

"بررسی فرایندهای تصفیه فاضلاب به روش رشد بیولوژیکی چسبیده"

1- ملک قرائیان مرشد، مسئول واحد بهداشت محیط بیمارستان ابن سینا (نویسنده مسئول)

2- فاطمه جاویدی، کارشناس بهداشت محیط بیمارستان ابن سینا

چکیده:

روش ها و تکنولوژی های مختلفی جهت تصفیه و کاهش آلودگی های فاضلاب ارائه شده است. با روند روبه رشد توسعه و افزایش مخاطرات زیست محیطی ناشی از فعالیت های متنوع شهری، ارتقاء و حفظ سطح استانداردهای زیست محیطی و بهداشتی شدیداً احساس می گردد، که این امر مستلزم استفاده از تکنولوژیهای مناسب تصفیه فاضلاب در مناطق شهری و صنعتی می باشد. هدف اصلی تصفیه فاضلاب در درجه اول جلوگیری از انتشار ترکیبات مختلف آلی و معدنی و پاتوژنهای موجود در جریان فاضلاب شهری (یا صنعتی) می باشد. با روند رو به رشد تکنولوژی و با توجه به کیفیت فاضلاب ها از واحدهای عملیاتی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متفاوتی استفاده می شود.

واژگان کلیدی: تصفیه فاضلاب - بیولوژیکی - زیست محیطی

1- مقدمه

روشها و تکنولوژیهای مختلفی جهت تصفیه و کاهش آلودگی های فاضلاب ارائه شده که هر کدام نتیجه تحقیقات جامع و بلند مدت آزمایشگاهی و عملی می باشد. با روند روبه رشد توسعه و افزایش مخاطرات زیست محیطی ناشی از فعالیتهای متنوع شهری، ارتقاء و حفظ سطح استانداردهای زیست محیطی و بهداشتی شدیداً احساس می گردد، که این امر مستلزم استفاده از تکنولوژیهای مناسب تصفیه فاضلاب در مناطق شهری و صنعتی می باشد.

کوتاه نمودن خطوط انتقال فاضلاب با استفاده از سیستم های تصفیه نامتمرکز، فرآیندهای ارتقاء یافته و اصلاحی تصفیه فاضلاب و استفاده از فرآیندهای نوین بیوتکنولوژی و شیمیایی، از جمله تدابیری هستند که جهت کنترل و کاهش هرچه بیشتر آلاینده های فاضلاب در مناطق شهری و صنعتی می توانند بطور سودمندی مدنظر قرار گیرند.

هدف اصلی تصفیه فاضلاب در درجه اول جلوگیری از انتشار ترکیبات مختلف آلی و معدنی و پاتوژنهای موجود در جریان فاضلاب شهری (یا صنعتی) می باشد. ولی بصورت کلی مهمترین اهداف تصفیه فاضلاب به شرح ذیل خلاصه می شود:

الف - تأمین شرایط مطلوب بهداشتی مطابق استانداردهای موجود.

ب - حفاظت از محیط زیست.

ج - بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب.

د - کنترل بو و حفظ جنبه های زیبایی.

در مطلب حاضر جهت شناسایی فرآیندهای قابل انطباق با شرایط مختلف برای تصفیه فاضلاب و لجن، مباحث و سرفصل های ذیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند.

- شناسایی انواع فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب.
- شناسایی انواع سیستم های گندزایی فاضلاب.
- شناسایی انواع فرآیندها و تاسیسات فرآوری لجن.

شایان توجه است در این گزارش سعی گردیده است فرآیندهایی که بیشترین انطباق را با شرایط طرحهای شهری دارا می باشند، مورد بحث و بررسی بیشتر قرار گیرند. از جمله این موارد می توان به فرآیندهای نوین و پیشرفته لجن فعال اشاره نمود. لازم به ذکر است انتخاب نهایی نوع فرآیند یا فرآیندهای قابل استفاده جهت تصفیه فاضلاب شهری از بین فرآیندهای معرفی شده در این گزارش، باید به استناد ارزیابی های فنی لازم انجام گیرد.

