دانشگاه اصفهان

دانشکده عمران و حمل و نقل

گروه مهندسی عمران – مهندسی محیط‌زیست

فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا

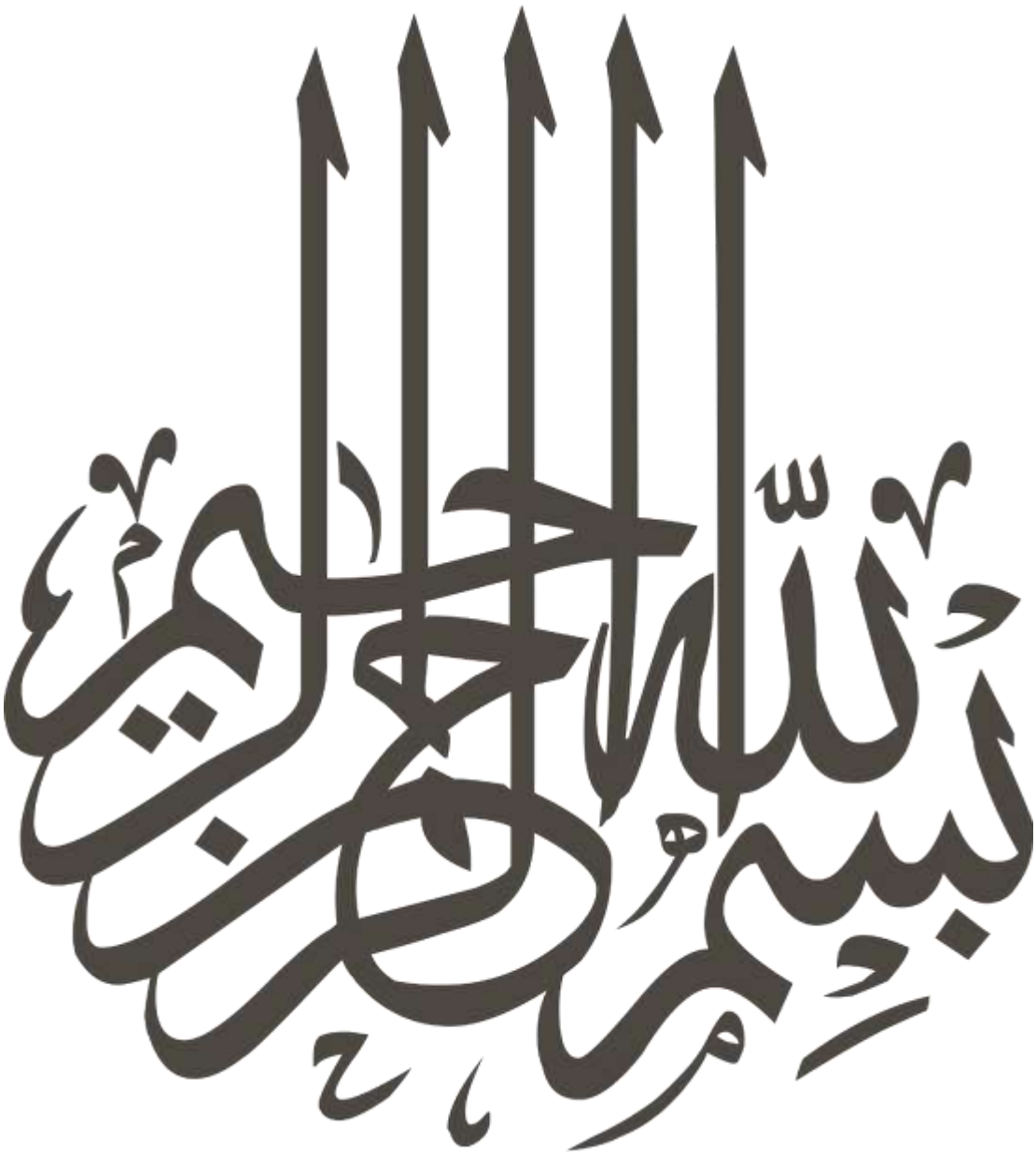
استاد:

دکتر علی دهنوی

دانشجو:

کیوان ارسطو

بهمن ماه ۱۴۰۱


بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

تصفیه بی‌هوازی، فرآیند بیولوژیکی برای تجزیه آلاینده‌های آلی و مواد هضم‌پذیر موجود در فاضلاب به واسطه میکرواورگانیسم‌ها در غیاب اکسیژن می‌باشد. میکرواورگانیسم‌های بی‌هوازی، آلاینده‌های آلی را به زیست‌گاز تبدیل می‌کنند. بخش زیادی از زیست‌گاز را گازهای متان و دی‌اکسید کربن تشکیل می‌دهند. تصفیه بی‌هوازی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود و به دلیل فرآیند تصفیه با حداقل تولید لجن بسیار مورد توجه است. دو مورد از سیستم‌های تصفیه بی‌هوازی متداول، فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا و رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن جریان رو به بالا می‌باشند. در فیلتر بی‌هوازی به روش رشد چسبیده، میکرواورگانیسم‌ها بواسطه زیست‌لایه بر روی دانه‌های مدیا فیلتر گسترش پیدا می‌کنند. زمان ماند هیدرولیکی معمول در این فیلتر بین ۱۲ تا ۳۶ ساعت می‌باشد. این سیستم برای رسیدن به ظرفیت نهایی جهت حذف حداکثری به دوره راه‌اندازی اولیه بین ۶ تا ۹ ماه زمان نیاز دارد. برای کاهش زمان راه‌اندازی اولیه، می‌توان لجن فعال را پیش از شروع بهره‌برداری و آغاز عملیات بر روی فیلتر پاشید. به جزئ زمان ماند هیدرولیکی و زمان راه‌اندازی، سرعت عمودی جریان نیز در این سیستم مهم و اثرگذار می‌باشد. سرعت پیشنهادی جریان بین ۰/۶۶ تا ۶/۸ متر بر ساعت تعیین و معرفی شده است. کنترل سرعت جریان، مانع شسته شدن جامدات به خارج از فیلتر و جلوگیری از کاهش کیفیت پساب تصفیه شده می‌شود. درصد حذف نهایی این سیستم برای شاخص (BOD) تا حدود ۹۵٪ می‌تواند افزایش یابد. این سیستم برای فاضلاب با نوسان کم مناسب می‌باشد؛ بنابراین، یک واحد ته‌نشینی پیش از فیلتر عملکرد آن را بهبود می‌بخشد. اما رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن جریان رو به بالا، توسط رشد معلق و تشکیل یک لایه زیست‌توده به نام پتوی لجن بالاتر از بستر لجن در کف مخزن، مواد هضم‌پذیر موجود در فاضلاب را تجزیه می‌کند. زمان ماند متوسط در این رآکتور بین ۴ تا ۲۰ ساعت بسته به دما و شرایط تعیین می‌شود. این سیستم برای رسیدن به ظرفیت نهایی هضم خود به دوره راه‌اندازی اولیه بین ۴ تا ۶ ماه زمان نیاز دارد. اگرچه در صورت تغذیه سیستم با لجن به اندازه ۴٪ حجم رآکتور، زمان راه‌اندازی اولیه به ۲ تا ۳ هفته نیز کاهش می‌یابد. این رآکتور به دلیل زیست‌توده موجود در تانک، زمان راه‌اندازی مجدد کوتاهی پس از یک وقفه موقت دارد. سرعت متوسط جریان رو به بالا در این رآکتور بسته به دبی ورودی جریان بین ۰/۵ تا ۱/۵ متر بر ساعت می‌باشد؛ هرچند در دوره راه‌اندازی جهت کاهش خروج جامدات از رآکتور، حداکثر سرعت ۰/۴ متر بر ساعت پیشنهاد می‌شود. درصد حذف نهایی این سیستم برای شاخص (BOD) بین ۸۵٪ تا ۹۰٪ می‌باشد. پساب تصفیه شده و لجن دفع شده از این دو سیستم، جهت تصفیه نهایی و پاکسازی پاتوژن‌های ماندگار بایستی مدیریت شوند. تنوع طراحی و ساخت برای این دو سیستم تصفیه بی‌هوازی فاضلاب، شامل سیستم‌های تصفیه مرکب همراه با تالاب‌ها و برکه‌ها و یا سیستم‌های رآکتور هیبرید می‌باشند. نیاز کم این دو سیستم تصفیه بی‌هوازی به انرژی و همچنین تولید متان و استفاده از آن بعنوان سوخت از مزیت‌های دیگر آن‌ها می‌باشند. افزایش استفاده از فرآیند تصفیه بی‌هوازی بخصوص

در مناطق گرمسیر و همچنین نقاطی که با مشکلات تولید و توزیع انرژی روبرو هستند، نشان از عملکرد موفق آن داشته است. از طرفی در اقلیم سرد، استفاده از رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن دانه‌ایی گسترده با نسبت ارتفاع به قطر بیست و افزایش سرعت عمودی جریان، بطور معمول بین ۵ تا ۱۰ متر بر ساعت و هضم بیشتر مواد آلی، جایگزین مناسبی برای رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن جریان رو به بالا می‌باشد. این رآکتور در اقلیم گرم بدلیل سرعت بالای جریان و تجزیه اکثر مواد آلی محلول در فاضلاب، متان بیشتری را نسبت به دیگر رآکتورهای بی‌هوازی تولید می‌کند. بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد شد، سیستم تصفیه بی‌هوازی فاضلاب مطابق با نوع فاضلاب، شرایط محیطی و امکانات و هزینه مورد نیاز طراحی، ساخت و بهره‌برداری شود. طراحی سیستم مواردی مانند نوع سیستم، نوع سازه و جنس دانه‌های مدیا فیلتر را شامل می‌شود که بر روی راندمان حذف و افزایش عملکرد سیستم تصفیه بی‌هوازی فاضلاب اثر مستقیم دارند.

کلید واژه‌ها:
تصفیه بی‌هوازی، فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا، رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن جریان رو به بالا، سرعت عمودی جریان، زمان راه‌اندازی، مدیا فیلتر

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول کلیات ۱

۱- ۱- مقدمه ۱

۱- ۱- ۱- شبکه فاضلاب ۲

۱- ۱- ۲- ترکیبات فاضلاب ۳

۱- ۱- ۳- اثر تخلیه فاضلاب بر روی محیط ۳

۱- ۲- تعاریف، فرمول‌های شیمیایی و رابطه‌ها ۴

۱- ۳- معرفی ۷

فصل دوم فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۸

۲- ۱- مقدمه ۸

۲- ۲- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا ۱۰

۲- ۳- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا ۱۱

۲- ۴- فرآیند تصفیه در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۱۲

۲- ۴- ۱- نوع مدیا در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۱۸

۲- ۵- اصول طراحی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۲۲

۲- ۵- ۱- ضوابط طراحی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۲۴

۲- ۶- انواع دیگر فیلترهای بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا ۲۶

۲- ۶- ۱- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با مخزن سپتیک ۲۶

۲- ۶- ۲- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با بستر ثابت ۲۶

۲- ۷- شرایط و هماهنگی متناسب با فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۲۷

۲- ۸- جنبه‌های سلامت و بهداشت در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۲۷

۲- ۹- بهره‌برداری و نگهداری از فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۲۷

۲- ۱۰- مزایا و معایب فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۲۸

۲- ۱۱- نتیجه‌گیری ۲۹

منابع ۳۱

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل ۱-۱ تصویر شماتیک از سیستم مدیریت فاضلاب در محل ۲
شکل ۱-۲ تصویر شماتیک از سیستم مدیریت فاضلاب خارج از محل ۲
شکل ۱-۳ تعدادی از سیستم‌های تصفیه بی‌هوازی فاضلاب ۷
شکل ۲-۱ تصویر شماتیک از رآکتور بافل دار بی‌هوازی ۸
شکل۲-۲ تصویر شماتیک از تانک سپتیک جریان رو به بالا پیش از فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا ۹
شکل ۲-۳ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا ۱۰
شکل ۲-۴ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا ۱۱
شکل ۲-۵ تصویر شماتیک از موقعیت دانه‌های فیلتر و نحوه ورود جریان به مدیا ۱۲
شکل ۲-۶ تصویر شماتیک از انواع مدیا مدل شبکه‌ایی، سوراخ‌دار و حلقه‌ایی ۱۳
شکل ۲-۷ اندازه و فرم دانه‌ها در فیلتر ۱۴
شکل ۲-۸ تصویر شماتیک از سیستم تصفیه مرکب شامل فیلتر بی‌هوازی و تالاب ۱۴
شکل ۲-۹ شاخص‌های ورودی و خروجی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا..... ۱۷
شکل ۲-۱۰ اثر لایه‌بندی فیلتر بر روی راندمان حذف در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان ۱۸
شکل ۲-۱۱ غلظت شاخص‌ها بر اساس لایه‌های مدیا در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان..... ۱۹
شکل ۲-۱۲ راندمان حذف و مقدار غلظت آهن در پساب خروجی بر اساس زمان ماند ۲۰
شکل ۲-۱۳ تصویر شماتیک از واحد ته نشینی ۲۲
شکل ۲-۱۴ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا بدون واحد ته‌نشینی ... ۲۳
شکل ۲-۱۵ پلان از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا ۲۴
شکل ۲-۱۶ مقطع طولی از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا ۲۴
شکل ۲-۱۷ مقطع عرضی از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا ۲۵
شکل ۲-۱۸ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با مخزن سپتیک ۲۶
شکل ۲-۱۹ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با بستر ثابت ۲۶

فهرست جدول‌ها

عنوان شماره صفحه

جدول ۱-۱ تعدادی از آلاینده‌های اصلی، منشا و بیشترین آثار ناشی از آن‌ها بر روی منابع آبی ۱
جدول ۱-۲ اثر متقابل در ایجاد تعادل اکسیژن محلول ۳
جدول ۱-۳ تعاریف ۴
جدول ۱-۴ فرمول‌های شیمیایی ۶
جدول ۱-۵ رابطه‌ها ۶
جدول ۲-۱ شاخص‌های دما و رطوبت برای شرایط محیطی و شاخص اسیدی برای فاضلاب در سیستم ... ۱۵
جدول ۲-۲ راندمان حذف برای کل سیستم تصفیه مرکب شامل فیلتر بی‌هوازی و تالاب..... ۱۵
جدول ۲-۳ متوسط راندمان حذف در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا] ۲۱

فصل اول
کلیات

۱- ۱- مقدمه

به مواد و یا شکل‌های انرژی مازاد که بصورت مستقیم و غیرمستقیم، پیکره آبی را به خطر بیاندازند، آلودگی آب گفته می‌شود. مطابق جدول (۱-۱)، تعدادی از آلاینده‌های اصلی معرفی شده‌اند [۱].

