
بسم الله الرحمن الرحیم

دعای مطالعه

اَللهُمَ اَخرِجنی مِن ظُلُماتِ الوَهمِ وَاَکرِمنی بِنُورِ الفَهمِ
اَللهُمَ افتِح عَلَینا اَبوابَ رَحمتَکَ وَ انشُر عَلَینا خَزائِنَ عُلُومِکَ
بِرَحمَتِکَ یا اَرحَمَ الرّاحِمینَ

پروردگارا، خارج کن مرا از تاریکی های فکر و گرامی بدار به نور فهم
پروردگارا، بگشای بر ما درهای رحمتت را و بگستران گنج های دانشت را به امید رحمت
تو ای مهربان ترین مهربانان

کتاب جامع

سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب

ویژه رشته‌های: بهداشت محیط، محیط زیست، آب و فاضلاب و عمران محیط زیست

مؤلفین: میترا غلامی

(استاد گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران)

مجتبی یگانه – زهرا ترکشوند – محسن دولتی

☑ کتاب جامع ☐ ☐ IQB ☐ میانبر

عنوان و نام پدیدآور	:	سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب
مشخصات نشر	:	تهران: گروه تالیفی دکتر خلیلی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	:	۱۹۰ص.: مصور
فروست	:	کتاب جامع
شابک	:	978-600-7476-66-6
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپای مختصر
یادداشت	:	این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
یادداشت	:	مولفین میترا غلامی،مجتبی یگانه، زهرا ترکشوند، محسن دولتی.
شناسه افزوده	:	غلامی، میترا، ۱۳۴۳ -
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۷۴۴۶۳۴

نام کتاب: سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب

مؤلفین: میترا غلامی- مجتبی یگانه - زهرا ترکشوند- محسن دولتی

ناشر: گروه تألیفی دکتر خلیلی

نوبت و سال چاپ: اول . ۱۳۹٤

شمارگان: ۱۰۰۰

چاپ: کیمیای قلم

صحافی: فردوس

مدیر تولید: اقبال شرقی

مدیر فنی و هنری: مریم آرده

بهاء: ۱۷۰۰۰۰ تومان

آموزشگاه دکتر خلیلی: ٦٦٥٦٨٦٢١-۰۲۱

فروشگاه: تهران –خیابان انقلاب- روبه‌روی درب اصلی دانشگاه تهران –پاساژ فروزنده –طبقه همکف –پلاک ۳۳۱

تلفن: ٦٦٤٨٩٣٧٥ – ۰۲۱ – ٦٦٤٨٩٣٤٩ - ۰۲۱

مرکز پخش: ضلع جنوب غربی میدان انقلاب– جنب سینما پارس- مجتمع تجاری پارس – طبقه اول

مرکز فروش: ٦٦٥٦٩٢١٦ – ۰۲۱

مدیر فروش: ۵۵۰۸۵۸۹ – ۰۹۱۲

www.DKG.ir **@drkhaliligroupbook**

drkhaliligroupbook **drkhaliligroup**

طلیعه سخن مؤلف؛

این کتاب دربرگیرنده سیستم های طبیعی تصفیه فاضلاب می باشد که می توانـد برای دانشجویان و مهندسین رشته هـای بهداشـت محـیط، محـیط زیسـت، آب و فاضلاب و عمران محیط زیست مفید باشد. نویسندگان سعی نموده انـد اطلاعـات کلی راجع به سیستم های طبیعی تصفیه فاضلاب در اختیار خواننده قرار دهنـد.از ویژگی های این کتاب این است که تمام مباحث آورده شده در زمینه سیستم های طبیعی تصفیه فاضلاب برای دانشجویان را پوشش می دهد و همچنین در آموزش و یادگیری و رفع اشکالات، آن ها را یاری خواهد نمود. بدون شک کتاب حاضر خالی از عیب و نقص نبوده و لذا از همه عزیزانی که این کتاب را مطالعه می کنند تقاضا می شود ما را در رفع این اشکالات یاری فرمایند.در پایان از همه عزیزانی که مـا را در این راه یاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

دکتر میترا غلامی
(استاد گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران)

فهرست مطالب

فصل و عنوان **صفحه**

فصل اول: سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب ۷

فصل دوم: حذف مواد آلی و معدنی در سیستم‌های طبیعی ۳۷

فصل سوم: تالاب‌ها ۵۳

فصل چهارم: سیستم‌های برکه‌ای ۱۰۲

فصل پنجم: سیستم‌های On site ۱۲۶

فصل ششم: سیستم‌های تصفیه در زمین ۱۳۸

فصل هفتم: مدیریت لجن و کاربرد آن ۱۵۶

منابع ۱۸۸

فصل اول

سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب

کلیات

با افزایش جمعیت و گسترش صنایع، مسأله آلودگی محیط زیست روز بـه روز از اهمیـت بیشـتری برخـوردار مـی‌گـردد. همچنین با گسترش زندگی ماشینی و عدم توجه جوامع به حفاظت از محیط زیست، هر روز انـواع بیشـتری از آلـودگی‌هـا، حیات انسان و حیوانات را در معرض خطراتی جدی قرار می‌دهد. از طرفی، فناوری‌های نوین، سبب ورود انواع آلاینده‌ها بـه محیط زیست گردیده، و موجب آلودگی آب، هوا، خاک و نهایتا" ایجاد تغییرات اقلیمی زمین شده است.

مسأله کمبود آب شیرین، با افزایش جمعیت جهان و ارتقاء سطح رفاه زندگی و نیاز به مصرف بیشتر آب، روز به روز جدی تر شده، و تأمین آن بسیار دشوار تر گردیده است. از میزان آب شیرین موجود در کره زمین (حـدود ۲/۶۶ درصـد)، کـه بـه صورت‌های مختلف زیرزمینی، سطحی و یخ‌های قطبی پراکنده شده‌اند، تنها ۰/۶ درصد آن، آب قابل شرب می‌باشد.

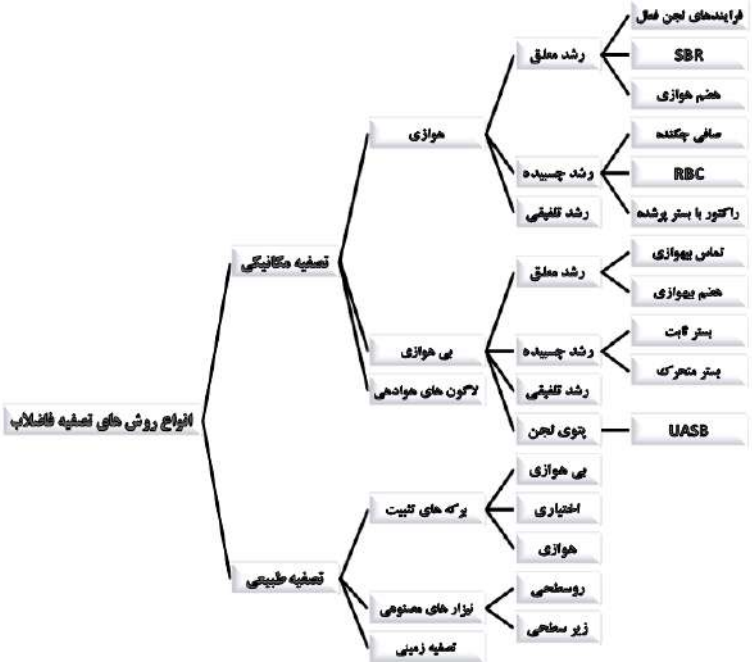
از منابع مهم آلودگی آب‌های شیرین، می‌توان به پساب‌های آلوده شهری، روستایی، کشاورزی، صنعتی و دامی اشاره کرد. بنابراین برای حفاظت ازمنابع آب شیرین و جلوگیری از آلودگی محیط زیست و بهداشت همگانی، جمع آوری و پایش پساب آلوده و استفاده مجدد از این آب‌ها برای مصارف غیر خانگی به ویژه در ایـران، بـه علـت کمبـود آب آشـامیدنی، از اهمیـت ویژه‌ای برخوردار است.

