

# مقایسه عملکرد برکه‌های تثبیت و تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی در تصفیه فاضلاب شهری در یزد

هادی اسلامی<sup>۱</sup>، سید وحید غلمانی<sup>۲</sup>، اکبر صالحی وزیری<sup>۳</sup>، داود حسین شاهی<sup>۴</sup>،  
سحر قلعه‌عسکری<sup>۴</sup>، پروانه طالبی همت‌آبادی<sup>۵</sup>، طاهره معراجی‌مقدم<sup>۶</sup>

۱- دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، ایران  
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۷۷۰۹۴۶۹۵ hadieslami1986@yahoo.com

۲- کارشناس مهندسی عمران، مسئول تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد و کارشناس بهره‌بردار تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد، ایران

۴- کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، ایران

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد و مسئول آزمایشگاه شیمی محیط دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، ایران

۶- کارشناس بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

(دریافت ۹۲/۱۲/۲۱ پذیرش ۹۳/۷/۲۴)

## چکیده

فاضلاب از یک سو مهم‌ترین عامل آلودگی آب به‌شمار می‌رود و از سوی دیگر در صورت تصفیه با روشی مناسب می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع جایگزین آب محسوب شود. این پژوهش با هدف مقایسه عملکرد برکه‌های تثبیت و تالاب مصنوعی زیر سطحی در تصفیه فاضلاب شهری در شهر یزد انجام شد. در این پژوهش تعداد ۷۲ نمونه از ورودی و خروجی تالاب و ۷۲ نمونه از ورودی و خروجی برکه‌های تثبیت به مدت یک سال برداشت شده و مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفت. داده‌های به‌دست آمده نشان داد که راندمان حذف  $\text{COD}$ ،  $\text{BOD}_5$ ،  $\text{PO}_4$  و  $\text{NO}_3\text{-N}$ ،  $\text{NH}_4\text{-N}$ ،  $\text{TSS}$  در برکه‌های تثبیت به ترتیب  $۷۹/۶$ ،  $۷۹/۷$ ،  $۴۴/۴$ ،  $۵۷$ ،  $۰$  و  $۴۲/۵$  درصد و در تالاب مصنوعی به ترتیب  $۸۰/۸$ ،  $۸۱/۵$ ،  $۷۷/۷$ ،  $۹/۹$ ،  $۳۴$  و  $۵۹/۴$  درصد بوده است. نتایج نشان داد که راندمان حذف  $\text{COD}$ ،  $\text{BOD}_5$ ،  $\text{TSS}$  و  $\text{PO}_4$  در فصل‌های پاییز و تابستان بیشتر از سایر فصول بوده است. بنابراین می‌توان گفت که تالابها هم از لحاظ کارایی و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر از برکه‌های تثبیت هستند.

**واژه‌های کلیدی:** برکه‌های تثبیت، تالاب مصنوعی، تصفیه فاضلاب

## ۱- مقدمه

به‌طور گسترده افزایش یافته است. اما این سیستم‌ها هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری بسیار بالایی دارند و برای بهره‌برداری به افراد متخصص نیاز دارند. در کشورهای در حال توسعه کمتر می‌توان یک سیستم تصفیه فاضلاب متداول را پیدا کرد که کارایی خوبی داشته باشد [۶، ۷ و ۸]. در کل در سیستم‌های تصفیه متداول به دلیل نیاز به تجهیزات و مصرف زیاد انرژی، هزینه تصفیه بالاست و در مقابل سیستم‌های تصفیه طبیعی فاضلاب مثل برکه‌های تثبیت<sup>۱</sup> و تالابهای مصنوعی<sup>۲</sup> نیاز به حداقل انرژی و تجهیزات دارند [۹ و ۱۰]. سایر ویژگی‌های این سیستم‌ها شامل ساخت آسان، هزینه‌های تصفیه پایین، بهره‌برداری و نگهداری آسان و کم‌هزینه، راندمان بالا در تصفیه فاضلاب و حداقل مخاطرات محیط‌زیستی می‌باشد [۱۱-۱۴]. این سیستم‌های تصفیه طبیعی برای تصفیه فاضلاب

امروزه با افزایش جمعیت و توسعه شهرها و صنایع، میزان تولید فاضلاب نیز رو به افزایش است به‌طوری‌که هر روزه سیل عظیمی از فاضلاب‌های خام و تصفیه نشده به محیط زیست تخلیه می‌شوند که نتیجه آن آلودگی شدید منابع آب، خاک و محصولات کشاورزی است. این مشکل می‌تواند خطرات جدی را برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده به‌وجود آورد [۱، ۲ و ۳]. فاضلاب از یک سو مهم‌ترین عامل آلودگی آب به‌شمار می‌رود و از سوی دیگر در صورت تصفیه کافی می‌تواند به‌عنوان یکی از منابع جایگزین آب محسوب شود [۴]. بنابراین برای کاهش اثرات سوء ناشی از تخلیه فاضلاب به محیط زیست و همچنین به‌منظور ارتقای سطح بهداشت عمومی جامعه می‌توان به تصفیه فاضلاب اقدام نمود [۵]. امروزه استفاده از سیستم‌های متداول با روش‌های بالا به‌منظور تصفیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی در کشورهای توسعه یافته

