

## بررسی راندمان و تعیین ضرایب سینتیکی حذف نوترینت‌ها در نیزار زیر سطحی تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد

مهدی فرزداکیا<sup>۱</sup>، محمد حسن احرامپوش<sup>۲</sup>، مجید کرمانی<sup>۱</sup>، کاظم ندافی<sup>۱</sup>، احسان ابویی مهریزی<sup>۳\*</sup>

۱. عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران ۲. عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی  
۳. عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی  
\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۵۸۴۲۲۴۷۲۸۱ فکس: ۰۵۸۴۲۲۴۷۲۸۱ ایمیل: E-mail: ehsan.abouee@gmail.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** بررسی تصفیه خانه‌هایی که با سیستم طبیعی بهره‌برداری می‌گردند ممکن است به این خاطر باشد که نمی‌توانند آن طور که تصور می‌شده راهبری شوند و یا اینکه می‌بایست برای کارکرد بهتر دچار تغییر و تحول شوند. مثلاً جهت حذف نوترینت‌ها بهینه گردند. مزیت تعیین ضرایب سینتیکی مدل در این است که یک مدل می‌تواند برای متناسب شدن با داده‌ها تنظیم شده و سپس برای آنالیز گزینه‌ها جهت بهبود فرایند استفاده گردد. در این پژوهش راندمان و تعیین ضرایب سینتیکی در حذف نوترینت‌ها در نیزار زیر سطحی بررسی شده است.

**روش کار:** پژوهش حاضر بررسی سینتیک واکنش‌های بیولوژیکی در حذف نوترینت‌ها در بسترهای نی تصفیه فاضلاب می‌باشد. نمونه برداری از سه محل از تالاب و در مدت ۶ ماه صورت پذیرفت. مقدار نوترینت‌ها با سنجش TKN، آمونیاک، نیترات و فسفات کل انجام گرفت.

**یافته‌ها:** متوسط غلظت خروجی برای TKN، آمونیاک، نیترات و فسفات کل از وتلند شاهد و وتلند دارای نی ۱۵/۴۱، ۲۳/۵۹، ۱/۷۳۵، ۶/۴۳ میلی‌گرم در لیتر و ۲۸/۹۱، ۱۹/۹۹۵، ۵/۶۳ و ۱/۴۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. مدل‌های مورد پژوهش مدل حذف آلاینده مرتبه اول، مدل حذف آلاینده مرتبه دوم و مدل استوور کین کانن می‌باشد و با پارامترهای آماری ( $k_B$ ،  $\mu_{max}$ ) مدل‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

**نتیجه‌گیری:** حذف نوترینت‌ها در سیستم تصفیه خانه فاضلاب یزد قابل توجه می‌باشد. وجود نی در بسترها کارایی چندانی در بهبود عملکرد سیستم نداشته و می‌توان پیشنهاد داد که گیاهانی با حذف بیشتر در سیستم مورد بررسی قرار بگیرند. در خصوص پیش‌بینی رفتار حذف نوترینت‌ها، مدل استوور-کین کانن نزدیکترین ارتباط ریاضی بین پیش‌بینی‌های تئوری و داده‌های میدانی واقعی ارائه نمود.

**واژه‌های کلیدی:** فاضلاب، نیزار زیر سطحی، نوترینت، ضرایب سینتیکی، یزد.

پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۹

دریافت: ۹۱/۹/۱۱

### مقدمه

هدف اصلی تصفیه فاضلاب تولید پسابی مناسب جهت تخلیه به محیط‌های پذیرنده است به نحوی که استانداردهای تخلیه پساب رعایت شده و ضرر و زیان به محیط پذیرنده وارد نگردد. بنابراین تصفیه

فاضلاب علاوه بر حفظ محیط زیست و ارتقاء سلامت عمومی باعث بازگشت آب به طور مستقیم و غیر مستقیم به چرخه مصرف می‌گردد و با توجه به مسئله بحران آب در قرن اخیر اهمیت موضوع هرچه بیشتر نمایان می‌شود. امروزه رویکرد مناسب در طرح‌های تصفیه فاضلاب آن است که با حداقل

هزینه و امکانات فنی و سادگی بهره برداری نیازهای تصفیه برآورده گردد (۱).

مشکلات ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی برای جوامع بشری از دیرباز مهم بوده و هست (۴-۲). مشکلات عمده روش‌های متداول تصفیه فاضلاب شهری، مصرف انرژی زیاد، بالا بودن هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری، نیاز به بهره‌برداری پیچیده، نیاز به تصفیه و دفع لجن و استفاده از سیستم‌های مکانیزه است که از ضروریات یک روش تصفیه با استفاده تکنولوژی بالا می‌باشد. اما سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب علاوه بر آنکه از مزایای تکنولوژی پایین و کارایی بالا برخوردارند به انرژی‌های موجود طبیعی و تجدید پذیر مثل اشعه خورشیدی، انرژی باد و انرژی ذخیره در توده زیستی و خاک‌ها متکی هستند (۶، ۳، ۵، ۲). از انواع سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب می‌توان سیستم‌های طبیعی خاکی، سیستم‌های آبی و سیستم وتلندی را نام برد. وتلندها را گاهی به عنوان جعبه‌های سیاه تلقی می‌کنند که آب‌های آلوده را تمیز و شفاف می‌کنند.

وتلند ها به دو گروه طبیعی و مصنوعی طبقه بندی می‌شوند. به نظر می‌رسد وتلند های مصنوعی یکی از مناسبترین تکنولوژی‌های کاربردی برای کشورهای در حال توسعه می‌باشد، زیرا این سیستم‌ها از مشخصاتی مثل شباهت به فرایندهای طبیعی، ساخت ساده، بهره‌برداری و نگهداری راحت، پایداری فرآیند، تولید کم لجن و هزینه کم برخوردارند که مطلوب می‌باشد. افزایش توجه به فرایندهای طبیعی، ضرورت تصفیه در فاضلاب در مناطق کم جمعیت، کاربرد تصفیه فاضلاب به صورت عمومی، هزینه‌ها، نیازهای بهره برداری و نگهداری از جمله عواملی است که سبب گردیده در طول ۲۰ الی ۳۰ سال اخیر در سراسر دنیا توجه عمومی به سوی وتلندها جلب گردد. این سیستم‌ها دارای هزینه‌های اولیه پایین و از نظر بهره‌برداری و نگهداری آسان هستند به نحوی که نیازهای جامعه ما را برآورده می‌سازند (۲، ۷، ۸).

