تصفیهٔ فاضلاب کارخانه مخمر نانوایی توسط مردابهای مصنوعی

منوچهر وثوقی* زهره شیخ‌الاسلامی**

چکیده

مردابهای مصنوعی[1] مدلهایی از مردابهای طبیعی هستند که به منظور تصفیهٔ فاضلابهای صنعتی طراحی و ساخته می‌شوند و اگر امکان تهیهٔ زمین وجود داشته باشد بسیار مقرون به صرفه می‌باشند. این مردابها در حقیقت کار تصفیهٔ ثانویه را انجام می‌دهند و در نتیجه عملکرد آنها با استانداردهای تصفیهٔ ثانویه کاملاً مطابقت دارد و اگر در مقیاس بزرگ ساخته شوند به عنوان زیستگاهی برای حیات وحش نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مردابهای مصنوعی در تصفیهٔ فاضلابهای شهری، معادن، نساجی، غذایی و حتی پالایشگاه استفاده می‌شود. راندمان تصفیه در این مردابها نسبت به واحدهای رایج پایین‌تر است ولی به دلیل هزینهٔ کم و کنترل راحت‌تر، کارشناسان معتقدند که در آینده از این سیستم به طور وسیع استفاده خواهد شد. مهمترین فرایندهای تصفیه در این سیستم‌ها را می‌توان فیلتراسیون، ته‌نشینی، جذب سطحی، فعل و انفعالات بیولوژیکی و جذب گیاهی نام برد که در نتیجهٔ این فرایندها میزان TP,TN,COD,BOD، فلزات سنگین و حتی میکروبهای بیماری‌زا نیز در فاضلاب نهایی شدیداً کاهش خواهد یافت. در این طرح از یک واحد تصفیهٔ آزمایشگاهی مرداب مصنوعی با جریان زیرسطحی[2] با حجم حوضچه ۳۵۰ و حجم مفید ۸۰ لیتر که از سنگ‌ریزه‌های[3] به اندازه متوسط ۷-۳میلی‌متر و درصد تخلخل ۰/۳۵ تشکیل شده بود، استفاده شد. پس از رشد گیاه از گونه فراگمایت، فاضلاب کارخانه خمیر مایه پس از رقیق‌سازی TN,COD,BOD به ترتیب در محدوده ۲۵۶، ۴۶۰ و ۴۳میلی‌گرم در لیتر، تصفیه می‌شود. زمان کل راهبری واحد تصفیه در حدود ۱۰ ماه می‌باشد که به دلیل رشد کم گیاهان در ماههای اولیه و نیز درجهٔ حرارت پایین تنها مدت ۶ ماه به طور منظم و مرتب از واحد تصفیه نمونه‌برداری و آزمایشات انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سیستم با بارآلی در حدود $22 g BOD/m^3.d$ قادر است ۹۰درصد BOD، ۸۵٪ مواد معلق و حداقل ۷۰٪ نیتروژن کل را کاهش دهد.

مقدمه

فاضلاب کارخانهٔ مخمر نانوایی به دلیل مصرف نشدن کامل مواد غذایی توسط میکروارگانیسم‌های بیوراکتور دارای بار آلودگی نسبتاً بالایی است.

روشهای اولیهٔ تصفیهٔ این گونه فاضلابها مانند فاضلاب کارخانهٔ قند استفاده از آب آهک بود که پس از تشکیل رسوب در تانکهای ته‌نشینی آنرا جداسازی نموده و به ترتیب درصدی از آلودگی حذف می‌گردید. در چند دههٔ اخیر نیز از لاگونهای

* دانشیار مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

** کارشناس ارشد مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

1- Constructed Wetland
2- Subsurface Flow. Wetland
3- Gravelly Sand

غیر هوازی و یا فرایند لجن فعال (AS) استفاده می‌شود [۹]. به دلیل بالا بودن بار آلودگی معمولاً فرایند لجن فعال آلودگی فاضلاب از جمله BOD_5 و TSS را تا حد استاندارد کاهش نمی‌دهد و گاهی به حدود ۱۰ برابر حد استاندارد می‌رسد. همچنین غلظت نیتروژن آمونیاکی در فاضلاب تصفیه شده نسبتاً بالا بوده و تا حدود ۳۵میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد که موجب توقف رشد موجودات آبزی می‌شود [۳].

