

تالاب‌های مصنوعی، گزینه‌ای زیست محیطی برای تصفیه فاضلاب

محمد حسین صیادی*، استادیار دکتری آلودگی محیط زیست، گروه محیط زیست دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.
رضا کارگر بیده، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران.

E-mail*: mh_sayadi@yahoo.com ; mh_sayadi@birjand.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱ - پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۸

چکیده

تالاب مصنوعی سیستمی طبیعی در تصفیه فاضلاب می باشد که با توجه به سادگی ساخت و راهبری، سازگاری با محیط زیست و بازدهی بالا، در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه با توجه به تحقیقات انجام شده، انواع تالاب مصنوعی از لحاظ عوامل اقلیمی، هیدرولیکی و گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد مناسب انواع تالاب مصنوعی در تصفیه منابع مختلف فاضلاب از قبیل شهری، صنعتی، کشاورزی و شیرابه لندفیل، در کنار امکان انتخاب سیستم متناسب با منطقه مورد نظر، تالاب مصنوعی را سیستمی انعطاف پذیر قرار داده است. با توجه به وابستگی کم به منابع انرژی و صرفه اقتصادی، تالاب مصنوعی گزینه ای جذاب برای متخصصین محیط زیست و دولت ها در بحث تصفیه فاضلاب می باشد. کمیت و کیفیت فاضلاب، اقلیم منطقه و میزان تصفیه مورد نظر از عواملی است که در انتخاب نوع سیستم و طراحی آن باید در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تصفیه فاضلاب، تالاب مصنوعی، آلودگی، گیاهان.

۱- مقدمه

تالاب مصنوعی به عوامل متعددی از قبیل گونه‌های گیاهی، هیدرولوژی، پیکربندی، اندازه و عمق بستر، مشخصات مواد بستر و روش‌های راهبری سیستم بستگی دارد. بیشتر تصفیه خانه‌های کشور با سیستم‌های متداول که وابسته به انرژی و هزینه بر می‌باشد، عمل می‌کنند. با توجه به کاربرد تعداد محدودی سیستم تالاب مصنوعی به عنوان سیستم تصفیه فاضلاب در کشور، استفاده از این سیستم در تصفیه فاضلاب در کلان شهرها، روستاها و بیشتر مناطق می‌تواند به عنوان سیستمی جدید و حتی جایگزین در تصفیه فاضلاب مورد توجه قرار گیرد. همچنین سیستم تالاب مصنوعی می‌تواند به‌عنوان سیستمی غیر متمرکز و در محل طراحی و ساخته شود. در این مطالعه با توجه به تحقیقات انجام شده، انواع

فناوری تصفیه فاضلاب به وسیله سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی (HSSFCW) در آلمان بر اساس تحقیقات سیدل در دهه ۱۹۶۰ میلادی و رینهولد در دهه ۱۹۷۰ میلادی شروع شد. در این سیستم، فاضلاب در قسمت ورودی تغذیه شده و به آرامی در بین مواد بستر در زیر سطح جریان می‌یابد و به‌صورت افقی مسیر را طی می‌کند تا به منطقه خروجی برسد. در طی این عبور، فاضلاب با شبکه‌ای از مناطق هوازی، بی‌هوازی و بی‌اکسیژن تماس می‌یابد. مناطق هوازی در اطراف ریشه و ریزوم‌ها که اکسیژن را در بستر آزاد می‌کنند، به وجود می‌آید. سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در مقیاس‌های آزمایشگاهی، پایلوت و واقعی برای تصفیه انواع فاضلاب به کار رفته است. پتانسیل و عملکرد یک

استینمن هیچ گونه تغییرات فصلی در حذف BOD₅ و COD در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی واقع در آلمان مشاهده نکرد (Steinmann et al., 2003). نتایج مشابه توسط داهاب در آمریکا گزارش شد، به طوری که بازده حذف BOD₅ و COD در تابستان با میانگین دمای فاضلاب ورودی ۱۷/۷ °C و در زمستان با میانگین دمای فاضلاب ورودی ۱۰/۱ °C خیلی مشابه بود (Dahab et al., 2001). همچنین مهلوم و جنسن گزارش کردند که تفاوت عمده‌ای در بازده حذف همه پارامترهای آنالیز شده شامل BOD₅، COD، TSS و TN در دوره‌های سرد با میانگین دمای کمتر از ۴°C و دوره های گرم با میانگین دمای بیشتر از ۱۱ °C در ۹ سیستم تالاب مصنوعی در نروژ وجود نداشت (Mæhlum and Jenssen, 2003). وایمزل تفاوت ناچیزی در بازده حذف مواد آلی در تابستان و زمستان در دو تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در جمهوری چک را در سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۹۴ میلادی گزارش کرد (Vymazal, 2001). هام بیان کرد که غلظت ورود BOD₅ از ۱۶۵ به ۱۵۱ mg/l در خروجی تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در طول فصول رشد و در زمستان به ترتیب به ۲۱ و ۱ mg/l در ۶۲ در کره جنوبی رسید (Ham et al., 2004). اگرچه اطلاعات بارگذاری نتایج خیلی مشابه را نشان داد، به طوری که در طول فصول رشد و زمستان به ترتیب ۶۰ و ۱۵۵ کیلو گرم در هکتار در روز BOD₅ حذف شد. هوک و همکاران نشان دادند که حضور گیاهان در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی می‌تواند به شدت بر الگوهای فصلی تصفیه فاضلاب اثر بگذارد. محققین مشاهده کردند که در واحدهای آزمایشگاهی با دمای کنترل شده، گیاهان به حذف COD کمک می‌کنند، به صورتی که یا مانند گیاه *latifolia Typha* باعث کاهش تغییرات فصلی در عملکرد سیستم در دمای پایین شده، یا مثل گیاه *rostrata Carex* باعث حذف این تغییرات در عملکرد می‌شوند (Hook et al., 2003). تبخیر و تعرق

