

مروری بر طراحی، ساخت و عملکرد استخرهای تثبیت فاضلاب

محمد روئینا، جلال شایگان*

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

پیام نگار: shayegan@sharif.edu

چکیده

در گذشته استخرهای تثبیت فاضلاب به دلیل عملکرد مناسب، بهره‌برداری آسان و صرفه اقتصادی به عنوان اولین انتخاب برای تصفیه فاضلاب جوامع کوچک و بزرگ مورد نظر بوده است. اما امروزه به دلیل تغییر در کیفیت فاضلاب‌ها و افزایش مواد آلاینده سمی در آنها، تصویب قوانین سخت گیرانه زیست محیطی و نیاز به استفاده از پساب این استخرها، ایجاد نوآوری و اصلاحات برای بهبود عملکرد این استخرها را ضروری ساخته است. هدف از ارتقاء تصفیه خانه‌های موجود و طراحی استخرهای پیشرفته، حفظ مزایای استخرهای تثبیت فعلی همچون سادگی ساخت، نگهداری و بهره‌برداری و نیاز کم به تجهیزات الکترومکانیکی و نیروهای متخصص و کاهش معایب آنها از جمله کاهش جامدات معلق خروجی و نیاز کمتر به زمین و کاهش بو می‌باشد. این مقاله به بررسی عیوب عمده استخرهای تثبیت متعارف می‌پردازد و روشهای بهبود وضعیت و استفاده از فناوری‌های نوین را معرفی می‌نماید.

کلمات کلیدی: استخرهای تثبیت فاضلاب، ارتقاء عملکرد، بهبود کیفیت

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت، صنعتی شدن و گسترش زندگی ماشینی در جوامع، مسئله آلودگی محیط زیست روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. امروزه شاهد هستیم که انواع زیادی از آلاینده‌ها، به صورت روزافزونی، محیط زیست انسان‌ها و حیوانات را ناسالم و زندگی آنها را در معرض خطرات جدی قرار می‌دهند. فاضلاب‌ها یکی از عوامل مهم آلاینده محیط زیست به شمار می‌آیند که باید برای جمع‌آوری و تصفیه آنها، شیوه مناسبی را در پیش گرفت. [۱]

بخش عمده‌ای از فاضلاب‌ها، توسط جوامع شهری و روستایی تولید می‌شود. فاضلاب‌های شهری مخلوطی از آب مصرفی منازل، مراکز عمومی و اداری می‌باشد که حدود ۹۹/۹ درصد آن را آب و بقیه را جامدات، ناخالصی‌ها و مواد آلوده کننده تشکیل می‌دهند. مقدار تولید فاضلاب در جوامع مختلف متفاوت بوده و میزان آن بین

۱۰۰ تا ۴۰۰ لیتر به ازای هر نفر در روز می‌باشد. امروزه بسیاری از جوامع شهری و روستایی در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه، فاقد سیستم‌های اصولی تصفیه فاضلاب می‌باشند. برای جلوگیری از آلودگی منابع آب و خاک، فاضلاب‌های تولید شده در این جوامع نباید بدون تصفیه در محیط رها شده و یا در مصارف کشاورزی و آبیاری استفاده شود. علاوه بر این در مناطق کم آب، فاضلاب تصفیه شده می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند آب برای مصارف مختلف کشاورزی و آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. امروزه فرایندهای مختلف زیستی جهت تصفیه فاضلاب وجود دارد. متداول ترین آنها سیستم لجن فعال^۱ است که علیرغم داشتن مزایای زیاد، به دلیل نیاز به تجهیزات مکانیکی و الکترونیکی پیشرفته، هزینه‌های اقتصادی و مصرف انرژی بالا، برای استفاده در جوامع متوسط و

1. Activated Sludge Wastewater Treatment

۲-۱ استخرهای بی هوازی

این استخرها برای تصفیه فاضلاب‌های دارای بار آلی بالا مانند فاضلاب‌های صنعتی از جمله صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این استخرها در سراسر عمق استخر به جز نواحی سطحی، شرایط بی هوازی حاکم بوده و ریزاندام‌ها در غیاب اکسیژن فعالیت می‌کنند. در این استخرها اکسیژن آزاد مولکولی محلول وجود ندارد و باکتری‌های بی هوازی، اکسیژن مورد نیاز خود را از مواد آلی و مواد غیر آلی فاضلاب کسب می‌کنند. این باکتری‌ها طی فرایندهای تولید اسید و تخمیر متان، مواد آلی را به CO_2 ، CH_4 ، H_2S و سایر محصولات شامل اسیدهای آلی و بافت‌های سلولی تبدیل می‌کنند. گازهای تولید شده در این فرایندها از طریق سطح مایع به فضا متصاعد می‌شوند. مواد جامد در کف استخر ته نشین می‌گردند و در این محل بصورت بی‌هوازی هضم می‌شوند. همچنین در این استخرها به مقدار زیادی حذف پاتوژن‌ها^۵ صورت می‌گیرد و تخم انگل‌ها نیز ته‌نشین می‌شود. مواد سبک همچون روغن، چربی، کرک و کف نیز بر روی سطح فاضلاب تجمع یافته و تشکیل لایه کف^۶ می‌دهند. در واقع می‌توان گفت که عملکرد این استخرها بیشتر شبیه به مخزن‌های سپتیک می‌باشد. تصفیه رضایت بخش در استخرهای بی هوازی بستگی به رفتار متقابل باکتری‌های مولد اسید و باکتری‌های مولد گاز متان دارد. بنابراین لازم است که دمای استخر بیشتر از ۱۵ درجه سلسیوس و pH آن بیشتر از ۶/۵ باشد. تحت چنین شرایطی تولید و تجمع لجن به حداقل خود خواهد رسید به گونه‌ای که ممکن است تولید لجن تنها به ۴۰ لیتر به ازای هر نفر در سال برسد. تخلیه لجن هنگامی صورت می‌گیرد که نصف ظرفیت (حجم مفید) استخر از لجن پر شده باشد. استقبال از این استخرها در گذشته به علت بوی نامطبوع کم بوده ولی در حال حاضر رابطه بین تولید بو و بار آلی با دلایل کافی و روشن به خوبی درک شده است. بنابراین رفع این مشکل معمولاً با یک طراحی صحیح امکان پذیر می‌باشد. پساب خروجی از این استخرها اغلب ۶۰-۴۰ درصد نسبت به فاضلاب خام ورودی کاهش غلظت آلودگی خواهد داشت. معمولاً برای کاهش زمین مورد نیاز و همچنین کاهش بار آلی فاضلاب‌های غلیظ مانند فاضلاب صنایع غذایی و کشتارگاه‌ها، استخرهای بی هوازی قبل از استخرهای دوگانه‌زی،

کوچک مقرون به صرفه نیست. در مقابل این روش‌ها، فرایندهای ارزان قیمت‌تری نیز وجود دارند که جزو فرایندهای تصفیه طبیعی به شمار می‌آیند. نمونه‌ای از این فرایندها، استخرهای تثبیت فاضلاب^۱ می‌باشد [۲].

۲-۲ استخرهای تثبیت فاضلاب

استخرهای تثبیت از جمله ساده‌ترین سیستم‌های تصفیه فاضلاب به شمار می‌آیند که در جوامع کوچک و بزرگ به عنوان گونه‌ای اقتصادی و مقرون به صرفه مورد استفاده قرار می‌گیرند. [۳] تاریخچه استفاده از استخرها برای تصفیه فاضلاب به حدود ۳۰۰۰ سال پیش برمی‌گردد. اولین استخر تثبیت فاضلاب در سال ۱۹۰۱ در تکزاس آمریکا ساخته شد. مزایای قابل توجه این فرایند از قبیل طراحی، ساخت و بهره‌برداری آسان، نیاز اندک به تعمیرات، مصرف انرژی پایین، امکان ارتقای ساده و بازدهی اقتصادی مناسب موجب شده است که استخرهای تثبیت فاضلاب در بسیاری از نقاط جهان برای جمعیت‌های کوچک چند صد نفری تا چند هزار نفری مورد استفاده قرار گیرد. در کشورهای صنعتی نیز علیرغم وجود فناوری‌های نو و پیشرفته، سهم موثری به استخرهای تثبیت فاضلاب واگذار گردیده است به گونه‌ای که امروزه ۸۰۰۰ استخر تثبیت فاضلاب در نقاط مختلف ایالات متحده آمریکا وجود دارد که حدود ۵۰٪ از تاسیسات تصفیه فاضلاب این کشور را تشکیل می‌دهد [۴و۵و۶].