تفاوت اساسی بین سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب و سیستم‌های وتلند در این است که در سیستم‌های متداول، فاضلاب در راکتورهای کم حجم و با مصرف انرژی زیاد و با مدیریت بالا به سرعت تصفیه می‌شود، اما در مقایسه با آن در سیستم‌های آبی و وتلند ها تصفیه با سرعت کند و اساساً بدون نیاز به مدیریت و در محیط‌های طبیعی انجام می‌گیرد (۱۰، ۹). در حال حاضر کاربرد وتلند های مصنوعی شامل تصفیه فاضلاب‌های ته نشین شده اولیه، فاضلاب‌های ثانویه، پالایش پساب‌های مرحله سوم، گندزدایی، کاربرد در مدیریت فاضلاب‌های سطحی شهری و روستایی، کاربرد در مدیریت کاهش آلاینده‌های سمی، تصفیه نشتاب‌های مراکز دفن زباله و فاضلاب‌های معادن، مدیریت لجن، تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، حذف نوترینت‌ها از فاضلاب، دفع نوترینت از طریق تولید بیومس و تغذیه آب‌های زیرزمینی است. وجود نیتروژن در فاضلاب به چند دلیل می‌تواند نامطلوب باشد. نیتروژن به شکل آمونیاک آزاد برای ماهی‌ها و بسیاری دیگر از موجودات آبی سمی است. نیتروژن به شکل یون آمونیوم یا آمونیاک باعث مصرف اکسیژن شده، در نتیجه سبب کاهش اکسیژن محلول در آب‌های پذیرنده می‌گردد. از نظر بهداشت عمومی حضور یون نترات در آب مصرفی اطفال، یک خطر بالقوه محسوب می‌شود. با توجه به مقتضیات و شرایط محلی، حذف تمامی اشکال نیتروژن یا فقط حذف آمونیوم ممکن است ضروری باشد. در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی دو هدف فوق به طور اقتصادی قابل دستیابی است. تمام شکل‌های فسفر و نیتروژن به عنوان ماده مغذی برای گیاهان آبی محسوب شده، در نتیجه نقش مهمی در ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون دارند (۱۹، ۱۸).

در مطالعه‌ای که توسط مایو<sup>۱</sup> در یک سیستم وتلند مصنوعی زیرسطحی انجام گرفت، مدل حذف

<sup>۱</sup> Mayo

آگاهی از وضعیت راندمان سیستم تصفیه نمی‌توان قضاوت درستی از سیستم داشت. در این بررسی عملکرد وتلند مصنوعی تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد در زمینه حذف نوترینتها مورد سنجش و بررسی قرار گرفته است. همچنین در این پژوهش، تعیین ضرایب سینتیکی نیتروژن و فسفر مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل حذف پارامترهای مورد بررسی تعیین گردید. دلیل بررسی تصفیه خانه‌های موجود ممکن است یا به این خاطر باشد که نمی‌توانند آن طور که تصور می‌شده راهبری شوند و یا اینکه می‌بایست برای کارکرد بهتر دچار تغییر و تحول شوند. مثلاً جهت حذف نوترینتها بهینه کردند. امتیاز این آنالیزها و تعیین ضرایب سینتیکی در این است که تجربیات زیادی در این خصوص وجود دارد. یک مدل می‌تواند برای متناسب شدن با داده‌ها تنظیم شده و سپس برای آنالیز گزینه‌ها جهت بهبود فرایند مورد استفاده قرار گیرد. به هر حال، این آنالیزها فقط برای توسعه تجربیاتی به کار می‌روند که حاوی یکسری داده‌های مناسب برای متناسب سازی مدل می‌باشند. ممکن است مدل‌ها بعنوان ابزاری به کار گرفته شوند که اطلاعات بدست آمده از بررسی‌های مشابه را مورد آنالیز قرار دهند. رسیدن به این هدف نیاز به این دارد که مدل‌هایی انتخاب شوند که فرایندهای تحت بررسی را بطور ویژه‌ای توصیف نماید تا اینکه مشخص شود کدام تفسیر بهتر یا بهترین است، یعنی کدام یک از تفاسیر عمومیت بیشتری دارد (۱۴).

### روش کار

این مطالعه بصورت توصیفی مقطعی و در طی شش ماه از سال شامل ماه‌های سرد (از اواسط دی ماه تا اواسط اسفند ماه) و ماه‌های گرم (از اواسط خرداد تا اواسط مرداد ماه) در سال ۸۹-۱۳۸۸ انجام گرفت. تعیین ماه‌های گرم و سرد سال از آمار هواشناسی سالهای قبل اخذ شده بود، بر روی سیستم تصفیه

نیتروژن نشان داد که  $0.872$  گرم بر مترمربع در روز نیتروژن در کف سیستم نیزار و روی شن بستر و ریشه گیاهان ته نشین گردید. با این وجود  $0.752$  گرم بر مترمربع در روز از نیتروژن ته نشین شده (معادل  $0.86/2$ ) مجدد به جریان درون سیستم نیزار بازگشت، که این بدان معناست که تنها  $0.13/8$  نیتروژن ته نشین شده دائماً حذف می‌گردد. میزان حذف نیتروژن کل در این مطالعه برابر  $0.48/9$  گزارش گردید که از کل مقدار حذف  $0.29/9$  سهم حذف از طریق دنیتریفیکاسیون،  $0.10/2$  سهم حذف از طریق جذب توسط گیاه و  $0.8/2$  سهم حذف خالص از طریق ته نشینی گزارش گردید (۱۱). در مطالعه ای دیگر که توسط بروکس<sup>۱</sup> و همکارانش انجام شد، میزان حذف فسفر توسط سیستم نیزار زیرسطحی بیش از ۸۰ درصد گزارش شده است و غلظت خروجی فسفر تا میزان  $0.14-0/5$  میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. این نتایج برای زمان ماند ۴۰ ساعت به دست آمده است در حالی که زمان ماند کمتر میزان حذف ۳۹ درصدی را نشان داد. در این تحقیق، یک ارتباط مستقیم بین زمان ماند و میزان حذف فسفر محصول گزارش شده است (۱۲). همچنین در مطالعه ای توسط کریس<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۵، با افزایش زمان ماند سیستم مورد مطالعه از ۲ روز به ۷ روز در یک سیستم نیزار زیرسطحی، متوسط کاهش TP از ۱۲٪ به ۳۶٪ برای وتلند شاهد و از ۳۷٪ به ۷۴٪ برای وتلند دارای نی افزایش یافت (۱۳). مشکلات مربوط به تامین آب شرب شهری در اکثر استان‌های کشور و همچنین عدم مدیریت صحیح فاضلاب و رها کردن فاضلاب تصفیه نشده به محیط زیست، حاکی از نیاز به مدیریت صحیح پساب و جلوگیری از ایجاد اثرات ناگوار بر انسان و محیط زیست می‌باشد. بنابراین مدیریت صحیح فاضلاب یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی می‌باشد که بدون

<sup>1</sup> Brooks

<sup>2</sup> Chris

پس از نمونه گیری از وتلند، نمونه ها با روش استاندارد اندازه گیری شدند. کلیه آزمایشات مورد انجام در این پژوهش در آزمایشگاه شیمی محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد صورت گرفت. پس از جمع آوری اطلاعات آنالیز T دو نمونه ای جفت<sup>۱</sup> با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت. نمودارها نیز با کمک نرم افزار Excel ترسیم شد.

