانال با سرامیک عایق‌بندی شد؛ همچنین دو

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

شکل ۳. مراحل گودبرداری، تهیه قالب بتن، عایق‌بندی کانال و تنظیم جریان ورودی به کانال

حوضچه در ابتدا و انتهای کانال ساخته شد تا جریان ورودی به کانال و خروجی از آن به‌حالت جریان آرام درآید. در ادامه با یک لوله ۵۰ mm پلی اتیلنی به‌طول ۴۰ متر که به‌صورت یک سیفون در آمده بود از لاگون هوادهی تصفیه‌خانه آبگیری به‌عمل آمد، جریان ورودی توسط یک والو برنجی ۱۱/۲ اینچی قابل تنظیم شد. حداکثر دبی گرفته شده با توجه به اختلاف ارتفاع موجود با این روش حدود ۳۵ لیتر بر دقیقه است. برای ساخت مکعب‌های بتنی، به‌کمک شاخه‌های گالوانیزه قالب‌هایی جهت بتن‌ریزی ساخته شد. ابعاد داخلی قالب $cm^3$۱۵×۲۹/۵×۲۹/۵ می‌باشد. گزیده‌ای از این مراحل در شکل ۳ نشان داده شده است.

با توجه به آیین‌نامه ACI211.3R که برای تعیین نسبت‌های اختلاط بتن‌های با اسلامپ صفر است (۱۴)، یک طرح اختلاط پایه انتخاب گردید. این انتخاب براساس میزان تخلخل و ضریب هدایت هیدرولیکی می‌باشد. همچنین محققین قبلی به‌طور آزمایشگاهی خصوصیات استاتیکی و هیدرولیکی این طرح اختلاط را مورد بررسی و تجزیه وتحلیل قرار داده بودند (۳ و۶). برای آن‌که حفرات بتن کمی ریزتر شوند در سه مرحله، که در هر مرحله ۱۰ درصد وزن درشت‌دانه، ریزدانه به طرح اختلاط پایه اضافه شد (۱۵). درنهایت چهار طرح اختلاط برای بتن متخلخل در اختیار می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات طرح اختلاط‌ها آورده شده است.

در اینجا منظور از ریزدانه، شن عبور کرده از الک ۴ و مانده بر الک ۲۰۰ می‌باشد و درشت‌دانه ذرات شن ۴/۷۵ تا ۱۲/۵ میلی‌متر می‌باشد. دراین تحقیق عیار سیمان ۳۳۰ کیلوگرم در مترمکعب به‌طور ثابت درنظر گرفته شده است. همچنین آب مورد استفاده آب شرب بوده است. نکته دیگر که با توجه به جدول ۱ باید مد نظر قرار گرفته شود این‌است که با افزوده شدن ریزدانه با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی درصد w/c افزایش‌یافته تا خمیر بتن به‌صورت یکنواخت تهیه گردد و سیمان‌ها به‌صورت گلوله‌ای در نیاید. البته این افزایش درصد در محدوده مجاز توصیه شده توسط ACI211.3R می‌باشد.

برای ساخت نمونه‌ها، مقادیر مصالح مصرفی در بتن مطابق طرح‌های اختلاط به‌وسیله ظروف حجمی مدرج اندازه‌گیری شد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

جدول۱. مشخصات طرح اختلاط‌های بتن

شماره طرح اختلاط	مقدار سنگ دانه درشت (Kg/m^3)	مقدار ریز دانه (Kg/m^3)	سیمان (Kg/m^3)	W/C (نسبت آب به سیمان)	تخلخل (درصد)
۱	۱۴۰۰	۰	۳۳۰	۰/۳	۲۶
۲	۱۴۰۰	۱۴۰	۳۳۰	۰/۳۲	۲۳
۳	۱۴۰۰	۲۸۰	۳۳۰	۰/۳۴	۲۱
۴	۱۴۰۰	۴۲۰	۳۳۰	۰/۳۶	۱۸

شکل ۴. مراحل تهیه بتن، قالب‌ریزی و قرارگیری بتن‌ها در کانال

و به‌وسیله مخلوط‌کن، سیمان، آب و سنگدانه با هم مخلوط گردید. سطح داخلی قالب‌های ساخته‌شده به‌وسیله روغن چرب گردید تا بتن سخت شده از قالب جدا گردد.

