

## بهینه سازی نيزارهای مصنوعي زیر سطحی با استفاده از میوه درخت کاج به عنوان پرکننده بستر جهت تصفیه فاضلاب شهری

عباسعلی رباط جزی<sup>۱</sup>، سید جعفر اعتصامی نسب<sup>۱</sup>، ابوالفضل رحمانی ثانی<sup>۲\*</sup>، فاطمه دارینی<sup>۱</sup>

۱. کارشناسی مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۲. \*نویسنده مسئول، دانشیار، مهندسی محیط زیست، عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

rahmani240@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۰۲/۲۷)

**زمینه و هدف:** نيزارهای مصنوعي به لحاظ مصرف انرژی و بهره برداری و نگهداری بسیار مقرون به صرفه هستند. تحقیقات زیادی در خصوص بازده حذف نيزارها در تصفیه فاضلاب انجام شده ولی در خصوص نوع مدیای به کار گرفته شده در این نيزارها و تأثیر آن بر راندمان تصفیه اطلاعات موجود ناچیز می باشد. هدف از این پژوهش بهینه سازی نيزارهای مصنوعي زیر سطحی با استفاده از میوه درخت کاج به عنوان پرکننده بستر جهت تصفیه فاضلاب شهری بود.

**مواد و روش ها:** در این پژوهش پایلوت های نمونه و شاهد از جنس آجر و سیمان در ابعاد ۸/۰\*۱\*۲ متر ساخته شد. فاضلاب شهری مورد استفاده با زمان ماند ۳ ساعت در تانک ته نشینی اولیه وارد و با دبی ۰/۸۵ لیتر در ساعت وارد پایلوت ها گردید، زمان ماند هیدرولیکی بسترها ۸ روز بود. پارامترهای شیمیایی TN, TP, COD, TSS، بر اساس روش های استاندارد متد مورد سنجش قرار گرفت. نمونه برداری هفته ای دو بار و هر بار به صورت مرکب در زمان های ۴ ساعته تهیه و نتایج آنها بر اساس روش متوسط شناوری داده ها استخراج گردید.

**یافته ها:** طبق داده های حاصل از عملکرد پایلوت ها، بازده حذف TN, TP, TSS, COD به ترتیب در بستر شاهد ۷۹/۶۸، ۸۸/۳۱، ۸۵/۳، ۸۳/۰۳ درصد، و در بستر نمونه ۹۱/۴۵، ۹۲/۸۸، ۸۸/۸۶، ۸۶/۶ درصد بود.

**نتیجه گیری:** دلیل افزایش بازده حذف در نيزار نمونه با استفاده از میوه درخت کاج را می توان بالا بودن سطح ویژه، فضای متخلخل زیاد و افزایش بیوفیلم و در نتیجه افزایش بازده حذف مواد آلی کربنی، نیتروژنی و جامدات معلق دانست.

**کلید واژه ها:** تانک ته نشینی اولیه، میوه درخت کاج، نيزار مصنوعي زیر سطحی

### مقدمه

فاضلاب یا گنداب عبارت است از آب استفاده شده ای که برای مصرف خاص خود قابل استفاده مجدد نیست یا به عبارتی کیفیت آن پایین تر از، قبل از استفاده می باشد (۱). فاضلاب ها بسته به شکل پیدایش و خواص آنها به سه گروه تقسیم می گردند: فاضلاب های خانگی، فاضلاب های صنعتی و فاضلاب های سطحی. با توجه به اینکه تصفیه

فاضلاب در جهان از اهمیت خاصی برخوردار است و هزینه های زیادی را به دولت ها تحمیل می نماید لذا انتخاب فناوری مناسب با توجه به شرایط آب و هوایی، اقتصادی و اجتماعی هر منطقه حائز اهمیت می باشد (۲). تصفیه فاضلاب ها با روش های گوناگونی صورت می پذیرد که هر کدام از این روش ها دارای معایب و مزایایی می باشد. به طور کلی دو روش تصفیه طبیعی و مصنوعي مورد استفاده قرار می گیرد که با توجه به هدف متخصصان

انتخابی با مدیای متفاوت بنام میوه درخت کاج بود که مطالعات کمتری در این زمینه انجام شده است. از جمله دلایل انتخاب این مدیا توسط محققین این پژوهش وجود سطح ویژه بالای میوه درخت کاج نسبت به حجم آن و نیز وجود شیارهای متعدد در این میوه که می تواند باعث رشد بیوفیلم بیشتر در یک حجم معین گردد و همچنین وفور این درخت در منطقه بود. لذا هدف از مطالعه پیش رو بهینه سازی نيزارهای مصنوعی زیرسطحی با استفاده از میوه درخت کاج به عنوان پرکننده بستر جهت تصفیه فاضلاب شهری بود.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه بصورت تجربی (در مقیاس آزمایشگاهی) در محل پایلوت صحرایی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی سبزوار انجام شد. هدف از انجام این پژوهش بهینه سازی نيزارهای مصنوعی زیرسطحی با استفاده از میوه درخت کاج به عنوان پرکننده بستر جهت تصفیه فاضلاب شهری بود.

### ساخت و بهره‌برداری از پایلوت‌ها:

در این پژوهش دو پایلوت (پایلوت نمونه و شاهد) از جنس آجر و سیمان در ابعاد طولی ۲متر، عرض ۱متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر ساخته شد (شکل ۱).

