

Nitrate, Phosphate, and Salt Removal from a Pilot-Scale Hybrid Constructed Wetland with Planted *Phragmites Australis*

MILAD HASHEMI^{1*}, ABDALI NASERI¹, MONA GOLABI¹, ABDOLRAHIM HOOSHMAND¹

1. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: Oct. 1, 2020- Revised: Jan. 16, 2021- Accepted: Feb. 15, 2021)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the feasibility of using Constructed Wetland (CW) systems in removing nitrate and phosphate pollutants and salts from agricultural runoff. For this purpose, two Subsurface-Flow Constructed Wetlands (SFCW) were used in series; one with horizontal flow and another with vertical flow. These wetlands were first filled with gravel (2-3 mm in size) as a bed material with a height of 0.1 m (according to EPA recommendations). The drain pipes were then covered with a 0.2 m layer of 70:30 gravel-zeolite-clinoptilolite mixture. The systems were studied with and without planted *Phragmites australis* (common reed), and their performance were investigated in terms of pollutant removal efficiency using agricultural runoff containing 12 dS.m⁻¹ salinity, 80 mg.L⁻¹ nitrate and 10 mg.L⁻¹ phosphate. It was found that as pollutants continue to pass through the beds, the removal efficiency is reduced in wetlands with and without planted reed. The final efficiencies of hybrid HF-VF CW, VF-HF CW, VSFCW, and HSFCW models were calculated to be 69.39, 65.81, 73.57, and 94.75% in the wetland with planted reeds and 60.40, 57.16, 55.58, and 53.91% in the wetland without planted reed, respectively. Finally, it is concluded that the hybrid HF-VF CW with the presence of reed plant and with higher efficiency offers an acceptable level of nitrate, phosphate, and salt removal.

Keywords: Nitrate, Phosphate, Salinity, Constructed Wetland, Removal Efficiency, Agricultural Runoff, clinoptilolite, *Phragmites Australis*.

حذف آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری با استفاده از تالاب مصنوعی ترکیبی با گیاه نی در مقیاس پایلوت

میلاذ هاشمی^{*}، عبدعلی ناصری^۱، منا گلابی^۱، عبدالرحیم هوشمند^۱

۱. گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷)

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی امکان استفاده از سامانه‌های تالاب مصنوعی در حذف آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری از زهاب کشاورزی انجام گرفته است. بدین منظور دو سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی با جریان عمودی و افقی در مقیاس پایلوت به صورت متوالی استفاده شد، که بستر آنها ابتدا توسط شن بادی به ابعاد ۳-۲ mm، بعنوان ماده بستر به ارتفاع ۰/۱ m پر شد، سپس اطراف محیط لوله زهکش به ارتفاع ۰/۲m از ترکیب شن و زئولیت کلینوپتیلولیت به نسبت ۷۰ به ۳۰ پر گردید. سامانه‌های مورد مطالعه با حضور و بدون حضور گیاه نی بررسی گردیدند و سپس با استفاده از زهاب کشاورزی حاوی آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری با غلظت‌های به ترتیب ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تاثیر انواع سامانه‌های تالاب و وجود گیاه بر بازده و راندمان حذف آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با ادامه روند عبور آلاینده ورودی از بستر سامانه‌ها، راندمان حذف آلاینده‌ها هم در تالاب با گیاه نی و هم فاقد گیاه کاهش می‌یابد. راندمان حذف آلاینده‌ها به ترتیب در سامانه‌های ترکیبی افقی - عمودی، عمودی - افقی، تالاب با جریان زیر سطحی افقی و تالاب با جریان زیرسطحی عمودی با حضور گیاه نی برابر با ۶۹/۳۹، ۶۵/۸۱، ۵۹/۷۳، ۵۷/۹۴ درصد و در تالاب بدون گیاه نی برابر با ۶۰/۴۰، ۵۷/۱۶، ۵۵/۵۸، ۵۳/۹۱ درصد محاسبه شد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که سیستم تالاب مصنوعی ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی و در حضور گیاه نی با کارایی بالاتر قادر به حذف قابل قبول آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نیترات، فسفات، شوری، تالاب مصنوعی، زهاب کشاورزی، کلینوپتیلولیت، گیاه نی.

مقدمه

با توجه به این‌که یکی از راهکارهای حفاظت آب استفاده مجدد از آب‌های نامتعارفی چون پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی می‌باشد، از این رو با تصفیه آب از یک سو می‌توان از آلودگی منابع آب سطحی و زیرسطحی جلوگیری نمود و از طرفی منبع جدیدی را برای استفاده در عرصه‌های مختلف به وجود آورد. اما نکته قابل توجه این است که با توجه به استانداردهای مصرف پساب و موارد مذکور لزوم تصفیه انکارناپذیر است. (Eslamian *et al.*, 2015). فناوری‌هایی همچون ازن زنی، اسمز معکوس و فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته می‌توانند درصد آلاینده‌های موجود در زهاب را کاهش دهند. اما به علت گران بودن این روش‌ها، استفاده از تالاب‌های مصنوعی به عنوان یک روش کارآمد و مقرون بصره و با تاثیرات کم بر محیط زیست برای تصفیه آبهای آلوده، در حال رشد است. (Amini'Rad *et al.*, 2011; Khoshnavaz *et al.*, 2012).

وجود بیش از حد نیترات در آب آشامیدنی باعث ایجاد

متاگلوبینما در نوزادان می‌شود، که سبب کاهش توانایی انتقال اکسیژن خون می‌شود. علاوه بر این، ورود بیش از حد نیترات از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به آب‌های سطحی، موجب افزایش اتریفیکاسیون (Eutrophication) در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌های ساحلی می‌شود که موجب مشکلات متعددی در اکوسیستم‌های آبی به عنوان مثال شکوفایی جلبک‌های سمی، کاهش اکسیژن در آب، از دست رفتن تنوع زیستی آبزیان و مرگ و میر ناشی از آن می‌شود. با فراهم سازی شرایط بی‌هوایی، نیترات به گاز نسبتاً بی‌ضرر نیتروژن تبدیل شده و وارد جو می‌شود.

فسفر به طور طبیعی به هر دو شکل آلی و غیر آلی تشکیل می‌شود. اندازه‌گیری تحلیلی از ارتوفسفات‌های موجود در زیست‌شناسی به عنوان فسفر واکنش پذیر محلول (SR-P) نامیده می‌شود. محلول فسفر آلی و شکل نامحلول فسفر آلی و معدنی معمولاً از لحاظ بیولوژیکی قابل استفاده نیست تا زمانی که به شکل محلول غیر آلی تبدیل نگردد. فسفر معمولاً در شرایط طبیعی دست نخورده و ذخیره سازی آن کوتاه مدت است. کمبود

تالاب فراهم می‌شد و نتایج تجمع سرب در ریشه گیاه نی نیز نشان‌دهنده توان بالای این گیاه در جذب عنصر سنگین سرب بود.

Rahmani et al. (2009). تصفیه فاضلاب شهری را با استفاده ترکیب حوضچه‌های بی‌هوازی و وتلند مصنوعی ساخته شده مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، دو حوضچه بی‌هوازی و دو محوطه وتلند مصنوعی با وجود گیاه نی مطالعه گردید. نتایج بررسی نشان داد که بازده حذف نیترات کل و فسفر کل در حوضچه به ترتیب برابر ۵۲ و ۲۱ درصد و در وتلند به ترتیب ۸۶ و ۸۷ درصد بوده است.

Eskandari (2009). در تحقیقی که در شرکت آب و فاضلاب خوزستان انجام پذیرفت، نشان دادند که راندمان حذف توسط تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی، برای فلزات سنگین کروم شش ظرفیتی ۹۷/۷ درصد، کبالت ۹۸ درصد و برای منگنز ۹۸/۷ درصد بدست می‌آید و در جاهایی که تراکم ماکروفیت بیشتر است بازده تصفیه بالاتر بوده است.

Xiong et al. (2011). ظرفیت یک سیستم مصنوعی تصفیه مختلط جهت کاهش غلظت فسفر از پساب را بررسی نمودند. این سیستم شامل ترکیبی از وتلند مصنوعی جریان عمودی، بستر شناور و فیلتر شنی و نیز شامل سه بستر سری متصل بهم بود. اولین بستر وتلند جریان از بالا شامل گلدان‌های حاوی گیاه وتیور بود که از پایین به بالا از ماسه درشت و تفاله‌های آهنی جهت جداسازی مغناطیسی و کود گیاهی پر شده بود. دومین بستر از جنس فوم شناور حاوی گیاه کوایکس لاکریماجویی (Coix lacrymajobi) بوده و سومین بستر تانک فیلتر پر شده با شن بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، وتلندهای ترکیبی حاوی گیاه وتیور راندمان بالایی در حذف فسفر محلول و فسفر کل دارد. Sudarsan et al. (2015). عملکرد تالاب‌های مصنوعی زیر سطحی را در تصفیه فاضلاب شهری مورد بررسی قرار دادند. مدل تالاب مصنوعی در مقیاس آزمایشگاهی مطابق دستورالعمل آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و مرکز کنترل آلودگی آمریکا با ابعاد ۸۰×۱۵۰×۱۲۵ سانتی‌متر و شیب کف ۱٪ ساخته شد. طراحی‌های بر اساس قانون داریسی، با مقطع عرضی $\frac{m^3}{m^2/day}$ و $\frac{0.1}{8}$ جریان ورودی با دبی $\frac{3m^3}{day}$ صورت پذیرفت.

Maxwell et al. (2017). در تحقیقی به بررسی تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی در حذف نیتروژن نیترات پرداختند. جهت پایش سطح آب و تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی برای تعیین میزان کاهش نیترات در جریان زیر سطحی از یک تالاب مصنوعی استفاده شد. با ورود فقط پساب زهکشی، که

طبیعی فسفر بواسطه رشد زیاد جلبک‌ها در آب نشان داده می‌شود که باعث دفع زیادی از زباله‌های غنی از فسفر می‌شود. از آنجا که فسفر ترکیب دهنده اتمسفر جوئی (هوا) ندارد، برخلاف نیتروژن، چرخه فسفر می‌تواند به صورت بسته تعریف شود. حذف و ذخیره فسفر از فاضلاب تنها در داخل خود تالاب مصنوعی می‌تواند باشد (Taghdisian et al., 2018).

فسفر ممکن است در یک سیستم تالاب به وسیله دو عامل زیر یافت شود:

۱- اتصال فسفر در مواد آلی به عنوان یک نتیجه از ترکیب با زیست توده زنده

۲- ته نشینی فسفات‌های نامحلول با ترکیبات آهن، کلسیم و آلومینیوم در خاک‌های تالاب

حذف آلاینده‌ها در تالاب‌های مصنوعی با یکسری از واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی پیچیده‌ای صورت می‌گیرد و شامل فرایندهای مختلفی همچون تجزیه زیستی، جذب و تشکیل بیوفیلم، رسوب گذاری، جذب گیاه و میکروب‌ها و واکنش فیزیکی با مواد است و به دلیل پیچیدگی این فرایندها تعیین مکانیسم حذف برای هر آلاینده را دشوار می‌کند، با این حال تحقیقات گسترده‌ای بر روی تالاب‌ها برای حذف آلاینده‌ها انجام گرفته است؛ اما راندمان حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات و همچنین کاهش غلظت شوری موجود در زهاب‌های کشاورزی آن هم با استفاده از فیلتر ژئولیتی، کم‌تر مورد مطالعه قرار گرفته است. (Bakhshoodeh et al., 2016).

Taheri Ghanad et al. (2014). بررسی اثر نوع گیاه آبی و جنس بستر بر راندمان حذف سرب در تالاب‌های مصنوعی با جریان افقی زیرسطحی مورد مطالعه قرار دادند، در این تحقیق اثر گیاه نی و زمان ماند هیدرولیکی بر بازده حذف سرب در تالاب مصنوعی افقی زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان ماند، بازده حذف افزایش می‌یابد، به طوری که بازده حذف سرب در زمان ماند یک‌روزه معادل ۸۴/۱ درصد و در بهترین شرایط در زمان ماند پنج‌روزه معادل ۸۸/۱ درصد اندازه‌گیری شد و بین متوسط بازده حذف سرب در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) وجود داشت، در صورتی که بین زمان ۵ و ۱۰ روز اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین، با توجه به شرایط این تحقیق، زمان ماند پنج‌روزه برای حذف سرب پیشنهاد گردید. همچنین، نتایج نشان داد با کاهش بار هیدرولیکی جریان از ۱۹/۸ تا ۳/۵ سانتی‌متر بر روز، نسبت غلظت فاضلاب خروجی به ورودی به طور معنی‌دار و به صورت رابطه خطی کاهش یافت. بنابراین، با افزایش زمان ماند و کاهش بار سطحی، فرصت بیشتری برای فرایندهای مؤثر در حذف سرب در

استفاده از تالاب مصنوعی ترکیبی (هیبرید)، با بارگذاری ناپیوسته و در نهایت پیوسته جریان‌های زیرسطحی افقی و عمودی و تاثیر زمان ماند‌های مختلف و غلظت‌های ورودی متفاوت و تاثیر وجود گیاه، مورد بررسی قرار گرفته است.