بتن در سه لایه داخل قالب ریخته شد و هر لایه با ۲۵ ضربه میله استاندارد متراکم گردید، همچنین به‌کمک ماله بنایی سطح قالب مسطح گردید. از هر طرح اختلاط ۱۵ مکعب نمونه تهیه شد. حدود ۲۴ ساعت پس از بتن‌ریزی نمونه‌ها از داخل قالب فلزی خارج و درون حوضچه عمل‌آوری قرار داده شد. دوره عمل‌آوری نمونه‌های بتنی در آب ۲۸ روز می‌باشد.

پس از اتمام عمل‌آوری مکعب‌های بتنی، برای هر طرح اختلاط و برای هر تکرار، نوبت به قرارگیری مکعب‌ها درون کانال می‌رسد. به‌دلیل آن‌که جنس کانال از سرامیک می‌باشد باید دقت لازم به‌عمل می‌آمد که با توجه به سختی و وزن مکعب‌ها آسیبی به جداره کانال وارد نیاید. در هر بار آزمایش تعداد ۱۱ مکعب در کانال قرار داده شد. نکته دیگر آنکه در هنگام ساخت قالب بتن‌ریزی، عرض قالب ۰/۵ سانتی‌متر کمتر از کانال گرفته‌شد؛ دلیل این امر سهولت در جای‌گذاشتن و برداشت مکعب‌ها در کانال می‌باشد. فضای ایجاد شده با شن عبوری از الک ۱۴ به‌همراه مقداری سیمان (جهت پایدارشدن شن‌ها) پر شد. این مراحل انجام کار در شکل ۴ نشان داده شده است.

برای فرآوری راه و روش‌های متعددی وجود دارد. به‌منظور فرآوری مکعب‌های بتنی یا ایجاد بیوفیلم برروی خلل و فرج مکعب‌های بتنی (که در عمل میکروارگانیسم‌ها موجود دراین لایه زیستی مواد غذایی موجود در پساب را مصرف می‌کنند و همچنین به‌علت وجود یک سطح لزج و چسبناک موجب جذب

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

جدول۲. دبی پساب عبوری از هر طرح اختلاط

طرح اختلاط	دبی عبوری (لیتر بر دقیقه)
اول	۸
دوم	۷
سوم	٦
چهارم	۵

جدول ۳ . نتایج تجزیه واریانس طرح آماری جهت کاهش BOD

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدارF	ضریب تغییر	R^2
تیمار	۳	۲۲۰/۲۹	۷۳/۴۳	۱۷۹/۵۴**	۲/۱	۰/۹۹
بلوک	۲	۳۶/۷۵	۱۸/۳۷	۴۴/۹۳**		
خطا	۶	۲/۴۵	۰/۴۱	–		
کل	۱۱	۲۵۹/۵	–	–		

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

مواد و میکروارگانیسم‌های دیگر موجود در پساب می‌شوند)، در این پژوهش، روش قطع و وصل جریان پساب انتخاب گردید. به این ترتیب، یک شوک رطوبتی به میکروارگانیسم‌های پساب وارد می‌شود. با این شوک میکروارگانیسم‌ها برای بقاء رو به تشکیل بیوفیلم می‌آورند (۱). روند قطع و وصل به این صورت است که شیر فلکه ورودی جریان برای مدت یک ساعت باز می‌شود (با حداکثر دبی) تا کاملاً مکعب‌ها خیس شوند. در هر روز چهار مرتبه (در روز ۳ بار و شب ۱ مرتبه) به‌مدت سه روز برای هر تکرار این عمل انجام پذیرفت. پس از آن‌که فرآوری پایان پذیرفت بلافاصله جریان پساب در کانال برقرار شد. با توجه به میزان تخلخل‌های اندازه‌گیری شده برای هر طرح اختلاط یک میزان دبی جهت برقراری جریان پایدار انتخاب گردید و به کمک شیر فلکه جریان ورودی تنظیم شد. در واقع این دبی مشخص کننده میزان نفوذ پساب در نمونه‌ها با توجه به تخلخل می‌باشد. در جدول ۲ دبی عبوری برای هر طرح اختلاط آورده شده است.