که دستیابی به روش‌های مناسب و کم هزینه را در دستور کار خود قرار داده‌اند روش‌های طبیعی جزء روش‌های قابل قبول می‌باشند (۳، ۴). از جمله این روش‌ها می‌توان به نيزارهای مصنوعی زیر سطحی (وتلند) به عنوان روش‌های تصفیه طبیعی فاضلاب شهری و صنعتی یاد کرد که از نظر مصرف انرژی و هزینه مقرون به صرفه هستند. نيزارهای مصنوعی برگرفته از نيزارهای طبیعی می‌باشند که به صورت خودرو در حاشیه مرداب‌ها، جنگل‌ها و رودخانه‌ها بوجود آمده‌اند و محققان طی آزمایش‌های مربوطه پی به تصفیه‌پذیری این نيزارها برده و سپس بر آن شدند تا به طور مصنوعی با ایجاد نيزارها در بستری مناسب فاضلاب و آب‌های آلوده را تصفیه نمایند. نيزارهای مصنوعی در یک دسته بندی به دو نوع نيزارهای مصنوعی با جریان روستحی (FVS) و نيزارهای مصنوعی با جریان زیر سطحی (SFS) تقسیم بندی می‌گردند (۵). نيزارهای مصنوعی زیر سطحی به دلیل عبور جریان از زیر بستر از مشکلاتی از قبیل بو، تجمع مگس و حشرات عاری هستند. لذا در این پژوهش نیز از نيزارهای زیر سطحی جهت تحقیق استفاده شد.

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات زیادی پیرامون نيزارهای مصنوعی در زمینه نوع گیاه مورد استفاده صورت پذیرفته است در مطالعه حاضر هدف تحقیق پیرامون نوع بستر



شکل ۱: پایلوت‌های نيزارهای مصنوعی زیر سطحی

در پایلوت‌های تحقیق حاضر جهت آب‌بندی و جلوگیری از نشت، تمامی کف و دیوار توسط ایزوگام عایق‌بندی شد. بستر پایلوت نمونه حاوی میوه درخت کاج و بستر شاهد تنها حاوی ماسه بود. پایلوت شاهد با ۳۲۰۰ عدد گل کاج (شکل ۲) که هر کدام مخروطی به قطر متوسط ۸ سانتی-متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر بود پر شد. جهت نگهداشت آنها از ماسه درشت در اطراف هر ردیف گل کاج استفاده شد. لایه بالایی با ماسه بادی پر شده تا امکان کاشت ریشه‌های نی فراهم گردد. جهت حداکثر استفاده از لایه‌های چند طبقه گل کاج از جریان عمودی فاضلاب در بستر استفاده گردید و جهت یکسان شدن شرایط در بسترهای نمونه و شاهد این جهت جریان در بستر شاهد نیز رعایت گردید.

پایلوت‌ها به دلیل بالا رفتن دقت نتایج و ایجاد شرایط طبیعی در هوای آزاد قرار گرفتند. زمان ماند هیدرولیکی برای بسترها یکسان و برابر ۸ روز انتخاب شد. در ارتفاع ۵ سانتی‌متری از کف پایلوت‌ها شیر خروجی تعبیه گردید. در روی لوله‌های عرضی مورد استفاده در سطح نيزار سوراخ‌هایی مرتب و با فواصل مساوی ایجاد شد و در هنگام نصب، این سوراخ‌ها بصورت متمایل به بالا قرار گرفتند تا با این روش ابتدا نیمه پایینی لوله از فاضلاب پر شود و سپس همزمان از تمامی سوراخ‌ها به بیرون تراوش کند تا پساب به طور یکسان از سراسر لوله به بستر تالاب تزریق شود.



شکل ۲: میوه درخت کاج

مشخصات فاضلاب خام شهری مورد استفاده برای آبیاری بستر نيزارها (پایلوت) طبق جدول ۱ بود.

فاضلاب شهری مورد استفاده در این پژوهش ابتدا قبل از ورود به پایلوت‌ها در یک مخزن ۱۰۰۰ لیتری با زمان ماند ۳ ساعت جهت ته‌نشینی اولیه ذخیره و سپس با دبی ۰/۸۵ لیتر در ساعت وارد پایلوت‌ها گردید.

جدول ۱: خصوصیات فاضلاب خام شهری ورودی به پایلوت‌ها

| متغیرها | میانگین<br>mg/l |
|---------|-----------------|
| BOD5    | ۲۳۰             |
| COD     | ۲۸۰             |
| TSS     | ۲۰۰             |
| TP      | ۶               |
| TN      | ۲۰              |
| pH      | ۷/۲             |

#### خصوصیات گیاه:

گیاه مورد استفاده در این پژوهش از نوع نی معمولی که در منطقه به نام دم گربه‌ای شناخته می‌شود انتخاب شد با نام علمی *Phragmites australis* که یک گیاه علفی بلند، ریزوم دار و پایا (perennial) است که ۱/۵ تا ۳ متر رشد می‌کند و دارای برگ‌های غلاف شکل و پهن است. جنس *Phragmites* متعلق به رده تک لپه‌ای‌ها و شاخه نهاندانگان است و وسیع‌ترین پراکنش در بین گونه‌های نی را دارا است. با توجه به اینکه جمعیت نی از لحاظ مورفولوژیکی و ساختار جمعیتی تفاوت زیادی را نشان میدهد برخی محققان معتقدند که نی توانایی تحمل طیف وسیعی از شرایط اکولوژیکی را دارد (۶). نی با جریان‌های تند آب سازگار است و شوری صفر تا ۱۸ در هزار را تحمل می‌کند و می‌تواند در رسوبات متراکم و ریزدانه هم مستقر شود.

