بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده مهندسی عمران**

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست**

# تصفیه شیرابه های مرکز دفن بهداشتی شهر بابل با تالاب مصنوعی

**نگارنده : عبّاس رجب پور گنجی**

**اساتید راهنما:**

**دکتر سید مهدی حسینی**

**دکتر رمضان واقعی**

بهمن ۱۳۹۵

# تقدیم به پدر و مادرم

که در همه مراحل زندگی یار و

یاورم بودند

و به آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر واقعی که در طول این تحقیق، پدرانه مزاحمت هایم را تحمل نمودند و در پاسخگویی به مشکلاتم نهایت صبوری و مرحمت را به خرج دادند و مرا یاری نمودند و همچنین از زحمات جناب آقای دکتر حسینی که در تمامی مراحل این تحقیق، صمیمانه کمک حال من بودند تشکر می کنم.

اینجانب عباس رجب پور گنجی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته محیط زیست دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تصفیه شیرابه های مرکز دفن بهداشتی شهر بابل با تالاب مصنوعی تحت راهنمائی دکتر حسینی و دکتر واقعی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توســـط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

**چکیده:**

تالاب های مصنوعی از فناوری های سبز پالایش آب های آلوده می باشند که نسبت به سیستم های متعارف تصفیه فاضلاب، مقرون به صرفه تر و آسان تر می باشند. اما این سیستم ها دارای محدودیت هایی از قبیل سطح اشغال زیاد، محدودیت تأمین اکسیژن، حذف نیتروژن و محدودیت کاربرد برای تصفیه فاضلاب های با بار آلودگی بسیار بالا می باشند. این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و برروی تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی به مدت ۶۰ روز، پس از رشد گیاه با استفاده از سه سیستم: تالاب مصنوعی شاهد با شیرابه اصلی (بدون گیاه وتیور)، تالاب مصنوعی اصلی با شیرابه اصلی (با گیاه وتیور) و تالاب مصنوعی با شیرابه ۱۰ برابر رقیق شده (با گیاه وتیور) در آزمایشگاه انجام گرفت و نتایج حاصل از آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. ابعاد تالاب‌ها برابر ۱/۵×۰/۵×۰/۵ متر و بستر تالاب‌ها از شن (تخلخل۳۵ درصد)، ماسه (تخلخل ۴۸درصد) و قلوه سنگ ( تخلخل ۲۵ درصد)تشکیل شده است. گیاه وتیور با تراکم ۱۶ عدد در هر متر مربع در تالاب های اصلی و ۱۰ برابر رقیق شده کاشته شدند و نمونه برداری از ورودی و خروجی‌ها با توجه به زمان ماند، هر ۵ روز یک بار انجام گرفت. بر اساس نتایج این تحقیق، راندمان حذف $BOD_5$ ، $COD$ ، $Tss$ ، نیکل و آمونیاک برای تالاب اصلی به ترتیب برابر ۲۹ ،۳۳، ۳۹، ۳۵ و ۲۵ درصد و برای تالاب رقیق شده به ترتیب برابر با ۷۹ ، ۵۴ ،۵۷ ، ۴۶و ۷۳ درصد بدست آمد که نشان دهنده کارایی تالاب مصنوعی و گیاه وتیور در حذف آلودگی ها در تصفیه شیرابه می‌باشد. طبق نتایج حاصل از آزمایشات، در همه ی فاز های تحقیق راندمان حذف پارامتر های مورد بررسی افزایش یافته است. در میان شاخص های آلودگی بیشترین میزان افزایش به ترتیب مربوط به آمونیاک و $BOD_5$ می باشد.

**واژه های کلیدی : تالاب مصنوعی ، تصفیه شیرابه پسماند، ، گیاه وتیور**

# فهرست مطالب


**فصل۱ مقدمه ۱**

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ ضرورت پژوه..... ۳

۱-۴ اهداف پژوهش..... ۳

۱-۵ ساختار پایان نامه..... ۴

**فصل ۲ مروری بر مطالعات انجام شده ۵**

۲-۱مقدمه..... ۶

۲-۲شناخت شیرابه..... ۶

۲-۲-۱ترکیبات شیرابه..... ۷

۲-۲-۲تاثیرسن مرکز دفن بر پارامتر های شیرابه..... ۷

۲-۳تاریخچه ی تصفیه شیرابه..... ۱۳

۲-۴روش های تصفیه شیرابه..... ۱۴

۳-۴-۱-بازچرخانی شیرابه..... ۱۴

۲-۴-۲ حمل شیرابه به خارج از محوطه مرکز دفن..... ۱۴

۲-۴-۳روش طبیعی و استفاده از بستر نی(تالاب)..... ۱۴

۲-۵ انتخاب روش مناسب تصفیه شیرابه..... ۱۵

۲-۶ تالاب های طبیعی و مصنوعی..... ۱۵
۲-۶-۱ تاریخچه ی تالاب ها..... ۱۵
۲-۶-۲ کاربرد و ارزش تالاب های طبیعی..... ۱۷
۲-۶-۳ مزایای تالاب های مصنوعی..... ۱۸
۲-۶-۴ محدودیت های تالاب های مصنوعی..... ۱۸
۲-۵ انواع تالاب های مصنوعی..... ۱۹
۲-۵-۱ تالاب های مصنوعی با جریان رو سطحی..... ۲۰
۲-۵-۲ تالاب مصنوعی زیر سطحی با جریان افقی..... ۲۱
۲-۵-۳ تالاب های مصنوعی زیر سطحی با جریان عمودی..... ۲۲
۲-۶ اجزای تالاب مصنوعی..... ۲۴
۲-۶-۱ گیاه..... ۲۴
۲-۶-۱-۱ گونه های گیاهی در تالاب مصنوعی..... ۲۵
۲-۶-۱-۲ نقش گیاهان..... ۲۸
۲-۷ فرآیند های تصفیه در تالاب ها..... ۳۱
۲-۷-۱ مکانیزم های عمومی حذف آلاینده ها..... ۳۱
۲-۷-۲ مواد آلی..... ۳۲
۲-۷-۳ جامدات معلق..... ۳۱

۲-۷-۴ نیتروژن..... ۳۲

۲-۷-۴-۱ آمونیفیکاسیون..... ۳۴

۲-۷-۴-۲ نیتریفیکاسیون..... ۳۵

۲-۷-۴-۳ دنیتریفیکاسیون..... ۳۶

۲-۷-۵- فلزات سنگین..... ۳۸

۲-۷-۶ جذب سطحی و ته نشست(رسوب)..... ۳۸

۲-۷-۷ فیلتراسیون و رسوب گذاری..... ۳۹

**فصل۳ مواد و روش ها** **۴۱**

۳-۱ مقدمه..... ۴۲

۳-۲ مواد مورد استفاده..... ۴۲

۳-۲-۱مشخصه های کیفی شیرابه مرکز دفن شهر بابل..... ۴۲

۳-۲-۲ مواد تشکیل دهنده ی بستر..... ۴۳

۳-۲-۳ محل اجرای طرح..... ۴۵

۳-۲-۴ مشخصات آب و هوایی منطقه..... ۴۶

۳-۲-۵ مرحله اول تحقیق..... ۴۷

۳-۲-۵-۱ گیاه مورد استفاده..... ۴۷

۳-۲-۵-۲راکتور مورد استفاده..... ۴۹

۳-۲-۵-۳ روش ساخت راکتور..... ۴۹
۳-۲-۵-۴ برنامه ی آزمایش ها..... ۵۰
۳-۲-۶ مرحله دوم تحقیق..... ۵۲
۳-۲-۶-۱ مقدمه..... ۵۲
۳-۲-۶-۲ گیاه مورد استفاده..... ۵۲
۳-۲-۶-۳ آماده کردن تالاب ها..... ۵۳
۳-۳ مواد مورد استفاده..... ۵۶
۳-۴ آزمایش ها..... ۵۷
**فصل۴ بحث و نتیجه گیری** **۶۳**
۴-۱مقدمه..... ۶۴
۴-۲ خصوصیات کلی شیرابه در دوره آزمایش..... ۶۴
۴-۳ تاثیر تالاب های مصنوعی بر روی پارامتر pH..... ۶۸
۴-۴ اثر تالاب های مصنوعی بر روی پارامتر های COD و BOD..... ۷۱
۴-۵ تاثیر تالاب های مصنوعی بر روی پارامتر هایTSS ..... ۷۹
۴-۶ حذف فلزات سنگین..... ۸۳
۴-۷ حذف آمونیاک..... ۸۶
**فصل۵ نتیجه گیری** **۹۱**

۵-۱مقدمه.....۹۲

۵-۲ نتیجه گیری.....۹۳

۵-۳پیشنهاد ها.....۹۴

**پیوست** **۹۵**

**منابع و مراجع** **۱۰۳**

# فهرست شکل ها

شکل۲-۱-تاثیر سن مرکز دفن بر رنگ شیرابه..... ۱۲

شکل۲-۲-فرآیند تعیین روش مناسب تصفیه شیرابه..... ۱۶

شکل ۲-۳- تالاب مصنوعی با جریان رو سطحی..... ۲۱

شکل ۲-۴- تالاب مصنوعی زیر سطحی با جریان افقی..... ۲۳

شکل ۲-۵- تالاب مصنوعی زیر سطحی با جریان عمودی..... ۲۴

شکل ۲-۶- خوشه های لوئی..... ۲۶

شکل۲-۷- خوشه های نی..... ۲۶

شکل ۲-۸-تصاویر جوانه های تازه در روز های اولیه فصل بهار برای تصفیه فاضلاب..... ۲۶

شکل ۲-۹- گیاه کامل رشد یافته در فصل بهار و تابستان..... ۲۷

شکل ۲-۱۰- تصاویر گیاه در اواخر ماه پائیز در آب و هوای مدیترانه ای..... ۲۷

شکل ۲-۱۱- تصاویر گیاه در آزمایش مقیاس پایلوتی..... ۲۷

شکل ۲-۱۲- انتقال و حذف نیتروژن..... ۳۴

شکل ۳- ۱- استفاده از ماسه با ضریب تخلخل ۴۸ درصد به‌عنوان بستر رشد گیاهان در تالاب‌ها..... ۴۴

شکل ۳- ۲- استفاده از شن با ضریب تخلخل ۳۵ درصد در تالاب‌ها..... ۴۵

شکل ۳- ۳- استفاده از قلوه سنگ با ضریب تخلخل ۲۵ درصد در تالاب‌ها..... ۴۵

شکل ۳- ۴- موقعیت لندفیل بابل..... ۴۶

شکل ۳- ۵- فرآیند نمونه برداری از نی در شهرستان بابل..... ۴۸

شکل ۳- ۶-الف-جدا کننده های راکتور..... ۴۹
شکل ۳- ۶-الف-نمای طولی راکتور..... ۴۹
شکل ۳- ۷-الف-نمای جداکننده های داخلی..... ۴۹
شکل ۳- ۷-ب- نمای کلی راکتور..... ۴۹
شکل ۳- ۸- مراحل راه اندازه راکتور برای شروع آزمایش..... ۵۰
شکل ۳- ۹- الف-گیاه با شیرابه اصلی..... ۵۱
شکل ۳- ۹- ب- گیاه با شیرابه رقیق شده..... ۵۱
شکل ۳-۱۰- نمای کلی تالاب‌های مصنوعی شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده..... ۵۲
شکل ۳- ۱۱- نحوه قرار گرفتن گیاهان وتیور در تالاب..... ۵۳
شکل ۳- ۱۲- تالاب شاهد و نحوه قرارگیری لوله‌های جمع‌آوری..... ۵۳
شکل ۳- ۱۳- نحوه تنظیم کردن شدت جریان ورودی..... ۵۵
شکل ۳- ۱۴-منحنی استاندارد برای اندازه گیری COD..... ۵۸
شکل ۴- ۱- تغییرات pH شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف..... ۶۵
شکل ۴- ۲- تغییرات TSS شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف..... ۶۶
شکل ۴- ۳- تغییرات COD شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف..... ۶۶
شکل ۴- ۴- تغییرات $BOD_5$ شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف..... ۶۷
شکل ۴- ۵- تغییرات آمونیاک شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف..... ۶۷
شکل ۴- ۶- تغییرات نیکل شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف..... ۶۸
شکل ۴- ۷- تغییرات pH شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی..... ۶۹
شکل ۴- ۸- تغییرات pH شیرابه ورودی و خروجی از تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده..... ۷۰
شکل ۴- ۹- تغییرات COD شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی..... ۷۲
شکل ۴- ۱۰- تغییرات COD شیرابه ورودی و خروجی از تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده.. ۷۲

شکل ۴- ۱۱- راندمان حذف COD در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۷۳

شکل ۴- ۱۲- تغییرات $BOD_5$ شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی.....۷۶

شکل ۴- ۱۳- تغییرات $BOD_5$ شیرابه ورودی و خروجی از تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شد..۷۶

شکل ۴- ۱۴- راندمان حذف $BOD_5$ در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۷۷

شکل ۴- ۱۵- تغییرات TSS شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی.....۸۰

شکل ۴- ۱۶- تغییرات TSS شیرابه ورودی و خروجی از تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۸۰

شکل ۴- ۱۷- راندمان حذف TSS در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۸۱

شکل ۴- ۱۸- تغییرات نیکل در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب شاهد و اصلی.....۸۴

شکل ۴- ۱۹- تغییرات نیکل در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۸۴

شکل ۴- ۲۰- راندمان حذف نیکل در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۸۵

شکل ۴- ۲۱- تغییرات آمونیاک در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب شاهد و اصلی.....۸۸

شکل ۴- ۲۲- تغییرات آمونیاک در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۸۸

شکل ۴- ۲۳- راندمان حذف آمونیاک در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده.....۸۹