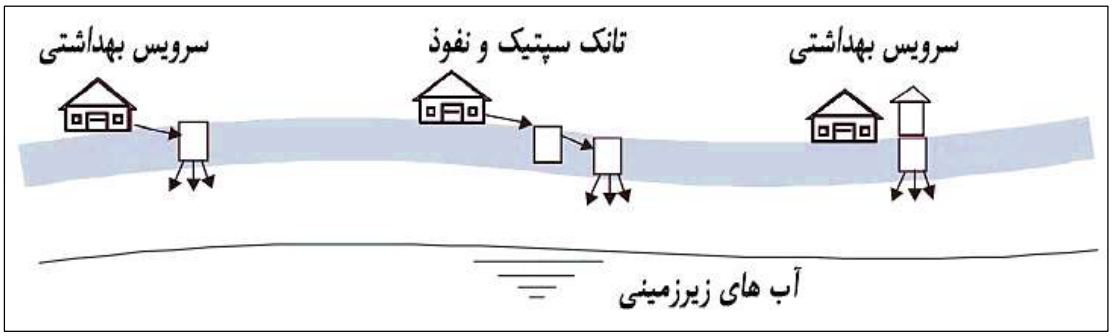
جدول ۱-۱ تعدادی از آلاینده‌های اصلی، منشا و بیشترین آثار ناشی از آن‌ها بر روی منابع آبی [۱]

آلودگی	شاخص	منبع				آثار و پیامدها
		فاضلاب		روانآب		
		خانگی	صنعتی	شهری	کشاورزی	
جامدات معلق	TSS	***	ℜ	**	*	- دفع لجن - جذب آلاینده‌ها - محافظت از پاتوژن‌ها
مواد آلی تجزیه‌پذیر	BOD	***	ℜ	**	*	- مصرف اکسیژن - مرگ ماهی
مغذی‌ها	نیتروژن و فسفر	***	ℜ	**	*	- افزایش رشد لجن - مسمویت ماهی (آمونیا) - مشکل نوزادان (نیترات) - آلودگی منابع آبی
پاتوژن‌ها	کلیفرم	***	ℜ	**	*	- مشکلات آبزیان
مواد آلی غیرقابل تجزیه	سموم و مواد شوینده	*	ℜ	*	**	- کف (مواد شوینده) - کاهش انتقال اکسیژن (مواد شوینده) - بوی نامطبوع (فنول)
فلزات	مجموعه فلزات سنگین	*	ℜ	*	-	- جلوگیری از تصفیه بیولوژیکی - مشکلات در استفاده از لجن در کشاورزی - آلودگی منابع آبی
جامدات محلول غیرآلی	TDS	**	ℜ	–	*	- افزایش شوری - مسمومیت گیاهان - مشکلات در نفوذ پذیری خاک (سدیم)
(* کم) (** متوسط) (*** زیاد) (~ متغیر) (– بدون اهمیت)						

ترتیب حذف این آلاینده‌ها بطور معمول، مواد آلی تجزیه‌پذیر، جامدات معلق، پاتوژن‌های موجود در فاضلاب، حذف مغذی‌ها (نیتروژن و فسفر) و ریزآلاینده‌های ناشی از روانآب می‌باشند؛ اگرچه، بدلیل کمبود منابع مالی اولویت اصلی کاهش آلودگی ناشی از مواد آلی و جامدات در ابتدا و سپس دیگر آلاینده‌ها می‌باشند [۱].

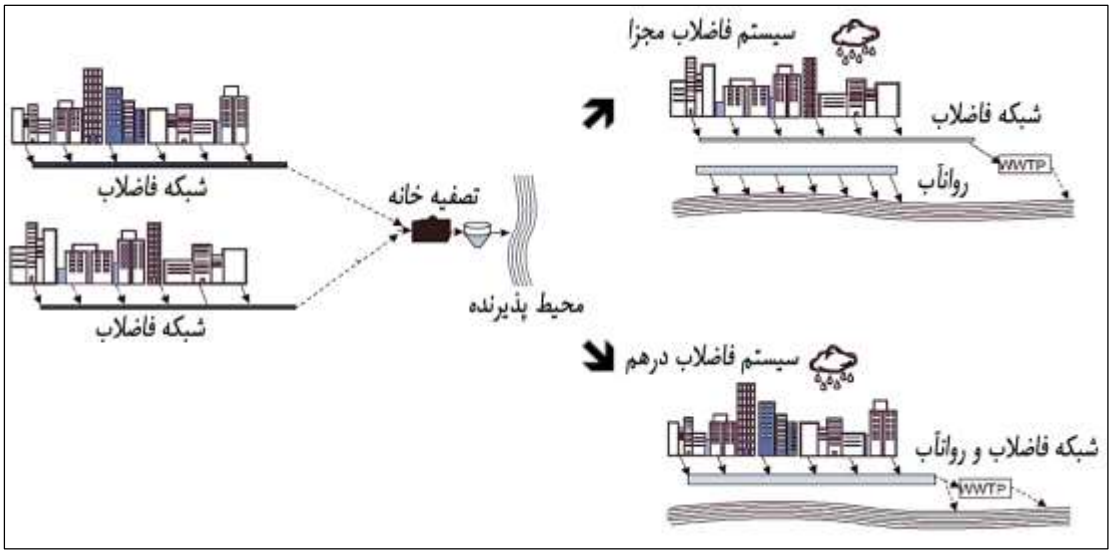
۱- ۱- ۱- شبکه فاضلاب

جمع‌آوری، تصفیه و دفع فاضلاب، مطابق شکل (۱-۱) بصورت در محل و یا مطابق شکل (۲-۱) بصورت خارج از محل (سیستم مجزا و درهم) اجرا می‌شوند [۱].



شکل ۱-۱ تصویر شماتیک از سیستم مدیریت فاضلاب در محل [۱]

ورود جریان‌های فاضلاب شهری به سیستم فاضلاب خارج از محل به سه دسته، (۱) فاضلاب خانگی، (۲) جریان نفوذ و (۳) فاضلاب صنعتی تقسیم می‌شوند [۱].



شکل ۱-۲ تصویر شماتیک از سیستم مدیریت فاضلاب خارج از محل [۱]

جریان نفوذ[1] ناشی از عیب و خرابی در لوله‌ها، اتصالات، مفصل‌ها و یا منهول‌ها در سیستم فاضلاب می‌باشد. مقدار جریان نفوذ به فاکتورهای متفاوتی مانند گستره شبکه جمع‌آوری، قطر خطوط لوله، مساحت زهکشی، نوع خاک، عمق تراز آب، توپوگرافی و تراکم جمعیت بستگی دارد. بطور مثال، ثابت نفوذ معادل با ۰/۰۱ تا ۱ مترمکعب بر کیلومتر در روز به ازای هر میلی‌متر قطر لوله در نظر گرفته می‌شود [۲].

۱- ۱- ۲- ترکیبات فاضلاب

حدود ۹۹/۹٪ از فاضلاب را آب تشکیل می‌دهد. ۰/۱٪ باقی‌مانده آن شامل مواد آلی، غیرآلی، جامدات معلق و جامدات محلول همراه با میکرواورگانیسم‌ها می‌باشد. ترکیبات فاضلاب به اقلیم، نحوه استفاده از آب و شرایط اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی بستگی دارند. شاخص‌های موجود در فاضلاب بعنوان معرف کیفیت فاضلاب به سه دسته، (۱) شاخص‌های فیزیکی، (۲) شاخص‌های شیمیایی و (۳) شاخص‌های بیولوژیکی تقسیم می‌شوند. شاخص‌های فیزیکی مانند دما، رنگ، بو و کدورت، شاخص‌های شیمیایی مانند جامدات معلق، جامدات محلول، مواد آلی، نیتروژن، فسفر، قلیاییت، روغن و چربی و شاخص‌های بیولوژیکی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، پروتوزوا[2]و ویروس‌ها می‌باشند [۱].

۱- ۱- ۳- اثر تخلیه فاضلاب بر روی محیط

سه اثر مهم ناشی از تخلیه فاضلاب بر روی پیکره آبی پذیرنده به ترتیب، (۱) آلودگی ناشی از مواد آلی باعث کاهش اکسیژن محلول، (۲) آلایندگی ناشی از پاتوژن‌ها باعث مرگ میکرواورگانیسم‌ها و (۳) نیتروژن و فسفر باعث ایجاد پدیده یوتریفیکاسیون[3]می‌باشند [۱]. برای هرکدام از این موارد به ترتیب، دلایل، آثار، کنترل و مدل‌سازی آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. یکی از مشکلات اصلی و شاخص آلودگی آب که در بیشتر مناطق توسعه یافته ارزیابی می‌شود؛ میزان مصرف اکسیژن محلول پس از تخلیه فاضلاب می‌باشد. مطابق جدول (۲-۱)، اثر غیرمستقیم اولیه مواد آلی بر روی پیکره آبی، اکسیژن محلول مصرفی است [۱].

جدول ۱-۲ اثر متقابل در ایجاد تعادل اکسیژن محلول [۱]

مصرف اکسیژن	تولید اکسیژن
اکسید مواد آلی (تنفس)	هوادهی
لجن موجود در کف	فوتوسنتز
اکسید آمونیا (نیتریفیکاسیون)	حرکت جریان، برخورد و تلاطم

[1] Infiltration flow
[2] Protozoa
[3] Eutrophication

۱- ۲- تعاریف، فرمول‌های شیمیایی و رابطه‌ها

مطابق جدول (۳-۱)، تعاریف استفاده شده در این پژوهش به شرح زیر معرفی شده‌اند.

جدول ۱-۳ تعاریف

اختصار	انگلیسی	فارسی
ABR	Anaerobic Baffled Reactor	رآکتور بافل‌دار بی‌هوازی
BOD	Biochemical Oxygen Demand	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی
COD	Chemical Oxygen Demand	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
CMAL	Complete Mix Aerated Lagoon	لاگون هوادهی اختلاط کامل
DEWATS	Decentralised Wastewater Treatment System	سیستم تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز
DO	Dissolved Oxygen	اکسیژن محلول
EGSB	Expanded Granular Sludge Bed	رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن گسترده
FAP	Facultative Aerated Pond	برکه هوادهی اختیاری
FOG	Fat & Oil and Grease	چربی و روغن
HRT	Hydraulic Retention Time	زمان ماند هیدرولیکی
HLR	Hydraulic Load Rate	نرخ بار هیدرولیکی
HSSCW	Horizontal Subsurface Constructed Wetland	تالاب جریان زیر سطحی افقی
INWRDAM	Inter-Islamic Network on Water Resources Development	توسعه منابع آبی کشورهای اسلامی
IDRC	International Development Research Centre	مرکز تحقیق و توسعه بین‌المللی
MP	Maturation Pond	برکه بالغ (هوادهی)
NB	Nitrogen Balanced	نیتروژن متعادل
NL	Nitrogen Limited	نیتروژن محدود
OLR	Organic Loading Rate	نرخ بار آلی
OPs	Organically Phosphorus	فسفر آلی
PVC	Polyvinyl Chloride	پی‌وی‌سی
PPDs	Personal Protective Devices	تجهیزات حفاظتی شخصی

اختصار	انگلیسی	فارسی
RNB	Reactor Nitrogen Balanced	رآکتور با نیتروژن متعادل
RNL	Reactor Nitrogen Limited	رآکتور با نیتروژن محدود
SAB	Submerged Aerated Biofilter	فیلتر زیستی هوادهی غوطه‌ور
SLR	Surface Loading Rate	نرخ بار سطحی
SMA	Specific Methanogenic Activity	فعالیت حداکثری باکتری متان‌ساز
SRT	Sludge Retention Time	زمان ماند لجن (سن لجن)
TC	Total Coliform	کل کلیفرم
TF	Trickling Filter	فیلتر چکنده
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen	نیتروژن کل کجلدال
TN	Total Nitrogen	کل نیتروژن
TOC	Total Organic Carbon	کل کربن آلی
TPs	Total Phosphorus	فسفر کل
TSS	Total Suspended Solids	کل جامدات معلق
TSUAR	Two Step Upflow Anaerobic Reactor	رآکتور بی‌هوازی جریان بالا دو مرحله
UABBF	UPflow Anaerobic Biological Baffled Filter	فیلتر بی‌هوازی بافل‌دار جریان بالا
UABF	UPflow Anaerobic Biological Filter	فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان بالا
UAF	Upflow Anaerobic Filter	فیلتر بی‌هوازی جریان بالا
UASBr	Upstream Anaerobic Sludge Blanket Reactor	رآکتور بی‌هوازی پتوی لجن جریان بالا
VHL	Volumetric Hydraulic Load	بار هیدرولیکی حجمی
VOL	Volumetric Organic Load	بار آلی حجمی

مطابق جدول (۴-۱)، فرمول‌های شیمیایی استفاده شده در این پژوهش به شرح زیر معرفی شده‌اند.

جدول ۱-۴ فرمول‌های شیمیایی

فارسی	انگلیسی	فرمول شیمیایی
آمونیاک	Ammonia	NH_3
آمونیوم	Ammonium	NH_4
نیترات	Nitrate	NO_3
آمونیوم کلرید	Ammonium chloride	NH_4Cl
مونوپتاسیم فسفات	Monopotassium phosphate	KH_2PO_4
سدیم هیدروژن‌کربنات	Sodium Bicarbonate	$NaHCO_3$

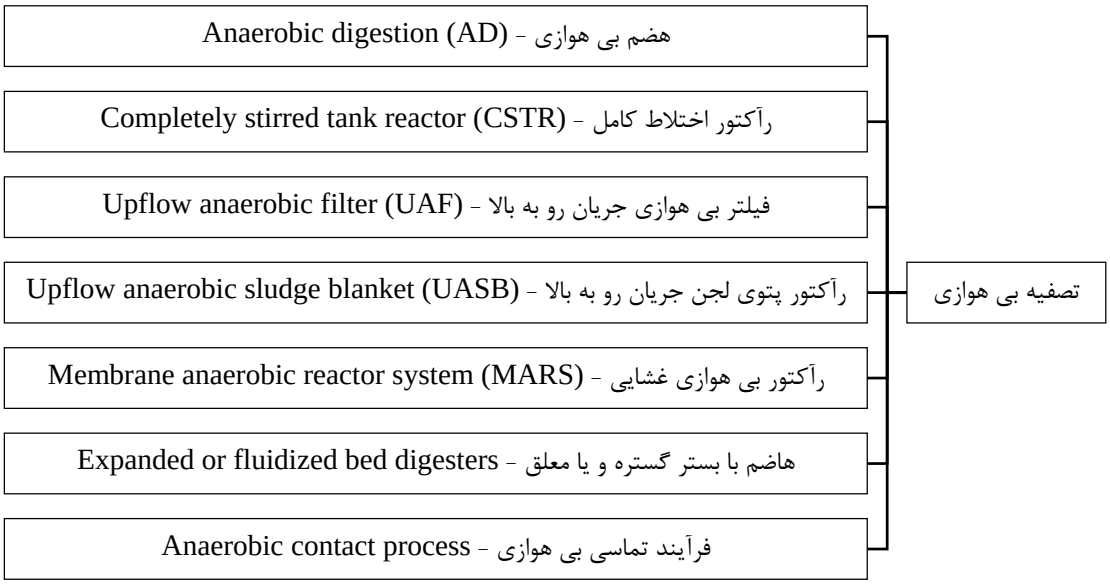
مطابق جدول (۵-۱)، رابطه‌های استفاده شده در این پژوهش به شرح زیر معرفی شده‌اند.