پس از گذشتن ۲۴ ساعت که کاملاً از جریان پایدار اطمینان حاصل شد از حوضچه آرامش ابتدایی و انتهایی، نمونه‌برداری جهت آزمایش‌ها صورت گرفت. این آزمایش‌ها شامل BOD، COD، TSS و تعداد کل کلیفرم‌ها می‌باشد. در نهایت اطلاعات آزمایش و نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند؛ طرح آماری به‌کار برده‌شده طرح بلوک کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات BOD پساب با عبور از بتن متخلخل

در جدول ۳ تجزیه واریانس طرح آماری، آورده شده‌است. در جدول ۴ نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هر یک از طرح‌های اختلاط بر شاخص BOD آورده شده‌است. مقایسه میانگین تیمارها به‌روش LSD در سطح ۵ درصد انجام گرفته است.

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش درصد ریزدانه به طرح اختلاط درصد کاهش BOD افزایش یافته است. به‌طوری که از ۲۵/۱ به ۳۶/۴۸ درصد رسیده‌است دلیل این امر کوچک شدن خلل و فرج و در نتیجه آن افزایش مساحت کل

جدول ۴. نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هر یک از طرح‌های اختلاط بر شاخص BOD

طرح اختلاط	تکرار	پساب ورودی mg/L	پساب خروجی mg/L	درصد حذف	میانگین
اول	اول	۵۹	۴۵	۲۳/۷۳	۲۵/۱[d]
	دوم	۵۸	۴۴	۲۴/۱۴	
	سوم	۶۲	۴۵	۲۷/۴۲	
دوم	اول	۵۸	۴۳	۲۶/۸۶	۲۸/۱[C]
	دوم	۵۷	۴۱	۲۸/۰۷	
	سوم	۵۶	۳۹	۳۰/۳۶	
سوم	اول	۵۷	۴۰	۲۹/۸۲	۳۲/۱۳[b]
	دوم	۵۷	۳۹	۳۱/۵۸	
	سوم	۶۰	۳۹	۳۵	
چهارم	اول	۶۱	۴۰	۳۴/۴۳	۳۶/۴۸[a]
	دوم	۶۵	۴۱	۳۶/۹۲	
	سوم	۶۳	۳۹	۳۸/۱	

بین میانگین‌های با حروف همانند اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

لایه زیستی، و همچنین تماس بیشتر پساب با لایه زیستی می‌باشد. نتیجه گرفته شده با نتایج تقی‌زاده و همکاران و چویی و همکاران هم‌خوانی دارد (۲۴ و ۱۶). همچنین این نتیجه با نتایج محققینی که برروی تغذیه مصنوعی با پساب کار می‌کنند مطابقت دارد؛ به این صورت که هرچه بافت خاک ریزتر باشد کاهش BOD پساب عبوری بیشتر خواهد بود، در این رابطه می‌توان به تحقیقات جوانی، سیکا و همکاران و سیمونز و همکاران اشاره نمود (۲، ۲۱ و ۲۲).در واقع در اینجا به‌خوبی مفهوم اکسیژخواهی بیولوژیکی مشخص شده است که هرچه فعالیت میکروارگانیسم‌ها موجود در فاضلاب افزایش یابد این پارامتر تغییرات محسوس‌تری دارد.

تغییرات COD پساب با عبور از بتن متخلخل

در جدول۵ تجزیه واریانس طرح آماری، آورده شده است. در جدول ۶ نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هر یک از طرح اختلاط‌ها برروی شاخص COD آورده شده است، همچنین مقایسات میانگین تیمارها که به‌روش LSD در سطح ۵ درصد انجام گرفته است در این جدول آورده شده است.

همان‌گونه که از جدول ۶ مشخص است با افزایش ریزدانه به طرح اختلاط پایه اگرچه میزان درصد کاهش COD افزایش یافته است، اما این افزایش به نسبت افزایش ریزدانه نمی‌باشد. در اینجا با افزایش ۱۰ درصدی ریزدانه تنها به‌طور میانگین ۵/۵ درصد کاهش COD افزایش یافته است، که نشان می‌دهد حساسیت پارامتر COD نسبت به افزایش ریزدانه زیاد نیست. یو و همکاران (۲۰۱۰) درصد حذف را به‌طور میانگین ۵۲ درصد اعلام کردند که در اینجا از نتایج گرفته شده بیشتر می‌باشد (۲۸).