## فهرست جدول ها

جدول۲-۱-داده های معمول در مورد ترکیب شیرابه از محل های دفن تازه و بالغ.....۸

جدول۲-۲- ترکیبات موجود در شیرابه در طول مرحله اسیدی.....۹

جدول۲-۳-ترکیبات موجود در شیرابه در طول مرحله تولید متان.....۱۰

جدول۲-۴-تاثیر سن مرکز دفن بر پارامتر های شیرابه/نمونه های موردی.....۱۱

جدول۲-۵-تاثیر سن مرکز دفن بر پارامتر های شیرابه/نمونه های موردی.....۱۲

جدول ۲-۶- گونه های مختلف استفاده شده در تالاب مصنوعی.....۲۸

جدول ۲-۷- مراحل حذف آلاینده ها در تالاب های مصنوعی.....۳۰

جدول ۲-۸- گروه های باکتریایی مسئول برای حذف آلاینده های گوناگون.....۳۲

جدول ۳-۱- مشخصات شیرابه ی مورد استفاده.....۴۳

جدول ۳-۲- مشخصات سنگ دانه ی مصرف.....۴۴

جدول ۳-۳- مشخصات آب و هوایی بابل در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد.....۴۷

جدول ۳-۴- مشخصات گیاه مورد استفاده.....۴۸

جدول۴-۱ - نتایج آنالیز شیرابه ورودی به تالاب اصلی و شاهد.....۶۵

جدول ۴-۲- آزمون T-Test زوجی برای pH.....۷۱

جدول ۴-۳- نتایج آزمون T-Test زوجی برای COD در تالاب ها.....۷۴

جدول ۴-۴- نتایج آنالیز T مستقل برای COD خروجی در تالاب اصلی و شاهد.....۷۴

جدول ۴-۵- نتایج تحلیل T مستقل برای COD خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده.....۷۵

جدول ۴-۶- نتایج آزمون T-Test زوجی برای BOD5 در تالاب‌ها.....۷۸

جدول ۴- ۷- نتایج آنالیز T مستقل برای BOD5 خروجی در تالاب اصلی و شاهد.....۷۸

جدول ۴- ۸- نتایج تحلیل T مستقل برای BOD5 خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده.....۷۹

جدول ۴- ۹- نتایج آزمون T-Test زوجی برای TSS در تالاب‌ها.....۸۲

جدول ۴- ۱۰نتایج آزمون T مستقل برای TSS خروجی در تالاب اصلی و شاهد.....۸۲

جدول ۴- ۱۱نتایج آزمون T مستقل برای TSS خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده.....۸۳

جدول ۴- ۱۲- نتایج آزمون T-Test زوجی برای نیکل در تالاب‌ها.....۸۵

جدول ۴- ۱۳- نتایج آزمون T مستقل برای نیکل خروجی در تالاب اصلی و شاهد.....۸۶

جدول ۴- ۱۴- نتایج آزمون T مستقل برای نیکل خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده.....۸۶

جدول ۴- ۱۵- نتایج آزمون T-Test زوجی برای آمونیاک در تالاب‌ها.....۸۹

جدول ۴- ۱۶- نتایج تحلیل T مستقل برای آمونیاک خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده.....۹۰

جدول ۴- ۱۷- نتایج آنالیز T مستقل برای آمونیاک خروجی در تالاب اصلی و شاهد.....۹۰

# فصل اول: کلیات و ضرورت انجام تحقیق

## ۱-۱ مقدمه

در طول چند دهه گذشته، رشد جمعیت و شهر نشینی و توسعه پیشرفت صنعت و تکنولوژی باعث شده است که نرخ تولید مواد زائد جامد شهری و صنعتی به سرعت افزایش یابد. افزایش تولید زباله، منجر به ایجاد مقادیر قابل توجهی شیرابه گردیده است. شیرابه ترکیبی است که در نتیجه نفوذ آبهای ناشی از بازندگی به زباله، فرایند های بیوشیمیایی در توده زباله و مقدار آب ذاتی موجود در خود زباله ها به وجود آمده و جزء پساب های بسیار آلاینده به شمار می رود. شیرابه ها عمدتا در مراکز دفن زباله و یا در طی انجام کمپوست زباله، تولید می شوند. شیرابه حاصل از فرآیند کمپوست دارای اجزای آلی محلول حاصل از زباله های تازه و جوان می باشد، و میزان آلاینده های موجود در آن از شیرابه مرکز دفن، که از ترکیب زباله های با سن های مختلف بوجود می آید، بسیار بیشتر است[۱].

از مهمترین تکنولوژی های مورد استفاده جهت تصفیه ی شیرابه ها در دهه ی۵۰ قرن گذشته استفاده از تالاب های مصنوعی[۱]بوده است. تحقیقات انجام شده در دهه ۱۹۵۰ توسط دکتر کتی سیدل[۲] که در یک موسسه در کشور آلمان انجام شد، منجر به این دستاورد شد که تالاب های مصنوعی فرآیندی قابل اعتماد جهت تصفیه شیرابه می باشند. سیر صعودی استفاده از تالاب های مصنوعی در سه دهه ی اخیر مشاهده شده است و این روش تصفیه شیرابه توانسته است بعنوان روشی پایدار[۳]و دوست دار محیط زیست در سراسر جهان معرفی شود[۲].

---

[۱] Constructed Wetlands ( CWs)
[۲] Dr. Kathy Seidel
[۳] Sustainable

## ۱-۲ ضرورت پژوهش

شیرابه زباله شهری یکی از اصلی ترین مشکلات برای محیط زیست بوده است زیرا دارای مواد آلی بسیار بالا، مواد معدنی و فلزات سنگین در حجم بالا و البته بسیار سمی می باشد. در نتیجه تصفیه شیرابه پسماندها جزء سخت ترین و پرهزینه ترین روشهای تصفیه محسوب می شود. از طرف دیگر شرایط جغرافیایی کشور به گونه ای است که در بسیاری از نواحی کشور آبادی های کوچک و پراکنده ای وجود دارد که اکثر آنها فاقد سیستم های تصفیه فاضلاب و نیز تصفیه شیرابه پسماندها می باشند. بدین منظور نیاز به روشی که در آن بتوان مخاطرات زیست محیطی ناشی از عدم تصفیه شیرابه را برطرف نمود، بخوبی مشاهده می شود. استفاده از تالابهای مصنوعی برای تصفیه شیرابه از این نظر مورد توجه قرار می گیرد، چرا که این فرایندهای تصفیه به حداقل نیروی متخصص نیاز داشته و همچنین هزینه ی کمتری را با راندمان حذف قابل قبولی در بر دارند. در این پژوهش تلاش شده است که کارایی سیستم تصفیه تالاب مصنوعی با استفاده از گیاهان بومی منطقه و شیرابه ی موجود مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت داشتن کارایی لازم جهت الگو برداری و عملیاتی کردن تصفیه شیرابه گام های بیشتری برداشت.

## ۱-۳ اهداف پژوهش

هدف کلی و مهم این تحقیق بررسی عملکرد تالاب های مصنوعی جهت کاهش میزان آلودگی شیرابه و بررسی تغییرات در پارامتر های BOD پنج روزه، COD، pH، فلزات سنگین(نیکل)، TSS و نیتروژن آمونیاکی می باشد. سایر اهداف عبارتند از:

- استفاده از تالاب های شاهد، اصلی و رقیق شده جهت بررسی میزان تاثیر گذاری نوع گیاه.

- بومی سازی و بهینه سازی روش های طبیعی تصفیه از جمله روش تصفیه با تالاب مصنوعی زیر سطحی

### ۱-۴ ساختار پایان نامه

نتایج حاصل از انجام این تحقیق در ۵ فصل ارائه گردیده است. در فصل اول، ضرورت انجام مطالعه و در فصل دوم تعاریف مربوطه، فرایند و مکانیسم های حذف در سیستم مورد بررسی و تحقیقات انجام شده توسط دانشمندان و سایر محققین شرح داده شده است. در خصوص روش انجام تحقیق و همچنین مواد و تجهیزات مورد استفاده در فصل سوم توضیحات لازم آورده شده است. در فصل چهارم نیز نتایج حاصل از انجام آزمایش ها و بحث پیرامون آنها، ارائه گردیده و در نهایت در فصل پنجم خلاصه نتایج همراه با پیشنهاد هایی جهت تکمیل این تحقیق عنوان شده است.

# فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده

## ۲-۱ مقدمه

با گسترش شیوه زندگی مصرفی و توسعه روز افزون صنعت و تجارت بسیاری از کشورهای جهان مواجه با رشد سریع در تولید مواد زائد جامد شهری هستند. بعنوان نمونه، تولید زباله در شهر ریودوژانیروی برزیل از حدود ۶۲۰۰ تن بر روز در سال ۱۹۹۴ به ۸۰۴۲ تن بر روز در سال ۱۹۹۷ افزایش یافته است. در حالیکه رشد جمعیت در این بازه زمانی تقریبا صفر بوده است. بر اساس آمار ارائه شده در این شهر در سال ۱۹۹۴ میلادی نرخ تولید مواد زائد جامد شهری،۱/۳ بیلیون تن در روز ( معادل دو سوم کلیوگرم به ازای هر نفر در روز) بوده است. در حالیکه در سال ۲۰۰۸ به میزان ۳۱/۱ درصد افزایش و به رقم ۱/۷ بیلون در تن در روز رسیده است[۳]. فرآوری، تصفیه و دفع این حجم عظیم پسماند منجر به تولید شیرابه سمی و خطرناکی می شوند که عدم تصفیه مناسب آن تهدید اساسی زیست محیطی محسوب می شود. لذا محققین مختلف از گذشته تا کنون به دنبال روشهای مناسب و اقتصادی تصفیه شیرابه پسماندها بوده اند. از بین روشهای مختلف تصفیه شیرابه، تالابهای مصنوعی به دلیل مزایای اساسی راندمان قابل قبول، هزینه احداث و بهره برداری پایین و سادگی فرایند از جمله فناوریهای مورد علاقه در این زمینه محسوب می شوند.

## ۲-۲ شناخت شیرابه

شیرابه عبارت است از مایعی بد بو، سمی، با بار آلودگی بالا و به رنگ قهوه ای تیره که در اثر فرایندهای فرآوری و تجزیه پسماند دفع شده، تولید می شود. انواع آلایند های آلی و معدنی، فلزات سنگین و آلاینده های شیمیایی خطرناک ممکن است در شیرابه محل های دفن وجود داشته باشد. در حال حاضر تولید شیرابه و مدیریت آن یکی از اساسی ترین مسائل زیست محیطی مربوط به بهره برداری صحیح از محل های دفن زباله می باشد که اگر به درستی مدیریت نشود می تواند باعث بروز معضلات بزرگ زیست محیطی از جمله آلودگی خاک و منابع آب سطحی و زیر زمینی شود[۴].

### ۲-۲-۱ ترکیبات شیرابه

اطلاعات مربوط به ترکیب شیرابه مواد زائد جامد درمحل های دفن جدید و قدیم نشان می دهد که تجریه پذیری بیولوژیکی شیرابه با زمان متفاوت است. تغییرات تجزیه پذیری بیولوژیکی شیرابه با مشخصه نسبت $BOD_5/COD$ پایش می شود. درابتدا این نسبت حدود ۰/۵یا بیشتر می باشد. نسبت ۰/۴ تا ۰/۶ بیانگر آن است که شیرابه به آسانی به روش بیولوژیکی تجزیه می شود. درلندفیل های قدیمی این نسبت اغلب درحدود ۰/۰۵ تا ۰/۲ می باشد[۵]. چون تجزیه بیولوژیکی زباله درمحل های دفن جدید سریعتر وفعال تر است بنابراین شیرابه تولیدی بسیار اسیدی است و حلالیت زیادی دارد. بدین ترتیب هرچه از عمر واحد دفن می گذرد عملیات تجزیه و تخمیر کاهش یافته ،pH شیرابه بیشتر شده و از حلالیت آن کاسته می شود. بنابراین شیرابه هایی که از محل دفن جدید جاری می شوند، آلودگی بیشتری دارند[۶]. در جدول ۲-۱ مشخصه های کیفی شیرابه تولیدی در دو محل دفن تازه و قدیمی ارئه شده اند. همچنین با توجه به تغییرات کیفی شیرابه در مراحل تجزیه اسیدی و تخمیر متانی در جداول ۲-۲ و ۲-۳ مشخصه های کیفی شیرابه در این دو مرحله اصلی تجزیه و هضم پسماندها در مراکز دفن ارائه شده است.

### ۲-۲-۲ تاثیر سن مرکز دفن بر پارامتر های کیفی شیرابه

سن مرکز دفن تاثیر مستقیمی بر ترکیب شیرابه و در نتیجه روش های انتخابی فرآوری و تصفیه آن دارد. در مراکز دفن جوان، میزان مواد آلی و تجزیه پذیر بالاست و همین امر منجر به تسریع فرایند تجزیه خواهد شد. بنابراین شیرابه مرکز دفن جوان (مرکز دفن کمتر از ۵ سال) بوی نامساعد بیشتری تولید می کند. به تدریج که سن مرکز دفن بالا می رود از غلظت و بوی نامساعد نیز کاسته می شود. رنگ شیرابه مراکز دفن جوان زرد رنگ است و هر چه از سن مرکز دفن می گذرد رنگ آن به قهوه ای می گراید[۵]. در جداول ۲-۴ و ۲-۵ مشخصه های کیفی شیرابه تولیدی در مراکز دفن در کشورهای

مختلف و در سنین مختلف ارائه شده است. همچنین در شکل ۲-۱ کیفیت ظاهری شیرابه در مراکز دفن با سنین مختلف مقایسه بصری شده است.