**آماده سازی و کاشت گیاه:**

طبق مطالعات انجام شده دمای مناسب جهت کاشت گیاه ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد لذا کاشت گیاه با توجه به شرایط دمایی منطقه در فصل بهار صورت پذیرفت (۷). این گیاه از محل تصفیه‌خانه فاضلاب سبزوار در فصل بهار (۱۵ فروردین) به صورت جوانه‌هایی به طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و دارای ریشه‌های قوی و پر حجم انتخاب و در داخل بسترها با فواصل منظم طولی و عرضی کاشته شد. جهت تقویت و استحکام ریشه گیاه در بستر در روی بسترها حدود ۵ سانتی‌متر ماسه بادی پاشیده شد و سپس ریشه‌ها در بستر غرس گردید.

جهت خوگیری گیاهان با شرایط فاضلابی، در آبیاری اولیه از فاضلاب رقیق شده (۶۰ درصد فاضلاب شهری و ۴۰ درصد آب) استفاده گردید. مدت سه هفته جوانه‌ها با فاضلاب رقیق شده آبیاری شد و پس از اطمینان از رشد مطلوب گیاهان در پایلوت از فاضلاب شهری استفاده گردید (شکل ۳). شروع آزمایشات در اردیبهشت ماه بود. روش آبیاری در این پژوهش بصورت زیرسطحی و سیستم پیوسته بود.



شکل ۳: رشد جوانه‌های نی در پایلوت‌ها پس از گذشت ۳ هفته

### شرایط عملیاتی

کلیه مطالعات در شرایط محیطی و با استفاده از پایلوت صحرائی واحدهای پیش تصفیه در ترکیب با نزارهای مصنوعی زیرسطحی در مدت یک سال انجام شد. به منظور بررسی کارایی هر پایلوت در تصفیه فاضلاب شهری پارامترهای شیمیایی شامل TN, TP, COD, TSS، بر اساس روش‌های استاندارد متد مورد سنجش قرار گرفت. نمونه‌برداری هفته‌ای دو بار و هر بار به صورت مرکب در زمان‌های ۴ ساعته تهیه و نتایج آنها بر اساس روش متوسط شناوری داده‌ها (moving average) استخراج

گردید. محل نمونه‌گیری ورودی و خروجی ته‌نشینی و خروجی نزارهای زیرسطحی در نظر گرفته شد.

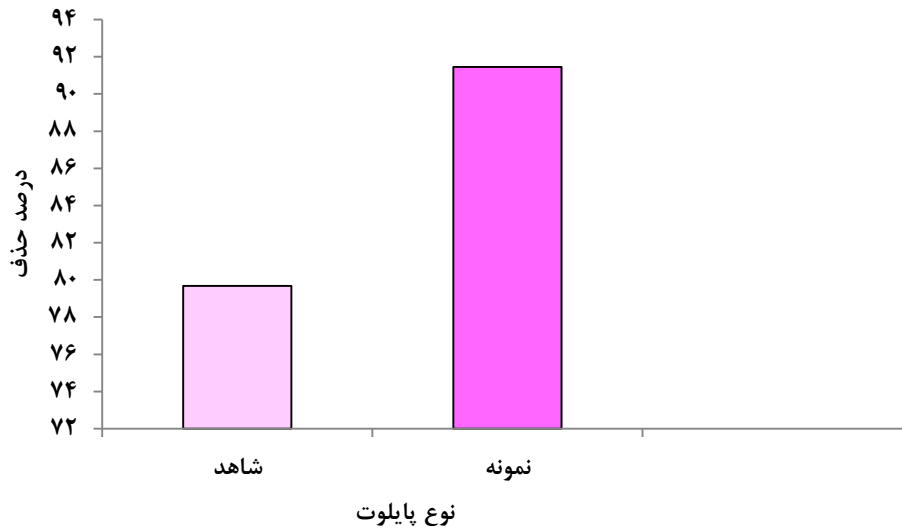
### یافته‌ها

#### راندمان حذف COD:

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات مقادیر COD ورودی و خروجی از پایلوت‌ها در جدول شماره ۲ ذکر شده است که بر اساس داده‌ها میزان راندمان حذف COD در پایلوت نمونه بیشتر از پایلوت شاهد بود (نمودار ۱).

جدول ۲: مقادیر ورودی و خروجی COD در بسترها

| عنوان  | میانگین ورودی COD mg/l | میانگین خروجی COD mg/l | بازده حذف (%) |
|--|------------------------|------------------------|---------------|
| ته‌نشینی اولیه   | ۲۸۰                    | ۲۵۲                    | ۱۰            |
| بستر ماسه (شاهد)   | ۲۵۲                    | ۵۱/۲                   |               |
| بستر بهینه شده با میوه درخت کاج (نمونه)  | ۲۵۲                    | ۲۰/۴۵                  |               |
| در بستر ماسه با نی (بسترهای معمولی) بازده حذف COD بین ۷۰ تا ۸۰ درصد بسته به نوع گیاه و قطر ماسه می‌باشد. |                        |                        |               |



