

Performance Investigation of Woodchip Bioreactor for Nitrate Removal from Wastewater

REZA JALALI¹, JAVANSHIR AZIZI MOBASER^{1*}, AKBAR GHAVIDEL², ALI RASOULZADEH¹, JAVAD RAMAZANI MOGHADAM¹

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: Jan. 10, 2021- Revised: Feb. 21, 2021- Accepted: Feb. 27, 2021)

ABSTRACT

Wood chip bioreactors are one of the low-cost methods to remove nitrate from effluents, including wastewater effluents. This research was conducted in Ardabil plain and in the research farm of Mohaghegh Ardabil University during the autumn of 2021. Two types bioreactors; one including wood chip and the other including a mixture of wood chip and iron chip, each with four replications were implemented in a factorial design. Three levels of nitrate concentration (50, 150, and 300 mg.l⁻¹) were passed through the reactors and their effluents were measured after 3, 6, 12, 24, 48, 72, and 96 hours retention time in the bioreactor. The results showed that the performance of reactors with wood chip core (54.7% removal) was better than the wood and iron chip (45.9% removal). Also, the results demonstrated that the removal percentage was in descending order at concentrations of 150, 300, and 50 mg.l⁻¹, with the average values of 54.6, 50.3, and 45.5%, respectively. The results of variance analysis showed that the retention time have a significant effect on the amount of nitrate removal by reactors so that the minimum and the maximum removal (4.3% and 89.3%) were obtained from 3-hours and 96-hours retention time, respectively. In general, it can be concluded that under the conditions of this research, bioreactors with wood chip have acceptable performance in nitrate removal. Also, it was found for the suggested drainage coefficient in Iran (2 mm.day⁻¹) and with a retention time of 96 hours, less than 2% of the land area is needed for bioreactor construction.

Keywords: Bioreactor, Nitrate, Retention Time, Wood Chip, Drainage Coefficient.

بررسی عملکرد رآکتور زیستی تراشه چوب برای حذف نیترات از پساب‌ها

رضا جلالی^۱، جوانشیر عزیزی مبصر^{۱*}، اکبر قویدل^۲، علی رسول‌زاده^۱، جواد رضائی مقدم^۱

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. گروه علوم مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۹)

چکیده

رآکتورهای زیستی تراشه چوب یکی از ارزان‌ترین روش‌های حذف نیترات از پساب‌ها، از جمله پساب‌ها می‌باشند. این تحقیق در دشت اردبیل و در پاییز سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. این تحقیق با دو نوع هسته در رآکتورهای زیستی شامل تراشه چوب و مخلوط تراشه چوب و تراشه آهن، با ۴ تکرار برای هر یک، در قالب طرح فاکتوریل اجرا شد. غلظت نیترات ورودی به رآکتورها شامل سه سطح ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اعمال شد. غلظت نیترات در پساب خروجی از رآکتورها بعد از زمان‌های ماند ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که عملکرد رآکتورهای با هسته تراشه چوب (۵۴/۷ درصد حذف) بهتر از حالتی بود که هسته از تراشه چوب و تراشه آهن (۴۵/۹ درصد حذف) تشکیل شده بود. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین تا کم‌ترین درصد حذف، در غلظت‌های ۱۵۰، ۳۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب به صورت متوسط با مقادیر ۵۴/۶، ۵۰/۳ و ۴۵/۵ اولویت‌بندی شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان ماند تأثیر معنی‌داری بر مقدار حذف نیترات توسط رآکتورها دارد، به گونه‌ای که کم‌ترین مقدار حذف در زمان ماند ۳ ساعت و به مقدار ۴/۳ درصد و بیش‌ترین مقدار حذف نیترات در زمان ماند ۹۶ ساعت و با مقدار ۸۹/۳ درصد بدست آمد. نتایج کلی نشان داد که در شرایط انجام تحقیق رآکتورهای زیستی با هسته چوب عملکرد قابل قبولی در حذف نیترات دارند. همچنین با استفاده از نتایج این تحقیق، مشخص شد که برای ضریب زهکشی پیشنهادی برای شرایط کشور ایران (2 mm.day^{-1}) و زمان ماند ۹۶ ساعت کم‌تر از ۲ درصد از مساحت زمین به احداث رآکتور زیستی اختصاص می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: رآکتور زیستی، نیترات، زمان ماند، تراشه چوب، ضریب زهکشی.

مقدمه

در دهه‌های اخیر توسعه کشورها منجر به مشکلات محیط زیستی در رابطه با آب از جمله کمبود منابع آب، آلودگی آب و عدم تعادل در اکولوژی آب شهری و روستایی شده است (Lopez-Ponnada et al., 2017). آلودگی نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی در سراسر دنیا به یک مسئله جدی تبدیل شده است. علت این افزایش به صورت عمده، استفاده بیش از حد از کودهای نیتراته، تخلیه پساب‌های صنعتی و خانگی و فرونشست از چاه‌های جذبی می‌باشد (Ashoori et al., 2019; Mardani et al., 2020). در نتیجه افزایش نیترات در منابع آب مشکلاتی از قبیل سرشاری غذایی در آب‌های سطحی، اثرات سمی افزایش رشد جلبک، و آلودگی آب آشامیدنی بوجود می‌آید (Christianson et al., 2017). علاوه بر مشکلات کلی و زیست محیطی آلودگی نیترات، برای جوامع انسانی نیز تهدید جدی محسوب می‌شود. از جمله می‌توان به بیماری‌هایی از قبیل متوهموگلوبینمیا برای نوزادان و

ایجاد سرطان برای بزرگسالان اشاره کرد (Ashoori et al., 2019). بنابراین حذف نیترات از منابع آب بسیار با اهمیت است و از جمله راهکارهای مناسب برای حذف نیترات استفاده از فرآیند نیتروژن زدایی ارگانیک است، که برای این منظور می‌توان از رآکتور زیستی استفاده نمود (Asgari et al., 2020). روش رآکتور زیستی یک روش مؤثر و اقتصادی برای حذف نیترات است که در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد آن انجام شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق Aalto et al. (2020)، اشاره نمود که میزان حذف نیترات بیولوژیکی را با استفاده از رآکتور زیستی (با هسته تراشه چوب) بررسی کردند و دریافتند که رآکتورهای زیستی اگرچه بر حذف نیترات مؤثر هستند اما عوامل دیگری از قبیل، طراحی، شیوه اجرا، غلظت نیترات ورودی و مقدار درصد کربن نیز تأثیرگذار است. Ashoori et al. (2019)، کارآیی رآکتور زیستی با هسته تراشه چوب را برای حذف نیترات، فلزات و مواد آلی از رواناب شهری را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان

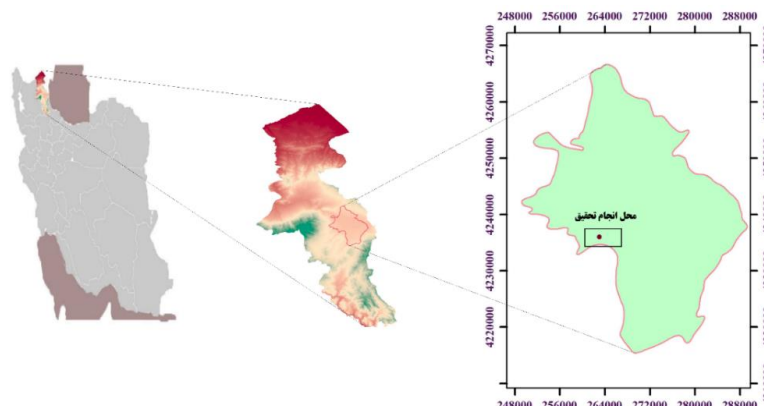
مناسب‌ترین منبع کربن برای راکتورهای زیستی، تراشه چوب ارزیابی شده است، که می‌تواند تا ۱۵ سال کارایی داشته باشند. نسبت به سایر منابع کربن، ارزان قیمت بوده و برای تهیه آن نیاز به تکنولوژی خاصی نیست (Asgari et al., 2020; Christianson et al., 2017). همچنین مطالعات زیادی در مورد کارایی راکتور زیستی در دماهای نسبتاً بالا (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و بالاتر) انجام شده و با توجه به وابستگی حذف نیترات در روش‌های بیولوژیکی به دما، این نتایج را نمی‌توان برای سایر مناطق که دماهای کم‌تر تعمیم داد (Aalto et al., 2020). با توجه به اینکه تراشه‌های چوب در بستری متفاوت، یک محیط واکنش‌پذیر تصفیه‌کننده غالب برای حذف نیترات محسوب می‌شوند (Kraft et al., 2019) به عنوان هسته راکتورها انتخاب شد. تعدادی دیگر از منابع کربن مانند ساقه ذرت، کاه گندم، مقوا و روزنامه مورد بررسی قرار گرفته است، اما تحقیقات محققین مواد چوبی را توصیه کرده‌اند زیرا منبع کربن پایدار را برای مدت طولانی تری فراهم می‌کند. علاوه بر تراشه‌های چوب، در موارد حذف بیولوژیکی، تصفیه‌کننده‌های اکسید آهن از یون‌های آهن به عنوان دهنده الکترون برای حذف نیترات استفاده می‌کنند. یون آهن در شرایط بی‌هوازی تبدیل به آهن صفر ظرفیتی می‌شود (Kim, 2018). با توجه به اینکه آهن صفر ظرفیتی غیر سمی، فراوان، ارزان و تولید آن آسان است، بنابراین اخیراً مواد تصفیه‌کننده اصلاح شده بسیاری با آهن صفر ظرفیتی برای تصفیه آب‌های زیرزمینی ساخته شده است. زیرا نیترات در اثر واکنش با آهن صفر ظرفیتی تبدیل به آمونیاک می‌شود و طی مراحل تصفیه می‌شود (Zhang et al., 2019). این تحقیق به منظور ارزیابی کارایی راکتور زیستی با هسته تراشه چوب برای حذف نیترات از پساب کشاورزی انجام شد. برای این منظور راکتورهای زیستی با دو نوع هسته، شامل تراشه چوب و مخلوط تراشه چوب و تراشه آهن در نظر گرفته شد. همچنین تأثیر غلظت‌های مختلف ورودی نیترات بر مقدار کارایی در زمان‌های مختلف بررسی شد. همچنین با توجه به نتایج این تحقیق، ابعاد استاندارد راکتورهای زیستی و ضرائب کمینه، بیشینه و توصیه شده ضریب زهکشی برای کشور، مساحت مورد نیاز برای احداث راکتورهای زیستی محاسبه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

محل انجام تحقیق

این تحقیق در شهر اردبیل در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. شهر اردبیل از موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۷ درجه شرقی برخوردار بوده و در ارتفاع ۱۳۳۲ متر از سطح دریا واقع شده است. اقلیم این منطقه مدیترانه‌ای گرم، مدیترانه‌ای معتدل، کوهستانی سرد و معتدل

داد که با کنترل دبی ورودی به راکتورهای زیستی می‌توان تا دهه‌ها، آلودگی‌های مختلفی را از رواناب حذف نمود. Christianson et al. (2017)، به منظور کاهش انتقال بار آلودگی، از فیلتر فسفر و راکتور زیستی به صورت سری استفاده کردند. نتایج نشان داد که اگر راکتور زیستی قبل از فیلتر فسفر قرار گیرد، کارایی مناسبی برای حذف آلودگی‌ها خواهد داشت. Lopez-Ponnada et al. (2017)، تحقیقی به منظور بررسی کارایی راکتور زیستی با تراشه چوب برای مدیریت منابع غیر نقطه‌ای نیترات مناطق مسکونی انجام دادند. نتایج نشان داد که اگر چه راکتورها آلودگی نیترات را کاهش می‌دهند، اما برای بهینه‌سازی روش مطالعه طولانی مدت ضروری است. Mardani et al. (2020) تأثیر راکتور زیستی با تراشه چوب بر غلظت میکروبی در آب زهکش زیرزمینی بررسی کردند و دریافتند که تحقیقات آزمایشگاهی و مزرعه‌ای می‌توانند تضمین‌کننده میزان حذف مورد انتظار جمعیت میکروبی موجود در زه‌آب کشاورزی باشند. Maxwell et al. (2020) حساسیت راکتور زیستی را به دما با افزایش عمر تراشه‌های چوب و دوره‌های خشک و مرطوب شدن راکتور را ارزیابی کردند که مشخص شد این حساسیت نسبت به متغیرهای مورد اشاره افزایش می‌یابد. مدل‌سازی و کاهش فسفر آزاد شده از پساب آبی‌پروری با استفاده از راکتور زیستی توسط Sharrer et al. (2016) انجام شد، و این محققین دریافتند که بدون در نظر گرفتن شرایط کیفی آب، بیش‌ترین فسفر آزاد شده در ۲۴ ساعت ابتدایی اتفاق افتاده و مناسب‌ترین مدل برای فسفر مدل Elovitch می‌باشد. Soupier et al. (2018) تأثیر دما و زمان ماند هیدرولیکی بر حذف پاتوژن و مواد مغذی در راکتور زیستی تراشه چوب بررسی کردند و نشان دادند که اجرای راکتور زیستی تراشه چوب برای حذف نیترات دارای مزیت ثانویه از طریق حذف باکتری‌های ورودی می‌باشد. بازدهی تصفیه ارزان قیمت بی‌هوازی پساب با استفاده از بیوجار و فیلتر تراشه چوب توسط Kaetzi et al. (2018) انجام شد. این محققین دریافتند که با توجه به شاخص‌هایی از قبیل TOC، COD و کدوری استفاده از بیوجار در مقایسه با فیلترهای تراشه چوب و فیلتر شنی عملکرد مناسب‌تری داشته است. Yao et al. (2020) افزایش حذف نیترات از آب سطحی در راکتور زیستی تراشه چوب در حضور قارچ‌های هوازی نیترات‌زاد، را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که قارچ‌های هوازی مقدار حذف نیترات در راکتور زیستی را افزایش می‌دهند. کارایی راکتورهای زیستی متأثر از عواملی از قبیل نوع منبع کربن، دمای آب و محیط، اسیدیته آب و مقدار بار ورودی نیترات است (Corbett et al., 2019; Christianson et al., 2017; Aalto et al., 2020; Mardani et al., 2020; Martin et al., 2019). طبق تحقیقات انجام شده،