جدول۲-۱- داده های معمول در مورد ترکیب شیرابه از محل های دفن تازه و بالغ[۶]

| اجزاء | محل دفن جدید( کمتر از ۲ سال) میلی گرم بر لیتر | | محل های دفن قدیمی (بیش از ۱۰ سال) |
|---|---|---|---|
| | محدوده | معمول | |
| اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی(۵ روزه) | ۲۰۰۰ - ۳۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۱۰۰ - ۲۰۰ |
| کل کربن آلی | ۱۵۰۰ – ۲۰۰۰۰ | ۶۰۰۰ | ۸۰ - ۱۶۰ |
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی | ۳۰۰۰۰ - ۶۰۰۰۰ | ۱۸۰۰۰ | ۱۰۰ - ۵۰۰ |
| کل جامدات معلق | ۲۰۰ - ۲۰۰۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰ - ۴۰۰ |
| نیتروژن آلی | ۱۰ - ۸۰۰ | ۲۰۰ | ۸۰ - ۱۲۰ |
| نیتروژن آمونیاکی | ۱۰ - ۸۰۰ | ۲۰۰ | ۲۰ - ۴۰ |
| نیترات | ۵ - ۴۰ | ۲۵ | ۵ - ۱۰ |
| فسفر کل | ۵ - ۱۰۰ | ۳۰ | ۴ - ۸ |
| ارتوفسفر | ۴ - ۸۰ | ۲۰ | ۴ - ۸ |
| قلیائیت بر حسب کربنات کلسیم | ۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰ | ۳۰۰۰ | ۲۰۰ - ۱۰۰۰ |
| pH | ۴/۵ - ۷/۵ | ۶ | ۶/۶ - ۷/۵ |
| سختی کل بر حسب کربنات کلسیم | ۳۰۰ - ۱۰۰۰۰ | ۳۵۰۰ | ۲۰۰ - ۵۰۰ |
| کلسیم | ۲۰۰ - ۳۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۰ - ۴۰۰ |
| منیزیم | ۵۰ - ۱۵۰۰ | ۲۵۰ | ۵۰ - ۲۰۰ |
| پتاسیم | ۲۰۰ - ۱۰۰۰ | ۳۰۰۰ | ۵۰ - ۴۰۰ |
| سدیم | ۲۰۰ - ۲۵۰۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰ - ۲۰۰ |
| کلرور | ۲۰۰ - ۳۰۰۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰ - ۴۰۰ |
| سولفات | ۵۰ - ۱۰۰۰ | ۳۰۰ | ۲۰ - ۵۰ |
| آهن کل | ۵۰ - ۱۲۰۰ | ۶۰ | ۲۰ - ۲۰۰ |

جدول۲-۲- ترکیبات موجود در شیرابه در طول مرحله اسیدی[۷]

| متغیر ها | ارزش های کلی | | دامنه های کلی | |
|---|---|---|---|---|
| | میانه | میانگین | حداقل | حداکثر |
| پی هاش | ۶ | ۶/۷۳ | ۵/۵ | ۷/۸ |
| رسانایی | ۱۳۱۹۵ | ۱۶۹۲۱ | ۵۸۰۰ | ۵۲۰۰۰ |
| قلیائیت بر حسب کربنات کلسیم | ۵۱۵۵ | ۷۲۵۱ | ۲۷۲۰ | ۱۵۸۷۰ |
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی | ۲۳۶۰۰ | ۳۶۸۱۷ | ۲۷۴۰ | ۱۵۲۰۰۰ |
| اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی(۲۰روزه) | ۱۴۹۰۰ | ۲۵۱۰۸ | ۲۰۰۰ | ۱۲۵۰۰۰ |
| اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی(۵ روزه) | ۱۴۶۰۰ | ۱۸۶۳۲ | ۲۰۰۰ | ۶۸۰۰۰ |
| کل کربن آلی | ۷۸۰۰ | ۱۲۲۱۷ | ۱۰۰۰ | ۲۹۰۰۰ |
| اسید های چرب | ۵۱۴۴ | ۸۱۹۷ | ۹۶۳ | ۲۲۴۱۴ |
| Ammmoniacal- N | ۵۸۲ | ۹۲۲ | ۱۹۴ | ۳۶۱۰ |
| نیترات | ۰/۷ | ۱/۸ | <۰/۲ | ۱۸ |
| نیتریت | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۰۱ | ۱/۴ |
| سولفات | ۶/۷ | ۶۷۶ | <۵ | ۱۵۶۰ |
| فسفات | ۳/۳ | ۵ | ۰/۶ | ۲۲ |
| کلرید | ۱۴۹۰ | ۱۸۰۵ | ۶۵۹ | ۵۶۷۰ |
| سدیم | ۱۲۷۰ | ۱۳۷۱ | ۴۷۴ | ۲۴۰۰ |
| منیزیم | ۴۰۰ | ۳۸۴ | ۲۵ | ۸۲۰ |
| پتاسیم | ۹۰۰ | ۱۱۴۳ | ۳۵۰ | ۳۱۰۰ |
| کلسیم | ۱۶۰۰ | ۲۲۴۱ | ۲۷۰ | ۶۲۴۰ |
| کروم | ۰/۱۲ | ۰/۱۳ | ۰/۳ | ۰/۰۳ |
| منگنز | ۲۲/۹۵ | ۳۲/۹۴ | ۱/۴۰ | ۱۶۴ |
| آهن | ۴۷۵ | ۶۵۳ | ۴۸ | ۲۳۰۰ |
| نیکل | ۰/۲۳ | ۰/۴۲ | <۰/۰۳ | ۱/۸۷ |
| مس | ۰/۰۷۵ | ۰/۱۳ | <۰/۰۲ | ۱/۱ |
| کادمیم | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | <۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| جیوه | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۰۴ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۱۵ |
| سرب | ۰/۳ | ۰/۲۸ | <۰/۰۴ | ۰/۶۵ |

جدول۲-۳-ترکیبات موجود در شیرابه در طول مرحله تولید متان[۷]

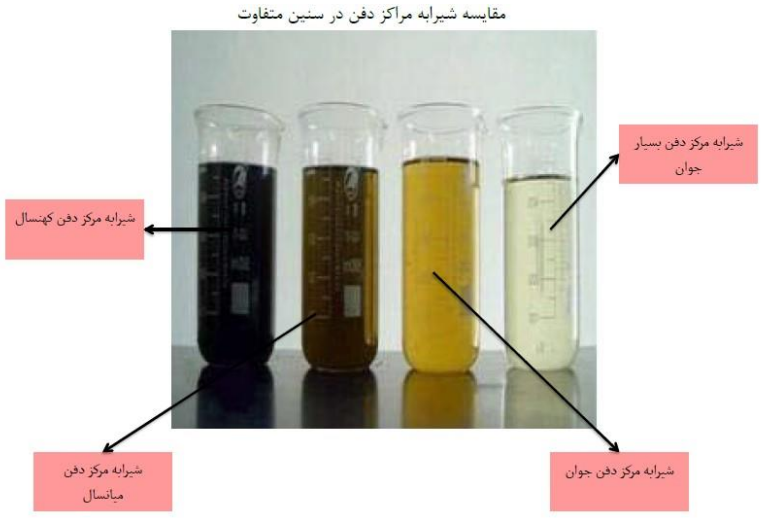
| متغیر ها | ارزش های کلی | | دامنه های کلی | |
|---|---|---|---|---|
| | میانه | میانگین | حداقل | حداکثر |
| پی هاش | ۷/۳۵ | ۷/۵۲ | ۶/۸ | ۸/۲ |
| رسانایی | ۱۰۰۰۰ | ۱۱۵۰۲ | ۵۹۹۰ | ۱۹۳۰۰ |
| قلیایئت بر حسب کربنات کلسیم | ۵۰۰۰ | ۵۳۷۶ | ۳۰۰۰ | ۹۰۰۰ |
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی | ۱۷۷۰ | ۲۳۰۷ | ۶۲۲ | ۸۰۰۰ |
| اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی(۲۰روزه) | ۳۹۱ | ۵۴۴ | ۱۱۰ | ۱۹۰۰ |
| اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی(۵ روزه) | ۲۳۵ | ۳۷۴ | ۹۷ | ۱۷۷۰ |
| کل کربن آلی | ۵۵۵ | ۷۳۳ | ۱۸۴ | ۲۲۷۰ |
| اسید های چرب | ۵ | ۱۸ | <۵ | ۱۴۶ |
| Ammmoniacal- N | ۹۰۲ | ۸۸۹ | ۲۸۳ | ۲۰۴۰ |
| نیترات | ۰/۸۶ | ۰/۷ | ۲/۱ | ۰/۲ |
| نیتریت | ۰/۰۹ | ۰/۱۷ | <۰/۰۱ | ۱/۳ |
| سولفات | ۶۷ | ۳۵ | ۳۲۲ | <۵ |
| فسفات | ۴/۳ | ۲/۷ | ۰/۳ | ۱۸/۴ |
| کلرید | ۱۹۵۰ | ۲۰۷۴ | ۵۷۰ | ۴۷۱۰ |
| سدیم | ۱۴۰۰ | ۱۴۸۰ | ۴۷۴ | ۳۶۵۰ |
| منیزیم | ۱۶۶ | ۲۵۰ | ۴۰ | ۱۵۸۰ |
| پتاسیم | ۷۹۱ | ۸۵۴ | ۱۰۰ | ۱۵۸۰ |
| کلسیم | ۱۱۷ | ۱۵۱ | ۲۳ | ۰/۵۶ |
| کروم | ۰/۰۷ | ۰/۰۹ | <۰/۰۳ | ۰/۵۶ |
| منگنز | ۰/۳۰ | ۰/۴۶ | ۰/۰۴ | ۳/۵۹ |
| آهن | ۱۵/۳ | ۲۷/۴ | ۱/۶ | ۱۶۰ |
| نیکل | ۰/۱۷ | ۰/۱۴ | <۰/۰۳ | ۰/۶ |
| مس | ۰/۰۷ | ۰/۱۳ | <۰/۰۲ | ۰/۶۲ |
| کادمیم | <۰/۰۱ | ۰/۰۱۵ | <۰/۰۱ | ۰/۰۸ |
| جیوه | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۲ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۸ |
| سرب | ۰/۱۳ | ۰/۲۰ | <۰/۰۴ | ۱/۹ |

جدول۲-۴-تاثیر سن مرکز دفن بر پارامتر های شیرابه/نمونه های موردی[۷]

| سن | کشور | COD | BOD | pH | SS(Soluble solid) | TKN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جوان | کانادا | ۱۳۸۰۰ | ۹۶۶۰ | ۵/۸ | - | ۲۱۲ |
| جوان | چین | ۱۵۷۰۰ | ۴۲۰۰۰ | ۷/۷ | - | - |
| جوان | یونان | ۷۰۹۰۰ | ۲۶۸۰۰ | ۶/۲ | ۹۵۰ | ۳۴۰۰ |
| جوان | ایتالیا | ۱۹۹۰۰ | ۴۰۰۰ | ۸ | - | - |
| جوان | کره جنوبی | ۲۴۴۰۰ | ۱۰۸۰۰ | ۷/۳ | ۲۴۰۰ | ۱۷۶۶ |
| جوان | ترکیه | ۱۶۲۰۰ | ۱۰۸۰۰ | ۷/۳ | - | - |
| میانسال | کانادا | ۳۲۱۰ | - | ۶/۹ | - | - |
| میانسال | چین | ۵۸۰۰ | ۴۳۰ | ۷/۶ | - | - |
| میانسال | آلمان | ۳۱۸۰ | ۱۰۶۰ | - | - | ۱۱۳۵ |
| میانسال | یونان | ۵۳۵۰ | ۱۰۵۰ | ۷/۹ | ۴۸۰ | ۱۱۰۰ |
| میانسال | ایتالیا | ۵۰۵۰ | ۱۲۷۰ | ۸/۳۸ | - | ۱۶۷۰ |
| میانسال | لهستان | ۱۱۸۰ | ۲۳۱ | ۸ | - | - |
| میانسال | تایوان | ۶۵۰۰ | ۵۰۰ | ۸/۱ | - | - |
| میانسال | ترکیه | ۹۵۰۰ | - | ۸/۱۵ | - | ۱۴۵۰ |
| کهنسال | برزیل | ۳۴۶۰ | ۱۵۰ | ۸/۲ | - | - |
| کهنسال | استونی | ۲۱۷۰ | ۸۰۰ | ۱۱/۵ | - | - |
| کهنسال | فنلاند | ۵۵۶ | ۶۲ | - | - | ۱۶۲ |
| کهنسال | فرانسه | ۵۰۰ | ۷/۱ | ۷/۵ | ۱۳۰ | ۵۴۰ |
| کهنسال | مالزی | ۱۵۲۳ | ۴۸ | ۷/۵ | ۱۵۹ | - |
| کهنسال | کره جنوبی | ۱۴۰۹ | ۶۲ | ۸/۵۷ | ۴۰۴ | ۱۴۱ |
| کهنسال | ترکیه | ۱۰۰۰۰ | - | ۸/۶ | ۱۶۰۰ | ۱۶۸۰ |

جدول۲-۵- تاثیر سن مرکز دفن بر پارامتر های شیرابه/نمونه های موردی [۷]

| | جوان | میانسال | کهنسال |
|---|---|---|---|
| سن | کمتر از ۵ | ۵ – ۱۰ | بالای ۱۰ سال |
| pH | ۶/۵ | ۶/۵ – ۷/۵ | بیشتر از ۷/۵ |
| COD | بیشتر از ۱۰۰۰ | ۴۰۰۰ – ۱۰۰۰۰ | کمتر از ۴۰۰ |
| BOD5/COD | بیشتر از ۰/۳ | ۰/۱ – ۰/۳ | کمتر از ۰/۱ |
| اجزای ارگانیک | ۸۰٪ اسید های چرب فرار | ۳۰ – ۵۰ ٪ اسید های چرب فرار + اسید های هومیک و فالویک | اسید های هوفیک و فالویک |
| فلزات سنگین | کم تا متوسط | - | کم |
| تجزیه پذیری | قابل توجه | متوسط | کم |




شکل۲-۱- تاثیر سن مرکز دفن بر رنگ شیرابه[۷]

## ۲-۳ تاریخچه ی تصفیه شیرابه

دفن زباله های شهری از معضلات مهم مدیریت پسماند در جهان محسوب می شود. بعضی روشهای جایگزین از جمله بازیافت، کمپوست و سوزاندن زباله ها جزء روش های امروزی مورد استفاده هستند، اما حتی روش هایی مانند زباله سوزی که چیزی نزدیک به ۲۰-۱۰ درصد پسماند را در انتها به جا می گذارند در هر صورت نیاز به دفن خواهند داشت. امروزه محل های دفن به صورت بسیاری جدی مهندسی می شوند که هر گونه خطرات زیست محیطی را برای محیط اطراف آنها کاهش دهند اما با همه ی این تمهیدات حضور شیرابه و ورود آن به محیط اتفاقی اجتناب ناپذیر است.