در حال حاضر، ایجاد تأسیسات جمع آوری و تصفیه فاضلاب، یکی از مهمترین زیرساخت‌هـا در ارائـه خـدمات شـهری و حتی روستایی می‌باشد، که به دلیل اهمیت و پیچیدگی عملیات آن، به یک صنعت و تکنولوژی مهم در جهان تبـدیل شـده است. بیش از یک قرن است که تحقیقات بسیار گسترده‌ای در زمینه تصفیه فاضـلاب جهـت دسـتیابی بـه انـواع روش‌هـای تصفیه صورت گرفته است. شاید در ابتدا محققین بدون توجه به پیچیدگی، هزینه و اندازه سیستم‌های تصـفیه فاضـلاب بـه دنبال سیستم‌هایی کارآمد با تکنولوژی بالا بودند، اما امروزه این رویکرد بسیار متفاوت شـده اسـت، بـه طـوری کـه تمـامی محققین و شرکت‌های فعال در زمینه صـنعت فاضـلاب عـلاوه بـر دسـتیابی بـه سیسـتم‌هـایی کارآمـد، بـه دنبـال سـاخت سیستم‌هایی کم هزینه، ساده، با ابعاد کوچک، مصرف انرژی بسیار پائین و راهبری ساده و بدون نیـاز بـه نیـروی متخصـص می‌باشند، به طوری که دستیابی به این سیستم‌ها در بین دانشمندان علوم محیط زیسـت و شـرکت‌هـای سـازنده، بصـورت رقابت درآمده است.

روش‌های تصفیه فاضلاب که در آن‌ها حذف آلاینده‌ها از طریق واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی صورت می‌گیرد، به عنوان فرایندهای واحد تصفیه معروف هستند. در حال حاضر، عملیات و فرایندهای واحد تصفیه درهم ادغام شده، و آنچه را که امروزه مراحل اولیه، ثانویه و نهایی تصفیه نامیده می‌شوند، را تشکیل داده‌اند. فرایند تصفیه فاضلاب بر خلاف فرایند تصفیه آب، به علت بکارگیری موجودات زنده در عملیات تصفیه بسیار پیچیده و حساس می‌باشد، به طوری که هر گونه اشتباه در طی طراحی، اجرا و بهره برداری واحدهای مختلف تصفیه، عملیات تصفیه را دچار مشکل نموده و هزینه‌های هنگفتی را از جنبه اصلاح مشکل، بهره‌برداری و همچنین خسارات زیست محیطی ناشی از آن وارد خواهد نمود.

امروزه تکنولوژی‌های تصفیه فاضلاب متعددی عمدتا" متشکل از دو نوع تصفیه مکانیکی و تصفیه طبیعی، جهت پالایش انواع فاضلاب‌ها وجود دارد، که بسته به مشخصات فاضلاب، وضعیت اقلیمی، وضعیت منابع مالی، بزرگی و کوچکی پروژه، استانداردهای زیست محیطی، وضعیت منابع انسانی متخصص، وضعیت توپوگرافی منطقه، قابلیت‌های اجرایی، نحوه بهره برداری، شرایط رفاهی، مسائل سیاسی و اجتماعی منطقه و سایر پارامترهای مرتبط می‌تواند بسیار متفاوت باشد. در شکل۱-۱، نمودار کلی انواع روش‌های تصفیه فاضلاب آمده است.

یکی از مهمترین معیارهای طراحی، اجرا و بهره برداری از سیستم‌های تصفیه فاضلاب، توجه به استانداردهای زیست محیطی می‌باشد که خود سهم مهمی در انتخاب نوع فرایند خواهد داشت. چرا که در برخی از مناطق علی رغم امکان طراحی و اجرای بسیاری از سیستم‌های تصفیه فاضلاب، ممکن است به دلیل وجود قوانین سخت گیرانه زیست محیطی، نتوان هر سیستمی را طراحی و اجرا نمود. در مقابل، ممکن است نوع کاربری پساب و نحوه دفع آن و همچنین مقایسه آن با استانداردهای زیست محیطی، متفاوتی را برای اجرای بسیاری از سیستم‌های تصفیه فاضلاب فراهم آورد. به عنوان مثال، درصورتی که پساب وارد آب‌های پذیرنده گردد، و یا به منظور آبیاری در کشاورزی استفاده گردد، ممکن است در نحوه انتخاب فرایند، معیارهای طراحی، نحوه چیدمان واحدها و حتی تعداد واحدهای مورد استفاده تاثیر گذارد. لذا همواره می بایست توجه کافی به نحوه دفع پساب و استانداردهای زیست محیطی موجود در این رابطه صورت گیرد، تا بتوان بهترین تصمیم را درخصوص مدیریت تصفیه پساب اخذ نمود. در جدول۱-۱، برخی از استانداردهای شاخص زیست محیطی ارائه شده است.



شکل ۱-۱: نمودار کلی انواع روش‌های تصفیه فاضلاب

گروه تألیف دکتر خلیلی

در طی سالیان اخیر هزینه‌های زیادی برای ساخت واحدهای تصفیه فاضلاب صرف شده است. متأسفانه عملکرد بسیاری ازاین تأسیسات قادر به ایجاد شرایط تخلیه مجاز فاضلاب نبوده است. در بسیاری از موارد، به منظور برآورده شدن معیارهای تخلیه فاضلاب و تأمین عملکرد مطمئن‌تر سیستم، ایجاد تغییرات و یا طراحی مجدد واحد تصفیه با صرف هزینه‌های گزاف اجتناب ناپذیر بوده است. در حال حاضر برای پاسخگویی به نیازهای فعلی تخلیه، واحدهای تصفیه بهسازی شده ای لازم است که بهره برداری و نگهداری آن آسان تر باشد. همچنین با توجه به ضرورت حفاظت از منابع و انرژی، تجزیه و تحلیل میزان مصرف انرژی در پروژه‌های تصفیه خانه فاضلاب، امری ضروری است. بنابراین فرایندهایی که منابع و انرژی بیشتری را حفظ می‌کنند، به علت کمک به حفظ ذخایر انرژی و صرفه جویی قابل توجه در هزینه‌های احداث و بهره برداری، مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. در نتیجه پروژه‌ها با هدف به حداقل رساندن مصرف انرژی در واحدهای تصفیه فاضلاب، از طریق توجه دقیق تر به تعیین محل واحدها و طراحی تأسیساتی که برای گرمایش واحدها و تولید برق از انرژی بازیافتی استفاده می‌کنند، طراحی می‌گردند.