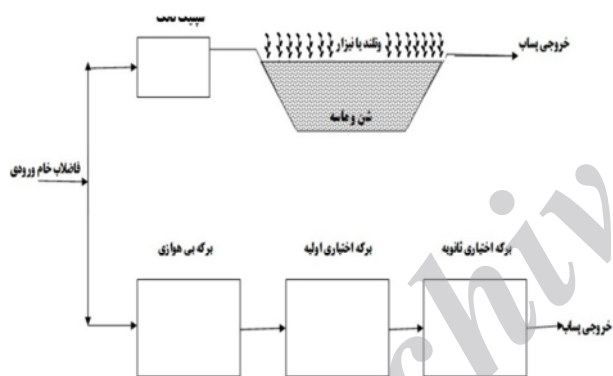
<sup>1</sup> Waste Stabilization Pond

<sup>2</sup> Constructed Wetlands

بهره‌برداری بودند، در این پژوهش راندمان خروجی‌های این دو روش در طول یک سال مورد مقایسه قرار گرفت و هیچ تغییری در مقادیر ورودی یا خروجی و یا زمان بهره‌برداری و یا ابعاد آنها ایجاد نشد. این بررسی تنها با هدف مقایسه عملکرد برکه‌های تثبیت و تالاب مصنوعی در تصفیه فاضلاب شهری در شهر یزد انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش یک مطالعه توصیفی و از نوع تجربی بود که در آن کارایی برکه‌های تثبیت و تالابهای مصنوعی زیرسطحی در حذف پارامترهای  $BOD_5$ , COD, TSS,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$  و  $PO_4$  مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای کنترلی نظیر pH و دما نیز مورد سنجش قرار گرفتند. با توجه به این که در تصفیه‌خانه شهر یزد هر دوی این روش‌ها برای تصفیه فاضلاب شهری در حال بهره‌برداری بودند، بنابراین ورودی و خروجی آنها از آذر سال ۸۹ تا آبان سال ۹۰ به مدت یک سال مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. برکه‌های تثبیت شهر یزد شامل برکه بی‌هوازی، برکه اختیاری اولیه و برکه اختیاری ثانویه است که نمای کلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای کلی از تالاب مصنوعی و برکه‌های تثبیت در تصفیه‌خانه شهر یزد

فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه به دو قسمت تقسیم می‌شود: یک قسمت از آن با دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه وارد برکه‌های تثبیت شده و قسمت دیگر آن با دبی ۱۰۰ مترمکعب در روز وارد تالاب مصنوعی می‌شود. فاضلاب ورودی به برکه‌های تثبیت ابتدا وارد برکه بی‌هوازی شده و سپس خروجی از آن وارد برکه اختیاری اولیه و در نهایت وارد برکه اختیاری ثانویه می‌شود. زمان ماند به‌طور کلی در هر سه برکه حدود ۲۰ روز بوده است. مساحت کلی برکه‌ها ۱۱ هکتار (ابعاد هر برکه  $۲۳۹ \times ۱۰۳$  متر)، عمق هر برکه ۵ متر و ارتفاع آزاد ۰/۷۵ متر بوده است.

خصوصاً در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری بسیار مناسب هستند [۱۵]. اما با این وجود یکی از معایب این سیستم‌های تصفیه طبیعی نیاز به زمین زیاد برای طراحی است [۱۶]. پارامترهای مهم در انتخاب یک سیستم تصفیه فاضلاب شامل داشتن هزینه‌های پایین برای سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری، راندمان بالا در حذف آلودگی‌ها، داشتن حداقل سر و صدا و دوستدار محیط زیست بودن است [۱۷-۲۰]. بنابراین سیستم‌های تصفیه طبیعی یک گزینه مناسب برای تصفیه فاضلاب در اکثر کشورها خصوصاً کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شوند [۲۱].

برکه‌های تثبیت از چندین حوضچه یا برکه تشکیل شده‌اند که معمولاً به صورت یک یا چند سری از برکه‌های بی‌هوازی<sup>۱</sup>، اختیاری<sup>۲</sup> و تکمیلی<sup>۳</sup> طراحی می‌شوند. هدف اولیه حذف جامدات معلق و مواد آلی و هدف نهایی حذف پاتوژن‌ها و نوترینت‌ها است [۲۲، ۲۳، ۲۴]. جامعه میکروبی در برکه‌های تثبیت شامل جلبک‌ها، ویروس‌ها، باکتری‌ها، روتیفرها، حشرات، سخت‌پوستان و قارچ‌ها می‌باشند. این جامعه میکروبی در تثبیت و حذف مواد آلی و کاهش پاتوژن‌ها مؤثر هستند [۲۵]. تصفیه فاضلاب در برکه‌های تثبیت در نتیجه ته‌نشینی و یک همزیستی بین باکتری‌ها و جلبک‌ها بوده که باعث اکسیداسیون مواد آلی می‌شود. باکتری‌ها در اینجا از اکسیژن محلولی که جلبک‌های فتوسنتز کننده تولید می‌کنند و همچنین از هوادهی سطحی برای تأمین اکسیژن و در نتیجه تجزیه مواد آلی استفاده می‌کنند [۲۶]. راندمان حذف در برکه‌ها وابستگی زیادی به دما، وزش باد، نورخورشید و تعامل بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها دارد [۲۷].