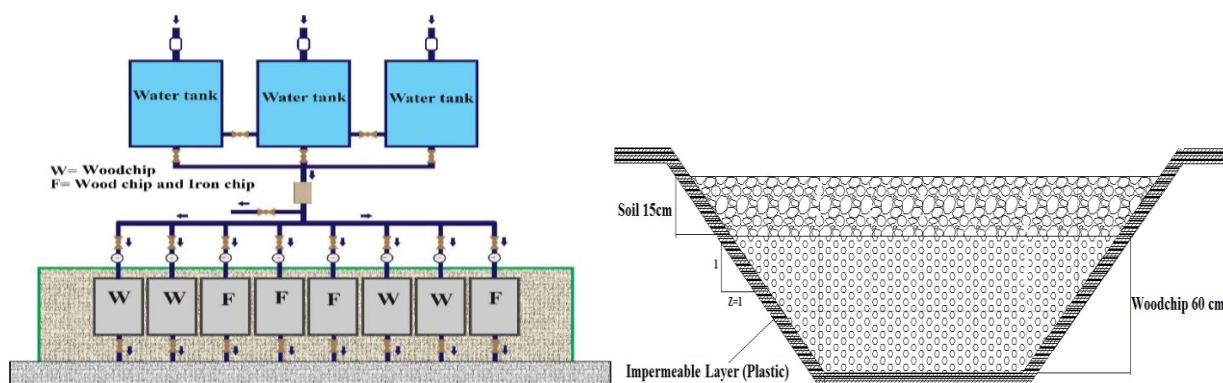


شکل ۱- موقعیت محل انجام تحقیق در دشت اردبیل

بر اساس آمار سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ متوسط بارندگی سالانه در دشت اردبیل ۲۸۰/۹ میلی‌متر و متوسط کمینه دمای ماهیانه ۲/۴، متوسط بیشینه دمای ماهیانه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه آن ۹/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Raouf and Azizi Mobaser, 2016).

طراحی و ساخت رآکتورهای زیستی

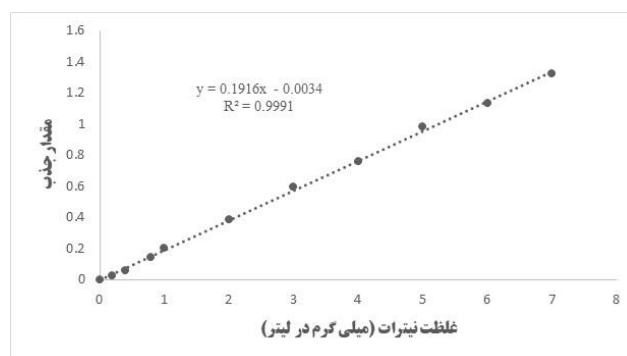
در این تحقیق از تراشه‌های چوب (رآکتورهای مشخص شده با W) با تکرار ۴ دستگاه و مخلوط تراشه‌های چوب و تراشه‌های آهن (رآکتورهای مشخص شده با F) نیز با تکرار ۴ دستگاه، بعنوان هسته‌های رآکتورهای زیستی استفاده شد. رآکتورهای زیستی در مقیاس پایلوت دارای ابعاد مشخصی هستند، و معمولاً با حجم یکسان ۰/۷۱ متر مکعب و عمق ۰/۶ متر، دارای سه مقطع هندسی کانال مربعی، مستطیلی شکل و دوزنقه‌ای می‌تواند احداث شوند که در این تحقیق با مقطع دوزنقه احداث گردیده، و چیدمان تیمارهای مربوط به جنس هسته‌ها به صورت تصادفی اجرا شدند. رآکتور زیستی با برزنت مصنوعی اندود می‌شود و با مواد آلی مخلوط شده با خاک پوشیده شده است. برای رآکتورها شیر کنترل تعبیه شده اجازه دستکاری نرخ جریان را می‌دهد



شکل ۲- مقطع عرضی، چیدمان و جزئیات رآکتورها در محل تحقیق

اندازه‌گیری نیترات در نمونه‌ها

به منظور تعیین غلظت نیترات از روش استخراج معرفی شده به شماره ۴۵۰۰ روش‌های استاندارد استفاده شد، که در این روش در هر نمونه ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه‌های تیمار را برداشته و در صورت نیاز از فیلتر عبور داده و یک میلی‌لیتر محلول HCl به آن اضافه شد. سپس به طور کامل هم زده شد تا عمل انحلال به طور یکنواخت انجام شود. با استفاده از اسپکتروفتومتر UV در طول موج محدوده ۲۲۰ نانومتر تا ۲۷۰ نانومتر توسط سل کوارتز مقدار جذب و در نهایت با استفاده از منحنی کالیبراسیون (شکل ۳) غلظت نیترات اندازه‌گیری شد (Baird, 2017).



شکل ۳- منحنی کالیبراسیون استخراج نیترات با استفاده از اسپکتروفتومتر

نتایج بدست آمده شامل تیمارهای مربوطه به هسته راکتور

(دو سطح و تعداد ۴ تکرار)، غلظت نیترات ورودی به راکتورها (سه سطح) و زمان ماند (۷ سطح) با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 آنالیز واریانس به صورت فاکتوریل بررسی و در صورت معنی‌دار بودن میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آزمایش بر حذف نیترات آب، نشان داد که این اثر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نه تنها این عوامل به صورت مجزا، بلکه به صورت متقابل نیز بر حذف نیترات مؤثر بودند (جدول ۱). به عبارت دیگر برای هسته راکتورها چنانچه، از تراشه چوب به جای مخلوط تراشه چوب و تراشه آهن استفاده شود، مقدار درصد حذف نیترات اختلاف معنی‌داری با هم دارند. با توجه به این که عملکرد راکتورهای زیستی در حذف نیترات به صورت، نسبت اختلاف غلظت نیترات ورودی و خروجی از راکتور به غلظت نیترات ورودی تعریف می‌شود، بنابراین می‌توان گفت که تغییر غلظت بار نیترات ورودی بر روی عملکرد حذف نیترات توسط راکتورهای زیستی مؤثر است. علاوه بر آن تأثیر زمان ماند اثرات متقابل تیمارها نیز بر عملکرد راکتورهای زیستی، در سطح احتمال یک درصد بر روی حذف نیترات از پساب تأثیر معنی‌داری داشته‌اند.