جدول ۱-۱: استانداردهای زیست محیطی خروجی فاضلاب برای برخی از آلاینده های شاخص در ایران

ردیف	مواد آلاینده		مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l	تخلیه به چاه جاذب mg/l	تخلیه آب‌های سطحی mg/l
۱	اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی	BOD5	۳۰(لحظه ای ۵۰)	۳۰(لحظه ای ۵۰)	۱۰۰
۲	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	COD	۶۰(لحظه ای ۱۰۰)	۶۰(لحظه ای ۱۰۰)	۲۰۰
۳	مجموع مواد جامد معلق	TSS	۴۰(لحظه ای ۶۰)	--------	۱۰۰
۴	اکسیژن محلول (حداقل)	DO	۲	--------	۲
۵	آمونیوم بر حسب	NH4	۲/۵	۱	--------
۶	نیتریت بر حسب	NO2	۱۰	۱۰	--------
۷	نیترات بر حسب	NO3	۵۰	۱۰	--------
۸	فسفات برحسب	فسفر	۶	۶	--------
۹	پ هاش	pH	۸/۵ – ۶/۵	۹ - ۵	۸/۵ - ۶
۱۰	کل کلیفرم(در ml ۱۰۰)	MPN	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۱۱	کلیفرم مدفوعی(در ml ۱۰۰)		۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
۱۲	تخم انگل		--------	--------	کمتر از ۱

منبع: استانداردهای زیست محیطی ایران

هزینه‌های بهره برداری و نگهداری برای شرکت‌های آب و فاضلاب و به خصوص برای جوامع کوچک که بودجه محدودی در اختیار داشته و کلیه هزینه‌های آن‌ها از اعتبارات محلی تأمین می‌شود، بسیار مهم است. در سال‌های اخیر مبحث مهندسی ارزش که به بررسی و بازبینی طرح و ارائه پیشنهاد بهسازی می‌پردازد، در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، جهت ارتقاء سیستم‌های تصفیه فاضلاب درحال بهره برداری، اجرا و حتی درحال طراحی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. درکشور ما ایران نیز اخیرا" توجه به مهندسی ارزش، مهندسی مجدد و ارتقاء فرایندهای تصفیه فاضلاب مورد توجه و در دستور کار وزرات نیرو قرار گرفته است. بررسی‌های مهندسی ارزش موجب صرفه جویی چشمگیری در هزینه‌های سرمایه گذاری خواهد شد.

در حال حاضر تحقیقات وسیع و گسترده‌ای بر روی اغلب عملیات و فرایندهای مورد استفاده در تصفیه فاضلاب، از دیدگاه کاربرد و اجرا صورت گرفته است. امروزه اکثر محققین و دست اندکاران صنعت فاضلاب در دنیا در پی دستیابی به روش‌هایی

گروه تألیفی مکتب خلیلی

ساده، ارزان قیمت، کوچک و فشرده، با بهره برداری و نگهداری راحت و در نهایت با راندمانی بالا می‌باشند که در نتیجه، این امر موجب شده، تا ضمن ایجاد تحولی چشمگیر، تغییرات فراوان در فرایندها صورت گرفته، و روز به روز فرایندهای جدیدی ابداع و بکار گرفته شوند. یکی از مشکلات سیستم‌های تصفیه فاضلاب، تولید لجن و افزایش تولید آن، به علت احداث واحدهای اضافی تصفیه ثانویه و پیشرفته، که سبب اعمال فشار بر ظرفیت روش‌های موجود تصفیه و دفع لجن خواهد شد، می‌باشد.

اگرچه روز به روز سیستم‌های مکانیکی و پیشرفته به صنعت عظیم فاضلاب دنیا اضافه می‌گردد و تمرکز بسیاری از محققین و شرکت‌های طراح و سازنده بر روی سیستم‌های نوین مکانیکی و فشرده با راندمان بالا متمرکز شده است، اما هنوز تاکید برخی از محققین و مهندسین بر روی اصلاح معیارهای طراحی، اجرا، بهره برداری و مدیریت سیستم‌های تصفیه طبیعی فاضلاب بوده و در این زمینه به موفقیت‌های مهمی نیز دست یافته‌اند. در حال حاضر، سیستم‌های تصفیه طبیعی فاضلاب، به خصوص سیستم‌های برکه تثبیت و نیزارهای مصنوعی خصوصاً در مناطق کوچک شهری و روستایی و حتی در مناطق بزرگ نیز در حال توسعه و اجرا می‌باشند. آنچه در این زمینه حائز اهمیت است انتخاب فناوری مناسب با توجه به مشخصات فاضلاب، وضعیت آب و هوایی، وضعیت اقتصادی منطقه و منابع مالی موجود، بزرگی و کوچکی پروژه، استانداردهای زیست محیطی، وضعیت منابع انسانی متخصص، وضعیت توپوگرافی منطقه، قابلیت‌های اجرایی، نحوه بهره‌برداری و نگهداری، نوع منابع پذیرنده پساب تصفیه شده، سطح آب‌های زیر زمینی، میزان زمین در دسترس، عمر طرح، جنس زمین، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، نرخ تورم، نرخ بهره بانکی، وضعیت توسعه منطقه، شرایط گردشگری و فرهنگی، پتانسیل‌های بالقوه منطقه، شرایط رفاهی و بهداشتی، مسائل سیاسی، امنیتی و اجتماعی هر منطقه است که استفاده از روش مورد نظر را ممکن می‌سازد. در چنین شرایطی روش‌های آسان، ارزان و کارآمد پالایش فاضلاب که فاقد تبعات اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی باشند، از اهمیت دو چندان برخوردار می‌گردند و زمینه را برای تلاش پژوهشگران فراهم می‌سازند.

سیستم‌های تصفیه فاضلاب مکانیکی از اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم تا به امروز به طور فزاینده مورد استفاده قرار گرفته‌اند و هر روز در حال رشد و توسعه می‌باشند. این سیستم‌ها به دلیل راندمان بالا، کوچک بودن و نیاز به زمین کم، همواره مورد توجه و گزینه اصلی تصفیه فاضلاب در مناطق بزرگ شهری و صنعتی و حتی در برخی مناطق کوچک و روستایی با شرایط خاص بوده‌اند. از متداولترین سیستم‌های تصفیه فاضلاب مکانیکی در مناطق شهری دنیا، فرایند لجن فعال متعارف و هوادهی ممتد می‌باشند. این سیستم‌ها و سایر سیستم‌های مکانیکی متداول در دنیا دارای مشکلات عمده‌ای همچون بالا بودن هزینه‌های ساخت، بالا بودن مصرف انرژی، بهره برداری و نگهداری پیچیده، نیاز به تصفیه و دفع لجن، نیاز به نیروهای متخصص و استفاده از سیستم‌های مکانیزه همچون هواده‌ها، پمپ‌ها، سیستم‌های کنترل فرایند، سیستم‌های مکانیکی آبگیری و لجن خشک کن می‌باشند، که عمدتا" از تکنولوژی بالایی برخوردار هستند. اما بر خلاف این سیستم‌ها و در صورت وجود زمین کافی، سیستم‌های تصفیه طبیعی فاضلاب از تکنولوژی پایین تری برخوردارببوده، ودر عین حال می‌توانند دارای کارآیی بالایی نیز باشند. مزایا و معایب کلی سیستم‌های تصفیه متعارف و غیر متعارف فاضلاب در جدول۱- ۲، ارائه شده است.

سالیان متمادی است که در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، پژوهش‌های بسیاری برای تصفیه پساب آلوده شهری به وسیله روش‌های طبیعی، از جمله سیستم برکه‌های تثبیت، نیزار های مصنوعی(وتلندها) و روش‌های تصفیه زمینی در حال انجام می‌باشد. از بین سیستم‌های حاضر، سیستم برکه‌های تثبیت فاضلاب متداول تر بوده، و تقریباً در سرتاسر دنیا جهت تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی، مورد بهره برداری قرار گرفته است. این سیستم‌ها، سیستم‌هایی نسبتاً مناسب، خصوصاً در مناطق گرمسیری بوده که ساخت و بهره برداری از آن‌ها بسیار ساده و کم هزینه است. از جمله معایب این سیستم می‌توان به زمین مورد نیاز فراوان و وجود غلظت بسیار بالای مواد معلق و انواع جلبک‌ها در پساب تصفیه شده خروجی اشاره نمود. با این وجود بکارگیری این روش به خصوص در مناطق کوچک و روستایی که پساب دارای کاربری کشاورزی می‌باشد، بسیار مطلوب و کم هزینه است.