تغییرات TSS پساب با عبور از بتن متخلخل

در جدول ۷ نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هریک از طرح

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

جدول ۵. نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هریک از طرح‌های اختلاط بر شاخص COD

طرح اختلاط	آزمایش	پساب ورودی mg/L	پساب خروجی mg/L	درصد حذف	میانگین
اول	اول	۹۰	۶۲	۳۱/۱۱	۳۳/۶۷^{c}
	دوم	۹۲	۶۰	۳۴/۷۸	
	سوم	۹۴	۶۱	۳۵/۱۱	
دوم	اول	۹۶	۶۴	۳۳/۳۳	۳۵/۹۸^{bc}
	دوم	۹۳	۵۹	۳۶/۵۶	
	سوم	۹۲	۵۷	۳۸/۰۴	
سوم	اول	۹۴	۵۸	۳۸/۳	۳۸/۵۴^{ab}
	دوم	۹۰	۵۷	۳۶/۶۷	
	سوم	۹۱	۵۴	۴۰/۶۶	
چهارم	اول	۹۲	۵۸	۳۶/۹۶	۴۰/۵^{a}
	دوم	۹۵	۵۶	۴۱/۰۵	
	سوم	۹۲	۵۲	۴۳/۴۸	

بین میانگین‌های با حروف همانند اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس طرح‌ها جهت کاهش COD

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدارF	ضریب تغییر	$R^{۲}$
تیمار	۳	۷۹/۹۵	۲۶/۶۵	۱۲/۸**	۳/۸۸	۰/۹
بلوک	۲	۳۸/۷۳	۱۹/۳۶	۹/۳*	–	–
خطا	۶	۱۲/۴۹	۲/۰۸	–	–	–
کل	۱۱	۱۳۱/۱۷	–	–	–	–

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

اختلاط‌ها برروی شاخص TSS آورده شده است، همچنین مقایسات میانگین تیمارها که به‌روش LSD در سطح ۵ درصد انجام گرفته‌است دراین جدول آورده شده است. در جدول ۸ تجزیه واریانس طرح آماری، آورده شده است.

نتایج جدول ۸ نیز نشان‌دهنده روند مثبت افزایش درصد کاهش TSS با افزوده شدن ریزدانه دارد. بیشترین و کمترین درصد کاهش که به‌ترتیب مربوط به طرح اختلاط چهارم و طرح اختلاط پایه است، با تفاوت در کل حدود ۲۱ درصدی نشان می‌دهد که افزوده شدن ریزدانه به‌میزان ۱۰ درصد تنها در حدود ۷ درصد افزایش میزان حذف TSS را دربر دارد. دلیل این امر آن است که برای به دام انداختن بیشتر ذرات معلق جامد نیاز به حفرات ریزتری می‌باشد تا این سیر کاهشی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس طرح‌ها جهت کاهش TSS

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدارF	ضریب تغییر	R^2
تیمار	۳	۲۷۰/۲۱	۹۰/۰۷	۲۱۳/۵۳**	۱/۲۴	۰/۸۹
بلوک	۲	۱۶/۳۷	۸/۱۸	۱۹/۴**	-	-
خطا	۶	۲/۵۳	۰/۴۲	-	–	–
کل	۱۱	۲۸۹/۱۱	–	-	–	–

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۸ نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هریک از طرح‌های اختلاط بر شاخص TSS

طرح اختلاط	آزمایش	پساب ورودی mg/L	پساب خروجی mg/L	درصد حذف	میانگین
اول	اول	۱۲۲	۶۸	۴۴/۲۶	۴۵/۴۴[d]
	دوم	۱۲۰	۶۵	۴۵/۸۳	
	سوم	۱۳۰	۷۰	۴۶/۱۵	
دوم	اول	۱۲۵	۶۵	۴۸	۵۰/۰۹[c]
	دوم	۱۲۸	۶۳	۵۰/۷۸	
	سوم	۱۳۴	۶۵	۵۱/۴۹	
سوم	اول	۱۳۰	۵۹	۵۴/۶۲	۵۵/۸۹[b]
	دوم	۱۲۷	۵۷	۵۵/۱۲	
	سوم	۱۳۳	۵۶	۵۷/۸۹	
چهارم	اول	۱۳۶	۶۰	۵۵/۸۸	۵۷/۳[a]
	دوم	۱۲۲	۵۲	۵۷/۳۸	
	سوم	۱۳۳	۵۵	۵۸/۶۵	