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به تأثیر متغیرها بر حذف نیترات از پساب کشاورزی

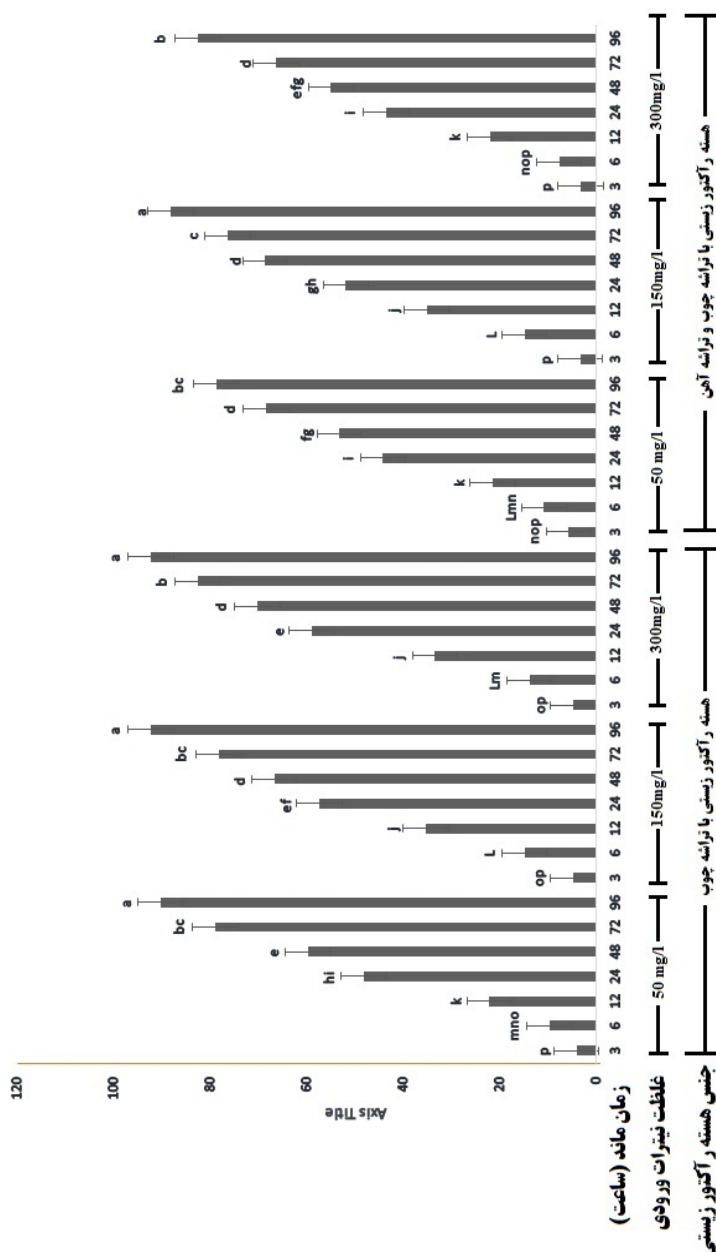
Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۰۰	۱۱۴/۰۵۴	۱۳۰۵/۲۱۵	۱	۱۳۰۵/۲۱۵	هسته راکتورها (C)
۰/۰۰۰	۵۳/۴۳۱	۶۱۱/۴۶۰	۲	۱۲۲۲/۹۲	غلظت نیترات ورودی (N)
۰/۰۰۰	۲۱۱۶	۲۴۲۱۴/۳۴۵	۶	۱۴۵۲۸۶/۰۶۸	زمان (T)
۰/۰۰۰	۲۷/۵۰۳	۳۱۴/۷۳۴	۲	۶۲۹/۴۶۸	C*N
۰/۰۰۰	۶/۶۲۱	۷۵/۷۶۷	۶	۴۵۴۵/۶۰۱	C*T
۰/۰۰۰	۴/۲۹۲	۴۹/۱۲۲	۱۲	۵۸۹/۴۶۶	N*T
۰/۰۰۹	۲/۳۶۴	۲۷/۰۵۷	۱۲	۳۲۴/۶۸۹	C*N*T
		۱۱/۴۴۴	۱۲۶	۱۴۴۱/۹۲۲	خطا

زمان ماند ۳ ساعت، در شرایط انجام این تحقیق، تغییر غلظت ورودی و جنس هسته راکتورها تأثیری بر درصد حذف نیترات ورودی ندارد. در زمان ماند ۶ ساعت عملکرد هر دو هسته برای غلظت نیترات ورودی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کاملاً یکسان بود و نسبت به سایر تیمارهای مربوط به غلظت نیترات ورودی و نوع هسته، کارایی بالاتری داشتند. در زمان ماند ۱۲ ساعت برای هر دو نوع هسته در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و هسته (W) با غلظت ورودی ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عملکرد یکسان ثبت شد. در این زمان ماند، هسته (W) با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و هسته (F) با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز عملکرد مشابه داشتند. در

همانگونه که اشاره شد، مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایش با استفاده از آزمون دانکن انجام شد که نتیجه کلی آن در شکل (۴) ارائه شده است. نتایج نشان داد که به طور کلی می‌توان گفت که هسته (W) عملکرد بهتری نسبت به هسته (F) داشته است. همچنین با در نظر گرفتن تک‌تک تیمارهای مربوط به غلظت نیترات ورودی به راکتورها و نتایج جدول (۲) بازدهی در غلظت ورودی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌تر از سایر غلظت‌ها است. در زمان ماند ۳ ساعت، نتایج نشان می‌دهد که عملکرد حذف نیترات تقریباً در تمام تیمارها یکسان بوده و مستقل از متغیرهای در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر در

لیتر رآکتور زیستی هسته (F) در زمان ماند ۴۸ ساعت یکسان و مشابه عملکرد تیمارهای زمان ماند ۷۲ ساعت در غلظت‌های نیترات ورودی ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در رآکتور زیستی هسته (F) بود. برای تیمارهای مربوط به غلظت‌های نیترات ورودی ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در رآکتور زیستی هسته (W) در زمان ماند ۷۲ ساعت و تیمار غلظت ورودی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر زمان ماند ۹۶ ساعت، رآکتور زیستی هسته (F) عملکرد یکسان ارزیابی شد.

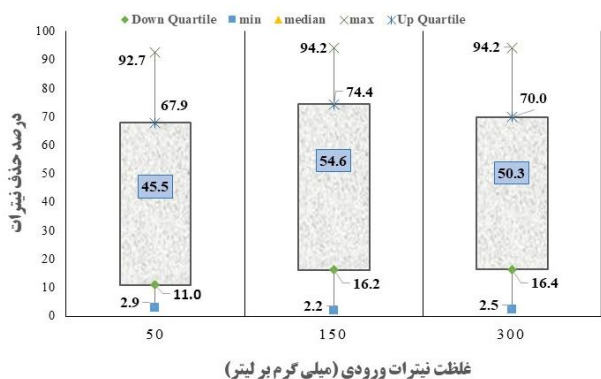
رآکتور زیستی هسته (W) در غلظت‌های نیترات ورودی ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، و در هسته (F) در غلظت‌های نیترات ورودی ۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، در زمان ماند ۲۴ ساعت عملکرد یکسانی داشتند. همچنین در این زمان ماند، از نظر آماری عملکرد دو تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در رآکتور زیستی هسته (W) و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در رآکتور زیستی هسته (F) نیز مشابه بود. عملکرد رآکتور زیستی هسته (W) در غلظت‌های نیترات ورودی ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، و ۱۵۰ میلی‌گرم بر



شکل ۴- آنالیز واریانس کلیه تیمارها به روش دانکن

عملکرد تیمار زمان ماند ۹۶ ساعت غلظت ورودی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در رآکتور زیستی هسته (F)، برآورد گردید.