از اهداف این مطالعه، اولاً، مقایسه راندمان حذف این آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری در تالاب مصنوعی ترکیبی با کاشت گیاه نی (*Phragmites australis*) و حالت بدون گیاه است و دوماً مقایسه راندمان حذف آلاینده‌های مذکور با استفاده از مواد ژئولیتی (کلینوپتیلولیت) به عنوان فیلتراسیون در سامانه تالاب‌های مصنوعی ترکیبی (*al He et al., 2017*)، و نتیجه گیری کلی در مورد اینکه عملکرد کلی این سیستم‌ها در حذف آلاینده‌های زهاب‌های کشاورزی به چه نحوی است.

مواد و روش‌ها

دو سامانه تالاب مصنوعی زیرسطحی با جریان عمودی و افقی در مقیاس پایلوت به ابعاد $1/5m \times 0/5m \times 0/1m$ با استفاده از ورق فلزی به ضخامت ۲ میلی‌متر به صورت متوالی، در دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد. مشخصات سامانه‌ها در جدول (۱) به تفصیل بیان شده است. شهرستان اهواز مرکز استان خوزستان است که در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. براساس شاخص‌های شناخته شده طبقه بندی اقلیمی، این شهرستان دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد. در دوره آماری ۲۰ ساله، میانگین دمای سالانه در اهواز به $25^{\circ}C$ و میانگین بارش سالانه ثبت شده آن به ۲۱۳ میلی‌متر می‌باشد. و دوره مطالعاتی این تحقیق در فاصله زمانی $98/02/01$ تا $98/10/01$ است.

شکل‌های (۱) و (۲)، پایلوت اجرا شده را نشان می‌دهد که بستر هر دو سامانه ابتدا توسط شن بادامی به ابعاد (۲-۳mm)، طبق استاندارد و توصیه (EPA) بعنوان ماده بستر به ارتفاع $0/1m$ پر شد، سپس اطراف محیط لوله زهکش به ارتفاع $0/2m$ از ترکیب شن و ژئولیت کلینوپتیلولیت به نسبت ۷۰ به ۳۰ پر گردید و روی آن توسط خاک زراعی به ارتفاع $0/4m$ مطابق با مشخصات فیزیکی و شیمیایی جدول (۲) قرار گرفت و در انتها لایه ای به ضخامت $0/1m$ از گراول بر روی سطح خاک تا لبه سامانه را پر نمود. سطح آب در سامانه همواره به صورت اشباع بر روی سطح بستر نگهداری شد و نتیجتاً عمق آب موجود بر روی خروجی مدل برابر $0/7m$ است. (Golkari et al., 2016).

دارای غلظت متوسط نیترات به عنوان نیتروژن (NO_3-N) برابر با $19/80$ میلی‌گرم در لیتر بود. در نهایت مشاهده گردید که، همانطور که آب در زیر سطح زمین به مسیر خود ادامه داده و از بستر تالاب خارج می‌شود، غلظت NO_3-N به $10/99$ میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌یابد، که معادل $44/5$ درصد کاهش می‌باشد. این کاهش در فاصله ۴۷ متری از بستر تالاب رخ می‌دهد، که نشان دهنده $0/16$ میلی‌گرم در لیتر کاهش NO_3-N به ازای هر متر طی مسیر از بستر تالاب می‌باشد.

(Badieifar and Golestani Iraqi, 2020). که با استفاده از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت رسیدن به بهترین کیفیت پساب خروجی و کاهش آلاینده‌های COD، نیترات و فسفر از تصفیه خانه فاضلاب ماراگوده شهر بندر انزلی را مورد بررسی قرار دادند، اقدام به ساخت چهار پایلوت (تالاب مصنوعی) در قالب تالاب ترکیبی (هیبریدی) متشکل از تالاب افقی و قائم در منطقه غرب بندر انزلی نمودند. ابعاد تالاب‌های افقی $1/5 \times 6$ متر به عمق ۱ متر و تالاب‌های افقی پیوسته به ابعاد $1/5 \times 3$ به عمق $1/5$ متر که متشکل از شن و ماسه محلی و لایه ای شن و ماسه سیلیسی بود. از این چهار تالاب مصنوعی یکی تالاب شاهد بوده و در سه تالاب دیگر از گیاهان نی، لویی و نخل مرداب استفاده گردید. این آزمایش در طی ۱۲ ماه صورت پذیرفت و نمونه‌برداری‌ها در پایان هر ماه انجام پذیرفت. بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان داد در حذف COD تالاب گیاه نخل مرداب بهترین عملکرد را با میانگین راندمان $86,35$ درصد حذف داشته است، در حذف نیترات تالاب گیاه نی بهترین عملکرد را با میانگین راندمان $55/07$ درصد حذف داشته و همچنین در حذف فسفر تالاب گیاه نی بهترین عملکرد را با میانگین راندمان $61/31$ درصد حذف داشته است.

نظر به اینکه اغلب تحقیقات صورت گرفته معطوف به بررسی تالاب‌های مصنوعی زیر سطحی (افقی یا عمودی) بوده و یا بررسی تالاب‌های ترکیبی در مورد حذف آلاینده‌هایی از قبیل فلزات سنگین می‌باشد و همچنین اینکه در هیچ یک از تحقیقات انجام شده از مواد اصلاحی اضافی به عنوان بستر فیلتراسیون در بستر تالاب استفاده نشده است، در پژوهش حاضر برای نخستین بار عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی جهت حذف آلاینده‌ها و املاح موجود در زهاب مزارع کشاورزی با استفاده از مواد فیلتراسیون ژئولیتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در این تحقیق، راندمان حذف آلاینده‌های نیترات، فسفات و همچنین غلظت شوری موجود در زهاب‌های کشاورزی، با

سامانه‌های تالابی ترکیبی در ۴ حالت مطابق جدول (۳) صورت پذیرفت. قابل ذکر است که به موازات اجرای آزمایشات سامانه‌های ترکیبی، نمونه‌گیری از سامانه‌های عمودی و افقی به صورت مجزا نیز انجام گردید.

سامانه‌های طراحی شده به نحوی مورد مطالعه قرار گرفتند که در ابتدا تالاب‌ها به صورت شاهد که فاقد ژئولیت در بستر خود و بدون گیاه بودند به دو روش تالاب مصنوعی زیرسطحی با جریان افقی (H0) و تالاب مصنوعی زیرسطحی با جریان عمودی (V0) در نظر گرفته شدند. در ادامه آزمایشات مربوط به کارایی

جدول ۱- مشخصات سامانه‌های مورد بررسی

نام سامانه	C _۰	C _۰	ابعاد (m)		گیاه	مواد بستر		
			ش	ش		ش	ش	ش
H۰	۱/۵	۱	۰/۸	۱	بدون گیاه	۰	۰/۳	۰/۴
H۱	۱/۵	۱/۸	۰/۸	۱/۸	بدون گیاه	۰/۲	۰/۱	۰/۴
H۲	۱/۵	۱	۰/۸	۱	بدون گیاه	۰/۲	۰/۱	۰/۴
H۳	۱/۵	۱/۸	۰/۸	۱/۸	نی محلی	۰/۲	۰/۱	۰/۴
H۴	۱/۵	۱	۰/۸	۱	نی محلی	۰/۲	۰/۱	۰/۴
V۰	۱/۵	۱/۸	۰/۸	۱/۸	بدون گیاه	۰	۰/۳	۰/۴
V۱	۱/۵	۱	۰/۸	۱	بدون گیاه	۰/۲	۰/۱	۰/۴
V۲	۱/۵	۱/۸	۰/۸	۱/۸	بدون گیاه	۰/۲	۰/۱	۰/۴
V۳	۱/۵	۱	۰/۸	۱	نی محلی	۰/۲	۰/۱	۰/۴
V۴	۱/۵	۱/۸	۰/۸	۱/۸	نی محلی	۰/۲	۰/۱	۰/۴

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در مدل‌های مورد بررسی

خصوصیات فیزیکی	واحد	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	خصوصیات شیمیایی	مقدار	واحد
درصد ذرات	-	۲۶٫۷	۴۴٫۱	۲۹٫۲	غلظت نیترات	۰/۵۶	mg/kg
جرم مخصوص ظاهری	g ^۳ /cm ^۳		۱/۲۸		غلظت فسفات	۰/۰۰۲	mg/kg
					غلظت شوری (EC)	۵/۷	ds/m
					pH	۷/۴	-

جدول ۳- مشخصات آزمایش‌های صورت گرفته

کد آزمایش	نوع آزمایش	وجود گیاه	وجود فیلتر ژئولیتی	نمونه‌های اخذ شده
R۰	شاهد	×	×	H۰= عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی V۰= عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی
R۱	سامانه ترکیبی افقی - عمودی	×	✓	H۱= عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی V۱= عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی افقی - عمودی
R۲	سامانه ترکیبی عمودی - افقی	×	✓	V۲= عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی H۲= عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی عمودی - افقی
R۳	سامانه ترکیبی افقی - عمودی	✓	✓	H۳= عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی V۳= عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی افقی - عمودی
R۴	سامانه ترکیبی عمودی - افقی	✓	✓	V۴= عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی عمودی H۴= عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی عمودی - افقی



شکل ۲- سامانه بدون گیاه



شکل ۱- ورودی و خروجی سامانه

شرایط ناپیوسته (batch) انجام پذیرفت و پس از تعیین سطوح بهینه پارامترهای مورد نظر، آزمایشات جذب بر روی سامانه‌های مدنظر اجرا گردید.

در این تحقیق کلیه آزمایش‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد ذکر شده در مراجع معتبر مانند روش استاندارد مرکز حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) به دقت انجام پذیرفت. کلیه آزمایشات در ارلن‌های ۱۰۰ میلی لیتری و در دمای اتاق ($25 \pm$) درجه سانتی‌گراد انجام شد. کانی ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت از نوع سدیک پتاسیک تهیه شده از معدن سمنان در اندازه‌های با قطر ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون خرد شد و پس از شستشو در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید.

به منظور فعال سازی سایت‌های جذب در سطح جاذب نمونه‌های آماده شده در مرحله اول به مدت ۴۸ ساعت در محلول سولفات آمونیوم ۰/۲۵ مولار قرار گرفتند و بعد از آبکشی با آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در محلول ۱ مولار نمک طعام قرار داده شدند. سپس نمونه‌های ژئولیت آبکشی شدند و بعد از خشک نمودن جهت انجام آزمایشات نگهداری گردیدند (Taghdisian *et al.*, 2018).

با توجه به نمونه‌گیری‌های انجام گرفته شده از زهاب خروجی مزارع واقع در جنوب استان خوزستان، میزان نیترات، فسفات و EC در زهاب خروجی در فصل کوددهی به ترتیب برابر ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. محلول‌های مورد آزمایش در مرحله بررسی جذب ناپیوسته، ابتدا به روش استاندارد و با استفاده از نیترات پتاسیم، منو فسفات پتاسیم و سدیم کلراید، به ترتیب با غلظت اولیه ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تهیه و سپس با استفاده از محلول‌های مذکور و به روش رقیق کردن، غلظت‌های مورد نیاز در آزمایشات مطابق جدول (۴) تهیه گردیدند.

به منظور بررسی تأثیر جاذب کلینوپتیلولیت بر روی جذب شوری و آلاینده‌ها در محلول آبی در آزمایش‌های جذب ناپیوسته (batch)، به بررسی تأثیر هشت پارامتر هر کدام در ۵ سطح پرداخته شد. پارامترهای مؤثر بر جذب آلاینده‌ها و شوری در سطوحی مطابق جدول (۵) در نظر گرفته شدند.