بین میانگین‌های با حروف همانند اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

همچنان روند افزایشی داشته باشد. در واقع افزودن ریزدانه بیشتر برای کاهش درصد حذف TSS مفیدتر خواهد بود، اما با در نظر گرفتن کاهش دبی عبور کرده دیگر افزودن ریزدانه در شرایط بدون بار هیدرولیکی منطقی نمی‌باشد. راهکار دیگر افزایش طول بلوک چینی می‌باشد مثلاً به جای ۳ متر، می‌توان ۶ متر بلوک متخلخل چیده شود و یا ترکیبی از بلوک‌ها با طرح اختلاط‌های مختلف چیده شود. در بین محققینی که در این زمینه فعالیت کرده‌اند پارک و همکاران و ناداو و همکاران نزدیک‌ترین روش به روش بیان شده را دنبال کرده‌اند که به‌ترتیب ۵۴ و ۶۰ درصد برای حذف پارامتر TSS گزارش کرده‌اند که با توجه به تفاوت در روش‌ها، با نتایج گرفته شده مطابقت دارند (۱۹ و ۲۰).

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس طرح‌ها جهت کاهش تعداد کل کلیفرم

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	ضریب تغییر	R^2
تیمار	۳	۴۳۳۶/۹۷	۱۴۴۵/۶۷	**۱۳۹۳/۶	۱/۶	۰/۸۲
بلوک	۲	۷۷/۵۶	۳۸/۷۸	**۳۷/۳۸	-	-
خطا	۶	۶/۲۲	۱/۰۴	-	-	–
کل	۱۱	۴۴۲۰/۷۵	-	-	-	–

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۱۰. نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هریک از طرح اختلاط‌ها برروی شاخص تعداد کل کلیفرم‌ها

طرح اختلاط	آزمایش	پساب ورودی mg/L	پساب خروجی mg/L	درصد حذف	میانگین
اول	اول	$۱/۸۵\times۱۰^{۶}$	$۱/۲\times۱۰^{۶}$	۳۵/۱۴	
	دوم	$۳/۹۵\times۱۰^{۵}$	$۲/۵۱\times۱۰^{۵}$	۳۶/۴۶	۳۷/۰۵[c]
	سوم	$۴/۶\times۱۰^{۵}$	$۲/۷۸\times۱۰^{۵}$	۳۹/۵۷	
دوم	اول	$۳/۵۵\times۱۰^{۵}$	$۱/۸\times۱۰^{۵}$	۴۹/۳	
	دوم	$۴/۷\times۱۰^{۵}$	$۲/۱\times۱۰^{۵}$	۵۵/۳۲	۵۳/۹۲[b]
	سوم	$۳/۵\times۱۰^{۵}$	$۱/۵\times۱۰^{۵}$	۵۷/۱۴	
سوم	اول	$۳/۶\times۱۰^{۵}$	$۷/۸\times۱۰^{۴}$	۷۸/۸۳	
	دوم	$۴/۸\times۱۰^{۵}$	$۸/۷\times۱۰^{۴}$	۸۱/۸۸	۸۱/۴۹[a]
	سوم	$۳/۷۵\times۱۰^{۵}$	$۵/۹\times۱۰^{۴}$	۸۴/۲۷	
چهارم	اول	$۳/۵۵\times۱۰^{۵}$	$۷/۸\times۱۰^{۴}$	۷۸/۰۳	
	دوم	$۳/۵\times۱۰^{۵}$	$۶/۱\times۱۰^{۴}$	۸۲/۵۷	۸۱/۶۹[a]
	سوم	$۴/۷\times۱۰^{۵}$	$۷/۳\times۱۰^{۴}$	۸۴/۴۷	

بین میانگین‌های با حروف همانند اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

تغییرات تعداد کل کلیفرم پساب با عبور از بتن متخلخل

در جدول ۹ نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر هر یک از طرح اختلاط‌ها برروی شاخص تعداد کل کلیفرم‌ها آورده شده است، همچنین مقایسات میانگین تیمارها که به‌روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفته است دراین جدول آورده شده است. در جدول۱۰ تجزیه واریانس طرح‌آماری ، آورده شده است.