تالابهای مصنوعی یا نيزارها به دو دسته تالابهای با جریان سطحی<sup>۴</sup> و تالابهای با جریان زیر سطحی<sup>۵</sup> تقسیم می‌شوند. جریان فاضلاب در تالابهای زیر سطحی می‌تواند به صورت جریان عمودی رو به بالا و جریان افقی باشد. بستر تالابهای زیر سطحی از شن، ماسه و خاک با دانه‌بندی مناسب پر می‌شود. این بستر سطح مناسبی را برای رشد میکروب‌ها ایجاد می‌کند و همچنین در ته‌نشینی هر چه بیشتر آلاینده‌ها نقش دارد [۲۸ و ۲۹]. بخش مهم در مکانیسم تصفیه فاضلاب با تالاب مصنوعی حضور و فعالیت گیاهان آبی و میکروارگانیسم‌ها و انتقال اکسیژن از هوا به ریشه گیاهان است [۳۰، ۳۱ و ۳۲].

با توجه به این که دو روش تصفیه فاضلاب در شهر یزد برکه‌های تثبیت و تالابهای مصنوعی است، و هر دو روش در حال

1 Aerobic Pond  
2 Facultative Pond  
3 Maturation Pond  
4 Free Water Surface  
5 Subsurface Flow

در نهایت ماهانه شش نمونه (نمونه برداری شش روز در ماه) از ورودی و خروجی تالابها و شش نمونه از ورودی و خروجی برکه‌ها برداشت شد و در مجموع در طول یک سال تعداد ۷۲ نمونه از تالاب و ۷۲ نمونه از برکه‌های تثبیت با استفاده از ظروف مخصوص نمونه برداری جمع‌آوری شد. برای جلوگیری از ایجاد واکنش‌های ناخواسته، نمونه‌ها در کنار یخ نگهداری و سریعاً به آزمایشگاه منتقل شدند و مطابق با روش‌های استاندارد مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از انجام آزمایش‌های مختلف نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 و آزمون آماری t-test و آنوآ<sup>۱</sup> مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

### ۳- نتایج و بحث

داده‌ها نشان داد که در پساب خروجی میزان پارامترهای BOD<sub>5</sub> و COD در تالاب مصنوعی تا حدودی کمتر از برکه‌های تثبیت بوده اما این مقدار اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ( $P \geq 0.05$ ). مقدار باقیمانده TSS نیز در خروجی تالاب کمتر از خروجی برکه‌های تثبیت بود که این از لحاظ آماری معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup> ANOVA

تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی نیز در قسمت دیگر همین تصفیه‌خانه تعبیه شده است (شکل ۱). فاضلاب ورودی ابتدا وارد سپتیک تانک با زمان ماند هیدرولیکی یک روز شده و سپس پساب خروجی وارد تالاب‌های مصنوعی می‌شود. مشخصات تالابها به این صورت بوده که چهار تالاب با ابعاد کلی ۹۶۰ مترمربع (ابعاد هر تالاب ۲۰×۱۲ متر) که بستر این تالابها از گرانول با ابعاد مختلف ۰/۲ تا ۱ سانتی متر پر شده بود. سپس در داخل هر کدام از تالابها یک گونه گیاهی به این صورت که در تالاب شماره ۱ نی بافق، تالاب شماره ۲ نی یزد بافت و تالاب شماره ۳ نی علی آباد کاشته شد. زمان ماند کلی در تالاب مصنوعی حدود چهار روز بود.

نمونه برداری از نوع مرکب بوده، به این صورت که در هر بار نمونه برداری از ورودی و خروجی هر کدام از تالابها در ساعت‌های مختلف از روز یک نمونه برداشت شده و سپس نمونه‌های برداشت شده خروجی و ورودی هر قسمت جداگانه با هم مخلوط شده و یک نمونه ورودی و یک نمونه خروجی در طول هر بار نمونه برداری برداشت شد. در برکه‌های تثبیت نیز نمونه برداری مرکب به این صورت بود که در تعدادی نمونه در ساعات مختلف از روز نمونه برداری انجام شده و سپس در پایان هر روز نمونه‌ها با هم مخلوط شده و یک نمونه اصلی در هر نوبت نمونه برداری تهیه شد.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار پارامترهای ورودی و خروجی از تالاب مصنوعی و برکه‌های تثبیت و مقایسه با استاندارد خروجی ایران برای