تالاب مصنوعی از نظر ویژگی‌های عملکرد و کاربرد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- عوامل اقلیمی

با توجه به وجود عوامل طبیعی و زنده شامل گیاه و میکروارگانیسم، یکی از عوامل تاثیرگذار بر سیستم، ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد نظر شامل الگو و مدت فصول، گستره تغییر دما در فصول، الگو و میزان بارندگی، تبخیر و رطوبت نسبی می‌باشد. مطالعات گسترده‌ای در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی در سراسر جهان در مورد کارایی سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در تصفیه انواع فاضلاب انجام شده است. عقیده اثر تغییر فصول و دما بر عملکرد تصفیه سیستم‌های تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی تاکنون هم رأی نبوده است. نتایج برخی مطالعات بیان کننده اثر ناچیز تغییر فصول بر عملکرد سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی می‌باشد، در حالی که گزارش‌هایی نیز مبنی بر اثر عمده تغییر فصول بر عملکرد سیستم وجود دارد. در حقیقت، سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی به خوبی در اقلیم‌های سرد عمل می‌کند. به عنوان مثال، گیاور عملکرد یک سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در شمال نروژ واقع در عرض جغرافیایی ۶۸° را گزارش کرد (Reed et al., 1995). نمونه‌های خوب دیگری نیز از استفاده از تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در اقلیم‌های سرد وجود دارد (Sayadi et al., 2012). ناوارا دو سیستم مجاور تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی را در مینوستوتا با میانگین دمای هوای سالیانه ۵ °C با حداقل دمای ۴۰ °C- و دمای فاضلاب ۹ °C تشریح کرد (Navara 1996). نتایج این مطالعه بیشتر بازده حذف BOD₅ در پاییز و تابستان را با کاهش اساسی در زمستان و بهار نشان داد. در حالی که زوست اثری از تغییر دمای فاضلاب بر بازده حذف COD در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی واقع در سوئیس با میانگین دمای سالیانه ۸/۴°C مشاهده نکرد و بازده حذف در دمای زیر ۰/۵°C نیز همچنان مناسب بود (Kadlec et al., 2003).

(ET) یکی از پارامترهای اصلی اقلیم هر منطقه بوده و اثر عمده‌ای در عملکرد سیستم‌های تالاب مصنوعی دارد. در اقلیم‌های گرمسیری، میزان ET در تالاب مصنوعی می‌تواند قابل ملاحظه باشد و اثر عمده‌ای بر تعادل آب و غلظت مواد مغذی در خروجی و در نتیجه بازده تصفیه داشته باشد. نتایج مطالعه‌ای در تالاب مصنوعی در مقیاس واقعی در چین نشان داد که با وجود تغییرات فصلی در غلظت ورودی آلودگی‌ها، غلظت خروجی‌ها تقریباً ثابت بوده است.

۳- اثر عوامل هیدرولیکی

یک سیستم تالاب مصنوعی با طراحی خوب باید قادر باشد که شرایط هیدرولیکی سیستم شامل آهنگ بارگذاری هیدرولیکی و زمان ماند هیدرولیکی را در شرایط بهینه حفظ کند. تالاب مصنوعی سیستمی گسترده می‌باشد که کاملاً به انرژی‌های طبیعی مثل نور خورشید و باد وابسته می‌باشد. از این‌رو این سیستم به سطح بزرگی برای جذب این جریان‌های انرژی و یک زمان ماند کافی برای رخ دادن فرآیندهای تصفیه نیاز دارد. عایق بندی تالاب مصنوعی توسط عایق‌های پلاستیکی یا لایه خاک رس به منظور جلوگیری از نفوذ آلودگی‌ها به آب‌های زیر زمینی و همچنین نفوذ آب‌های زیر زمینی به سیستم، کاملاً ضروری می‌باشد. هر دو جریان ذکر شده می‌تواند به صورت اساسی بر زمان ماند هیدرولیکی و در نتیجه بر بازده تصفیه اثر بگذارد.