روشهای مختلفی برای کاهش آلودگی فاضلاب نهایی پیشنهاد شده است از جمله، اختلاط با جریان آب رودخانه و استفادهٔ آنها در کشاورزی، استفاده از برکه‌های تثبیت، به‌کار گرفتن هاضم غیرهوازی و اخیراً مردابهای مصنوعی [۲ و ۱۰].

مردابهای مصنوعی در حقیقت تشابهٔ بسیار زیادی به مردابهای طبیعی دارند که صرفاً به منظور تصفیهٔ نهایی فاضلابها طراحی و ساخته می‌شوند و در حقیقت تصفیهٔ ثانویه را انجام می‌دهند. آن دسته از مردابهای مصنوعی که در مقیاس بزرگ ساخته می‌شوند به عنوان زیستگاهی برای حیات انواع پرندگان و دوزیستان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸].

در ساخت آنها از ماند‌آبها تقلید می‌شود و بستر گیاهان برآمده از آب بیشتر از سنگ‌ریزه یا شن است. در فرایند تصفیه توسط این سیستم‌ها رسوب‌گذاری، فیلتر شدن، جذب سطحی، جذب گیاهی و بالاخره فعل و انفعالات بیولوژیکی دخالت دارد. بنابراین مردابهای مصنوعی می‌توانند TP,TN,SS,BOD، فلزات سنگین و حتی میکروبهای بیماری‌زا را در فاضلابها کاهش دهند [۵ و ۱۲].

از مردابهای مصنوعی در تصفیهٔ فاضلابهای شهری و صنعتی از جمله معدن، نساجی، غذایی، پالایشگاه و حتی شیرابه‌های حاصل از دفن زباله‌های جامد شهری استفاده می‌شود [۶].

اگرچه بازده تصفیه در فرایندهای رایج نظیر لجن فعال نسبتاً بالاتر از مردابهای مصنوعی است ولی هزینه، نیروی کار و مصرف انرژی زیاد است، در صورتی که در مرداب مصنوعی هزینه کار کمتر است، مصرف انرژی ناچیز و نیاز به مراقبت و نگهداری کمتری است. به طور کلی سیستم تصفیهٔ با گیاهان آبزی بین ۲ تا ۸ برابر ارزانتر از سیستم رایج لجن فعال است.

احداث آن در صورت نبودن مسئله زمین در کلیهٔ مناطق امکان‌پذیر است و برای ساخت به تکنولوژی بالایی نیاز ندارد. به همین دلیل کارشناسان معتقدند که با این سیستم به طور مؤثر می‌توان فاضلابها را تصفیه کرد [۴].

در آمریکا اولین مرداب مصنوعی در سال ۱۹۷۲ در ایالت میشیگان در شهر ورمونت[1] احداث گردید. در آمریکا بیشتر از مرداب‌های روی سطحی[2] استفاده می‌شود در صورتی که در اروپا بخصوص دانمارک و انگلستان بیشتر از مردابهای زیرسطحی[3] استفاده می‌کنند [۶ و ۱۲].

گیاهانی که در مردابهای مصنوعی به‌کار می‌روند اغلب ماکروفیت هستند. این گیاهان برای رشد و رویش در خاکهای اشباع سازگار می‌باشند و به گونه‌ای عمل می‌کنند که وجودشان برای تصفیهٔ فاضلاب ضروری است. در مردابهای مصنوعی بستر خاکی یا غیرخاکی اشباع از آب است، یا به عبارتی فضای حفره‌ها با آب پر شده است. ریشه گیاهانی که در این بسترها رشد می‌کنند، اکسیژن را از طریق ارگانهای هوایی گیاه تأمین می‌کنند. گیاهان مرداب از نظر مورفولوژی نیز برای رشد در گل و لای اشباع از آب سازگار می‌باشند، زیرا مجراهای انتقال گاز در داخل گیاه اکسیژن را به ریشه‌ها و ریزومها منتقل می‌کنند. اکسیژن منتقل شده نه تنها نیاز ارگانهای زیرزمینی گیاه را برای تنفس برطرف می‌کند بلکه بخشی از اکسیژن از ریشه‌ها به محیط خارج منتقل شده و موجب تجزیهٔ هوازی مواد آلی و رشد باکتریهای نیترات‌ساز می‌شود. در نواحی دور از ریشه شرایط نااکسیژنی[4] فراهم است، لذا باکتریهای زداینده نیترات[5] نیز امکان رشد و تکثیر پیدا می‌کنند [۵ و ۱۰]. از مرداب‌های مصنوعی برای فرایند نیترات‌سازی نیز می‌توان استفاده نمود. از طرف دیگر نقش خاک را نیز باید در تصفیهٔ فاضلاب در مرداب‌های مصنوعی در نظر گرفت زیرا خاک سطح مناسبی برای اتصال میکروبها ایجاد می‌نماید و مستقیماً در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی شرکت کرده و موجب تصفیهٔ فاضلاب می‌شود. جذب و فیلتراسیون