علاوه بر آن عملکرد رآکتور زیستی هسته (W) در زمان ماند ۹۶ ساعت برای همه تیمارهای غلظت ورودی یکسان و مشابه



غلظت نیترات ورودی (میلی گرم بر لیتر)

شکل ۵- میانگین و دامنه تغییرات تأثیر غلظت نیترات ورودی بر حذف نیترات در راکتورهای زیستی

بحث

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱)، مشخص گردید که هر یک از سطوح تغییرات بر عملکرد حذف نیترات توسط راکتورها مؤثر بوده، بنابر این نیاز است که مقدار تأثیر هر یک جداگانه بررسی شود. برای این منظور، آنالیز واریانس تأثیر تغییر بار ورودی نیترات به راکتورها بر مقدار کارایی آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تا کم‌ترین درصد حذف، در غلظت‌های ۱۵۰، ۳۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب به صورت متوسط با مقادیر ۵۴/۶، ۵۰/۳ و ۴۵/۵ اندازه‌گیری شد. همچنین متناسب با تغییرات زمان ماند، دامنه تغییرات در محدوده‌ای در بازه حدود ۳ تا ۹۰ درصد متغیر است (شکل ۵). لازم به ذکر است، اگرچه درصد حذف در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌تر از تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است، اما مقدار حذف در این دو تیمار به ترتیب برابر ۸۰/۹ و ۱۵۰/۹ میلی‌گرم بر لیتر است. بنابر این نمی‌توان گفت که کارایی این روش در غلظت‌های حدود ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر محدود می‌شود. در تأیید این مطلب می‌توان به تحقیق Orlando *et al.*, 2002 اشاره نمود که در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ماند ۴۸ ساعت با استفاده از باگاس چغندر قند حدود ۸۸ درصد از نیترات ورودی با غلظت تا ۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را حذف کردند. همچنین Chaterjee *et al.*, 2009 در مجاورت کیتوزان در مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۹۱ درصد از نیترات ورودی با غلظت تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را از پساب حذف نمودند.

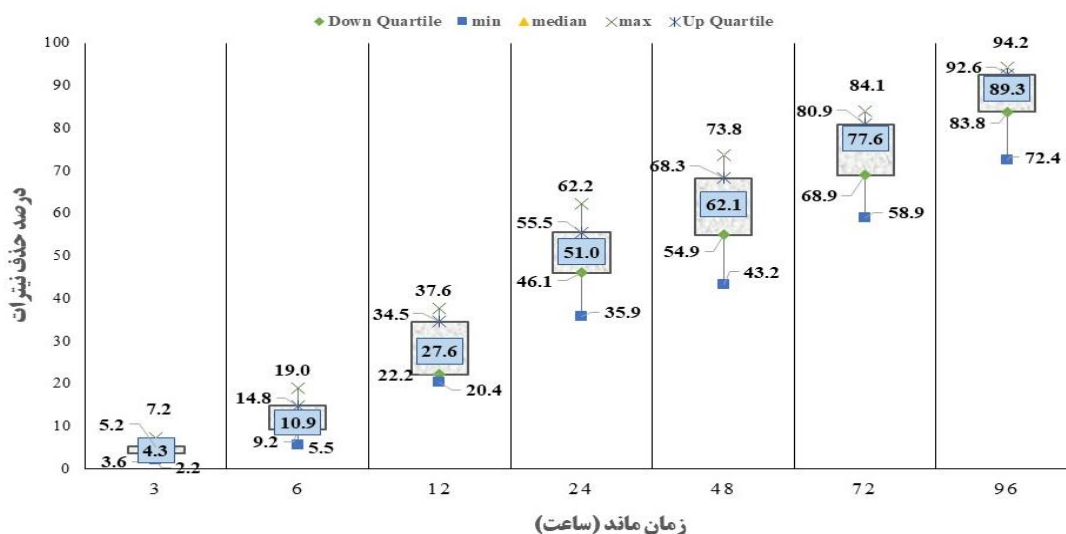
جدول ۲- تأثیر غلظت نیترات ورودی بر حذف نیترات در راکتورهای زیستی

تعداد	زیرمجموعه‌ها			غلظت نیترات ورودی به راکتورها (mg.l ⁻¹)
	۳	۲	۱	
۵۶			۴۵/۵۰	۵۰
۵۶			۵۰/۳۰	۳۰۰
۵۶			۵۴/۶۰	۱۵۰
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰		Sig.

جدول ۳- تأثیر زمان ماند بر حذف نیترات در راکتورهای زیستی

تعداد	زیرمجموعه‌ها							زمان ماند (ساعت)
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
۲۴								۳
۲۴								۶
۲۴								۱۲
۲۴								۲۴
۲۴								۴۸
۲۴								۷۲
۲۴								۹۶
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Sig.

تعیین زمان ماند بهینه یکی از اهداف این تحقیق و تحقیقات مشابه است، زیرا در زمان ماند کم ممکن است عملکرد مناسب و مورد انتظار بدست نیاید، و چنانچه زمان ماند زیاد در نظر گرفته شود، ممکن است باعث تجمع آمونیوم شود (Martin *et al.*, 2019; Feyereisen *et al.*, 2016). با توجه به اینکه افزایش زمان، فرصت کافی را برای عملکرد بهتر راکتور ایجاد می‌کند، بنابر این انتظار می‌رود افزایش زمان ماند باعث افزایش عملکرد راکتورها در حذف نیترات شود. نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که افزایش زمان ماند از ۳ ساعت به ۹۶ ساعت باعث می‌شود که عملکرد راکتورها حدود ۸۳ درصد افزایش یابد. Rivas *et al.*, 2020؛ Jin *et al.*, 2019 نیز دریافتند که در اثر افزایش زمان ماند مقدار درصد حذف نیترات توسط راکتورهای زیستی افزایش می‌یابد. همانطور که گفته شد افزایش حذف نیترات با افزایش زمان ماند قابل انتظار بود، زیرا افزایش زمان ماند به جمعیت باکتری‌ها اجازه می‌دهد تا بستر آلی را تخریب کرده و منجر به راندمان بالای حذف نیترات شود. همچنین افزایش زمان ماند، به میکروارگانیسم‌ها زمان تماس بیش‌تر برای فعالیت می‌دهد (Feyereisen *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2020). علاوه بر این، زمان واکنش طولانی‌تر منبع کربن کافی برای کاهش نیترات را فراهم می‌کند و تجمع نیترات را در پساب کاهش می‌دهد (Abdi *et al.*, 2020).