### مدل های سینتیکی

#### مدل حذف آلاینده مرتبه اول

تغییرات در سرعت حذف آلاینده در راکتور با در نظر گرفتن درجه اول بودن واکنش برای حذف آلاینده به صورت زیر بیان می شود (۱۴،۱۶):

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{V} \times S_i - \frac{Q}{V} \times S_e - k_1 S_e \quad (1)$$

که در این معادله  $S_i$  و  $S_e$  به ترتیب غلظت سوبسترا ورودی و خروجی بر حسب میلی گرم در لیتر و  $K_1$  ثابت سینتیکی درجه اول می باشد. در شرایط تعادل پایدار در راکتور بیولوژیکی، تغییرات در حذف غلظت های آلاینده ( $D_s/D_T$ ) برابر صفر می باشد. لذا معادله ۱ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{S_i - S_e}{HRT} = k_1 S_e \quad (2)$$

که  $HRT$  (زمان ماند هیدرولیکی) بر حسب روز می باشد. در این حالت  $K_1$  می تواند از ترسیم  $\frac{S_i - S_e}{HRT}$  در مقابل  $S_e$  طبق رابطه فوق که از ساده سازی رابطه ۱ حاصل شده است بدست آید، که مقدار شیب خط معادل  $K_1$  است.

#### مدل حذف آلاینده مرتبه دوم (گراو)

مدل گراو در واقع بیانگر سینتیک درجه دوم می باشد که آن را می توان طبق رابطه زیر بیان کرد (۱۱،۱۲):

طبیعی (نیزار مصنوعی) انجام گرفت. در این پژوهش جهت تعیین پارامتر نوترینت در نقاط مختلف سیستمهای موجود در تصفیه خانه، نمونه ها بصورت مرکب برداشته شده و به آزمایشگاه حمل و مطابق با روشهای استاندارد مورد اندازه گیری قرار گرفتند. از مجموعه سیستم تصفیه نیزار مصنوعی شهر یزد یک بستر بصورت تصادفی انتخاب گردید. تعداد این بسترها ۴ عدد می باشد، که یک بستر بدون گیاه و به عنوان بستر شاهد می باشد و ۳ بستر دیگر دارای نی می باشند. کلیه بسترها دارای شرایط فیزیکی و هیدرولیکی یکسان از نظر طراحی می باشند. لذا یک بستر از بین بسترهای دارای نی معمولی که نماینده تمامی بسترها می باشد، بصورت تصادفی انتخاب شد (نی محلی بافق). بسترها دارای ۱۲ متر طول (طول جریان) و ۲۰ متر عرض سازه ای با مساحت سطح کل ۹۶۰ متر مربع می باشند. در این پژوهش فاضلاب خروجی از سپتیک تانک بعنوان فاضلاب ورودی به بسترهای نی مورد نمونه برداری و آنالیز قرار گرفت. نمونه برداری بصورت ماهیانه و برای مدت ۶ ماه انجام گرفت (فاضلاب خروجی سپتیک (ورودی نیزار مصنوعی)، فاضلاب خروجی وتلند مصنوعی شاهد و فاضلاب خروجی نیزار مصنوعی). در هر بار نمونه برداری، کلیه نمونه ها در ۳ نقطه نمونه برداری در بستر مصنوعی، در سه مقطع زمانی در طی یک روز برداشت و هر کدام بصورت مجزا جهت افزایش دامنه داده ها و همچنین افزایش دقت و صحت، مورد آنالیز قرار گرفتند. در نهایت در هر بار نمونه برداری ۳ نمونه از نقاط مورد نظر (۳ نمونه با تواتر زمانی مختلف برای هر نقطه) جهت پارامترهای تعیین شده برداشت گردید. در مجموع ۵۴ نمونه برداشت گردید. برای تعیین تمام پارامترهای نوترینت ها بر اساس کتاب روشهای استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب و در آزمایشگاه انجام گرفت (۱۵).

<sup>1</sup> Paired Samples Statistics

g/l.day و  $K_B$ . ثابت میزان اشباع بر حسب g/l.day می‌باشد (۱۴،۱۶):

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)^{-1} = \frac{V}{Q(S_i - S_e)} = \frac{K_B}{U_{\max}} \left(\frac{V}{QS_i}\right) + \frac{1}{U_{\max}} \quad (5)$$

با رسم  $\frac{V}{Q(S_i - S_e)}$  بر حسب  $\frac{V}{Q \times S_i}$  خط راستی حاصل خواهد شد، که عرض از مبدأ و شیب این خط به ترتیب مقادیر  $\frac{1}{U_{\max}}$  و  $\frac{K_B}{U_{\max}}$  است. بدین ترتیب مقادیر  $K_B$  و  $U_{\max}$  بدست خواهند آمد.

### یافته‌ها

حذف نیترژن در سیستم وتلند مصنوعی بستگی به طراحی سیستم، شیمی محیط (ریشه گیاه، آب و رسوبات)، جذب گیاهی، کربن در دسترس و نوع مواد دارد. در جدول ۱ متوسط راندمان حذف پارامترهای مورد مطالعه در کل تصفیه خانه به روش سیستم وتلند مصنوعی دارای نی و شاهد در تمام دوره مطالعه ذکر شده است.

جدول ۱. متوسط راندمان حذف پارامترهای مورد مطالعه در کل تصفیه خانه به روش سیستم وتلند مصنوعی در تمام دوره مطالعه

پارامتر	ورودی به سیستم (mg/l)	خروجی شاهد (mg/l)	خروجی نی (mg/l)	راندمان حذف وتلند (بر حسب درصد)	راندمان حذف شاهد (بر حسب درصد)
NO <sub>3</sub> -N	۲/۱۶۵	۱/۷۳۵	۱/۴۹	۳۱/۱۷	۱۹/۸۶
NH <sub>3</sub> -N	۴۱/۹۱	۲۳/۵۹	۱۹/۹۹۵	۵۲/۲۹	۴۳/۷۱
TKN	۷۲/۸۸	۴۱/۱۵	۲۸/۹۱	۶۰/۳۳	۴۳/۵۳
TP	۷/۹۹	۶/۴۳	۵/۶۳	۲۹/۵۳	۱۹/۵۲
O-PO <sub>4</sub>	۶/۲۱	۴/۷۹	۴/۳۱	۳۰/۵۹	۲۲/۸۶

ضرایب سینتیکی مدل استوور-کین کانن در حذف نوترینت‌ها در وتلند مصنوعی دارای نی و شاهد در شکل‌های ۱ و ۲ ذکر گردیده است.