زمان ماند هیدرولیکی به مساحت سطحی سیستم، عمق جریان و تخلخل مواد بستر وابسته می‌باشد. با وجود این که فناوری تالاب مصنوعی به عنوان سیستمی مناسب برای تصفیه فاضلاب شناخته شده است، استفاده از آن محدودیت‌هایی نیز دارد. یکی از محدودیت‌های اساسی، نیاز به مساحت زیادی از زمین می‌باشد. کاهش زمان ماند هیدرولیکی منجر به کاهش زمین مورد نیاز و مقبولیت بیشتر سیستم تالاب مصنوعی می‌شود. مطالعات زیادی نشان داده‌اند که بازده تصفیه با کاهش آهنگ بارگذاری

هیدرولیکی و افزایش زمان ماند هیدرولیکی بهبود می‌یابد. با توجه به عواملی شامل زمین موجود، بازده تصفیه مورد نظر، نوع سیستم تالاب مصنوعی و نوع فاضلاب، تعیین آهنگ بارگذاری هیدرولیکی و زمان ماند هیدرولیکی بهینه ضروری می‌باشد. مطالعه‌ای مقایسه‌ای نشان داد که سیستم‌های تالاب مصنوعی جریان زیر سطحی در آهنگ بارگذاری هیدرولیکی بیشتری نسبت به تالاب مصنوعی با سطح آزاد آب عمل می‌کنند. میانگین آهنگ بارگذاری هیدرولیکی در تالاب مصنوعی با سطح آزاد آب برابر 3 d/cm و در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی برابر با 7 d/cm می‌باشد. عمق تالاب مصنوعی با سطح آزاد آب معمولاً حدود 30 cm با بیش از ۹۵ درصد آب و عمق تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی حدود 50 cm و حدود ۴۰ درصد آب می‌باشد. میانگین زمان ماند هیدرولیکی برای تالاب مصنوعی با سطح آزاد آب برابر با $9/3$ روز و در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی برابر با $2/9$ روز می‌باشد. در مطالعات مختلف موثرترین زمان ماند هیدرولیکی در بازه ۴ تا ۱۵ روز گزارش شده است (Metcalf and Eddy, 1991). گرسبرگ نشان داد که زمان ماند هیدرولیکی کوتاه مدت ۳ تا ۶ روزه، باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا را در تالاب مصنوعی حذف کرد (Gersberg et al., 1989). توئت گزارش کرد که زمان ماند هیدرولیکی اثر عمده‌ای در حذف ترکیبات آلی در تالاب مصنوعی ندارد و آکاراتوس بیان کرد که زمان ماند هیدرولیکی بیشتر از ۸ روز برای حذف مواد آلی در تالاب مصنوعی کافی می‌باشد (Toet et al., 2005). کاسلس نشان داد که تفاوت عمده‌ای در بازده حذف COD در دو سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی با دو آهنگ بارگذاری هیدرولیکی برابر با COD ۶ و ۲۳ میلی گرم در روز وجود نداشت (Caselles et al., 2007). تانر مشاهده کرد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۲ به ۷ روز در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی تصفیه کننده فاضلاب

متر در روز در سیستم تالاب مصنوعی با سطح آزاد آب، منجر به افزایش آهنگ حذف از ۰/۰۶ به ۰/۱۴ میلی گرم در روز برای TP و از ۰/۰۴ به ۰/۰۹ میلی گرم در روز برای NH_4^+ شد (Lin et al., 2002). ماشائوری بازده حذف ۷۴-۴۲ درصد برای COD را در دو سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی با آهنگ بارگذاری هیدرولیکی برابر با ۰/۲۷ و ۲/۳ سانتی متر در روز گزارش کرد (Mashauri, et al., 2002). کارگر و همکاران در مطالعه ای نشان دادند که کاهش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی در یک سیستم تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی در مقیاس پایلوت منجر به افزایش بازده حذف TKN و کاهش بازده حذف NO_3^- و NH_4^+ گردیده است (کارگر و همکاران، ۱۳۹۳).

می توان گفت که عملکرد تالاب مصنوعی با افزایش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی کاهش می یابد، زیرا با افزایش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی، زمان موثر برای انجام فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی کاهش می یابد. همچنین افزایش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی منجر به بیرون راندن آلودگی های حبس شده در بستر تالاب مصنوعی می شود.