در بین کشور های اتحادیه ی اروپا نیز هنوز هم روشهای اقتصادی و با راندمان تصفیه بالای محدودی برای تصفیه شیرابه ارائه شده است و همواره توصیه می شود که برای تصفیه و پالایش شیرابه حتما یک پیش تصفیه شیمیایی وجود داشته باشد که به استاندارد های مورد نیاز برای تخلیه در شبکه ی جمع آوری فاضلاب نزدیک شود. از بین روش های موجود به نظر می رسد روش بیولوژیکی نیتریفیکاسیون/ دی نیتریفیکاسیون موثرترین و در عین حال ارزان ترین روش برای از بین بردن نیتروژن در شیرابه باشد که خود این روش نیز به دلیل گرفتگی ایجاد شده در سیستم در طول زمان کارائی خود را از دست می دهد. از دیگر روش های مرسوم در تصفیه شیرابه می توان به هوادهی، انعقاد، لخته سازی و ته نشینی اشاره کرد که بسیار هزینه ی اولیه ی بالایی خواهند داشت. روش های دیگر مانند اسمز معکوس و جذب توسط کربن فعال تنها آلاینده ها را جداسازی می کنند و با توجه به عدم حذف آلایندها این روشها مشکل زیست محیطی آن را بر طرف نمی کنند. روش های اکسیداسیون پیشرفته مانند استفاده از اشعه فرابنفش در سال های اخیر ارائه شده است که در مقیاس واقعی از نظر اقتصادی مقبولیت چندانی ندارند[۸].

## ۲-۴ روش های تصفیه شیرابه

### ۲-۴-۱ باز چرخانی شیرابه

در دهه ۱۹۹۰ بازیافت شیرابه به علت هزینه های کم آن یکی از روش های معمول استفاده از شیرابه بوده است. گزارش شده است که میزان COD در روش های بازچرخش بیهوازی ۷۰-۶۳ درصد کاهش می یابد. بازچرخانی شیرابه نه تنها باعث بهبود کیفیت شیرابه می شود بلکه زمان مورد نیاز برای پایداری آن را از چند دهه به یک دهه یا کمتر از آن کاهش می دهد. در این روش اگر حجم شیرابه برای بازچرخش زیاد باشد ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل اشباع شدن پسماندها از رطوبت ناشی از شیرابه و شرایط اسیدی شود[۹].

### ۲-۴-۲ حمل شیرابه به خارج از محوطه مرکز دفن

در محل هایی که سیستم تصفیه فاضلاب در نزدیکی محل دفن باشد یکی از روش های معمول انتقال شیرابه به خارج از محل دفن و تخلیه آن در سیستم تصفیه خانه فاضلاب شهری می باشد. نکته ی مهم در تخلیه شیرابه به فاضلاب شهری این است که حجم شیرابه باید جزء کوچکی از کل حجم فاضلاب در حال تصفیه باشد تا به عمکلرد سیستم فاضلاب آسیب نرسد. در واقع مخلوط کردن شیرابه با فاضلاب شهری کیفت شیرابه را جهت تصفیه بسیار مناسب می نماید[۹].

### ۲-۴-۳ روش طبیعی و استفاده از بستر نی(تالاب )

در این روش شیرابه به محوطه ای تالاب مانند با عمق کم ریخته می شود که دارای بستری از نی است. به تدریج جمعیت های میکروبی بر روی ریشه های نی نشسته و از مواد آلی نیتروژنی شیرابه استفاده می کنند. همچنین موادی مانند نیتروژن و فسفر خود ممکن است توسط ریزم های گیاه برای متابولیسم استفاده و از شیرابه حذف شوند[۹].

### ۲-۵ انتخاب روش مناسب تصفیه شیرابه

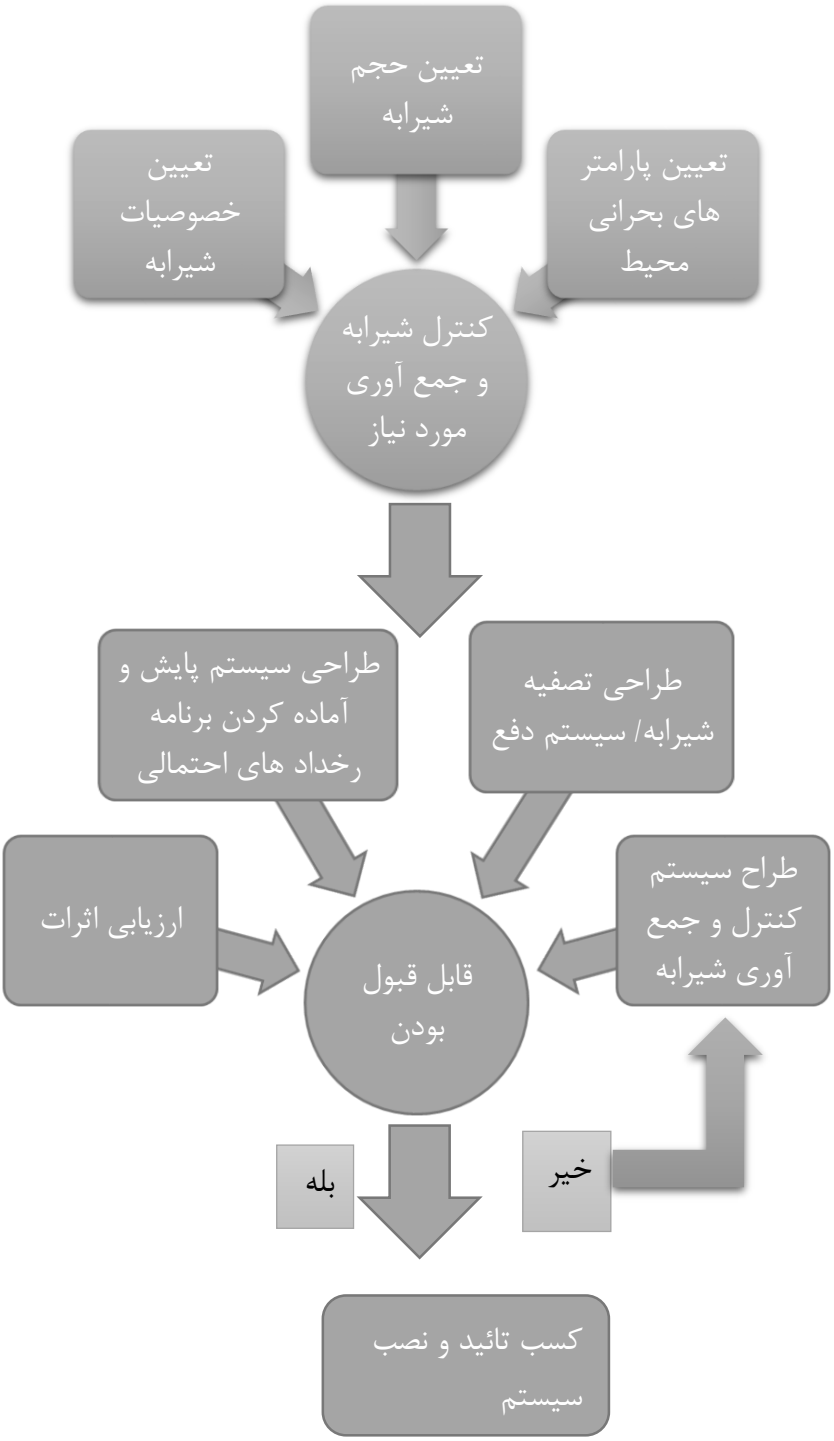
در ایران تنها ۸٪ پسماندهای شهری بازیافت، کمپوست و استفاده مجدد می شوند و حدود ۹۲٪ مواد زائد دفن می شوند که در این روش مدیریتی مواد زائد جامد، حدود ۲۵٪ دفن اصولی و تقریبا بهداشتی است و مابقی به شکل غیر بهداشتی دفن و تلنبار می شوند. آمار منتشرشده از سوی سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری ها نشان می دهد که ایران از نظر تولید زباله در رتبه دهم جهان قرار دارد. متوسط سرانه تولید مواد زائد شهری در ایران حدود۸۰۰ گرم به ازای هر نفر در روز می باشد که ۶۰ تا ۷۰ درصد آن را پسماندهای آلی تشکیل می دهند. آمار موجود نشان می دهد که روزانه ۵۰۰۰۰ تن زباله در کشور تولید می شود و خسارت ناشی از روشهای غلط و نابسامان جمع آوری و دفن زباله هادر کشور سالانه ۳۷۰۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است[۹]. در شکل ۲-۲ فرایند انتخاب روش تصفیه شیرابه پسماندها ارائه شده است.

### ۲-۶ تالاب های طبیعی و مصنوعی[۴]

#### ۲-۶-۱ تاریخچه تالاب ها

قدمت تالاب های طبیعی به قدمت زمین می رسد اما تالاب های مصنوعی طرح های جدیدی از سیستم های طبیعی هستند که اولین با در در اوایل دهه ۱۹۵۰ برای تصفیه فاضلاب ها توسط دکتر سیدل مورد استفاده قرار گرفتند. در آن زمان روش های تصفیه ی فاضلاب در میان متخصصان تنها به روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی معطوف بود و استفاده از گیاه برای از بین بردن آلودگی، به دلیل آنکه همه ی گیاهان قادر به رشد و همچنین از بین بردن آلودگی در آبهای آلوده نبودند مورد بحث و بررسی نبود. در بین سالهای ۱۹۵۲ تا

[۴] Natural v. Constructed wetlands




شکل۲-۲-فرآیند تعین روش مناسب تصفیه شیرابه[۹]

۱۹۵۶ سیدل طرح های مختلفی را برای تصفیه فاضلاب های گوناگون از جمله فاضلاب لبنی و کشتارگاه ها را با استفاده از گیاهان و سیستم تالاب مصنوعی انجام داد. او در ابتدا نام سیستم خود را آب گیاهی[۵]نامید و سپس رفته رفته سیستم خود را با استفاده از خاکهای رسی و در بارهای هیدرولیکی مختلف ارتقاء داد تا بتواند بر شرایط بی هوازی ایجاد شده در سیستم غلبه کند[۱۰]. در ابتدا از تالاب های مصنوعی در تصفیه فاضلاب شهری استفاده شد و در گذر زمان از آن در فرایند پاکسازی آبهای آلوده ی کشاورزی و صنعتی، رواناب های سطحی و شیرابه ها مورد استفاده قرار گرفت. در ۱۵ الی ۲۰ سال اخیر علاقه فراوانی در بین محققان این رشته به سمت این تکنولوژی پیدا شد و در حقیقت دهه ۸۰ میلادی دوران شکوفایی این روش بود. در حال حاضر هزاران تالاب مصنوعی در سراسر دنیا وجود دارد. در اروپا و به خصوص آمریکا و استرالیا برای اجتماعات کوچک مسکونی و صنعتی این فرایند مورد استفاده فراوان واقع می شود[۱۱]. استفاده از تالاب های مصنوعی در ایران برای تصفیه شیرابه بسیار کم مورد استفاده قرار گرفته است، اما طی سال های اخیر چند طرح پایلوت و پایان نامه بر روی این سیستم ها مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از دلایل توجه به این سیستم ها، مزایای اساسی آنها جهت تصفیه شیرابه و فاضلاب از نظر هزینه ای اجرایی و بهره برداری می باشد. [۱۲].

### ۲-۶-۲ کاربرد و ارزش های تالاب های طبیعی

تالاب ها به دلیل تنوع در گونه های مختلفشان، تراکم جمعیتی که پشتیبانی می کنند، نرخ سودمندی بالا و همچنین زیست بوم خاصی که دارند از لحاظ اکولوژیکی دارای اهمیت بالایی هستند. حتی به تالاب ها به دلیل آنکه در میان سودمندترین محیط های طبیعی بر روی کره زمین می باشند عنوان "سوپرمارکت بیولوژیکی" نیز داده شده است. بارها شده است که به تالاب ها به دلیل اینکه در

[۵]Hydrobotanical Method

نقش یک فیلتر عمل می کنند و مواد آلاینده را از آبهایی که از مسیر آنها رد می شوند تا به دریاچه ها، مسیرهای آبی و اقیانوس ها برسند حذف می کنند  عنوانِ " کلیه ی زمین[۶]" داده شده است[۱۳].

### ۲-۶-۳ مزایای تالاب های مصنوعی

تالاب های مصنوعی به صورت کلی اکثر خصوصیات و مزایای تالاب های طبیعی را دارا می باشند. همانند تالاب های طبیعی تحقیقاتی در مورد ارزیابی مزایای تالاب های مصنوعی انجام شده است و تا به امروز مشخص شده است که تالاب های مصنوعی علاوه بر قابلیتهای تصفیه ای که دارند، در تهیه و ایجاد حیات وحش و تنوع زیست بوم، قابلیت ایجاد فعالیت های تفریحی( مانند تماشای پرندگان)، ذخیره آب و بالابردن زیبایی محیط اطراف ( شهری و روستایی) نقش خواهند داشت[۱۴].