$$\frac{S_i \times HRT}{S_i - S_e} = n \times HRT + m \quad (3)$$

در واقع برای ساده سازی می‌توان گفت که عملاً راندمان حذف آلاینده در سیستم است. پس به جای آن می‌توان پارامتر E را وارد رابطه کرد:

$$\frac{HRT}{E} = n \times HRT + m \quad (4)$$

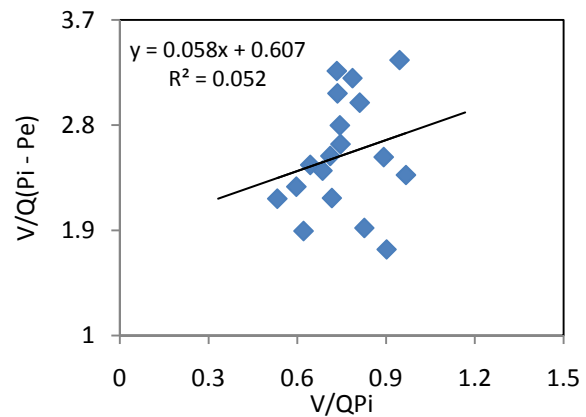
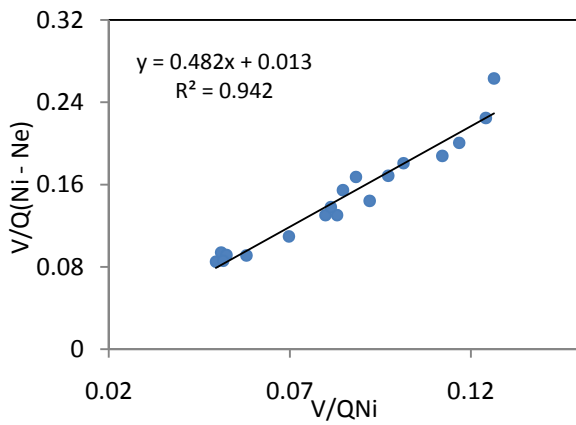
با رسم نمودار معادله ۴ مقادیر m (برحسب روز) و n (بدون واحد) به ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط رسم شده خواهند بود. در معادله مذکور، HRT (زمان ماند هیدرولیکی) بر حسب روز می‌باشد. ثابت سرعت حذف آلاینده یا  $K_S$  از رابطه  $m = \frac{S_i}{k_s \times X}$  بدست خواهد آمد.

### مدل استوور-کین کانن

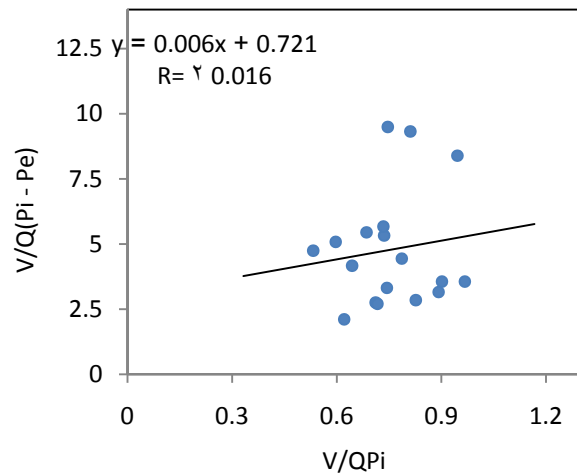
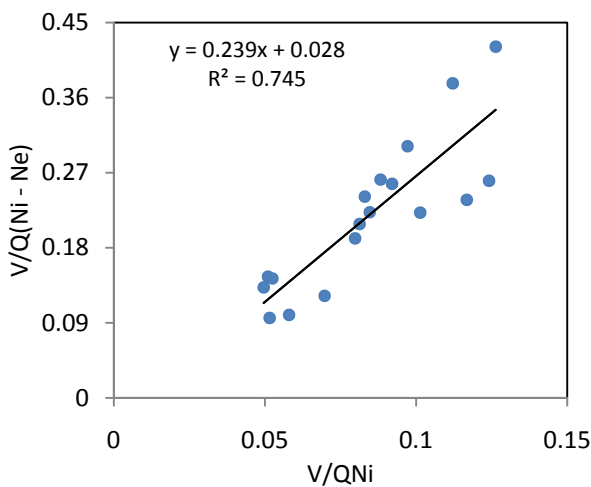
این مدل به صورت زیر بیان می‌گردد که در آن  $U_{\max}$  حداکثر سرعت حذف سوبسترا بر حسب

در این تحقیق برای بررسی سینتیک واکنش‌های سینتیکی در حذف نوترینت‌ها از سه مدل حذف آلاینده مرتبه اول، مدل حذف آلاینده مرتبه دوم (گراو) و مدل استوور-کین کانن<sup>۱</sup> استفاده شد. مدل استوور-کین کانن برای حذف نوترینت‌ها در سیستم نیزار مصنوعی انطباق بالایی را نشان داد. رگرسیون

<sup>1</sup> Stover-Kincannon



شکل ۱. رگرسیون ضرایب سینتیکی مدل Stover-Kincannon در حذف TN و حذف TP در سیستم وتلند دارای نی



شکل ۲. رگرسیون ضرایب سینتیکی مدل Stover-Kincannon در حذف TN و حذف TP در سیستم شاهد

سیستم تالاب مصنوعی دارای نی شاهد در تمام دوره مطالعه ذکر شده است.

در جدول ۲ و ۳ پارامترهای آماری حذف نیتروژن و فسفر با مدل‌های سینتیکی مرتبه اول، مرتبه دوم (گراو) و مدل استوار-کین کانن در

جدول ۲. پارامترهای سینتیکی حذف نیتروژن و فسفر با مدل‌های سینتیکی مختلف در سیستم تالاب مصنوعی دارای نی مورد مطالعه

مدل سینتیکی Stover-Kincannon				
ضرایب	$K_B$	$U_{max}$	$R_2$	معادله رگرسیون
حذف نیتروژن	۳۷	۱/۶۵	۰/۰۵۲	$y = 0.482x + 0.013$ $R^2 = 0.942$
حذف فسفر	۰/۰۹۵	۱/۶۴	۰/۰۵۲	$y = 0.058x + 0.607$ $R^2 = 0.052$
مدل سینتیکی درجه اول				
ضرایب	$K_1$	$R_2$	معادله رگرسیون	
حذف نیتروژن	۳۰۲/۰	۵۶۱/۰	$y = 0.302x - 1.714$ $R^2 = 0.561$	
حذف فسفر	۰۳۲/۰	۰۹۸/۰	$y = -0.032x + 0.584$ $R^2 = 0.098$	