در راستای بررسی اثر پارامترهای مذکور بر فرآیند جذب توسط جاذب کلینوپتیلولیت، همچنین بررسی اثر سطوح مختلف هر پارامتر، نیازمند انجام آزمایش‌های بسیار زیاد و مختلف ($5^8 = 390625$) برای اعمال اثرات تمام خواهد بود. به دلیل بالا بودن حجم این مقدار کار، نبود امکان انجام تمامی این آزمایش‌ها هم به دلیل وقت و امکانات، استفاده از روش طراحی آزمایشات

گیاه نی مورد استفاده (*Phragmites australis*) از نيزار موجود در حاشیه تالاب بامدژ در فاصله ۴۰ km از سیستم پایلوت جمع آوری شد. تمام گیاهان مطابق مشخصات ارائه شده در جدول (۴)، دارای ارتفاع و ویژگی‌های تقریباً یکسان در میزان و طول ریشه‌ها، برگ و ساقه بودند. متوسط ارتفاع بافت روسطحی گیاه در سلول‌ها حدود ۲۰ cm بود. گیاهان پس از انتقال به محل پایلوت به خوبی شسته شده و گل و لای چسبیده به بافت‌های زیرسطحی آن برای جلوگیری از مشکل گرفتگی بستر و عدم ایجاد آلودگی ناخواسته در آزمایشات، به خوبی پاک سازی شد. گیاه مطابق شکل (۳)، به صورت نشاکاری در سیستم مورد نظر کاشته و با توجه به اینکه در مراحل اولیه کشت به دلیل عدم ثبات ریشه و سازگاری با محیط کشت جدید آبیاری با زهاب طبیعی باعث ایجاد تنش به گیاه می‌شود، به مدت ۱ ماه آبیاری با آب معمولی انجام پذیرفت و پس از سپری شدن این مدت زمان، آبیاری با زهاب شبیه سازی شده و با سطوح مختلف غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات و ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر فسفات انجام شد. به منظور جلوگیری از آثار پژمردگی آبیاری به صورت یک در میان مطابق یک برنامه آبیاری، با زهاب و آب معمولی صورت پذیرفت (Cooper *et al.*, 1996; Calheiros *et al.*, 2008). تراکم در نظر گرفته شده برای گیاه در بستر به صورت یکسان و با فاصله ۳۰ cm بود.

جدول ۴- آنالیز گیاه نی براساس وزن تر

مواد	درصد
رطوبت	۸۵
چربی خام	۲۴/۱
فیبر خام	۱۳/۴
پروتئین	۲۲/۱
مواد نشاسته‌ای	۵۵/۶
خاکستر کل (مواد معدنی)	۸۶/۱



شکل ۳- گیاه نی کشت شده در سامانه تالاب مورد بررسی

پیش از اجرای آزمایشات بر روی سامانه‌های تالابی ساخته شده، ابتدا به منظور تعیین سطوح بهینه پارامترهای مؤثر بر جذب آلاینده‌ها و شوری ابتدا کارایی ژئولیت کلینوپتیلولیت در حذف آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری صورت آزمایشگاهی و در

می‌باشد. پس از بررسی‌های لازم روش تاگوچی با استفاده از نرم افزار Minitab انتخاب گردید.

(Design of experiments) در دستور کار این تحقیق قرار گرفت. از جمله این روش‌ها، روش طراحی و تحلیل آزمایشات تاگوچی

جدول ۵- سطوح پارامترهای مورد آزمایش در آزمایش‌های جذب ناپیوسته

سطوح مورد بررسی	واحد	پارامتر مورد بررسی
۱۰-۸-۷-۵-۲	-	PH
۱۰۰۰-۸۰۰-۴۰۰-۲۰۰-۱۰۰	μm	قطر جاذب
۱۲۰-۱۰۰-۸۰-۶۰-۲۰	mg/lit	غلظت نیترات
۴۰-۲۰-۱۰-۵-۲	mg/lit	غلظت فسفات
۱۲-۱۰-۸-۶-۴	ds/m	غلظت شوری (EC)
۳۰-۲۰-۱۰-۵-۲	g^2/lit	غلظت جاذب
۱۲۰-۹۰-۶۰-۳۰-۱۵	Min	زمان تماس
۵۰-۴۰-۳۵-۲۵-۱۵	$^{\circ}C$	دمای محیط

دمای $4^{\circ}C$ نگهداری یا یخچال تا روز آنالیز نگه‌داری شدند. آنالیز آماری داده‌های حاصل از تحقیق با استفاده از نرم افزار Minitab انجام گرفت. حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از معیار^۱ (SD) داده‌ها تعیین گردید. به منظور بررسی معناداری و همبستگی داده‌های تحقیق، آزمون‌های^۲ ANOVA و رگرسیون با استفاده از نرم افزار مذکور انجام گرفت. نمودارهای مورد نیاز نیز با استفاده از نرم افزار MS Excel رسم گردید.

یافته‌ها

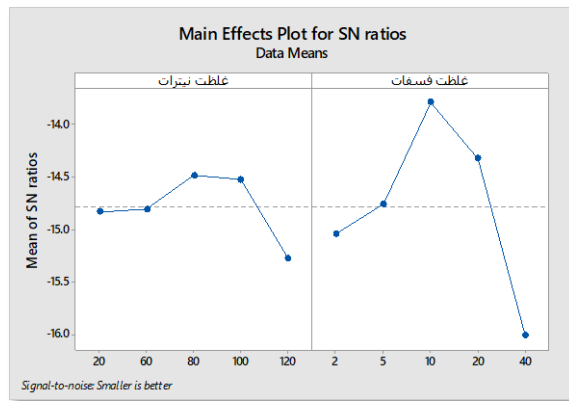
آزمایشات جذب ناپیوسته

پس از معرفی و وارد کردن پارامترها و مقادیر آن‌ها به نرم افزار مینی‌تب طبق دستورالعمل روش تاگوچی تعداد ۱۲۵ آزمایش برای تجزیه و تحلیل چهار پارامتر مورد آزمایش طراحی گردید. پس از انجام آزمایش‌های مقدار نیترات جذب شده بر حسب میلی‌گرم بر لیتر برای هر آزمایش وارد نرم افزار گردید. قابل ذکر است که نمودارها و تحلیل‌های خروجی بر اساس نسبت پیام به بی‌نظمی ارائه می‌گردند که بیانگر این است که هرچه مقدار نسبت پیام به بی‌نظمی در هر سطح از پارامترها بیشتر باشد، ایجاد مزاحمت سایر عوامل برای رسیدن به هدف مورد نظر در آزمایش کمتر بوده لذا آن سطح از پارامتر بهترین سطح می‌باشد. همچنین پارامتری که مقادیر نسبت پیام به بی‌نظمی در سطوح مختلفش دارای تغییرات کم و نزدیک به هم می‌باشند از اهمیت کمتری برای نیل به هدف مورد نظر برخوردار است.

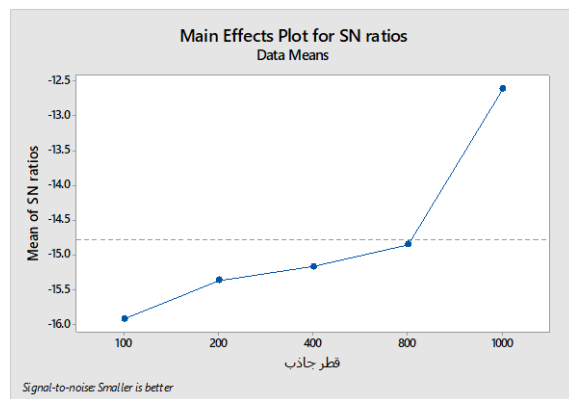
بر اساس دستورالعمل روش تاگوچی، جهت طراحی و تحلیل آزمایش‌هایی که پارامترهای مورد بررسی آن از ۵ سطح تشکیل شده‌اند، تعداد ۱۲۵ آزمایش مختلف تعریف و طراحی می‌گردد. تمامی آزمایشات طراحی شده توسط روش تاگوچی حداقل در ۲ تکرار انجام خواهند پذیرفت. جهت اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها و شوری در آزمایشات، از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل DR-۵۰۰۰ شرکت HACH با طول موج ۲۷۵nm و مطابق با استاندارد متد ۱۰۰۴۹ این دستگاه، استفاده گردید.

پس از انجام آزمایشات طبق دستور کار روش تاگوچی، سطوح بهینه هر یک از ۸ پارامتر مورد بررسی، پارامترهایی با بیشترین تأثیر در فرآیند جذب توسط جاذب کلینوپتیلولیت و بازده کلی جذب توسط جاذب تعیین گردید که این نتایج حاصله به منظور استفاده در آزمایشات جذب پیوسته سامانه‌های تالابی مورد آزمایش طبق سطوح بهینه پارامترها، انجام پذیرفت.

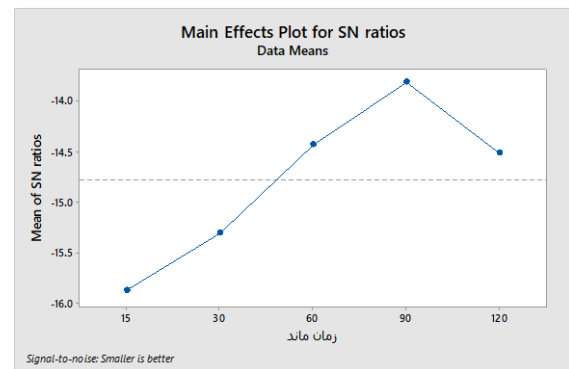
در خروجی تالاب‌ها از لوله‌های پلی اتیلن متخلخل زهکشی به قطر ۱۲۵ میلی‌متر استفاده شد. تالاب‌ها بصورت پیوسته توسط زهاب طبیعی مزارع واقع در جنوب استان خوزستان با غلظت‌های نیترات ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، فسفات ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و EC برابر با ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در هر آزمایش تغذیه می‌شدند. نمونه‌برداری نمونه‌ها به صورت روزانه و از تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۰۱ لغایت ۱۳۹۸/۱۰/۰۱ به مدت ۳۶ روز انجام شد. نمونه‌گیری در ساعت ۱۵ هر روز انجام می‌گرفت. تعداد نمونه‌ها در هر نوبت نمونه‌گیری شامل ۲ نمونه خروجی از هر سامانه بود. نمونه‌گیری در ظروف پلی اتیلن به حجم ۸۰ میلی‌لیتر، و از محل خروجی تالاب‌ها انجام شده و سپس در یک محفظه تاریک و در



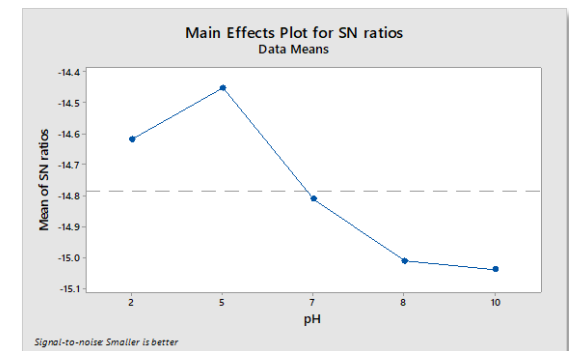
نمودار ۱- نمودار تغییرات میزان جذب آلاینده‌ها نسبت به تغییرات غلظت فسفات و نیترات



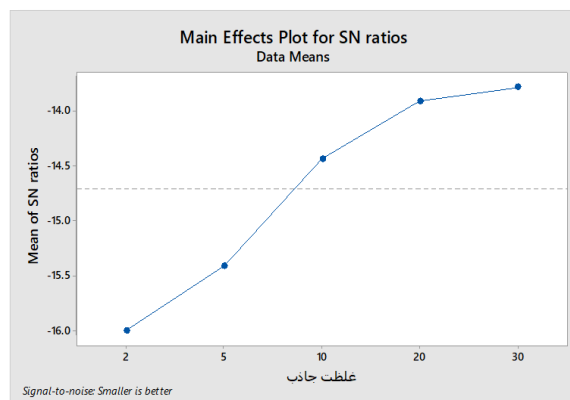
نمودار ۲- نمودار تغییرات میزان جذب آلاینده‌ها نسبت به تغییرات قطر ذرات زئولیت



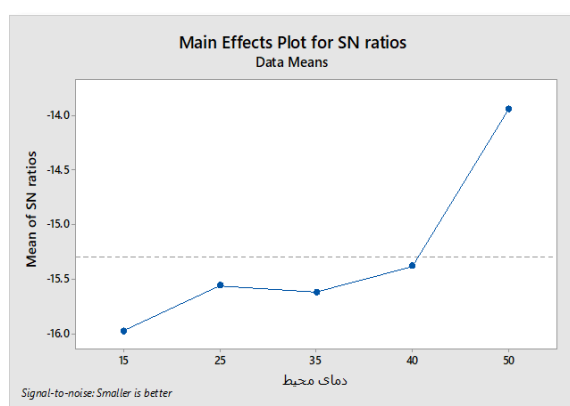
نمودار ۳- نمودار تغییرات میزان جذب آلاینده‌ها نسبت به تغییرات زمان ماند



نمودار ۴- نمودار تغییرات میزان جذب آلاینده‌ها نسبت به تغییرات اسیدیته



نمودار ۵- نمودار تغییرات میزان جذب آلاینده‌ها نسبت به تغییرات غلظت ژئولیت



نمودار ۶- نمودار تغییرات میزان جذب آلاینده‌ها نسبت به تغییرات دمای محیط

Adinehvand *et al.* (2016)، در پژوهش خود که حذف روی از محلول آبی را توسط ژئولیت کلینوپتیلولیت مورد بررسی قرار داده بودند، به این نتایج دست یافته‌اند. طبق نمودار تغییرات قطر ژئولیت، قطر ذرات جاذب با قطر ۱۰۰۰ میکرومتر، بیشترین میزان ظرفیت جذب جاذب را از خود نشان می‌دهد.