برای جدول ۱۰ نیز می‌توان گفت با افزایش ریزدانه، درصد کاهش تعدادکل کلیفرم‌ها افزایش یافته است؛ بیشترین و کمترین به‌ترتیب مربوط به طرح اختلاط چهارم و طرح اختلاط اول یا همان پایه است. نکته قابل توجه افزایش ناگهانی درصد حذف از طرح اول به طرح دوم می‌باشد که با افزوده شدن ۱۰ درصد ریزدانه حدود ۳۱ درصد افزایش حذف را در برداشته است (۳۷/۰۵ به ۵۳/۹۲ درصد). همچنین این روند از طرح دوم به سوم همچنان ادامه دارد و افزایش حدود ۳۲ درصدی را در این مرحله به‌همراه دارد، یعنی از ۵۳/۹۲ به ۸۱/۴۹ می‌رسد. در ادامه روندافزایشی، متوقف شده به‌طوری که طرح اختلاط سوم و

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

جدول ۱۱. میانگین پساب ورودی، خروجی، میانگین درصدهای کاهش پارامترها و استاندارد کاربرد پساب در ایران (۱۲)

پارامتر های اندازه‌گیری شده	واحد	میانگین پساب ورودی	میانگین پساب خروجی	میانگین درصد کاهش	مرز استاندارد آلوده‌کننده پساب		
					تخلیه به چاه	تخلیه به آب سطحی	استفاده در کشاورزی
کدورت	N.T.U*	۱۲۸	۶۱	۵۲	–	۴۰	۱۰۰
BOD**	میلی‌گرم در لیتر	۶۰	۴۱	۳۰	۳۰	۳۰	۱۰۰
COD***	میلی‌گرم در لیتر	۹۳	۵۸	۳۷	۶۰	۶۰	۲۰۰
تعداد کل کلیفرم	تعداد در ۱۰۰میلی لیتر	$۴/۸۳\times ۱۰^{۵}$	$۲/۲\times ۱۰^{۵}$	۶۳	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

* Nephelometric Turbidimeter Unit
** Biological Oxygen Demand
*** Chemical Oxygen Demand

چهارم درصد حذف تعدادکل کلیفرم تقریباً یکسانی دارا می‌باشند. در این زمینه نتایج هان و همکاران هم روندی شبیه به نتایج گرفته شده را دنبال می‌کند (۱۸) و نتایج گرفته شده توسط فرناندز و همکاران با ۱۰درصد تفاوت از نتایج گرفته شده، روندی مشابه را دنبال می‌کند (۱۷).

با درنظر گرفتن هدف این طرح که بهبود کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب در حد استاندارد می‌باشد، موفقیت قابل قبولی به‌دست آمده است به‌طوری‌که TSS پساب از حدود میانگین ۱۲۸ به ۶۵ رسیده است که قابل استفاده در کشاورزی شده‌است. در جدول ۱۱ حدود استاندارد ایران برای استفاده مجدد از پساب و میانگین پارامترهای مورد مطالعه آورده شده‌است. برای پارامتر BOD و COD اگرچه در این تحقیق شرایط استاندارد کشاورزی را دارا می‌باشد، اما پس از گذشتن پساب از بلوک‌های بتنی استاندارد تخلیه به آب سطحی و چاه جاذب را نیز کسب کرده‌است. و برای تعداد کل کلیفرم‌ها اگرچه اعداد به‌دست‌آمده با شرایط استاندارد تفاوت دارد، اما نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد درصورت اتخاذ تدابیری هم‌چون افزایش طول بلوک‌چینی و یا ایجاد واحدهای سری تعداد کل کلیفرم‌ها را به‌مرز استاندارد رساند. در واقع این تحقیق نشان می‌دهد می‌توان به‌طور قابل قبولی حدود استاندارد را جهت استفاده از پساب در کشاورزی و یا تخلیه به محیط زیست را تأمین نمود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج آزمایش‌های کیفی و نتایج جدول‌های تجزیه واریانس به‌طورکلی نتایج حاصل از این مطالعه را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱. برای کاهش BOD پساب بهترین طرح اختلاط، طرح اختلاط چهارم یعنی اضافه‌شدن ۳۰ درصد ریزدانه به طرح پایه می‌باشد. اما با در نظر گرفتن کاهش دبی گذرکرده یعنی از ۸ به ۵ لیتر بر دقیقه به‌نظر می‌رسد استفاده این طرح اختلاط در عمل کاربردی نداشته باشد، و باید از طرح اختلاط سوم و یا دوم استفاده شود. البته جهت قضاوت دقیق باید اهداف پروژه مشخص شود که آیا میزان جریان عبور کرده مهم‌تر می‌باشد یا کاهش بیشتر پارامتر کیفی. به‌عنوان مثال در این پروژه برای پارامتر کیفی BOD افزایش حدود ۳۱ درصدی راندمان حذف حدود ۳۷ درصدکاهش دبی به‌همراه دارد، که این اعداد نیاز به‌تجزیه و تحلیل دقیق اقتصادی باتوجه به شرایط محل پروژه دارد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