مدل سینتیکی درجه دوم (Grau Model)				
معادله رگرسیون	R <sub>2</sub>	n	m	ضرایب
y = 2.100x - 2.160 R <sup>2</sup> = 0.856	۸۵۶/۰	۱/۲	۱۶۰/۲	حذف نیتروژن
y = 0.392x + 17.58 R <sup>2</sup> = 0.010	۰/۱۰	۳۹۲/۰	۵۸/۱۷	حذف فسفر

جدول ۳. پارامترهای سینتیکی حذف نیتروژن و فسفر با مدل‌های سینتیکی مختلف در سیستم شاهد مورد مطالعه

مدل سینتیکی Stover-Kincannon				
معادله رگرسیون	R <sub>2</sub>	U <sub>max</sub>	K <sub>B</sub>	ضرایب
y = 0.239x + 0.028 R <sup>2</sup> = 0.745	۰/۷۴۵	۳۵/۷۱	۸/۵۳	حذف نیتروژن
y = 2.391x + 2.979 R <sup>2</sup> = 0.016	۰/۰۱۶	۱/۳۸	۰/۰۰۸	حذف فسفر

مدل سینتیکی درجه اول				
معادله رگرسیون	R <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>		ضرایب
y = 0.091x + 1.469 R <sup>2</sup> = 0.119	۰/۱۱۹	۰/۰۹۱		حذف نیتروژن
y = -0.055x + 0.606 R <sup>2</sup> = 0.156	۰/۱۵۶	۰/۱۵۵		حذف فسفر

مدل سینتیکی درجه دوم (Grau Model)				
معادله رگرسیون	R <sub>2</sub>	n	m	ضرایب
y = 2.436x + 0.673 R <sup>2</sup> = 0.329	۰/۳۲۹	۲/۴۳۶	۰/۶۷۳	حذف نیتروژن
y = -3.086x + 55.13 R <sup>2</sup> = 0.036	۰/۰۳۶	۳/۰۸۶	۵۵/۱۳	حذف فسفر

## بحث

امروزه درک توانایی گیاهان آبرزی بزرگ (ماکروفیت‌ها) جهت کمک به تجزیه و تصفیه فاضلاب انسانی و حیوانی، حذف میکرواورگانیزم‌های بیماری‌زا و همچنین حذف بسیاری از آلاینده‌ها، منجر به افزایش بکارگیری سیستم‌های گیاهی و دامنه وسیع‌تر تحقیقات، در این خصوص شده است (۱۷).

وجود نیتروژن در فاضلاب به چند دلیل می‌تواند نامطلوب باشد. نیتروژن به شکل آمونیاک آزاد برای ماهی و بسیاری دیگر از موجودات آبرزی سمی است. نیتروژن به شکل یون آمونیوم یا آمونیاک باعث مصرف اکسیژن شده، در نتیجه سبب کاهش اکسیژن محلول در آب‌های پذیرنده می‌گردد. از نظر بهداشت عمومی حضور یون نیترات در آب مصرفی

اطفال، یک خطر بالقوه محسوب می‌شود. با توجه به مقتضیات و شرایط محلی، حذف تمامی اشکال نیتروژن یا فقط حذف آمونیوم ممکن است ضروری باشد. در سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی دو هدف فوق به طور اقتصادی قابل دستیابی است (۱۸، ۱۹). تمام شکل‌های فسفر و نیتروژن به عنوان ماده مغذی برای گیاهان آبرزی محسوب شده، در نتیجه نقش مهمی در ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون دارند.

در ارتباط با نتایج بدست آمده برای حذف نیتروژن نیتراتی در بسترهای نی زیرسطحی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد، متوسط حذف ۳۱/۱۷٪ (متوسط فصل گرم ۲۴/۵۵٪ و متوسط فصل سرد ۳۶/۶۲٪) حاصل گردید که با توجه به ماهیت این سیستم‌ها و نتایج بدست آمده از سایر مطالعات، میزان حذف در

وتلند مصنوعی مورد مطالعه در محدوده اکثر وتلندهای مصنوعی زیرسطحی می‌باشد. آمونیفیکاسیون تحت شرایط مختلف متداول در اغلب طرح‌های سیستم وتلند مصنوعی روی می‌دهد اما نیتریفیکاسیون بالا به دمای متوسط، pH مناسب مدیا برای رشد چسبیده و اکسیژن کافی نیاز دارد. ازت کل در اغلب سیستم‌های نیزاز ۴۶ تا ۷۲٪ کاهش می‌یابد. میزان حذف ازت کل بسیار متغیر است که به ازت ورودی، عمق آب، اکسیژن محلول، میزان بارگذاری ازت کل بستگی دارد. راندمان حذف ازت کل با افزایش بار هیدرولیکی کم می‌شود (۸). در مطالعه‌ای که توسط کای<sup>۱</sup> و همکاران بر روی یک سیستم وتلند مصنوعی صورت گرفت، میزان حذف TN بین ۱۰ تا ۲۴ درصد بدست آمد (۲۱). مطالعه صورت گرفته در وتلند مصنوعی زیرسطحی شهر سنندج حذف نیتروژن را ۵ تا ۵۱٪ بسته به دمای محیط گزارش نموده است (۲۱). در ارتباط با نتایج بدست آمده برای حذف نیتروژن آمونیاکی در بسترهای نی زیرسطحی تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد، متوسط حذف ۵۲/۲۹٪ (متوسط فصل گرم ۵۳/۴۹٪ و متوسط فصل سرد ۵۱/۰۶٪) حاصل گردید. بازده حذف آمونیاک نسبتاً مستقل از غلظت ورودی بوده و حداکثر بازده در زمان ماند هیدرولیکی حداقل ۵-۳ روز بدست می‌آید. بازده حذف نمونه‌وار در میزان بارگذاری کمتر از ۱۰ کیلوگرم بر هکتار در روز، اگر عوامل دیگر محدود کننده نباشند، ۷۰-۹۰ درصد می‌باشد. کاهش بازده حذف در میزان‌های بارگذاری بیش از آن می‌تواند ناشی از کمبود اکسیژن محلول، مواد آلی و زمان