1- Vermont
2- Surface Flow
3- Subsurface Flow
4- Anoxic
5- Denitrifying

مواد معلق و باکتریها و ویروسهای پاتوژن به وسیلهٔ بستر خاکی یا غیر خاکی ممکن است توسط مکانیسم‌های مختلفی صورت گیرد. از جمله در تبادل یونی، مقدار زیادی از کاتیونها مانند یون آمونیوم و پتاسیم و آنیون‌ها مثل یون فسفات در سطح باردار خاکهای آلی جذب می‌شوند. خاکهای رسی ظرفیت تبادل یونی بیشتری نسبت به خاکهای معدنی دارند. جذب مواد در خاک یک فرایند دایمی نیست اما رسوب کردن، فرایندی نسبتاً دایمی است که به موجب آن یونهای خاص از فاضلاب حذف می‌شوند [۴ و ۷].

لازم به ذکر است که در مردابهای مصنوعی با جریان سطحی تماس فاضلاب با خاک ناچیز است زیرا فاضلاب روی سطح بستر عبور می‌کند. به همین دلیل است که معمولا راندمان تصفیه در این سیستم‌ها کمتر از مردابهای مصنوعی با جریان زیرسطحی است.

هدف از این تحقیق مطالعه و بررسی و تعیین میزان کارایی سیستم‌های نیزار مصنوعی برای تصفیه فاضلابهای صنعتی است که بر اساس نتایج به دست آمده در مقیاس کوچک بتوان پارامترهای طراحی را تدوین و عملکرد سیستم در حذف این آلاینده‌ها ارزیابی کرد.

مواد و روشها

ساخت واحد آزمایشگاهی مرداب مصنوعی

مردابهای مصنوعی را کتورهای بیولوژیکی از نوع رشد متصل هستند که عملکرد واکنشهای بیولوژیکی در آنها با فرض سینتیک درجه یک، جریان پلاگ و شرایط یکنواخت بررسی می‌شود. در این سیستم‌ها، تجزیهٔ مواد آلی (TOC,COD,BOD_5)، نیترات‌سازی، حذف عوامل بیماری‌زا و جذب بر اساس سینتیک درجهٔ یک صورت می‌گیرد. معادلات سرعت واکنش و ثابت‌های آنها تجربی هستند و بستگی به خصوصیات سیستم دارند [۱۱].

رابطهٔ اصلی برای راکتورهای نهرگونه در شرایط یکنواخت به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left[-K_T.t\right] \qquad (۱)$$

که در آن:

C_e = غلظت BOD در فاضلاب خروجی (میلی‌گرم بر لیتر)

C_o = غلظت BOD در فاضلاب ورودی (میلی‌گرم بر لیتر)

K_T = ثابت سرعت واکنش که تابع دما است (day^{-1})

t = زمان اقامت هیدرولیکی (روز)

واتسون و همکاران [۱۱] پیشنهاد می‌کنند که می‌توان از روابط مربوط به سیستم‌های جریان سطحی و فیلتر چکنده برای طراحی مردابهای مصنوعی استفاده نمود. رابطه عمومی برای BOD_5 به صورت زیر است [۱۱]:

$$\frac{C_e}{C_o} = A' \exp\left[-C' K_T \left(A_V'\right)^{1/75}.t\right] \qquad (۲)$$

A' بخشی از BOD است که در ورودی مرداب ته‌نشین نشده است و مقدار آن بستگی به نوع فاضلاب دارد [۷]. مقدار A' برای فاضلابهای خام یا فاضلابهایی که در مخازن سپتیک تصفیهٔ مقدماتی شده‌اند ۰/۵۲، برای فاضلابهای خروجی از برکه‌های هوازی ۰/۷۵ و برای فاضلابهایی که دو یا سه بار تصفیه شده‌اند، ۰/۸ است [۱۱].