پس از سیستم برکه‌های تثبیت، یکی از سیستم‌های تصفیه طبیعی که طی چند دهه اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا خصوصاً کشورهای توسعه یافته‌ای همچون آلمان، آمریکا، هلند، چین، استرالیا، دانمارک و حتی هند، مورد توجه قرار گرفته

گروه تألیف دکتر خلیلی

است، سیستم تصفیه فاضلاب به کمک گیاهان یا نیزار مصنوعی می‌باشد که از سال ۱۹۷۰ میلادی تا کنون تحقیقات زیادی در زمینه توانایی این سیستم‌ها برای تصفیه انواع فاضلاب‌ها به خصوص فاضلاب‌های شهری انجام گرفته است.

امروزه توانایی گیاهان آبزی بزرگ (ماکروفیت‌ها) جهت کمک به تجزیه و تصفیه فاضلاب انسانی و حیوانی، حذف میکروارگانیسم‌های بیماریزا و همچنین حذف بسیاری از آلاینده‌ها، منجر به افزایش بکارگیری سیستم‌های گیاهی و دامنه وسیع تر تحقیقات در این خصوص شده است. این سیستم‌ها که دارای دو دسته بندی کلی شامل نیزار مصنوعی روسطحی و نیزار مصنوعی زیر سطحی می‌باشد، به دلیل توانایی و مکانسیم چندگانه تصفیه (فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی)، طبیعی بودن سیستم، بهره برداری و نگهداری ساده و ارزان و راندمان بالای تصفیه، روز به روز در حال گسترش می‌باشد. از دیگر مزایای سیستم نیزار مصنوعی هزینه سرمایه گذاری پایین، عدم نیاز این سیستم به نیروهای متخصص بهره بردار و همچنین بکارگیری آن‌ها هم برای جوامع کوچک و همچنین به عنوان یک مرحله تصفیه نهایی در جوامع بزرگ می باشد.

در سیستم‌های مختلف تصفیه نیزار مصنوعی میزان حذف بالایی از مواد آلی، نیتروژن، فسفر، فلزات سنگین، عوامل بیماریزا و غیره گزارش شده است.

جدول ۱-۲: مزایا و معایب تکنولوژی‌های تصفیه فاضلاب متعارف و غیر متعارف

نوع فرایند تصفیه	مزایا	معایب
سیستم های تصفیه آبزی		
برکه‌های تثبیت	- هزینه‌های سرمایه گذاری پائین - هزینه‌های بهره برداری و نگهداری پائین - نیاز پائین به نیروی انسانی متخصص	- نیاز به مساحت بزرگی زمین - تولید مقدار زیادی بوهای نامطبوع
لاگون‌های هوادهی	- مساحت زمین مورد نیاز نسبتاً پائین - تولید مقدار کمی بوهای نامطبوع	- نیاز به تجهیزات مکانیکی جهت هوادهی - تولید پساب خروجی با غلظت بالای جامدات معلق
سیستم‌های تصفیه زمینی		
سپتیک تانک	- قابل کاربرد برای منازل تک واحدی - بهره برداری و نگهداری ساده - قابل ساخت برای مناطق روستایی	- راندمان تصفیه پائین - گاهی اوقات بایستی پمپ شود - نیاز به دفن بهداشتی دوره ای جهت دفع لجن
نیزار مصنوعی	- حذف بیش از ۷۰ درصد جامدات و باکتری - هزینه های سازهای حداقل - بهره برداری و نگهداری ساده و کم هزینه	- نیاز به حذف دوره ای گیاهان مازاد - بهترین کاربرد برای مناطق دارای گیاهان بومی
سیستم‌های مکانیکی		
سیستم‌های فیلتراسیون	- نیاز به حداقل زمین - هزینه نسبتاً پائین - بهره برداری ساده	نیاز به تجهیزات مکانیکی
راکتورهای بیولوژیکی عمودی	- راندمان بالا - زمین مورد نیاز پائین - قابل کاربرد برای جوامع کوچک تا شهرهای بزرگ	- هزینه بالا - تکنولوژی پیچیده - نیاز به نیروی انسانی متخصص - نیاز به انرژی بالا
سیستم لجن فعال	- راندمان بالا - زمین مورد نیاز پائین - قابل کاربرد برای جوامع کوچک تا شهرهای بزرگ	- هزینه بالا - نیاز به مساحتی جهت دفع لجن - نیاز به نیروی انسانی متخصص

گروه تألیف دکتر خلیلی

با توجه به توانایی تصفیه سیستم‌های طبیعی در حذف مواد آلی و سایر آلاینده‌های موجود در فاضلاب و همچنین دیگر مزایای مورد اشاره در بالا، توجه، تحقیق و بررسی در بکارگیری این سیستم می‌تواند در بسیاری از جوامع، مفید و مقرون به صرفه باشد.

۱-۱- مقدمه

سیستم‌های طبیعی، سیستم‌های غیر مکانیکی هستند که عملکرد آن‌ها وابسته به اجزاء طبیعی، نظیر ارگانیسم‌های بیولوژیکی می‌باشد.

سیستم‌های طبیعی شامل فرایندهایی هستند که هرچند برای دستیابی به هدف اصلی، نیاز به پمپ و لوله‌گذاری دارند، ولی وابسته به منبع انرژی خارجی در بخش‌های مهم تصفیه نمی‌باشند. در سال ۱۹۷۲، قانونی تحت عنوان قانون آب پاک (CWA)[1] (Pl92-500) در رابطه با روش‌های طبیعی تصفیه پس‌ماندها تدوین گردید. در این قانون به این نکته اشاره شده است که سیستم‌های طبیعی، به تنهایی قادر به رسیدن به تخلیه صفر نبوده و برای رسیدن به تخلیه صفر ترکیبی از روش تصفیه مکانیکی پیشرفته با تصفیه طبیعی مورد نیاز است.

اولین بار در قرن ۱۹، استفاده از زمین برای تصفیه فاضلاب به عنوان یک روش قابل قبول مطرح گردید، هرچند با اختراع تجهیزات مدرن، به تدریج این روش‌ها کمرنگ شدند.

مطالعات و تحقیقات بیشتری که درزمینه تصفیه طبیعی انجام شد، نشان داد که زمانی می‌توان به تمام اهداف بیان شده در قانون Pl92-500 دست یافت که همزمان با تصفیه، بتوان نوترنیت‌ها، سایر مواد معدنی و هم چنین موادآلی موجود در موادزائد را بازیافت کرد.

بنابراین تصفیه فاضلاب در زمین به عنوان یک روش تصفیه قابل قبول در طی دهه عبور از قانون Pl92-500 شناخته و پذیرفته شد.

۱-۲- انواع سیستم‌های تصفیه فاضلاب

به طور کلی سیستم‌های طبیعی برای تصفیه موثر فاضلاب، به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف-آبی[2]

ب-خاکی[3]

ج-تالاب‌ها[4]

در جدول ۱-۳، طبقه بندی انواع سیستم‌های طبیعی آورده شده است.

1 Clean Water Act
2 Aquatic treatment unit
3 Terrestrial treatment system
4 Wetlands

گروه تألیف دکتر خلیلی

جدول۱-۳: طبقه بندی انواع سیستم‌های طبیعی

موارد استفاده	تصفیه آب		تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد
سیستم‌های خاکی(آبی/خاکی)، تغذیه آبی مدیریت شده	فیلتراسیون تغذیه مصنوعی تصفیه سطحی- زیرسطحی تصفیه آب‌های زیرزمینی		آبیاری آهسته[1] تصفیه آبی- خاکی[2] جریان روزمینی[3]
سیستم‌های آبی	برپایه گیاهان(ماکروفیت‌ها)		تالاب های مصنوعی[4] حوضچه های سنبل آبی[5]
	برکه‌ای[6]	مخازن ذخیره	بی هوازی[7] هوازی[8] اختیاری(برکه های جلبکی)[9] تکمیلی[10]

الف- سیستم‌های تصفیه آبی

سیستم‌های تصفیه آبی اغلب به دو زیرگروه سیستم‌های برکه‌ای و لاگون تقسیم بندی می‌شوند.