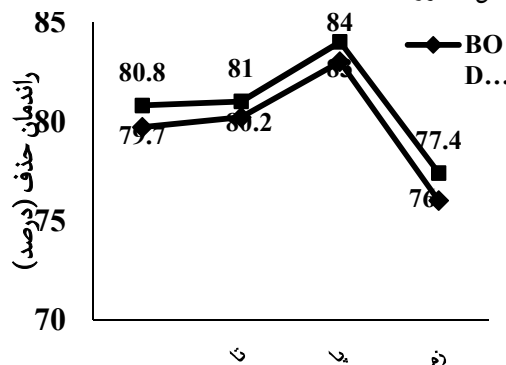
مصارف کشاورزی

پارامتر	میانگین ± انحراف معیار ورودی	میانگین ± انحراف معیار خروجی برکه های تثبیت	میانگین ± انحراف معیار خروجی تالاب مصنوعی	استاندارد خروجی فاضلاب برای مصارف کشاورزی و آبیاری
COD(mg/L)	۵۴۰ ± ۶۸	۱۱۰ ± ۲۱	۱۰۰ ± ۱۹	۲۰۰
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	۲۵۰ ± ۲۱	۵۰/۸ ± ۱۱	۴۸ ± ۱۰	۱۰۰
TSS (mg/L)	۱۸۰ ± ۲۴	۱۰۰ ± ۲۳	۴۰ ± ۳	۱۰۰
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	۹/۱ ± ۰/۶	۲۳/۳ ± ۹	۶ ± ۱	-
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	۵۹/۵ ± ۲/۶	۲۵/۱ ± ۱۳	۵۳/۶ ± ۶/۱	-
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	۷/۴ ± ۰/۴	۴/۱ ± ۱۳	۲/۹ ± ۰/۵	-
pH	۷/۷ ± ۰/۴	۸ ± ۰/۱	۷/۵ ± ۰/۲	۶/۵-۸/۵
T (°C)	۲۲/۸ ± ۶	۱۹ ± ۶	۲۲/۳ ± ۴	-

جدول ۲- میانگین پارامترهای خروجی فاضلاب از برکه‌های تثبیت و تالاب در فصول مختلف سال بر حسب میلی‌گرم در لیتر

فصل	BOD <sub>5</sub>		COD		TSS		NH <sub>4</sub> -N		NO <sub>3</sub> -N		PO <sub>4</sub> -N	
	برکه‌های تثبیت	تالاب	برکه‌های تثبیت	تالاب	برکه‌های تثبیت	تالاب	برکه‌های تثبیت	تالاب	برکه‌های تثبیت	تالاب	برکه‌های تثبیت	تالاب
بهار	۵۰/۷	۴۸/۱	۱۱۷/۳	۱۰۰/۶	۱۱۰	۴۹/۴	۲۶/۱	۵۲/۱	۲۲/۱	۶/۱	۴/۴	۳
تابستان	۴۹/۶	۴۷/۴	۱۰۰/۶	۹۴/۱	۸۶/۲	۲۶/۸	۲۳/۴	۵۶/۴	۲۶/۶	۵/۲	۳	۲/۷
پاییز	۴۲/۴	۴۰	۹۷/۴	۸۷/۲	۸۶/۱	۲۶/۵	۲۵/۱	۵۴/۶	۲۳/۸	۵/۷	۲/۹	۲/۵
زمستان	۶۰/۵	۵۶/۵	۱۲۴/۷	۱۱۸/۳	۱۱۸	۵۷/۵	۲۵/۸	۵۱/۳	۲۰/۷	۷	۶/۱	۳/۵

در جدول ۲ تغییرات  $BOD_5$ , COD, TSS,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$  و  $PO_4-N$  در فصول مختلف سال نشان داده شده است. تغییرات میزان حذف  $BOD_5$  در برکه‌های تثبیت و تالاب در فصول مختلف سال در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- میزان حذف  $BOD_5$  در برکه‌های تثبیت و تالاب در فصول مختلف سال

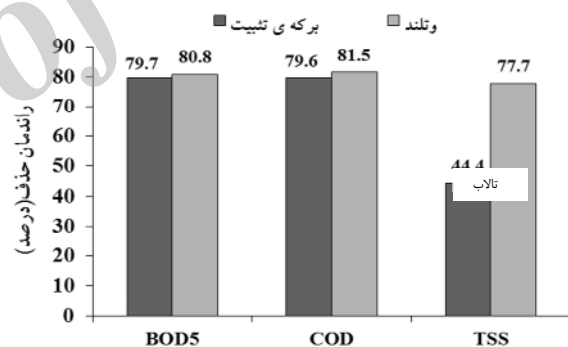
داده‌های این پژوهش نشان داد که راندمان حذف  $BOD_5$  و COD در تالاب مصنوعی تا حدودی کمتر از برکه‌های تثبیت بوده اما این اختلاف ناچیز بوده و از لحاظ آماری نیز معنی‌دار نبوده است. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۹ روی مقایسه برکه‌های تثبیت و تالابهای مصنوعی در تسلونیکا در شمال یونان انجام شد، نشان داده شده است که غلظت  $BOD_5$  و TSS در پساب خروجی از تالابهای مصنوعی پایین‌تر و بهتر از پساب خروجی از برکه‌های تثبیت است [۱۳]. این داده‌ها با پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد؛ راندمان حذف TSS در برکه‌ها پایین‌تر از تالاب بوده و این به علت وجود جلبک‌ها در خروجی برکه‌های تثبیت است [۵].