C' = مشخصه محیط است و برای اغلب محیطها ۰/۷m است.

T = درجه حرارت بر حسب سانتیگراد

$$K_T = ۰/۰۰۵۷\ (۱/۱)^{(T-۲۰)} \qquad (۳)$$

A_V = سطح ویژه برای انجام فعالیتهای میکروبی، ۱۵/۷(m^2/m^3)

پس از اینکه زمان ماند از رابطهٔ فوق به دست آمد (حداکثر زمان ماند برای حذف BOD بر مبنای دمای سردترین ماه سال محاسبه می‌شود) سطح مرداب از رابطه زیر تعیین می‌گردد [۱۱]:

$$A = \frac{Q.t}{۱۰۰۰۰\,d.n.} \qquad (۴)$$

A = سطح مرداب (هکتار)

Q = جریان متوسط روزانه (مترمکعب در روز)

t = زمان ماند هیدرولیکی (روز)

۱۰۰۰۰ = ضریب تبدیل (مترمربع بر هکتار)

d = ارتفاع آب در سیستم سطحی (متر)

n = تخلخل در سیستم‌های سطحی که معمولاً ۰/۷۵ است

تخلخل به صورت $n=\frac{V_V}{V}$ تعریف می‌شود که V_v حجم فضای خالی و V حجم کل است. در سیستم‌های سطحی، V_v حجم اشغال نشده به وسیله گیاهان است و مقدار آن بستگی به نوع گیاه و تراکم گیاهان زنده و پوسیده دارد. حجم اشغال شده به وسیله گیاهان مختلف در سیستم‌های TVA[1] به صورت زیر می‌باشد:

لویی: ۱۰٪

علف بوریا: ۱۴٪

نی‌شنی: ۲٪

با توجه به مقادیر فوق، تخلخل در سیستم‌های سطحی ۹۸-۸۶٪ است و مقدار معمول آن ۷۵٪ می‌باشد.

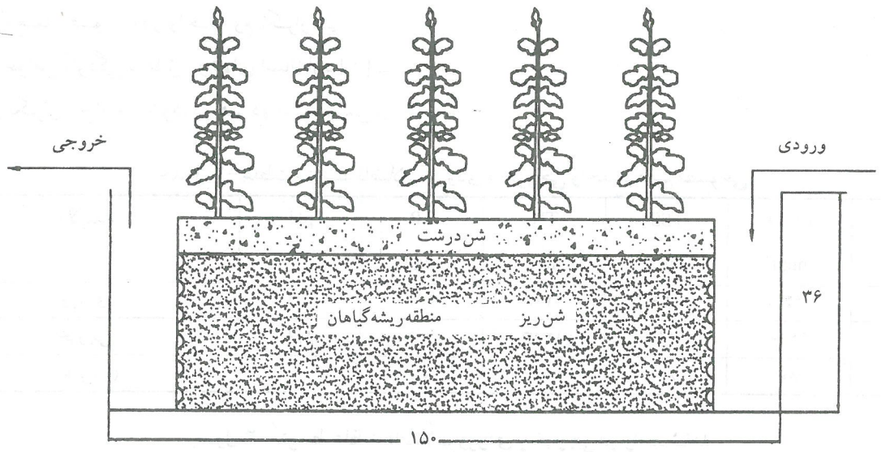
در سیستم‌های سطحی، نسبت ابعاد یکی از پارامترهای مهم برای حذف اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، جامدات معلق، آمونیاک و نیتروژن کل است. در این سیستم‌ها نسبت طول به عرض از ۶:۱ - ۴:۱ تغییر می‌کند. کوچکترین نسبت ابعاد در سیستم‌های بزرگ ۲:۱ است. شیب سیستم‌های سطحی ۰/۵٪ یا کمتر است. شیب‌دار بودن بستر موجب سهولت تخلیه کانالها در مواقع ضروری، مثلاً هنگام بازسازی و تعمیر آنها، می‌شود.