استخرهای تثبیت فاضلاب، در ساده ترین شکل خود حوضچه‌های خاکی و با ابعاد مختلف هستند که فاضلاب خانگی و دیگر فاضلاب‌ها برای مدت طولانی در آنها نگهداری شده و بوسیله روش‌های کاملاً طبیعی مانند ته‌نشینی و رشد جلبک‌ها و باکتری‌ها، مواد آلی موجود در فاضلاب تجزیه و تثبیت می‌شود. در این واحدها عمل ته‌نشینی و تثبیت هر دو با هم انجام می‌شود. این استخرها به طور کلی بر اساس ماهیت واکنش‌های زیستی درون آن‌ها به سه دسته استخرهای بی‌هوازی^۱، استخرهای دوگانه‌زی^۲ و استخرهای هوازی^۳ تقسیم بندی می‌شوند. معمولاً استخرهای قدیمی شامل یک استخر بی‌هوازی بوده که قبل یا بعد از یک استخر دوگانه‌زی قرار می‌گرفته است [۴و۵و۷].

1. Waste Stabilization Ponds (WSP)
2. Anaerobic Ponds
3. Facultative Ponds
4. Aerobic Ponds

5. Pathogen
6. Scum

مقدار گازهای تولیدی به حدی است که حتی می‌تواند سبب شناور شدن لخته های لجن بر روی سطح فاضلاب در استخرها شود. این پدیده بیشتر در فصول گرم سال اتفاق می‌افتد.

فاضلاب در استخرهای دوگانه‌زی به رنگ سبز دیده می‌شود. در بعضی مواقع رنگ فاضلاب در استخرها به صورت قرمز و یا صورتی در می‌آید. به ویژه زمانی که بار آلی مواد ورودی به آنها بالا باشد. علت این تغییر رنگ، حضور باکتری های اکسنده سولفید است. همچنین اگر رنگ استخر سبز مایل به زرد و یا شیری باشد، احتمال ایجاد شرایط اسیدی در استخر وجود خواهد داشت. از استخرهای دوگانه‌زی بیشتر در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و همچنین بعد از فرایندهای هوازی، بی‌هوازی و یا صافی‌های چکنده به عنوان تصفیه ثانویه استفاده می‌شود [۹ و ۷ و ۴].

۲-۳ استخرهای هوازی

یک استخر هوازی شامل باکتری ها و جلبک‌ها به صورت معلق بوده و در سرتاسر عمق آن شرایط هوازی برقرار است. در این استخرها بخش عمده‌ای از اکسیژن مورد نیاز ریزاندام‌ها از طریق فتوسنتز جلبک ها و مقداری هم از طریق هوادهی طبیعی در سطح استخر تامین می‌شود. صرف نظر از وجود جلبک ها در محیط زیستی موجود، استخرهای تثبیت هوازی شبیه یک سیستم لجن فعال می‌باشند. اکسیژن تولید شده از جلبک ها در طول عمل فتوسنتز، توسط باکتری‌ها هنگام تجزیه هوازی مواد آلی مصرف می‌گردد و در عوض مواد غذایی غیر آلی (فسفر و ازت) و دی اکسید کربن که در اثر این تجزیه آزاد می‌شوند توسط جلبک‌ها مصرف می‌گردند. ریزاندام‌های دیگری مانند روتیفرها^۴ و پروتوزوئرها^۵ نیز در این استخرها وجود دارند و وظیفه آن‌ها بیشتر شکار عوامل بیماری‌زا و جلادهی^۶ پساب می‌باشد. نفوذ اشعه UV خورشید باعث از بین رفتن عوامل بیماری‌زا می‌شود، اگرچه که زمان ماند کوتاه در این استخرها (حدود ۲ تا ۶ روز) اثر این عامل را کاهش می‌دهد. در این استخرها برای ماند جلبک‌ها در حالت تعلیق نیاز به همزدگی وجود دارد. همچنین عملکرد آنها در شرایط آب و هوایی گرم و آفتابی بهتر است. از ویژگی‌های اصلی این استخرها می‌توان به کیفیت خروجی ثابت، زمان ماند کوتاه، مساحت کم و مصرف انرژی پایین

4. Rotifer
5. Protozoa
6. Polishing

ساخته می‌شوند. عمق این استخرها معمولاً بین ۲/۵ تا ۴/۵ متر و زمان ماند فاضلاب بین ۵-۵۰ روز می‌باشد. همچنین این استخرها می‌توانند بار آلی $kg\ BOD_5 / ha.day$ ۲۸-۴۵۰ را تحمل کنند [۹ و ۷ و ۴].

۲-۲ استخرهای دوگانه‌زی (هوازی - بی‌هوازی)

متداول‌ترین نوع استخرها هستند که در لایه‌های فوقانی آنها به دلیل وجود اکسیژن محلول^۱ شرایط هوازی و در لایه های تحتانی به دلیل نبود اکسیژن محلول شرایط بی‌هوازی حاکم است. عمق این استخرها معمولاً بین ۰/۹-۲/۴ متر و زمان ماند بین ۵۰-۷ روز می‌باشد. همچنین این استخرها می‌توانند بار آلی $kg\ BOD_5 / ha.day$ ۲/۲ - ۵/۶ را تحمل کنند. [۴] در این استخرها و در لایه فوقانی، جلبک‌ها و باکتری‌های هوازی و دوگانه‌زی همزیستی و هم‌افزایی دارند. جلبک‌ها در حضور نور خورشید و مواد معدنی شروع به فتوسنتز می‌نمایند که نتیجه آن تولید جلبک‌های جدید و اکسیژن محلول می‌باشد. باکتری‌ها از اکسیژن محلول تولیدی توسط جلبک‌ها استفاده نموده و شروع به اکسایش مواد آلی موجود در فاضلاب می‌نمایند که به موجب آن تجزیه مواد آلی و رشد و تکثیر باکتری‌ها اتفاق می‌افتد. در اثر اکسایش مواد آلی ترکیباتی همچون دی‌اکسید کربن، نیترات، فسفات و غیره تولید می‌شود که بخشی از این گازها و ترکیبات، مجدداً توسط جلبک‌ها در فعالیت فتوسنتز مصرف می‌شود.

جامدات معلق موجود در فاضلاب که قسمت عمده آنها را مواد آلی تشکیل می‌دهند در اثر نیروی وزن در کف استخر تجمع یافته و تشکیل لایه لجن^۲ را می‌دهند که در این لایه به دلیل نبود اکسیژن محلول، فعالیت‌های زیستی بی‌هوازی اتفاق می‌افتد که اغلب شامل فرایندهای تخمیری، هضم لجن، نیترات‌زدایی^۳ و حذف BOD می‌باشد. نتیجه فعالیت‌های بی‌هوازی تولید گازهای همچون CH_4 , CO_2 , N_2 , NH_3 و H_2S و غیره می‌باشد. گازهای تولیدی در اثر نیروی شناوری به سمت بالا حرکت نموده و به صورت حباب از سطح فاضلاب خارج می‌شوند. وجود لایه هوازی سطحی به تجزیه و حذف گازهای بدبو کمک می‌کند. در مواقعی که در اثر افزایش دما سرعت فعالیت‌های زیستی بی‌هوازی در لایه های لجن زیاد باشد

1. Dissolved Oxygen (DO)
2. Sludge Blanket
3. Denitrification

عوامل موثر بر تغییر دمای استخر شامل نور خورشید، دمای فاضلاب ورودی، تبخیر سطحی، وزش باد و دمای محیط می‌باشد. دمای محیط به ویژه در استخرهای هوازی که ریزاندام‌ها در مجاورت سطح قرار دارند، بر عملکرد زیستی استخر بسیار تاثیرگذار است. بنابراین برای جلوگیری از کاهش بازدهی استخر در فصول سرد سال، دمای استخر براساس میانگین دمایی فصول سرد تعیین می‌شود. [۴] اگر از پساب تولیدی استخر جهت آبیاری استفاده شود، دمای استخر براساس میانگین دمایی در فصول آبیاری تعیین می‌شود. [۸] معمولاً در دمای ۳۰ درجه سلسیوس طراحی استخرها صورت می‌گیرد. همچنین دمای طراحی باید از دمای بهینه عملکرد باکتری‌های بی‌هوازی ترموفیلیک^۱ (گرما دوست) کمتر باشد [۷].

۲-۵-۲ وزش باد

وزش باد اثرات مثبت و منفی را بر عملکرد استخرهای تثبیت فاضلاب می‌گذارد. از جمله اثرات مثبت آن می‌توان به هوادهی و انتقال بهتر اکسیژن به جریان فاضلاب و همچنین ایجاد همزدگی و معلق نگه داشتن جلبک‌ها اشاره کرد. از اثرات منفی آن می‌توان ایجاد جریان میانبر^۲، کاهش زمان ماند هیدرولیکی و فرسایش دیواره‌ها در اثر ایجاد موج را نام برد. همچنین در طراحی استخرها باید دقت کرد که جهت وزش باد از روی استخر به سمت مناطق مسکونی نباشد زیرا باعث انتقال بو به این مناطق می‌شود [۴].