2- شناسایی فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

مدتهای مدیدی است که فرآیندهای بیولوژیکی جهت تبدیل مواد و ترکیبات آلی محلول و معلق فاضلاب به ترکیبات معدنی پایدار و یا توده های بیولوژیکی قابل ته نشینی مورد استفاده قرار میگیرد. بطور کلی شرایط عمل بدین گونه است که میکروارگانیزم های هوازی و یا بی هوازی قابل انطباق با شرایط و خصوصیات فاضلاب خام موجود، در حضور یا عدم حضور اکسیژن، مواد آلی محلول و یا کلئیدی فاضلاب را به مصرف رسانده و این ترکیبات را به جرم بیولوژیکی (بیومس)، آب و دی اکسید کربن تبدیل می نمایند.

بسته به نوع جریان، نوع راکتور و محیط بیولوژیکی، سیستم های مختلف تصفیه فاضلاب با خصوصیات و کارایی های گوناگون، طراحی و جهت تصفیه انواع فاضلابهای صنعتی و شهری مورد استفاده قرار می گیرند. با روند رو به رشد تکنولوژی، شناخت رفتارهای هیدرولیکی و همچنین شناخت هر چه بیشتر عملکرد محیطهای بیولوژیکی، فرآیندهای پیشرفته و با راندمان بیشتر تصفیه فاضلاب حاصل شده است. به طور کلی این پیشرفت و ارتقاء سیستم ها در جهت کاهش زمین مورد نیاز تصفیه خانه، کاهش مصرف انرژی و افزایش بازدهی فرآیند تصفیه می باشد.

فرآیندهای هوازی همراه با رشد بیولوژیکی چسبیده که شامل سیستم های زیر می باشد :

1- صافی چکنده¹.

2- دیسکهای بیولوژیکی چرخان².

3- نی زارهای مصنوعی³.

¹-Trickling Filter.

² - RBC.

³ - Constructed Wetland.

⁴ - Activated sludge

فاضلابهای قوی باید حداکثر غلظت، جهت جلوگیری از ایجاد شرایط بی هوازی در فیلم لجن، در نظر گرفته شود که این مقدار با توجه به درجه تصفیه پذیری بین 600 – 1200(mg/l) متغیر می‌باشد. در صورت بالاتر بودن غلظت BOD_5 ورودی از مقدار فوق، می‌توان از سیستم برگشت پساب استفاده نمود.

لازم به ذکر است که زمان تثبیت میکروبی روی محیط رشد صافی چکنده بویژه در زمستان زیاد بوده و ممکن است به چندین ماه برسد. بدیهی است که این مهم باید در استفاده از صافی های چکنده در مناطق سردسیر مورد توجه کافی قرار گیرد. صافی های چکنده بر حسب بارگذاری هیدرولیکی و آلی به چهار نوع مختلف قابل تقسیم بندی میباشند. مبانی طراحی و مشخصات این چهار نوع صافی چکنده در جدول شماره (1-1-2) ارائه شده است.

نوع صافی				واحد	پارامتر طراحی
کم بار	باردهی متوسط	باردهی زیاد	دو مرحله ای		
سنگ	سنگ	سنگ	سنگ، پلاستیک	-	نوع مدیا
4-1	10-4	40-10	200-40	$m^3/m^2.d$	بارگذاری هیدرولیکی
0/22-0/07	0/48-0/24	2/4-0/4	>1/5	$\frac{KgBOD_5}{m^3.day}$	بارگذاری آلی
2/4-1/8	2/4-1/8	2/4-1/8	6-0/9	m	عمق
0	1-0	2-1	2-0	-	نسبت جریان برگشتی
90-80	80-50	90-50	70-40	%	راندمان حذف BOD
خوب	متوسط	بدون نیترات زدایی	بدون نیترات زدایی	-	نیترات زدایی

جدول شماره (1-1-2) مبانی طراحی انواع مختلف صافی چکنده

مزایا و معایب انواع سیستم های صافی چکنده به شرح زیر می‌باشد :

الف – مزایا

- حساسیت کمتر به شوکهای آلی و هیدرولیکی.
- بالا بودن قدرت نیترات سازی آنها وقتی که بصورت کم بار طراحی شوند.

- هزینه کم راهبری و نگهداری و عدم مصرف زیاد انرژی.
- تولید لجن با درصد آب کم.
- نیاز به تخصص کمتر در امر بهره برداری در مقایسه با فرآیند لجن فعال.