۲. روند تغییرات درصدهای حذف COD نیز شبیه به BOD می‌باشد، یعنی با افزایش ریزدانه درصد حذف افزایش‌یافته ولی میزان دبی عبورکرده در واحد زمان کاهش یافته است. حداقل و حداکثر کاهش به‌ترتیب ۳۳/۶۷ و ۴۰/۵ می‌باشد.

۳. روند کاهشی پارامتر TSS در استفاده از بتن‌های متخلخل نیز به این ترتیب است که با افزایش ریزدانه، ملاحظه می‌شود درصد کاهش TSS افزایش می‌یابد و بیشترین کاهش مربوط به‌طرح اختلاط چهارم می‌باشد. در واقع بتن متخلخل شبیه به یک فیلتر شنی مواد جامد معلق را به دام می‌اندازد، طبیعتاً هرچه بافت این فیلتر ریزتر باشد درصد بیشتری از ذرات معلق از پساب جدا خواهد شد.

۴. برای کاهش پارامتر تعداد کل کلیفرم‌ها بهینه‌ترین طرح اختلاط، طرح اختلاط سوم می‌باشد. در این طرح اختلاط برای ۲۰ درصد افزایش ریزدانه، افزایش حدود ۶۳ درصدی کاهش تعداد کل کلیفرم‌ها را به‌همراه دارد یعنی درصد حذف از ۳۷/۰۵ به ۸۱/۴۹ می‌رسد.

با توجه به معنی‌دار شدن اکثر طرح اختلاط‌ها نتیجه می‌گیریم، هرچه تخلخل ریزتر شود یا به عبارت دیگر حفرات کوچک‌تر باشد راندمان حذف افزایش می‌یابد. درنهایت با توجه به نکات بحث شده و نتایج گرفته شده با توجه به شرایط انجام این مطالعه، می‌توان گفت طرح اختلاط سوم، (یعنی طرح پایه به‌همراه ۲۰ درصد وزنی ریزدانه) مناسب‌ترین طرح پیشنهادی برای استفاده بتن متخلخل به‌عنوان بستر بیوفیلم می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. ترکیان، ا. و م. احمدی. ۱۳۸۵. بیوتکنولوژی زیست‌محیطی مبانی و کاربردها (ترجمه)، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

۲. جوانی، ح. ر. ۱۳۹۲. بررسی میزان کاهش آلاینده‌های موجود در فاضلاب تصفیه‌شده در سامانه تغذیه مصنوعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی.

۳. حسین‌زاده حجازی، س. ا. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی دوام روسازی‌های بتنی متخلخل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. دایی چینی، م. و ا. محبوبی. ۱۳۸۷. بتن متخلخل (اسفنجی)، چهارمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

۵. زارع، ر. ۱۳۸۳. کاربرد بتن متخلخل در تصفیه فاضلاب. مجموعه مقالات اولین همایش دانشجویی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی استهبان، ۱۳-۱۴ اسفندماه.

٦. سقائیان‌نژاد، س. ۱۳۹۱. کاهش بارآلودگی رواناب‌های شهری با استفاده از بتن متخلخل جاذب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. سازمان برنامه و بودجه. وزارت نیرو. ۱۳۷۱. مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های‌سطحی و فاضلاب شهری، نشریه شماره۳-۱۱۸، انتشارات سازمان برنامه و بودجه.

۸. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. سازمان مدیریت منابع آب، دفتر استاندارد مهندسی آب. ۱۳۸۰. راهنمای بهره‌برداری و نگهداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری (تصفیه مقدماتی)، نشریه شماره۲۳۷، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۹. شولتز، ک و اوکان. دا. ۱۳۸۳. تصفیه آب‌های‌سطحی در کشورهای درحال توسعه. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰. عابدی کوپایی، ج. و جواهری‌طهرانی، م. ۱۳۹۲. معرفی کاربردی جدید از بتن متخلخل در مهندسی محیط‌زیست. مجموعه

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]

مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه زاهدان، ۱۷– ۱۸ اردیبهشت ماه.