یکی از عوامل مؤثر بر فرآیند جذب، غلظت اولیه یون می‌باشد. افزایش غلظت اولیه یون، باعث افزایش میزان جذب در واحد جرم جاذب می‌شود، ولی با افزایش غلظت اولیه ماده جذب شونده، درصد جذب کاهش می‌یابد (su *et al.*, 2009).

طبق نمودار (۳)، در آخرین مرحله با توجه به اهمیت زمان تماس آلاینده با سطح، اثر زمان تماس در بازه زمانی ۱۵ تا ۱۲۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت که زمان مناسب حدود ۹۰ دقیقه به دست آمد، و از آن زمان به بعد با توجه به اشباع شدن سایت‌های جذب جاذب، با کاهش روند جذب مواجه خواهیم شد که با نتایج بدست آمده توسط (Deblina and Gopal (2010 که به بررسی حذف آلاینده‌ها از آب‌های آلوده به وسیله سامانه تالاب مصنوعی پرداخته بودند، تطابق دارد.

با توجه به اهمیت بار سطحی بر روی جاذب در پدیده جذب لازم است تاثیر pH بر فرآیند در بازه pH ۲ تا ۱۰ بررسی گردد.

چنانچه در نمودار (۱) مشاهده می‌شود به طور کلی با افزایش غلظت اولیه یون، افزایش میزان جذب در واحد جرم جاذب رخ می‌دهد بیشترین میزان حذف نیترات در غلظت ۸۰ ppm رخ می‌دهد و این روند تا غلظت ۱۰۰ ppm بصورت تقریباً ثابت ادامه دارد به طوریکه یون‌های آلاینده قادرند با مکان‌های جذب موجود بر سطح جاذب برهم‌کنش داشته و لذا مقدار جذب بیشتری صورت گرفته است. از این غلظت به بعد با افزایش غلظت آلاینده به دلیل اشباع شدن موقعیت‌های جذب و کاهش ظرفیت سایت‌های در دسترس بر روی سطح جاذب میزان جذب آلاینده روند نزولی طی می‌کند. پیش از این شارما و همکاران در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی به منظور حذف نیترات از آب زیرزمینی توسط جاذب طبیعی به این نتایج دست یافته‌اند (Sharma and Sobti, 2012).

اندازه ذرات و سطح جسم جاذب، مهمترین خصوصیت ماده جاذب مورد استفاده است. معمولاً مواد جاذب دارای خلل و فرج زیادی در سطح خود می‌باشند و دانه‌های آنها نیز به شکل کروی و یا شکل‌های نامنظم می‌باشد. مطابق نمودار (۲) به طور کلی با افزایش اندازه ذرات جاذب، میزان جذب افزایش می‌یابد، علت این امر افزایش سطح تماس جاذب با مواد جذب شونده است. پیش‌تر

به منظور ارزیابی تأثیر این عامل بر فرآیند کاهش آلاینده‌ها در بازه ۱۵-۵۰ درجه سلسیوس اندازه گیری شد که اثر آن چنانچه در نمودار (۶) ملاحظه میگردد در دماهای زیر ۵۰ درجه سلسیوس ناچیز بوده است. همچنین در اکثر مراجع تغییرات دما تا محدوده ۴۰-۴۵ درجه سانتی گراد، تأثیر قابل توجهی بر راندمان حذف آلاینده‌ها (نیترات و فسفات) از آب ندارد چرا که برای آبهای زیرزمینی گرادیان دما به صورت قابل توجهی وجود ندارد (Eshraghi *et al.*, 2018).

بهترین شرایط جذب

با انجام آزمایش تحت بهترین سطوح که در جدول (۶) ارائه شده است، میزان جذب ۷۶ درصد به دست آمد که با پیش‌بینی روش تاگوچی که میزان جذب در بهترین سطوح را ۷۳/۳ درصد برآورد نموده تقریباً مطابقت دارد.

بر اساس تحلیل‌های آماری نرم‌افزار مینی‌تب، اثر هشت پارامتر مورد بررسی جهت حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات و شوری توسط ژئولیت کلینوپتیلولیت تحلیل گردید. همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌گردد که غلظت نیترات و فسفات اولیه محلول، دما و زمان ماند مورد مطالعه در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار بر بازدهی حذف داشته است.

نتایج این امر در نمودار (۴) آورده شده است با ملاحظه این نمودار مشخص می‌گردد، $pH=5$ به عنوان pH بهینه معرفی می‌گردد. با توجه به این مهم که نیترات و فسفات آنیون بوده‌اند و دارای بار منفی هستند و از سوی دیگر جاذب جهت جذب بایستی دارای بار مثبت گردد. بنابراین در محیط اسیدی که بار محلول مثبت است بیشترین میزان تماس آلاینده‌ها با سطح جاذب فراهم شده و بالاترین راندمان در نقطه $pH=5$ بوقوع می‌پیوندد. شایان ذکر است که اکثر تحقیقات صورت گرفته نیز بر این یافته اشاره دارند (Bhatnagar and Sillanpää, 2011, Mohammad *et al.*, 2010).

برای بهینه سازی مقادیر جاذب مصرفی مقادیر ۲-۵-۱۰-۲۰-۳۰ گرم جاذب مورد بررسی قرار گرفت که مقدار ۳۰ گرم به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد. نمودار (۵) رفتار این پارامتر را نشان می‌دهد. چنانچه در نمودار مشاهده می‌گردد با افزایش میزان بارگذاری جاذب روند جذب صعودی بوده و در نقطه بهینه به بیشینه جذب می‌رسد و آنطور که به نظر می‌رسد از این پس شیب نمودار روند جذب علیرغم افزایش میزان جاذب کاهش و در ادامه ثابت باقی می‌ماند. زیرا با وجود افزایش سایت‌های فعال جهت جذب آلاینده، بار آلودگی ثابت بوده و بنابراین افزایش سطح در دسترس برای جذب تغییری در روند کاهش میزان غلظت آلاینده ندارد (Eshraghi *et al.*, 2018).

جدول ۶- بهترین سطوح پارامترهای مورد آزمایش

پارامتر مورد بررسی	واحد	سطح بهینه
PH	-	۵
قطر جاذب	μm	۱۰۰۰
غلظت نیترات	mg/lit	۸۰
غلظت فسفات	mg/lit	۱۰
غلظت شوری (EC)	ds/m	۱۲
غلظت جاذب	gr/lit	۳۰
زمان تماس	Min	۹۰
دمای محیط	$^{\circ}C$	۵۰

جدول ۷- جدول تجزیه واریانس پارامترهای مورد آزمایش

منابع	درجه آزادی	مجذور مربعات	میانگین مربعات	F	P
قطر ذرات ژئولیت	۴	۱۱/۳۱	۲/۸۳	۰/۳۳	۰/۸۰۹ ^{ns}
غلظت نیترات اولیه	۴	۲۱۹/۳۵	۵۴/۸۴	۸/۶۴	۰/۰۳۳ [*]
غلظت فسفات اولیه	۴	۱۳۷/۶۴	۳۴/۴۱	۵/۹۴	۰/۰۲۱ [*]
غلظت شوری	۴	۲۱/۳۴	۵/۳۴	۰/۸۱	۰/۳۳۱ ^{ns}
دما	۴	۱۳۴/۱۳	۳۳/۵۳	۵/۱۴	۰/۰۵۶ [*]
غلظت ژئولیت	۴	۱۳/۱۷	۳/۲۹	۰/۵۹	۰/۷۲۹ ^{ns}
اسیدیته	۴	۱۹/۰۰	۴/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۸۴ ^{ns}
زمان ماند	۴	۱۳۷/۹۱	۳۴/۴۸	۶/۰۹	۰/۰۴۲ [*]
خطا	۴	۳۴/۷۶	۸/۶۹		
کل	۳۶	۷۲۸/۴۳			

* در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. ns عدم معنی‌داری

با توجه به محدود بودن ظرفیت منبع زهاب ورودی به سامانه‌ها،

آزمایشات جذب بر روی سامانه‌های تالابی

صورت بازه‌های ۶ روزه ارائه شده است.

به منظور بررسی میزان حذف نیترات، در تمام مدل‌های مورد بررسی سامانه‌های تالابی، درصد‌های حذف نیترات، با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، در تالاب شاهد بدون گیاه و فیلتر ژئولیتی، برابر ۵۰/۵۲٪ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و ۳۴/۷۸٪ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی، در تالاب بدون گیاه و به همراه فیلتر ژئولیتی برابر ۵۵/۵۸٪ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و ۵۳/۹۱٪ برای تالاب با جریان عمودی و در تالاب با کاشت نی محلی و به همراه فیلتر ژئولیتی برابر ۵۹/۷۲٪ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و ۵۷/۹۴٪ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی مشاهده گردید.

pH و غلظت آلاینده‌های ورودی در کلیه حالت آزمایش یکسان و به ترتیب دارای مقادیر ۵، ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات، ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفات و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد.

چگونگی تغییرات راندمان حذف آلاینده‌های موجود در زهاب ورودی به تالاب‌ها نسبت به تغییرات غلظت آلاینده ورودی و حالت‌های مختلف ترکیبی و شاهد و همچنین تاثیر وجود گیاه نی در جدول‌های (۸ الی ۱۳) آورده شده است. که در این جدول-ها، نتایج آزمایش‌های مورد بررسی همانطور که در جدول (۳) تعریف شد، ارائه گردیده‌اند. مقادیر Ce و Re% به ترتیب بیانگر غلظت خروجی از مدل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و راندمان حذف آلاینده بر حسب درصد می‌باشند. همچنین خروجی نتایج به

جدول ۸- نتایج تغییرات غلظت آلاینده نیترات در تالاب مصنوعی بدون گیاه نی (بازه زمانی ۶ روزه)

#	H1-0	H6-0	H12-0	H18-0	H24-0	H30-0	H36-0		
	۷۴/۹۱۹	۶۰/۳۱۶	۵۴/۷۸۸	۵۰/۰۰۹	۴۳/۸۴۸	۴۱/۱۰۱	۳۹/۵۸۲	Ce	آزمایش H۰
	٪ ۶/۳۵	٪ ۲۴/۶۰	٪ ۳۱/۵۲	٪ ۳۷/۴۹	٪ ۴۵/۱۹	٪ ۴۸/۶۲	٪ ۵۰/۵۲	Re%	
#	V1-0	V6-0	V12-0	V18-0	V24-0	V30-0	V36-0		
	۷۹/۱۹۹	۷۳/۳۵۰	۷۰/۹۰۶	۶۵/۸۴۴	۶۰/۶۴۶	۵۵/۴۵۶	۵۲/۴۷۹	Ce	آزمایش V۰
	٪ ۱/۰۰	٪ ۸/۳۱	٪ ۱۱/۳۷	٪ ۱۷/۷۰	٪ ۲۴/۱۹	٪ ۳۰/۶۸	٪ ۳۴/۷۸	Re%	
#	V1-2	V6-2	V12-2	V18-2	V24-2	V30-2	V36-2		
	۷۹/۱۸۶	۷۷/۱۹۵	۷۲/۲۷۵	۶۷/۵۵	۵۸/۱۷۵	۳۸/۶۰	۳۶/۸۷۵	Ce	آزمایش R۲
	٪ ۰/۱۸	٪ ۲/۵۶	٪ ۹/۶۶	٪ ۱۵/۵۶	٪ ۲۷/۲۸	٪ ۵۱/۷۵	٪ ۵۳/۹۱	Re%	
#	H1-2	H6-2	H12-2	H18-2	H24-2	H30-2	H36-2		
	۷۶/۲۱	۶۵/۸۸	۶۱/۳۶	۵۸/۱۷	۴۵/۹۵	۳۸/۵۵	۳۴/۲۸	Ce	
	٪ ۴/۷۴	٪ ۱۷/۶۵	٪ ۲۳/۳۰	٪ ۲۷/۲۹	٪ ۴۲/۵۷	٪ ۵۱/۸۱	٪ ۵۷/۱۶	Re%	
#	H1-1	H6-1	H12-1	H18-1	H24-1	H30-1	H36-1		
	۷۸/۴۳	۷۶/۵۹	۷۳/۵۹	۶۸/۶۹	۵۹/۲۴	۴۱/۰۴	۳۵/۵۴	Ce	آزمایش R۱
	٪ ۱/۹۶	٪ ۴/۲۶	٪ ۸/۰۲	٪ ۱۴/۱۴	٪ ۲۵/۹۴	٪ ۴۸/۷۰	٪ ۵۵/۵۸	Re%	
#	V1-1	V6-1	V12-1	V18-1	V24-1	V30-1	V36-1		
	۷۱/۶۹	۶۸/۴۶	۶۴/۴۸	۶۰/۹۳	۴۹/۱۵	۳۵/۷۳	۳۱/۶۸	Ce	
	٪ ۱۰/۳۹	٪ ۱۴/۴۲	٪ ۱۹/۴۰	٪ ۲۳/۸۴	٪ ۳۸/۵۶	٪ ۵۵/۳۴	٪ ۶۰/۴۰	Re%	