در ساخت سیستم آزمایشگاهی به طور مستقیم از این معادلات استفاده نشده است ولی سیستم به گونه‌ای طراحی شده که فاضلاب حتی‌الامکان در ورودی و خروجی به طور یکنواخت توزیع شود (با نصب صفحات مشبک به قطر ۶/۲۵ میلی‌متر در ورودی و خروجی).

همچنین برای ایجاد جریان نهرگونه از نسبت ۳:۱ (طول به عرض) که یک نسبت معمول در طراحی این سیستم‌ها است استفاده شده است.

شکل (۱) دیاگرام کلی و کلیه مشخصات این واحد را نشان می‌دهد. برای اینکه بتوان سیستم را جابجا نمود از چهار چرخ که در زیر آن تعبیه شده استفاده گردید. به همین دلیل بدنه سیستم از آهن گالوانیزه با روکش ضد زنگ ساخته شده تا استحکام لازم برای این نقل و انتقال را داشته باشد.

1- Tennessee Valley Authority



شکل ۱- نمودار واحد آزمایشگاهی مرداب مصنوعی

جدول (۱) مهمترین مشخصات فاضلاب کارخانه مخمر نانوایی

نوع آلاینده	فسفرکل	نیتروژن‌کل	موادمعلق‌کل	COD	BOD_5
مقدار (mg/l)	۳/۶	۴۳	۱۳۲	۴۶۰	۲۵۶

حجم کل حوضچه حدود ۲۵۰ لیتر و حجم آب درون آن ۸۰لیتر می‌باشد. بستر حوضچه مرداب از سنگ‌ریزه‌های به اندازه متوسط ۷mm-۳ و درصد تخلخل ۳۵درصد تشکیل شده است. لازم به ذکر است که آب در ۶ سانتیمتری از سطح بستر جریان دارد. دو واحد مشابه مرداب مصنوعی ساخته شد و در یکی از آنهاگیاه نی‌شنی [1] ازگونه فراگمایت [2] باروش تهیه قلمه از محیط طبیعی کاشته شد. در شروع کار به مدت حدود ۵۰روز به سیستم فقط آب وارد می‌شد تا قلمه‌ها رشد کنند. در طی این مدت قلمه‌ها شروع به جوانه زدن کردند و در مدت زمان کوتاهی رشد کردند. سپس برای بررسی تصفیه‌پذیری از فاضلاب رقیق شده کارخانه مخمر نانوایی با مشخصات زیر استفاده گردید. جدول ۱ مقدار متوسط بعضی از آلاینده‌های این فاضلاب را نشان می‌دهد.

واحد دوم مرداب مصنوعی به عنوان شاهد در نظر گرفته می‌شود و کلیهٔ عملیات و آزمایش‌هایی که در واحد اول انجام می‌شود به همان صورت در واحد دوم تکرار می‌گردد. اندازه گیری عوامل آلودگی بر طبق روشهای استاندارد [۱] با حداقل ۲ بار تکرار انجام می‌شود. در هر دو سیستم پس از راه‌اندازی و رسیدن به حالت پایدار روزانه از ورودی و خروجی نمونه‌برداری و روی نمونه‌ها آزمایشات لازم به عمل می‌آید. سایر عوامل نیز مانند درجه حرارت و pH در این فواصل اندازه گیری می‌شود.

نتایج

پس از رشد نسبتاً مناسب گیاه، فاضلاب رقیق شده کارخانه مخمر نانوایی با ترکیب متوسط نشان داده شده در جدول ۱ و با شدت جریان اولیه ۰/۵ لیتر در ساعت وارد سیستم می‌گردد. از جریان ورودی و خروجی هر دو واحد (مرداب و شاهد) به طور منظم نمونه‌برداری به عمل می‌آید و به منظور تعیین بازده تصفیه و زمان رسیدن به حالت پایدار نمونه‌ها آنالیز می‌گردد. پس از گذشت حدوداً یک ماه سیستم به حالت پایدار می‌رسد. متوسط ترکیب فاضلاب در ورودی و خروجی هر دو سیستم در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