۲-۵-۳ نرخ تبخیر

تبخیر از سطح استخرها سبب اتلاف آب شده که این اتلاف آب هم از نظر استفاده مجدد از پساب و هم از نظر تاثیر بر روی کیفیت پساب دارای اهمیت خواهد بود. به غیر از استخرهای بی‌هوازی که به دلیل تشکیل کفاب بر سطح آن، نرخ تبخیر کم است، در طراحی سایر استخرها باید نرخ تبخیر در نظر گرفته شود. نرخ خالص تبخیر برابر با اختلاف میزان تبخیر و بارش باران می‌باشد. اندازه‌گیری نرخ تبخیر باید در فصولی که دما در آنها تعیین می‌شود انجام گیرد [۸]. تبخیر زیاد ممکن است توازن اکولوژیکی در استخر را از طریق تغلیظ فاضلاب بر هم زند. همچنین می‌تواند سبب کاهش نامطلوب عمق آب شده و زمان ماند را متأثر سازد. میزان تبخیر در حدود

اشاره کرد. یکی از معایب این استخرها این است که به دلیل حضور جلبک‌ها، غلظت TSS در جریان خروجی آن بالا می‌باشد. همچنین برای جلوگیری از رشد گیاهان هرز، باید اطراف و کف استخر پوشانده شود. عمق این استخرها معمولاً بین ۱ تا ۱/۵ متر و زمان ماند فاضلاب بین ۲ تا ۶ روز می‌باشد. همچنین این استخرها می‌توانند بار آلی $1/2 - 22/5 \text{ kg BOD}_5 / \text{ha.day}$ را تحمل کنند [۷و۴].

۲-۴ پارامترهای شیمیایی طراحی

این پارامترها در طراحی استخرها بسیار مهم بوده و اساس طراحی را تشکیل می‌دهد. این پارامترها شامل pH، غلظت اکسیژن محلول، غلظت مواد آلاینده و سایر پارامترها است. بیشترین کارایی استخرهای بی‌هوازی و دوگانه‌زی در شرایط کمی قلیایی می‌باشد. اکسیژن محلول نیز بهترین شاخص بهره‌برداری مطلوب در استخرهای تثبیت می‌باشد که باید در طراحی‌ها به آن دقت کرد. استخرهای تثبیت نسبت به سایر سیستم‌های تصفیه حساسیت کمتری نسبت به وجود مواد سمی مانند فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و دیگر مواد سمی دارند. زمان ماند طولانی در این استخرها، امکان تطابق تدریجی توده زیستی را در مقابل مواد سمی، از طریق انتخاب طبیعی فراهم می‌آورد [۹].

۲-۵ عوامل محیطی موثر بر طراحی

۲-۵-۱ دما

تصفیه فاضلاب در استخرها از طریق مجموعه‌ای از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی اتفاق می‌افتد که دما بر روی این فرایندها تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. در جدول زیر محدوده‌های دمایی مناسب برای عملکرد زیستی جلبک‌ها و باکتری‌ها آورده شده است.

جدول ۱- محدوده دمایی مناسب برای عملکرد زیستی

جلبک‌ها و باکتری‌ها [۴]

دمای بهینه (درجه سلسیوس)	محدوده دمایی (درجه سلسیوس)	جلبک‌ها
۳۰ - ۳۵	۵ - ۴۰	جلبک‌ها
۳۵ - ۳۸	۱۰ - ۴۰	باکتری‌های هوازی
۵۰ - ۵۵ و ۳۵-۳۸	۲۵ - ۸۰	باکتری‌های بی‌هوازی

1. Thermophilic
2. Short Circuit

تثبیت، لزوم ایجاد نوآوری‌هایی برای بهبود عملکرد این استخرها احساس می‌شود. همچنین بسیاری از نوآوری‌های انجام گرفته به دلیل درک بهتر فرایندهای زیستی و آزمایشات انجام شده در شرایط زیست محیطی مختلف بدست آمده است [۴].

۳-۱ استخرهای دوگانه‌زی پیشرفته^۱

استخر دوگانه‌زی پیشرفته از یک استخر دوگانه‌زی به همراه یک چاله عمیق بی‌هوازی تشکیل شده است. در عمق ۱ متری از سطح استخر شرایط هوازی حاکم می‌باشد. عمق چاله بی‌هوازی حدود ۶ تا ۸ متر است و جریان فاضلاب خام به داخل آن وارد می‌شود. سرعت جریان و عمق این چاله به گونه‌ای است که تقریباً تمام جامدات معلق و تخم انگل‌ها و کرم‌ها ته‌نشین می‌شود. تجمع لجن در کف چاله و وجود شرایط بی‌هوازی سبب می‌شود که این چاله شبیه به یک راکتور بستر بی‌هوازی لجن با جریان بالا رو عمل کرده و مواد آلی را به صورت مناسبی تجزیه کند. همچنین فلزات سنگین نیز به صورت نمک سولفید ته‌نشین می‌شوند. در اطراف این استخرها دیواره‌هایی برای جلوگیری از ورود اکسیژن وجود دارد. برای جلوگیری از تولید بو در این استخرها از هوادهای سطحی استفاده می‌شود. جلبک‌های موجود در سطح این استخرها گاز دی‌اکسید کربن و نیتروژن تولید شده در بخش بی‌هوازی را جذب کرده و باعث خلوص بیشتر متان تولیدی می‌شود. بیوگاز تولیدی نیز برای تولید انرژی جمع‌آوری می‌شود [۱۱ و ۱۰ و ۵]. برای جمع‌آوری کفاب تولید شده بر سطح این استخرها، دیواره‌های بتنی و شیب‌داری ساخته می‌شود که با استفاده از وزش باد کفاب‌ها را جمع‌آوری می‌کند. تشکیل لجن در این استخرها بسیار پایین بوده و هر ۱۰ تا ۳۰ سال یکبار لای رومی در این استخرها صورت می‌گیرد. این استخر توان حذف ۶۰ تا ۸۰ درصد BOD و حدود ۹۰ تا ۱۰۰ درصد TSS را دارا می‌باشند [۱۲].

۳-۲ استخرهای جلبکی پر بار^۲

این استخرها دارای عمق کم و زمان ماند کوتاه هستند. عمق این استخرها ۱m و متوسط سرعت جریان در آنها تقریباً ۱۵ cm/s است [۴]. به دلیل غلظت بالای جلبک در این استخرها، غلظت

1. Advanced Facultative Pond
2. Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASBR)
3. High-Rate Algal Ponds

۵ میلی‌متر در روز که معادل کاهش ۵۰ متر مکعب آب در هکتار در روز می‌باشد، قابل صرف نظر است [۹]. در مناطق خشک که میزان تبخیر بالاست هدر رفت آب در اثر تبخیر باید به حداقل برسد که با افزایش عمق به ۲ متر این عمل صورت می‌پذیرد و در نتیجه سطح استخر هم کاهش می‌یابد [۸].

۲-۵-۴ تابش خورشید

شدت تابش نور خورشید پارامتر مهمی در عملکرد رضایت بخش استخرها به حساب می‌آید زیرا نور خورشید بطور غیر مستقیم بر روی تولید اکسیژن به واسطه فعالیت فتوسنتز تأثیر دارد. افزایش شدت نور سبب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی شده تا اینکه ظرفیت پذیرش نور توسط ریزاندام‌ها به حد اشباع برسد. میزان نفوذ نور در اعماق استخر، به غلظت مواد معلق، کدورت و ضریب جذب آب بستگی دارد. همچنین شدت و طیف نور خورشید در فصول مختلف سال متفاوت است. لذا در طراحی استخرها به ویژه در انتخاب عمق استخرهای هوازی و دوگانه‌زی باید به این پارامتر توجه شود. البته مناطقی در دنیا وجود دارد که میزان تابش خورشید در سال بسیار کم است اما استخرهای تثبیت تحت شرایط عادی فتوسنتز بهره‌برداری می‌شوند [۹ و ۴].

۲-۵-۵ جنس خاک

محل احداث استخر باید به گونه‌ای انتخاب شود که نفوذ پذیری خاک در آن ناحیه کم باشد. همچنین سطح آبهای زیر زمینی نیز باید پایین باشد تا از نفوذ آب استخر به سفره‌های آب زیر زمینی و یا ورود آب به استخر جلوگیری شود [۸]. در مواردی که نفوذپذیری خاک زیاد باشد، لازم است کف استخرها با یک لایه نفوذناپذیر مانند شفته آهک و یا ورق‌های پلی اتیلن با ضخامت مناسب پوشانده شود.