تمامی تالاب ها از جمله مصنوعی و طبیعی، آب شیرین یا شور یک خصوصیت مشترک را دارا می باشند و آن هم حضور آب سطحی است. در اکثر تالاب ها شرایط هیدرولوژیکی به گونه ای است که بستر در تمامی طول فصل رشد به گونه ای اشباع شده است که بتوان شرایط بهینه را در فضای کمبود اکسیژن فراهم کرد. کمبود حضور اکسیژن شرایط احیاء را در بستر ایجاد می کند و تنها گونه های گیاهی که توانایی رشد در این شرایط کمبود اکسیژن را دارند در سیستم باقی می مانند[۱۵].

### ۲-۶-۴ محدودیت های تالاب های مصنوعی

اولین محدودیتی که این سیستم ها ایجاد می کنند این است که برای دستیابی به حد مشابهی از تصفیه نسبت به سیستم های تصفیه مرسوم، سطح زمین بیشتری اشغال می نمایند و همین موضوع استفاده از تالاب های مصنوعی را برای مناطقی که دارای تراکم جمعیتی بالایی هستند، مانند کلان شهر ها و پایتخت ها، نا مناسب می کند. یکی دیگر از مواردی که باید مورد توجه قرار بگیرد این است که

[۶] Earth’s Kidney

عملکرد تالاب ها کم و بیش تحت تاثیر شرایط جوی نیز می باشد به این صورت که در ماههای گرم سال برای تالاب ها زمان مناسب تری است و در ماه های سرد سال کمی مشکل وجود خواهد داشت که این موضوع با بالا بردن مساحت زمین قابل جبران است. همچنین تالاب ها برای اینکه شروع به کار کنند چندین ماه و شاید ۱-۲ سال زمان نیاز داشته باشند که به ظرفیت بهینه خود برای تصفیه دست یابند[۱۴]

## ۲-۵ انواع تالاب های مصنوعی

تالاب های مصنوعی را بر اساس مزایا و کارائی آنها به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

۱. تالاب های مصنوعی برای محیط انسانی
۲. تالاب های مصنوعی برای کنترل سیلاب
۳. تالاب های مصنوعی برای تصفیه فاضلاب

تالاب های مصنوعی برای تصفیه بر اساس خصوصیات سیستم مورد استفاده از جمله گیاهان یا جهت جریان آب در داخل سیستم می توانند به گروه های مختلفی تقسیم بندی شوند. بر اساس مسیر جریان در داخل سیستم دو دسته ی غالب وجود دارد:

- تالاب های مصنوعی با جریان رو سطحی[۷]

- تالاب های مصنوعی با جریان زیر سطحی[۸]

در سیستم های جریان رو سطحی، آب به آرامی در بالای بستر جریان می یابد که که از خ صو صیات آن دارا بودن سطوحی با عمق کم( در حدود چند سانتی متر) ا ست. در سوی مقابل در

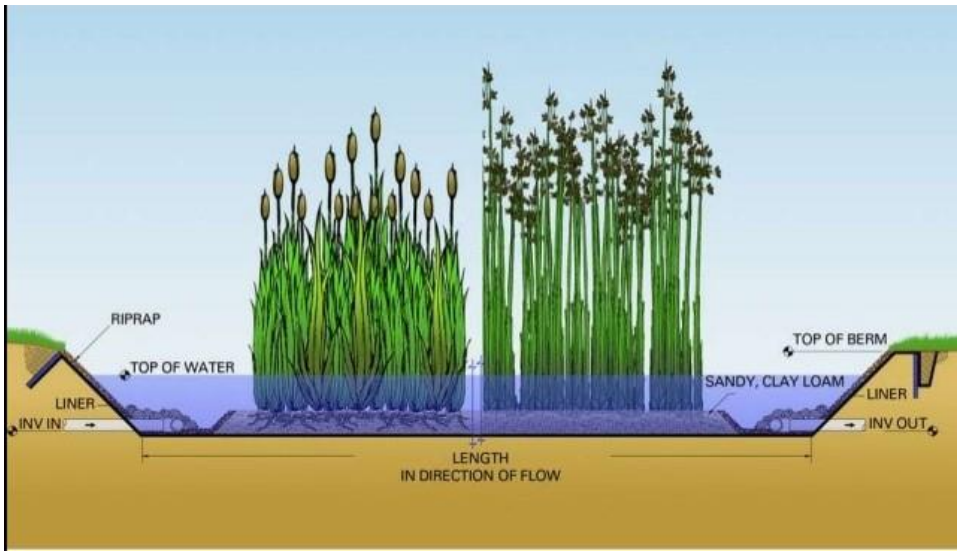
[۷] FWS CWs
[۸] SF CWs

سیستم های جریان زیر سطحی آب از داخل محیط متخلخل عبور می کند. بر ا ساس جهات جریان تالاب های زیر سطحی می توانند به دو دسته ی جریان قائم و افقی تقسیم بندی شوند[۱۶].

### ۲-۵-۱ تالاب های مصنوعی با جریان رو سطحی

یک تالاب مصنوعی با جریان رو سطحی شامل لایه ای ۲۰-۳۰ سانتی متری برای خاک مناسب ریشه گیاه و آبی به عمق ۲۰-۴۰ سانتی متر می باشد. گیاه مورد استفاده در این نوع تالاب بخش عمده ای از مساحت سطح را، (چیزی بیش از ۵۰ درصد) می پوشاند. تالاب های استفاده شده با جریان رو سطحی تشابه بسیار زیادی با تالاب های طبیعی داشته و بیشتر از همه در آمریکای شمالی و استرالیا از این نوع تالاب ها استفاده می شود. بجز فاضلاب های شهری، از این نوع تالاب به همراه گیاهان مختلف برای تصفیه طیف گسترده ای از فاضلاب ها مورد استفاده قرار می گیرند. این نوع از تالاب ها هزینه ی ساخت کمتری دارند و معمولا هم میزان کمتری از آلاینده ها را حذف می کنند[۱۶].

تالاب های مصنوعی با جریان رو سطحی مواد آلی را به روش تجزیه میکروبی و ته نشینی ذرات کلوئیدی از سیستم حذف می کنند. ذرات جامد معلق نیز به وسیله ته نشینی یا فیلتر شدن به وسیله محیط متراکم از گیاه در بستر حذف می شوند. مواد میکروبی معلق نیز موظف به حذف BOD خواهند بود. میزان عمده اکسیژن مورد نیاز برای این واکنش ها نیز از سطح هوادهی مجدد در سطح آب تامین می شود. نیتروژن موجود در فاضلاب نیز توسط فرآیندهای نیتریفیکاسیون- دنیتریفیکاسیون حذف خواهند شد و حذف نیترژون آمونیاکی نیست توسط تبخیر در pH های بالا امکان پذیر می شود[۱۷]. در شکل ۲-۳ شماتیکی از تالاب مصنوعی با جریان روسطحی نشان داده شده است.




شکل ۲-۳- تالاب مصنوعی با جریان رو سطحی

### ۲-۵-۲ تالاب مصنوعی زیرسطحی با جریان افقی

تالاب های مصنوعی زیر سطحی افقی بیشترین تالاب های مورد استفاده در اروپا می باشند. این نوع از تالاب ها در آلمان و توسط سیدل و همکارانش که از سنگ و شن در بستر استفاده کردند گسترش داده شد[۱۸]. در دهه ۱۹۶۰ اما کیکّت[۹]پیشنهاد محیطی با بستر خاک را در حضور رس ارائه کرد و اسم سیستم را روش منطقه ی گیاه نامید. اگرچه که این سیستم ها به دلیل گرفتگی خیلی سریع بستر و عدم توانایی تماس فاضلاب با ریشه های گیاه به دلیل گرفتگی کارائی فراوانی از خود نشان نمی داند و حتی فاضلاب بر روی بستر گرفته شده ایجاد غرقآب می کرد. اما در بسترِ فیلتر، آلودگی به وسیله تجزیه ی میکروبی و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در شبکه های هوازی و یا آنوکسیک به خوبی انجام می پذیرد[۱۹].

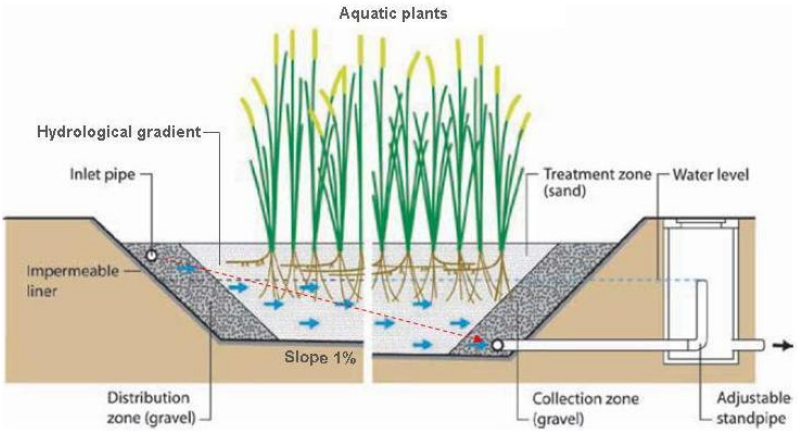
[۹]Kicktuth

ناحیه های هوازی در اطراف ریشه ها و ریزوم های گیاهی نیزار می باشد که اکسیژن را به بستر نفوذ می دهد. تالاب های با جریان افقی به طور موثری می توانند آلاینده های آلی را از طریق تجزیه بیولوژیکی در شرایط آنوکسیک/ بی هوازی حذف کنند. جامدات معلق در فرایند های فیزیکی فیلتراسیون و ته نشینی حذف می شوند که معمولا کارایی سیستم در حذف آنها بسیار بالا هست. روش اصلی حذف نیتروژن در این سیستم استفاده از دی نیتریفیکاسیون است و حذف آمونیاک معطوف به کاهش اکسیژن در بستر فیلتراسیون و گرفتگی آن خواهد بود. با توجه به محدودیت انتقال اکسیژن در داخل تالاب ها، حذف مواد مغذی ( مخصوصا نیتروژن) محدود می باشد[۲۰].

شکل (۴-۲) یک نمای کلی از برش طولی تالاب مصنوعی با جریان افقی را نشان می دهد. فاضلاب تغذیه شده در ورودی به آهستگی در مسیر کم و بیش افقی از میان خلل و فرج بستر تا رسیدن به ناحیه خروجی در جریان است.

### ۲-۵-۳ تالاب های مصنوعی زیر سطحی با جریان عمودی

این سیستم احتمالا متداولترین شیوه ی بهره برداری از تالاب خصوصا در اروپا است. فاضلاب در حجم وسیعی از سطح بستر و بازه ی بسیار کوتاهی از زمان استفاده شده، و بنابراین تمام سطح تالاب مصنوعی را می پوشاند. معمولا ابزار مناسب و یا شبکه ی لوله های مشبک توزیع یکنواخت فاضلاب روی تمام سطح بستر را ایجاد می کند.

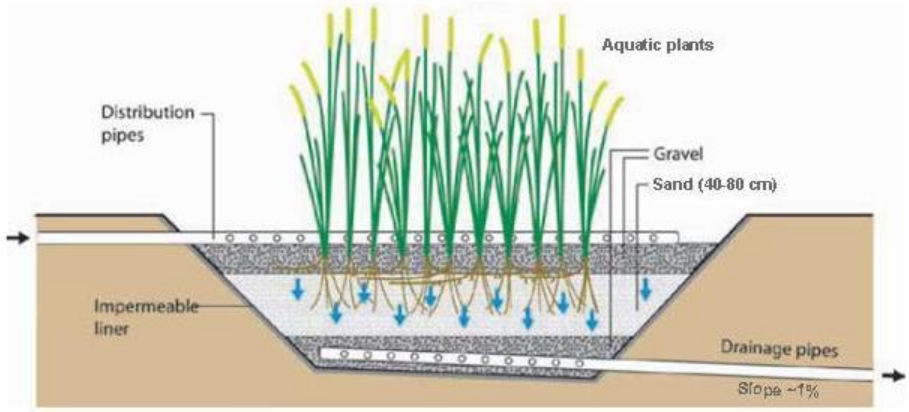



شکل ۲-۴- تالاب مصنوعی زیر سطحی با جریان افقی

سیستم تالاب های مصنوعی با جریان عمودی نسبت به جریان افقی توسعه کمتری داشته است که شاید بتوان دلیل آن را زمان بیشتر مورد نیاز برای کارایی و وفق پذیری این سیستم و همچنین نیاز به بارگذاری متناوب بر روی سطح بستر دانست[۲۱].

از این سیستم ها به طور کلی برای تصفیه فاضلاب های شهری و خانگی و به خصوص زمانی که میزان تولید آمونیاک نیتروژن بالا باشد استفاده می شود. . این سیستم در حذف مواد

آلی و مواد معلق مانند پاتوژن ها بسیار کارا هست اما حذف فسفر در این سیستم ها کمی با مشکل رو به رو خواهد شد و همچنین فرایند دینیتریفیکاسیون در این سیستم به خوبی انجام نمی پذیرد[۲۲]. در شکل ۲-۵ شماتیک فرایند تالاب مصنوعی زیر سطحی با جریان عمودی نشان داده شده است.




شکل ۲-۵- تالاب مصنوعی زیر سطحی با جریان عمودی

## ۲-۶ اجزای تالاب مصنوعی

### ۲-۶-۱ گیاه

گیاهان از جمله اجزای بسیار مهم در تالاب های مصنوعی به شمار می روند. شاید دلیل اصلی اینکه تالاب های مصنوعی یک " فناوری سبز"[۱] خوانده می شوند همین موضوع است. گونه های گیاهی به کار رفته در تالاب های مصنوعی معمولا مشابه گونه های به کار رفته در تالاب های طبیعی هستند. برای مناسب تر بودن استفاده از تالاب های مصنوعی، ماکروفیت های انتخابی باید دارای شرایط ذیل باشند:

- آنها می بایست با شرایط اکولوژیکی[۱] منطقه کاملا تطابق داشتته باشند. این مسئله ضروری است تا آنها امکان هرگونه خطر گسترش بیماری های ممکن به گیاهان محلی و اکوسیستم را نداشته باشند.
- آنها باید توانایی زنده ماندن و دوام در شرایط آب و هوائی منطقه و مقاومت در برابر تغییرات ممکن، حشرات و بروز بیماری ها را داشته باشند.