ب - معایب

- افت فشار زیاد در سیستم که بسته به ارتفاع صافی تا چندین متر بالغ می‌گردد.
 - تجمع حشرات موزی بخصوص در مناطق گرمسیری.
 - احتمال پراکندگی بو.
 - امکان یخ زدگی سطح بستر در مناطق سردسیر (دارای روزهای یخبندان زیاد) و در نتیجه کاهش بازدهی آن.
 - نیاز به تاسیسات ته نشینی اولیه جهت کاهش گرفتگی سیستم توزیع فاضلاب.
 - نیاز به زمین بیشتر در مقایسه با سیستمهای مکانیکی.
 - افزایش هزینه های ساختمانی در مقایسه با فرآیند لجن فعال.
 - مشکلات ناشی از توزیع مناسب فاضلاب بر روی بستر و امکان گرفتگی نازل های توزیع کننده جریان.
- با توجه به خصوصیات این سیستم و محدودیتهای آن، صافی های چکنده برای مناطق سرد که دوره یخبندان در آنها طولانی مدت است و یا محل تصفیه خانه در نزدیکی مناطق مسکونی قرار دارد و امکان شیوع بیماری و تجمع حشرات در آن مناطق زیاد است، توصیه نمی‌گردد. در هر صورت قدیمی بودن تکنولوژی این نوع سیستم تصفیه فاضلاب و عدم امکان کنترل مناسب اثرات سوء زیست محیطی آن، از جمله مواردی هستند که این سیستم تصفیه فاضلاب را در مقایسه با دیگر سیستمهای پیشرفته تصفیه فاضلاب، در مناطق شهری کم اهمیت می‌سازد.

2-1-2- دیسکهای بیولوژیکی چرخان

فرآیند دیسک های بیولوژیک چرخان (R.B.C)⁴ یکی از متداول ترین سیستم های پیش ساخته تصفیه فاضلاب بشمار می‌رود. در این سیستم از دیسکهایی از جنس پلی استایرن یا پلی اتیلن استفاده می‌شود. به طور معمول این دیسکها روی یک شفت طولی قرار گرفته و در داخل حوضچه حاوی فاضلاب می‌چرخند. به استناد بررسی های انجام شده طراحی این نوع فرآیند به گونه ای است که همیشه حدود 35-40 درصد از سطح دیسک بیولوژیکی دوار در داخل جریان فاضلاب قرار می‌گیرد. قطر این دیسکها معمولا حدود 12 فوت (3/7 متر) و طول کلی آنها بر روی هر شفت حدود 25 فوت (7/6 متر) می‌باشد. هر شفت باید بتواند سطح تماسی حدود 9290 متر مربع (100000 فوت مربع) ایجاد نماید.

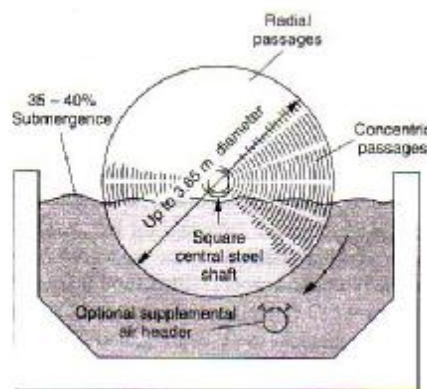
فضای بین دیسک ها، محیطی برای پخش فاضلاب و جریان هوا بین دیسک ها می‌باشد. در حالت کلی بر روی صفحات مذکور، بیو فیلمی با ضخامت حدود (1-4) میلیمتر تشکیل می‌شود. چرخش دیسکها سبب تماس فیلم میکروبی تشکیل شده با جریان هوا و فاضلاب شده و در نتیجه آن فرآیند کاهش مواد آلی اتفاق می‌افتد. نوع رشد بیولوژیکی بر روی سطح دیسک ها بگونه ای است که میکروارگانسیم های اضافی که قبلا رشد کرده و در لایه های زیرین قرار گرفته اند، به علت ایجاد شرایط بی هوازی از بین رفته و در اثر گردش دیسکها و نیروی برشی وارد شده توسط این چرخش کنده می‌شوند.

⁴ -Rotating biological contactors

عمل اختلاط ناشی از اثر چرخش دیسکها قسمتی از فیلم بیولوژیکی تشکیل شده را در داخل مایع به صورت معلق نگه می‌دارد تا اینکه همراه با جریان فاضلاب تصفیه شده از سیستم خارج و در نهایت در حوضچه ته نشینی ثانویه رسوب کند.