ماند هیدرولیکی باشد. غلظت زمینه‌ای آمونیاک در سیستم نیزاز معمولاً خیلی کم است. معمول‌ترین آلاینده‌های نیتروژنه اصلی و هدف در سیستم وتلند مصنوعی، آمونیاک یا نیتروژن کل می‌باشد که میزان آن وابسته به جریان ورودی به سیستم نیزاز دارد. پساب‌های خروجی تصفیه اولیه و سپتیک تانک، حاوی نیتروژن آلی و آمونیاک می‌باشند، به طور کلی چرخه حذف نیتروژن در برگرفته دو مکانیسم اصلی تغییر شکل و تغییر مکان نیتروژن در سیستم نیزاز می‌باشد که شامل ته نشینی (تعلیق مجدد)، پخش به شکل محلول، نفوذ در لاشبرگ‌ها، جذب/جذب سطحی نیتروژن محلول به وسیله ذرات خاک، مهاجرت ارگانیک‌ها از سیستم نیزاز، جذب توسط موجودات زنده سیستم نیزاز، آمونیفیکاسیون، تبخیر آمونیاک، واکنش‌های نیتریفیکاسیون/دینیتریفیکاسیون توسط باکتری‌ها و تثبیت نیتروژن می‌باشد. ته نشینی فرآیند مهمی محسوب نمی‌گردد، زیرا حلالیت نیتروژن حتی نیتروژن غیرآلی بالاست. چون سیستم‌های وتلند مصنوعی زیرسطحی غالباً بی‌هوای هستند، حذف میکروبی از طریق نیتریفیکاسیون، خیلی محدود است. همچنین جذب از طریق گیاه نیز خیلی محدود است. سیستم‌های با بار نسبتاً پائین قادرند بخشی از آمونیاک را حذف کنند. اگر چه سیستم SSF در سانیت واقع در کالیفرنیا توانسته تا ۸۶٪ نیتروژن ناشی از پساب تصفیه اولیه را حذف نماید، اما برای سایر سیستم‌های SSF حذفی حدود ۲۰ تا ۷۰٪ گزارش شده است. با فرض ۲۰ تا ۲۵ میلی گرم در لیتر غلظت نیتروژن ورودی، وقتی که زمان ماند بیش از ۶ تا ۷ روز باشد، غلظت نیتروژن پساب خروجی حدود ۱۰ میلی گرم در لیتر را می‌توان انتظار

<sup>1</sup> Chi



داشت، بنابراین با توجه به نتایج حاصل از مطالعات متعدد و پیچیدگی فرایندهای حذف، میزان حذف TN در سیستم وتلند مصنوعی یزد در حد قابل قبولی می‌باشد. در ارتباط با نتایج بدست آمده برای حذف TKN در بسترهای نی زیر سطحی تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد، متوسط حذف  $60/33\%$  (متوسط فصل گرم  $58/34\%$  و متوسط فصل سرد  $61/71$ ) حاصل گردید. در مطالعه‌ای که توسط گری<sup>۱</sup> و همکارانش انجام شد، میزان حذف TKN توسط فرآیند سیستم نیزار اندازه گیری شده و با شرایط مشابه بدون وجود گیاه خاصی مقایسه گردید. متوسط حذف TKN برای سیستم حاوی گیاه ۳۰ درصد گزارش شد (۳۱). بر اساس داده‌های میدانی بدست آمده برای TP در بسترهای وتلند مصنوعی، متوسط حذف  $29/53\%$  (متوسط فصل گرم  $34/17\%$  و متوسط فصل سرد  $25\%$ ) حاصل گردید. میزان حذف فسفر در بسترهای وتلند مصنوعی تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد پائین بود، اما نتایج سایر مطالعات نیز مقدار حذف پائینی از فسفر در سیستم وتلند مصنوعی زیرسطحی را تأیید می‌کند. حذف فسفر در سیستم وتلند مصنوعی با جریان زیرسطحی خیلی موثر نیست، زیرا تماس بین محل‌های جذب و فاضلاب مورد تصفیه محدود می‌باشد. بسته به میزان بارگذاری، زمان ماند و مشخصات مواد بستر، محدوده حذف ممکن است از ۱۰ تا  $40\%$  برای فسفر ورودی از ۷ تا ۱۰ میلی گرم در لیتر متغیر باشد. در مطالعه‌ای توسط هاموری<sup>۲</sup> و همکاران، میزان حذف فسفر برای گیاه نی معمولی  $15\%$  گزارش گردید (۲۲). رحمانی و همکاران، میزان حذف فسفر را از  $9\%$

در یک سیستم وتلند مصنوعی با جریان پیوسته و  $17\%$  برای جریان ناپیوسته گزارش نمودند (۲۳). در مطالعه دیگری توسط بادکوبی در شهر سنجید میزان حذف فسفر بین ۵ تا  $55\%$  در شرایط دمایی مختلف بدست آمد (۲۱). گرین وی<sup>۳</sup> در مطالعه‌ای در سیستم نیزار زیر سطحی به میزان حذف  $13\%$  فسفر و در یک سیستم زیرسطحی منفرد، به حذف  $65\%$  فسفر دست یافت (۲۴). راهکارهای اصلی حذف فسفر در سیستم وتلند مصنوعی عبارتند از ترسیب و ته‌نشینی، در اثر واکنش‌های هم ترسیبی با Ca-Fe-Al، جذب سطحی، عامل رسوب عمده فسفر در اغلب سیستم‌های وتلند مصنوعی جذب سطحی شیمیایی روی کمپلکس‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم است. ظرفیت جذب سطحی خاک سیستم نیزار را می‌توان با تحلیل آزمایشگاهی برآورد نمود. نتایج کارآیی وتلند مصنوعی در تصفیه پساب‌های آلوده، کاهش آلاینده‌ها و شاخص‌های آلودگی آب از جمله مواد مغذی (نیترژن و فسفر) از فاضلاب شهری به وسیله EPA مورد مطالعه قرار گرفته است که محدوده حذف بدست آمده به ترتیب برای نیترژن و فسفر  $30-98\%$  و  $20-90\%$  بوده است. تغییرات وسیعی که در بازدهی پارامترهای مختلف مشاهده می‌شود ناشی از تغییرات آب و هوایی، اختلاف درجه حرارت، شدت و ضعف نور خورشید و اختلاف در وضعیت فیزیکی سطح آب، عمق آب و نوع گیاه بوده است (۲۵). راهکارهای حذف فسفر در سیستم نیزار با جریان زیرسطحی اصولاً مشابه سیستم نیزار جریان سطحی می‌باشد. ایجاد تغییر عمده در جذب سطحی فسفر مستلزم محیط ویژه‌ای است. فسفر در