جدول ۹- نتایج تغییرات غلظت آلاینده نیترات در تالاب مصنوعی با کاشت گیاه نی (بازه زمانی ۶ روزه)

#	V1-4	V6-4	V12-4	V18-4	V24-4	V30-4	V36-4		
	۷۵/۲۳	۶۷/۴۰	۶۲/۳۰	۵۹/۲۷	۴۷/۵۱	۳۶/۷۵	۳۳/۶۵	Ce	آزمایش R۴
	٪ ۶	٪ ۱۶	٪ ۲۲	٪ ۲۶	٪ ۴۱	٪ ۵۴	٪ ۵۷/۹۴	Re%	
#	H1-4	H6-4	H12-4	H18-4	H24-4	H30-4	H36-4		
	۵۹/۵۳	۵۱/۸۸	۴۸/۲۳	۴۶/۳۴	۴۰/۳۰	۲۹/۵۳	۲۷/۳۵	Ce	
	٪ ۲۶	٪ ۳۵	٪ ۴۰	٪ ۴۲	٪ ۵۰	٪ ۶۳	٪ ۶۵/۸۱	Re%	
#	H1-3	H6-3	H12-3	H18-3	H24-3	H30-3	H36-3		
	۷۰/۵۹	۶۳/۹۳	۵۸/۲۳	۵۳/۸۲	۴۸/۷۲	۳۹/۶۰	۳۲/۲۳	Ce	آزمایش R۳
	٪ ۱۲	٪ ۲۰	٪ ۲۷	٪ ۳۳	٪ ۳۹	٪ ۵۰	٪ ۵۹/۷۲	Re%	
#	V1-3	V6-3	V12-3	V18-3	V24-3	V30-3	V36-3		
	۵۳/۸۰	۴۳/۷۵	۳۹/۹۱	۳۶/۸۷	۲۹/۰۵	۲۵/۲۳	۲۴/۴۹	Ce	
	٪ ۳۳	٪ ۴۵	٪ ۵۰	٪ ۵۴	٪ ۶۴	٪ ۶۸	٪ ۶۹/۳۹	Re%	

جدول ۱۰- نتایج تغییرات غلظت آلاینده فسفات در تالاب مصنوعی بدون گیاه نی (بازه زمانی ۶ روزه)

H۳۶-۰	H۳۰-۰	H۲۴-۰	H۱۸-۰	H۱۲-۰	H۶-۰	H۱-۰	#	
۸/۹۲۷	۹/۰۸۸	۹/۲۵۳	۹/۴۲۵	۹/۵۹۳	۹/۷۶۶	۹/۹۱۵	Ce	آزمایش H۰
% ۱۰/۱۷۴	% ۹/۱۲	% ۷/۴۷	% ۵/۷۸	% ۴/۰۷	% ۲/۳۲	% ۰/۸۵	Re%	
V۳۶-۰	V۳۰-۰	V۲۴-۰	V۱۸-۰	V۱۲-۰	V۶-۰	V۱-۰	#	
۹/۲۲۹	۹/۳۴۴	۹/۴۷۹	۹/۶۰۳	۹/۷۳۴	۹/۸۶۸	۱۰	Ce	آزمایش V۰
% ۷/۷۷	% ۶/۵۳	% ۵/۲۶	% ۳/۹۷	% ۲/۶۵	% ۱/۳۱	% ۰	Re%	
V۳۶-۲	V۳۰-۲	V۲۴-۲	V۱۸-۲	V۱۲-۲	V۶-۲	V۱-۲	#	
۸/۵۵۲	۸/۷۶۰	۸/۹۷۳	۹/۱۹۱	۹/۴۱۶	۹/۶۵	۹/۸۴	Ce	آزمایش R۲
% ۱۴/۴۸	% ۱۲/۴۰	% ۱۰/۲۷	% ۸/۰۸	% ۵/۸۴	% ۳/۵۰	% ۱/۶۰	Re%	
H۳۶-۲	H۳۰-۲	H۲۴-۲	H۱۸-۲	H۱۲-۲	H۶-۲	H۱-۲	#	
۶/۷۰	۷/۰۲	۷/۳۶	۷/۷۳	۸/۱۳	۸/۵۵	۸/۹۳	Ce	آزمایش R۱
% ۳۲/۹۵	% ۲۹/۷۷	% ۲۶/۳۶	% ۲۲/۶۹	% ۱۸/۷۵	% ۱۴/۵۰	% ۱۰/۷۰	Re%	
H۳۶-۱	H۳۰-۱	H۲۴-۱	H۱۸-۱	H۱۲-۱	H۶-۱	H۱-۱	#	
۶/۸۵	۷/۱۸	۷/۵۳	۷/۹۱	۸/۳۲	۸/۷۶	۹/۱۵	Ce	آزمایش R۱
% ۳۱/۵۲	% ۲۸/۲۳	% ۲۴/۷۱	% ۲۰/۹۱	% ۱۶/۸۳	% ۱۲/۴۳	% ۸/۵۰	Re%	
V۳۶-۱	V۳۰-۱	V۲۴-۱	V۱۸-۱	V۱۲-۱	V۶-۱	V۱-۱	#	
۶/۳۴	۶/۷۱	۷/۱۱	۷/۵۵	۸/۰۳	۸/۵۶	۹/۰۴	Ce	آزمایش R۱
% ۳۶/۵۷	% ۳۲/۸۹	% ۲۸/۸۷	% ۲۴/۴۸	% ۱۹/۶۷	% ۱۴/۳۹	% ۹/۶۰	Re%	

جدول ۱۱- نتایج تغییرات غلظت آلاینده فسفات در تالاب مصنوعی با کاشت گیاه نی (بازه زمانی ۶ روزه)

V۳۶-۴	V۳۰-۴	V۲۴-۴	V۱۸-۴	V۱۲-۴	V۶-۴	V۱-۴	#	
۷/۶۷	۷/۹۶	۸/۲۷	۸/۵۹	۸/۹۴	۹/۳۰	۹/۶۲	Ce	آزمایش R۴
% ۲۳/۲۶	% ۲۰/۳۶	% ۱۷/۳۰	% ۱۴/۰۶	% ۱۰/۶۳	% ۶/۹۹	% ۳/۸۰	Re%	
H۳۶-۴	H۳۰-۴	H۲۴-۴	H۱۸-۴	H۱۲-۴	H۶-۴	H۱-۴	#	
۵/۹۴	۶/۲۷	۶/۶۳	۷/۰۳	۷/۴۶	۷/۹۳	۸/۳۶	Ce	آزمایش R۳
% ۴۰/۶۰	% ۳۷/۲۸	% ۳۳/۶۶	% ۲۹/۷۱	% ۲۵/۴۰	% ۲۰/۶۸	% ۱۶/۴۰	Re%	
H۳۶-۳	H۳۰-۳	H۲۴-۳	H۱۸-۳	H۱۲-۳	H۶-۳	H۱-۳	#	
۷/۰۷	۷/۳۷	۷/۶۹	۸/۰۳	۸/۴۰	۸/۷۹	۹/۱۳	Ce	آزمایش R۳
% ۲۹/۲۸	% ۲۶/۲۸	% ۲۳/۰۸	% ۱۹/۶۷	% ۱۶/۰۳	% ۱۲/۱۴	% ۸/۷۰	Re%	
V۳۶-۳	V۳۰-۳	V۲۴-۳	V۱۸-۳	V۱۲-۳	V۶-۳	V۱-۳	#	
۵/۴۹	۵/۹۱	۶/۳۸	۶/۹۱	۷/۵۱	۸/۱۹	۸/۸۳	Ce	آزمایش R۳
% ۴۵/۰۷	% ۴۰/۹۰	% ۳۶/۲۰	% ۳۰/۹۰	% ۲۴/۹۰	% ۱۸/۰۹	% ۱۱/۷۰	Re%	

جدول ۱۲- نتایج تغییرات میزان EC در تالاب مصنوعی بدون گیاه نی (بازه زمانی ۶ روزه)

H۳۶-۰	H۳۰-۰	H۲۴-۰	H۱۸-۰	H۱۲-۰	H۶-۰	H۱-۰	#	
۶/۳۵۸	۶/۸۷۱	۹/۴۳۷	۱۱/۷۱۳	۱۲/۸۷۲	۱۴/۳۷	۱۷/۸۲۵	Ce	آزمایش H۰
% ۴۷/۰۱	% ۴۲/۷۴	% ۲۱/۳۵	% ۲/۳۷	% -۷/۲۷	% -۱۹/۷۵	% -۴۸/۶۳	Re%	
V۳۶-۰	V۳۰-۰	V۲۴-۰	V۱۸-۰	V۱۲-۰	V۶-۰	V۱-۰	#	
۷/۶۲۷	۷/۹۷	۹/۱۵۸	۱۱/۰۸۳	۱۲/۱۲۲	۱۳/۵۳	۱۵/۵۵۶	Ce	آزمایش V۰
% ۳۶/۴۵	% ۳۳/۵۸	% ۲۳/۶۸	% ۷/۶۳	% -۱/۰۲	% -۱۲/۷۵	% -۲۹/۶۴	Re%	
V۳۶-۲	V۳۰-۲	V۲۴-۲	V۱۸-۲	V۱۲-۲	V۶-۲	V۱-۲	#	
۳/۷۶۱	۴/۳۶۹	۵/۸۱۹	۷/۳۸۵	۸/۲۲۹	۹/۴۵۴	۱۲/۶۴۷	Ce	آزمایش R۲
% ۶۸/۶۶	% ۶۳/۵۸	% ۵۱/۵۰	% ۳۸/۴۶	% ۳۱/۴۲	% ۲۱/۲۱	% -۵/۴۰	Re%	
H۳۶-۲	H۳۰-۲	H۲۴-۲	H۱۸-۲	H۱۲-۲	H۶-۲	H۱-۲	#	
۳/۴۴	۴/۱۸	۵/۴۷	۶/۹۴	۷/۷۴	۸/۸۹	۱۱/۸۹	Ce	آزمایش R۲
% ۷۱/۳۵	% ۶۵/۱۷	% ۵۴/۴۱	% ۴۲/۱۵	% ۳۵/۵۴	% ۲۵/۹۴	% ۰/۹۳	Re%	
H۳۶-۱	H۳۰-۱	H۲۴-۱	H۱۸-۱	H۱۲-۱	H۶-۱	H۱-۱	#	
۲/۷۳	۳/۱۵	۵/۲۳	۸/۷۱	۹/۶۵	۱۱/۰۱	۱۴/۵۰	Ce	آزمایش R۱
% ۷۷/۲۵	% ۳۷/۷۷	% ۵۶/۳۸	% ۲۷/۴۰	% ۱۹/۵۷	% ۸/۲۶	% -۲۰/۸۴	Re%	
V۳۶-۱	V۳۰-۱	V۲۴-۱	V۱۸-۱	V۱۲-۱	V۶-۱	V۱-۱	#	
۳/۰۹	۳/۵۶	۵/۶۴	۸/۱۹	۹/۰۷	۱۰/۳۵	۱۳/۶۳	Ce	آزمایش R۱
% ۷۴/۲۹	% ۷۰/۳۶	% ۵۲/۹۷	% ۳۱/۷۶	% ۲۴/۳۹	% ۱۳/۷۷	% -۱۳/۵۹	Re%	

جدول ۱۳- نتایج تغییرات میزان EC در تالاب مصنوعی با کاشت گیاه نی (بازه زمانی ۶ روزه)

۷۳۶-۴	۷۳۰-۴	۷۲۴-۴	۷۱۸-۴	۷۱۲-۴	۷۶-۴	۷۱-۴	#	آزمایش R۴
۳/۷۱	۴/۳۱	۵/۷۲	۷/۲۴	۸/۰۶	۹/۲۴	۱۲/۳۳	Ce	
% ۶۹/۰۷	% ۶۴/۱۲	% ۵۲/۳۵	% ۳۹/۶۷	% ۳۲/۸۵	% ۲۲/۹۶	% -۲/۷۶	Re%	
H۳۶-۴	H۳۰-۴	H۲۴-۴	H۱۸-۴	H۱۲-۴	H۶-۴	H۱-۴	#	
۳/۳۷	۳/۵۰	۴/۳۸	۵/۸۱	۶/۵۸	۹/۱۳	۱۱/۶۰	Ce	
% ۷۱/۸۹	% ۷۰/۸۲	% ۶۳/۵۱	% ۵۱/۵۹	% ۴۵/۱۷	% ۲۳/۹۲	% ۳/۳۵	Re%	
H۳۶-۳	H۳۰-۳	H۲۴-۳	H۱۸-۳	H۱۲-۳	H۶-۳	H۱-۳	#	آزمایش R۳
۲/۷۰	۳/۱۱	۵/۱۵	۸/۵۳	۹/۴۴	۱۰/۷۵	۱۴/۱۲	Ce	
% ۷۷/۴۷	% ۷۴/۰۷	% ۵۷/۱۰	% ۲۸/۹۶	% ۲۱/۳۷	% ۱۰/۴۴	% -۱۷/۶۵	Re%	
H۳۶-۳	H۳۰-۳	H۲۴-۳	H۱۸-۳	H۱۲-۳	H۶-۳	H۱-۳	#	
۳/۰۵	۳/۵۱	۵/۵۳	۸/۰۲	۸/۸۸	۱۰/۸۶	۱۳/۲۸	Ce	
% ۷۴/۵۸	% ۷۰/۷۴	% ۵۳/۹۲	% ۳۳/۱۸	% ۲۶/۰۴	% ۹/۵۰	% -۱۰/۶۶	Re%	

متر، در مدل‌های مورد بررسی سامانه‌های تالابی، در تالاب شاهد بدون گیاه و فیلتر زئولیتی برابر % ۴۷/۰۱ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و % ۳۶/۴۵ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی، در تالاب بدون گیاه و به همراه فیلتر زئولیتی برابر % ۷۷/۲۵ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و % ۶۸/۶۶ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی و در تالاب با کاشت نی محلی و به همراه فیلتر زئولیتی برابر % ۷۷/۴۷ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و % ۶۹/۰۷ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی مشاهده گردید.