۳- روشهای ارتقای عملکرد استخرهای تثبیت فاضلاب

دانش پایه طراحی استخرهای تثبیت فاضلاب بر اساس طراحی‌های ۳۰ سال پیش می‌باشد اما به دلیل تغییر در کیفیت فاضلاب‌ها و افزایش مواد آلاینده سمی موجود در آنها و همچنین تصویب قوانین سخت‌گیرانه برای کنترل کیفیت پساب خروجی از استخرهای

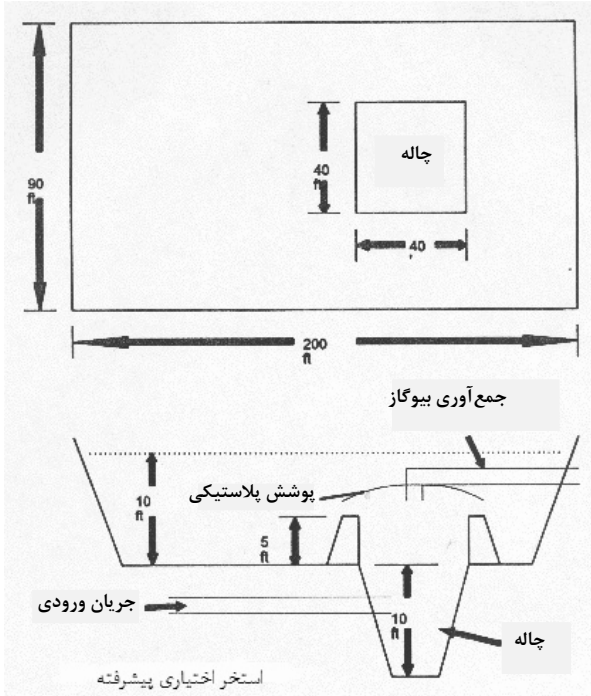
می‌گردد. انرژی مورد استفاده در این استخرها بسیار اندک بوده و به انرژی مصرف شده توسط چرخ‌های پره‌دار^۱ برای ایجاد اختلاط محدود می‌شود. اختلاط در این استخرها علاوه بر اینکه باعث یکنواختی دما و اکسیژن در تمام لایه‌های آب می‌شود سبب می‌شود که جلبک‌ها معلق مانده و ته نشین نشوند [۵]. جمعیت جلبک‌ها به مقدار بار آلی ورودی به استخر بستگی دارد و هرچه بار آلی بیشتر باشد تنوع گونه‌های جلبکی کاهش می‌یابد. فرایند این استخرها بسیار پیچیده و حساس بوده و بهره‌برداری و نگهداری آنها از این استخرهای معمولی سخت‌تر است. امروزه نوع جدیدی از این استخرها برای آب‌های شور و لب شور نیز ساخته شده است [۱۲].

۳-۳ تعیین محل مناسب جریان‌های ورودی و خروجی

در گذشته جریان فاضلاب از مرکز استخر و به صورت تک ورودی بوده است. بررسی‌های بعدی نشان داده است که این الگوی ورودی جریان باعث کاهش زمان ماند، ایجاد جریان میانبر و در نتیجه کاهش بازدهی استخر می‌شود [۸]. امروزه استفاده از ورودی‌های چندگانه به ویژه در استخرهای کوچک توصیه می‌شود. در ورودی‌های چندگانه، جریان ابتدا وارد یک جعبه تقسیم جریان^۲ شده و از ورودی‌های متعدد در عرض استخر وارد استخر می‌شود. [۴] در استخرهای بزرگ ورودی و خروجی باید در نقاط غیر مقابل و در دورترین فاصله نسبت به یکدیگر قرار داشته باشند و در صورت امکان مسیر جریان به وسیله تیغه‌های طولی هدایت شوند. همچنین در قسمت خروجی، یک مجرای خروجی در سطح آب و مجراهای دیگری در عمق‌های مختلف برای مواقعی که ارتفاع آب در استخر کاهش می‌یابد در نظر گرفته می‌شود. معمولاً در طراحی‌های اولیه شدت جریان فاضلاب ورودی به استخر برابر با ۸۰٪ آب مصرفی شهر محاسبه می‌شود [۷ و ۸].

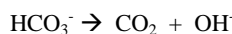
۳-۴ طراحی مناسب هیدرولیکی

طراحی هیدرولیکی استخرها به دلیل تعیین زمان ماند و نحوه توزیع جریان در درون استخر بسیار مهم می‌باشد و تاثیراتی را بر نحوه پراکندگی ریزاندام‌ها و هم‌زدگی مواد آلاینده دارد. همچنین هیدرولیک استخر در میزان جذب مواد آلاینده توسط ریزاندام‌ها و از بین رفتن عوامل بیماری‌زا نقش دارد [۱۳].



شکل ۱- استخر دوگانه‌زی پیشرفته

اکسیژن محلول در حد اشباع و یا فوق اشباع می‌باشد به همین دلیل این استخرها جزء استخرهای هوازی پربار به حساب می‌آیند. در این استخرها حذف BOD و مواد آلاینده از طریق همزیستی جلبک‌ها و باکتری‌ها اتفاق می‌افتد. از آنجایی که واکنش فتوسنتز جلبک‌ها یک فعالیت وابسته به نور می‌باشد، در طول روز در مقدار و غلظت اکسیژن محلول موجود در استخر تغییراتی حاصل می‌گردد. مقدار pH استخر نیز در طول روز متناسب با عمل فتوسنتز افزایش می‌یابد و حتی ممکن است به ۱۰ نیز برسد. علت این افزایش آن است که مقدار گاز CO₂ که توسط جلبک‌ها مصرف می‌شود از میزان تولید آن توسط باکتری‌ها بیشتر است. بنابراین جلبک‌ها برای جبران کمبود گاز CO₂، یون‌های بی‌کربنات موجود در فاضلاب را تجزیه می‌کنند که طی فرایند زیر باعث آزاد شدن OH⁻ و افزایش pH می‌گردد.



افزایش pH در این استخرها سبب از بین رفتن عوامل بیماری‌زا، رسوب فسفات و حذف آمونیاک به صورت گازی از محیط می‌شود. به دلیل نبود نور در ساعات شب، استخر به حالت بی‌اکسل (بدون اکسیژن محلول) درآمده و نیترات‌های تولید شده نیز حذف

1. Paddlewheel
2. Splitting Box

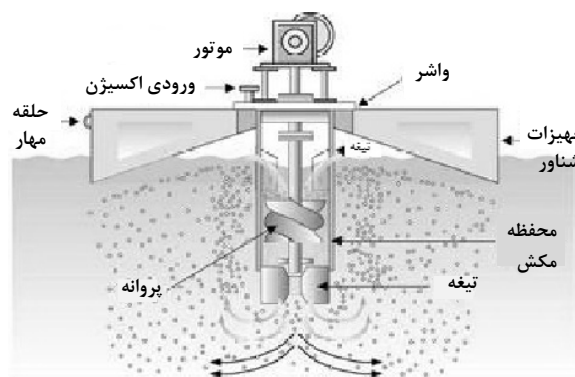
افزایش داد. زمان ماند در استخرهای با هواده در فصول گرم بین ۱۰-۳ روز و در فصول سرد ۴۰-۲۰ روز می‌باشد. همچنین عمق را ۴ تا ۶ متر می‌توان افزایش داد [۴]. این نوع هواده می‌تواند به صورت هواده سطحی، تزریق هوا در استخر و یا افشاندن آب در هوا انجام گیرد [۸]. تعداد و نحوه چینش هواده‌های انتخاب شده بستگی به میزان اکسیژن مورد نیاز دارد. البته هزینه خرید، بهره‌برداری و نگهداری هواده‌ها باید در تصمیم‌گیری‌ها لحاظ شود [۶].

۳-۵-۲ هواده ایروفک^۱

نوع جدیدی از هواده‌ها با نام ایروفک متعلق به شرکت بین‌المللی لاس^۲ وجود دارد که به وسیله جریان باد به حرکت در آمده و هواده می‌کند. استفاده از این هواده‌ها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود اما بهره‌برداری از آنها مشکل بوده و در فصول سرد با محدودیت روبرو است [۱۵ و ۱۶].

۳-۵-۳ هواده پراکسیر^۳

هواده‌های دیگری با نام پراکسیر ساخته شده است که از گاز اکسیژن برای هواده می‌کند و مصرف انرژی آن ۶۰٪ از هواده‌های متداول کمتر است [۴].