نمودار ۱: مقایسه راندمان حذف COD در بسترها

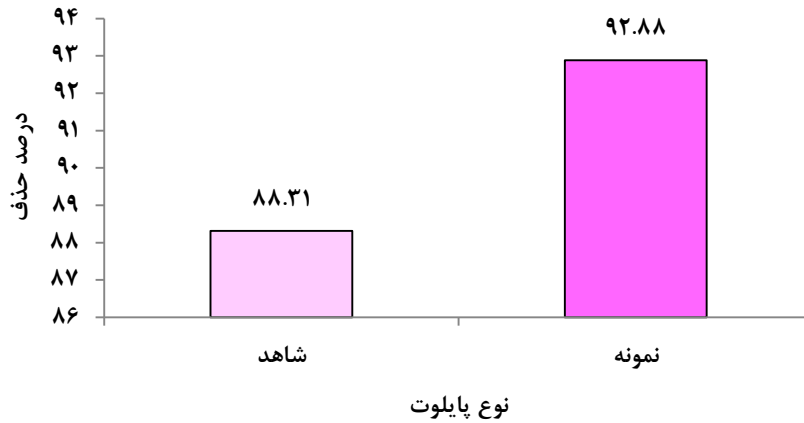
پایلوت بهینه سازی شده در حذف TSS نیز دارای راندمان بالاتری نسبت به پایلوت شاهد بود (نمودار ۲).

**راندمان حذف TSS:**

طبق جدول ۳ مقادیر ورودی و خروجی TSS از پایلوت‌ها نشان داده شده است که بر اساس نتایج بدست آمده،

جدول ۳: مقادیر ورودی و خروجی TSS در بسترها

| عنوان   | میانگین ورودی TSSmg/l | میانگین خروجی TSSmg/l | بازده حذف (%) |
|---|-----------------------|-----------------------|---------------|
| ته نشینی اولیه  | ۱۹۲                   | ۱۳۴                   | ۳۰/۲          |
| بستر ماسه (شاهد)  | ۱۳۴                   | ۱۵/۶۶                 |               |
| بستر بهینه شده با میوه درخت کاج (نمونه)   | ۱۳۴                   | ۹/۵۴                  |               |
| در بستر ماسه با نی (بسترهای معمولی) بازده حذف TSS تا ۸۵ درصد نیز گزارش شده است. |                       |                       |               |



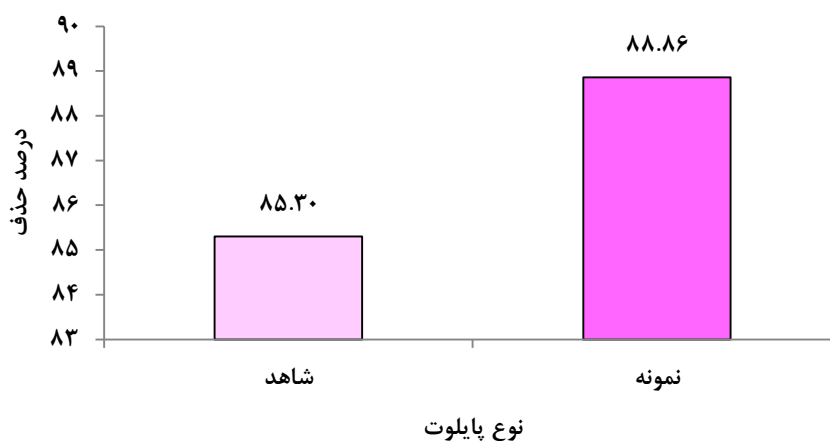
نمودار ۲: مقایسه راندمان حذف TSS در بسترها

راندمان حذف TN:

جدول ۴ مقادیر ورودی و خروجی TN از بسترها و نمودار ۳ راندمان بسترها در حذف TN را نشان میدهد.

جدول ۴: مقادیر ورودی و خروجی TN در بسترها

| عنوان  | میانگین ورودی نیترات mg/l | میانگین خروجی نیترات mg/l | بازده حذف (%) |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------|
| ته نشینی اولیه   | ۲۱/۱                      | ۲۱/۱                      | -----         |
| بستر ماسه (شاهد)   | ۲۱/۱                      | ۳/۱                       |               |
| بستر بهینه شده با میوه درخت کاج (نمونه)                                | ۲۱/۱                      | ۲/۳۵                      |               |
| در بستر ماسه با نی (بسترهای معمولی) بازده حذف TN حدود ۷۰ درصد می باشد. |                           |                           |               |



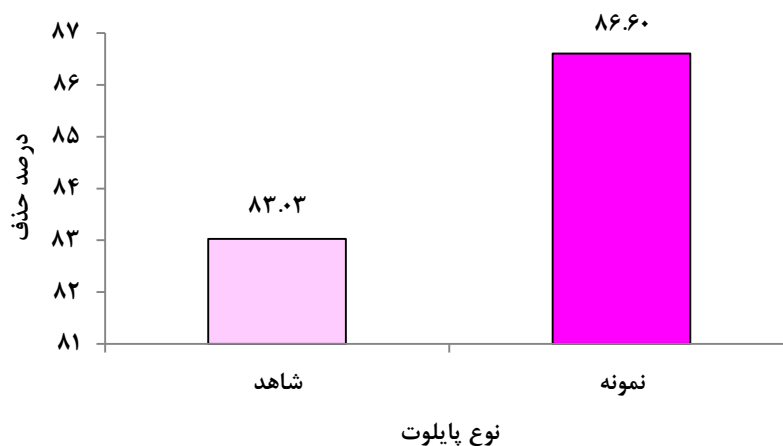
نمودار ۳: مقایسه راندمان حذف TN در بسترها

## راندمان حذف فسفر:

بر اساس داده‌های بدست آمده میزان فسفر ورودی و خروجی در ته‌نشینی اولیه ثابت (جدول ۵) و میزان حذف فسفر توسط پایلوت بهینه شده بیشتر از شاهد بود (نمودار ۴).