۴- اثر گیاهان

انتخاب گونه گیاهی براساس معیارهای متعددی انجام می شود. گیاه باید در اقلیم محلی رشد و نمو کند. در صورت علاقه مندی به حذف مواد مغذی از طریق هرس کردن گیاه، گیاهان با قابلیت تولید جرم زیستی زیاد مطلوب می باشد. گیاهان دارای سیستم ریشه گسترده، منجر به فیلتراسیون موثر و ایجاد سطح بیشتر برای چسبیدن لایه زیستی می شود. همچنین گیاه باید قادر به تحمل شوک های بارگذاری هیدرولیکی و آلودگی باشد. در کل فرض می شود که تالاب مصنوعی گیاه دار به دلیل تحریک و افزایش جمعیت میکروبی توسط ریزوم گیاه با ایجاد سطح چسبیدن میکروارگانیسم ها، ایجاد منبعی برای ترکیبات کربن به وسیله ترشحات ریشه و همچنین ایجاد

لبنی در نیوزلند، میانگین بازده حذف همه آلودگی های آنالیز شده افزایش یافت (Tanner et al., 1995). هوآنگ گزارش کرد که غلظت NH_4^+ و TKN در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی تصفیه کننده فاضلاب شهری با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، به صورت نمایی کاهش یافت و چونگ نشان داد که در تالاب مصنوعی تصفیه کننده فاضلاب شهری، آهنگ حذف N و P در زمان ماند هیدرولیکی برابر با ۵ روز نسبت به زمان ماند هیدرولیکی برابر با ۱۰ روز کمتر بود، اما تفاوتی در بازده COD وجود نداشت (Huang et al., 2000). در مطالعه چانگ بیان شد که افزایش زمان ماند هیدرولیکی منجر به افزایش قابل ملاحظه بازده حذف NO_3^- ، NH_4^+ و TKN در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی می شود (Chung et al., 2008). محققین حدس زده اند که افزایش بازده حذف NO_3^- در نتیجه افزایش زمان ماند هیدرولیکی، به دلیل افزایش فعالیت شوره زدایی در تالاب مصنوعی می باشد. گومبریچ بیان کرد که شوره زدایی در صورت فقدان اکسیژن رخ می دهد. کاهش زمان ماند هیدرولیکی شرایط هوازی را در بستر سیستم گسترش داده و مانع فرآیند شوره زدایی می شود. برخلاف این شرایط، زمان ماند هیدرولیکی بیشتر منجر به کاهش اکسیژن محلول (DO) و گسترش فرآیند شوره زدایی و افزایش حذف NO_3^- می شود (Gumbrecht, 1993).

در مطالعه ای، اثر تغییر آهنگ بارگذاری هیدرولیکی بر تصفیه آب زیر زمینی آلوده به NO_3^- با استفاده از تالاب مصنوعی سطح آزاد آب و تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی بررسی شد. حداکثر آهنگ حذف در دو آهنگ بارگذاری هیدرولیکی برابر با ۰/۱۲ و ۰/۰۷ متر در روز به ترتیب برابر با ۰/۹۱۰ و ۱/۶۱ بود. همچنین نتایج نشان داد که بعد از رسیدن به بیشترین آهنگ حذف، افزایش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی منجر به کاهش قابل ملاحظه ای در آهنگ حذف NO_3^- شده است (Ying-Feng et al., 2008). لین در مطالعه ای نشان داد که افزایش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی از ۱۸ به ۶۸ میلی

داد که حذف BOD_5 و COD در سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی گیاه کاری شده با *Phragmites karka* خیلی بالا بود. غلظت ورودی BOD_5 از ۳۲۱ میلی گرم در لیتر در خروجی سیستم‌های با گیاه و بدون گیاه به ترتیب به ۴۸ و ۸۹ میلی گرم در لیتر رسید. غلظت ورودی COD از ۶۴۵ میلی گرم در لیتر در خروجی سیستم‌های با گیاه و بدون گیاه به ترتیب به ۸۷ و ۱۲۲ میلی گرم در لیتر کاهش یافت (Pandey, et al., 2006). دالاس بازده حذف بیشتری را در سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی با گیاه *Coix lacryma-jobi* نسبت به سیستم بدون گیاه در کاستاریکا گزارش کرد (Dallas and Ho, 2005). بر اساس مطالعه آکراتوس، در یک تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی آزمایشگاهی حضور گیاه *Typha latifolia* باعث بهبود حذف COD به میزان کمی شد. میانگین بازده حذف در سیستم با گیاه ۸۹/۳ درصد و در سیستم بی گیاه ۸۷/۲ درصد بود (Akratos and Tsihrintzis, 2007). همچنین بورگون بازده حذف BOD_5 در یک سیستم بدون گیاه را ۸۷/۶ درصد گزارش کرد، درحالی که بازده حذف در سیستم‌های با گیاهان *Sagittaria latifolia*، *Typha latifolia* و *Scirpus pungens* تنها کمی بیشتر و در بازه ۸۵/۲-۸۳/۲ درصد بود (Burgoon et al., 1989). تانر در مطالعه‌های نشان داد که حذف BOD_5 تحت تاثیر حضور گیاه در سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی گیاه کاری شده با *S.validus* در نیوزلند نبود (Tanner et al., 1995). در مطالعه‌ای، سه سیستم پایلوت تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی برای بررسی اثر حضور گیاه بر بازده حذف آلودگی‌ها از پساب سیستم UASB طراحی شد. دو سیستم با گیاهان *Typha latifolia* و *Colocasia esculenta* و یک سیستم بدون گیاه در نظر گرفته شد. غلظت میانگین PO_4^{3-} ورودی به سیستم از ۶/۰۳ میلی گرم در