در جدول ۱-۴، پارامترهای طراحی وچگونگی عملکرد واحدهای تصفیه آبی آورده شده است. در همه موارد تصفیه توسط اجزای بیولوژیکی صورت می‌گیرد.

جدول۱-۴: ویژگی‌های طراحی و عملکرد مورد انتظار برای واحدهای تصفیه آبی

مفاهیم	اهداف تصفیه	نیاز های آب و هوایی	زمان ماند (روز)	عمق، فوت (متر)	بارگذاری آلی ib/ac-d) یا (kg/ha-d	مشخصات جریان
برکه اکسیداسیون	ثانویه	گرم	۱۰-۴۰	۱-۱/۵ ۳-۵	;۴۰-۱۲۰ ۳۶-۱۰۷	BOD ۲۰-۴۰ TSS ۸۰-۱۴۰
برکه اختیاری	ثانویه	-	۲۵-۱۸۰	۱/۵-۲/۵ ۵-۸	۲۰-۶۰ ; ۲۲-۶۷	BOD ۳۰-۴۰ TSS ۴۰-۱۰۰
برکه اختیاری با اختلاط جزئی	ثانویه، پالایش	-	۷-۲۰	۲-۶ ۶/۵ -۲۰	; ۵۰-۲۰۰ ۴۵-۱۵۰	BOD ۳۰-۴۰ TSS ۳۰-۴۰
برکه ذخیره و تخلیه کنترل شده	ثانویه ذخیره پالایش	-	۱۰۰-۲۰۰	۳-۵ ۱۰-۱۶	-*	BOD ۱۰-۳۰ TSS ۱۰-۴۰
برکه‌های سنبل آبی	ثانویه	گرم	۳۰-۵۰	<۱/۵ <۵	<۲۷/۳۰	BOD <۳۰ TSS <۳۰
برکه‌های سنبل آبی	AWT[11] با ورودی ثانویه	گرم	>۶	<۱	<۴۵/۵۰	BOD<۱۰ TSS <۱۰ TP<۵ TN <۵

1 Slow rate Systems (SR)
2 Soil- Aquifer Systems (SAT)
3 Overland Flow Systems (OF)
4 Constructed Wetlands
5Water Hyacinth
6 Ponds
7 Anaerobic ponds
8 Aerobic ponds
9 Facultative ponds
10 Maturation Pond
11(AWT) Advanced Water Treatment

- اولین سلول در سیستم که به عنوان یک واحد تصفیه اختیاری یا هوادهی طراحی شده است.

نکته: AWT (تصفیه پیشرفته آب)، BOD (اکسیژن مورد نیـاز بیولـوژیکی)، TSS (کـل جامـدات معلـق)، TP (فسـفرکل)، TN (نیتروژن کل)

شایان ذکر است که در تمام سیستم‌ها، عملکرد و کیفیت پساب نهایی به حضور جلبک ها در سیستم بستگی دارد.

ب- روش‌های تصفیه از طریق خاک

جدول۱-۵، نشان دهنده پارامترهای طراحی و بهره برداری سیستم‌های خاکی می‌باشد.

جدول۱-۵: واحدهای تصفیه پیشرفته، ویژگی‌های طراحی و عملکرد

مفاهیم	اهداف تصفیه	نیازهای آب و هوایی	گیاه	سطح هکتار(ایکر)[a]	بار هیدرولیکی (m/yr یا ft/yr)	مشخصات جریان
جریان آرام	ثانویه یا AWT	فصول گرم تر	بله	(۲۳-۲۸۰)(۵۷-۷۰۰)	(۰/۵-۶) (۱/۶-۲۰)	BOD <۲ TSS<۲ TN b<۳ TP <۱ FC c0
تصفیه آبی خاکی	ثانویه ،AWT، یا تخلیه آب‌های زیرزمینی	-	خیر	(۳-۲۳) (۷۵-۵۷)	(۶-۱۲۵)(۲۰-۴۱۰)	BOD ۵ TSS۲ TN ۱۰ TP d<۱ FC۱۰
پخش فاضلاب در زمین	ثانویه، حذف نیتروژن	فصول گرم تر	خیر	(۶-۴۰) (۱۰۰- ۱۵)	(۳-۲۰) (۱۰-۶۶)	BOD ۱۰ TSS e ۱۰ TN<۱۰
در محل	ثانویه به پیشرفته	-	خیر	برای جریان با دبی بیش از ۳۷۸۵ مترمکعب بر روز کارایی ندارد-سایز بستر و عملکرد به سطح تصفیه مقدماتی بستگی دارد		

a - برای طراحی جریان یک میلی گرم در روز، b- حذف نیتروژن به نوع محصول و مدیریت آن بسـتگی دارد، C - تعـداد بر ۱۰۰میلی لیتر، d- بلافاصله در نزدیکی حوضچه اندازه گیری شده است، حذف با افزایش مسافت، افزایش یافته است، e - کل جامدات معلق، بستگی به نوع فاضلاب به کارگیری شده دارد.

از انواع روش‌های تصفیه از طریق خاک می‌توان به فرایندهای با سرعت پایین، تصفیه آبی – خـاکی، جریـان رو زمینـی و سیستم‌های در محل[1] اشاره کرد.

روش‌های با سرعت پایین و جریان زمینی نیاز به حضورگیاهان به عنوان اجزاء اصلی تجزیه دارند که در ایـن سیسـتم‌هـا می‌توان از محدوده وسیعی از گیاهان، بوته‌ها و درختچه‌ها استفاده کرد. مشخصات طراحی سیستم‌های خـاکی، وابسـته بـه واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ماتریکس خاک می‌باشد. در این سیستم‌ها، میزان بارگذاری هیـدرولیکی[2] بـرای حفظ گیاهان مفید، بالاتراست.

هر سه نوع سیستم قادر به تولید پسابی با کیفیت مطلوب می‌باشند. به طوری که در بعضی موارد، فرایند با سرعت پـایین می‌تواند برای تولید آبی با کیفیت در حد آب آشـامیدنی طراحـی گـردد. اسـتفاده مجـدد آب تصـفیه شـده در همـه انـواع سیستم‌های مذکور، امکان پذیر است. شایان ذکر است که بیشتر سیستم‌های با سرعت پایین و تصفیه آبی- خاکی نیـاز بـه زهکش یا چاهی برای بازیافت آب دارند.

1 Onsite Systems
2 Hydraulic Loading Rate

گروه تألیف دکتر خلیلی

نوع دیگر سیستم‌های خاکی، سیستم‌های در محل هستند که برای مجتمع‌های مسکونی، مدارس، اماکن عمومی و تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع سیستم‌ها معمولا" شامل یک مرحله تصفیه مقدماتی و متعاقب آن دفع در زمین هستند.

ج- واحدهای تصفیه تالاب‌ها

تالاب‌ها به عنوان زمین‌هایی تعریف می‌شوند که در آن‌ها سطح آب در حدی است که خاک موجود در آن همواره به حالت اشباع نگه داشته شود. این امر سبب رشد گیاهان در تالاب‌ها می‌گردد. توانایی تصفیه فاضلاب در تالاب‌ها، توسط مطالعات متعددی به اثبات رسیده است. تالاب‌های مورد استفاده در تصفیه فاضلاب شامل باتلاق‌های طبیعی[1]، مرداب‌ها[2]، لجن‌زارها[3]، مصب رود خانه‌ها[4] و تالاب‌های مصنوعی (سیستم‌هایی که اختصاصا" برای تصفیه فاضلاب طراحی شده‌اند) می‌باشند. در جدول ۱-۶، ملاحظات طراحی و عملکرد انواع سیستم‌های تالابی نشان داده شده است. آزمایشات انجام شده روی پساب خروجی از تالاب‌ها، نشان دهنده کارآیی مناسب این روش در دستیابی به استانداردهای تخلیه می‌باشد.