در پژوهشی که توسط سنائی و همکاران در سال ۱۳۸۸ در خراسان رضوی انجام شده از دو واحد برکه بی‌هوازی و دو بستر از تالابهای مصنوعی با جریان زیر سطحی در مقیاس پایلوت صحرایی برای تصفیه فاضلاب شهری استفاده شده است. تلفیق این دو باعث شده که راندمان حذف پارامترهای  $BOD_5$ , TSS, TKN, TP و *اشریشیاکلی*<sup>۱</sup> به ترتیب ۶۸، ۸۵، ۵۲، ۲۱ و ۷۱ درصد باشد [۳۳]. مقایسه داده‌های این مطالعه با داده‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تلفیق برکه‌های تثبیت و تالاب می‌تواند در بهبود راندمان حذف TSS کمک کند اما تفاوت در حذف  $BOD_5$  ایجاد نشده است. بنابراین می‌توان از تالابها به‌عنوان یک فرایند تصفیه نهایی بعد از فرایندهای تصفیه بیولوژیکی نظیر برکه‌های تثبیت استفاده کرد [۳۴].

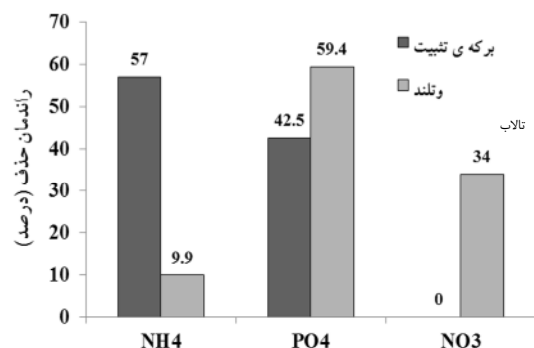
<sup>۱</sup> *Escherichia Coli (E.Coli)*

داده‌ها همچنین نشان داد که میزان باقیمانده نیتروژن بر حسب نیترات ( $NO_3-N$ ) در خروجی برکه‌ها بیشتر از ورودی آنها بوده ولی در تالاب میزان خروجی کاهش یافته است. میزان باقیمانده نیتروژن بر حسب آمونیوم ( $NH_4-N$ ) در برکه‌های تثبیت بسیار پایین‌تر از باقیمانده آن در تالاب بوده که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ). میزان باقیمانده فسفر بر حسب فسفات ( $PO_4-P$ ) در خروجی برکه‌های تثبیت بالاتر از خروجی تالاب بوده که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ( $P \geq 0.05$ ) (جدول ۱). آنالیز آماری همچنین نشان داد که بین ورودی و خروجی کلیه پارامترها به جزء  $PO_4$  هم در تالاب و هم در برکه‌های تثبیت ارتباط معنی‌داری وجود دارد ( $P \leq 0.05$ ). نتایج همچنین نشان داد که میزان کاهش  $BOD_5$ , COD, TSS در تالاب بیشتر از برکه‌های تثبیت بوده است اما این کاهش در مورد TSS به‌طور محسوسی مشخص‌تر است و در مورد  $BOD_5$  و COD اختلاف چندانی وجود ندارد (شکل ۲).

داده‌ها نشان داد که راندمان حذف  $NO_3$  و  $PO_4$  در تالاب بیشتر از برکه‌های تثبیت بوده اما راندمان حذف  $NH_4$  در برکه‌های تثبیت بیشتر از تالاب بوده است (شکل ۳).



شکل ۲- میزان حذف پارامترهای  $BOD_5$ , COD, TSS در برکه‌های تثبیت و تالاب



شکل ۳- میزان حذف پارامترهای  $NH_4$ ,  $NO_3$ ،  $PO_4$  در برکه‌های تثبیت و تالاب