جدول ۱-۵ رابطه‌ها

شاخص	اجزا	رابطه
VOL	S_0: influent BOD concentration (gr/m^3) Q: influent flow (m3/day) V: reactor volume (m^3)	$L_{VO} = \frac{Q \cdot S_0}{V}$ (gr BOD/m3.day)
HLR	Q: influent flow (m3/day) A: surface area (m^2)	$HLR = \frac{Q}{A}$ (m3/m2.day)
VHL	Q: influent flow (m3/day) V: reactor volume (m^3)	$L_V = \frac{Q}{V}$ (m3/m3.day)
HRT	V: reactor volume (m^3) Q: influent flow (m3/day)	$\blacktriangleleft = \frac{V}{Q}$ (day)
SLR	A: surface area (m^2)	$Ls = \frac{Q \cdot S_0}{A}$ (gr BOD/m^2.day)
BOD	DO: Dissolved Oxygen (mgr/lit)	DO (day 0) - DO (day 5)

۱- ۳- معرفی

پیش از این، سهم بزرگی از تصفیه فاضلاب بر عهده واحدهای مرسوم تصفیه هوازی و بی‌هوازی[۱] بوده است [۳]. امروزه، رآکتورها و فیلترهای بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی بصورت گسترده جهت تصفیه فاضلاب همراه با مقدار بالای شاخص (COD)[۲] مورد استفاده قرار می‌گیرند. هضم بی‌هوازی یک فرآیند بیولوژیکی می‌باشد که در آن مواد آلی در نبود اکسیژن توسط میکرواورگانیسم‌های متنوع با سن لجن (SRT)[۳] بالا تجزیه می‌شوند. سیستم تصفیه بی‌هوازی بطور معمول برای تصفیه فاضلاب گرم و بسیار قوی صنعتی همراه با غلظت بالای مواد آلی تجزیه‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. تصفیه بی‌هوازی باعث حذف شاخص‌های (BOD)،[۴] (COD) و (TSS)[۵] از فاضلاب می‌شود. فرآیند بی‌هوازی با مصرف انرژی کم، نیاز به مواد شیمیایی کم و تولید لجن کم در مقایسه با فرآیند هوازی هزینه کمتری نیاز دارد؛ علاوه بر این، زیست‌گاز (بیوگاز)[۶] تولید شده در این فرآیند بعنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر جایگزین سوخت‌های فسیلی برای تولید الکتریسیته می‌باشد. مطابق شکل (۳-۱)، تعدادی از روش‌های تصفیه بی‌هوازی فاضلاب معرفی شده‌اند [۳].



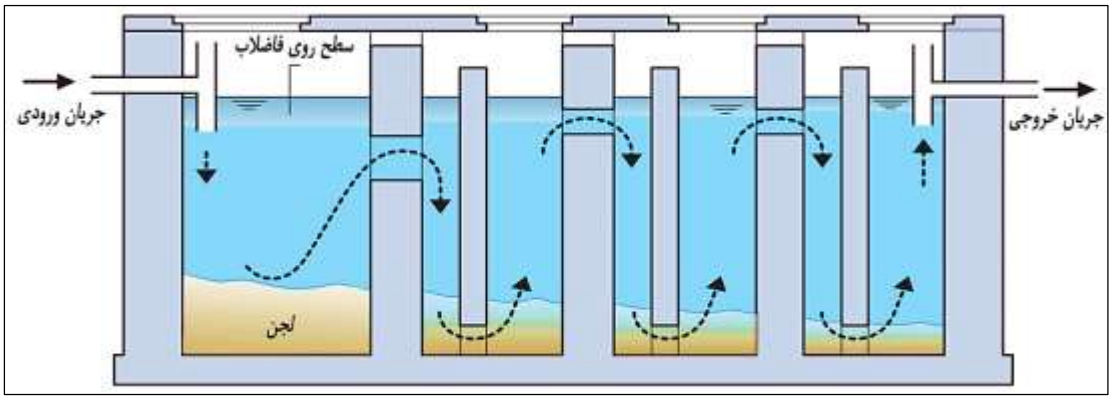
شکل ۱-۳ تعدادی از سیستم‌های تصفیه بی‌هوازی فاضلاب [۳]

[۱] Anaerobic and Aerobic treatment
[۲] Chemical Oxygen Demand
[۳] Sludge Retention Time
[۴] Biochemical Oxygen Demand
[۵] Total Suspended Solids
[۶] Biogas

فصل دوم
فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

۲- ۱- مقدمه

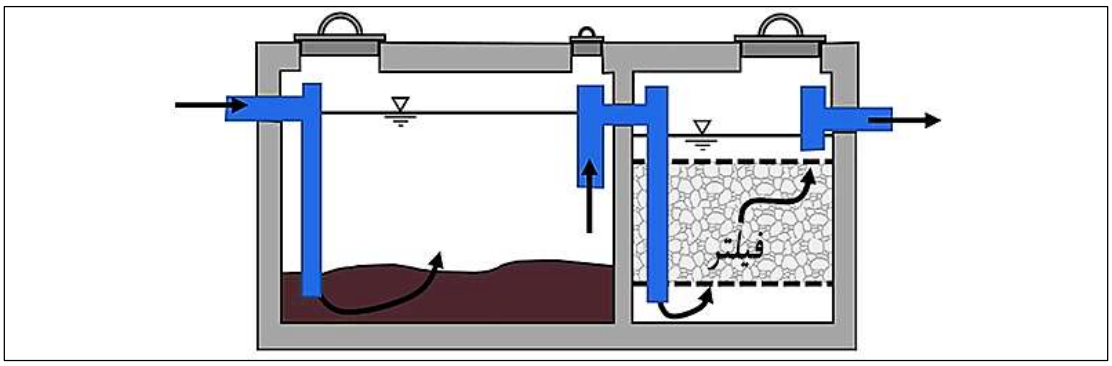
فیلترهای بی‌هوازی در سال ۱۹۶۹ توسط یانگ و مکارتی[۱]معرفی شده‌اند [۴]. این تکنولوژی برای تصفیه فاضلاب‌های گوناگون صنعتی مورد استفاده قرارگرفته است. فیلتر بی‌هوازی با بستر ثابت، شناخته شده‌ترین رآکتور با رشد باکتری چسبیده[۲]می‌باشد. این سیستم توسط یک مجموعه مدیا فیلتر[۳] امکان چسبیدن و یا نشستن جامدات بیولوژیکی در میان دانه‌های مدیا را فراهم می‌کند. میکرواورگانیسم‌های متشکل بر روی مدیا، مواد هضم‌پذیر[۴]موجود در جریان فاضلاب را تجزیه می‌کنند. اواخر سال ۱۹۶۹، اولین تحقیقات در حوزه تاثیر فیلترهای بی‌هوازی و انواع رشد بر روی فاضلاب‌های صنعتی و خانگی انجام پذیرفت. این فیلترها معمولا به صورت جریان رو به پایین و یا جریان رو به بالا بهره‌برداری می‌شوند. در ساختار فیلتر جریان رو به بالا، سیال از سمت پایین وارد مدیا فیلتر شده و از بالای آن تخلیه می‌شود. این مسیر امکان افزایش زمان و سطح برخورد میان میکرواورگانیسم‌ها و مواد تجزیه‌پذیر را فراهم می‌کند. همچنین بدلیل نحوه عملکرد سیستم، خروج زیست‌توده[۵]از آن کاهش می‌یابد. بطورکلی این فرآیند تصفیه، یک سیستم با راندمان حذف بالا و هزینه ساخت و بهره‌برداری کم می‌باشد. فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا (UAF)[۶] سیستم توسعه‌یافته رآکتور بافل‌دار بی‌هوازی (ABR)[۷]مطابق شکل (۱-۲) می‌باشد [۴].



شکل ۲-۱ تصویر شماتیک از رآکتور بافل دار بی‌هوازی [۵]

۱. Young, James.C & McCarty, Perry.L
۲ Attached bacterial growth
۳ Media Filter
۴ Substrate
۵ Biomass
۶ Upflow Anaerobic Filter
۷ Anaerobic Baffled Reactor

فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا (UAF) در شرایطی که کل تانک از کف مخزن با مدیا فیلتر پر شده است، دارای فعالیت هضم ناشی از تراکم زیست‌توده‌های بدام افتاده بجای فعالیت هضم ناشی از زیست‌لایه (بیوفیلم)[۱]می‌باشد [۶]. سه مساله اساسی ناشی از ورود مستقیم جریان به مدیا فیلتر بدون ایجاد فاصله مناسب برای ورود آن از کف تانک به ترتیب، (۱) شکل‌گیری ناحیه مرده[۲] بدلیل توزیع ناهموار جریان افقی در کف رآکتور، (۲) ایجاد جریان کوتاه[۳] بدلیل عدم توزیع یکنواخت جریان رو به بالا و (۳) کاهش فعالیت زیست‌توده، بدلیل غلظت بالای آن در کف رآکتور می‌باشند. این اثرهای منفی، ناشی از وجود مدیا فیلتر در پایین‌ترین بخش رآکتور بعنوان مانعی در برابر اختلاط کامل افقی و همینطور در بدام انداختن بخش زیادی از جامدات معلق می‌باشد. در کف تانک بدلیل شکل‌گیری ابتدایی حباب‌های گاز، کمترین میزان اختلاط صورت می‌گیرد. در فیلتر بی‌هوازی ضخامت زیست‌لایه بر روی تجزیه مواد هضم‌پذیر اثرگذار است؛ بطوریکه، ضخامت کمتر از ۱ میلی‌متر کمترین اثرگذاری و ضخامت بین ۲ تا ۳ میلی‌متر بیشترین اثرگذاری برای تجزیه را دارا می‌باشد. عملکرد مناسب فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا، هنگام سرعت مناسب جریان رو به بالا در محدوده ۰/۶۶ تا ۶/۸ متر بر ساعت رخ می‌دهد. سرعت بیشتر موجب شستگی و خروج جامدات و در نتیجه کاهش راندمان عملکرد و همچنین سرعت کمتر باعث گرفتگی و عدم اختلاط کامل می‌شود. یکی از بزرگترین معایب فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا، بسختی حفظ کردن تماس مورد نیاز بین لجن و فاضلاب بعلت گرفتگی میان دانه‌های فیلتر می‌باشد. مطابق شکل (۲-۲)، ایجاد یک واحد پیش‌تصفیه مانند یک واحد ته‌نشینی اولیه[۴] و یا واحد پیش اسیدسازی[۵] قبل از فیلتر به کاهش شکل‌گیری جریان کوتاه ناشی از گرفتگی بستر کمک می‌کند. این سیستم برای تصفیه فاضلاب با آلاینده‌های محلول بسیار مناسب است [۶].

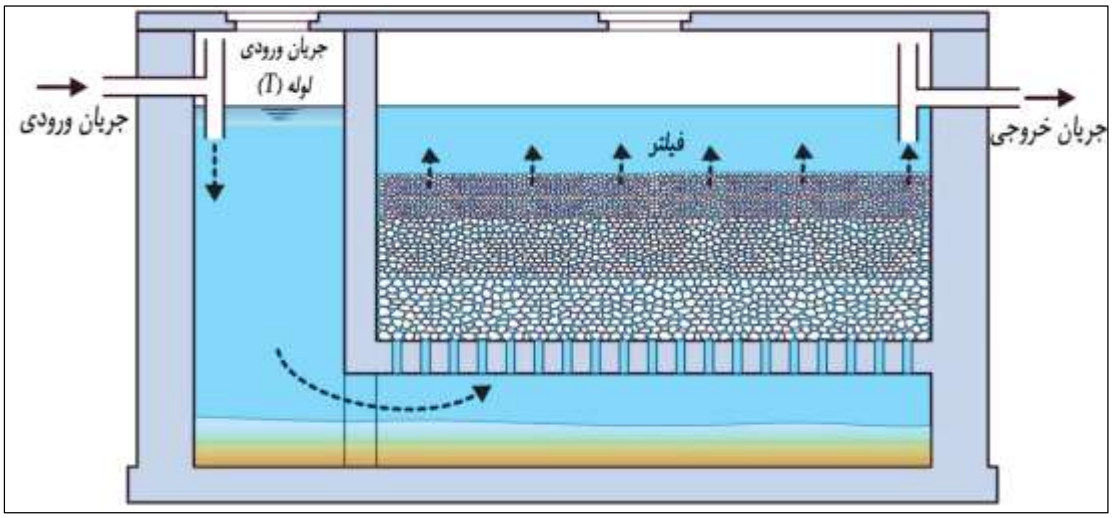


شکل ۲۲-تصویر شماتیک از تانک سپتیک جریان رو به بالا پیش از فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا [۷]

[۱] Biofilm
[۲] Dead zone
[۳] Short circuits
[۴] Primary settler
[۵] Pre acidification

۲- ۲- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا

فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF)[۱] بعنوان گام دوم در تصفیه فاضلاب خانگی (آب خاکستری و سیاه)[۲] مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. در این سیستم جامدات معلق و محلول در اثر برخورد نزدیک با باکتری‌های چسبیده به مدیا فیلتر در شرایط بدون اکسیژن ورودی تجزیه می‌شوند. استفاده از این فیلتر بعد از واحد چربی و دانه‌گیری و یا تانک سپتیک[۳] نتایج موفقیت‌آمیزی داشته است. در این فرآیند برای افزایش راندمان حذف و کاهش هزینه نگهداری، ابتدا جامدات با ابعاد بزرگ در یک تانک سپتیک حذف شده و سپس فاضلاب به فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا منتقل می‌شود. بر اساس این پژوهش، زمان ماند هیدرولیکی مهمترین شاخص طراحی ارزیابی شده است. این فیلتر از چندین لایه مدیا که سطح ویژه (رویه)[۴] کافی برای نشست و رشد باکتری‌ها فراهم می‌کند، تشکیل شده است. مطابق شکل (۳-۲)، جریان فاضلاب از پایین به بالا (جریان رو به بالا) از میان مدیا حرکت می‌کند؛ بنابراین، هنگام تماس مواد هضم‌پذیر با زیست‌توده تجزیه بی‌هوازی رخ می‌دهد [۵].