جدول ۵: مقادیر ورودی و خروجی فسفر در بسترها

| عنوان   | میانگین ورودی فسفات mg/l | میانگین خروجی فسفات mg/l | بازده حذف (%) |
|---|--------------------------|--------------------------|---------------|
| ته‌نشینی اولیه  | ۵/۶                      | ۵/۶                      | -----         |
| بستر ماسه (شاهد)  | ۵/۶                      | ۰/۹۵                     |               |
| بستر بهینه شده با میوه درخت کاج (نمونه)                                 | ۵/۶                      | ۰/۷۵                     |               |
| در بستر ماسه با نی (بسترهای معمولی) بازده حذف TP بین ۶۰ تا ۷۰ درصد است. |                          |                          |               |



نمودار ۴: مقایسه راندمان حذف TP در بسترها

روش‌های پیشرفته تصفیه پساب همانند بیوراکتور غشایی صفحه‌ای (۱۰) و راکتور بیوفیلم بستر متحرک با سیکل متناوب هم‌خوانی دارد (۱۱). از نظر میزان COD، فاضلاب تصفیه شده خروجی از هر دو بستر قابلیت استفاده در زمینه آبیاری و کشاورزی را طبق استانداردهای محیط-زیست دارا می‌باشد که در این میان بستر میوه درخت کاج با خروجی  $20/45 \text{ mg/l}$  تصفیه بهتری را انجام داده است (۱۲). همچنین دلیل این افزایش راندمان را نیز می‌توان در میزان اکسیژن موجود و رشد فیلم بیولوژیکی بیشتر در بستر میوه درخت کاج دانست. تجزیه مواد آلی به دو شکل هوازی و بی‌هوازی از طریق ته‌نشینی و فیلتراسیون ذرات مواد آلی در داخل بستر اتفاق می‌افتد (۱۳). از آنجا که عمده بازده تصفیه مواد آلی در بستر نیزار مربوط به تصفیه

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر توسعه روش‌های طراحی بهتر برای بهبود عملکرد سیستم‌های تصفیه فاضلاب به روش وتلند بود که بصورت بهینه سازی نزارهای مصنوعی زیرسطحی با استفاده از میوه درخت کاج به عنوان پرکننده بستر جهت تصفیه فاضلاب شهری صورت پذیرفت.

طبق نتایج حاصله از این پژوهش راندمان حذف COD در پایلوت نمونه بیش از ۱۰ درصد بالاتر از پایلوت شاهد بود که این نتیجه در بستر میوه درخت کاج با مطالعه شربت ملکی و همکاران (۸) و در بستر ماسه با مطالعه یوسفی و همکاران مشابهت دارد (۹). میزان راندمان حذف COD توسط بستر میوه درخت کاج با راندمان حذف توسط



اندازه ذرات، شکل و وزن مخصوص ذرات مؤثر است. ته-نشینی ذرات به دو روش ذرات مجزا و ذرات فلوک شده اتفاق می افتد (۱۷). با توجه به اینکه کلیه شرایط بسترها به جز مواد پرکننده بستر با هم یکسان می باشد لذا افزایش بازده حذف جامدات در بستر میوه درخت کاج را باید در تفاوت آنها با شن معمولی جست. با توجه به شکل نامتقارن میوه درخت کاج که در آن وجود دارد میزان برهم نشستگی آنها روی هم بسیار کم تر از ماسه های صاف و متقارن می باشد. لذا نفوذ ریشه ها در فضای بین میوه درخت کاج و فضای درون میوه بسیار زیادتر بوده و باعث می گردد یک فیلتر مشترک از سنگ و ریشه و اجزای میوه در مقابل عبور جامدات تشکیل گردد و بر میزان حذف، تأثیر به سزایی داشته باشد. همچنین فضای بسیار متخلخل موجود روی سطح جانبی میوه کاج باعث جذب لایه بیولوژیک و ژله ای می گردد که این لایه علاوه بر تأثیر مثبت بر حذف مواد آلی در جذب BOD معلق نیز مؤثر می باشد. اگر دلایل بازده حذف بیشتر در بستر میوه درخت کاج را دسته بندی نمایم موارد ذیل مشهود می باشد. الف) میوه درخت کاج با درصد فضای خالی بالاتر نسبت به ماسه از رشد بیوفیلم بالاتری برخوردار شده لذا ته نشینی به روش فلوکولاسیون در آن بالاتر از ماسه می باشد و بر بازده حذف مؤثر است. ب) نفوذ بهتر ریشه های گیاه در فضای بین اجزای میوه علاوه بر فراهم آوردن محیطی مناسب جهت جذب میکروارگانیزمها باعث ایجاد فیلتر مشترک سنگی و ریشه ای و اجزای میوه شده در نتیجه بر بازده حذف مؤثر بوده است. ج) به علت اکسیژن رسانی بالاتر در فضای ریشه ای در بین میوه های کاج، میزان حذف BOD معلق چسبیده به ریشه و مدیا بیشتر از بستر ماسه بوده است.

مکانیسم عمده حذف نیتروژن به روش بیولوژیکی نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون می باشند. در مرحله اول آمونیاک در شرایط هوازى توسط باکتری های نیتروزوموناس و نیتروباکتر به نیتريت و نیترات تبدیل و پس از آن در شرایط بی هوازى و آنوکسیک توسط باکتری های نیتریفایر، نیترات به گاز ازت تبدیل می گردد. نیتروژن به شکل معدنی برای گیاهان ضروری است و اگر میزان آن کم باشد یک عامل محدود کننده خواهد بود (۱۷).