---

[۱] Green Technology
[۱] Ecological

- آنها باید در برابر انواع مختلف آلودگی های موجود در فاضلاب (از قبیل: مواد آلی، نیتروژن، فسفر و فلزات سنگین) بوسیله ی ظرفیت بالای حذف یا با ایجاد شرایط لازم( از قبیل تقویت انتقال اکسیژن) برای مکانیزم های حذفی دیگر مقاومت داشته باشند.

- آنها باید به آسانی با محیط محلی تالاب مصنوعی تطابق پیدا کرده و رشد و گسترش نسبتا سریعی از خود نشان دهند.

- آنها باید به آسانی در بازار های محلی در دسترس بوده و ترجیحا برای نشاء کردن[۱۲] در منطقه در دسترس باشند[۲۳].

### ۲-۶-۱-۱ گونه های گیاهی در تالاب های مصنوعی

در تالاب های مصنوعی با جریان زیر سطحی( چه افقی یا قائم)، عموما از ماکروفیت های امِرجنت[۱۳] استفاده می شود، در حالی که در تالاب های مصنوعی رو سطحی تمام گونه های گیاهی ممکن است به کار روند. عموما گونه های گیاهی پر کاربرد عبارتند از: نی قلمی، لوئی، تزک و علف بوریا[۱۴] از قبیل : نِی های رایج، لوئی و راش. گونه های گیاهی مرسوم در اروپا ، نی های رایج( نی قلم جنوبی،[۱۵] شکل۲-۶) و سپس لوئی های( لوئی، شکل ۲-۷) می باشند. به همین علت است که تالاب های مصنوعی " بستر های نِی[۱۶] یا نیزار نیز خوانده می شوند.

رشد گیاه در اولین روز های ماه بهار آغاز می شود، زمانی که ساقه های جدید مجددا شکل میگیرند(شکل ۲-۸) طی ماه آخر بهار و دوره تابستان، گیاهان به صورت کامل رشد کرده اند(شکل۲-۹) در دوره زمستان هنگامی که دما پائین تر است گیاهان زرد می شوند و قسمت بالایی سطح خاک

---

[۱۲] Shoot transplanting

[۱۳] Emergent macrophytes

[۱۴] Schoenoplectus

[۱۵] Phragmites australis

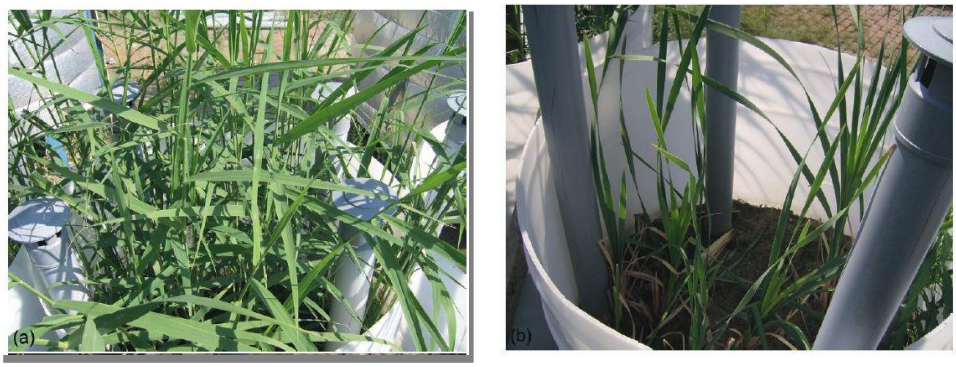
[۱۶] Reed beds

عموما غیر فعال شده و می میرد (شکل ۲-۱۰). در سیستم های تالاب مصنوعی شیوه مرسوم آن است که قسمت بالائی خاک گیاهان به ارتفاع ۱۰ الی ۱۵ سانتی متر در ماه های آخر پائیز بریده می شود(شکل۲-۱۱)[۲۴].

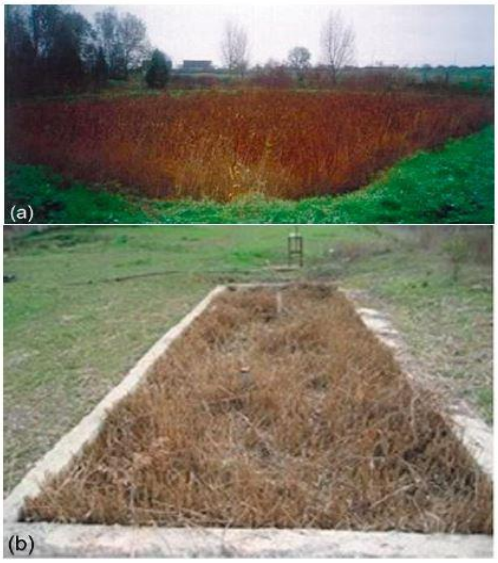
شکل ۲-۶- خوشه های لوئی

شکل۲-۷- خوشه های نی

شکل ۲-۸- تصاویر جوانه های تازه در روز های اولیه فصل بهار برای تصفیه فاضلاب




شکل ۲-۹- گیاه کامل رشد یافته در فصل بهار و تابستان




شکل ۲-۱۰- تصاویر گیاه در اواخر ماه پائیز در آب و هوای مدیترانه ای

شکل ۲-۱۱- تصاویر گیاه در آزمایش مقیاس پایلوتی

در جدول ۲-۶ گونه های مختلف گیاهی متداول جهت استفاده در تالابهای مصنوعی ارائه شده است.

جدول ۲-۶- گونه های مختلف استفاده شده در تالاب های مصنوعی

| اسم رایج | اسم علمی | توزیع | دما(سانتی گراد) | | بازه ی تاثیر pH |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | مطلوب | رویش دانه | |
| Common reed | Phragmites australis | سرتاسر جهان | ۱۲ – ۲۳ | ۱۰ – ۳۰ | ۲ – ۸ |
| Cattails | Typha spp. | سرتاسر جهان | ۱۰ -۳۰ | ۱۲ - ۲۴ | ۸/۵ – ۳ |
| Rush | Juncus spp. | سرتاسر جهان | ۱۶ – ۲۶ | | ۷/۵ – ۵ |
| Bulrush | Scirpus spp. | سرتاسر جهان | ۱۸ - ۲۷ | | ۴ – ۹ |
| sedge | Carex spp. | سرتاسر جهان | ۱۴ - ۳۲ | | ۵ - ۷/۵ |

### ۲-۶-۱-۲ نقش گیاهان

اثرات مثبت وجود گیاهان در تالاب های مصنوعی امروزه در کارآیی سیستم و عملکرد فرایند تصفیه به اثبات رسیده است. اگرچه این موضوع در گذشته بحث برانگیز بوده است اما امروزه پذیرفته شده است که گیاهان تالاب های مصنوعی مزایای زیادی را داشته و به خلق شرایط لازم که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در کارائی سیستم اثر گذارند کمک می کنند[۲۵و۲۶و۲۷].

۱. **اثرات فیزیکی**[۱۷]:وجود گیاهان منجر به بروز برخی اثرات فیزیکی می شود. سیستم ریشه ای عمیق، پیچیده و گسترده در مسیر زیر بستر منجر به کاهش سرعت آب شده که زمان تماس بین فاضلاب و

[1] Physical effects [7]

پوشش زیر بستر را افزایش می دهد، چرا که گیاهان از طریق بستر تالاب مصنوعی با جریان قائم به صورت قائم حرکت می کنند. این مسئله ممکن است منجر به بهبود حذف مواد غذائی شود[۲۵و۲۶و۲۷].

۲. **هدایت هیدرولیکی**[۱۸]:حرکت ساقه ها و ایجا ترک های پی در پی برای نفوذ پذیری بستر مفید بوده و منجر به حفظ هدایت هیدرولیکی بستر می شود. ریشه های گسترده در زیر بستر در کنار منافذ پوشش به نگهداری جریان فاضلاب در طول ریشه ها حتی در زمستان که سطح بستر با یخ پوشیده می شود، کمک می کند[۲۵و۲۶و۲۷].

۳. **گسترش زیست لایه**[۱۹]:سیستم ریشه ی گسترده و عمیق که به تدریج در لایه ی زیر بستر گسترش می یابد به مانند ناحیه ای مناسب برای رشد میکروبی عمل می کند .این لایه در زیست لایه که در طول ریشه و در سطح دانه های پوشش گسترش می یابد برای عملکرد سیستم از اهمیت بالائی برخوردار است چرا که بر فرآیند های میکروبی آلاینده های موجود در فاضلاب و فعالیت های آنان اثر می گذارد[۲۵و۲۶و۲۷].

۴. **تآمین اکسیژن**[۲۰]:وجود گیاهان آمادگی بستر را اطمینان می بخشد. این مسئله که گیاهان قادر به جذب اکسیژن از جَو از طریق برگهای خود و انتقال آن به قسمت های پائین زیر بستر و آزاد سازی آن از طریق ریشه های خود هستند شناخته شده است. این اکسیژن مهیا شده توسط ریشه ها توسط میکروارگانیزم های هوازی زیست لایه مصرف شده و فرآیند های هوازی مختلف را ممکن می کند ( از قبیل: نیتریفیکاسیون و کاهش هوادهی مواد آلی)[۲۵و۲۶و۲۷].

**آزاد سازی ترکیبات آلی**: علاوه بر اکسیژن ریشه های گیاه مواد دیگری را نیز از خود منتشر می کند. اگرچه ماهیت این ترکیبات هنوز به طور کامل شناخته نشده است، اما آزمایش ها نشان داده است که

---

[1] Hydraulic conductivity: [8]
[1] Biofilm development [9]
[2] Oxygen supply [0]

ریشه های گیاهان طیفی از ترکیبات آلی و آنتی بیوتیک ها را آزاد می کنند. کربن آلی که از این طریق آزاد می شود ممکن است به عنوان منبعی برای میکرو ارگانیزم های دنیتریفایر مورد استفاده قرار گیرد اما طیف وسیعی از این فرآیند به طور کامل شناخته شده نیست[۲۵و۲۶و۲۷]. جدول ۲-۷ در بردارنده ی طبقه بندی فرآیند های مختلف( فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) همراه با آلاینده های اصلی حذف شونده توسط هر فرآیند می باشد[۲۸].

جدول۲-۷- مراحل حذف آلاینده ها در تالاب مصنوعی

| فرایند حذف/ انتقال | | | آلاینده |
|---|---|---|---|
| بیولوژیکی | شیمیایی | فیزیکی | |
| تخریب باکتریایی مصرب میکروبی | اکسیداسیون | فیلتراسیون و ترسیب | مواد آلی( BOD ، COD و...) |
| تجزیه باکترایی | - | فیلتراسیون و ته نشینی | مواد معلق |
| نیتریفیکاسیون/ دی نیتریفیکاسیون مصرف میکروبی جذب توسط گیاه | تبادل یونی | تبخیر | نیتروژن |
| جذب توسط گیاه مصرف میکروبی | جذب سطحی ته نشینی | فیلتراسیون | فسفر |
| مرگ طبیعی | فرا بنفش تجزیه جذب سطحی | فیلتراسیون | پاتوژن ها |
| زیست فروسایی گیاه پالایی جذب توسط گیاه تبخیر توسط گیاه | جذب سطحی ته نشینی | ترسیب | فلزات سنگین |

## ۲-۷ فرآیند های تصفیه در تالاب ها

### ۲-۷-۱ مکانیزم های عمومی حذف آلاینده

ثابت شده است که تمامی سیستم های تالاب های مصنوعی، قادر به حذف مجموعه ی متنوعی از آلاینده های موجود در فاضلاب می باشند، از جمله ی آنها می توان به مواد ارگانیک($BOD_5$و COD)، جامدات معلق، نیتروژن، فسفر، فلزات سنگین، میکروارگانیزم های بیماری زا، و مکانیزم های میکرو ارگانیک اشاره داشت.

### ۲-۷-۲ مواد آلی

مواد بخش اصلی آلاینده های فاضلاب و شیرابه را شامل می شوند.، این آلاینده ها توسط دو پارامتر کیفی شامل سنجش بخش زیست تجزیه پذیر(با پارامتر $BOD_5$) و کل مواد آلی (COD) بیان می گردند. مواد آلی ذره ای[۲۱]توسط ته نشینی و فیلتر اسیون جداسازی می شوند و پس از آن هیدرولیز روی آنها انجام می گیرد. بخش انحلال پذیر/کلوئیدی مواد آلی هم به صورت هوازی و بی هوازی تجزیه می گردد. تجزیه ی هوازی مواد آلی محلول توسط گروهی از میکروارگانیسم های کموهتروتروفیک[۲۲]و کمواتوتروفیک[۲۳]انجام می گیرد[۲۹]. در جدول ۲-۸ گروههای اصلی میکروارگانیسمهای دخیل در فرایند تصفیه آلاینده ها با قید منبع کربن و انرژی آنها ارائه شده است.

### ۲-۷-۳ جامدات معلق

جامدات غیر آلی و معلق توسط فرآیند های فیزیکی جداسازی و حذف می گردند. مکانیزم جداسازی اصلی برای کلیه ی جامدات معلق( TSS) در تالاب ها رسوب گذاری و فیلتراسیون می باشد. همگام با زهکشی عمودی، فاضلاب از درون منافذ محیط زیر بستر عبور نموده و سرعت جریان آن کاهش

---

[۲۱] Particulate Organic Matter
[۲۲] Chemoheterotrophic
[۲۳] Chemoautotrophic

پیدا می کند. جامدات به صورت مکانیکی توسط چسبندگی درون منافذ محبوس می شوند. آنگونه که پیش از این اشاره شد، انباشت تدریجی جامدات احتمالا مهمترین پارامتر تاثیر گذار بر گرفتگی زیر بستر می باشد[۲].