جدول۱-۶: ویژگی‌های طراحی و عملکرد مورد انتظار برای انواع تالاب‌ها (وتلند)

مفاهیم	اهداف تصفیه	نیازهای آب و هوایی	زمان ماند(روز)	عمق فوت (متر)	بارگذاری آلی (lb/ac-d) (kg/ha-d)	مشخصات جریان	
باتلاق‌های طبیعی	AWT با ورودی ثانویه، پالایش	گرم	۱۰	۰/۶-۳(۰/۲-۱)	۹۰(۱۰۰)	(۱-۵) (۵-۱۵) (۵-۱۰)	BOD5 TSS TN
تالاب‌های مصنوعی							
جریان آب سطحی	ثانویه به AWT	-	۷-۱۵	۰/۳۳-۲ (۰/۱-۰/۰۶)	۱۸۰(۲۰۰)	(۱-۵) (۵-۱۵) (۵-۱۰)	BOD5 TSS TN
جریان زیر سطحی	ثانویه به AWT	-	۳-۱۴	۱-۲ (۰/۳-۰/۶)	۵۳۵(۶۰۰)	(۱-۵) (۵-۱۵) (۵-۱۰)	BOD5 TSS TN

تالاب‌های مصنوعی[5]، روشی قابل اعتماد برای تصفیه فاضلاب هستند. از انواع آن‌ها می‌توان به تالاب‌های سطحی[6] و زیر سطحی[7] اشاره کرد.

د-روش‌های اجرایی مدیریت لجن

از فرایندهای دیگر که در دسته تصفیه طبیعی قرارمی‌گیرند، می‌توان از فرآیندهای فرآوری لجن[8] نام برد. این فرآیندها شامل انجماد[9]، کمپوست وبسترهای نی[10] می‌باشند. در جدول ۱-۷ مشخصات این سیستم‌ها آمده است. فرایند انجماد می‌تواند درصد جامدات لجن را تا حدود ۳۵درصد و بالاتر افزایش دهد. فرایندکمپوست سبب تولید لجنی تثبیت شده با

1 Preexisting Natural Marshes
2 Swamp
3 bags
4 Strands
5 Constructed Wetlands
6 Free Water Surface(FWS)
7 Subsurface Flow(SSF)
8 Sludge Management processes
9 Freezing
10 Reed beds

حداقل میزان پاتوژن، و همچنین کاهش زیاد درصد رطوبت لجن می‌گردد. از فواید بسترهای نی، داشتن لجن تثبیت شده برای مدت زمان طولانی است. در این روش غلظت قابل قبول جامدات برای دفن بهداشتی به سرعت مهیا می‌گردد.

جدول ۱-۷: مدیریت لجن با روش‌های طبیعی

مفهوم	شرح	محدودیت ها
انجماد	- روشی برای خشک کردن لجن‌ها در ماه‌های زمستان و آب و هوای سرد. - موثرتر و مطمئن تر از همه ابزارهای مکانیکی موجود. - در بسترهای شنی موجود می‌تواند استفاده شود.	در آب و هوای سرد تاثیر بیشتری دارد، چون در این آب و هوا، لایه لجن طراحی شده بهترخشک می‌شود.
کمپوست	فرایندی برای تثبیت و خشک کردن بیشتر لجن‌ها با قدرت کشندگی چشمگیر پاتوژن‌ها.	به یک عامل حجم دهنده و تجهیزات مکانیکی برای اختلاط و ذخیره نیاز دارد. به کارگیری در زمستان و آب و هوای سرد سخت می‌باشد.
بسترهای نی	شیارهای باریک یا بستر ماسه‌ای و زهکشی شده. گیاهان به حذف آب کمک می‌کنند.	بهتر است در مناطقی با آب و هوای گرم بکاررود. برداشت سالانه و دفع سبزیجات مورد نیاز است.
به کار گیری در زمین	به کارگیری لجن مایع یا نسبتا" خشک شده روی زمین‌های کشاورزی، جنگل ها یا استفاده مجدد در زمین	قوانین ایالتی و فدرال بارگذاری تجمعی فلزات را به صورت سالانه محدود می‌کند.

۱-۳- میزان هزینه و انرژی در سیستم‌های طبیعی

از مزایای قابل توجه سیستم‌های طبیعی می‌توان به هزینه ساخت و بهره برداری پایین، مصرف انرژی پایین و راندمان بالا اشاره کرد. در برنامه ریزی و مطالعات مربوط به دفع، استفاده مجدد و تصفیه فاضلاب، ارزیابی گزینه‌های مختلف برای اطمینان ازکارایی مطلوب و مقرون بصرفه بودن سیستم بسیار حائز اهمیت است. برای جوامع بدون سیستم جمع آوری فاضلاب و یا تصفیه خانه‌ای که به تازگی نصب شده است، گزینه‌های غیر متمرکز باید شامل ترکیبی از روش‌های مختلف باشد.

امکان پذیری فرایندهای تصفیه طبیعی اساسا" بستگی به شرایط محل، عوامل جوی، قوانین و مقررات و پارامترهای مرتبط دارد. انتخاب محل تصفیه در سه مرحله انجام می‌گیرد:

۱. امکان پذیری و ضرورت زمین مورد نیاز و شرایط سایت برای هر گزینه
۲. ارزیابی هرسایت با هرکدام از روش‌های انتخابی تصفیه طبیعی
۳. بررسی جزء به جزء سایت (در صورت نیاز)
۴. تعیین گزینه مقرون به صرفه
۵. توسعه معیارهای اساسی برای طراحی نهایی

یکی دیگر از راه‌های طبقه بندی سیستم‌های طبیعی، تقسیم بندی آن‌ها بر اساس سیستم‌های تخلیه[1] وبدون تخلیه[2] می‌باشد. می‌باشد.

الف- سیستم‌های تخلیه شامل سیستم‌های تخلیه آب‌های سطحی مانند برکه‌های تصفیه[3]، تالاب‌های مصنوعی و سیستم‌های تصفیه با جریان روی زمینی(OF) می‌باشند. همچنین، در صورتی که سیستم‌های تصفیه با سرعت پایین

1 Discharge Systems
2 Nondischarge Systems
3 Treatment Ponds

گروه تألیف دکتر خلیلی

زهکشی(SR) یا سیستم‌های آبی خاکی(SAT) مجوزهای مورد نیاز سیستم محدودیت تخلیه آلاینده‌های ملی[1] (NPDES) را داشته باشند، می‌توانند در این دسته بندی قرار گیرند.

ب- سیستم‌های بدون تخلیه شامل تصفیه در زمین با سرعت پایین(SR)، سیستم‌های آبی- خاکی(SAT)، سیستم‌های تصفیه درمحل و سیستم‌های تصفیه جامدات بیولوژیکی می‌باشند. در جدول ۱- ۸ پارامترهای طراحی برای هردو سیستم آورده شده است. همچنین جدول۱-۹ نشان دهنده منابع اطلاعاتی مورد نیاز جهت برنامه ریزی سایت می‌باشد.