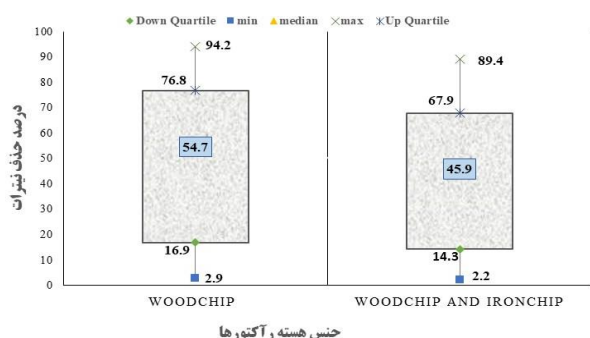


شکل ۶- میانگین و دامنه تغییرات زمان ماند بر حذف نیترات در رآکتورهای زیستی

آهن به وسیله الکترون دهی به عنوان تسریع کننده واکنش و تبدیل نیترات به آمونیوم، باعث افزایش کارایی رآکتورها در حذف نیترات می‌شوند (Kim, 2018). اما در این تحقیق نتیجه مورد انتظار بدست نیامده است. از جمله علت‌های آن می‌توان به این موارد اشاره کرد، که در رآکتورهای مخلوط تراشه چوب و تراشه آهن چون ۲۵ درصد وزنی کل هسته به تراشه آهن اختصاص یافته، بنابر این به نسبت هسته فقط تراشه چوب منبع کربنی کم‌تری در اختیار دارد. همچنین تراشه‌های آهن برای تأثیر مثبت بر حذف نیترات در فرآیندهای زیستی نیاز به محیط اسیدی و زمان حداقل ۳ ماه دارند (Suzuki et al., 2012; Zhang et al., 2018)، در حالی که در این تحقیق مدت زمان اجرا حدود ۴۵ روز و اسیدیته در هر دو نوع هسته در محدوده ۶/۵ تا ۷/۵ قرار داشت.

جدول ۴- تأثیر جنس هسته بر حذف نیترات در رآکتورهای زیستی

جنس هسته رآکتورهای زیستی	تعداد	زیرمجموعه‌ها
تراشه چوب	۸۴	۱
مخلوط تراشه چوب و تراشه آهن	۸۴	۲
Sig.		۱/۰۰۰



شکل ۷- میانگین و دامنه تغییرات درصد حذف نیترات متناسب با جنس هسته در رآکتورهای زیستی

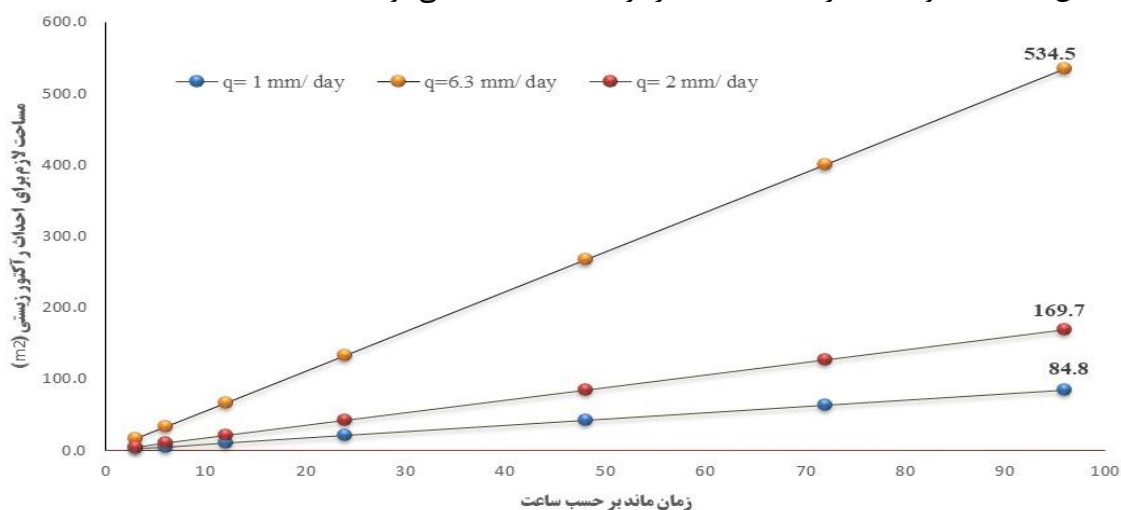
مقادیر میانگین و دامنه تغییرات درصد حذف نیترات متناسب با افزایش زمان ماند در شکل (۶) قابل مشاهده است. این افزایش به صورت کاملاً صعودی است، به عبارت دیگر می‌توان گفت که با افزایش زمان مقدار حذف افزایش می‌یابد، که مشابه این نتیجه توسط Feyereisen et al., 2016; Asgari et al., 2020; Abdi et al., 2020; Christianson, 2011; Mardani et al., 2020 نیز گزارش شده است. از دیگر عوامل افزایش عملکرد رآکتورهای زیستی در زمان‌های ماند بیش‌تر، مخصوصاً هنگامی که دمای آب و هوا در شرایط بهینه واکنش نیست (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، یعنی شرایط انجام این تحقیق (متغیر در بازه ۸ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد) اینست که دمای آب در رآکتورها افزایش می‌یابد و کارایی آن در حذف نیترات افزایش می‌یابد، که Lepine et al., 2016 نیز به این مورد اشاره داشته است. با توجه به اینکه کربن و دما بیش‌تر از هر عاملی تأثیرگذار هستند، بنابراین به طور کلی می‌توان گفت که در زمان‌های ماند بیش‌تر (حداکثر تا چند روز) مقدار کربن در دسترس و دمای داخل رآکتورهای زیستی با هسته تراشه چوب افزایش یافته و مقدار حذف نیز افزایش می‌یابد (Martin et al., 2019).

در رآکتور زیستی علاوه بر زمان ماند، دما و غلظت ورودی نیترات، جنس هسته نیز حائز اهمیت است. زیرا علاوه بر جذب سطحی با تأمین کربن به‌عنوان منبع تولید انرژی برای باکتری‌ها بر مقدار حذف نیترات مؤثر است (Lepine et al., 2016; Martin et al., 2019). نتایج جدول (۴) و شکل (۷) نشان داد که تیمارهای استفاده شده به‌عنوان هسته رآکتور بر مقدار حذف نیترات از پساب مؤثر بوده‌اند. هسته از جنس چوب با میانگین ۵۴/۷ درصد نسبت به هسته مخلوط تراشه چوب و تراشه آهن با میانگین درصد حذف ۴۵/۹ درصد مناسب‌تر بوده است. تراشه‌های