در یک مطالعه که در سال ۲۰۱۰ روی مقایسه تالابهای مصنوعی و برکه‌های تثبیت در دانشکده کشاورزی و تکنولوژی جوموکیاتا انجام شده، نشان داده شده است که برکه‌های تثبیت راندمان بهتری در حذف آمونیوم ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) و تالابهای مصنوعی راندمان بالاتری در حذف نیترات ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) دارند [۹]. داده‌های پژوهش حاضر نیز نشان داد که میزان باقیمانده نیتروژن بر حسب نیترات ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) در خروجی برکه‌ها بیشتر از ورودی آنها شده است ولی در تالاب، میزان خروجی کاهش یافته اما میزان باقیمانده نیتروژن بر حسب آمونیوم ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) در برکه‌های تثبیت بسیار پایین‌تر از باقیمانده آن در تالاب بوده است. در نتیجه راندمان حذف آمونیوم ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) در تالاب کمتر از برکه تثبیت بوده است که این می‌تواند به علت توانایی پایین تبادل اکسیژن اتمسفری در تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی باشد و همچنین بالا بودن حذف آمونیوم در برکه تثبیت به علت تأمین اکسیژن لازم توسط فتوسنتز جلبکی و هوادهی اتمسفری بوده است [۳۵].

کاهش اکسیژن در تالابها باعث کاهش نیتریفیکاسیون و افزایش دنیتریفیکاسیون و در نتیجه کاهش نیترات شده است. بنابراین تالاب مصنوعی زیر سطحی راندمان خوبی در حذف نیترات داشته اما در حذف آمونیوم عملکرد خوبی نداشته است و همچنین علت بالا بودن نیترات در برکه‌های تثبیت نیز می‌تواند ناشی از انجام فرایند نیتریفیکاسیون باشد [۳۶]. نتایج این مطالعه نشان داد که در برکه‌های تثبیت و تالاب در فصل پاییز و تابستان مقادیر باقیمانده  $\text{BOD}_5$ ، COD، و TSS کمترین مقدار و در فصل زمستان بیشترین مقدار را دارا می‌باشند. همچنین  $\text{NH}_4\text{-N}$  در برکه‌های تثبیت در فصل تابستان به کمترین مقدار خود می‌رسد و  $\text{NO}_3\text{-N}$  در تالاب در فصل زمستان به کمترین مقدار خود می‌رسد. کاهش راندمان حذف  $\text{BOD}_5$ ، COD، و TSS در زمستان می‌تواند به علت پایین بودن دما در برکه‌ها و از بین رفتن جلبک‌ها با سرد شدن هوا و همچنین از بین رفتن نیزارها و خشک شدن آنها باشد. افزایش راندمان حذف  $\text{NH}_4\text{-N}$  در برکه‌ها در تابستان به علت بالاتر بودن دما و وجود مقادیر زیاد جلبک و در نتیجه تبادل

اکسیژن بیشتر و در نتیجه نیتریفیکاسیون بیشتر است [۳۷]. کاهش راندمان حذف  $\text{NO}_3\text{-N}$  در فصل تابستان می‌تواند به علت افزایش اکسیژن توسط گیاهان نی و در نتیجه کاهش دنیتریفیکاسیون باشد. در این مطالعه زمان ماند هیدرولیکی در برکه‌ها بیشتر از تالاب مصنوعی بوده که با توجه با این که نوع تصفیه در برکه تثبیت رشد معلق و در تالابهای مصنوعی رشد چسپیده در بیوفیلم بستر شنی می‌باشد و با هم متفاوت است بنابراین زمان ماند نیز در هر دو متفاوت بوده است [۹]. داده‌های این مطالعه همچنین نشان داد که خروجی برکه‌های تثبیت و تالاب از لحاظ استاندارد با استانداردهای خروجی ایران برای کشاورزی و آبیاری همخوانی دارند [۳۸ و ۳۹]. مطالعه ماچیبیا و همکاران در سال ۲۰۰۶ روی تأثیر پساب حاصل از برکه‌های تثبیت در رودخانه روآها در تانزانیا نشان داد که  $\text{BOD}_5$  خروجی از برکه‌های تثبیت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر بوده که برای تخلیه به آب‌های سطحی بالاتر از حدود استاندارد بوده است [۱۵]. بنابراین پساب حاصل از برکه‌های تثبیت و تالاب برای تخلیه به آب‌های سطحی مناسب نیستند. مطالعه دنری و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان داد که نصب سیستم‌های هوادهی در داخل برکه‌های تثبیت می‌تواند باعث بالارفتن راندمان حذف  $\text{BOD}_5$  و COD شود به طوری که در این مطالعه راندمان حذف  $\text{BOD}_5$  از ۳۸ درصد در حالت بدون هوادهی به ۸۹ درصد بعد از نصب هوادهی رسیده است [۴۰]. بنابراین می‌توان با تغییر شرایط بهره‌برداری و نگهداری راندمان برکه‌ها را بالا برد و پساب با کیفیت مناسب‌تری به دست آورد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مقایسه راندمان حذف پارامترهای مورد بررسی در برکه‌های تثبیت و تالاب مصنوعی و همچنین با توجه به این که با محاسبه جمعیت یکسان، زمین مورد نیاز برای برکه‌های تثبیت سه برابر بیشتر از تالابهای مصنوعی است، می‌توان گفت که در کل، تالابها هم از لحاظ کارایی و هم از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر از برکه‌های تثبیت هستند.