<sup>1</sup> Gray<sup>2</sup> Hamauri<sup>3</sup> Greenway

زمان‌های خاصی از سال، معمولاً در اثر تغییر شرایط محیطی داخل سیستم، می‌تواند آزاد شود. گستره حذف فسفر برای فسفر ورودی ۱۰-۷ میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند ۴۰-۱۰ درصد باشد. جذب گیاهی عموماً کمتر از ۱۰ درصد (حدود ۰/۵۵ کیلوگرم بر هکتار در روز) می‌باشد (۲۸-۲۶). بررسی تصفیه‌خانه‌هایی که با سیستم طبیعی بهره‌برداری می‌گردند، ممکن است به این خاطر باشد که نمی‌توانند آن طور که تصور می‌شده راهبری شوند و یا اینکه می‌بایست برای کارکرد بهتر دچار تغییر و تحول شوند. مثلاً جهت حذف نوترینت‌ها بهینه کردند. مدل‌های ریاضی و بیولوژیکی برای تعیین رابطه بین متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرند تا با استفاده از این روابط بتوان طراحی‌ها و نتایج آزمایشگاهی را مورد ارزیابی قرار داد. این مدل‌ها همچنین برای کنترل و پیش بینی عملکرد واحد تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه با استفاده از مدل سازی می‌توان به بهترین شرایط طراحی، اجرا و بهره‌برداری دست یافت. استفاده از مدل، یک‌سری روش‌های کاملاً جدیدی برای تمرین و کاربرد مهندسی ایجاد می‌نماید. یک مدل می‌تواند برای متناسب شدن با داده‌ها تنظیم شده و سپس برای آنالیز گزینه‌ها جهت بهبود فرایند کمک شایانی را به طراحان و بهره‌برداران سیستم‌های تصفیه فاضلاب مکانیکی و طبیعی بنماید. مدل‌های ساده شده از تعداد کمی متغیر تشکیل می‌شوند و می‌توانند برای تعیین سینتیک واکنش‌ها مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق جهت بررسی سینتیک واکنش‌های بیولوژیکی از سه مدل حذف آلاینده مرتبه اول، مدل حذف آلاینده مرتبه دوم (گراو) و مدل استوور-کین

کانن استفاده شده است. در این سیستم بررسی‌ها نشان داد که در بین سه مدل پیشنهادی استوور-کین کانن، مدل سینتیک درجه اول و مدل سنتیک درجه دوم، بیشترین انطباق حذف نیترژن با مدل استوور-کین کانن بدست آمد. میزان  $R^2$  برای نیترژن ۰/۹۴۲ بود. در این سیستم هیچ‌کدام از مدل‌های فوق‌الذکر برای حذف فسفر انطباق قابل قبولی را نداشته‌اند. در ارتباط میزان  $U_{max}$  بدست آمده برای نیترژن و فسفر که به ترتیب برابر ۷۶/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر در روز و ۱/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر در روز نشان داد که اعداد حاضر برای فسفر بسیار پائین بوده و گویای مصرف بسیار پائین در این سیستم می‌باشد. به نظر می‌رسد که در صورتی که ابعاد سیستم کوچکتر و بار ورودی نیز بیشتر باشد، می‌توان به مصرف خوراک بیشتری به واسطه وجود توده زیستی بیشتر دست یافت. در هر حال این فرضیه بایستی در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و در مقیاس پایلوت یا آزمایشگاهی صورت گیرد تا بتوان قضاوت دقیق‌تری از این نوع سیستم‌ها بیان نمود. در مطالعه‌ای که توسط کرمانی و همکاران بر روی یک سیستم MBBR صورت گرفت، میزان  $U_{max}$  بدست آمده از مدل استوور-کین کانن برای سیستم مورد مطالعه به ترتیب برای نیترژن و فسفر برابر ۴۳/۳۰۵ و ۳۵/۰۸۸ در واحد  $g/l.d$  بود (۱۶). در مطالعه دیگری که توسط پنا<sup>۱</sup> و همکاران در یک راکتور پر بار با جریان رو به بالا انجام گرفت، میزان  $U_{max}$  برابر ۱۲  $g/l.d$  برای نیترژن بدست آمد (۲۹). همچنین در مطالعه دیگری که توسط دلنواز و همکاران در سال ۱۳۸۸ در یک راکتور بیوفیلمی با بستر

<sup>1</sup> Pena

متحرک انجام گرفت، میزان  $U_{max}$  برابر  $14/4$  گرم بر لیتر در روز برای حذف آنالین بدست آمد (۳۰). در ارزیابی سیستم شاهد (بدون نی) بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل استوور-کین‌کانن در حذف نیتروژن نسبت به سایر مدل‌ها برای این سیستم از خود انطباق نشان داد. میزان ضریب  $R^2$  در حذف نیتروژن برای مدل استوور-کین‌کانن برابر  $0/745$  بود.

### نتیجه گیری

فاضلاب تصفیه نشده می‌تواند مشکلات عدیده زیست محیطی به دنبال داشته باشد. استفاده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب با تکنولوژی پایین و عدم مصرف انرژی یا سیستم‌های کم مصرف علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی به اصلاح محیط زیست هم کمک می‌نماید. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که در سیستم وتلند دارای نی میزان حذف نوترینت‌ها نسبت به شاهد بیشتر بوده است، ولی این میزان حذف قابل ملاحظه نبود. آنالیز آماری داده‌ها نیز حاکی از آن بود که رابطه معنی‌داری بین راندمان حذف سیستم شاهد و سیستم دارای نی در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود ندارد ( $p > 0/05$ ). بر این اساس نتایج حاصل بیانگر این

موضوع است که وجود نی در بسترهای وتلند کارایی چندانی در بهبود عملکرد سیستم نداشته و می‌توان پیشنهاد داد که گیاهانی با خاصیت حذف بیشتر در سیستم مورد بررسی قرار بگیرند (نی فراگماتیس). به‌طور کلی عملکرد مناسب و حذف بالا در اولین واحد (سپتیک تانک)، موجب افزایش راندمان تصفیه خانه و به همان نسبت کاهش بار ورودی می‌گردد. بررسی نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد بدلیل وجود شرایط مناسب، در مجموع وضعیتی را به‌وجود آورده است که موجب کاهش چشمگیر بسیاری از پارامترهای اصلی شاخص آلودگی می‌گردد. در خصوص پیش‌بینی رفتار حذف نوترینت‌ها، مدل استوور-کین‌کانن نزدیکترین ارتباط ریاضی بین پیش‌بینی‌های تئوری و داده‌های میدانی واقعی بسترهای نی زیرسطحی را ارائه نمود.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از شرکت آب و فاضلاب استان یزد که در راستای انجام این پژوهش محققین را یاری نمودند، کمال تشکر بعمل می‌آید.

### References

- 1- Neralla SI. Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 2000: 75(1), p. 19-25.
- 2- Reed SC, Crites RW, Middlebrooks EJ. *Natural systems for waste management and treatment*. McGraw-Hill Professional, 1998.
- 3- Steer D, Fraser L, Boddy J, Efficiency of small constructed wetlands for subsurface treatment of single-family domestic effluent. *Ecological Engineering*, 2002: 18(4), p. 429-440.
- 4- Vymazal J. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience, *Ecological Engineering* 2002:18, 633-646.
- 5- Crites R, Technobanoglous G. *Small and decentralized wastewater management systems*. McGraw-Hill, 1998.
- 6- Robert H. *Treatment wetlands by CRC, Press LLC*. 2008: p. p 950.