شکل ۲- سیستم هواده‌ی پراکسیر [۴]

۳-۶ افزودن مواد شیمیایی و زیستی

اضافه کردن ریزاندام‌ها (زیست‌درمانی) یا مواد شیمیایی جهت بهبود حذف مواد آلاینده و همچنین کاهش میزان بو می‌تواند مورد

1. Aero-Fac
2. LAS International Ltd
3. Praxair

طراحی هیدرولیکی باید به گونه‌ای صورت گیرد که بهترین اختلاط در استخر ایجاد شود. عمل اختلاط یک سری تغییرات حیاتی و ضروری در استخر ایجاد می‌کند که عبارت از جلوگیری از تشکیل ناحیه راکد و ساکن و اطمینان کافی از توزیع و پخش یکنواخت BOD، جلبک و اکسیژن در راستای عمودی استخر است. تنها عمل اختلاط است که قادر به جابجایی جلبک‌های غیر متحرک و ساکن به سطح استخر یعنی محلی که نور به طور موثر نفوذ می‌نماید می‌باشد. چنانچه اختلاطی نباشد، بیشتر محتویات استخر به طور دائم در تاریکی خواهند ماند. عمل اختلاط همچنین باعث می‌شود اکسیژن تولید شده از سطح به طبقات پایین تر منتقل گردد. بنابراین عمل اختلاط مناسب موجب آمادگی استخر در جهت دریافت بار آلی بیشتر می‌شود. باد و حرارت دو عامل بسیار مهمی هستند که در کیفیت اختلاط موجود در یک استخر تاثیر بسزایی دارند عمق موثری که وزش باد در آن ارتفاع باعث اختلاط می‌گردد توسط فاصله‌ای که باد با سطح فاضلاب در تماس بوده قابل محاسبه می‌باشد. برای اینکه حداکثر اختلاط توسط وزش باد انجام گیرد طول مورد نیاز بدون در نظر گرفتن هیچگونه مانعی برسر راه آن می‌بایستی در حدود ۱۰۰ متر باشد. البته باید تاثیرات منفی ناشی از وزش باد را در نظر گرفت. در فصول گرم، گرمتر بودن جریان در سطح استخر سبب می‌شود که فاضلاب ورودی در کف استخر راکد مانده و اختلاط مناسب صورت نگیرد. در فصول سرد نیز که به دلیل ایجاد جریان همرفت مناسب در داخل استخرها اختلاط مناسب حاصل می‌شود، امکان افزایش میزان بوی تولیدی به دلیل بالا آمدن جریان‌های کف استخر وجود دارد [۸ و ۴].

مطالعات نشان می‌دهد که طراحی استخر به شکل مستطیل و با نسبت طول به عرض ۴ و با دو یا چهار تیغه طولی بهترین عملکرد را در حذف آلاینده‌ها دارد. البته در استفاده از تیغه‌ها باید ملاحظات اقتصادی را نیز در نظر گرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هرچه نسبت طول به عرض استخر افزایش یابد، میزان حذف BOD و غلظت اکسیژن محلول در جریان خروجی افزایش خواهد یافت [۱۴].

۳-۵ افزودن اکسیژن به وسیله هواده‌ها

۳-۵-۱ هواده‌ی مکانیکی

با استفاده از هواده‌های مکانیکی در استخرهای دوگانه‌زی می‌توان زمان ماند و در نتیجه مساحت اشغالی استخر را کاهش و عمق را

جریان‌های میانبر می‌شود [۴].

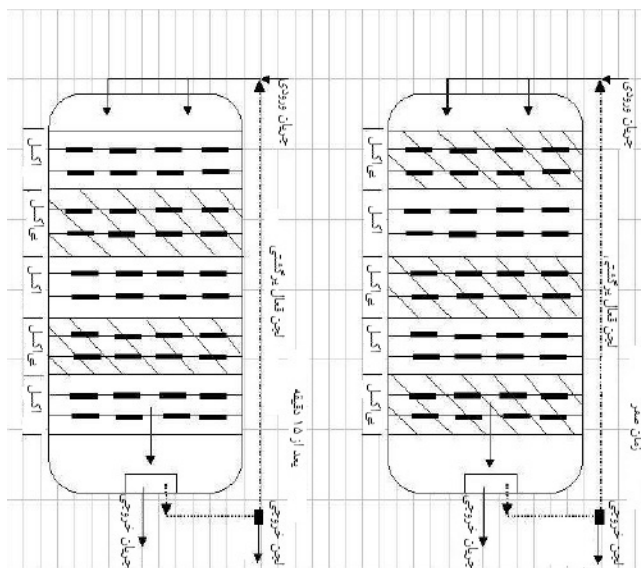
۳-۸ سیستم بایولاک-ووم^۲

این سیستم توسط شرکت پارکسن^۳ ساخته شده و در آن از هوادهای متوالی برای ارتقای عملکرد و کاهش مصرف انرژی در استخرهای تثبیت استفاده می‌شود. در این سیستم هوادهای یا در کف استخر نصب می‌شوند و یا با استفاده از زنجیرهای موازی در سطح یا درون استخر به صورت معلق قرار می‌گیرند. در این سیستم هوادهای به صورت کنترل شده صورت می‌گیرد به گونه‌ای که نواحی anoxic و oxic به صورت متناوب ایجاد می‌شود. از این مدل اصلاحی، برای حذف نیتروژن آلی از جریان فاضلاب می‌توان استفاده کرد. همچنین در صورت ایجاد ناحیه بی‌هوازی در ابتدای فرایند می‌توان حذف فسفر را نیز انجام داد. از معایب این سیستم می‌توان به پیچیدگی بهره‌برداری و تعمیرات آن اشاره کرد که البته نسبت به سیستم‌های متداول لجن فعال پیچیدگی کمتری دارد. همچنین ممکن است در این سیستم پدیده تورم لجن^۴ رخ دهد که این مسئله را می‌توان با افزایش ناحیه anoxic در ورودی استخر حل کرد. براساس گزارشات شرکت پارکسن با استفاده از این سیستم می‌توان غلظت BOD و TSS در جریان خروجی را به کمتر از ۱۰ mg/L و غلظت نیتروژن را به کمتر از ۱ mg/L کاهش داد [۱۷ و ۴].

استفاده قرار گیرد. البته این فرایندها گران قیمت می‌باشند و باید ملاحظات اقتصادی را در نظر گرفت [۸]. همچنین برای کاهش غلظت جلبک‌ها و جامدات معلق در جریان خروجی می‌توان از مواد منعقدکننده و حوض ته‌نشینی استفاده کرد که به دلیل هزینه‌های ناشی از خرید مواد شیمیایی و مدیریت لجن ایجاد شده، چندان مقرون به صرفه نمی‌باشد [۱۷ و ۴]. استفاده از روش کلر زنی برای حذف عوامل بیماری‌زا پیشنهاد نمی‌شود زیرا کلر باعث مرگ جلبک‌ها و بازگشت مواد جذب شده توسط آنها به آب می‌شود. در صورت لزوم گندزدایی می‌توان از ازن به جای کلر استفاده کرد [۸].

۳-۷ استفاده از بسترهای رشد چسبیده^۱

در استخرهای اصلاح شده به وسیله بسترهای رشد چسبیده، از بسترهای باریکی از پلی‌وینیل استات استفاده می‌شود که دارای سطح ویژه ۱۲۳۶ متر مربع به ازای هر متر مکعب می‌باشند. در این روش با ایجاد سیستم‌های اکولوژیکی پایدار در اطراف بسترها، حذف مواد آلاینده و عملکرد استخرها افزایش می‌یابد. همچنین زمان ماند به کمتر از ۷/۵ روز کاهش می‌رسد. اگرچه هزینه‌های اولیه این روش زیاد است اما می‌توان با کاهش حجم استخر آن را جبران کرد [۶]. همچنین می‌توان از بسترهای سنگی نیز در داخل استخر استفاده کرد که هم نقش فیلتراسیون مواد معلق را بازی می‌کند و هم در حذف مواد آلاینده و نیترات مؤثر است و هم باعث کاهش



شکل ۳- سیستم بایولاک-ووم [۴]

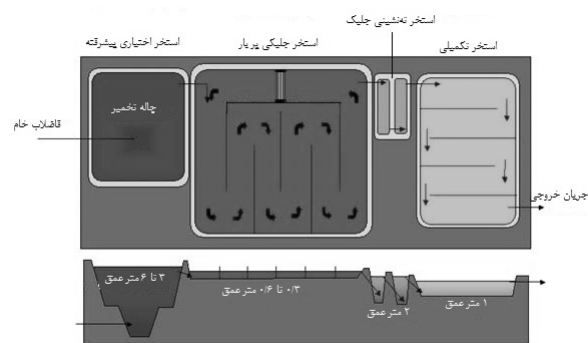
1. Attached Growth Media
3. Parkson

2. Wave-Oxidation modification of the BIOLAC System (Biolac-WOM)
4. Sludge Bulking

۴- روش‌های جدید طراحی استخرهای تثبیت

۴-۱ سیستم استخرهای تثبیت یکپارچه^۱

سیستم استخرهای تثبیت یکپارچه، توسط استوالد و همکارانش^۲ طراحی و ساخته شده است. با اینکه حدود ۳۵ سال از طراحی این سیستم گذشته است اما هنوز به صورت کامل شناخته نشده است. انعطاف پذیری این سیستم بالا بوده و امکان توسعه و به کارگیری آن در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد. بسته به شرایط استفاده، سیستم استخرهای تثبیت یکپارچه شامل حداقل چهار استخر بوده که به ترتیب استخر دوگانه‌زی پیشرفته، استخرهای جلبکی با نرخ بالا، استخر ته‌نشینی جلبک^۳ و استخر بلوغ^۴ جهت گندزدایی به وسیله نور خورشید می‌باشند. شکل زیر نمایی از این استخرها را نشان می‌دهد.