محیط‌های کوچک هوازی در اطراف ریشه به واسطه آزاد سازی اکسیژن در ریشه، عملکرد بهتری نسبت به تالاب مصنوعی بدون گیاه دارد (Münch et al., 2005). کاسوا اثر مثبت گیاهان را در عملکرد تصفیه سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی به ویژه در مورد حذف COD در تانزانیا گزارش کرد (Kaseva 2004). غلظت ورودی COD از ۱۰۷ mg/l در خروجی سیستم بدون گیاه، سیستم با گیاه *Phragmites mauritianus* و سیستم با گیاه *Typha latifolia* به ترتیب به ۶/۵، ۷/۱ و ۴۱/۸ mg/l رسید. همچنین مبولیگو عملکرد بهتر تالاب مصنوعی گیاه کاری شده با *Typha latifolia* و *Colocasia esculenta* را در مقایسه با تالاب مصنوعی بدون گیاه گزارش کرد (Mbuligwe, 2004). کاراتانسیس اثر گیاهان مختلف شامل *Typha latifolia*، *Canna*، *Iris pseudacorus*، *arundinacea*، *Festuca*، *Hibiscus*، *Hemerocallis fulva*، *Generalis x.*، *Mentha spicata* و *Scirpus validus moscheutos* را در عملکرد ۱۲ سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی برای تصفیه فاضلاب خانگی بررسی کرد. سیستم‌های با گیاه بازده بیشتری در حذف BOD_5 به میزان ۷۵ درصد نسبت به سیستم‌های بدون گیاه با بازده ۶۳ درصد نشان دادند (Karathanasis et al., 2003). نیلور گزارش کرد که در طول استفاده آزمایشی از سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در تصفیه لجن رقیق شده از یک هاضم بی هوازی در مزرعه پرورش ماهی، سیستم‌های گیاه کاری شده با *Typha latifolia* و *Phragmites australis* به صورت واضح عملکرد بهتری نسبت به سیستم بدون گیاه در حذف COD و BOD_5 نشان دادند (Naylor et al., 2003). هافیان نشان داد که سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی گیاه کاری شده با *Arundo donax* در مراکش نسبت به سیستم بدون گیاه، ۲۵-۲۱ درصد بازده بیشتر در حذف COD داشته است (Hafiane and El Hamouri, 2004). پاندی نشان

سطح چسبیدن لایه زیستی، اهمیت زیادی دارد. در مطالعه‌ای، اثر گیاه و ماده بستر در حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول (SCOD) با طراحی سه سیستم پایلوت تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی شامل یک سیستم با گیاه *Phragmites australis* و بستر شن، یک سیستم با گیاه ترکیبی شامل گیاهان *Typha latifolia* و *Scirpus validus* با بستر شنی و یک سیستم با مواد بستر ترکیبی شامل شن، زئولیت و سرباره بررسی شد. نتایج نشان داد که بازده حذف SCOD در سیستم با گیاهان *Typha latifolia* و *Scirpus validus* نسبت به سیستم با گیاه *Phragmites australis* بیشتر بوده و شن، زئولیت و سرباره اثر عمده‌ای در حذف SCOD نشان نداده است. طبق ادعای محققین، به دلیل اینکه مکانیسم اصلی حذف مواد آلی در تالاب مصنوعی تخریب بیولوژیکی هوازی و بی هوازی می‌باشد، نوع ماده بستر اثر عمده‌ای بر حذف SCOD نداشته است (Jianbo et al., 2008). مهلوم و جنسن گزارش کردند که در صورت استفاده از مواد خاصی مثل سنگدانه‌های سبک وزن سرامیکی به عنوان ماده بستر، بازده حذف فسفر می‌تواند به بیش از ۹۰ درصد برسد. اگرچه هر نوع ماده‌ای یک ظرفیت محدود برای جذب دارد که در نهایت اشباع خواهد شد (Maehlum, 1998). اثر دانه بندی ماده بستر بر عملکرد سیستم پایلوت تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در مطالعه‌ای بررسی شد. بستری با شن درشت با مشخصات اندازه موثر (D_{10}) و $D_{10} = 60 \text{ mm}$ و ضریب یکنواختی $UC = 1/6$ و بستری با شن ریز با مشخصات $D_{10} = 3/5 \text{ mm}$ و $UC = 1/7$ استفاده و با *Phragmites australis* گیاه کاری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که شن ریز به عنوان ماده بستر اثر مثبتی بر عملکرد تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی دارد. در سیستم با شن درشت، غلظت NH_4^+ در پساب خروجی نسبت به سیستم با شن ریز کمی بیشتر بود. همچنین سیستم با شن ریز پساب با غلظت فسفر