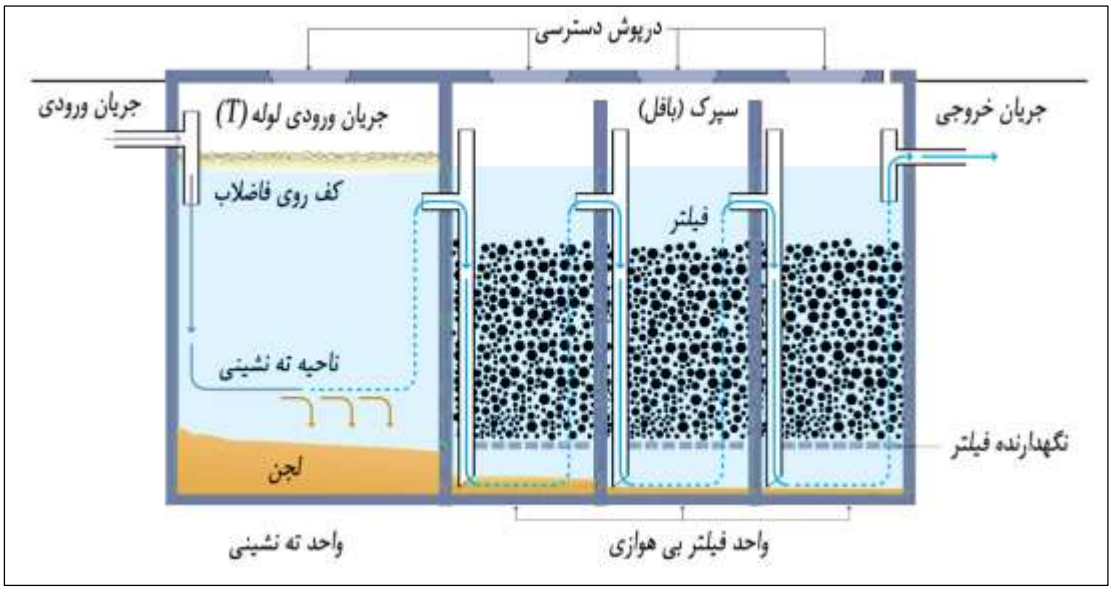


شکل ۲-۳ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا [۵]

[۱] UPflow Anaerobic Biological Filter
[۲] Black and Grey water
[۳] Septic Tank
[۴] Specific surface area

۲- ۳- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا

فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا (UABBF)[۱] بعنوان فرآیند تصفیه ثانویه در سیستم تصفیه آب خاکستری و یا آب سیاه (فاضلاب ناشی از سرویس بهداشتی) در فاضلاب شهری و یا صنعتی استفاده می‌شود [۵]. این فیلتر همراه با سایر واحدهای تصفیه در یک سیستم تصفیه فاضلاب غیرمتمرکز (DEWATS)[۲] مانند فرآیند تصفیه برای فاضلاب تجزیه‌پذیر صنعتی استفاده می‌شود. این سیستم، یک فرآیند تصفیه بی‌هوازی بر اساس رشد چسبیده زیست‌توده‌ها می‌باشد که هدف از آن، حذف مواد جامد محلول و غیرقابل ته‌نشین است. این فیلترها به عنوان تانک‌های سپتیک و یا رآکتورهای بی‌هوازی بافل‌دار، ترکیبی از تصفیه فیزیکی (ته‌نشینی) و بیولوژیکی (تجزیه) می‌باشند. سیستم مورد نظر شامل یک مخزن نفوذناپذیر و چندین لایه مدیا فیلتر می‌باشد که سطحی را برای چسبیدن و تجمع باکتری‌ها فراهم می‌کند. مطابق شکل (۴-۲)، ورود جریان فاضلاب به فیلتر از پایین به بالا (جریان رو به بالا) می‌باشد. این جریان با زیست‌توده ته‌نشین شده روی فیلتر تماس پیدا کرده و در معرض تجزیه بی‌هوازی قرار می‌گیرد [۵].



شکل ۲-۴ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۸]

این فیلتر بطور معمول برای فاضلاب با درصد جامدات معلق کم و نسبت (COD:BOD) پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین، این فرآیند بی‌هوازی برای فاضلاب خانگی و یا صنعتی با این شرایط مناسب می‌باشد. ایجاد یک واحد پیش‌تصفیه مانند واحد ته‌نشینی و یا سپتیک تانک برای حذف جامدات درشت دانه، پیش

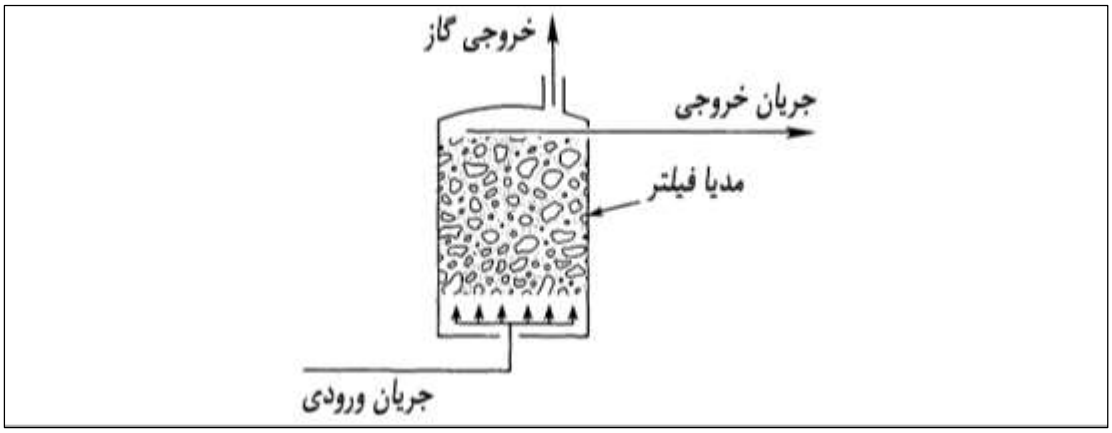
[۱] UPflow Anaerobic Biological Baffled Filter
[۲] Decentralised Wastewater Treatment System

از ورود آن‌ها به فیلتر بی‌هوازی ضروری است. همچنین باید در نظر داشت که استحصال متان در صورت غلظت بالاتر از یک هزار میلی‌گرم (BOD) در هر لیتر قابل ملاحظه است [۹].

۲- ۴- فرآیند تصفیه در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

مزیت فرآیند تصفیه بی‌هوازی بر تصفیه هوازی در این سیستم، عدم نیاز به هوادهی و تاسیسات مرتبط با آن و همچنین عدم نیاز به فضای زیاد و امکان ساخت در زمین محدودتر می‌باشد. استفاده از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی (بافل‌دار) جریان رو به بالا برای تصفیه فاضلاب بسیار رقیق مانند فاضلاب ناشی از صنعت لبنیات و یا دیگر صنایع آب‌بَر پیشنهاد می‌شود. راندمان حذف برای شاخص‌های (COD) و (BOD) در این سیستم به ترتیب در حدود ۸۵٪ و ۹۰٪ تعیین شده است [۱۰].

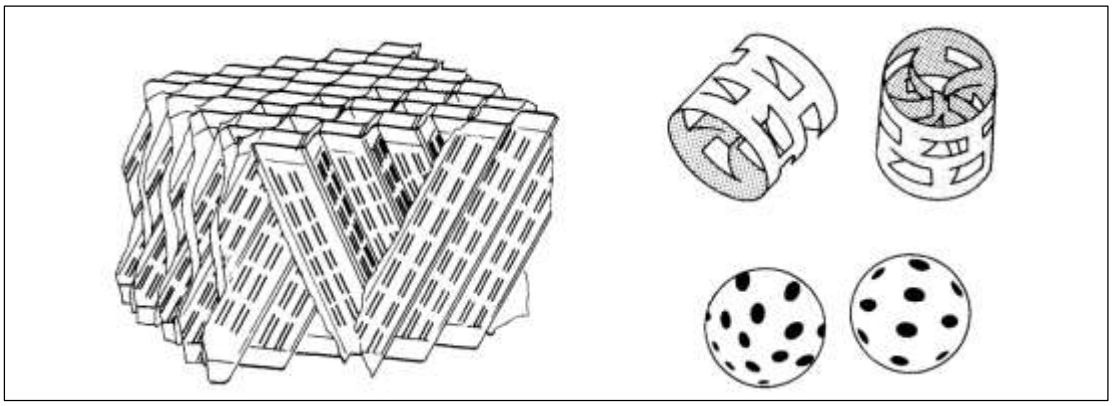
یانگ و داهاب[۱] در سال ۱۹۸۳، اثر مدیا فیلتر طراحی شده را بر روی عملکرد رآکتور بی‌هوازی بستر ثابت مورد بررسی قراردادند [۱۱]. بر اساس این تحقیق، چهار مدیا فیلتر مختلف در یک سیستم بی‌هوازی با مقیاس آزمایشگاهی برای نشان دادن اهمیت نوع، اندازه و شکل مدیا بر روی عملکرد تصفیه فاضلاب مورد بررسی قرارگرفته‌اند. بر اساس این مطالعه، بیشترین حذف در ارتفاع پایین فیلتر و محل تجمع زیست‌توده‌ها در میان حفره‌های مدیا انجام شده است. همچنین مدیا فیلتر توانایی نگهداری غلظت بالای زیست‌توده، هم بصورت رشد معلق و هم رشد چسبیده به سطح دانه‌های مدیا را نشان داده است. ماندگاری جامدات مطابق شکل (۵-۲)، به شکل دانه‌های مدیا، نسبت تخلخل دانه‌ها، نحوه ورود جریان و سطح ویژه آن بستگی دارند. فیلتر مورد نظر در این پژوهش، همراه با اجازه خروج جامدات بیولوژیکی از مدیا برای جلوگیری از تجمع و گرفتگی آن و همچنین ممانعت از ایجاد جریان کوتاه و کاهش راندمان تصفیه طراحی شده است.



شکل ۲-۵ تصویر شماتیک از موقعیت دانه‌های فیلتر و نحوه ورود جریان به مدیا [۱۱]

[۱] Young, James.C & Dahab, Mohamed.F

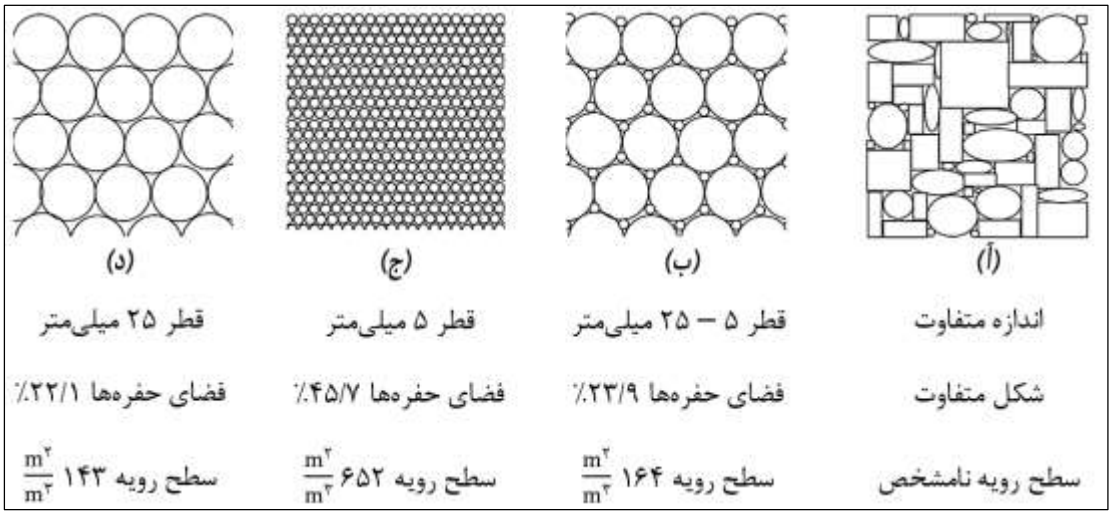
یکی دیگر از شاخص‌های بسیار مهم برای طراحی مدیا، ممانعت از شستگی زیست‌توده‌ها به خارج تعیین شده است. مطابق شکل (۶-۲)، مدیای بزرگ با سطح ویژه متوسط عملکرد بهتری را نسبت به مدیای کوچک با سطح ویژه بزرگ به همراه داشته است. همچنین باید در نظر داشت که در صورت طراحی فیلتر در چندین لایه، رآکتور با دو لایه مدیا فیلتر ضعیف‌ترین عملکرد را در کاهش آلاینده‌ها داشته است [۱۱].



شکل ۲-۶ تصویر شماتیک از انواع مدیا مدل شبکه‌ایی، سوراخ‌دار و حلقه‌ایی [۱۱]

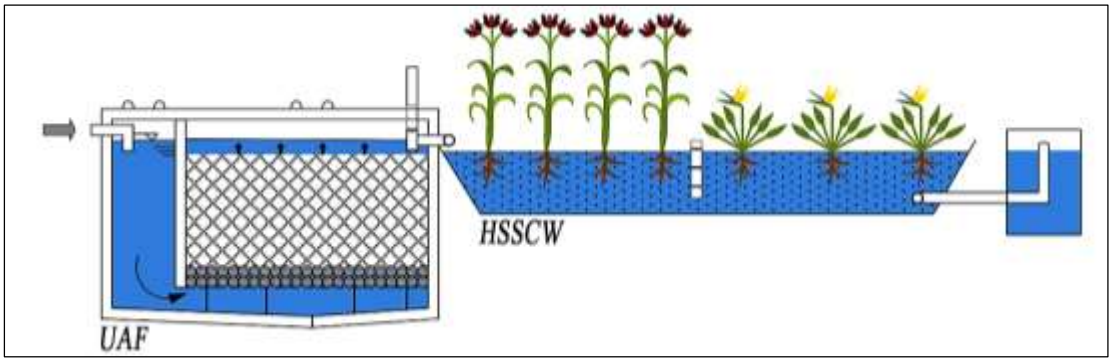
سازه فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF)، شبیه به مخزن سپتیک می‌باشد؛ با این تفاوت که عموما چندین محفظه و بافل‌های اضافی برای اطمینان از ایجاد جریان رو به بالا بصورت کامل به آن اضافه می‌شوند [۹]. اصل پایه در این سیستم، افزایش زمان و سطح تماس بین فاضلاب ورودی و زیست‌توده فعال در لجن انباشته شده است. دستیابی به این مساله با قراردادن بافل‌های عمودی داخل محفظه برای عبور جریان از زیر و روی آن‌ها در طول مسیر ورودی تا خروجی ممکن می‌باشد. در اثر این طراحی سیال عبوری با زیست‌توده تماس بیشتری پیدا می‌کند. بطورکلی باکتری تمایل به حفظ خود بر روی دیواره‌های رآکتور و دانه‌های فیلتر، مانند (۱) شن، (۲) سنگدانه، (۳) پوکه معدنی[۱] و (۴) قطعات مخصوص پلاستیکی دارد. مواد آلی معلق و یا محلول در زمان ماند کوتاه بصورت بی‌هوازی هضم می‌شوند. ایجاد سطح بزرگتر برای رشد باکتری، بمنزله هضم سریعتر مواد آلی می‌باشد. مطابق شکل (۷-۲)، قطر دانه‌های فیلتر بر روی عملکرد آن اثر مستقیم دارد. یک فیلتر مناسب، دارای سطح ویژه بین ۹۰ تا ۳۰۰ مترمربع در هر مترمکعب حجم رآکتور می‌باشد. سطح ناهموار، سطح ویژه بزرگتری را در ابتدا ایجاد می‌کند؛ سپس، رشد زیست‌لایه باعث پر شدن کامل حفرها و ناهمواری‌ها می‌شود. در این روش بر خلاف رآکتور بافل‌دار بی‌هوازی (ABR)، فاضلاب بطور مستقیم به زیست‌توده ته‌نشین شده در کف مخزن تخلیه نمی‌شود و فیلتر واسطه این تماس می‌باشد [۹].

[۱] Cinder



شکل ۲-۷ اندازه و فرم دانه‌ها در فیلتر [۹]

مطابق شکل (۸-۲) سولیس[۱] و همکاران در سال ۲۰۱۵، اثربخشی زمان ماند هیدرولیکی بر روی عملکرد سیستم اکولوژیکی تصفیه فاضلاب، شامل فرآیند تصفیه مرکب فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا (UAF) و یک تالاب ساخته شده (HSSCW)[۲] را مورد بررسی قراردادند [۱۲].