شکل ۴- سیستم استخرهای تثبیت پیوسته پیشرفته [۵]

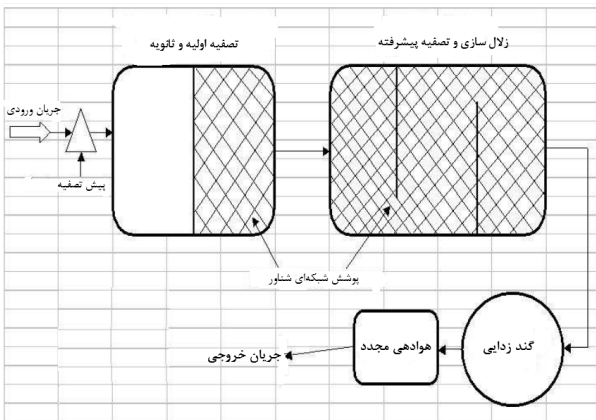
در این سیستم، فاضلاب پس از عبور از استخر دوگانه‌زی اول ۶۰ تا ۸۰ درصد BOD و تقریباً تمام TSS خود را از دست می‌دهد. سپس برای تصفیه باقی مانده BOD وارد استخر جلبکی با نرخ بالا می‌شود. در استخر دوم علاوه بر حذف BOD، حذف عوامل بیماری‌زا نیز به دلیل pH بالا و همچنین قرار گرفتن در معرض نور خورشید صورت می‌گیرد. بخشی از پساب خروجی این استخر برای بهبود ناحیه هوازی به استخر اول برگشت داده می‌شود. البته مطالعات جدید نشان می‌دهد که به دلیل غلظت بالا، جلبک‌های موجود در پساب این استخر در استخر دوگانه‌زی ته‌نشینی می‌شوند بنابراین بهتر است که شرایط برای رشد جلبک در خود استخر دوگانه‌زی ایجاد شود

1. Advanced Integrated Wastewater Pond System (AIWPS)
2. Oswald & et al
3. Algal Settling Pond
4. Maturation Pond

[۵]. فاضلاب خروجی از این استخر به دلیل غلظت بالای جلبک نمی‌تواند به صورت مستقیم در تاسیسات آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار گیرد. لذا از استخر ته‌نشینی جلبک استفاده می‌شود. پساب خروجی از این استخر برای آبیاری مناسب است اما برای بهبود کیفیت آن و استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی و فعالیت‌هایی که در تماس مستقیم با انسان است، از استخر بلوغ استفاده می‌گردد [۱۲ و ۸ و ۵ و ۴].

از نظر اقتصادی، زمین مورد نیاز برای این فرایند هم اندازه استخرهای معمولی است اما میزان حذف BOD و TSS در این فرایند بیشتر و دفع لجن و تولید بوی آن کمتر بوده و امکان بازیابی انرژی از طریق جمع‌آوری متان تولیدی نیز امکان پذیر است. از جلبک‌های جمع‌آوری شده از استخر ته‌نشینی می‌توان به عنوان کود، خوراک دام، تولید روغن و مصارف پزشکی استفاده کرد. همچنین از نظر اقتصادی در مقایسه با سیستم لجن فعال این سیستم بیشتر مقرون به صرفه است. مطالعات نشان می‌دهد که انرژی صرفه جویی شده در استخر جلبکی با نرخ بالا تقریباً برابر با کل انرژی مصرفی در سیستم لجن فعال می‌باشد [۴]. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که این سیستم می‌تواند ۹۰-۱۰۰ درصد BOD، ۹۰-۱۰۰ درصد TSS، ۹۰-۶۰ درصد نیتروژن، ۹۰-۱۰۰ درصد آمونیاک و ۶۰-۱۰۰ درصد فسفر را از فاضلاب حذف کند. استفاده از این سیستم به همراه یک تصفیه مقدماتی، می‌تواند برای تصفیه فاضلاب صنایع چرم مناسب باشد [۱۸]. اگرچه پیچیدگی‌های این سیستم سبب شده است که این سیستم تا کنون فقط در کشورهای پیشرفته گسترش پیدا کند اما مزایای این سیستم، پتانسیل توسعه آن در سایر نقاط جهان را ایجاد کرده است [۱۹]. از نمونه‌های ساده‌تر این سیستم که در ایران احداث شده می‌توان به تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ مشهد اشاره نمود که توسط مهندس رادپی و تیم آقای اسوالد طراحی و ساخته شده است. طراحی این تصفیه‌خانه در مساحتی حدود ۶۰۰ هکتار و با ظرفیت ۱۰۰۰۰۰ متر مکعب در روز انجام گرفته است. البته در حال حاضر تنها فاز اول این تصفیه‌خانه در مساحتی حدود ۲۰۰ هکتار و با ظرفیت ۴۵۰۰۰ متر مکعب در روز احداث گردیده است که جمعیتی حدود ۵۰۰ هزار نفر را تحت پوشش قرار می‌دهد. این تصفیه‌خانه مجموعاً از ۶ استخر تشکیل شده که ۴ استخر از نوع دوگانه‌زی پیشرفته و ۲ استخر از نوع استخرهای بلوغ می‌باشد.

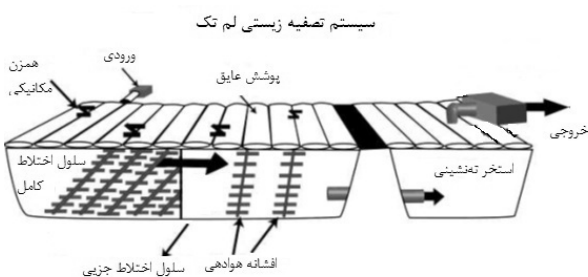
آنجایی که حذف آمونیاک به شدت تابع دما می‌باشد، از این سیستم می‌توان در فصول سرد نیز جهت حذف آمونیاک استفاده کرد در حالی که در سیستم‌های دیگر این کار به سختی امکان پذیر است [۲۲ و ۱۹ و ۴].



شکل ۵- سیستم تصفیه لمنا [۴]

۴-۲-۲ فرایند تصفیه زیستی لم تک

این سیستم از یک استخر اختلاط کامل^۲، استخر اختلاط جزئی^۳، استخر بی‌هوایی به همراه استخر زلال ساز به صورت سری تشکیل شده است. در این سیستم سه استخر اول پوشیده می‌باشد. شکل زیر نمایی از این سیستم را نشان می‌دهد [۲۲ و ۱۹ و ۴].



شکل ۶- فرایند تصفیه زیستی لم تک [۴]

۴-۳ سیستم شیفر^۵

این سیستم توسط شرکت بین‌المللی شیفر ساخته شده است. در این سیستم سه استخر به صورت سری قرار دارند که فاضلاب خام

فاضلاب ورودی ابتدا وارد چاله‌های هاضم شده و سپس از عمق وارد استخرهای دوگانه‌زی می‌شود. هر استخر دو چاله هاضم دارد که شکل هندسی آن‌ها به صورت هرم معکوس می‌باشد. سطح مقطع چاله‌های هاضم به صورت دوزنقه می‌باشد که طول قاعده بزرگ آن‌ها ۲۳۵ متر، قاعده کوچک ۷۰ متر، طول دو ضلع دیگر ۱۳۰ متر است. همچنین عمق چاله‌های هاضم ۵/۵ متر و عمق استخرهای دوگانه‌زی تقریباً ۵/۴ متر می‌باشد. در هر برکه ۶ سرریز برای خروج فاضلاب وجود دارد تا متناسب با طراحی فاضلاب مسیر مناسب را در داخل برکه‌ها طی کند و به صورت یکنواخت از برکه‌ها خارج شود. فاضلاب پس از خروج از سرریزها از طریق عمق وارد استخرهای بلوغ می‌شود. از پساب تصفیه شده این تصفیه‌خانه برای کشاورزی و درختکاری در پایین دست استفاده می‌شود [۲۱ و ۲۰].