جدول ۱-۸: مشخصات محل ساخت سیستم‌های با تخلیه

مفاهیم	نیازها
برکه‌های تصفیه	تخلیه به آب‌های سطحی در صورت نزدیکی به این آب‌ها، خاک‌های نفوذ ناپذیر نفوذ در زمین را به حداقل می‌رساند، شیب زمین نباید تند باشد، در مسیر سیلاب‌ها نباید تخلیه شود. در عمق مورد نیاز برای تخلیه، هیچ بستر سنگی و یا سفره آب زیرزمینی نباشد
تالاب‌های مصنوعی	تخلیه به آب‌های سطحی در صورت نزدیکی به این آب‌ها، خاک‌های نفوذناپذیر نفوذ در زمین را به حداقل می‌رساند، شیب زمین (٪۶-۰درصد)، در مسیر سیلاب‌ها نباید تخلیه شود. در عمق مورد نیاز برای تخلیه، هیچ بستر سنگی و یا سفره آب زیرزمینی نباشد
جریان روزمینی(OF)	خاک‌های نسبتا"نفوذناپذیر،خاک‌های رسی و رسی- آهکی، شیب زمین (٪۱۲-۰درصد)، در مسیر سیلاب‌ها نباید تخلیه شود. عمق سفره آب زیرزمینی و بستر سنگی اهمیت زیادی ندارد، ولی حدود ۱-۰/۵ مناسب است، برای تخلیه و یا از نقطه نظر استفاده مجدد، باید به آب‌های سطحی دسترسی داشته باشد.
جریان آرام زهکشی نشده و تصفیه آبی- خاکی	برای جریان آرام خاک‌های شنی نسبت به خاک‌های رسی با نفوذ پذیری ۱۵ سانتی متر بر ساعت ترجیح داده می‌شوند. بستر سنگی و آب زیرزمینی بیش از ۱/۵متر- شیب بیش تر از بیست درصد- زمین‌های کشاورزی با شیب کمتر از ۱۲ درصد، به استثنای لایه‌های نفوذناپذیر و یا آب‌های زیرزمینی با سطح سفره بالاتر، که در این حالت نیاز به زهکشی زیرزمینی جهت حذف آب‌های نفوذی می‌باشد. برای سیستم‌های آبی- خاکی، چاه و یا سیستم زهکشی زیرزمینی برای تخلیه مورد نیاز است

جدول۱-۹: لیست منابع اطلاعاتی برای جمع آوری اطلاعات لازم مربوط به محل ساخت سیستم‌های طبیعی

منابع اطلاعاتی	موارد اطلاعات
سازمان نقشه برداری جهت تهیه نقشه‌های توپوگرافی	ارتفاع- شیب- ویژگی‌های آب و زهکشی- مکان جاده و ساختمان
منابع طبیعی برای مطالعه حفاظت از خاک	نوع خاک- عمق و نفوذپذیری- عمق تا بستر سنگی- شیب
نقشه‌های جامع	زمین مورد استفاده- منبع آب- سیستم‌های فاضلابرو،
سازمان هواشناسی کشور	اطلاعات هواشناسی
سازمان زمین شناسی کشور	اطلاعات زمین شناسی- اطلاعات کیفیت آب، مسیل‌ها

۱-۴- برآورد سطح مورد نیاز برای سیستم‌های طبیعی

برکه‌های تصفیه

از انواع این برکه‌ها می‌توان به برکه‌های اکسایش[2]، اختیاری[3]، تخلیه کنترل شده[4]، هوادهی شده با اختلاط جزئی[5]، اختلاط کامل[1] و تاسیسات اختصاصی[2] و اصلاح شده یا متداول اشاره کرد. برآورد سطح مورد نیاز برای سیستم‌های برکه‌ای

1 National pollutant Discharge Elimination
2 Oxidation Ponds
3 Facultative Ponds
4 Controlled-Discharge Ponds
5 Partial-Mix Aerated Pond

گروه تالیفی مکتب خلیلی

بستگی به کیفیت پساب بر حسب TSS, BOD، نوع سیستم پیشنهادی، آب و هوا و به ویژه موقعیت جغرافیایی محل دارد. به عنوان مثال یک برکه اختیاری در منطقه گرمسیر نیاز به سطح کمتری نسبت به همان فرآیند در مناطق سردسیر دارد.

الف- برکه‌های اکسایش

سطح مورد نیاز برای یک برکه هوازی با عمق ۳ فوت (۱ متر)، در آب و هوای گرم و زمان ماند ۳۰ روز، با بارگذاری آلی ۹۰ کیلو گرم در هکتار در روز (۹۰ kg/ha.d) و کیفیت پساب ۳۰ mg/l، BOD و ۳۰ mg/l، TSS از معادله زیر (۱)، به دست می‌آید.

$$A_{pm} = (k) . (Q) \qquad (1)$$

A_{pm} = کل سطح موردنیاز (ایکر، هکتار)

K = فاکتور ($3X10^{-5}$, U.S. units; $3.2X10^{-3}$ metric)

Q = میزان جریان طراحی ($gal/d; m^3/d$)

ب- برکه‌های اختیاری

۱- برکه‌های اختیاری در آب و هوای سرد

برای به دست آوردن سطح مورد نیاز زمان ماند ۸۰ روز، عمق ۱/۵ متر و بارگذاری آلی ۱۶/۸ کیلوگرم بر هکتار در روز(kg/ha.d)، BOD برابر ۳۰ میلی گرم درلیتر و TSS بیش از ۳۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته می‌شود. سطح مورد نیاز (A_{fc}) مانند معادله بالا به دست می‌آید، با این تفاوت که فاکتور K، $1.6X10^{-4}$ برای سیستم آمریکایی و $1.68X10^{-2}$ در سیستم متریک در نظر گرفته می‌شود.

۲- برکه‌های اختیاری در آب و هوای گرم

با فرض زمان ماند ۶۰ روز در عمق برکه ۱/۵ متر و بارگذاری آلی ۵۶ کیلوگرم در هکتار در روز، BOD پساب ۳۰ میلی گرم در لیتر و TSS بیش از ۳۰ میلی گرم در لیتر، سطح مورد نیاز (A_{fw}) مانند معادله بالا به دست می‌آید، با این تفاوت که فاکتور K، $4.8X10^{-5}$ برای سیستم آمریکایی و $5X10^{-3}$ در سیستم متریک در نظر گرفته می‌شود.

ج- برکه‌های با تخلیه کنترل شده

این نوع برکه‌ها معمولا در آب و هوای شمالی برای پیشگیری از تخلیه در زمستان و در آب و هوای گرم برای بالابردن کیفیت پساب به دست آمده تا حد استانداردهای موجود استفاده می شوند. زمان ماند در این سیستم ها ۱۸۰ روز، عمق ۵ فوت و میزان BOD و COD بیش از ۳۰ میلی گرم در لیترمی باشد. جهت برآورد زمین مورد نیاز برای این سیستم(A_{cd}) از معادله بالا استفاده می گردد، با این تفاوت که فاکتور K، $1.32X10^{-4}$ برای سیستم آمریکایی و $1.63X10^{-2}$ در سیستم متریک در نظر گرفته می شود.

د- برکه های هوادهی با اختلاط جزئی

میزان زمین مورد نیاز دراین سیستم(A_{pm})، با تغییرات آب و هوایی متغیر است. به عنوان مثال در آب و هوای گرم زمان ماند پایین‌تر استفاده می‌شود. هرچند معمولا زمان ماند حدود ۵۰ روز، عمق ۲/۵ متر و بارگذاری هیدرولیکی kg/ha.d ۱۰۰ می‌باشد. مقدار BOD خروجی برابر ۳۰ و TSS بیش از ۳۰ میلی گرم در لیتر فرض می‌گردد.

فاکتور K دراین سیستم، $2.7X10^{-3}$، در سیستم آمریکایی و $2.9X10^{-3}$ در سیستم متریک در نظر گرفته می‌شود.