لیتر در خروجی سیستم بدون گیاه، سیستم با گیاه *Thyph* و سیستم با گیاه *Colocasia* به ترتیب به $2/79$ ، $1/5$ و $1/42$ میلی گرم در لیتر رسید. همچنین غلظت میانگین SO_4^{2-} ورودی به سیستم $40/5$ میلی گرم در لیتر بود. میانگین غلظت SO_4^{2-} خروجی از سیستم بدون گیاه، سیستم با گیاه *Thyph* و سیستم با گیاه *Colocasia* به ترتیب $21/5$ ، $11/1$ و $8/9$ گ—زارش شد (Stephen and Mbuligwe, 2004).

کاراتانسیس بازده حذف دو برابری TSS را در تالاب مصنوعی گیاه کاری شده در مقایسه با تالاب مصنوعی بدون گیاه گزارش کرد و نتیجه گرفت که ریشه گیاهان می‌تواند سهم عمده ای در فیلتراسیون جامدات در تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی داشته باشد (Karathanasis et al., 2003). گیاهان می‌توانند در حذف فسفر سهم داشته باشند، اما مقدار آن به آهنگ بارگذاری، گونه گیاهی و اقلیم بستگی دارد. موتا بیان کرد که حذف فسفر به نوع گیاه بستگی ندارد، اما بازده حذف به صورت عمده در سیستم تالاب مصنوعی با گیاه نسبت به سیستم بدون گیاه بیشتر می‌باشد. در برخی مطالعات گزارش شده است که حتی انتخاب گونه گیاهی می‌تواند در بازده تصفیه تالاب مصنوعی مهم باشد (Motta-Marquis et al., 2001). اوکوروت نشان داد که میانگین آهنگ حذف PO_4^{3-} در تالاب مصنوعی با گیاه *Cyperus papyrus* نسبت به تالاب مصنوعی با گیاه *Phragmites auritianus* کمتر بود. اگر چه در بعضی تحقیقات مشخص شده که انتخاب گونه گیاهی اثر عمده‌ای بر بازده حذف تالاب مصنوعی نداشته است (Okurut, 1999).

۵- اثر ماده بستر

در سیستم‌های تالاب مصنوعی، انتخاب مواد بستر مناسب به منظور جلوگیری از گیرش منافذ، کسب اطمینان از هدایت هیدرولیکی کافی، ایجاد سطح با ظرفیت جذب کافی به خصوص برای حذف فسفر و همچنین ایجاد

۸- منابع

- کارگر بیده، رضا، دوستی، محمدرضا و صیادی، محمدحسین (۱۳۹۳) " بررسی عملکرد تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی در حذف ترکیبات نیتروژن از فاضلاب در اقلیم سرد و خشک، مطالعه موردی: شهر بیرجند"، آب و فاضلاب، دوره ۲۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳، ص ۳۸-۴۷.

-Akaratos CS, Tsihrintzis VA (2007) "Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands", Ecol. Eng. Vol.29, pp. 173-191.

-Brix H, Arias CA (2005) "The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines", Ecol. Eng, Vol.25, pp.491-500.

-Burgoon PS, Reddy KR, DeBusk TA. "Domestic wastewater treatment using emergent plants cultured in gravel and plastic substrate", In: Hammer DA, editor, Constructed wetlands for wastewater treatment, Chelsea, Michigan, USA: Lewis Publishers, pp. 536-541, 1989.

-Caselles-Osorio A, Porta A, Porras M, Garcia J. (2007) "Effect of high organic loading rates of particulate and dissolved organic matter on the efficiency of shallow experimental horizontal subsurface-flow constructed wetland", Water Air Soil Pollut, No.183, pp. 367-375.

-Chung AKC, Wu Y, Tam NFY, Wong MH (2008) "Nitrogen and phosphate mass balance in a sub surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater", Ecol. Eng, Vol.32, No.1, pp.81-89.

-Dahab MF, Surampalli RY, Liu W. (2001) "Performance modeling of subsurface-flow constructed wetlands systems", Wat Sci Tech, Vol. 44, (11-12), pp. 231-235.

-Dallas S, Ho G. (2005) "Subsurface flow reedbeds using alternative media for the treatment of domestic greywater in Monteverde, Costa Rica, Central America", Wat Sci Tech, Vol.51, No.10, pp. 119-128.

-Deblina Ghosh, Brij Gopal, (2010) "Effect of hydraulic retention time on the treatment of in a subsurface flow constructed secondary effluent Wetland", Ecological Engineering, Vol, 36, pp.1044-1051.