هوازی می باشد افزایش بازده در بستر میوه درخت کاج را باید در این قسمت جستجو نمود. روش های انتقال اکسیژن در نيزارهای زیرسطحی به دو روش عمده صورت می پذیرد نخست انتقال اکسیژن از طریق مجاورت هوا و نفوذ از لایه خاک بدین صورت که جریان جابجایی که توسط دو فرآیند فیزیکی تبخیر و تعرق از اختلاف فشار آب داخل بافت گیاه و هوای اطراف صورت می گیرد در هوادهی بستر نقش زیادی را بازی می کند. همچنین جریان جابجایی می تواند بوسیله اختلاف سرعت باد نیز اتفاق بیفتد. دوم از طریق نفوذ اکسیژن حاصل از فتوسنتز درون ساقه توخالی نی و حمل آن توسط سلول های حمل گاز به ریشه ها و ساقه های زیر زمینی گیاه و انتشار در داخل بستر (۱۴). این اکسیژن در منطقه اطراف ریشه ها باعث ایجاد محیط هوازى شده و به مصرف میکروارگانیزم های اطراف ریشه و روی ریشه می رسد. انتقال اکسیژن در حدود ۵ تا ۴۵ گرم در هر مترمربع در روز و با توجه به تراکم گیاه انجام می گیرد. دلایل افزایش بازده حذف در بستر میوه درخت کاج نسبت به بستر ماسه را بدین صورت می توان دسته بندی نمود. الف) با توجه به میزان فضای زیاد بین قطعات میوه درخت کاج که موجب نفوذ هوا و اکسیژن در فضای بین قطعات میوه درخت کاج شده و کمک فراوانی به ایجاد محیط هوازى در بستر نموده است. ب) نفوذ ریشه های نی در لا به لای این میوه ها بسیار بیشتر از ماسه بوده لذا هم کمک به اکسیژن رسانی نموده و هم باعث تجمع بیشتر میکروارگانیزمها روی ریشه ها می شود ج) به دلیل سطح فراوان روی میوه، تجمع لایه بیولوژیکی روی میوه درخت کاج بسیار بیشتر از ماسه بوده است لذا بنا به دلایل فوق بازده حذف COD در بستر میوه درخت کاج به طور مطلوبی بالاتر از ماسه بدست آمد.

میزان حذف TSS در بستر میوه درخت کاج بیشتر از بستر ماسه بود که این نتیجه در بستر ماسه با مطالعه رحمانی ثانی و همکاران تقریباً همخوانی دارد (۱۵، ۱۶). تفاوت اندک در حد ۱ تا ۲ درصد بازده حذف با مطالعات مشابه را می توان به دلیل تفاوت ابعاد پایلوتها و تأثیر عوامل محیطی بر پژوهش دانست. از آنجایی که حذف جامدات معلق در نيزارها توسط فلوکولاسیون، ته نشینی، فیلتراسیون و جلوگیری توسط مدیا و ریشه گیاهان صورت می پذیرد. در عمل ته نشینی



بیشتر می‌باشد لذا افزایش بازده در آن کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

به طور کلی نزارهای مصنوعی به دلیل پایین بودن هزینه ساخت، بهره‌برداری و نگهداری به نسبت روش‌های مکانیکی جهت تصفیه انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی گسترش زیادی نموده‌اند. این پژوهش نشان داد در صورت بهینه سازی این سیستم‌ها می‌توان کاربردهای صنعتی این روش را نیز توجیه‌پذیر نمود. میوه درخت کاج به دلیل سطح ویژه بالا نسبت به ماسه یکی از ابزارهایی است که باعث افزایش بازده حذف در نزارها می‌گردد لذا یکی از روش‌های کاهش زمین در نزارها استفاده از مدیایی است که بازده حذف را بالا ببرد و این امر در میوه درخت کاج عینیت دارد (۲۲).

با توجه به گزارشات موجود در مطالعه تشیعی و همکاران (۵) داده‌های حاصل از این پژوهش دارای مطابقت بسیار نزدیکی با سایر مطالعات موجود در ایران (۲۳) و سایر کشورها می‌باشد و حتی در برخی موارد کارایی سیستم طراحی شده در این تحقیق (استفاده از میوه درخت کاج به عنوان بستر) دارای بازدهی بیشتر از حد انتظار بوده است.

با استفاده از سیستم تالابی برای تصفیه و بازیافت پساب می‌توان از پدید آمدن آب و لجن آلوده به انواع ضایعات شیمیایی، صنعتی و دارویی جلوگیری نمود. با استفاده از این فناوری مناسب می‌توان آب را قبل از این که مجدداً به چرخه طبیعی خود بازگردد، با سلامت و بهداشت کامل، برای مصارف گوناگون یک جامعه بازیافت و مورد استفاده قرار داد. تحمل دوران خشک‌سالی با دشواری کم‌تر، نجات باغات از ویرانی ناشی از بی‌آبی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی مرتبط با فناوری نامناسب و مصرف غیرمسئولانه فاضلاب از مزایای احداث سیستم‌های تالابی محلی برای بازیافت آب است. جایگزین شدن تالاب مصنوعی به جای سیستم‌های پرمصرف تصفیه فاضلاب تنها یک مثال از ضرورت برگزیدن یک فناوری مناسب به جای یک فناوری ناقص و نامناسب است. از این رو جوامعی که ضرورت اصلاح الگوی مصرف انرژی و استفاده از فناوری‌های مناسب را زودتر درک کنند و به چاره‌جویی بپردازند مسلماً از هدر رفت منابع خود و تحمل دشواری‌های مرتبط با انواع کمبودها اجتناب خواهند کرد و از

ریشه‌های نی یکی از عوامل مهم جذب کننده مواد مغذی است و افزایش آن باعث بالا رفتن راندمان جذب ازت می‌گردد، گیاه مواد را به صورت یونی جذب می‌کند لذا در بستر نزار میزان نیترات سازی بسیار بالا است و این عمل به دلیل اینکه نیتروژن توسط گیاهان به صورت نیترات قابل جذب است حائز اهمیت است (۱۸).