1- Reed

2- Phragmites

جدول ۲- غلظت متوسط فاضلاب ورودی و خروجی واحد مرداب مصنوعی

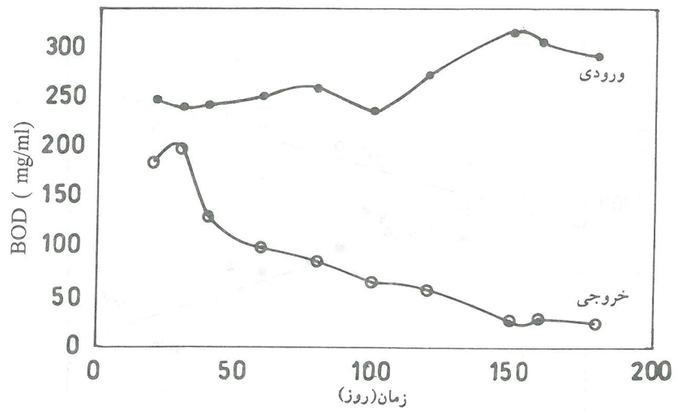
آلاینده	pH	TP mg/l	TN mg/l	TSS mg/l	COD mg/l	BOD mg/l
ورودی	۸/۱	۴/۴	۴۴/۶	۱۴۸	۴۴۰	۲۷۰
خروجی	۸/۸	۱/۱	۱۳/۳	۱۹	۹۲/۶	۲۳/۲
کاهش(٪)	-	۷۵	۷۰	۸۷	۸۰	۹۱

جدول ۳- متوسط غلظت فاضلاب ورودی و خروجی در واحد شاهد

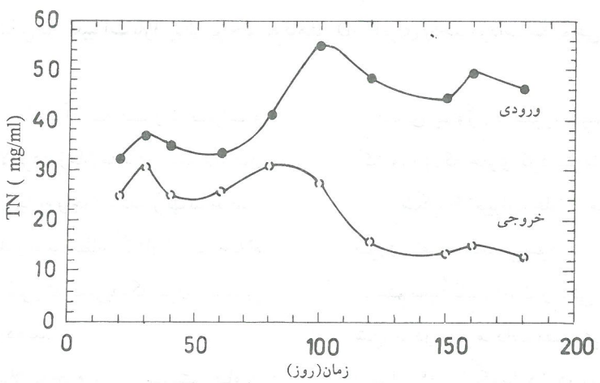
آلاینده	pH	TP mg/l	TN mg/l	TSS mg/l	COD mg/l	BOD mg/l
ورودی	۸/۱	۴/۳	۴۵/۲	۱۴۸/۲	۴۹۶	۲۷۶
خروجی	۸/۰	۴/۱	۳۲/۶	۳۸	۳۴۶	۱۹۳
کاهش(٪)	-	۴	۲۷	۷۴	۳۰/۲	۳۰

به طوری که مشاهده می‌شود درصد کاهش آلودگی بخصوص BOD و COD در سیستم مرداب مصنوعی چندین برابر واحد شاهد است و می توان گفت که تنها حدود ۳۰٪ کاهش آلودگی مربوط به جذب فیزیکی توسط بستر مرداب است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که BOD و رنگ فاضلاب توسط سیستم مرداب شدیداً کاهش می‌یابد در صورتی که این کاهش در سیستم شاهد بسیار ناچیز است. بنابراین سیستم مرداب می‌تواند در تصفیهٔ نهایی فاضلابهای رنگی نیز مورد استفاده قرار گیرد. حذف رنگ احتمالاً توسط جذب سطحی به وسیلهٔ ریشهٔ گیاهان انجام می‌شود، زیرا در سیستم شاهد چنین جذبی مشاهده نمی‌شود. واحد تصفیهٔ مردابهای مصنوعی به مدت حدوداً ۶ ماه پس از رسیدن به حالت نسبتاً یکنواخت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. به طور منظم شدت جریان ورودی اندازه گیری و کیفیت فاضلاب در ورود و خروج تعیین گردید. نتایج به دست آمده در شکلهای ۲ و ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.