همچنین میزان کاهش شوری (EC)، با مقدار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، % ۷۱/۳۵ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی عمودی-افقی بدون کاشت گیاه، % ۷۴/۲۹ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی بدون کاشت گیاه، % ۷۱/۸۹ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی عمودی-افقی با کاشت نی محلی و % ۷۴/۵۸ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی با کاشت نی محلی شاهد بودیم.

تاثیر وجود گیاه نی *Phragmites australis* بر حذف آلاینده‌ها و شوری

مطابق جدول (۱۴)، همانطور که مشاهده می‌گردد در شرایط بهینه انجام آزمایش، بررسی تغییرات راندمان حذف آلاینده‌های نیترات و فسفات در تالاب مصنوعی نشان داد که وجود گیاه نی، به طور متوسط سبب افزایش حدود ۹ درصدی راندمان می‌شود که پیش از این افروس در سال ۱۳۸۹ در مطالعه خود که تصفیه پساب‌های کشاورزی و صنعتی را با استفاده از گیاهان آبی مورد بررسی قرار داده بود به نتایجی مشابه دست یافته بود (Afroos, 2010).

همچنین میزان حذف نیترات، با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، را در سامانه‌های ترکیبی، % ۵۷/۱۶ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی عمودی-افقی بدون کاشت گیاه، % ۶۰/۴۰ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی بدون کاشت گیاه، % ۶۵/۸۱ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی عمودی-افقی با کاشت نی محلی و % ۶۹/۳۹ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی با کاشت نی محلی شاهد بودیم.

در مدل‌های مورد بررسی سامانه‌های تالابی، درصدهای حذف فسفات، با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، در تالاب شاهد بدون گیاه و فیلتر زئولیتی برابر % ۱۰/۷۴ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و % ۷/۷۷ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی، در تالاب بدون گیاه و به همراه فیلتر زئولیتی برابر % ۳۱/۵۲ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و % ۱۴/۴۸ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی و در تالاب با کاشت نی محلی و به همراه فیلتر زئولیتی برابر % ۲۹/۲۸ برای تالاب با جریان زیرسطحی افقی و % ۲۳/۲۶ برای تالاب با جریان زیرسطحی عمودی مشاهده گردید.

همچنین میزان حذف فسفات، با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، را در سامانه‌های ترکیبی، % ۳۲/۹۵ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی عمودی-افقی بدون کاشت گیاه، % ۳۶/۵۷ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی بدون کاشت گیاه، % ۴۰/۶۰ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی عمودی-افقی با کاشت نی محلی و % ۴۵/۰۷ برای سامانه تالاب ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی-عمودی با کاشت نی محلی شاهد بودیم.

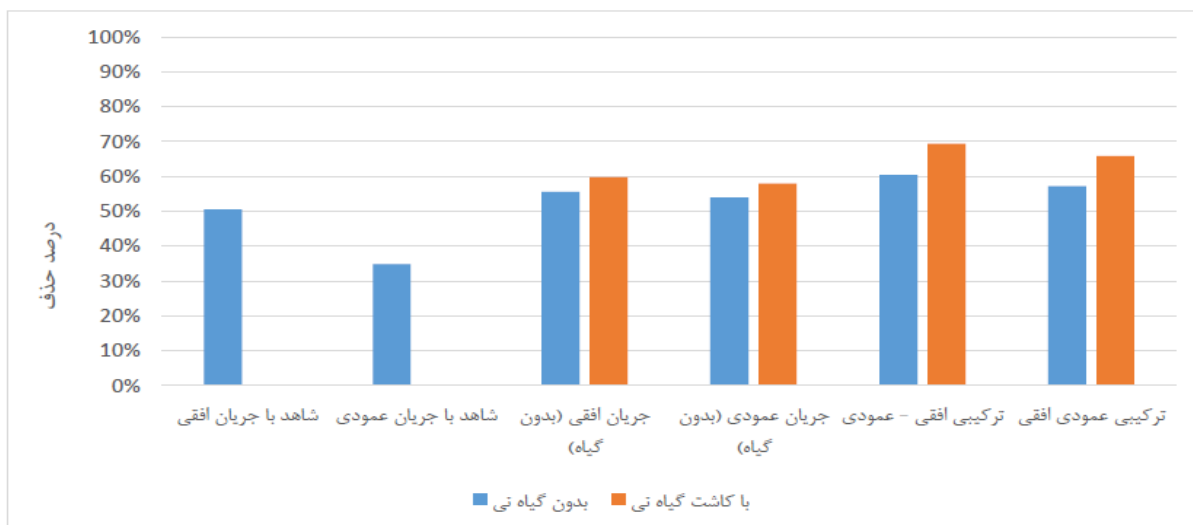
میزان کاهش شوری (EC)، با مقدار ۱۲ دسی‌زیمنس بر

جدول ۱۴- نتایج تاثیر وجود گیاه نی بر تغییرات راندمان حذف آلاینده‌ها و شوری

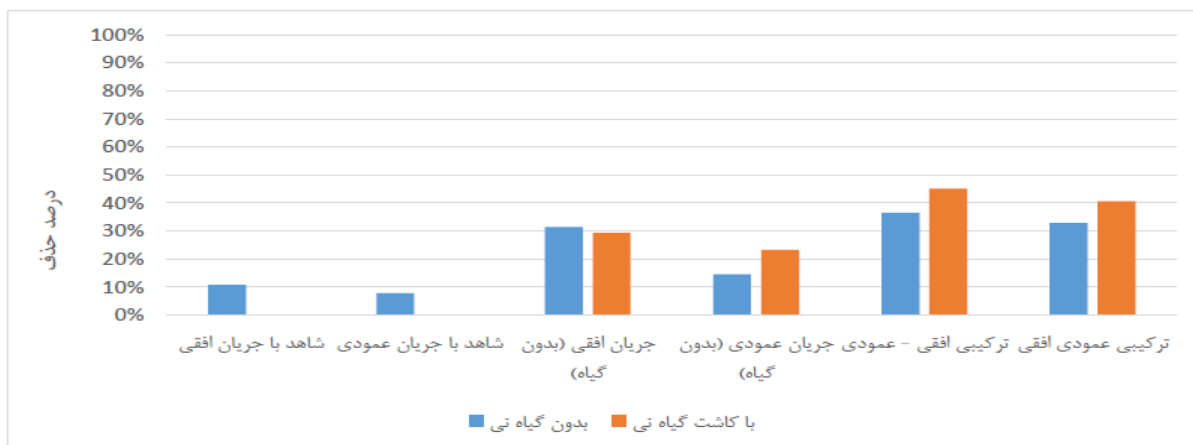
تغییرات راندمان (%)	جریان عمودی - افقی	تغییرات راندمان (%)	جریان عمودی - افقی	تغییرات راندمان (%)	جریان عمودی	تغییرات راندمان (%)	جریان افقی	وجود گیاه	آلاینده
+۸/۶۵	۵۷/۱۶	+۸/۹۹	۶۰/۴۰	+۴/۰۳	۵۳/۹۱	+۴/۱۴	۵۵/۵۸	×	نیتрат
	۶۵/۸۱		۶۹/۳۹		۵۷/۹۴		۵۹/۷۲	√	
+۷/۶۵	۳۲/۹۵	+۸/۵	۳۶/۵۷	+۸/۷۸	۱۴/۴۸	+۲/۲۴	۲۹/۲۸	×	فسفات
	۴۰/۶۰		۴۵/۰۷		۲۳/۲۶		۳۱/۵۲	√	
+۰/۵۴	۷۱/۳۵	+۰/۲۹	۷۴/۲۹	+۰/۴۱	۶۸/۶۶	+۰/۲۲	۷۷/۲۵	×	شوری
	۷۱/۸۹		۷۴/۵۸		۶۹/۰۷		۷۷/۴۷	√	(EC)

حذف نیترات و فسفات از خود نشان داده است و همچنین اثر مستقیم وجود یا عدم وجود گیاه نی در سطح سامانه‌های تالابی مورد آزمایش (استخراج شده از خروجی تحلیل تاگوچی با در نظر گرفتن اثر متقابل وجود یا عدم وجود گیاه نی)، بیانگر این موضوع است که وجود گیاه نی به طور متوسط سبب افزایش ۹ درصدی راندمان حذف آلاینده‌ها از زهاب ورودی به سامانه‌ها می‌گردد که البته این امر در کاهش EC به دلیل عدم رغبت واریته گیاه مورد استفاده در جذب املاح و شوری، اثری خنثی از خود نشان می‌دهد. (Afroos, 2010).

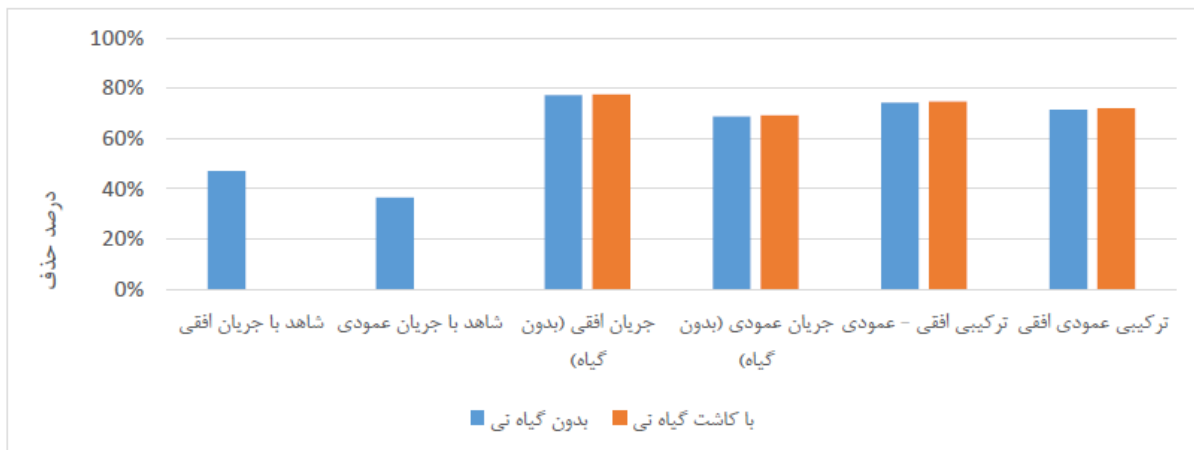
مطابق جدول فوق، نتایج نشان داد که در صورت وجود گیاه در تالاب مصنوعی، راندمان حذف نهایی تالاب بالاتر بوده و مقدار تاثیر وجود گیاه به ترتیب در حذف نیترات، فسفات بیشتر بوده و کاهش EC اثرپذیری کمتری را از خود نشان می‌دهد. نتایج راهبری و راندمان حذف آلاینده‌ها و شوری در نمودارهای (۷) الی (۱۵) آمده است. مطابق نمودارهای (۷)، (۸) و (۹) همانطور که مشاهده می‌گردد، سامانه تالاب مصنوعی ترکیبی با جریان افقی - عمودی در هر دو حالت وجود گیاه نی و عدم وجود آن، بیشترین راندمان را



نمودار ۷- مقایسه میزان حذف نیترات از زهاب در شرایط وجود و عدم وجود گیاه در سامانه‌های مختلف مورد بررسی