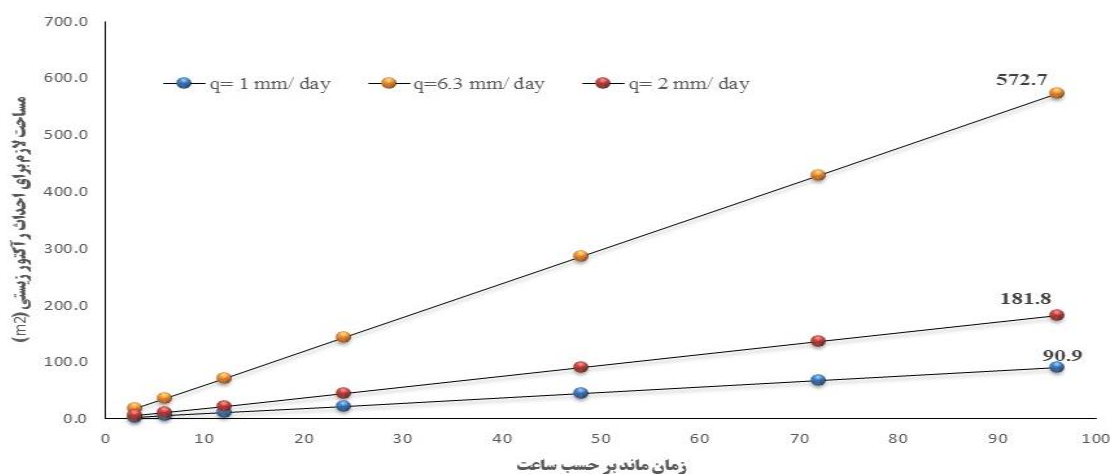
چوب و ۰/۴ تا ۰/۳ متر خاک)، شیب دیواره برابر ۱:۱ و عرض کف ۱ یا ۱/۵ متر (Christianson, 2011) مساحتی که برای هر هکتار نیاز است به ساخت رآکتور زیستی اختصاص یابد، محاسبه شد (شکل‌های ۸ و ۹).

با در نظر گرفتن نتایج جدول (۳) و شکل (۸)، چنانچه هدف حذف حدود ۹۰ درصد نیترات زه‌آب باشد، که در زمان ماند ۹۶ ساعت در شرایط این تحقیق بدست می‌آید، برای ضریب‌های زهکشی ۱، ۲ و ۶/۳ میلی‌متر در روز به ترتیب برای هر هکتار ۸۴/۸، ۱۶۹/۷ و ۵۳۴/۵ متر مربع زمین نیاز است. اما اگر هدف حذف حدود ۵۰ درصد نیترات باشد، این مقدار حذف در زمان ماند ۲۴ ساعت اتفاق می‌افتد که مساحت‌های لازم برای ضرائب زهکشی به ترتیب ۲۱/۲، ۴۲/۴ و ۱۳۴ متر مربع به ازاء هر هکتار محاسبه می‌شود.

یکی از سوالاتی که در خصوص استفاده از رآکتورهای زیستی توسط کشاورزان و تصمیم‌گیران بخش کشاورزی مطرح می‌شود، نگرانی و ابهام در مورد مساحتی است که برای این منظور باید اختصاص یابد. بنابراین برای پاسخ به این سوال و ارائه مساحتی بر مبنای شرایط فنی و اجرایی مناسب برای کشور، از نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات، استفاده شده است. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که ضریب زهکشی در ایران از ۱ میلی‌متر در روز (Haghayeghi Moghadam *et al.*, 2005) تا ۶/۳ میلی‌متر در روز (Asgari *et al.*, 2011) متغیر بوده و به طور کلی مقدار ۲ میلی‌متر در روز (Ministry of Energy, 2009) برای کشور پیشنهاد شده است. بنابر این با در نظر گرفتن اعداد مذکور برای ضریب زهکشی، و سایر ملاحظات فنی شامل شکل مقطع دوزنقه‌ای، عمق بیشینه حدود یک متر (۰/۶ تا ۰/۷ متر تراشه



شکل ۸- مساحت مورد نیاز (m²) برای احداث رآکتور زیستی متناسب با زمان ماند (ساعت) برای عرض کف ۱/۵ متر



شکل ۹- مساحت مورد نیاز (m²) برای احداث رآکتور زیستی متناسب با زمان ماند (ساعت) برای عرض کف ۱ متر

زیستی بدست می‌آید. در این شرایط برای حذف حدود ۹۰ درصد در زمان ماند ۹۶ ساعت و متناسب با ضرائب زهکشی ۱، ۲ و ۶/۳ میلی‌متر در روز به ترتیب برای هر هکتار ۱۸۱/۸، ۹۰/۹ و ۵۷۲/۷

مشابه نتایجی که برای عرض کف ۱/۵ متری بدست آمد (شکل ۸)، برای عرض کف ۱ متر نیز محاسبه شده است، با این تفاوت که در شرایط مشابه، مساحت بیش‌تری برای احداث رآکتور

نسبتاً اسیدی انجام شود. به طور کلی می‌توان گفت که در شرایط این پژوهش، اگر بودجه مالی و زمین مورد نیاز برای اجرای راکتورها دارای محدودیت نباشد، بهترین زمان ماند ۹۶ ساعت توصیه می‌شود. همچنین بیش‌ترین مقدار حذف نیترات که حدود ۸۷ درصد از پساب توسط تراشه چوب و در دمای محیطی کم‌تر از ۱۳ درجه سانتی‌گراد (به طور متوسط)، pH در محدوده ۶/۵ تا ۷/۵ بدست آمده است، و با توجه به اینکه تغییر هر یک از این عوامل بر مقدار حذف مؤثر است و در هر منطقه این شرایط و پارامترهای اقلیمی نیز تغییر می‌کند، بنابراین برای استفاده کاربردی در هر منطقه نیاز به تجربیات محلی است. بر این اساس توصیه می‌شود برای سایر نقاط کشور تحقیق مشابه انجام شود، همچنین سایر آلودگی پساب که توسط فعالیت میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌ها حذف می‌شوند نیز با استفاده از این روش قابل بررسی می‌باشد.

با استفاده از نتایج این تحقیق، به طور کلی می‌توان گفت که در شرایط ضریب زهکشی پیشنهادی برای ایران (۲ میلی‌متر در روز) مساحتی کم‌تر از ۲٪ مساحت کل برای احداث راکتور نیاز است. همچنین، اگر راکتورها بر روی کلکتور یا زهکش‌های اصلی اجرا شوند، نیاز به اختصاص زمین به صورت جداگانه نخواهد بود.

سپاس‌گزاری

این مقاله از پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مصوب در دانشگاه محقق اردبیلی استخراج شده است. نویسندگان این مقاله از همه اساتید، کارشناسان و مسئولین اداره‌ها و همه افرادی که در ارتقاء این پژوهش یاری دادند تشکر می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Aalto, S.L., Suurnäkki, S., von Ahnen, M., Siljanen, H.M., Pedersen, P.B. and Tirola, M. (2020). Nitrate removal microbiology in woodchip bioreactors: A case-study with full-scale bioreactors treating aquaculture effluents. *Science of the Total Environment*, 723, p.138093.
- Abdi, D.E., Owen Jr, J.S., Brindley, J.C., Birnbaum, A.C., Wilson, P.C., Hinz, F.O., Reguera, G., Lee, J.Y., Cregg, B.M., Kort, D.R. and Fernandez, R.T. (2020). Nutrient and pesticide remediation using a two-stage bioreactor-adsorptive system under two hydraulic retention times. *Water Research*, 170, p.115311.
- Akhavan, S., Zare Abyaneh, H., Bayat Rokshi, M. (2014). A systematic review of studies on nitrate concentrations in Iranian water resources. *Journal of Health and Environment Journal of Iranian Scientific Association of Environmental Health*, 7(2), 205-228. (In Farsi)
- Asgari, H., Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Ramezani Moghaddam, J. (2020). 'Evaluating the Efficiency of Bioreactor with Triangular Cross Section to Remove Nitrate from Agricultural Wastewater', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(5), pp. 1105-1113. (In Farsi)
- Asgari, M., Liaghat, A., Parsinezhad, M. (2011). 'Effectiveness of Collector Drain on Drainage Coefficient (A Case Study: Amir-Kabir Agriculture and Industry Department, Khuzestan Province)', *Water and Soil*, 25(4). (In Farsi)
- Ashoori, N., Teixido, M., Spahr, S., Lefebvre, G.H., Sedlak, D.L. and Luthy, R.G. (2019). Evaluation of pilot-scale biochar-amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban storm water runoff. *Water research*, 154, pp.1-11.