محلول واکنش دهنده (DRP) کمتری را نتیجه داد که این می‌تواند به دلیل وجود سطح ویژه بیشتر برای جذب در سیستم با شن ریز باشد (Joan Garcia, et al., 2005). در مطالعه‌ای در شمال ایران، سیستم تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی گیاه کاری شده با *Iris pseudacorus* با شن ریز و شن درشت به ترتیب ۴/۴۹ و ۴/۳۱ درصد از TKN را حذف کرد، در حالی که سیستم بدون گیاه به ترتیب ۴/۴۳ و ۹/۲۶ درصد بازده داشت. همچنین بازده حذف NH_4^+ برای تالاب مصنوعی با گیاه با شن ریز بین ۳۶/۷-۴۳ درصد و برای تالاب مصنوعی با گیاه و شن درشت، بین ۴/۲۵-۶/۲۱ درصد بود (Yousefi and Mohseni-Bandpei, 2010). مونیوس در مطالعه‌ای نشان داد که سیستم‌های تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی با بستر شن نسبت به بسترهای با خاک، ماسه و کمپوست، در حذف TSS بهتر عمل می‌کند (Manios et al., 2003).

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

عملکرد مناسب انواع تالاب مصنوعی در تصفیه منابع مختلف فاضلاب از قبیل شهری، صنعتی، کشاورزی و شیرابه لندفیل، در کنار امکان انتخاب سیستم متناسب با منطقه مورد نظر، تالاب مصنوعی را سیستمی انعطاف پذیر قرار داده است. با توجه به وابستگی کم به منابع انرژی و صرفه اقتصادی، تالاب مصنوعی گزینه‌ای جذاب برای متخصصان محیط زیست و دولت‌ها در بحث تصفیه فاضلاب می‌باشد.

۷- تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولان محترم دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند و سازمان حفاظت محیط زیست خراسان جنوبی که زمینه لازم را برای انجام این تحقیق را فراهم آوردند ابراز می‌نمایند.

- climate in Minnesota”, In: Mander Ü, Jenssen P, editors. *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*. Southampton, UK: WIT Press, pp. 19–52.
- Kadlec RH. (2009) “Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands”, *Ecological engineering*, Vol. 35, pp. 159–174.
- Karathanasis AD, Potter CL, Coyne MS. (2003) “Vegetation effect on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater”, *Ecol Eng*, Vol.20, pp.157–169.
- Kaseva ME. (2004) “Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater — a tropical case study”, *Wat Res*, Vol.38, pp.681–687.
- Lin YF, Jing SR, Wang TW, Lee DY (2002) “Effects of macrophytes and external carbon source on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands”, *Environ. Pollut*, No.119, pp.413–420. in a temperate climate”, *Ecol. Eng*, Vol.2, pp.49–61.
- Maehlum T, Jenssen PD, (1998) “Norway. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R. (Eds.) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers”, Leiden, the Netherlands, pp. 207–216.
- Mæhlum T, Jenssen PD. (2003) “Design and performance of integrated subsurface flow wetlands in a cold climate”, In: Mander Ü, Jenssen P, editors, *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*. Southampton, UK: WIT Press, pp. 69–86.
- Manios T, Stentiford EI, Millner P. (2003) “Removal of total suspended solids from wastewater in constructed horizontal flow subsurface wetlands”, *J. Environ. Sci. Heal*, Vol.38, No.6, pp.1073–1085.
- Mashauri DA, Mulungu DMM, Abdulhussein BS (2002) “Constructed wetlands at the University of Dar es Salaam”, *Water Res*, Vol.34, No.4, pp.1135–1144.
- Mbuligwe SE. (2004) “Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the treatment of an aerobically pre-treated domestic waste water”, *Ecol Eng*, Vol.23, pp.269–284.
- Metcalf and Eddy, (1991) Inc. “*Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*”, 3rd ed, McGraw Hill, New York (Revised by G. Tchobanoglous and F.L. Burton) 1334p.
- Motta-Marquis DML, Leite GR, Giovanini SGT
- El Hafiane F, El Hamouri B. (2004) “Subsurface horizontal flow constructed wetland for polishing high rate ponds effluent. Wetland systems and waste stabilization ponds communications of common interest”, Lyon, France: ASTEE, pp. 141–146.
- Gersberg RM, Gearheart RA, Ives M (1989) “Pathogen removal in constructed wetlands,” In: Hammer, D.A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment—Municipal, Industrial and Agriculture*. Lewis Publication, Chelsea, MI, pp. 431–445.
- Gumbrecht T. (1993) “Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophyte pond systems in a temperate climate”, *Ecol. Eng*, Vol.2, pp.49–61. in freshwater submersed macrophyte pond systems
- Ham JH, Yoon CG, Hwang SJ, Jung KW. (2004) “Seasonal performance of constructed wetland and winter storage pond for sewage treatment in Korea”, *J Environ Sci Health* 2004, Vol.39, pp.1329–43.
- Hatano K, Trettin CC, House CH, Wolumn AG. (1993) “Microbial populations and decomposition activity in three subsurface flow constructed wetlands”, In: Moshiri GA, editor. *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton, Florida: CRC Press/Lewis Publishers, pp. 541–547.
- Hook PB, Stein OR, Allen WC, Biederman JA. (2003) “Plant species effects on seasonal performance patterns in model subsurface Wetlands”, In: Mander Ü, Jenssen P, editors. *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*, Southampton, UK: WIT Press, pp. 87-105.
- Huang J, Reneau JR, Hagedorn C (2005) “Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater”, *Water Res*, Vol.34, No.9, pp. 2582–2588.
- Jianbo Li, Yue Wen, Qi Zhou, Zhao Xingjie, Xie Li, Silu Yang, Tao Lin, (2008) “Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands”, *Bioresource Technology*, Vol.99, pp. 4990–4996.
- Joan Garcia, Paula Aguirre a, Jes´us Barrag´an a, Rafael Mujeriego a, Victor Matamoros b, Josep M. Bayona. (2005) “Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands”, *Ecological Engineering*, Vol.25, pp.405–418.
- Kadlec RH, Axler R, McCarthy B, Henneck J. (2003) “Subsurface treatment wetlands in the cold