#### ۵- مراجع

1. Phan-Van, M., Rousseau, and D., and De Pauw, N. (2008). "Effects of fish bioturbation on the vertical distribution of water temperature and dissolved oxygen in a fish culture-integrated waste stabilization pond system in Vietnam." *Aquaculture*, 281(1-4), 28-33.
2. Vega, E., Lesikar, B., and Pillai, S.D. (2003). "Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand-filter system." *Bioresour. Technol.*, 89(1), 49-56.
3. Miranzaeh, M.B., and Mahvi, A.H. (2002). "Evaluation of elimination of fecal coliforms in sewage fixation ponds." *KAUMS Journal (FEYZ)*, 5(4), 54-60. (In Persian)

4. Ahmadi, M., Tajrishy, M., and Abrishamchi, A. (2005). "Technical and economic comparison of conventional wastewater treatment systems in the sugar industries in Iran." *Journal of Water and Wastewater*, 16-1 (53), 54-61. (In Persian)
5. Miranzadeh, M.B., Mahvi, A.H., Mesdaghinia, A.R., Naseri, S., and Vaezi, F. (2000). "Efficiency study for integrated stabilization pond (ISP) in municipal wastewater treatment." *KAUMS Journal (FEYZ)*, 4(1), 43-54.
6. Diaz, J., and Barkdoll, B. (2006). "Comparison of wastewater treatment in developed and developing countries." in *World Environmental and Water Resource Congress*, ASCE, 1-10.
7. Cheng, X.Y., Liang, M.Q., Chen, W.Y., Liu, X.C., and Chen, Z.H. (2009). "Growth and contaminant removal effect of several plants in constructed wetlands." *Journal of Integrative Plant Biology*, 51(3), 325-335.
8. Shahi, D.H., Ebrahimi, A., Esalmi, H., Ayatollahi, S., and Dashty, N. (2012). "Efficiency of straw plants in removal of indicator pathogens from sub surface flow constructed wetlands of municipal wastewater in Yazd, Iran." *Journal of Health and Development*, 1(2), 147-155.
9. Mburu, N., Tebitendwa, S. M., Rousseau, D. P. L., Van Bruggen, J. J. A., and Lens, P. N. L. (2013). "Performance evaluation of horizontal subsurface flow-constructed wetlands for the treatment of domestic wastewater in the tropics." *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 139(3), 358-367.
10. Kayombo, S., Mbwette, T. S. A., Mayo, A. W., Katima, J. H. Y., and Jorgensen, S. E. (2000). "Modelling diurnal variation of dissolved oxygen in waste stabilization ponds." *Ecological Modelling*, 127(1), 21-31.
11. Prochaska, C.A., Zouboulis, A.I., and Eskridge, K.M. (2007). "Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands, as affected by season, substrate, hydraulic load and frequency of application of simulated urban sewage." *Ecological Engineering*, 31(1), 57-66.
12. Tsagarakis, K., Mara, D., Horan, N., and Angelakis, A. (2000). "Small municipal wastewater treatment plants in Greece." *Water Science and Technology*, 41(1), 41-48.
13. Tsalkatidou, M., Gratziou, M., and Kotsovinos, N. (2009). "Combined stabilization ponds-constructed wetland system." *Desalination*, 248(1-3), 988-997.
14. Scholz, M., and Xu, J. (2002). "Comparison of constructed reed beds with different filter media and macrophytes treating urban stream water contaminated with lead and copper." *Ecological Engineering*, 18(3), 385-390.
15. Machibya, M., and Mwanuzi, F. (2006). "Effect of low quality effluent from wastewater stabilization ponds to receiving bodies, case of Kilombero sugar ponds and Ruaha river, Tanzania." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 3(2), 209-216.
16. Bastos, R.K.X., Calijuri, M.L., Bevilacqua, P.D., Rios, E.N., Dias, E.H.O., Capelete, B.C., and Magalhães, T.B. (2010). "Post-treatment of UASB reactor effluent in waste stabilization ponds and in horizontal flow constructed wetlands: A comparative study in pilot scale in Southeast Brazil." *Water Science and Technology*, 61(4), 995-1002.
17. Tsagarakis, K. P., Mara, D. D., and Angelakis, A. N. (2003). "Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems." *Water, Air, and Soil Pollution*, 142(1-4), 187-210.
18. Rousseau, D. P. L., Lesage, E., Story, A., Vanrolleghem, P. A., and De Pauw, N. (2008). "Constructed wetlands for water reclamation." *Desalination*, 218(1-3), 181-189.
19. Sato, N., Okubo, T., Onodera, T., Agrawal, L.K., Ohashi, A., and Harada, H. (2007). "Economic evaluation of sewage treatment processes in India." *Journal of Environmental Management*, 84(4), 447-460.
20. Mara, D., Drangert, J. O., Nguyen, V. A., Tonderski, A., Gulyas, H., and Tonderski, K. (2007). "Selection of sustainable sanitation arrangements." *Water Policy*, 9(3), 305-318.
21. Mara, D. D. (2006). "Constructed wetlands and waste stabilization ponds for small rural communities in the United Kingdom: A comparison of land area requirements, performance and costs." *Environmental Technology*, 27(7), 753-757.