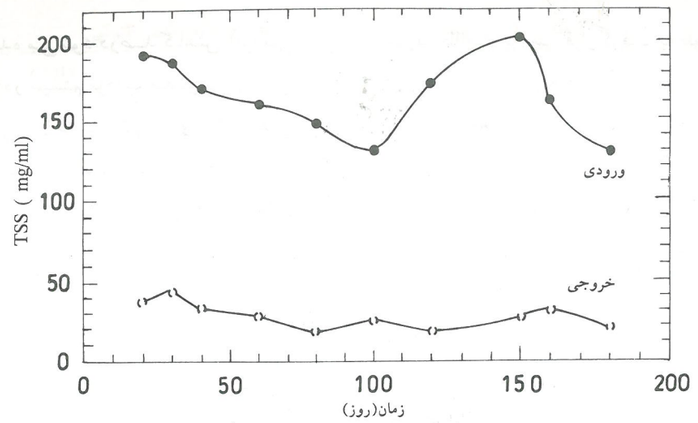
شکل ۲ تغییرات BOD_5 در طی ۶ ماه کار مداوم واحد تصفیه را نشان می‌دهد. در شروع کار در صد کاهش قابل توجه نیست در صورتی که در پایان ۱۵۰ روز علی‌رغم بالا بودن غلظت BOD در ورودی، کاهش چشمگیری در خروجی مشاهده می‌شود. کاهش غلظت نیتروژن کل نیز با توجه به شکل ۳ بعد از ۴ ماه کار به حدود ۷۲٪ می‌رسد که در مقایسه با سایر سیستمهای متداول در حد بسیار مطلوبی قرار دارد.



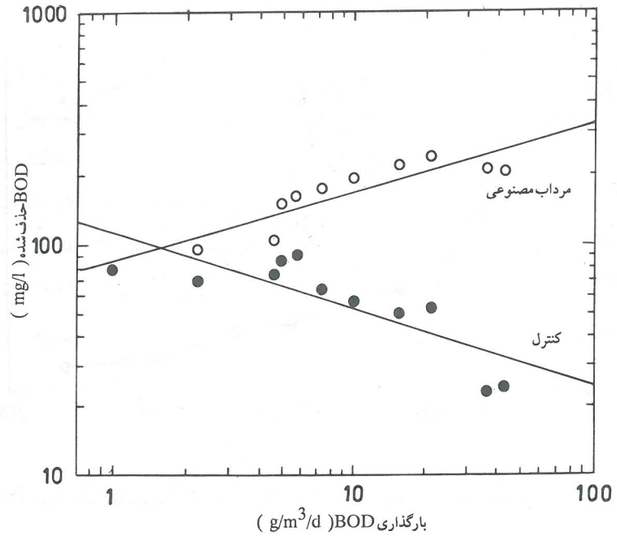
شکل ۲- تغییرات غلظت BOD_5 در ورودی و خروجی از واحد آزمایشگاهی مرداب مصنوعی



شکل ۳- تغییرات غلظت نیتروژن کل در ورودی و خروجی از واحد آزمایشگاهی مرداب مصنوعی



شکل ۴- تغییرات غلظت TSS در ورودی و خروجی از واحد آزمایشگاهی مرداب مصنوعی



شکل ۵- تغییرات بارآلودگی بر حسب کاهش BOD برای واحد مرداب مصنوعی و شاهد

تقریباً تمام نیتروژن باقیمانده آن به صورت نیترات و نیتریت است که در صورت بالا بردن زمان ماند در سیستم امکان انجام فرایند دی‌نیتریفیکاسیون نیز به وجود آمده و نهایتاً غلظت نیتروژن به حدود صفر خواهد رسید. مطابق گزارشات اعلام شده سیستمهای فوق قادرند فرایند نیتریفیکاسیون و سپس دی‌نیتریفیکاسیون را نیز انجام دهند.

به هر جهت چنانچه فاضلاب خروجی از سیستم حاوی درصدی نیتروژن به صورت نیترات باشد می‌تواند به عنوان آب کشاورزی که حاوی کود نیترات است مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۴ تغییرات غلظت مواد معلق را نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود غلظت در خروجی در طی زمان کار سیستم نسبتاً ثابت است و یکی از دلایل آن می‌تواند وجود شن‌ریز در بستر مرداب مصنوعی باشد که قادر بوده است بخشی از مواد معلق را نگهدارد تا در نهایت به مصرف ریشهٔ گیاه برسد.