جرم میکروبی در این سیستم، بطور همزمان روی دیسکها بصورت فیلم و در فاضلاب، بصورت معلق وجود دارد. زمانیکه سرعت چرخش دیسکها کم است، جرم میکروبی موجود و معلق در فاضلاب خیلی ناچیزتر از جرم میکروبی موجود بر روی دیسکها است. بطوریکه می‌توان از جرم میکروبی موجود در بخش معلق در مقابل جرم میکروبی موجود بر روی دیسکها صرف نظر نمود.

با جدا شدن لایه قبلی، لایه جدید میکروارگانیسم‌ها مجدداً بر روی صفحات مدور تشکیل می‌شود. سرعت چرخش صفحات بر روی راندمان تصفیه تأثیر بسزایی دارد. بطوریکه اگر سرعت چرخش بیش از حد مجاز طراحی باشد، باعث جدا شدن توده میکروبی و مصرف انرژی بیشتر می‌گردد. معمولاً سیستم R.B.C شامل 2 تا 4 مرحله است که به صورت سری بهم مرتبط می‌باشند. بدیهی است که این امر باعث بهبود راندمان حذف مواد آلی (BOD_5) و تبدیل آمونیاک به نیترات خواهد شد. تصویر شماره (2-1-2) شماتیک فرآیند دیسکهای بیولوژیکی دوار (RBC) را نشان می‌دهد.



تصویر شماره (2-1-2) شماتیک فرآیند R.B.C

مهمترین پارامترهای طراحی دیسکهای بیولوژیکی دوار عبارتند از :

- شدت جریان فاضلاب در واحد سطح دیسک.
 - بارگذاری هیدرولیکی بر حسب ($m^3/m^2.day$).
- بارگذاری هیدرولیکی به طور غیر مستقیم با نسبت F/M و مساحت دیسک در ارتباط می‌باشد. مساحت دیسک نیز با جرم میکروارگانیسم‌ها در سیستم در ارتباط مستقیم می‌باشد. جدول شماره (2-1-2) مبانی طراحی دیسکهای بیولوژیکی چرخان (RBC) را ارائه می‌نماید.

جدول شماره (2-1-2) مبانی طراحی فرآیند دیسکهای بیولوژیکی چرخان (RBC)

نوع استفاده	بار هیدرولیکی ($m^3/m^2.d$)	BOD خروجی ($\frac{mg}{l}$)	بار آلی ($\frac{gTBOD}{m^2.d}$)	زمان ماند هیدرولیکی (hr)
تصفیه ثانویه	0/16-0/08	15-3	20-8	1/5-0/7
تصفیه ثانویه همراه بانیتریفیکاسیون	0/08-0/03	15-7	16-5	4-1/5

مهمترین مزایا و معایب انواع سیستم هایی مذکور عبارتند از :

الف - مزایا

- پایین بودن هزینه های راهبری و نگهداری.
- مصرف کمتر انرژی در مقایسه با فرآیندهای رشد معلق همچون لجن فعال (به دلیل عدم نیاز به استفاده از هوادهای سطحی و دیفیوژری).
- عدم نیاز به برگشت لجن.
- تولید کمتر لجن و کیفیت بهتر پساب.
- انعطاف پذیری سیستم در مقابل شوک های ناشی از بار هیدرولیکی یا آلی.
- راندمان بالا بخصوص در شرایط آب و هوایی گرم.
- بالا بودن نیتریفیکاسیون در صورتی که بصورت کم بار طراحی شود.
- کنترل ضخامت فیلم میکروبی و سرعت انتقال اکسیژن از طریق تنظیم سرعت چرخش دیسک ها.

ب - معایب

- بالابودن هزینه های سرمایه گذاری اولیه.
 - آلودگی محیط از جمله رشد و تکثیر حشرات مزاحم در سطح دیسکهای دوار.
 - امکان یخ زدن سطح دیسکها در زمستان و کاهش راندمان.
 - ضرورت ایجاد حوضهای ته نشینی اولیه و ثانویه.
 - نیاز به تجربه و تخصص فنی در طراحی و بهره برداری از سیستم.
- با توجه به جمیع موارد ذکر شده فوق، این سیستم همانند صافی های چکنده برای مناطق سردسیر که دارای تعداد روزهای یخبندان زیادی هستند، توصیه نمی گردد. بعلاوه این سیستم های تصفیه فاضلاب بعلت محدودیت در بارگذاری در دبی های زیاد فاضلاب مرقوم به صرفه نمی باشد. سرمایه گذاری اولیه سنگین و مشکلات متعدد اجرایی چون شکستگی محورهای چرخان، شکستگی مدياها از جمله مواردی هستند که کاربرد این نوع سیستم ها را در کشور ما محدود می نماید.