- 7- Faulkner SP, Richardson CJ, Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils. *Constructed wetlands for wastewater treatment: Municipal, industrial and agricultural*, 2000: p. 41-72.
- 8- Davenport JC, Annie K, Christiane MR. "Wetlands at Work." *Waves, Wetlands, and Watersheds: California Coastal Commission Science Activity Guide*. San Francisco, CA: Commission, 2003.
- 9- Rousseau` DP, Vanrolleghem P A, De Pauw N. *Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis*. *Ecol. Eng.* 2004;23, 151-163.
- 10- Jenssen PD, Krogstad T. *Design of Constructed Wetlands Using Phosphorus Sorbing Lightweight Aggregate (LWA)*. In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates*; Mander, Ü. , Jenssen, P. D. , Eds. ; WIT Press: Southampton, UK, 2003: pp. 259-271.
- 11- Mayo A, Bigambo T. *Nitrogen transformation in horizontal subsurface flow constructed wetlands I: Model development*. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2005: 30(11-16), p. 658-667.
- 12- Brooks AS , Rozenwald MN, Geohring LD, *Phosphorus removal by wollastonite: A constructed wetland substrate*. *Ecological Engineering*, 2000: 15(1-2), p. 121-132.
- 13- Miranzade MB, Mahvi AH, Mesdaghynia AR , *investigate the efficacy stabilization ponds of Integrated municipal wastewater*. *spring feyze*, 2000: 4(1), p. 43-54.
- 14- Davoodi R. "Kinetic modeling of wastewater treatment system to remove organic materials of nitrogen and phosphorus in artificial wetland city of Qasr-e Shirin", MSc thesis in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences. 1389 [Full text in Persian].
- 15- Eaton AD. Franson M A, *Standard methods for the examination of water & wastewater*. Amer Public Health Assn. 2005.
- 16- Kermani M. *Performance analysis and modeling, moving-bed biofilm process to remove nutrients from wastewater compounds*, *Journal of Water and Wastewater*, 2009: 21(3), 9-19 [Full text in Persian].
- 17- Kadlec A, Robert H. *Treatment wetlands*. 2nd ed. United States of America: CRC Press. 2009.
- 18- Cui LH, Zhu XZ, Zhu WL, *Removal of total nitrogen by Cyperus alternifolius from wastewaters in simulated vertical-flow constructed wetlands*. *Ecological Engineering*, 2009:35(8), p. 1271-1274.
- 19- Liao X, Luo S, Wu Y, *Comparison of nutrient removal ability between Cyperus alternifolius and Vetiveria zizanioides in constructed wetlands*. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology/Zhongguo sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban*, 2005: 16(1), p. 156.
- 20- Lee CY, Lee CC, Lee FY, *Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads*. *Bioresource Technology*, 2004: 92(2), p. 173-179.
- 21- Badhobi A, Ranaee F, *Reed and Microorganisms growth wastewater in artificial wetland . Environmental effects of agricultural wastewaters conference on groundwater and surface water*, 2001.
- 22- Hamouri B, Nazih J and Lahjouj J. *Subsurface-horizontal flow constructed wetland for sewage treatment under Moroccan climate conditions*. *Desalination*, 2007: 215(1-3), p. 153-158.
- 23- Rahmani A, Azimi A, and Mehrdadi N, *survy performance integrated Anaerobic ponds Equipped with hole digister and subsurface artificial wetland for subsurface municiple wastewater treatment*. *Desalination*, 2009. [Full text in Persian].
- 24- Greenway M, Woolley A. *Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation*. *Ecological Engineering*, 1999:12(1-2), p. 39-55
- 25- Hammer DA, Knight R L. *Designing constructed wetlands for nitrogen removal*. *Water Science & Technology*, 1994: 29(4), p. 15-27.
- 26- Akrotos CS, Papaspyros JN, Tsihrintzis VA. *An artificial neural network model and design equations for BOD and COD removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands*. *Chemical Engineering Journal*, 2008: 143(1-3), p. 96-110.
- 27- Vymazal J, Kröpfelová L. *Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal subsurface flow*. Springer Verlag. 2008: p.278-331.
- 28- Mofayezi A. *Natural wastewater treatment systems*. Marandiz 2009: Vol. 1. [Full text in Persian].
- 29- Peña MR, Rodríguez J, Mara DD, Sepulveda M. *UASBs or anaerobic ponds in warm climates? A preliminary answer from Colombia*. *Water Science and Technology*. Vol 42 IWA Publishing 2000: pp 59-65.

- 30- Delnavaz M, Ayati B, GanjiDost H. Wastewater containing aniline reaction kinetics in moving bed biofilm reactor", Environmental Health Science, spring 1388: 2 (I), 76 - 87 [Full text in Persian].
- 31- Gray S, Kinross J, Read P, The nutrient assimilative capacity of maerl as a substrate in constructed wetland systems for waste treatment. Water Research, 2000: 34(8): p. 2183-219.

# Investigating Efficiency and Kinetic Coefficients of the Nutrients Removal in the Subsurface Artificial Wetland of Yazd's Wastewater Treatment Plant

Farzadkia M<sup>1</sup>, Ehrampush M.H<sup>2</sup>, KermaniM<sup>1</sup>, Nadafi K<sup>1</sup>, Abouee Mehrizi E<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, ShaheedSadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

<sup>3</sup> Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, North Khorasan University of Medical Sciences, Bojnurd, Iran

\*Corresponding author. Tel: +985842247281 Fax: +985842247281 E-mail: [Ehsan.abouee@gmail.com](mailto:Ehsan.abouee@gmail.com)

Received: 1 Dec 2012 Accepted: 9 Mar 2013

## ABSTRACT

**Background and Objectives:** Investigating performance of naturally operated treatment plants may be due to the fact that they cannot be operated as desired or should be modified to achieve good performance e.g for nutrients removal. The advantage of the kinetic coefficients determination is that the model can be adjusted to fit data and then used for analyzing alternatives to improve the process. This study investigates the efficiency of subsurface artificial wetland and determines its kinetic coefficients for nutrient removal.

**Methods:** Present study investigated the kinetics of biological reactions occurred in subsurface wetland to remove wastewater nutrient. Samples were taken from 3 points of wetlands for 6 months. The nutrient content was determined through measuring TKN, ammonium, nitrate, and phosphate values.

**Results:** Average levels for TKN, ammonium, nitrate, and phosphate in effluent of control wetland and wetland with reed were 41.15, 23.59, 1.735 and 6.43 mg/l and 28.91, 19.99, 1.49 and 5.63 mg/l, respectively. First order, second order, and Stover-Keane Canon models were applied and statistical parameters obtained from the models (i.e.  $\mu_{max}$ ,  $k_B$ ) were analyzed.

**Conclusions:** The nutrients removal at Yazd wastewater treatment plant was remarkable and presence of reed beds has not a significant effect on system performance improvement. Other more efficient plants are suggested to be evaluated in the system. Stover-Keane Canon model provided predictions having the most significant relationship with actual data obtained from the field.

**Keywords:** Wastewater; Wetland; Nutrients; Kinetic Coefficients; Yazd.