با توجه به مطالب فوق هر دو عامل نفوذ اکسیژن و رشد ریشه‌ها و متعاقباً رشد فیلم بیولوژیکی روی ریشه‌ها و مدیای بستر مستقیماً به نوع مواد پرکننده بستر ارتباط داشته است لذا میزان بازده حذف ازت در بستر میوه درخت کاج بیشتر از بستر ماسه می‌باشد. که بازده بستر ماسه در مطالعه حاضر با مطالعات مشابه همخوانی دارد (۱۵).

داده‌های مطالعه پیرامون حذف فسفر نشان دهنده قدرت بیشتر بستر میوه درخت کاج در حذف این عامل می‌باشد. همچنین میزان درصد حذف فسفر در بستر ماسه در تحقیق حاضر با مطالعه سرافراز و همکاران همخوانی دارد (۱۹).

به طور کلی مکانیسم اصلی حذف ترکیبات فسفر در فاضلاب‌های شهری توسط نزارهای مصنوعی به صورت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد (۲۰).

جذب سطحی ترکیبات فسفر روی سطح مواد پرکننده بستر و ریشه گیاهان، ترسیب شیمیایی فسفر با ترکیبات آلومینیوم، آهن، کلسیم و مواد معدنی رسی، ایجاد ترکیبات پیچیده توسط فعل و انفعالات بیولوژیکی و ته‌نشینی و رسوب‌گذاری آنها در سطح رسوبات و نهایتاً جذب مستقیم گیاهی می‌باشد. در این میان کیفیت و نوع مواد پرکننده بستر در حذف فسفر تأثیر به‌سزایی دارد زیرا در حذف فسفر فرآیندهای جذب سطحی و ترسیب شیمیایی مستقیماً مؤثر است. بافت ریز دانه مواد پرکننده بستر به دلیل ایجاد سطوح بیشتر باعث جذب بیشتر فسفر می‌گردد. حضور ترکیبات آهن، آلومینیوم و کلسیم در بسترهای خاکی باعث افزایش پتانسیل حذف ترکیبات فسفر می‌گردد (۲۱).

همان طور که مشاهده می‌گردد در جذب فسفر، گیاه و مواد پرکننده بستر، نقش به‌سزایی دارند. در بستر میوه درخت کاج رشد گیاه و ریشه‌های آن به مراتب کامل‌تر از بستر ماسه و همچنین سطح ویژه آن نسبت به بستر ماسه

این پژوهش حاصل طرح تحقیقاتی با کد ۹۳۰۵۵ و کد اخلاق IR.MEDSAB.REC.1394.1 مصوب کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار می-باشد. لذا از همکاری صمیمانه معاونت تحقیقات و فناوری و کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی تشکر و قدردانی می-نماییم.

### تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

سلامت و آسایش بیشتر در جامعه بهره‌مند خواهند شد (۲۴).

از آنجایی که راندمان بدست آمده در این تحقیق نسبت به راندمان‌های مربوط به سیستم‌های پیچیده تصفیه فاضلاب (انواع مختلف لجن فعال) (۱۰، ۱۱) که نیاز به تجهیزات، انرژی و بهره برداری به وسیله نیروهای متخصص دارد بسیار نزدیک و گاهاً بالاتر بود.

لذا محققین این مطالعه استفاده از بسترهای میوه درخت کاج به منظور بهینه سازی نزارهای مصنوعی را توصیه می‌نمایند.

### تشکر و قدردانی

## References

- 1-rezvani m, karimi m. Water and Wastewater rural. Payam Noor university: Payam Noor university; 1391.
- 2-Ghaderi A. Examine the role of plants in the natural purification of water polluted urban. GDIJ.2004:102-7.
- 3-Yousefi Z, MohseniBandpey A, Ghiaseddin M, Naseri S, Shokri M, Vaezi F, et al. Role of Iran Pseudacorus plant in removal of bacteria in subsurface constructed Wetland. J Mazandaran Univ Med Sci. 2001;11(31):7-15.
- 4-EhramPoosh M, Karimi B, Rahimi S, Talebi P, Ghalmani S. A study of removal rate of linear detergents and organic via subsurface constructed wetland from yazd wastewater. J tolooh behd (TBJ). 2008;6(3-4):74-83.
- 5-Tashauoei H, Mahdavi M, Karakani F, Ghelmani S, Ataifar H. Application of Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland for Treatment of Wastewater in Foreign Countries and Iran. mui. 2011;7(6).
- 6-dyanat m. Study of some growth traits of common reed (Phragmites australis) in Iran. rostaniha. 2008;9(2):151-65.
- 7-RahmaniSani A, Alahabadi A, Azimi A, Mehrdadi N, Torabiyani A. Setup and operation methods of artificial vetland subsurface flow. J sabze univ med sci. 2011;18(1):33-40.
- 8-Sharbatmaleki M, Borghei M. Performance of Pumice Stone as a Packing in Fixed-bed Aerobic Bioreactor. Water and Wastewater. 2005;56:62-71.
- 9-Yousefi Z, Hoseini M, Tahamtan RAM, Zazouli M. Performance Evaluation Of Artificial Wetland Subsurface With Horizontal Flow In Wastewater Treatment. J Mazand Univ Med Sci. 2013;23:12-52.