شکل ۲-۸ تصویر شماتیک از سیستم تصفیه مرکب شامل فیلتر بی‌هوازی و تالاب [۱۲]

دانه‌های مدیا بکار رفته در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا، سنگ آهن اکسید شده و متخلخل تزونتل[۳] بودند. ابتدا در این پژوهش مطابق جدول (۱-۲)، سه شاخص مهم و اثرگذار بر روی مکانیسم راندمان حذف مواد آلی و نیتروژن یعنی، (۱) شاخص (pH)، (۲) دما و (۳) اکسیژن محلول (DO)؛[۴] به دلیل حساسیت اورگانیسم‌های حاضر در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به این سه شاخص مورد بررسی قرارگرفته‌اند.

[۱] Solís, Maria
[۲] Horizontal Subsurface Constructed Wetland
[۳] Tezontle stone
[۴] Dissolved Oxygen

جدول ۲-۱ شاخص‌های دما و رطوبت برای شرایط محیطی و شاخص اسیدی برای فاضلاب در سیستم مرکب [۱۲]

شاخص		زمان ماند (نوع ۱) ۱۸ ساعت فیلتر ۲ روز تالاب	زمان ماند (نوع ۲) ۲۸ ساعت فیلتر ۳ روز تالاب	زمان ماند (نوع ۳) ۳۸ ساعت فیلتر ۴ روز تالاب
دما (^oC)		۲۳/۲ ± ۱/۹	۲۱/۷ ± ۱/۸	۲۴/۶ ± ۱/۴
رطوبت (%)		۴۹/۸ ± ۱۰/۵	۵۰/۳ ± ۹/۸	۴۲/۹ ± ۹/۴
pH	ورودی فیلتر	۷/۴ ± ۰/۲	۷/۱ ± ۰/۳	۷/۲ ± ۰/۲
	خروجی فیلتر	۶/۹ ± ۰/۲	۷/۱ ± ۰/۳	۶/۹ ± ۰/۲
	ورودی تالاب	۷/۲ ± ۰/۲	۷/۴ ± ۰/۲	۷/۲ ± ۰/۱
	خروجی تالاب	۷/۲ ± ۰/۳	۷/۴ ± ۰/۳	۷/۱ ± ۰/۱

در این پژوهش، دوره مطالعاتی ۶۶ هفته و زمان ماند هیدرولیکی مورد نظر برای فیلتر بی‌هوازی به ترتیب، ۱۸، ۲۸ و ۳۸ ساعت و برای تالاب ۲، ۳ و ۴ روز در نظر گرفته شده است. متوسط راندمان حذف برای کل سیستم تصفیه مرکب مطابق جدول (۲-۲)، حدود ۸۰٪ تا ۹۰٪ برای شاخص (BOD)، ۸۰٪ تا ۸۶٪ برای شاخص (COD)، ۳۰٪ تا ۳۳٪ برای نیتروژن کل و ۲۴٪ تا ۴۴٪ برای فسفر کل تعیین شده است.

جدول ۲-۲ راندمان حذف برای کل سیستم تصفیه مرکب شامل فیلتر بی‌هوازی و تالاب [۱۲]

شاخص	زمان ماند I ۱۸ ساعت در فیلتر ۲ روز در تالاب	زمان ماند II ۲۸ ساعت در فیلتر ۳ روز در تالاب	زمان ماند III ۳۸ ساعت در فیلتر ۴ روز در تالاب
BOD	٪۸۹/۵ ± ٪۴/۴	٪۷۹/۳ ± ٪۸/۷	٪۸۶/۱ ± ٪۳/۱
COD	٪۸۴/۲ ± ٪۴	٪۸۵/۶ ± ٪۳/۱	٪۸۱/۷ ± ٪۳/۹
TN	٪۳۲/۵ ± ٪۱۳/۲	٪۳۰ ± ٪۱۶/۸	٪۳۲/۹ ± ٪۱۷/۷
TP	٪۴۳/۸ ± ٪۱۲/۳	٪۲۴/۲ ± ٪۱۷/۷	٪۳۰/۲ ± ٪۱۶

بر اساس این مطالعه، بهترین راندمان حذف برای واحد فیلتر بی‌هوازی بصورت مجزا در زمان ماند ۱۸ ساعت به ترتیب، ۷۹/۸٪ برای (COD)، ۷۶/۱٪ برای (BOD)، ۲۳/۲٪ برای (TN)[۱]و ۳۵/۴٪ برای (TP)[۲]تعیین شده است. بر اساس این تحقیق، بیشترین کاهش مواد آلی در فیلتر بی‌هوازی و بیشترین کاهش نیتروژن در تالاب رخ می‌دهد. کاهش مساحت مورد نیاز برای ساخت تالاب در صورت بهره‌برداری از سیستم تصفیه مرکب شامل فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا و تالاب نکته دیگر این پژوهش بوده است [۱۲].

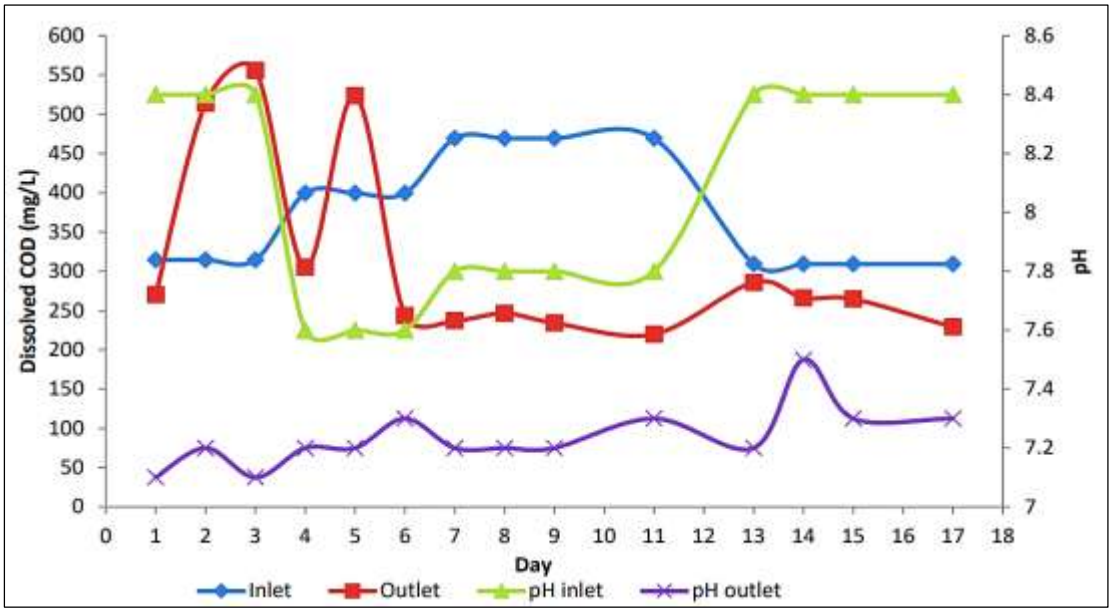
شاخص‌های مختلفی بر روی عملکرد بیولوژیکی فیلتر بی‌هوازی اثر دارند. ژائو و ژو[۳]در سال ۲۰۱۹، اثر دو طرفه دما و نسبت (COD:N) را بر روی عملکرد اجتماع میکروبی و زیست‌لایه در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا بررسی کردند [۱۳]. بر اساس این مطالعه، فیلتر مورد نظر راندمان حذف بالایی برای شاخص‌های (COD)، (NH_4)[۴]و (TN) کسب کرده است. متوسط درصد حذف (COD)، (NH_4) و (TN) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و مقدار ۱۰ برای نسبت (COD:N) به ترتیب، ۹۵/۸۳٪، ۹۹/۹۷٪ و ۷۴/۱۷٪ محاسبه شدند؛ درحالیکه، حذف این شاخص‌ها در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و مقدار ۵ برای نسبت (COD:N) به ترتیب، ۹۲٪/۱۴، ۹۹٪/۴۴ و ۶۴/۵۹٪ تعیین شدند. در این تحقیق، تاثیر مشخص دما و نسبت (COD:N) بر روی زیست‌توده و ضخامت زیست‌لایه بررسی شده است؛ بنابراین، بایستی این دو شاخص بر اساس فاضلاب ورودی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا مورد بررسی قرارگیرند [۱۳].

هاندایانی[۵]و همکاران در سال ۲۰۲۰، سیستم یکپارچه فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا (UABBF) را برای تصفیه فاضلاب ناشی از صنعت نساجی و رنگرزی مورد ارزیابی قراردادند [۱۴]. در این مطالعه، راندمان حذف شاخص (COD) توسط این سیستم بررسی شده است. بدلیل وجود رنگ آزو[۶]در تولید محصولات این صنعت و ممانعت آن از تجزیه بیولوژیکی (COD)، این شاخص با غلظت قابل توجه در فاضلاب مورد نظر یافت شده است. فرآیند تصفیه بی‌هوازی، ابتدا باعث شکست ساختار آروماتیک در رنگ آزو و در ادامه موجب حذف (COD) می‌شود. فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا مورد نظر، یک رآکتور بی‌هوازی شامل بافل و مدیا فیلتر جهت حذف آلاینده‌ها توسط مکانیسم رسوبی (فیزیکی) و بیولوژیکی (شیمیایی) است. بر اساس این تحقیق، جریان فاضلاب رو به بالا موجب افزایش تماس میان فاضلاب و زیست‌توده متشکل بر روی مدیا فیلتر و در ادامه افزایش تجزیه بی‌هوازی شده است. سیستم مورد نظر توسط ۵ بافل به ۶ محفظه ۴ مترمکعبی تقسیم شده است. غلظت شاخص (COD) در فاضلاب ورودی بین ۱۰۰۰ تا ۲۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و (pH) آن بالاتر از ۹ تعیین شده است. مطابق شکل (۹-۲)، غلظت شاخص (COD) پس

---

[۱] Total Nitrogen
[۲] Total Phosphorus
[۳] Zhou, Hexi & Xu, Guoren
[۴] Ammonium Nitrogen
[۵] Handayani, Novarina
[۶] Azo dyes

از عبور از تانک متعادل‌ساز با زمان ماند یک روز و رقیق شدن به محدوده ۳۰۰ تا ۴۶۹ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. جریان فاضلاب با عبور از متعادل‌ساز وارد سیستم (UABBF) شده و غلظت (COD) خروجی از این سیستم در ۶ روز اول، نوسان زیادی داشته و حتی در بعضی روزها بدلیل تجمع حاصل از ساختار دیر تجزیه‌پذیر و زنجیره آروماتیک[۱] رنگ آزو مورد استفاده در صنعت، بیشتر از غلظت ورودی شده است. پس از آن در روزهای ۶ تا ۱۷، غلظت (COD) خروجی با نوسان کمتری در محدوده ۲۲۰ تا ۲۸۰ میلی‌گرم در لیتر باقی مانده است. همچنین مطابق شکل (۹-۲)، (pH) ورودی در محدوده ۷/۶ تا ۸/۴ نوسان داشته است؛ درحالیکه، (pH) خروجی در محدوده ۷/۱ تا ۷/۵ تعیین شده است. این مطالعه، عملکرد سیستم مورد نظر در کاهش شاخص (pH) را مشخص کرده است؛ بطوریکه، کاهش (pH) را بعنوان شاخص اثرگذار بر روی تجزیه و کاهش شاخص (COD) نیز معرفی کرده است [۱۴].

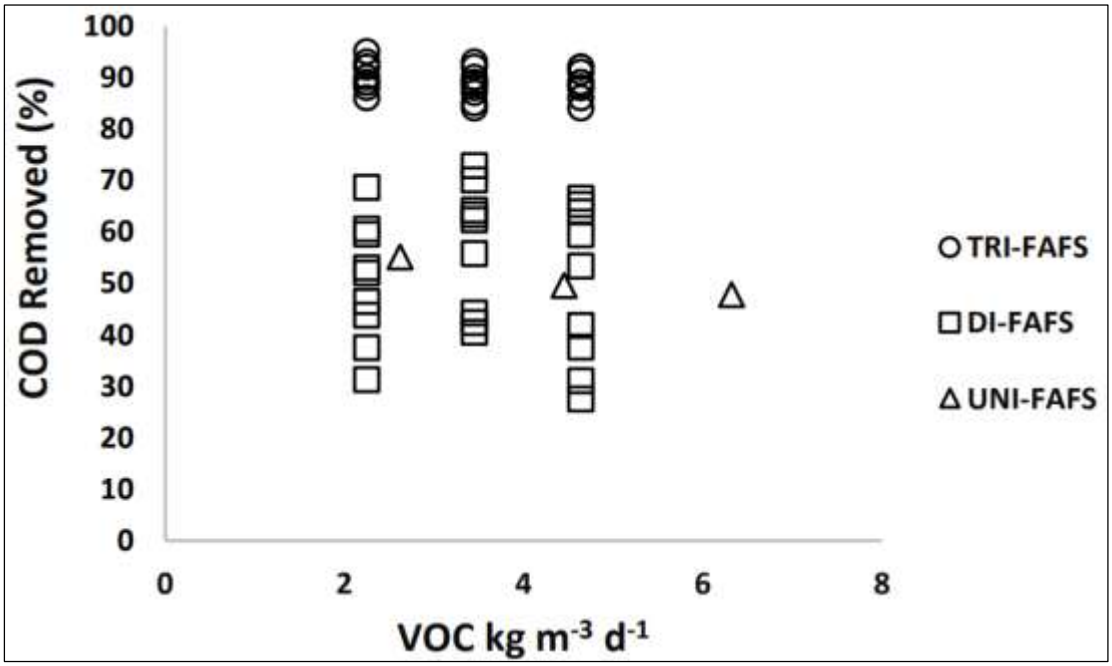


شکل ۲-۹ شاخص‌های ورودی و خروجی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا [۱۴]

[۱] Aromatic compounds

۲- ۴- ۱- نوع مدیا در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

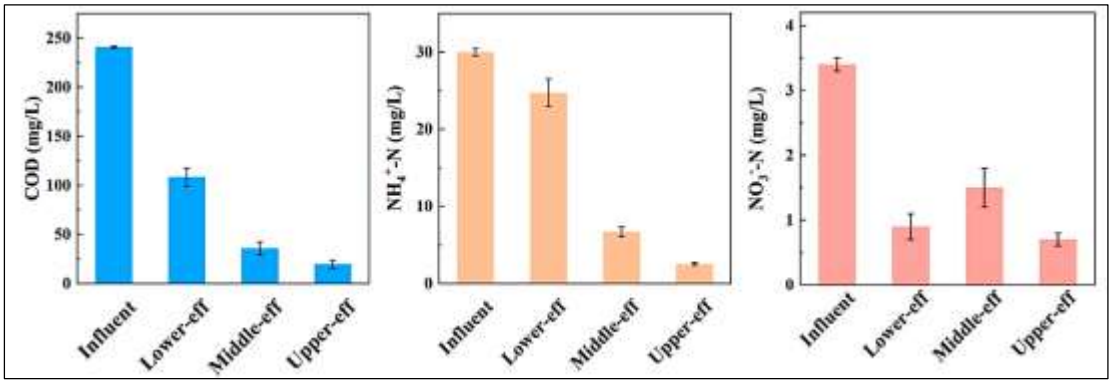
مالدونادو[۱] و همکاران در سال ۲۰۱۸، مطالعه خود را بر روی فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا (UABBF) با طراحی مدیا فیلتر بصورت یک، دو و سه لایه انجام دادند [۱۵]. در این پژوهش، راندمان حذف (COD) برای هر رآکتور در ۵۴ آزمایش بررسی شده است. مطابق شکل (۱۰-۲)، میزان حذف شاخص (COD) بر اساس تعداد لایه‌های مدیا فیلتر برای یک لایه فیلتر بین ۵۰٪ تا ۶۰٪، دو لایه بین ۳۰٪ تا ۸۰٪ و سه لایه بین ۸۰٪ تا ۹۵٪ تعیین شده است. بر اساس این تحقیق، تقسیم مدیا فیلتر به دو و یا سه لایه باعث افزایش راندمان حذف (COD) شده است. بطورکلی، این لایه‌بندی مدیا فیلتر بر روی عملکرد میکرواورگانیسم‌ها همراه با رشد زیست‌لایه و تجزیه بیشتر مواد آلی اثر می‌گذارد. لایه آخر در مدیا فیلتر چند لایه بعنوان هاضم عمل می‌کند. بر اساس این مطالعه، راندمان حذف (COD) برای شرایط مشخص مانند (۱) بار آلی حجمی (VOL)[۲] بین ۲/۲۵ تا ۴/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب در روز، (۲) حفظ دمای فاضلاب ورودی بین ۲۰ تا ۳۴ درجه سلسیوس، (۳) زمان ماند معادل با ۱۸ ساعت برای مدیا فیلتر دو لایه و ۱۶ ساعت برای سه لایه، (۴) بار سطحی هیدرولیکی معادل با ۱/۸۲ مترمکعب بر مترمربع در روز، (۵) عمق کل فیلتر برابر با ۱/۲ متر و (۶) فیلتری با سطح ویژه ۴۷۶/۳۵ مترمربع بر مترمکعب تعیین شده است [۱۵].