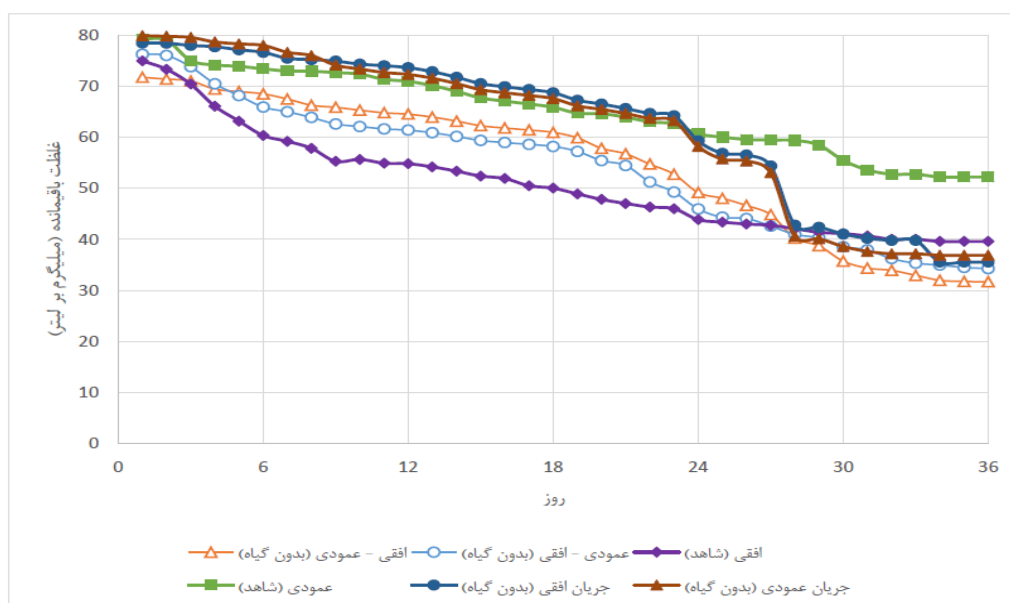
نمودار ۸- مقایسه میزان حذف فسفات از زهاب در شرایط وجود و عدم وجود گیاه در سامانه‌های مختلف مورد بررسی



نمودار ۹- مقایسه میزان کاهش EC از زهاب در شرایط وجود و عدم وجود گیاه در سامانه‌های مختلف مورد بررسی

هستیم که این خود بیانگر سازگاری و اثر گذاری بهینه و مطلوب این نوع از سامانه‌ها در شرایط اقلیمی طبیعی در راستای حذف آلاینده‌ها می‌باشد. همچنین نقاط انعطاف مشاهده شده در نمودارهای روند حذف آلاینده‌ها توسط سامانه‌های مورد بررسی، اثرگذاری روند حذف از شرایط اقلیمی (بارندگی و گرمای خورشیدی) را بیان می‌کند.

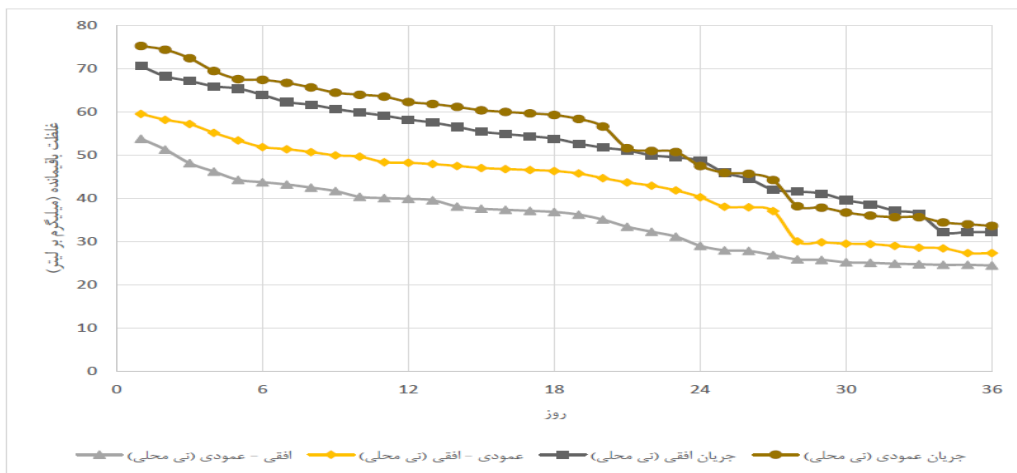
مطابق نمودار (۱۰) همانطور که مشاهده می‌گردد، در شرایط عدم وجود گیاه نی در سطح سامانه‌های تالابی مورد آزمایش، کاهش غلظت نیترات در سامانه‌های ترکیبی به خصوص سامانه ترکیبی افقی - عمودی از شیب بیشتری برخوردار بوده است. شایان ذکر است که در روز ۲۱ و ۲۸ از شروع آزمایشات به دلیل وقوع بارندگی شاهد شیب تند در کاهش غلظت آلاینده‌ها



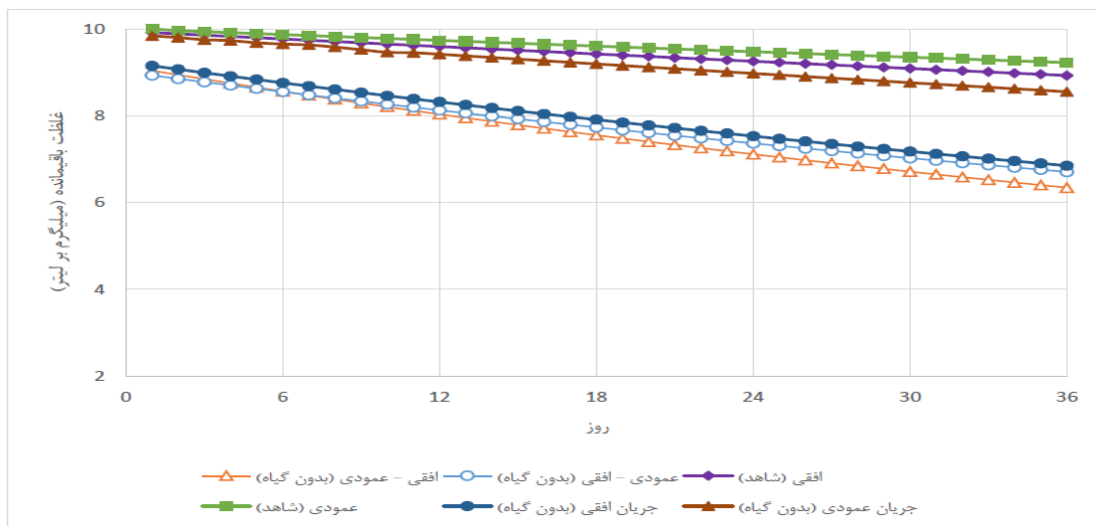
نمودار ۱۰- مقایسه روند حذف نیترات از زهاب در سامانه‌های مختلف مورد بررسی در شرایط بدون گیاه نی

نظر به اینکه یون فسفات اغلب به صورت رواناب‌های سطحی و زیرسطحی دفع می‌گردد، لذا مطابق نمودارهای (۱۲) و (۱۳) مشاهده می‌کنیم که روند و شیب تغییرات غلظت خروجی در سامانه‌های تالابی چه در شرایط وجود گیاه نی و چه در عدم وجود گیاه نی در سطح سامانه‌ها، به صورت مشابه طی می‌شود که البته با وجود گیاه نی به دلیل جذب بیولوژیکی که صورت می‌پذیرد، شاهد عملکرد مطلوب‌تری خواهیم بود.

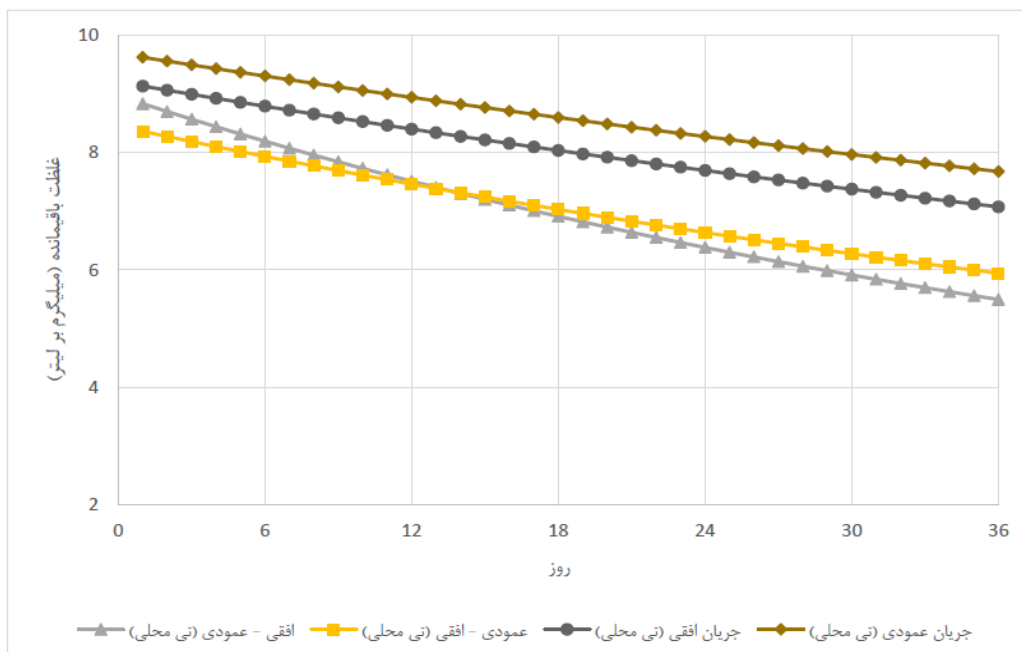
در نمودار (۱۱) نیز که روند حذف نیترات در سامانه‌های تالابی مورد بررسی در شرایط وجود گیاه نی در سطح سامانه‌ها را نشان می‌دهد، عملکرد سامانه‌های ترکیبی به مراتب مطلوب‌تر از سایر سامانه‌ها بوده و همچنین به دلیل حضور گیاه نی که جذب آلاینده را نیز خود عهده دار بوده است و اثر تبخیر سطحی را نیز کاهش می‌دهد، به وضوح عملکرد بهینه‌تری مشاهده خواهیم کرد.



نمودار ۱۱- مقایسه روند حذف نیترات از زهاب در سامانه‌های مختلف مورد بررسی در شرایط کاشت گیاه نی



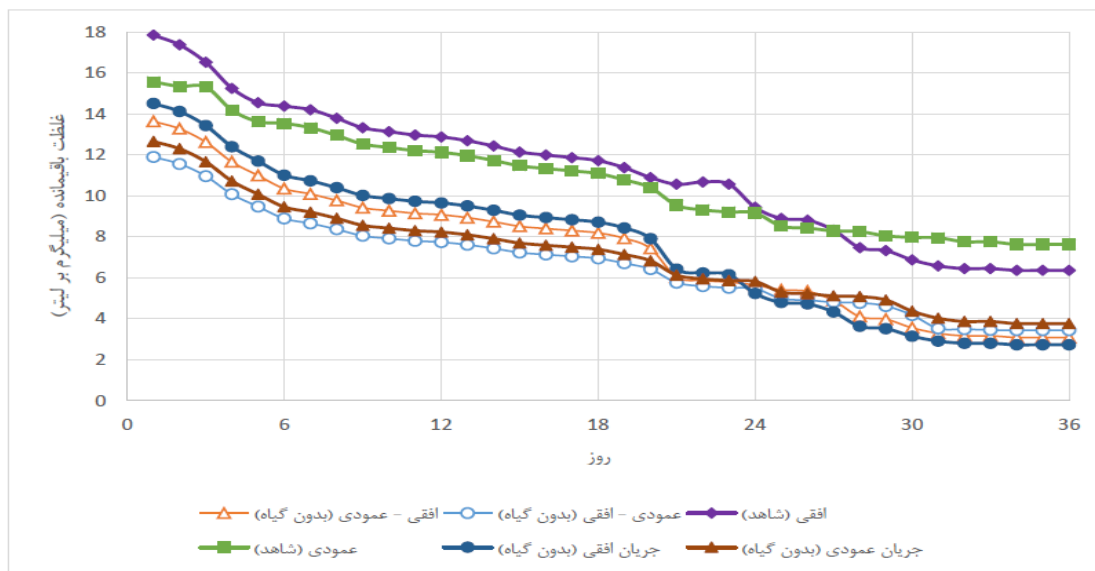
نمودار ۱۲- مقایسه روند حذف فسفات از زهاب در سامانه‌های مختلف مورد بررسی در شرایط بدون گیاه نی



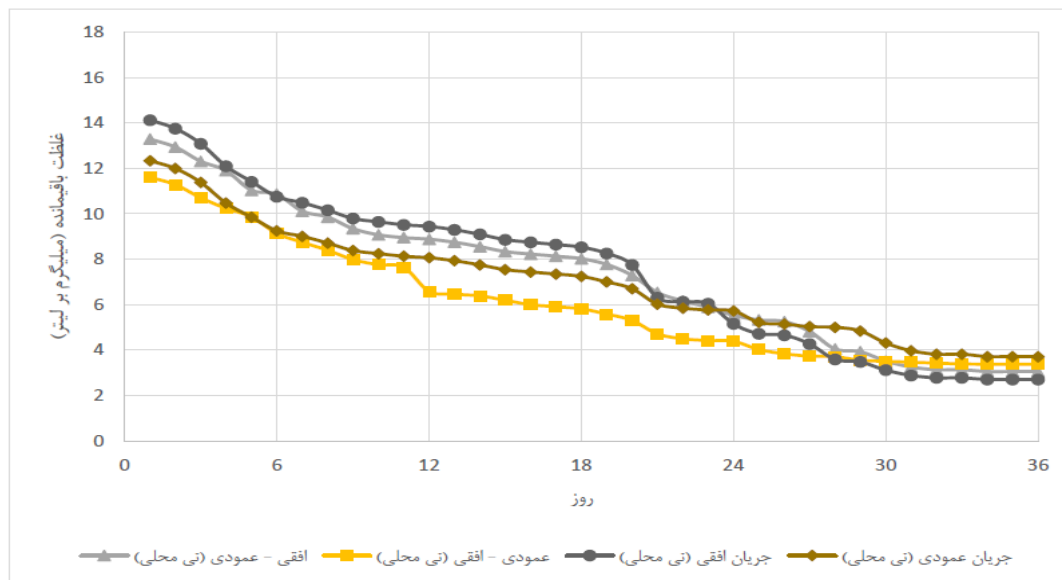
نمودار ۱۳- مقایسه روند حذف فسفات از زهاب در سامانه‌های مختلف مورد بررسی در شرایط کاشت گیاه نی

افقی نسبت به سایر حالات مورد آزمایش مطلوب‌تر گزارش می‌شود. شایان ذکر است که در سامانه‌های مورد آزمایش همانطور که در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد، سطح خاک سامانه‌ها توسط گراول به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پوشیده شده است، لذا اثر تبخیر سطحی مخصوصاً در شرایطی که گیاه نی وجود دارد قابل صرف نظر می‌باشد.