- 10-amin m, fazeli s, setare p, hasani a. The use of membrane bioreactor for the treatment of sewage-treatment plant south. Sixteenth National Conference on Environmental Health; Tabriz University of Medical Sciences 2013.
- 11-pirsahab m, ghayebzade m, drayat j, azizi e. Moving bed biofilm reactor with intermittent cycle performance in removing organic compounds from wastewater. Tabriz University of Medical Sciences 2013.
- 12-shaeri a, hasani a. human environmental laws regulation criteria and standards. tehran: hak; 2012.
- 13-Choi JH, Park SS, Jaffe PR. The effect of emergent macrophytes on the dynamics of sulfur species and trace metals in wetland sediments. Environmental Pollution. 2006;140(2):286-93.
- 14-Huett D, Morris S, Smith G, Hunt N. Nitrogen and phosphorus removal from plant nursery runoff in vegetated and unvegetated subsurface flow wetlands. Water research. 2005;39(14):3259-72.
- 15-eyvazzadeh m, manoochehriyan e, dareini f, rahmanisani a, abadi aa, al e. Comparing the Refinability of Hospital Wastewater by Vetiver and Typical Straw Plants in Tropical Regions. J sabze univ med sci. 2014;21(5):934-41.
- 16-RahmaniSani A, Azimi A, Torabian A. Performance Of The Subsurface Flow Wetland In Batch Flow For Municipal Wastewater Treatment. Water And Wastewater. 2009;2:32-40.
- 17- Gersberg R, Elkins B, Goldman C. Nitrogen removal in artificial wetlands. Water Research. 1983;17(9):1009-14.
- 18-Rash JK, Liehr SK. Flow pattern analysis of constructed wetlands treating landfill leachate. Water science and technology. 1999;40(3):309-15.
- 19-Sarafraz S, Mohammad TA, Noor MJ, Liaghat A. Wastewater treatment using horizontal subsurface flow constructed wetland. American Journal of Environmental Sciences. 2009;5(1):772-8.
- 20-Salhani N, Stengel E. A comparative study of the gas exchange potential between three wetland species using sulfur hexafluoride as a tracer. Ecological Engineering. 2001;18(1):15-22.
- 21-Tong Z, Sikora F. Ammonium and nitrate removal in vegetated and unvegetated gravel bed microcosm wetlands. Water Science and Technology. 1995;32(3):219-28.
- 22-borghei m, hasani a, yazdanbakhsh a, shahangiyan m. The efficiency of natural absorbents (charred pine cones, ground kaolinite, Charred sawdust, charcoal and sawdust) to remove detergent. jest. 2010;12(4).
- 23-khakupour a, alavi s, nejadbahari f. The performance evaluation method of wastewater treatment wetland. ahvaz: Iran's third national conference on environmental crises and ways of enhancing them; 2006.
- 24-abbasi e. Help build the type of subsurface horizontal flow constructed wetland [cited 2016 10 December]. Available from: [http://www.eabbassi.ir/articlesandlinkspart2apptech\\_water\\_cw\\_guide2-1.htm](http://www.eabbassi.ir/articlesandlinkspart2apptech_water_cw_guide2-1.htm)

## **Optimization of Subsurface Artificial Wetlands with Pine Tree Fruit (pine cones) as a Bed Filler for Municipal Wastewater Treatment**

*Abasali Rebatjazi<sup>1</sup>, Seyyed Ja'far etesami nasab<sup>1</sup>, Abolfazl Rahmani Sani<sup>2\*</sup>, Fateme Dareini<sup>1</sup>*

1. Bs of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
2. \* Associate Professor, Environmental Engineering, Faculty of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

**Corresponding Author:** Abolfazl Rahmani Sani, Associate Professor, Environmental Engineering, Faculty of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran  
(E-mail: rahmani240@gmail.com)

**(Received: March 6, 2017 Accepted: May 17, 2017)**

**Background and Aims:** Constructed wetlands are noticeably cost-effective in terms of energy consumption, operation and maintenance. Many researches have been done on the efficiency of wetlands removal in wastewater treatment but the information is limited on media used in these beds and its impact on treatment efficiency. This study aimed to optimize subsurface artificial wetlands with pine tree fruit as a bed filler for municipal wastewater treatment.

**Materials and Methods:** In this study sample and control pilots were made out of bricks and cement in dimensions of 2\*1\*0.8 meters. Used municipal wastewater passed through a primary sedimentation tank with a detention time of 3 hours and entered the pilot with flow rate of 0.85 liters per hour. Hydraulic detention time of beds was 8 days. Chemical parameters TN, TP, COD and TSS were evaluated by standard methods. Sampling were committed twice a week, each time in compound way and a time span of 4 hours. Results were extracted based on data average floating.

**Results:** According to data obtained from pilot performance the removal efficiency of TN, TP, TSS, COD, in the control bed were 79.68, 88.31, 85.3, 83.03 percent, and in the sample bed were 91.45, 92.88, 88.86, 86.6 percent respectively.

**Conclusion:** The reason behind increased removal efficiency of using fruit trees can be the high level of area, especially high porous space and biofilm increase and consequently efficiency increase of organic carbon, Nitrogen and suspended solids.

**Keywords:** primary sedimentation tank, pine cones, subsurface flow wetlands