شکل ۲-۱۰ اثر لایه‌بندی فیلتر بر روی راندمان حذف در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۱۵]

[۱] Maldonado, J.I
[۲] Volumetric Organic Load

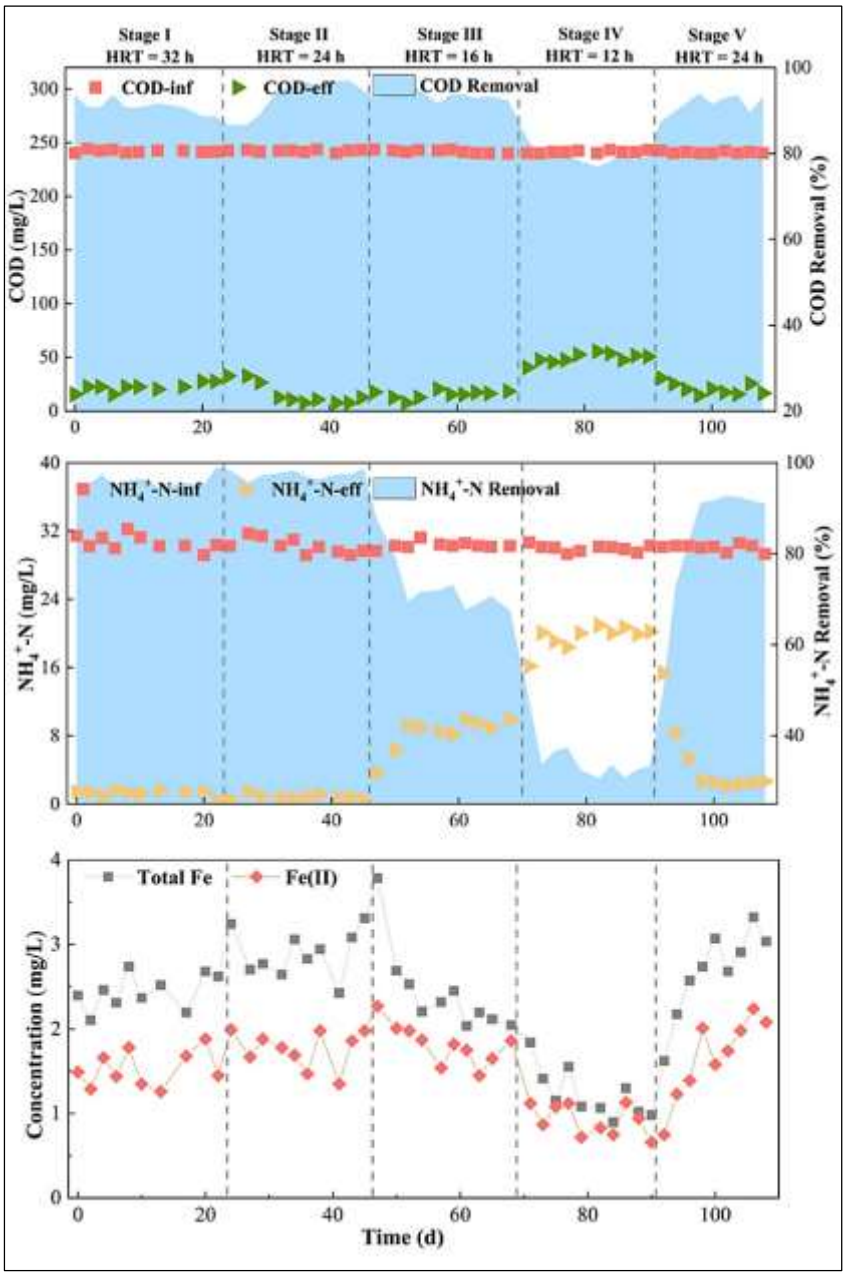
ما[1]و همکاران در سال ۲۰۲۲، حذف شاخص‌های (COD) و (NH_4)، بوسیله فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF) متشکل از سنگ آهن لیمونیت[2](دارای ساختار FeIII) و کوارتز[3]را مورد ارزیابی و مقایسه قراردادند [۱۶]. بر اساس این مطالعه، مدیا لیمونیت راندمان بالایی در حذف (COD) و (NH_4) با زمان ماند ۲۴ ساعت کسب کرده است. در این پژوهش، غلظت (COD) از ۲۴۰/۸ به ۷/۵ میلی‌گرم در لیتر و غلظت (NH_4) از ۳۰ به ۰/۳۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته است. برای آنالیز پتانسیل حذف نیتروژن در این مطالعه، ارتفاع فیلتر در رآکتور به ۳ لایه تقسیم شده است. مطابق شکل (۱۱-۲)، توسط مدیا لیمونیت بیش از ۵۵٪ شاخص (COD) از فاضلاب ورودی در لایه پایین (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) حذف شده است؛ درحالیکه، ۶۰/۲٪ شاخص (NH_4) در لایه میانی حذف شده است. محیط آنوکسیک با مقدار زیاد مواد آلی در لایه پایین برای دنیتریفیکاسیون مناسب بوده و در حدود ۷۳/۵٪ شاخص (NO_3)[4]را حذف کرده است. افزایش مقدار شاخص (NO_3) در لایه میانی به مقدار ۰/۲ ± ۱/۴ میلی‌گرم در لیتر نسبت به لایه پایین به مقدار ۰/۱ ± ۰/۹ میلی‌گرم در لیتر، معرف اکسیداسیون بی‌هوازی بالای شاخص (NH_4) همراه با کاهش (FeIII) در لایه میانی بدلیل واکنش فاماکس[5]ارزیابی شده است. بر اساس تحلیل بعمل آمده بر روی اجتماع میکروبی در مدیا لیمونیت، ساختار این تجمع در لایه میانی فیلتر (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) و لایه بالایی فیلتر (۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر) نسبتا به هم شبیه بوده، اما با لایه پایین متفاوت است. در لایه پایین، باکتری‌های هیتروتروف غالب بوده؛ درحالیکه، لایه‌های میانی و بالایی باکتری‌های مصرف‌کننده و اکسیدکننده آهن نیز احیا شدند [۱۶].



شکل ۲-۱۱ غلظت شاخص‌ها بر اساس لایه‌های مدیا در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۱۶]

[1] Ma, D
[2] Limonite
[3] Quartz
[4] Nitrate
[5] Feammox reaction

بر اساس این مطالعه مطابق شکل (۱۲-۲)، فیلتر مورد نظر در ۱۰۸ روز برای ۵ نوبت به ترتیب، (۱) صفر تا ۲۲ روز با زمان ماند ۳۲ ساعت، (۲) ۲۳ تا ۴۵ روز با زمان ماند ۲۴ ساعت، (۳) ۴۶ تا ۶۸ روز با زمان ماند ۱۶ ساعت، (۴) ۶۹ تا ۹۰ روز با زمان ماند ۱۲ ساعت و (۵) ۹۱ تا ۱۰۸ روز با زمان ماند ۲۴ ساعت، به ارزیابی حذف (COD) و (NH_4) پرداخته است [۱۶].



شکل ۲-۱۲ راندمان حذف و مقدار غلظت آهن در پساب خروجی بر اساس زمان ماند [۱۶]

زمان ماند پایین باعث کاهش مصرف مواد آلی و همچنین کاهش چرخه تبدیل (FeIII) به (FeII) توسط میکرواورگانیسم‌ها و در نتیجه کاهش راندمان حذف (COD) و (NH_4) توسط سیستم مجهز به مدیا فیلتر با ساختار لیمونیت ارزیابی شده است. حداکثر راندمان حذف در فیلتر تشکیل شده از لیمونیت برای (COD) و (NH_4) در زمان ماند ۲۴ ساعت به ترتیب، ۹۶/۹٪ و ۹۸/۹٪ تعیین شده است؛ درحالیکه، برای مدیا کوارتز به ترتیب، ۵۹/۶٪ و ۱۷/۳٪ محاسبه شده است. بر اساس مطالعه انجام شده، لیمونیت بعنوان مدیا در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا باعث افزایش تجزیه مواد آلی محلول در هضم بی‌هوازی شده است. یکی از دلایل اصلی اثرگذاری (FeIII)، ایجاد انتقال مستقیم الکترون بین گونه‌های میکرواورگانیسم و در نتیجه، افزایش ظرفیت انتقال الکترون در محیط می‌باشد [۱۶].

توسط تکنولوژی فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا (UABBF) بصورت تک لایه مدیا فیلتر مطابق جدول (۳-۲)، حذف جامدات معلق (TSS) و (BOD) در حالت معمول بین ۵۰٪ تا ۸۰٪ و در حالت بیشینه تا ۹۰٪ افزایش می‌یابد. اگرچه حذف نیتروژن در این فرآیند بصورت محدود و کم می‌باشد؛ بطوریکه، درصد حذف متوسط نیتروژن کل (TN) ۱۵٪ و در حالت بیشینه تا ۳۵٪ افزایش می‌یابد. کاهش کلیفرم کل (TC)[۱]نیز در این فرآیند در بازه‌ایی بین ۱ تا ۲ واحد لگاریتمی (Log CFU/ml)[۲]قرار می‌گیرد [۸]. در این سیستم، زمان ماند هیدرولیکی (HRT)[۳]در مقایسه با حجم مخزن بر اساس سیستم بی‌هوازی برای فرآیند ته‌نشینی باید در بازه‌ایی بین ۱/۵ تا ۲ روز برای آب سیاه و ۰/۷ تا ۱/۵ روز برای آب خاکستری در نظر گرفته شود. حداکثر نرخ بار سطحی[۴]نیز برای این سیستم در حدود ۲/۸ مترمکعب بر مترمربع در روز پیشنهاد شده است [۵، ۸].

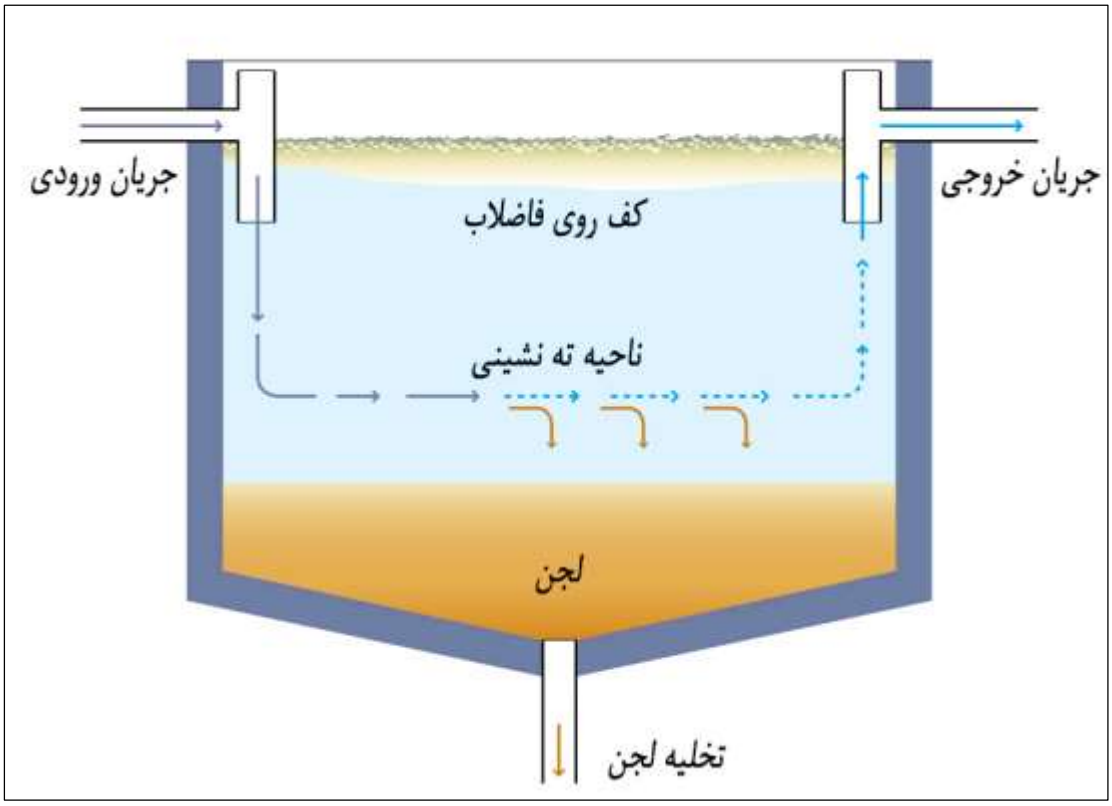
جدول ۲-۳ متوسط راندمان حذف در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۸]

شاخص	درصد حذف
BOD	٪۵۰ - ٪۸۰
TSS	٪۵۰ - ٪۸۰
TN	< ٪۱۵
TC	< Log ۱ – ۲

[۱] Total Coliform
[۲] Logarithm of colony forming unit per millilitre
[۳] Hydraulic Retention Time
[۴] Surface Loading Rate

۲- ۵- اصول طراحی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

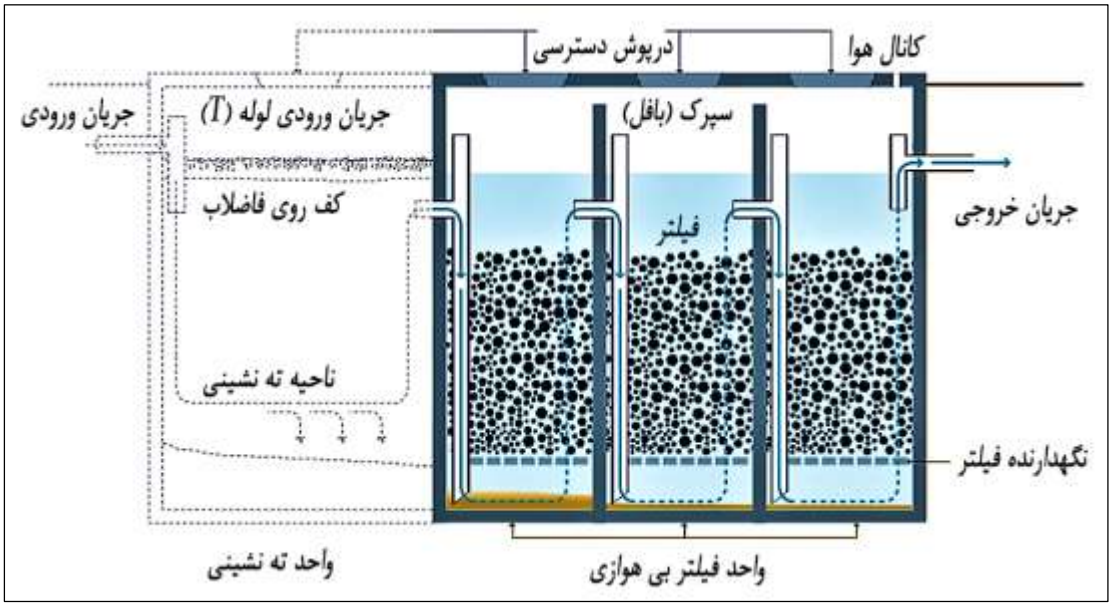
بطورکلی در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF)، واحد پیش‌تصفیه و تصفیه اولیه برای حذف جامدات معلق و ناخالصی‌ها که باعث گرفتگی در مدیا فیلتر می‌شوند، ضروری می‌باشد [۸]. اکثر جامدات قابل ته‌نشینی در واحد ته‌نشینی پیش از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا حذف می‌شوند. واحدهای کوچک دارای سازه یکپارچه همراه با ته‌نشینی می‌باشند؛ درحالیکه، واحدهای بزرگ دارای یک ته‌نشینی اولیه جداگانه با عملکرد مجزا مطابق شکل (۱۳-۲) می‌باشند.