22. Babu, M.A., Hes, E.M.A., Van Der Steen, N.P., Hooijmans, C.M., and Gijzen, H.J. (2010). "Nitrification rates of algal-bacterial biofilms in wastewater stabilization ponds under light and dark conditions." *Ecological Engineering*, 36(12), 1741-1746.
23. Olukanni, D. O., and Ducoste, J. J. (2011). "Optimization of waste stabilization pond design for developing nations using computational fluid dynamics." *Ecological Engineering*, 37(11), 1878-1888.
24. Belila, A., Abbas, B., Fazaa, I., Saidi, N., Snoussi, M., Hassen, A., and Muyzer, G. (2013). "Sulfur bacteria in wastewater stabilization ponds periodically affected by the 'red-water' phenomenon." *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(1), 379-394.
25. Kehl, O., Wichern, M., Lübken, M., and Horn, H. (2009). "Analysis of design approaches for stabilization ponds under different boundary conditions-A comparison." *Ecological Engineering*, 35(8), 1117-1128.
26. Beran, B., and Kargi, F. (2005). "A dynamic mathematical model for wastewater stabilization ponds." *Ecological Modelling*, 181(1), 39-57.
27. Amengual Morro, C., Moyà Niell, G., and Martínez Taberner, A. (2012). "Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds." *Journal of Environmental Management*, 95, 571-576.
28. Thurston, J., Foster, K., Karpiscak, M., and Gerba, C. (2001). "Fate of indicator microorganisms, giardia and cryptosporidium in subsurface flow constructed wetlands." *Water Research*, 35(6), 1547-1551.
29. Shahi, D. H., Eslami, H., Ehrampoosh, M. H., Ebrahimi, A., Ghaneian, M. T., Ayatollah, S., and Mozayan, M. R. (2013). "Comparing the efficiency of *Cyperus alternifolius* and *Phragmites australis* in municipal wastewater treatment by subsurface constructed wetland." *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(8), 379-384.
30. Armstrong, W., Cousins, D., Armstrong, J., Turner, Dw., and Beckett, P.M. (2000). "Oxygen distribution in wetland plant roots and permeability barriers to gas-exchange with the rhizosphere: A microelectrode and modelling study with *Phragmites australis*." *Annals of Botany*, 86(3), 687-703.
31. Nwuche, C.O., and Ugoji, E.O. (2008). "Effects of heavy metal pollution on the soil microbial activity." *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 5(3), 409-414.
32. Nwuche, C.O., and Ugoji, E.O. (2010). "Effect of co-existing plant specie on soil microbial activity under heavy metal stress." *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(4), 697-704.
33. Sanaei, A., Azimi, A.A., Mehrdadi, N., and Reeisi, H. (2009). "Combination of improved anaerobic pond and constructed subsurface wetland for domestic wastewater treatment." *Proceedings of the 1st Conference of Wetland in Kermanshah*, Kermanshah, Iran.
34. Belmont, M.A., Cantellano, E., Thompson, S., Williamson, M., Sánchez, A., and Metcalfe, C.D. (2004). "Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico." *Ecological Engineering*, 23(4), 299-311.
35. Mburu, N., Sanchez-Ramos, D., Rousseau, D.P., Van Bruggen, J.J.A., Thumbi, G., Stein, O.R., and Hook, P.B. (2012). "Simulation of carbon, nitrogen and sulphur conversion in batch-operated experimental wetland mesocosms." *Ecological Engineering*, 42, 304-315.
36. Knight, R.L., Kadlec, R.H., and Ohlendorf, H.M. (1999). "The use of treatment wetlands for petroleum industry effluents." *Environmental Science and Technology*, 33(7), 973-980.
37. Yu, H., Tay, J.H., and Wilson, F. (1997). "A sustainable municipal wastewater treatment process for tropical and subtropical regions in developing countries." *Water Science and Technology*, 35(9), 191-198.
38. Gemitzi, A.L., Tsihrintzis, V.A., Christou, O., and Petalas, C. (2007). "Use of GIS in siting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment." *Journal of Environmental Management*, 82(2), 155-166.
39. Zimmo, O. R., Van Der Steen, N. P., and Gijzen, H. J. (2003). "Comparison of ammonia volatilisation rates in algae and duckweed-based waste stabilisation ponds treating domestic wastewater." *Water Research*, 37(19), 4587-4594.
40. Del Nery, V., Damianovic, M.H.Z., Pozzi, E., De Nardi, I.R., Caldas, V.E.A., and Pires, E.C. (2013). "Long-term performance and operational strategies of a poultry slaughterhouse waste stabilization pond system in a tropical climate." *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 7-14.