تالاب‌های مصنوعی[3]

- **تالاب‌های مصنوعی با سطح آب آزاد[4]**

1 Complete-Mix Ponds
2 Proprietary Approaches
3 Wetland
4 Free Water Surface Constructed Wetlands

گروه فارسی دکتر خلیلی

این نوع تالاب‌ها معمولا برای دریافت پساب اولیه یا ثانویه و برای یک دوره یک ساله در آب و هوای نسبتا سرد طراحی می‌شوند و در این شرایط، پسابی با کیفیت بالا تولید می‌کنند. زمان ماند ۷ روز، عمق ۰/۳ متر و بارگذاری آلی کمتر از ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار در روز فرض می‌شود. کیفیت پساب قابل انتظار شامل BOD و TSS حدود۱۰، نیتروژن کل کمتر از ۱۰ (در آب و هوای گرم) و فسفر بالای ۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد. جهت برآورد زمین موردنیاز(A_{fws})، فاکتور K دراین سیستم، $4.03X10^{-5}$، در سیستم آمریکایی و $4.31X10^{-3}$ در سیستم متریک در نظر گرفته می‌شود.

- **تالاب‌های مصنوعی با جریان زیر سطحی**[1]

این نوع تالاب‌ها معمولا نسبت به تالاب‌های سطحی، به زمین کمتری نیاز دارند. زمان ماند ۳ روز، عمق آب ۰/۳ متر، با یک عمق مدیا ۰/۴۵ متر جزمتغیرهای اصلی طراحی می‌باشند. میزان بارگذاری آلی کمتر از ۸۰ کیلوگرم بر هکتار در نظر گرفته می‌شود. کیفیت پساب قابل انتظار مشابه نوع قبلی تالاب‌ها می‌باشد. جهت برآورد زمین موردنیاز(A_{ssf})، فاکتور K دراین سیستم، $1.73X10^{-5}$، در سیستم آمریکایی و $1.85X10^{-3}$ در سیستم متریک در نظر گرفته می‌شود.

سیستم با جریان روی زمینی (OF)

سطح مورد نیاز دراین سیستم‌ها، بستگی به طول زمان بهره برداری دارد. میزان جریان موثر ورودی به سایت OF، به صورت معادله ۲، به دست می‌آید:

$$Q_M = q + (t_s)\,(q)/t_a\,(2.8) \quad (۲)$$

Q_M: میانگین جریان ماهانه طراحی بر سایت جریان زمینی (m^3/mo یا gal/mo)

q: میانگین جریان ماهانه از پیش تصفیه(m^3/mo یا gal/mo)

t_s: تعداد ماههای ذخیره سازی مورد نیاز

t_a: تعداد ماه‌ها در فصل بهره‌برداری

فرآیند OF قادر به تولید پسابی با کیفیت بالا می‌باشد. کیفیت پساب قابل انتظار شامل BOD و TSS حدود۱۰، نیتروژن کل کمتر از ۱۰ و فسفر کمتر از ۶ میلی گرم در لیتر می‌باشد. مساحت زمین مورد نیاز از معادله زیر بدست می‌آید. مساحت به دست آمده در معادله زیر با فرض زمان ماند یک روز در فصل زمستان با دمای واقعی فاضلاب و بارگذاری هیدرولیکی ۱۵ سانتی متر در هفته می‌باشد.

$$Aof = (3.9\ 10^{-4})\,(QM + 0.05qts)\ (metric)\ (2.9a) \quad (۳)$$
$$Aof = (3.7\ 10^{-6})\,(QM + 0.04qts)\ (U.S.)\ (2.9b)$$

Aof: مساحت پروژه جریان زمینی

Q_M: میانگین جریان ماهانه طراحی بر سایت جریان زمینی (m^3/mo یا gal/mo)

q: میانگین جریان ماهانه از پیش تصفیه(m^3/mo یا gal/mo)

t_s: تعداد ماههای ذخیره سازی مورد نیاز

سیستم‌های با سرعت پایین (SR)

این سیستم‌ها غالبا" در دسته سیستم‌های بدون تخلیه تقسیم بندی می‌شوند. مساحت محل بستگی به فصول بهره‌برداری، میزان کاربرد آن و نوع محصول دارد. میزان جریان طراحی برای سیستم SR از معادله ۴ محاسبه می‌گردد. سطح زمین مورد نیاز بستگی به ظرفیت هیدرولیکی خاک یا میزان بارگذاری نیتروژن دارد. سطح برآورد شده در معادله زیر معادل سطح مورد نیاز برای پیش تصفیه در یک برکه هوادهی در فصل زمستان است. کیفیت پساب (آب نفوذی[2]) شامل BOD کمتر از ۲، TSS کمتر از ۱ و نیتروژن کل کمتر از ۱۰ (یا کمتر) و فسفر کمتر از ۰/۱ میلی گرم در لیتر می‌باشد(معادله ۴).

1Subsurface Flow Constructed Wetlands
2 Percolate

$$A_{sr} = (6.0\times10^{-4})(Q_m + 0.03qt_s)$$

$$A_{sr} = (5.5\times10^{-4})(Q_m + 0.04qt_s)$$

A_{sr}: مساحت پروژه تصفیه زمینی با جریان آهسته (ایکر یا فوت)

Q_M: میانگین جریان ماهانه طراحی بر سایت جریان زمینی (m^3/mo یا gal/mo)

q: میانگین جریان ماهانه از پیش تصفیه(m^3/mo یا gal/mo)

t_s: تعداد ماههای ذخیره سازی مورد نیاز

سیستم تصفیه آبی- خاکی SAT

سیستم تصفیه آبی- خاکی یا سیستم تراوش سریع[1]، سیستم بدون تخلیه می‌باشد. بهره برداری براساس یک دوره یک ساله انجام می‌شود. میزان بارگذاری هیدرولیکی بستگی به نفوذ پذیری خاک و ظرفیت نفوذ آن دارد. کیفیت آب نفوذی قابل انتظار شامل BOD کمتر از ۵، TSS کمتر از ۲، نیتروژن کل کمتر از ۱۰ و فسفر کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر است.

$$A_{sat} = (K)(Q) \qquad (5)$$

A_{sat}: مساحت سایت پروژه SAT

K: فاکتور ($۴/۸\times۱۰^{-۷}$ در واحد U.S یا ۵×۱۰^{-۵} در واحد متریک)

Q: میانگین جریان طراحی ماهانه در سایت SAT (m^3/mo یا gal/mo)

الف- سیستم‌های فراوری لجن زیستی

زمین مورد نیاز برای سیستم‌های کاربرد زمین جهت جامدات بیولوژیکی (لجن زیستی)در جدول۱-۱۰ خلاصه شده است. مقادیر واقعی بستگی به آب و هوا و خصوصیات جامدات بیولوژیکی دارد.

جدول۱-۱۰: میزان بارگذاری جامدات بیولوژیکی جهت تخمین اولیه مساحت موردنیاز سیستم فراوری لجن

گزینه‌ها	چگونگی کاربرد	میزان بارگذاری متداول(Mg/ha)
کشاورزی	سالانه	۱۰
جنگلی	فواصل زمانی ۵ساله	۴۵
تفریحگاه ها	یک بار	۱۰۰
یک متریک تن در هکتار (Mg/ha)، x۰/۴۴۶۱=lb/ac (Mg/ha)		

۱-۵- انتخاب محل

یکی از فاکتورهای اساسی در انتخاب محل احداث سیستم‌های طبیعی، نزدیکی به منبع تولید فاضلاب است. اطلاع از موقعیت زمین مورد نظر و کاربری آن و هزینه‌ها و روش‌های رتبه بندی، از جمله پارامترهایی است که باید در انتخاب محل مد نظر قرار گیرد. به هر حال برای تعیین یک محل دقیق و مناسب، نیاز به غربالگری سایت‌های موجود می‌باشد. معمولا سیستم‌های تالاب و برکه‌ها نیاز به غربالگری پیچیده‌ای ندارند، زیرا این سیستم‌ها در مجاورت منبع تولید فاضلاب قرار داشته، و به نقطه تخلیه که از موارد مهم در انتخاب محل و حتی انتخاب روش است، دسترسی دارند.

روش غربالگری محل احداث سیستم تصفیه

1 Rapid Infiltration