در خصوص عملکرد سامانه‌های تالابی مورد آزمایش در کاهش EC از زهاب ورودی به سامانه‌ها، همانطور که در نمودارهای (۱۴) و (۱۵) شاهد هستیم، در شرایط عدم وجود گیاه نی به دلیل افزایش اثر تبخیر در سطح سامانه‌ها عملکرد کاهش EC پایین‌تر از حالتی است که گیاه نی در سطح سامانه‌ها وجود دارد. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود در این بررسی نیز عملکرد سامانه‌های ترکیبی و به ویژه سامانه ترکیبی عمودی -



نمودار ۱۴- مقایسه روند کاهش EC از زهاب در سامانه‌های مختلف مورد بررسی در شرایط بدون گیاه نی



نمودار ۱۵- مقایسه روند کاهش EC از زهاب در سامانه‌های مختلف مورد بررسی در شرایط کاشت گیاه نی

بحث

به طور کلی می‌توان گفت، در صورت وجود گیاه در تالاب مصنوعی، راندمان حذف نهایی تالاب بالاتر بوده و مقدار تاثیر این پارامتر به ترتیب در حذف نیترات، فسفات و EC بیشتر است. در شرایط بهینه انجام آزمایش، بررسی تغییرات راندمان حذف

همانطور که نشان داده شده است، به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان چنین بیان داشت که تالاب مصنوعی ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی - عمودی در حذف نیترات با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، فسفات با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و EC با مقدار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، راندمان حذف بالاتری نسبت به سایر سامانه‌های مورد بررسی را داراست.

ترکیبی، غلظت ورودی و شرایط وجود گیاه که پارامترهای موثر در سیستم تالاب مصنوعی به منظور حذف آلاینده‌ها هستند، مشاهده گردید که با ادامه روند عبور آلاینده ورودی از بستر سامانه‌ها، راندمان حذف آلاینده‌ها هم در تالاب با گیاه نی و هم فاقد گیاه، به ترتیب در سامانه‌های ترکیبی افقی - عمودی، عمودی - افقی، تالاب با جریان زیر سطحی افقی و تالاب با جریان زیرسطحی عمودی، با مقدار راندمان ۶۹/۳۹٪، ۶۵/۸۱٪، ۵۹/۷۳٪، ۵۷/۹۴٪، در تالاب با گیاه نی و مقدار ۶۰/۴۰٪، ۵۷/۱۶٪، ۵۵/۵۸٪، ۵۳/۹۱٪، در تالاب بدون گیاه نی کاهش می‌یابد. این بدان معناست که سیستم تالاب مصنوعی ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی - عمودی، حداکثر قادر به حذف قابل قبول آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری برابر مقدار حداکثری در حالت وجود گیاه در بستر می‌باشد.

جدول ۱۵- گیاهان مشهور مورد استفاده در تالابها

نام رایج گیاه	نام لاتین گیاه
Common reed	Phragmites spp.
Common reed	Phragmites australis
Cattail	Typha spp.
Narrowleaf cattail	Typha angustifolia
Broadleaf cattail	Typha latifolia

سپاس‌گزاری

این مقاله از پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی در دانشکده آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و دفتر نوآوری، توسعه فناوری و پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان در قالب پژوهانه GN:SCU.WI98.281 و قرارداد شماره ۰۰۸-۲۲-۲۲-۹۹ تشکر و قدردانی می‌گردد. هم‌چنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از کارکنان آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز و جناب آقای مهندس رجبی مدیریت محترم شرکت افرازند زئولیت که ما را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Adinehvand, J., Shokuhi Rad, A. and Tehrani, A.S. (2016). Acid-treated zeolite (clinoptilolite) and its potential to zinc removal from water sample. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* (13), 2705-2718.
- Afroos, A. (2010). Agricultural and Industrial Effluent Treatment Using Aquatic Plants Indigenous to Dezful. *Ph.D. dissertation, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.* [In Farsi].
- Amini Rad, H., Azimi, A., Naseri, N. and Golbabayi, F.

آلاینده‌های نیترات و فسفات در تالاب مصنوعی نشان می‌دهد که وجود گیاه نی، به طور متوسط سبب افزایش ۹ درصدی راندمان می‌شود که پیش از این افروس و در سال ۱۳۸۹ در مطالعه خود که تصفیه پساب‌های کشاورزی و صنعتی را با استفاده از گیاهان آبی مورد بررسی قرار داده بود به نتایج مشابه دست یافته بود (Afroos, 2010).

همچنین استفاده از فیلتر زئولیتی کلینوپتیلولیت علاوه بر اینکه می‌تواند به عنوان فیلتر طبیعی مورد استفاده قرار گیرد، قادر به حذف حداکثری و قابل قبول آلاینده‌های نیترات، فسفات و شوری می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان چنین بیان داشت که تالاب مصنوعی ترکیبی با جریان زیرسطحی افقی - عمودی در حذف نیترات با غلظت ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر، فسفات با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و EC با مقدار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، راندمان حذف بالاتری نسبت به سایر سامانه‌های مورد بررسی را داراست.

روندهای حذف فسفر در تالاب‌های مصنوعی را می‌توان در جذب سطحی توسط ذرات بستر، ترسیب شیمیایی، فعالیت‌های میکروبی و برداشت توسط گیاهان و میکروارگانیسم‌های تالاب خلاصه نمود.

در واقع نقش گیاه در افزایش راندمان حذف، طبق تحقیقات انجام گرفته به این شرح است که: در پوسته و غشای سلول ریشه‌های گیاه، هیچ انتقال خاصی برا ترکیبات آلی به داخل بافت گیاهان وجود ندارد، اما جذب و انتقال این ترکیبات در گیاهان را می‌توان به سادگی با انتشار و پخش آنها توجیح کرد. بعد از جذب به بافت گیاه، آلاینده‌ها ممکن است توسط فرایند متابولیز (تجزیه گیاهی) تجزیه شوند. فرایند متابولیز شامل چندین واکنش بیوشیمیایی به مانند انتقال از منبع آلاینده‌های آلی، تشکیل کمپلکس، واتصال این ترکیبات کمپلکس به دیواره سلول‌ها و واکوئل گیاهی است (Afroos, 2010).

چندین گیاه برای استفاده در تالاب‌های مصنوعی در حذف آلاینده‌های محلول در گزارش شده است.

در این مطالعه پارامترهای نوع سامانه مورد استفاده و

- (2011). Advanced Treatment of Pharmaceutical Wastewater Using a Constructed Wetland. Case Study of Iran Pharmaceutical Manufacturing Plant. *In: International Conference on Water and Wastewater, Tehran.* [In Farsi]
- Badieifar, A. and Golestani Iraqi, M. (2020). Evaluation of COD, Nitrogen and Phosphorus Removal from Urban Wastewater of Bandar Anzali Wastewater Treatment Plant Using Hybrid Artificial Wetlands. *The First Scientific Conference on Urban*

- Planning, Civil Engineering, Architecture and Environment*. [In Farsi].
- Bakhshoodeh, R., Alavi, N. and Soltani Mohammadi, A. (2016). Removing heavy metals from Isfahan composting leachate by horizontal subsurface flow constructed wetland; *Environ Sci Pollut Res.* (23), 12384 .
- Bhatnagar, A. and Sillanpää, M. (2011). A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. *Chemical Engineering Journal.* 168(2), 493-504 .
- Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B. and Shutes, R.B. (1996). Reed beds and constructed wetland for wastewater treatment, *WRc Swindon, UK*.
- Calheiros, S.C., Rangel, O.S. and Castro, M.L. (2008). Evaluation of different substrates to support the growth of *Typha latifolia* in constructed wetlands treating tannery wastewater over long-term operation, *Bioresource Technology Journal.* (99), 6866–6877.
- Deblina, G. H. and Gopal, B. (2010). Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. *Ecological Engineering.* Vol. 36. 1044-1051.
- Eshraghi, F. and Nezamzadeh-Ejehieh, A. (2018). EDTA-functionalized clinoptilolite nanoparticles as an effective adsorbent for Pb(II) removal. *Environ Sci Pollut Res.* (25), 10118.
- Eskandari Mekvand, M. (2009). Investigation of wetland systems for pollutant reduction. Khozestan water and wastewater company. *Proceedings of the 1st Conference of Wetland in Kermanshah, Kermanshah, Iran.*
- Eslamian, S.S. (2015). Urban water Reuse Handbook. In: S. S. Eslamian and S. S. Okhravi. Eds, *Urban Water Reuse: Future Policies and Outlooks, Chapter 85, Tylor and Francis Group, CRC Press, USA, Inpress.*
- Golkari, V., Doosti, M.R. and Sayadi Anari, M.H. (2016). Elimination of drug contaminants using artificial ponds on a pilot scale with straw plants, *the third conference on new findings in the environment and agricultural ecosystems, Tehran, Iran.* [In Farsi].
- He, H. , Duan, Z. and Wang, Z. (2017). The removal efficiency of constructed wetlands filled with the zeolite-slag hybrid substrate for the rural landfill leachate treatment; *Environ Sci Pollut Res* (24), 17547 .
- Khoshnavaz, S., Borumand Nasab, S., Moazed, H., Naseri, A. and Izadpanah, Z. (2012). Phosphate Removal from Agricultural Runoff at the Karun Agro Industry Production Plant Using Vetiver in a Surface Flow Constructed Wetland. *Iranian Journal of Soil and Water Research.* vol. 46. 509–518. [In Farsi]
- Maxwell, E., Peterson, E.W. and O'Reilly, C.M. (2017). Enhanced Nitrate Reduction within a Constructed Wetland System: Nitrate Removal within Groundwater Flow. *Wetlands.* 37. 413–422.
- Mohammad, M., Maitra, S., Ahmad, N., Bustam, A., Sen, T. and B. Dutta. (2010). Metal ion removal from aqueous solution using physic seed hull. *Hazardous Materials Journal,* 179:363-372.
- Rahmani Sanaei, A., Azimi, A.A., Mehrdadi, N. and Raeisi, 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.*
- Sharma, S.K. and Sobti R.C. (2012). Nitrate removal from ground water: a review. *Journal of Chemistry.* 9(4), 1667-1675.
- Su, T.M., Yang, Sh.Ch., Shih, S. and Lee, H.Y. (2009). Optimal Design for Hydraulic Efficiency Performance of Free-Water-Surface Constructed Wetlands, *Ecological Engineering.* (35), 1200-1207.
- Sudarsan, J.S., Roy, R.L. and Baskar, G. (2015). Domestic wastewater treatment performance using constructed wetland; *Sustain. Water Resour. Manag.* (1), 89-101 .
- Taghdisian, H., Tasharofi, S. and Hosseinnia, A. (2018). Nitrate Reduction Using Zeolite Clinoptilolite: Kinetic Investigation and Evaluation of Effective Process Parameters. In: *5th International Conference on Applied Research in Chemistry and Chemical Engineering with an emphasis on indigenous technology, Iran, Tehran.* [In Farsi]
- Taheri Ghannad, S., Moazed, H., Borumand Nasab, S. and Jafarzadeh Haghighi, N. (2014). Lead Removal from Industrial Wastewater Using a Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland, *Wetland Ecobiology,* 2016, 8(4):21-30. [In Farsi]
- Xiong, J., Qin, Q., Mahmood, Q., Liu, H. and Yang, Y. (2011). Phosphorus removal from secondary effluents through integrated constructed treatment system , *Marine Pollution Bulletin.* (63), 98–101.