شکل ۲-۱۳ تصویر شماتیک از واحد ته نشینی [۸]

طراحی فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا بدون واحد ته‌نشینی مطابق شکل (۱۴-۲)، مورد توجه تصفیه‌خانه‌های متمرکزی می‌باشد که از فیلتر بی‌هوازی همراه با تکنولوژی‌های دیگر مانند رآکتور بافل‌دار بی‌هوازی همراه با بستر لجن فعال تشکیل شده است. فیلتر بی‌هوازی بدلیل ریسک کمتر برای شستگی و خروج زیست‌توده‌ها از سیستم بصورت جریان رو به بالا طراحی می‌شود. سطح آب بایستی حداقل ۳۰ سانتی‌متر روی فیلتر را بپوشاند تا شکل‌گیری رژیم جریان یکنواخت را تضمین کند. زمان ماند هیدرولیکی، بعنوان مهم‌ترین شاخص طراحی که بر روی عملکرد فیلتر اثر مستقیم دارد؛ بطور متوسط بین ۱۲ تا ۳۶

ساعت پیشنهاد شده است. فیلتر مناسب بایستی دارای سطح ویژه نسبتا بالایی برای رشد باکتری باشد؛ در نتیجه، بدلیل تخلخل نسبتا بالای آن از گرفتگی فیلتر جلوگیری می‌شود. افزایش سطح ویژه تا اندازه مناسب، باعث اطمینان خاطر نسبت به افزایش سطح تماس میان مواد آلی و زیست‌توده چسبیده می‌شود که در نتیجه موجب بالا رفتن راندمان حذف می‌شود. در حالت بهینه، سطح ویژه فیلتر بین ۹۰ تا ۳۰۰ مترمربع در هر مترمکعب حجم رآکتور تعیین شده است. اندازه قطر دانه‌های فیلتر بطور معمول در محدوده ۱۲ تا ۵۵ میلی‌متر انتخاب شده و جنس آن‌ها نیز از میان (۱) شن، (۲) سنگ و یا آجر خرد شده، (۳) پوکه معدنی و (۴) قطعات مخصوص پلاستیکی، بسته به در دسترس بودن در نظر گرفته می‌شوند.



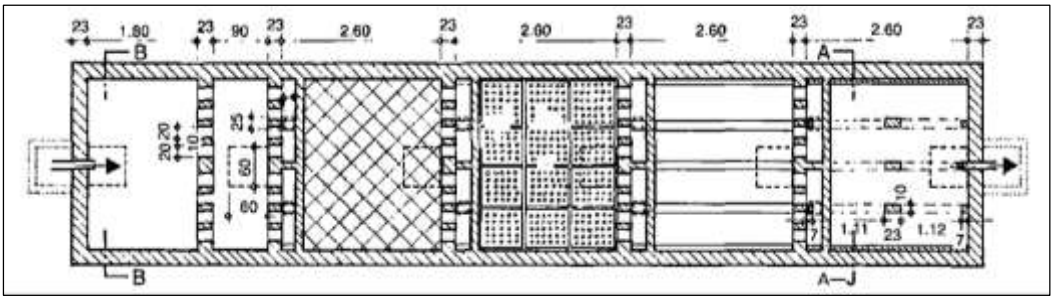
شکل ۲-۱۴ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا بدون واحد ته‌نشینی [۸]

اتصال بین محفظه‌ها توسط لوله‌های عمودی و یا بافل‌ها انجام می‌شود؛ همچنین، دسترسی به تمام محفظه‌ها برای تعمیر و نگهداری و یا نظارت توسط درپوش دسترسی ممکن است. تانک مورد نظر باید مجهز به کانال هوا برای کنترل و تخلیه گازهای قابل اشتعال و خطرناک مانند متان[۱] سولفید هیدروژن[۲]و بو باشد. این فیلتر بیشتر مواقع در زیر زمین ساخته می‌شود؛ بنابراین، در مقابل تغییرات شدید جوی و رخدادهای پیش‌بینی نشده محافظت می‌شود. دانه‌های فیلتر بیشتر مواقع توسط شست و شوی معکوس[۳]تمیز شده و نیازی به خارج کردن آن‌ها نمی‌باشد [۸].

[۱] Methane
[۲] Hydrogen Sulfide
[۳] Backwash

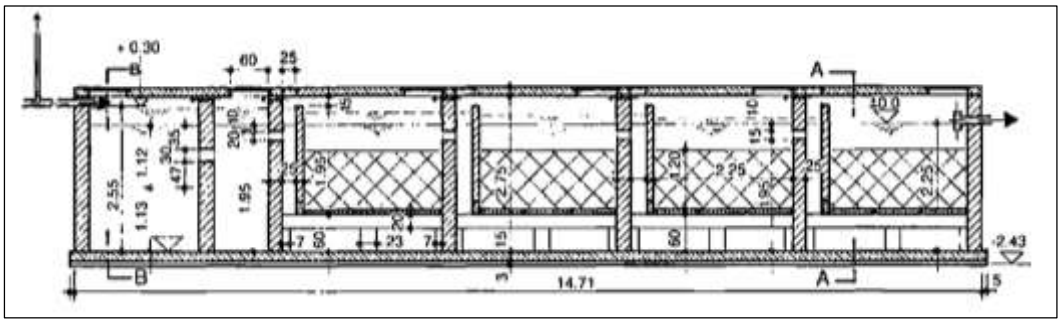
۲- ۵- ۱- ضوابط طراحی در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

جریان رو به بالا در فیلتر، احتمال شسته شدن باکتری‌های فعال را نسبت به جریان رو به پایین کاهش کاهش می‌دهد [۹]. از طرف دیگر، شست و شوی فیلتر در جریان رو به پایین راحت‌تر می‌باشد؛ در نتیجه، ترکیب سیستم جریان رو به بالا و جریان رو به پایین نیز امکان‌پذیر است. سرعت عمودی جریان بین ۰/۶۶ تا ۶/۸ متر بر ساعت پیشنهاد شده است. یک معیار مهم طراحی در این فیلتر، توزیع یکنواخت فاضلاب بر روی ناحیه فیلتر می‌باشد؛ بنابراین مطابق شکل (۱۵-۲)، ایجاد یک فضای کافی در ابتدا و همچنین در انتهای سیستم، توزیع یکنواخت فاضلاب بر روی فیلتر را ممکن می‌سازد. طول فیلتر در هر محفظه، نباید از عمق فاضلاب در آن محفظه بیشتر باشد. یکی از دلایل آن کنترل سرعت جریان در هر محفظه می‌باشد [۹].



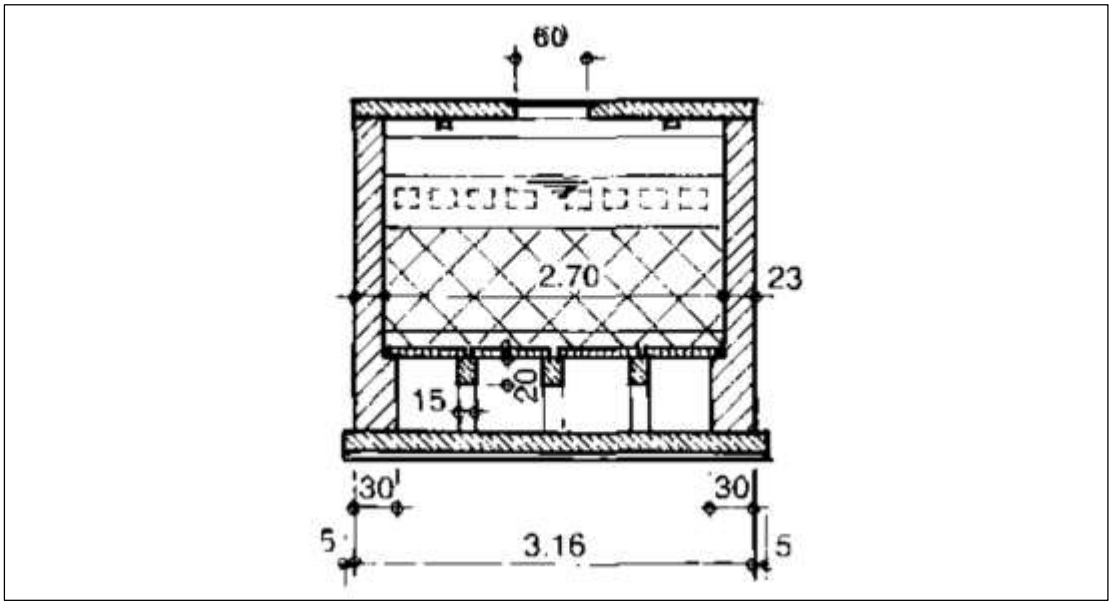
شکل ۲-۱۵ پلان از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۹]

حداقل عمق مناسب برای فیلتر بین ۰/۸ تا ۱/۲ متر، متشکل از ۲ یا ۳ لایه می‌باشد. دانه‌های بزرگ مانند سنگدانه یا پوکه معدنی با اندازه قطر ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در پایین و دانه‌هایی با ابعاد ۱ تا ۵ سانتی‌متری در بالاترین لایه فیلتر بر روی دال بتنی مشبک (نگهدارنده فیلتر) قرار می‌گیرند. دال بتنی مشبک، علاوه بر نگهداری فیلتر بر روی خود، وظیفه ایجاد فاصله مناسب از کف برای عبور فاضلاب به صورت جریان رو به بالا از میان فیلتر را بر عهده دارد. مطابق شکل (۱۶-۲)، همانطور که در مقطع طولی مشخص شده است؛ این دال در فاصله حداقل ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از کف بر روی تیرها به موازات جهت جریان اجرا می‌شود.



شکل ۲-۱۶ مقطع طولی از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۹]

درپوش دسترسی مطابق شکل (۱۷-۲)، در هر محفظه به عرض حداقل ۶۰ سانتی‌متر، در نقطه‌ایی که امکان دسترسی به پمپ و نظارت کامل بر هر محفظه را تامین کند، قرار می‌گیرد. تعداد و جانمایی درپوش دسترسی در هر محفظه به ابعاد آن بستگی دارد [۹].



شکل ۲-۱۷ مقطع عرضی از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی بافل‌دار جریان رو به بالا [۹]

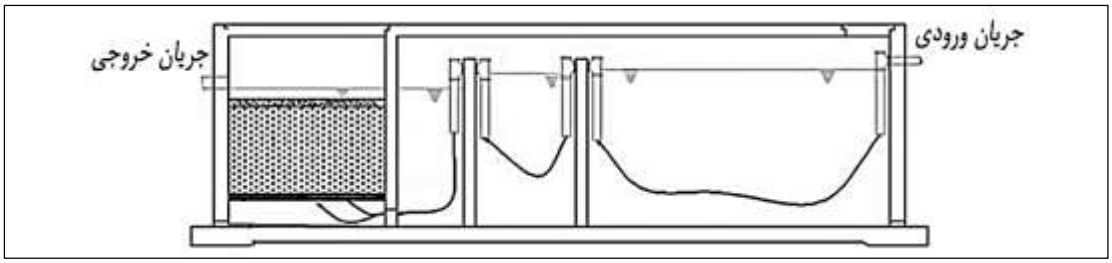
لوله‌هایی با قطر حداقل ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر و یا شفت‌هایی در عرض با قطر حداقل ۱۰ سانتی‌متر، غوطه‌ور در کف هر محفظه برای تخلیه لجن به کمک پمپ‌هایی مستقر در بالای تانک قرارداده می‌شوند. افت هد مجاز در این سیستم بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. حد مجاز بار آلی حجمی[۱] برای این سیستم در محدوده ۴ تا ۵ کیلوگرم (COD) بر مترمکعب در روز می‌باشد. برای فاضلاب خانگی، حجم ناخالص فیلتر[۲] (دانه‌های فیلتر و حفره‌ها) ۰/۵ مترمکعب به ازائ هر فرد در نظر گرفته می‌شود [۹].

[۱] Organic Loading Rate
[۲] Gross digester volume

۲- ۶- انواع دیگر فیلترهای بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا

۲- ۶- ۱- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با مخزن سپتیک

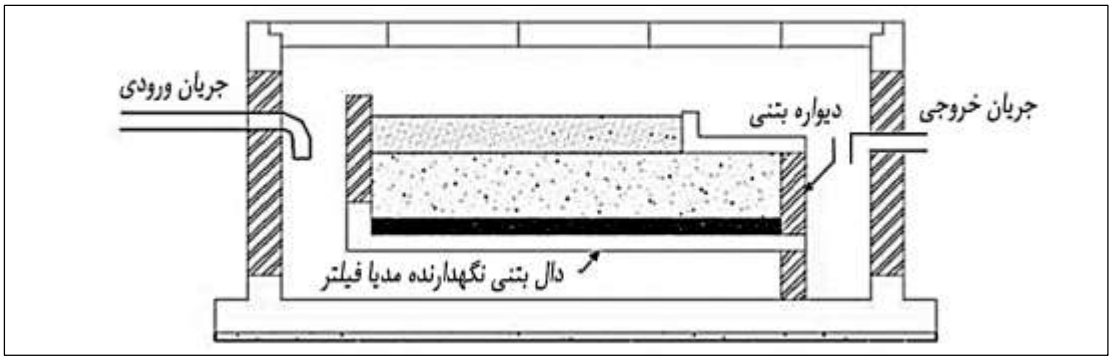
در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با مخزن سپتیک مطابق شکل (۱۸-۲)، جریان فاضلاب ورودی پس از عبور از مخزن سپتیک و ته‌نشینی از پایین وارد فیلتر می‌شود [۱۷]. جریان فاضلاب از میان دانه‌های فیلتر عبور کرده و از سرریز بالای مخزن تخلیه می‌شود. باکتری‌های رشد یافته بر روی مدیا فیلتر، عملیات اکسیداسیون را انجام می‌دهند. این سیستم باعث کاهش شاخص (BOD) تا حدود ۷۰٪، کاهش کدورت، کاهش بوی پساب تصفیه شده و تغییر رنگ فاضلاب از خاکستری به زرد می‌شود [۱۷].