Wat Res, Vol.37, pp.2035–2042.

-Stephen E. Mbuligwe, (2004) “Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the Treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater,” *Ecological Engineering*, Vol.23, pp. 269–284.

-Tanner CC, Clayton JS, Upsdell MP (1995) “Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands-I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms”, *Water Res.* Vol.29, No.1, pp.17–26.

-Tanner CC, Clayton JS, Upsdell MP. (2008) “Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters — I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms”, *Wat Res*, Vol.29, pp. 17–26.

-The northernmost constructed wetland in Norway”, In: Mander Ü, Jenssen P, editors. *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*. Southampton, UK: WIT Press, pp. 215–235.

-Toet S, Van Logtestijn, RSP, Kampf R, Schreijer M, Verhoeven JTA (2005) “The effect of hydraulic retention time on the removal of pollutants from sewage treatment plant effluent in a surface-flow wetland system”, *Wetlands*, Vol.25, pp.375–391.

-Vymazal J. (2001) “Removal of organics in Czech constructed wetlands with horizontal sub-surface flow”, In: Vymazal J, editor. *Transformations of nutrients in natural and constructed wetlands*. Leiden, the Netherlands: Backhuys Publishers, pp. 305–327.

-Ying-Feng Lin, Shuh-Ren Jing, Der-Yuan Lee, Yih-Feng Chang, Kai-Chung Shih, “Nitrate removal from groundwater using constructed wetlands under various hydraulic loading rates,” *Bioresource Technology*, Vol.99, pp. 7504–7513.

-Yousefi Z, Mohseni-Bandpei A. (2010) “Nitrogen and phosphorus removal from wastewater by subsurface wetlands planted with *Iris pseudacorus*”, *Ecological Engineering*, Vol.36, pp.777–782.

-Züst B, Schönborn A. (2003) “Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates: planted soil filter Schattweid-13 years' experience”, In: Mander Ü, Jenssen P, editors. *Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climates*, Southampton, UK: WIT Press, pp. 53–68.

(2001) “Performance of two macrophyte species in experimental wetlands receiving variable loads of an aerobically treated municipal waste water”, *Water Sci. Technol*, Vol.44, No.11–12, pp.311–316.

-Münch C, Kusch P, Röske I. (2005) “Root stimulated nitrogen removal: only a local effect or important for water treatment”, *Wat Sci Tech*, Vol.51, No.9, pp.185–192.

-Navara G. (1996) “Experience with horizontal flow systems in cleaning waste water from remote mounta cabins in the Austrian Alps”, Paper presented during the 5th Internat. Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control. Vienna, Austria: Universität für Bodenkultur;

-Naylor S, Brisson J, Labelle MA, Drizo A, Comeau Y. (2003) “Treatment of freshwater farm effluent using constructed wetlands: the role of plants and substrate”, *Wat Sci Tech*, Vol.48, No.5, pp. 215–222.

-Okurut TO, Rijs GBJ, van Bruggen, JJA (1999) “Design and performance of experimental constructed wetlands in Uganda, planted with *Cyperus papyrus* and *Phragmites mauritianus*”, *Water Sci. Technol*, Vol.40, No.3, pp.265–271.

-Pandey MK, Kansakar BR, Tare V, Jenssen PD. (2006) “Feasibility study of municipal wastewater treatment using pilot scale constructed wetlands in Nepal”, *Proc. 10th International Water Association Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. MAOTDR (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional), Lisbon, Portugal, pp. 1919–1926.

-Reed SC, Middlebrooks EJ, and Crites RW (1995) “*Natural Systems for Waste Management and Treatment*”, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York.

-Sayadi MH, Kargar R, Doosti MR, Salehi H (2012) “Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: a worldwide review”. *Proceedings of the international academy of ecology and environmental sciences*, Vol. 2, pp. 204–222.

-Steinmann CR, Weinhart S, Melzer A. (2003) “A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment”,