۱۱. عابدی کوپایی، ج. و جواهری‌طهرانی، م. ۱۳۹۲. معرفی استفاده از بتن متخلخل جهت فرآهم‌نمودن آب‌شرب درشرایط اضطراری. مجموعه مقالات اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)، ۲۵– ۲۶ اردیبهشت ماه.

۱۲. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. وزارت نیرو. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. دفتر نظام فنی و اجرایی. ۱۳۸۹. ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. نشریه۵۳۵، انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور.

۱۳. وزارت نیرو. دفتر استاندارد مهندسی آب. ۱۳۸۲. راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری (تصفیه طبیعی و برکه‌های تثبیت)، نشریه ۲۷۰–الف، انتشارات سازمان برنامه و بودجه.

14. ACI Committee 211. 2006. Guide for Selecting Proportions for No-slump Concrete. ACI 211.3R Report.
15. ACI Committee 522. 2006. Pervious Concrete. ACI 522R-06 Report.
16. Choi, I. S., S. H. Jang and J. M. Oh. 2010. Examination for purification ability of water quality by applying the porous concrete. Korean J. Limnol 35(4): 312-319.
17. Fernandez, M. R., M. G. Casabona, V. N. Anupama, B. krishnakumar, G. A. Curutchet, D. L. Bernik. 2010. PDMS-based porous particles as support beds for cell immobilization: Bacterial Biofilm formation as a function of porosity and polymer composition. Colloid. Surface B. 81: 289-296.
18. Han, Y., K. Johnson, D. Hayes, H. Xu and Y. Choi. 2013. Novel mathematical modeling on pilot scale of plug-flow. Biotechnol Bio Eng. 18: 989-999.
19. Nadav, I., G. Arye, J.tarchitzky and Y. Chen. 2012. Enhanced infiltration regime for treated wastewater purification in Soil Aquifer Treatment. (SAT). J. Hydrol. 421: 275-283.
20. Park, S., B. Byung, J. Lee and Y. Jang. 2010. A study on the seawater purification characteristics of water-permeable concrete using recycled aggregate. Resour Conserv Recy. 54: 658–665.
21. Sikka R., Nayyar V. and Sidhu S.S. 2009. Monitoring of Cd pollution in soil and plant irrigation with untreated sewage water in some industrialize cities of Punjab India. Environ. Monit Assess. 154: 53-64.
22. Simmones R. W. Ahmad W. Noble A. D. Blummel M. Evans A. and Weckenbrock. P. 2009. Effect of long-term un-treated domestic wastewater reuse on soil quality wheat grain and straw yields and attributes of fodder quality. Irrigation Sci. 24: 95-112.
23. Stevik, T. K., K. AA, G. Ausland and J. F. Hanssen. 2004. Retention and removal of pathogenic bacteria in wastewater percolatingthroug h porous media: a review. Water Res. 38: 1355-1367.
24. Taghizadeh, M. M., A. Torabian, M. Borghei and A. H. Hassani. 2007. Feasibility study of water purification using vertical porous concrete filter. J. Environ. Sci. Tech. 4(4): 505-512.
25. Tawfik, A., F. El-Gohary and H. Temmink. 2010. Treatment of domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor followed by moving bed Biofilm reactor. Bioprocess Biosyst Eng. 33: 267–27.
26. Tennis, P. D., M. L. Leming and D. J. Akers. 2004. Pervious Concrete Pavements, Portland Cement Assoc. ISBN 0-89312-242-4.
27. Wilson, J., L. Boutilier, R. Jamieson, P. Havard and C. Lake. 2011. Effects of Hydraulic Loading Rate and Filter Length on the Performance of Lateral Flow Sand Filters for On-Site Wastewater Treatment. J. Hydrol. Eng. 10: 359-368.
28. Wu, Y. F., X. W. Lu, Y. Jia and J. Shi. 2010. Water quality improvement and community Characteristics In simulated rivers using porous concrete embankments. Sustain. Environ. Res. 20(5): 317-323.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-11-25]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.71.9.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.93]