2-1-3- نی زارهای مصنوعی

طبق تعریف نی زارهای مصنوعی⁵ عبارتند از :

سیستم هایی که توسط انسان براساس شبیه سازی از نی زارهای طبیعی برنامه ریزی، طراحی، ایجاد و مورد استفاده مفید برای تصفیه فاضلاب قرار می گیرند.

اهداف اصلی استفاده از نی زارهای مصنوعی را می توان تصفیه فوری و کم هزینه فاضلاب در جوامع شهری و روستایی با جمعیت های کم و تا حد متوسط دانست. به خصوص در مناطقی که زمین به حد کافی و مورد نیاز در دسترس می باشد. از نی زارهای مصنوعی می توان برای مقاصد زیر، به طور مؤثر استفاده نمود :

- تصفیه مقدماتی جهت حذف مواد جامد معلق.

- تصفیه ثانویه جهت حذف مواد آلی.

- تصفیه پیشرفته جهت حذف ترکیبات ازت و فلزات سنگین.

بطور کلی نی زارهای مصنوعی، قادر به تصفیه فاضلاب توسط فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می باشند. هر یک از فرآیندهای مزبور به لحاظ ویژگی مطلوب خویش، قادرند که آلاینده هایی چون مواد جامد معلق، مواد آلی، مواد ازته، فلزات سنگین و تاحدودی فسفر و عناصر جزئی آلی را تا حد قابل قبولی تصفیه نمایند. نی زارهای مصنوعی با توجه به نوع رژیم هیدرولیکی جریان، به دو نوع زیر تقسیم بندی می شوند :

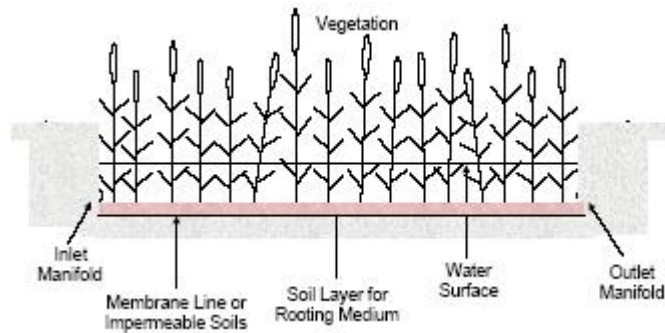
الف - نی زارهای مصنوعی با جریان رو سطحی.

ب - نی زارهای مصنوعی با جریان زیرسطحی مشتمل بر دو نوع دارای جریان افقی و جریان عمودی.

نی زارهای مصنوعی با جریان روسطحی⁶ (FWS) بیشتر به نی زارهای طبیعی شبیه می باشند و بعلاوه روباز بودن دارای قابلیت شدید جذب حشرات و انتشار بو هستند. در تصویر شماره (2-1-3-الف) نمونه ای از نی زارهای مصنوعی با جریان روسطحی نشان داده شده است.

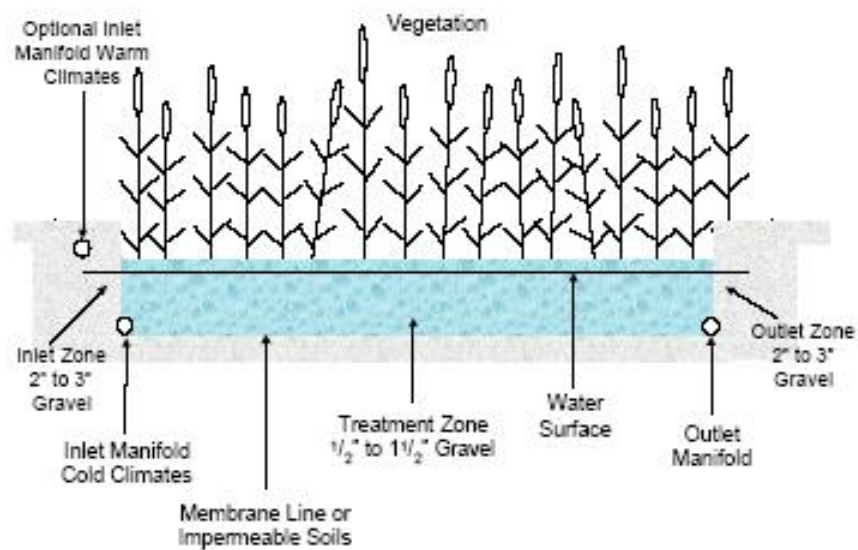
¹ - Constructed Wetland.