۴-۲ سیستم لمنا^۱

این سیستم توسط شرکت لم تک^۱ طراحی و ساخته شده است. سیستم‌های لمنا می‌تواند برای ارتقای استخرهای دوگانه‌زی و هوادهی موجود استفاده شود یا به صورت مجزا طراحی گردد. طراحی این سیستم به دو روش انجام می‌گیرد ۱- سیستم لمنا با استفاده از کشت جلبک ۲- فرایند تصفیه زیستی لم تک.

۴-۲-۱ سیستم لمنا با استفاده از کشت جلبک

این سیستم از یک استخر هوادهی، یک استخر بی‌هوایی پوشیده و یک استخر ته‌نشینی و زلال سازی به صورت سری تشکیل شده است. مسیر جریان در استخر بی‌هوایی توسط تیغه‌های طولی مشخص می‌شود. جریان خروجی به دلیل عبور از استخر بی‌هوایی باید هوادهی شود تا غلظت اکسیژن محلول در آن به مقدار مناسب برسد. استفاده از پوشش، با ایجاد شرایط بی‌هوایی، باعث هضم مواد آلاینده و کاهش تولید لجن می‌شود. در این سیستم، برای بهره‌وری بیشتر از سطح اشغال شده، بر روی پوشش استخر بی‌هوایی کشت خزه صورت می‌گیرد. از خزه‌های برداشت شده می‌توان به عنوان خوراک دام و یا کود استفاده کرد. علاوه بر این، استفاده از پوشش، مانع از انتشار بو، تجمع حشرات و رشد جلبک‌ها شده و همچنین از اغتشاشات ناشی از وزش باد و تغییرات دمایی جلوگیری می‌کند. از

3. Complete Mixing Pond
4. Partial Mixing Pond
5. Sheffer

1. Lemna
2. LemTec

۵-۳ تالاب‌های مصنوعی^۳

تالاب‌های مصنوعی شامل استخرهای کم عمقی هستند که بر روی سطح یا درون آنها، گیاهان آبی به صورت مترکم کشت داده می‌شود. جذب و تجزیه زیستی صورت گرفته توسط ریشه و ساقه این گیاهان و همچنین ریزاندام‌های چسبیده بر روی آنها، سبب زلال سازی و حذف جامدات معلق از جریان پساب استخرهای تثبیت می‌شود [۸]. مطالعات بر روی استخرهای سنبل آبی^۴ نشان می‌دهد که ریشه‌های این گیاهان بستری مناسب برای رشد چسبیده ریزاندام‌ها و حذف جلبک‌ها می‌باشد. در این فرایند به دلیل تراکم گیاهان، میزان نفوذ نور و در نتیجه فوتوسنتز کاهش یافته و غلظت اکسیژن محلول به شدت افت می‌کند. در نتیجه محیط برای انجام واکنش‌های نیترات‌سازی^۵ و نیترات‌زدایی^۶ مناسب شده و حذف نیتروژن نیز صورت می‌گیرد. از این گونه تالاب‌ها می‌توان برای تصفیه فاضلاب تانک‌های سپتیک نیز می‌توان استفاده کرد [۲۶ و ۲۵ و ۴].

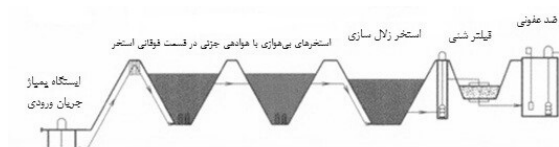
۵-۴ استخرهای پرورش آبزیان

برای جلب رضایت کشاورزان برای تصفیه فاضلاب و استفاده از پساب آن، سیستم‌های پیوسته استخرهای تثبیت و استخر پرورش ماهی پیشنهاد شده است. این سیستم شامل یک استخر دوگانه‌زی و یک استخر کم عمق پرورش ماهی است. در استخر دوم که شرایط هوازای حاکم است، فعالیت ماهی‌ها سبب ایجاد اختلاط و یکنواختی اکسیژن محلول و دما در استخر می‌شود که این امر فضای مرده استخر را کاهش داده و بازدهی استخر هوازای را افزایش می‌دهد. همچنین فعالیت ماهی‌ها در مجاورت جامدات راسب در کف استخر سبب تصفیه بهتر جامدات آلی ته‌نشین شده و حذف بهتر فسفر، سولفید و نیتروژن می‌شود. استفاده از این روش علی‌رغم داشتن مزایای اقتصادی نیاز به کنترل پارامترهای مختلف آب مانند غلظت اکسیژن محلول، دما، غلظت آمونیاک و غیره دارد [۱۱ و ۲۷].

۵-۵ سیستم پیوسته داوینگ^۷

داوینگ و همکارانش مطالعاتی را بر روی عملکرد سیستمی تلفیقی

پس از عبور از پمپ خرد کن، از کف استخر اول وارد می‌شود. به دلیل عمق زیاد در کف استخرهای اول و دوم شرایط بی‌هوازی حاکم می‌باشد. در میانه استخرهای اول و دوم هوادهایی نصب شده‌اند و باعث می‌شوند که قسمت فوقانی استخر به صورت هوازای عمل نماید. استخر سوم نیز به عنوان زلال ساز عمل می‌کند. زمان ماند در این استخر ۳۶ روز است. از مزایای این سیستم می‌توان به عدم تولید بو، تولید کم لجن و ظرفیت بالا اشاره کرد [۲۳ و ۸].



شکل ۷- سیستم شیفتر [۴]

۵- سیستم تلفیقی استخرهای تثبیت و سایر

فرایندهای تصفیه فاضلاب

۵-۱ فیلترهای سنگی و شنی^۱

یکی از مشکلات عمده پساب‌های خروجی از استخرهای تثبیت غلظت بالای TSS به واسطه حضور جلبک‌ها می‌باشد. یکی از روش‌های ارزان حذف مواد جامد و زلال سازی پساب استفاده از فیلترهای سنگی یا شنی است. با استفاده از دانه بندی مناسب فیلترهای شنی می‌توان غلظت BOD و TSS را به کمتر از ۱۵ mg/L کاهش داد. [۴] بهترین دانه بندی و بار هیدرولیکی برای فیلترهای شنی به ترتیب ۰/۳۷ mm و $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ می‌باشد [۲۴]. عیب اصلی این فیلترها مسدود شدن و غلظت بالای نیتروژن در جریان خروجی از آنها به دلیل تجزیه جلبک‌ها می‌باشد [۸].

۵-۲ سیستم شناورسازی با استفاده از هوای محلول^۲

استفاده از این فرایند برای حذف جلبک‌ها از پساب استخرهای تثبیت از نظر بازدهی و اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که طی این فرایند می‌توان ۷۶ درصد TSS پساب را کاهش داد [۷].

3. Constructed Wetlands
4. Hyacinth Ponds
5. Nitrification
6. Denitrification
7. Downing

1. Rock and Sand Filters
2. Dissolved Air Flotation

۵-۷ راکتورهای زیستی با بستر متحرک^۴

از این راکتورها برای حذف نیتروژن از پساب استخرهای تثبیت می‌توان استفاده کرد [۸].

۶- نتیجه‌گیری

محدودیت‌ها و معایب استخرهای تثبیت متعارف، نیاز مبرم به بهبود کیفیت پساب خروجی به منظور استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی، برآورده کردن استانداردهای سختگیرانه محیط زیستی و مقرون به صرفه بودن استفاده از استخرهای تثبیت، نیاز به بهبود و اصلاح آنها و طراحی استخرهای تثبیت پیشرفته را ضروری می‌سازد. این تغییرات باعث می‌شود که استخرهای تثبیت ضمن حفظ ویژگی سادگی خود، به استانداردهای زیست محیطی در مورد کیفیت آب دست یابند. این اصلاحات علاوه بر بهبود کارایی سبب افزایش توان کمی تصفیه خانه نیز می‌شوند. در ضمن اصلاح و ارتقاء استخرها می‌تواند به گونه‌ای باشد که تمام تجهیزات در خارج از استخر نصب گردد و در نتیجه در عملیات بهره‌برداری از استخر خللی ایجاد نشود. بنابراین با نگاهی به پیشرفتهای اخیر صورت گرفته در این زمینه، نه تنها نمی‌توان استخرهای تثبیت را فرایندی رو به انقراض نامید بلکه در بسیاری موارد به دلیل صرفه‌های اقتصادی و عملکرد مناسب این استخرها در تلفیق با فرایندهای دیگر، اقبال به این سیستم‌ها روز به روز در حال افزایش است.

نکته قابل توجه در استفاده از این استخرها در داخل کشور این است که به دلیل وجود استانداردهای سختگیرانه سازمان حفاظت محیط زیست کشور در رابطه با کیفیت خروجی استخرهای تثبیت، استفاده از این استخرها در کشور کم است که باید با تعامل شرکت آب و فاضلاب کشور و سازمان حفاظت محیط زیست این مشکل مرتفع شود.