مقدار BOD کاهش یافته بر حسب بارآلی اعمال شده بر سیستم در شکل ۵ نشان داده شده است . به طوری که مشاهده می‌شود بار آلودگی مناسب برای سیستم در حدود $۲۱/۸ g.m^{-3}.d$ است و تا این نقطه با افزایش بار آلودگی مقدار کاهش BOD نیز زیاد می‌شود. افزایش بار آلودگی در واحد شاهد تا محدوده خاصی روی کاهش BOD بی‌اثر بوده و از این محدوده به بعد، این افزایش روی کاهش BOD شدیداً نتیجه عکس را نشان می‌دهد.

نتیجه گیری کلی

مطالعات انجام شده در دو دههٔ اخیر نشان داده است که سیستمهای مرداب مصنوعی، روش کم هزینه و مناسبی برای حذف آلاینده‌ها از آبهای طبیعی آلوده و تصفیه فاضلابهایی است که از نظر مواد آلی و ترکیبات نیتروژن و مواد معلق نیاز به تصفیهٔ پیشرفته دارند. در این تحقیق از سیستم مرداب مصنوعی جهت تصفیه یک فاضلاب صنعتی رقیق شده (کارخانه مخمر نانوایی) استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سیستم پس از رسیدن به حالت یکنواخت و پایدار قادر است در شش‌ماه اول راهبری حداقل ۹۰درصد BOD ، ۸۷٪ مواد معلق، ۷۰٪ مواد نیتروژنی و ۷۵٪ فسفر موجود در فاضلاب را کاهش دهد. رشدگیاه در شرایط آب و هوایی معتدل بسیار مناسب‌تر است و به نظر می‌رسد در چنین شرایطی سیستمهای مرداب مصنوعی خیلی اقتصادی‌تر از فرایندهای متداول تصفیه فاضلابها می‌باشد.

منابع و مراجع :

1- APHA, (1985). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", 16th ed., American Public Health Association, Washington, D.C.

2- Battersby, N.S. (1989). " *Survey of the Anaerobic Biodegradation Potential of Organic Chemicals* ", Appl. Envir. Microbiol., 55.

3- Brix, P. (1987). " *The Applicability of the Wastewater Treatment Plant in Other Esen as Scientific Documentation of the Root - Zone Method* ", Wat. Sci. and Techn., 19:(10).

4- Burka, U. and Lawrence, P.C. (1990). " *A New Community Approach to Waste Treatment with Higher Plants. In: Constructed and BC Findlater* ", Pergamon Press, Oxford.

5- Hammer, D.A. (1989). " *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural* ", Chelsea, MI, Lewis Publishers.

6- Hammer, D.A. and Kniht, R.L. (1994). " *Designing Constructed Wetlands for Nitrogen Removal* ", Wat. Sci. and Tech. 29 (4).

7- Magmedov, V.G. and Jakovleva, L. L. (1944). " *The Experience of the CIS on Using Constructed Wetlands for Wastewater Treatment* ", European Water Pollution Control , Vol.4, No.2.

8- Mancini, I.M., Boari, G. and Trulli, E. (1994). " *Integrated Biological Treatment for High Strength Agro-Industries Wastewaters* ". Ptoc. 4th. Conf. Wetland Systems for Wat. Pol., Cont. China.

9- MC Ginnis, R.A. (1982). " *Beet Sugar Technology,* " *3rd Ed,* Beet Sugar Development Foundation , Fort Collins, Co., PP. 678-680.

10- USEPA, (1993). " *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment*" , EPA 832 - R - 93-001, Washington, D.C.

11- Watson, J.T., Reed, S.C., Kadlec, R.H. et al. (1989). " *Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands* ", Ibid., Chapter 27.

12- Williams, J.B, May, E., Fors, M.G. and Butler, J.E. (1994). " *Nitrogen Transformation in Gravel Bed Hydroponic Used as a Tertiary Treatment Stage for Sewage Effluents* ", Wat. Sci. and Tech. 29 (4).