⁶ - Free Water Surface (FWS).



تصویر شماره (2-1-3-الف) نمونه نی زارهای مصنوعی با جریان رو سطحی

اینگونه سیستمها شامل چندین حوضچه و یا کانال موازی با کف غیر قابل نفوذ بوده که فاضلاب پیش تصفیه شده با یک بارگذاری مشخص به آن وارد می‌گردد. بعلت مشکلات ناشی از انتشار بو و تجمع حشرات معمولاً کمتر از نی زارهای با جریان روسطحی (FWS) استفاده می‌گردد. با توجه به شرایط مزبور در این بخش از گزارش ارائه خصوصیات، ضوابط و مبانی طراحی نی زارهای با جریان زیر سطحی⁷ (SFS) بیشتر مورد توجه قرار گرفته شده است. در تصویر شماره (2-1-3-ب) نمونه ای از نی زارهای مصنوعی با جریان زیر سطحی ارائه شده است.



تصویر شماره (2-1-3-ب) نمونه نی زارهای مصنوعی با جریان زیر سطحی

⁷- Subsurface Flow Systems (SFS).

اهم پارامترهای طراحی در نی زار مصنوعی با جریان زیرسطحی زمان ماند، عمق مفید بستر، شکل هندسی حوضچه ها و میزان بارگذاری آلی و هیدرولیکی می باشد که حدود آنها در جدول شماره (2-1-3-الف) بیان شده است.

جدول شماره (2-1-3-الف) اهم پارامترهای طراحی در سیستم SFS

میزان	واحد	پارامتر طراحی
15-4	day	زمان ماند هیدرولیکی
0/3-0/75	m	عمق آب
<67/25	Kg/ha.day	میزان بارگذاری BOD ₅
0/014-0/046	m ³ /m ² .d	میزان بارگذاری هیدرولیکی
7-2	ha/10 ³ m ³ .d	سطح مخصوص

میزان هدایت هیدرولیکی و دیگر مشخصات انواع مدیای بکار رفته در سیستمهای (SFS) بشرح جدول شماره (2-1-3-ب) می باشد.

جدول شماره (2-1-3-ب) مشخصات شن و ماسه (مدیا) در سیستم نی زار مصنوعی با جریان زیرسطحی

نوع مدیا	حداکثر اندازه دانه ها (mm)	ضریب تخلخل	ضریب هدایت هیدرولیکی (m ³ /m ² .d)
شن متوسط	1	0/42	420/6
شن درشت	2	0/39	480
شن گراولی	8	0/35	500

مهمترین مزایا و معایب نی زارهای مصنوعی با جریان زیرسطحی عبارتند از :

الف - مزایا

- کم بودن هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری نسبت به سایر روشها.
- حداقل نیاز به افراد متخصص بهره بردار و سهولت راهبری سیستم.
- عدم نیاز به تجهیزات و وسایل الکتریکی و مکانیکی و در نتیجه عدم نیاز به انرژی.
- درصد بالای حذف عوامل بیماریزا.
- توانایی حذف نیترژن و فلزات سنگین.
- عدم تولید لجن.
- تأثیرپذیری کمتر در مقابل تغییرات درجه حرارت.

ب - معایب

- امکان آلودگی محیط و رشد حشرات در صورت عدم راهبری صحیح در روش سطحی.
- نیاز به مقدار زمین بیشتر در مقایسه با سایر فرآیندهای مکانیکی.
- نیاز به پیش تصفیه فاضلاب خام.
- نیاز به شستشوی بسترها(مدیا) در دوره های مختلف و هزینه های بهره برداری قابل توجه در این بخش.
- حساسیت زیاد ابنیه و سازه نی زارها به مسیل و آب گیری.
- حساسیت نسبت به آتش سوزی.
- هزینه زیاد و قابل توجه تعویض و یا شستشوی دوره ای مدیا.
- امکان مانور عملیاتی و بهره برداری کم.

منابع:

١- Wastwater engineering / treatment and reuse. Metcalf and Eddy,2004.

2-EPA