جدول ۲-۸- گروه باکتریایی مسئول برای حذف آلاینده های گوناگون

| حذف آلاینده | منبع کربنی | منبع انرژی | میکرو ارگانیسم | |
|---|---|---|---|---|
| آمونیوم | کربن دی اکسید | انرژی خورشید | فتواتوتروفیک | اتوتروفیک |
| | کربن دی اکسید | اکسایش = کاهش غیر آلی | اتوتروفیک شیمیایی | |
| اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیایی(۵ روزه) | کربن آلی | انرژی خورشید | فتوهتروتروفیک | هتروتروفیک |
| | کربن آلی | اکسایش = کاهش غیر آلی | هتروتروفیک شیمیایی | |

### ۲-۷-۴ نیتروژن

نیتروژن یک از مهمترین آلاینده های موجود در فاضلاب می باشد. نیتروژن می تواند تأثیر منفی چشمگیری بر کیفیت آب های سطحی دریافت کننده ی جریان های فاضلاب ورودی داشته باشد. تعادل اکسیژن محلول را تغییر داده و آن را به سطوح ناکافی برای ارگانیزم های زنده در آب برساند.( به دلیل

فرآیند های تبدیل هوازی نیتروژن)، و در ظهور پدیده ی مردابی شدن[۲۴]سهیم باشد. انواع معمول نیتروژن در فاضلاب عبارتند از:

۱. شکل های ارگانیک: اوره$CO(NH_2)_2$، اسید های آمینه( $-NH_2$ و$-COOH_2$ )، اسید اوریک( $C_5H_4N_4O_3$، پورین و پیریمیدین ها
۲. شکل های غیر ارگانیک: یون هایی مثل آمونیوم( $NH_4^+$ )و نیترات($NO_3^-$) و نیتریت($NO_2^-$) و گازهایی مثل مونوکسید نیتروژن($N_2O$) ، نیتروژن($N_2$)، اکسید نیتریک($NO_2$) و آمونیاک آزاد ($NH_3$)

به طور معمول، روش های تحلیلی شامل تعیین آمونیاک، نیترات، نیتریت، نیتروژن کجلدال کل(نیتروژن ارگانیک + آمونیاک نیتروژن=TKN) نیتروژن ارگانیک( TKN- آمونیاک نیتروژن)، نیتروژن اکسید شده( نیترات + نیتریت)، نیتروژن غیر اگانیک ( نیتروژن اکسید شده +آمونیاک نیتروژن) و نیتروژن کل (نیتروژن اکسید شده + TKN) می باشند. ترکیب معمول فاضلاب خانگی متشکل از ۶۰ درصد آمونیاک نیتروژن و ۴۰ درصد نیتروژن ارگانیک می باشد.

به طور کلی، مکانیزم های بیولوژیکی و فیزیکی – شیمیایی مختلف مسئول تبدیل و حذف نیتروژن در تالاب ها می باشند، در حالیکه به طور خاص در تالاب ها حذف نیتروژن اکثراً متکی بر اثر بخشی نیتریفیکاسیون، دی نیتریفیکاسیون[۲۵]و آمونیفیکاسیون فرآیند های میکروبی می باشد (این موضوع در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است)[۲۸-۳۲ ].

[۲۴] Eutrophication
[۲۵] Denitrification

### ۲-۷-۴-۱ آمونیفیکاسیون[۲۶]

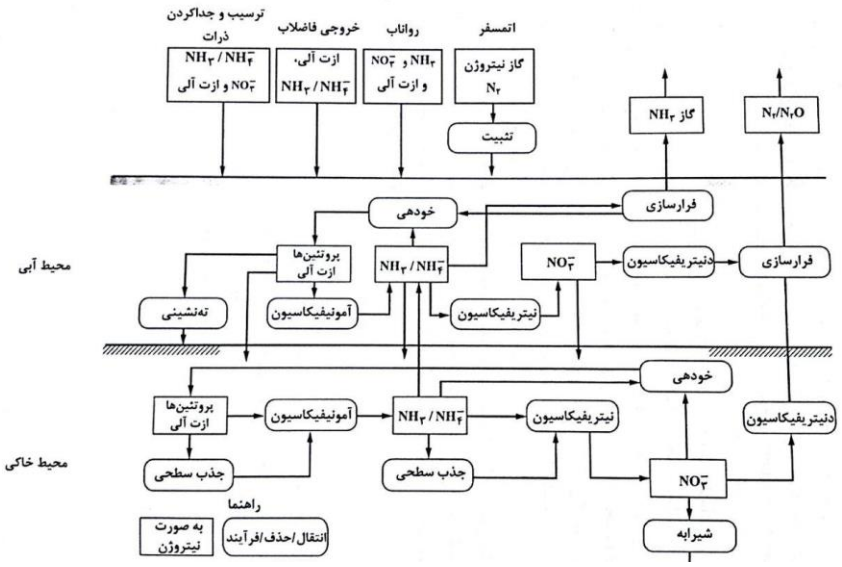
آمونیفیکاسیون نشان دهنده ی اولین گام در زنجیره ی تبدیل نیتروژن می باشد. نیتروژن ارگانیک موجود در فاضلاب ورودی به آمونیاک تبدیل می گردد.

$$Amino\ Acids \rightarrow Iminoacids \rightarrow Ketoacids \rightarrow NH_3 \quad (۱-۲)$$

$$Amino\ acid: RCH(NH_2)COOH + H_2O \rightarrow NH_3 + CO_2 \quad (۲-۲)$$

$$urea: CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2 \quad (۳-۲)$$

معمولا، اکثر نیتروژن ارگانیک توسط میکروب ها به آمونیاک تبدیل می گردد.




شکل ۲-۱۲- انتقال و حذف نیتروژن

این فرآیند در هر دو محیط هوازی و بی هوازی بستر روی می دهد، اما در لایه های غنی از اکسیژن به سرعت پیش می رود. آمونیفیکاسیون از نظر سینتیک سریع تر از نیتریفیکاسیون روی می

[۲۶] Ammonification

دهد. این فرآیند تحت تاثیر دما، pH، نسبت C/N، محتوای مغذی، و شرایط خاک می باشد. منطقه ی بهینه ی pH بین ۶/۵ و۸/۵ می باشد و دما بین ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس می باشد. این در حالی است که طبق گزارشات نرخ آمونیفیکاسیون با ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دما دو برابر می گردد. آمونیفیکاسیون در مقایسه با دیگر فرآیند ها در یک سطح مورد مطالعه قرار نگرفته است، با اینکه در تحقیقات اتجام شده نرخ های مختلفی تا $g\frac{N}{m^2}/d$ ۰/۳۵گزارش گردیده اند[۲۸-۳۲ ].

### ۲-۷-۴-۲ نیتریفیکاسیون[۲۷]

نیتریفیکاسیون احتمالا مهمترین فرآیند حذف در سیستم های تالابی می باشد. این فرآیند نماینده ی دومین گام در زنجیره تبدیل نیتروژن می باشد(شکل ۲-۱۲). که طی آن نیتروژن آمونیاکی توسط باکتری ها به نیترات تبدیل می گردد. ابتدا، نیتروژن آمونیاکی تحت شرایط هوازی توسط باکتری های کمولیتوتروفیک[۲۸] Nitrosospira، Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosolobu به نیتریت اکسیده می شود و سپس توسط باکتری های اختیاریِ[۲۹] a, Nitrococcus, Nitrobacter به نیترات تبدیل می شود.

اکسیداسیون آمونیاک برای باکتری های نیتریفایر انرژی فراهم می کند در حالیکه $CO_2$ به عنوان منبع

$$NH_4^+ + 1\cdot 5O_2 \rightarrow 2H^+ + NO_2^- + H_2O \qquad \text{مرحله ۱ (۲ - ۴)}$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \rightarrow NO_3^- \qquad \text{مرحله ۲ (۲ - ۵)}$$

کربن مورد استفاده قرار می گیرد. هر دو مرحله ی فرآیند به صورت زیر می باشد.

---

[۲۷] Nitrification
[۲۸] Chemolithotrophic
[۲۹] Faculative Bacteria

واکنش کلی را می توان به صورت زیر نوشت.

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O \qquad (۶-۲)$$

آنگونه که معادله ی۲-۶ نشان می دهد طی فعالیت های تنفسی ِباکتری هایِ نیتریفایر، اکسیژن مصرف شده و پروتون تولید می شود، که منجر به کاهش pH در فاضلاب می گردد. نیتریفیکاسیون یک فرآیند مصرف کننده ی اکسیژن می باشد. سطوح اکسیژن به طور مستقیم بر سرعت فرآیند اثر می گذارند. اکسیداسیون کامل آمونیاک نیتروژن نیازمند $mg\ O_2/mg$ ۴/۶ نیتروژن و غلظت اکسیژن محلول برابر با ۱ میلی گرم بر لیتر( مقدار بهینه $mg\ DO/L$ ۴-۳ ) می باشد، در حالیکه این تبدیل[۳۰] $mg\ HCO_3^-/mgNH_4^+ - N$ ۸/۶۴ را مصرف می کند. پارامتر های اثر گذار بر نیتریفیکاسیون عبارتند از دما، مقدار pH، قلیائیت ، منبع کربن غیر آلی، رطوبت، جمعیت میکروبی، غلظت آمونیاک نیتروژن و اکسیژن محلول. این مساله به طور کلی مورد پذیرش است که محدوده ی دمایی بهینه برای نیتریفیکاسیون از ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس می باشد، در صورتی که این فرآیند برای دماهای زیر ۵-۴ درجه سلسیوس در عمل متوقف می گردد. مقادیر pH بهینه حدود ۷/۵ تا مقادیر کمی قلیایی نزدیک به۷/۸ می باشند[۲۸-۳۲ ].

### ۲-۷-۴-۲ دنیتریفیکاسیون[۳۱]

گام بعدی در زنجیره تبدیل نیتروژن آمونیاکی شامل کاهش نیتریت و نیترات تولید شده به نیتریک اکسید ، دی نیتروژن مونوکسید[۳۲]و گاز نیتروژن توسط باکتری های اصلی نیتریفایر می باشد( شکل ۲-۱۲). با اینکه دنیتریفیکاسیون نماینده ی یک فرآیند قابل توجه حذف نیتروژن و مواد آلی می

[۳]Conversion
[۳]Denitrification
[۳]Nitrous Oxide

باشد، به دلیل غلظت های معمولا کم نیترات در فاضلاب شهری، این فرآیند به صورت یک فرآیند ترکیبی با نیتریفیکاسیون برای حذف نیتروژن کلی در نظر گرفته می شود. در این فرآیند باکتری های اختیاری هتروتروفیک[۳۳] از اکسید های نیتروژن یا اکسیژن به عنوان پذیرنده الکترون و ماده ارگانیک به عنوان دهنده الکترون استفاده می کنند. باکتری های اتوتروفیک[۳۴] که از ترکیبات غیر ارگانیک بعنوان منبع انرژی استفاده می کنند و از $CO_2$ بعنوان منبع کربن، نیز می توانند بعنوان دنیتریفایر[۳۵] نیترات عمل کنند. باکتری های هتروتروفیک مثل Pseudomonas، Bacillus، Micrococcus و Spirrillium (بعنوان چند نمونه ) نیترات را تحت شرایط بی هوازی یا آنوکسیک طبق معادله ی ۲-۷ تبدیل می کنند.

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O + N_2 \qquad (۷ - ۲)$$

این فرآیند تحت اثر پتانسیل اکسایش- کاهش[۳۶]، در دسترس بودن کربن ارگانیک و نیترات، غلظت اکسیژن محلول ، محتوای رطوبت، مقدار pH و دما می باشد. زوائد گیاهی می تواند بعنوان یک منبع کربن ارگانیک در تمام سیستم های تالابی عمل نماید. محدوده ی دمایی بهینه بین ۶۰ و ۷۵ درجه سلسیوس می باشد، در صورتی که برای مقادیر دمای کمتر از ۵ درجه بسیار آهسته پیش می رود و مقادیر pH بهینه محدوده ی ۶-۸ می باشد. احیای نیترات تحت شرایط کمبود اکسیژن( اکسیژن محلول کمتر از ۰/۳ mg/L )رخ می دهد، بنابراین در بستر های تالاب ایجاد این شرایط بسیار محدود می باشد، زیرا که آنها معمولا سیستم های هوازی می باشند. در حالیکه این فرآیند در سیستم های با جریان افقی فراوانی بیشتری دارد[۲۸-۳۲ ].

---

[۳۳] Facultative Heterotrophic Bacteria
[۳۴] Autotrophic Bacteria
[۳۵] Denitrifier
[۳۶] Redox Potential

### ۲-۷-۵ فلزات سنگین

برخلاف دیگر آلاینده ها و دیگر ترکیبات آلی سمی، فلزات سنگین قابل تجزیه نبوده و بنابراین تمایل به انباشت در محیط را دارند. عبارت " فلزات سنگین" به آن عناصری اشاره دارد که دارای وزن مولکولی سنگین تری از کلسیم در جدول تناوبی عناصر می باشند. فلزات سنگین اصلی مورد توجه در تصفیه آب فاضلاب عبارتند از سرب، روی، کادمیوم، نیکل، مس، کروم، جیوه، آهن و آرسنیک. فلزات سنگین حاضر در تالاب ها به شکل های محلول، کلوئیدی و یا ذره ای می باشند در حالیکه یون های فلزی آزاد برای تبدیل بیولویژیکی در دسترس می باشند. تالاب ها برای نگهداشت[۳۷]فلزات سنگین از آب حاوی حجم بالای این فلزات نظیر فاضلاب صنعتی، جریان خروجی فاضلاب، زهکشی معادن، شیرابه زباله و... به کار می روند. فرآیند هایی که در تالاب ها صورت می گیرند عبارتند از جذب سطحی و ته نشینی، فیلتراسیون، بر هم کنش های میکروب و فرا جذب گیاهی. در میان آن ها مکانیزم های حذف اصلی عباراتند از[۳۳و ۳۴]:

a) جذب سطحی به مواد آلی
b) هم رسوبی با هیدروکسید های فلزی
c) ته نشینی به صورت سولفید های فلزی

### ۲-۷-۶ جذب سطحی و ته نشست(رسوب)

حذف فلزات سنگین از طریق جذب سطحی و فرآیند های پیوندی داخل اجزای تالاب، یعنی محیط فیلتر، پوشش گیاهی و آب روی می دهد. فلزات محلول قادر به متصل شدن به مواد آلی روی ریشه های گیاهان یا دانه های محیط فیلتر می باشند. بار مثبت فلزات سنگین توسط سطح دارای بار منفی ماده ی جذب سطحی جذب می گردد، که منجر به پیوند فلزات سنگین با ذرات معلق و نشست

[۳۷] Retention

متعاقب آن روی مدیای بستر می گردد. فلزات سنگین جذب سطحی شده روی دانه های محیط فیلتر بسته به ظرفیت تبادل کاتیونی مدیای بستر و pH آب با دیگر کاتیون ها قابل مبادله می باشند.