مراجع

- [۱] کرمانی، م.، «ارتقای راندمان و توانمند سازی اقتصادی تصفیه خانه‌های فاضلاب برکه تثبیت»، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، (۱۳۹۱).
- [۲] میرانزاده، م.، محوی، ا.، مصداقی‌نیا، ع.، «بررسی کارایی برکه‌های تثبیت تلفیقی در تصفیه فاضلاب شهری»، فصل نامه علمی پژوهشی فیض، شماره ۱۲، صفحه ۴۳-۵۴، (۱۳۷۹).

شامل سیستم استخرهای یکپارچه، سیستم شناورسازی با هوای محلول، فیلتر شنی کند^۱ و سیستم اسمز معکوس^۲ انجام داده‌اند. در این سیستم از سیستم شناورسازی با هوای محلول برای حذف جلبک و جامدات معلق خروجی سیستم برکه تثبیت و از، فیلتر شنی کند برای برآورده کردن استانداردهای ورودی به سیستم اسمز معکوس استفاده می‌شود. در این مطالعه استفاده از این سیستم برای تولید آب آشامیدنی از فاضلاب از جنبه‌های عملیاتی و اقتصادی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که این سیستم قادر به حذف ۹۹ درصد BOD، ۹۹ درصد نیتروژن و ۹۸ درصد TSS می‌باشد. در یک مطالعه موردی با استفاده از این سیستم برای تصفیه یک میلیون لیتر فاضلاب، ۴۴۰ kwh انرژی و ۷۰۰ دلار هزینه صرف شد در حالی که در سیستم‌های معادل مانند سیستم پیوسته لجن فعال، میکرو فیلتراسیون و اسمز معکوس برای تصفیه همین مقدار فاضلاب و رسیدن به همان کیفیت، ۹۹۰ kwh انرژی و ۱۲۷۰ دلار هزینه لازم بوده است. در نتیجه استفاده از این سیستم که بر پایه سیستم استخرهای یکپارچه ساخته شود مقرون به صرفه تر از سیستم لجن فعال می‌باشد [۲۸].

۵-۶ تصفیه تکمیلی پساب خروجی از راکتورهای بی‌هوایی

لجن گرانوله با جریان بالارو^۳

یکی از مشکلات راکتورهای بی‌هوایی لجن گرانوله با جریان بالارو، کیفیت نامناسب پساب خروجی از آنها است. برای تصفیه بیشتر پساب خروجی از این راکتورها، می‌توان از استخرهای تثبیت و تالاب‌های مصنوعی استفاده کرد. استخرهای تثبیت در حذف BOD، نیتروژن و عوامل بیماری‌زا عملکرد مناسبی دارند در حالی که تالاب‌های مصنوعی در حذف TSS و COD عملکرد بهتری را نشان می‌دهند [۲۹]. برای حذف سولفید و برخی مواد آلاینده خاص مانند دی‌اتیل فتالات، بیس فتالات و بیس فنول از پساب راکتورهای بی‌هوایی لجن گرانوله با جریان بالارو، استفاده از استخرهای تصفیه تکمیلی توصیه می‌شود [۳۰].

1. Slow Sand Filter
2. Reverse osmosis (RO)
3. Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASBR)

4. Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

- [۳] میرانزاده، م.، مصطفایی، غ.، «بررسی اثر مواد منعقد کننده بر بهبود کیفیت پساب خروجی برکه‌های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان جهت مصارف آبیاری فضای سبز»، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، (۱۳۸۶).
- [4] Office of Research and Development, Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers. United States Environmental Protection Agency (EPA), (2011).
- [5] KeithCowan, A., Render, D., "INTEGRATED ALGAE PONDING SYSTEM", Institute for Environmental Biotechnology, Rhodes University, (2012).
- [۶] طاهرزاده، م.، گنجی دوست، ح.، آیتی، ب.، «مقایسه روش های بهبود راندمان هیدرولیکی برکه های تثبیت فاضلاب جهت ارتقاء کیفیت پساب خروجی»، دومین کنفرانس هیدرولیک ایران، (۱۳۹۰)
- [7] Crites, R., Middlebrooks, E., Reed, S., "Natural Wastewater Treatment", Boca Raton, Taylor and Francis Group, (2006).
- [8] Ramadan, H., Ponce, V., "Design and Performance of Waste Stabilization Ponds", Version 041013, Storm Water and Surface Water Management Services, (2006).
- [۹] ندافی، ک؛ نبی‌زاده، ر؛ «برکه‌های تثبیت فاضلاب، اصول، طراحی و اجرا»؛ مؤسسه علمی-فرهنگی نص، چاپ اول، تهران، صفحه ۳۴-۲۰، (۱۳۷۵).
- [10] Tsalkatidou, M., Gratziou, M., Kotsovinos, N., "Combined stabilization ponds-constructed wetland system", Desalination 248, ELSEVIER, 988-997, (2009).
- [11] Gomez, R., "Integrated Fish Farming Strategies", 2011 World Water Day, FIRA Service, FAO, (2011).
- [12] Ertas, T., Ponce, V., "Advanced Integrated Wastewater Pond Systems", San Diego State University (SDSU), San Diego, (2005).
- [13] Short, M., Cromar, N., Fallowfield, H., "Hydrodynamic performance of pilot-scale duckweed, algal-based, rock filter and attached-growth media reactors used for waste stabilisation pond research", Ecological Engineering 36, ELSEVIER, 1700-1708, (2010).
- [14] Abbasa, H., Nasra, R., Seif, H., "Study of waste stabilization pond geometry for the wastewater treatment efficiency", Ecological Engineering 28, ELSEVIER, 25-34, (2006).
- [15] Parkson ,<http://www.parkson.com/products/biolac>
- [16] Las International Ltd ,<http://www.lasinternational.com>
- [۱۷] دلاوری، ا.، دلاوری، ب.، «برکه های تثبیت پیشرفته و راهکارهای ارتقاء تصفیه خانه های موجود»، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، (۱۳۸۸).
- [18] Tadessea, I., Greenb, F., Puhakka, J., "Seasonal and diurnal variations of temperature, pH and dissolved oxygen in advanced integrated wastewater pond systems treating tannery effluent", Water Research 38, ELSEVIER, 645-654, (2004).
- [19] Spuhler, D., "Advanced Integrated Ponds", SSWM, (2011).
- [۲۰] سمواتی، ح.، «ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شرق (اولنگ) مشهد و بررسی پساب خروجی جهت استفاده در کشاورزی و تخلیه به آبهای سطحی»؛ اولین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی؛ تهران، (۱۳۹۲).
- [۲۱] پرتال جامع شرکت آب و فاضلاب مشهد؛ www.abfamashhad.ir
- [22] LemTec , <http://www.lemnatechnologies.com>
- [23] Sheaffer International, <http://www.sheafferinternational.com>
- [24] Truax, D., Shindala, A., "A filtration technique for algal removal from lagoon effluents", Water Environment Research, 66,7, 894-898, (1994).
- [25] Yi, Q., Kim, Y., Tateda, M., "Evaluation of nitrogen reduction in water hyacinth ponds integrated with waste stabilization ponds", Desalination 249, ELSEVIER, 528-534, (2009).
- [26] Yi, Q., Hurb, C., Kim, Y., "Modeling nitrogen removal in water hyacinth ponds receiving effluent from waste stabilization ponds", Ecological Engineering 35, ELSEVIER, 75-84, (2009).
- [27] Phan-Van, M., Rousseau, D., De Pauw, N., "Effects of fish bioturbation on the vertical distribution of water temperature and dissolved oxygen in a fish culture-integrated waste stabilization pond system in Vietnam", Aquaculture 281, ELSEVIER, 28-33, (2008).
- [28] Downing, J., Bracco, E., Green, F., Ku, A., Lundquist, T., Zubieta, I., Oswald, W., "Low cost reclamation using the Advanced Integrated Wastewater Pond Systems Technology and reverse osmosis", Water Science and Technology, Vo451, IWA, 117-125, (2002).
- [29] Bastos, R., Calijuri, M., Bevilacqua, P., Rios, E., Dias, E., Capelete, B., Magalhães, T., "Post-treatment of UASB reactor effluent in waste stabilization ponds and in horizontal flow constructed wetlands: a comparative study in pilot scale in Southeast Brazil", 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, (2009).
- [30] Chernicharo, C., Aquino, S., Sperling, M., Stuetz, R., Santos, L., Mabub, M., Moreira, M., Vasconcelos, O., Glória, R., "Conceptual analysis of the UASB/ Polishing Pond system regarding the removal of specific constituents and control of gaseous emissions", 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, (2009).