- Baird, R.B., (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association.
- Christianson, L.E. (2011). Design and performance of denitrification bioreactors for agricultural drainage. Digital Repository, Iowa State University.
- Christianson, L.E., Lepine, C., Sibrell, P.L., Penn, C. and Summerfelt, S.T. (2017). Denitrifying woodchip bioreactor and phosphorus filter pairing to minimize pollution swapping. *Water research*, 121, pp.129-139.
- Corbett, T.D., Dougherty, H., Maxwell, B., Hartland, A., Henderson, W., Rys, G.J. and Schipper, L.A. (2019). Utility of Diffusive Gradients in Thin Films' for the measurement of nitrate removal performance of denitrifying bioreactors. *Science of the Total Environment*, p.135267.
- Feyereisen G W., Moorman T B., Christianson L E., Venterea R T., Coulter J A., and Tschirner U W. (2016). Performance of Agricultural Residue Media in Laboratory Denitrifying Bioreactors at Low Temperatures. *Journal of environmental quality*, 45 (3), 779-87.
- Haghighy Moghadam, S., Akhavan, K., Khojebdollahi, M., Azizi, A., Naseri. (2005). Evaluation of relations governing the design of underground drains in Ardabil (Moghan) and Khuzestan. *Institute of Technical Research and Agricultural Engineering, Karaj*, (84): 1572. (In Farsi)
- Jin, S., Feng, C., Tong, S., Chen, N., Liu, H., & Zhao, J. (2019). Effect of sawdust dosage and hydraulic retention time (HRT) on nitrate removal in sawdust/pyrite mixotrophic denitrification (SPMD) systems. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5(2), 346-357.
- Kaetzl, K., Lübken, M., Gehring, T. and Wichern, M., (2018). Efficient low-cost anaerobic treatment of wastewater using biochar and woodchip filters. *Water*, 10(7), p.818.
- Kim, I. (2018). Denitrification by Zero-Valent Iron-Supported Mixed Cultures (Doctoral dissertation, University of Delaware).
- Kraft, D.J., (2019). Nutrient Removal Performance of a Wood Chip Bioreactor Treatment System Receiving Silage Bunker Runoff.
- Lepine, C., Christianson, L., Sharrer, K. and Summerfelt, S. (2016). Optimizing hydraulic retention times in denitrifying woodchip bioreactors treating recirculating aquaculture system wastewater. *Journal of environmental quality*, 45(3), 813-821.
- Lopez-Ponnada, E.V., Lynn, T.J., Peterson, M., Ergas, S.J. and Mihelcic, J.R. (2017). Application of denitrifying wood chip bioreactors for management of residential non-point sources of nitrogen. *Journal of biological engineering*, 11(1), p.16.
- Mardani, S., McDaniel, R., Bleakley, B.H., Hamilton, T.L., Salam, S. and Amegbletor, L. (2020). The effect of woodchip bioreactors on microbial concentration in subsurface drainage water and the associated risk of antibiotic resistance dissemination. *Ecological Engineering*: X, p.100017.
- Martin E A., Davis M P., Moorman T B., Isenhardt T M., Soupir M L. (2019). Impact of hydraulic residence time on nitrate removal in pilot-scale woodchip bioreactors. *Journal of Environmental Management*, 237, 424-432.
- Maxwell, B.M., Díaz-García, C., Martínez-Sánchez, J.J., Brigand, F. and Álvarez-Rogel, J. (2020). Temperature sensitivity of nitrate removal in woodchip bioreactors increases with woodchip age and following drying–rewetting cycles. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(10), pp.2752-2765.
- Ministry of Energy, Office of Deputy for Strategic Supervision. (2009). A Guideline for Estimation of Subsurface Drainage Coefficient of Irrigated Lands in Arid and Semi-arid Regions, No. 492, p.62. <http://tec.mporg.ir> (In Farsi)
- Orlando, U.S., Baes, A.U., Nishijima, W. and Okada, M., (2002). Preparation of agricultural residue anion exchangers and its nitrate maximum adsorption capacity. *Chemosphere*, 48(10), pp.1041-1046.
- Raouf, M. (2019). Determining plant sugar beet coefficient using lysimetric in Ardabil plain and comparing it with FAO global data. *Journal of Water Research in Agriculture*, 23(2). (In Farsi)
- Raouf, M., Azizi Mobaser, J. (2016). Evaluation of eighteen reference evapotranspiration models in climatic conditions of Ardabil plain. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 24(6). (In Farsi)
- Rivas, A., Barkle, G., Stenger, R., Moorhead, B., & Clague, J. (2020). Nitrate removal and secondary effects of a woodchip bioreactor for the treatment of subsurface drainage with dynamic flows under pastoral agriculture. *Ecological Engineering*, 148, 105786.
- Sharrer, K.L., Christianson, L.E., Lepine, C. and Summerfelt, S.T. (2016). Modeling and mitigation of denitrification 'woodchip' bioreactor phosphorus releases during treatment of aquaculture wastewater. *Ecological Engineering*, 93, pp.135-143.
- Soupir, M.L., Hoover, N.L., Moorman, T.B., Law, J.Y. and Bearson, B.L. (2018). Impact of temperature and hydraulic retention time on pathogen and nutrient removal in woodchip bioreactors. *Ecological Engineering*, 112, pp.153-157.
- Suzuki, T., Oyama, Y., Moribe, M., Niinae, M., (2012). An electro kinetic/Fe⁰ permeable reactive barrier system for the treatment of nitrate-contaminated subsurface soils, *Water Res.* 46, 772 – 778.
- Yao, Z., Yang, L., Wang, F., Tian, L., Song, N. and Jiang, H. (2020). Enhanced nitrate removal from

surface water in a denitrifying woodchip bioreactor with a heterotrophic nitrifying and aerobic denitrifying fungus. *Bio resource Technology*, 303, p.122948.

- Zhang, L., Sun, H., Zhang, X., Ren, H., Ye, L., (2018). High diversity of potential nitrate-reducing Fe (II)-oxidizing bacteria enriched from activated sludge. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 102, 4975 – 4985.
- Zhang, W., Bai, Y., Ruan, X., & Yin, L. (2019). The

biological denitrification coupled with chemical reduction for groundwater nitrate remediation via using SCCMs as carbon source. *Chemosphere*, 234, 89-97.

- Zhao, J., He, Q., Chen, N., Peng, T. and Feng, C. (2020). Denitrification behavior in a woodchip packed bioreactor with gradient filling for nitrate contaminated water treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 154, p.107454.