شکل ۲-۱۸ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با مخزن سپتیک [۱۷]

۲- ۶- ۲- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با بستر ثابت

فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با بستر ثابت مطابق شکل (۱۹-۲)، مناسب تصفیه فاضلاب صنعتی و خانگی همراه با واحد پیش‌تصفیه می‌باشد [۱۷]. بهترین عملکرد این سیستم هنگامی رخ می دهد که مقدار جامدات معلق کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. این فیلتر با ایجاد تماس نزدیک میان جامدات محلول و غیرقابل ته‌نشینی با باکتری‌های فعال فرآیند تصفیه را انجام می‌دهد. باکتری‌های شکل گرفته در میان دانه‌های مدیا فیلتر، مواد آلی محلول را در زمان ماند کوتاه هضم می‌کنند. راندمان حذف شاخص (BOD) در این سیستم بین ۷۰٪ تا ۹۰٪ می‌باشد [۱۷].



شکل ۲-۱۹ تصویر شماتیک از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا همراه با بستر ثابت [۱۷]

۲- ۷- شرایط و هماهنگی متناسب با فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF)، بدلیل انعطاف در طراحی به راحتی با محیط منطبق شده و در شرایطی که محدودیت فضا وجود دارد نیز امکان بهره‌برداری از آن می‌باشد [۸]. مناسب‌ترین وضعیت برای استفاده از این فیلتر، شرایطی است که مقدار نسبتا ثابتی از آب خاکستری و یا آب سیاه تولید شود؛ بنابراین، علاوه بر فاضلاب خانگی، فاضلاب صنعتی با دامنه تغییرات کم برای آن مناسب است. امکان دسترسی مناسب برای کامیون تخلیه لجن، جهت پاکسازی مناسب و کامل تانک اهمیت بالایی دارد. این سیستم در هر نوع آب و هوا قابلیت بهره‌برداری دارد؛ هرچند راندمان عملکرد آن در اقلیم سرد کاهش می‌یابد. راندمان حذف مغذی‌ها[۱] و پاتوژن‌ها[۲] در این فیلتر پایین می‌باشد؛ اگرچه، حذف کامل تخم انگل بسته به نوع فیلتر امکان‌پذیر است [۸].

۲- ۸- جنبه‌های سلامت و بهداشت در فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

پساب تصفیه شده و همچنین لجن ناشی از فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF)، به این دلیل که حاوی سطح بالایی از پاتوژن‌ها و میکرواورگانیسم‌ها می‌باشند؛ بایستی تحت مراقبت بالایی مدیریت شوند. مکان‌یابی واحد تصفیه بخاطر بو و گازهای منتشر شده توسط فاضلاب و پساب تصفیه شده بایستی درست انجام شود تا علاوه بر دسترسی مناسب، مشکلی برای منطقه و ساکنین آن ایجاد نکند [۸].

۲- ۹- بهره‌برداری و نگهداری از فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF)، به یک دوره راه‌اندازی[۳] ۶ تا ۹ ماهه برای رسیدن به ظرفیت نهایی تصفیه زمان نیاز دارد [۸]. در این بازه زمانی، ابتدا زیست‌توده بی‌هوازی به آرامی رشد کرده و روی سطح مدیا فیلتر تثبیت می‌شود. از آنجایی که فرآیند تصفیه به توده باکتری‌های فعال بستگی دارد، باید لجن فعال مناسب و در حال رشد از میان چند رآکتور فعال دیگر برداشت و پیش از شروع بهره‌برداری و آغاز عملیات بر روی فیلتر در حال راه‌اندازی پاشیده شود. این کار باعث کاهش زمان راه‌اندازی اولیه نیز می‌شود. در صورت امکان، فعالیت سیستم با یک چهارم دبی متوسط روزانه شروع و افزایش آن به آرامی در ۳ ماه انجام شود. جریان باید بصورت تدریجی در طول زمان افزایش یابد، به این دلیل که رفتار محیط زنده، حساس و آسیب‌پذیر می‌باشد؛ در نتیجه، از تخلیه مواد شیمیایی و سموم خطرناک به محیط نیز باید جلوگیری شود. برای اطمینان از عملکرد سیستم، باید سطح لجن و کف روی فاضلاب بطور دائم کنترل شود.

---

[۱] Nutrients
[۲] Pathogens
[۳] Start up

با گذشت زمان، حفره‌های میان فیلتر پس از رشد باکتری و افزایش حجم آن گرفته شده و راندمان عملکرد آن کاهش می‌یابد. برای رفع این مشکل، سیستم را بصورت شست و شوی معکوس راه‌اندازی کرده و در مواردی که گرفتگی شدید باشد، مدیا فیلتر را خارج کرده و شست و شو در بیرون انجام می‌شود [۸].

۲- ۱۰- مزایا و معایب فیلتر بی‌هوازی جریان رو به بالا

مزایای فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF) به شرح زیر معرفی شده‌اند [۸]:

- تولید کم لجن در طول فرآیند تصفیه بیولوژیکی
- طول عمر بالای خدمات و کاهش زمان تعمیرات اساسی[۱]
- هزینه پایین بهره‌برداری
- عدم نیاز به انرژی الکتریکی
- عدم نیاز به فضای زیاد و امکان ساخت در زمین محدود
- راندمان بالای حذف برای شاخص‌های (BOD) و (TSS)
- افزایش زمان و سطح تماس میان باکتری و مواد آلی
- احتمال کمتر شسته شدن باکتری‌های فعال طی فرآیند تصفیه

معایب فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی جریان رو به بالا (UABF) به شرح زیر معرفی شده‌اند [۸]:

- دشواری و نیاز به زمان زیاد جهت خارج کردن مدیا فیلتر و تمیز کردن آن
- نیاز به طراحی و ساخت سیستم بصورت تخصصی
- راندمان پایین حذف برای پاتوژن‌ها و مغذی‌ها
- شست و شوی دشوارتر فیلتر نسبت به جریان رو به پایین
- امکان گرفتگی، بسته به شرایط پیش‌تصفیه و تصفیه اولیه در کاهش جامدات اولیه
- نیاز به تصفیه بیشتر و یا تخلیه مناسب برای پساب و لجن خروجی از سیستم
- زمان راه‌اندازی اولیه طولانی (۶ تا ۹ ماه)

[۱] Overhall

۲- ۱۱- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل شده از این فصل، نتیجه‌گیری بدست آمده از این مطالعه به شرح زیر است:

- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی (بافل‌دار) جریان رو به بالا (UAB(B)F) برای فاضلاب ورودی، یک محیط مناسب حاوی انواع میکرواورگانیسم‌های مختلف همراه با سن بالای لجن را تشکیل می‌دهد؛ بنابراین، بار آلودگی جریان ورودی باید مورد توجه قرارگیرد.

- فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی (بافل‌دار) جریان رو به بالا (UAB(B)F) برای تصفیه فاضلاب ناشی از مصارف خانگی و صنعتی با نوسان آلودگی کم مناسب می‌باشد. در این فیلتر، علاوه بر طراحی مناسب سازه، دیگر المان‌های تشکیل دهنده مانند مدیا فیلتر نقش مهمی در راندمان عملکرد آن دارند. عمق، تعداد لایه‌های مدیا، جنس و سایز دانه‌های مدیا بر روی راندمان حذف آلاینده‌های ورودی اثرگذار می‌باشند؛ در نتیجه، سعی در استفاده از دانه‌هایی با اندازه و جنس مناسب پیشنهاد می‌شود.

- زمان ماند هیدرولیکی، شاخص مهم در عملکرد مناسب فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی (بافل‌دار) جریان رو به بالا (UAB(B)F) می‌باشد. افزایش زمان ماند تا رسیدن به زمان بهینه جهت افزایش حذف آلاینده‌ها و کاهش هزینه ساخت و بهره‌برداری مهم می‌باشد.

- یکی از راهکارهای مهم برای افزایش راندمان در فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی (بافل‌دار) جریان رو به بالا (UAB(B)F)، ایجاد یک واحد ته‌نشینی پیش از فیلتر بی‌هوازی جهت حذف جامدات معلق می‌باشد؛ علاوه بر این، امکان گرفتگی و نیاز به شست‌شوی معکوس فیلتر نیز با این روش کاهش می‌یابد.

- بطورکلی فیلتر بی‌هوازی بیولوژیکی (بافل‌دار) جریان رو به بالا (UAB(B)F)، یک سیستم تصفیه غیرمتمرکز است که علاوه بر واحدهای پیش‌تصفیه، نیاز به تصفیه و مدیریت کامل دفع لجن دارد.

منابع

References

[1]. Sperling, M.v., and de Lemos Chernicharo, C.A.: 'Biological wastewater treatment in warm climate regions', IWA, 2005.

[2]. Metcalf, L., Eddy, H.P., and Tchobanoglous, G.: 'Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse', McGraw-Hill New York, 1991.

[3]. Goli A, Shamiri A, Khosroyar S, Talaiekhozani A, Sanaye R, Azizi K.: 'A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater', Journal of Environmental Treatment Techniques, 2019, 7, (1), pp. 113-141.

[4]. Kaetzl, K., Lübken, M., Gehring, T., and Wichern, M.: 'Efficient low-cost anaerobic treatment of wastewater using biochar and woodchip filters', Water, 2018, 10, (7), pp. 818.

[5]. Morel, A., and Diener, S.: 'Greywater management in low and middle income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods Sandec', 2006.

[6]. Tilche, A., and Vieira, S.: 'Discussion report on reactor design of anaerobic filters and sludge bed reactors', Water Science and Technology, 1991, 24, (8), pp. 193.

[7]. Adegoke, A., and Stenström, T.: 'Septic Systems', 2019.

[8]. Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., and Zurbrügg, C.: 'Compendium of Sanitation Systems and Technologies', 2014.

[9]. Sasse, L.: 'Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries', 1998.

[10]. Singh ,R.L., Singh, R.P., Gupta, R., and Singh, R.: 'Advances in biological treatment of industrial waste water and their recycling for a sustainable future', Springer, 2019.

[11]. Young, J.C., and Dahab, M.F.: 'Effect of media design on the performance of fixed-bed anaerobic reactors', Water Science and Technology, 1983, 15, (8-9), pp. 369-383.

[12]. Merino-Solís, M.L., Villegas, E., De Anda, J., and López-López, A.: 'The effect of the hydraulic retention time on the performance of an ecological wastewater treatment system: an anaerobic filter with a constructed wetland', Water, 2015, 7, (3), pp. 1149-1163.

[13]. Zhou, H., and Xu, G.: 'Integrated effects of temperature and COD/N on an up-flow anaerobic filter-biological aerated filter: Performance, biofilm characteristics and microbial community', Bioresource technology, 2019, 293, pp. 122004.

[14]. Handayani, N.I., Yuliasni, R., Setianingsih, N.I., and Budiarto, A.: 'Full scale application of integrated upflow anaerobic filter (UAF)-constructed wetland (cws) in small scale batik industry wastewater treatment', Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri, 2020, 11, (1), pp. 27-35.

[15]. Maldonado-Maldonado, J.I., Márquez-Romance, A.M., Guevara-Pérez, E., Pérez, S., and Rey-Lago, D.: 'Model development for the design of an anaerobic upflow filter separated in two and three phases', Dyna, 2018, 85, (207), pp. 44-53.

[16]. Ma, D., Wang, J., Li, H., Che, J., and Yue, Z.: 'Simultaneous removal of COD and NH4+-N from domestic sewage by a single-stage up-flow anaerobic biological filter based on Feammox', Environmental Pollution, 2022, 314, pp. 120213.

[17]. UNEP, A.: 'Directory of Environmentally Sound Technologies for the Integrated Management of Solid, Liquid and Hazardous Waste for Small Island Developing States (SIDS) in the Pacific Region', International Waters Learning Exchange & Resource Network Report, 2021.

[18]. Technologien, N., and Wirtschaftsberatung, B.-u.: 'Anaerobic treatment of municipal wastewater in UASB-reactors', TBW GmbH: Frankfurt, Germany, 2001.

[19]. Gomiero, F.Z., Knopik, M.A., Velho, J.C.M., Gonçalves, J.E., and Velho, L.F.M.: 'Evaluation of the recirculation process of aerobic sludge from a percolating biological filter in an upflow anaerobic sludge blanket digestion reactor, with characterization of sludge solids', Desalination and Water Treatment, 2021, 233, pp. 52-61.

[20]. Saghir, A., and Hajjar, S.: 'Biological Treatment of Slaughterhouse Wastewater using Up flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)-anoxic-aerobic system ,'Scientific African, 2022, pp. e01236.

[21]. Azimi, A., and Zamanzadeh, M.: 'Determination of design criteria for UASB reactors as a wastewater pretreatment system in tropical small communities', International Journal of Environmental Science & Technology, 2004, 1, (1), pp. 51-57.

[22]. HYDROUSA: 'Water in the context of circular economy', 2018.

[23]. Bodik, I., Herdova, B., and Drtil, M.: 'Anaerobic treatment of the municipal wastewater under psychrophilic conditions', Bioprocess Engineering, 2000, 22, (5), pp. 385-390.

[24]. Ayati, B., and Ganjidoust, H.: 'Comparing the efficiency of UAFF and UASB with hybrid reactor in treating wood fiber wastewater', 2006.

[25]. Rose, G.D.: 'Community-based technologies for domestic wastewater treatment and reuse: options for urban agriculture', Cities feeding people series; rept. 27, 1999.

[26]. Weiland, P., and Rozzi, A.: ‘The start-up, operation and monitoring of high-rate anaerobic treatment systems: discusser's report’, Water Science and Technology, 1991, 24, (8), pp. 257-277.

[27]. Bull, M., Sterritt, R., and Lester, J.: ‘An evaluation of four start-up regimes for anaerobic fluidized bed reactors’, Biotechnology Letters, 1983, 5, (5), pp. 333-338.

[28]. Puñal, A., Trevisan, M., Rozzi, A., and Lema, J.M.: ‘Influence of C:N ratio on the start-up of up-flow anaerobic filter reactors’, Water Research, 2000, 34, (9), pp. 2614-2619.

[29]. Van Lier, J.B., Mahmoud, N., and Zeeman, G.: ‘Anaerobic wastewater treatment’, Biological wastewater treatment: principles, modelling and design, 2008, pp. 415-456.