فلزات سنگین به صورت نمک های نامحلول، برای مثال کربنات ها، بی کربنات ها، سولفید ها، و هیدروکسید ها، بسته به انحلال پذیری و غلظت یون های فلزی و pH فاضلاب رسوب می کند. نمک های تشکیل شده نا محلول بوده و پس از رسوب کردن درون مدیای بستر تثبیت می گردند. این نمک های نا محلول توسط اکسیداسیون و هیدرولیز Fe، Al وMn تشکیل می گردند که نماینده ی فرآیند های اصلی حذف برای این فلزات می باشند. از میان آن ها Al و Mn وابستگی کمتری به pH دارند. پیوند فلزی با اکسید های Al و Mn یک مکانیزم حذف دائمی نمی باشد، زیرا این اکسید ها وابستگی زیادی به تغییرات اکسیژن محلول داشته و ممکن است دوباره به سیستم برگردند. علاوه بر این تحت شرایط هوازی و حضور منبع کربن کافی، سولفات توسط باکتری های کاهنده ی سولفات به سولفید هایی کاهش پیدا می کند، که این سولفید ها فلزات را به صورت جامدات سولفید فلزی ته نشین می کنند[۳۵-۳۷]

### ۲-۷-۷ فیلتراسیون و رسوب گذاری:[۳۸]

تالاب ها همچنین بعنوان فیلتر های فعال برای فلزات سنگین عمل می کنند. همگام با عبور فاضلاب از درون منافذ محیط های فیلتر و شکبه ی ریشه ی متراکم و گسترده، فلزات سنگین محبوس و مسدود شده و بنابراین، درون سیستم نگه داری شده و می مانند. علاوه بر این، حضور گیاهان در نگهداری هیدروکسید های فلزی ته نشین شده سهیم می باشد. کارایی تصفیه و فیلتراسیون می تواند توسط سرعت جریان آب، سرعت نشست ذرات، حجم منافذ محیط های زیر بستر، و طول تالاب تحت

[۳۸] Sedimentation

تاثیر قرار گیرد. رسوب گذاری یک فرآیند فیزیکی دیگر برای حذف فلزات سنگین می باشد. این فرآیند به تنهایی روی نمی دهد، بلکه فرآیند های دیگر مثل رسوبگذاری[۳۹] و تشکیل ذرات بزرگتری را دنبال می کند که می توانند فرونشینی کرده و درون منافذ مدیا محبوس گردند. این موضوع در سیستم های HSF CW و FWS به خصوص دیده می شود [۳۸].

[۳۹] Precipitation

# فصل سوم: مواد و روش ها

## ۳-۱مقدمه

بیان دقیق چگونگی انجام یک تحقیق، اعم از تهیه مواد و وسایل مورد نیاز و همچنین روش های بکار گرفته شده در انجام آزمایش ها، از اهمیت زیادی برخوردار می باشد، چرا که علاوه بر ارائه یک دستور کار منظوم و دقیق برای آیندگان، می توان با مراجعه به آن، علت بسیاری از ناهمخوانی ها و خطاهای موجود در داده ها را مشخص نمود. تحقیق حاضر به روش تصفیه شیرابه می پردازد. در این تحقیق شیرابه (شهرستان بابل) به عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه در بررسی و مطالعات اولیه بر روی هر نوع فاضلاب، نیاز به شناخت ماهیت آن فاضلاب و مطالعات آزمایشگاهی می باشد. لذا قبل از انجام آزمایش های اصلی، شناخت شیرابه مربوطه انجام شد. برای دستیابی به این منظور کمیت های مورد ارزیابی شامل؛ pH، COD، $BOD_5$ کدورت، TSS ، TN ، در محل آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشگاه صنعتی نوشیروانی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## ۳-۲ مواد مورد استفاده

### ۳-۲-۱ **مشخصه** های کیفی شیرابه مرکز دفن شهر بابل

برای شروع یک پژوهش به شیوه آزمایشگاهی لازم است اطلاعات کافی از مشخصات مواد مورد مطلاعه بدست آید تا بدین وسیله تعریف مشخصی از مساله ارائه گردد. هدف این تحقیق تصفیه ی شیرابه های خاکچال های شهری می باشد. همانطور که در فصل قبل اشاره شده، یکی از پرکاربردترین و کم هزینه ترین روش ها برای پاکسازی، روش استفاده از تالاب های مصنوعی می باشد. شیرابه استفاده شده در این تحقیق، از محل دفن زباله های شهری بابل مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات کامل شیرابه ی مورد استفاده در جدول( ۳-۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱- مشخصات شیرابه ی مورد استفاده

| مشخصات | واحد | مقدار |
|---|---|---|
| pH | - | ۴/۱-۶/۱ |
| نیکل | میلی گرم در لیتر | ۵۳-/۶۱ ۲/۲ |
| TSS | میلی گرم در لیتر | ۴۸۰۰- ۷۵۰۰ |
| COD | میلی گرم در لیتر | ۵۰۰۰۰- ۷۰۰۰۰ |
| $BOD_5$ | میلی گرم در لیتر | ۴۱۰۰۰- ۵۱۰۰۰ |
| $NH_3$-N | میلی گرم در لیتر | ۷۷۰- ۱۱۰۰ |

**۳-۲-۲مواد تشکیل دهنده ی بستر**

در این پایان نامه به منظور نادیده گرفتن اثرات خاک در میزان تصفیه پذیری شیرابه توسط گیاه و مطالعه ی نقش گیاه در تصفیه شیرابه از خاک زراعی استفاده نشده است و از سنگ دانه ها با مشخصات جدول (۳-۲) استفاده شده است.

جدول ۳-۲- مشخصات سنگ دانه ی مصرفی

| نـــوع مـــاده محیطی | حداکثراندازه دانه ها (mm) | تخلخل | ضریب هدایت هیدرولیکی |
|---|---|---|---|
| ماسه | ۵ | ۴<br>۰/۸ | ۱/۸۴ |
| شن | ۸ | ۳<br>۰/۵ | ۱/۳۵ |
| قلوه سنگ | ۱۵ | ۲<br>۰/۵ | ۰/۸۶ |

شکل ۳-۱- استفاده از ماسه با ضریب تخلخل ۴۸ درصد به‌عنوان بستر رشد گیاهان در تالاب‌ها

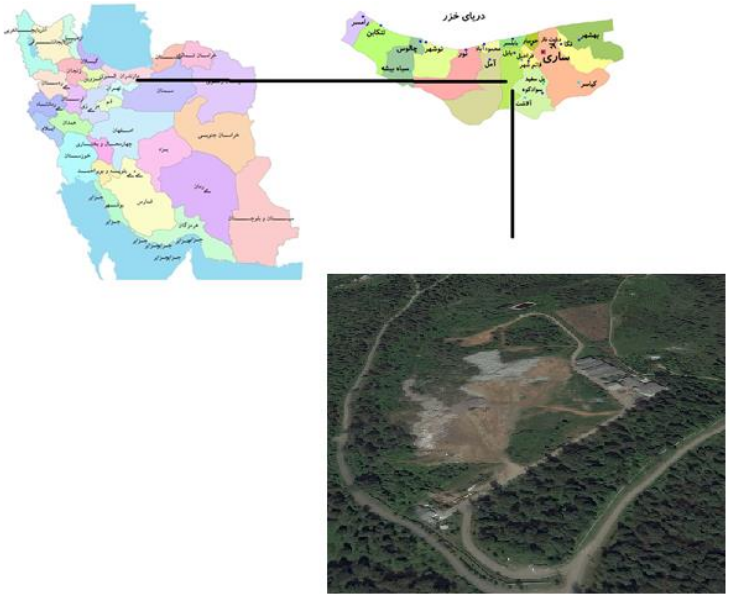
شکل ۳-۲- استفاده از شن با ضریب تخلخل ۳۵ درصد در تالاب‌ها

شکل۳-۳-استفاده از قلوه سنگ با ضریب تخلخل ۲۵ درصد در تالاب‌ها

### ۳-۲-۳محل اجرای طرح

این تحقیق در محل دفن بابل بین ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی بابل با شیب عمومی ۱۴درصد و مساحت ۴ هکتار انجام گردید. ارتفاع شهر بابل ۲ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد است. میزان شیرابه اولیه زباله با توجه به هفتاد درصد رطوبت و ظرفیت زباله به حدود ۱۱/۸ مترمکعب

در روز می‌رسد. سیستم جمع‌آوری شیرابه از لوله‌های  بتنی عمدتاً با قطر ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. شکل (۳-۴) موقعیت محل دفن زباله را به‌طور کامل نشان می‌دهد.




شکل ۳-۴- موقعیت لندفیل بابل

### ۳-۲-۴مشخصات آب و هوایی منطقه

شهر بابل در مرکز استان مازندران واقع و ازنظر اقلیمی جزء مناطق معتدل با تابستان‌های گرم است. میانگین ماهانه دما در بابل ۱۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط میزان بارش سالیانه ۹۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در جدول (۳-۳) داده‌های مربوط به مشخصات آب و هوایی در مدت‌زمان مطالعه آورده شده است.

جدول ۳-۳- مشخصات آب و هوایی بابل در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد

| | دما | | | مجموع بارندگی‌های روزانه (میلی‌متر) |
|---|---|---|---|---|
| | حداقل | میانگین | حداکثر | میانگین |
| فروردین | ۳/۸ | ۲۴ | ۱۵ | ۴۳ |
| اردیبهشت | ۹/۸ | ۳۰/۵ | ۲۰ | ۴۰ |
| خرداد | ۱۳/۲ | ۳۵ | ۲۴ | ۵۰ |

### ۳-۲-۵ مرحله اول تحقیق

#### ۳-۲-۵-۱گیاه مورد استفاده

گیاهان از جمله اجزای بسیار مهم در تالاب های مصنوعی به شمار می روند. به همین منظور در این آزمایش گونه ی معمول Phragmites australis( جدول ۳-۴) مورد استفاده قرار گرفت. این گیاه در اکثر نقاط دنیا به وفور یافت می شود و دارای تحمل شوری ۴۵ ppt و pH بهینه ۲ تا ۸ و در دمای مطلوب ۱۲ تا ۳۳ درجه سلسیوس به خوبی رشد می کند. گیاه مورد استفاده در این تحقیق از حاشیه ی منطقه ی جاده ساحلی شهرستان بابل برداشته شده است. نهال های برداشت شده تازه و با ارتفاع بین ۱۵ تا ۲۵ سانتی متر می باشند. گیاه برداشت شده کاملا با ریشه و خاک منتقل و ریشه به صورت کامل در آب خاک زدایی گشته و سپس برای انجام آزمایشات آماده گردیده شد

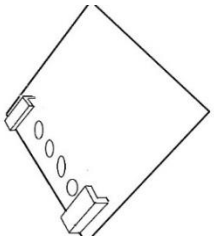
شکل ۳-۵- فرآیند نمونه برداری از نی در شهرستان بابل

جدول ۳-۴- مشخصات گیاه مورد استفاده

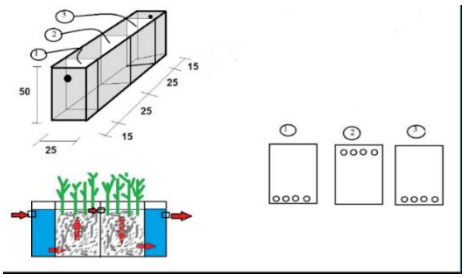
| نام فارسی گیاه | نی |
|---|---|
| شاخه | Plantae |
| راسته | Poales |
| خانواده | Poaceae |
| جنس | Phragmites |
| گونه | P.Australis |
| نام ترکیبی | PhragmitesAustralis(Cav.)Trrim.ex Steud |

### ۳-۲-۵-۲راکتور مورد استفاده

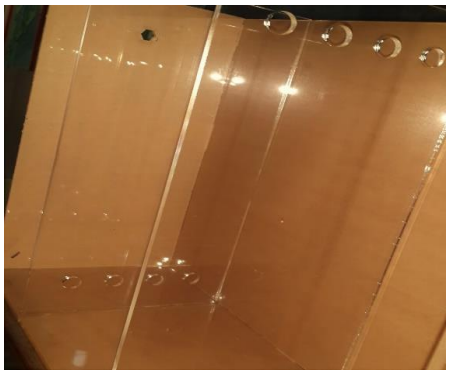
برای انجام این تحقیق از دو سری راکتور تهیه و راه اندازی شد. مرحله اول شامل راکتور حاوی گونه گیاهی نی و راکتور دوم شامل نمونه شاهد بدون گیاه بود.



شکل۳-۶-الف – جدا کننده های رآکتور




شکل۳-۶-ب- نمای طولی راکتور



شکل ۳-۷- الف- نمای جدا کننده

شـــکـل ۳-۷- ب- نمـای کلی

### ۳-۲-۵-۳روش ساخت راکتور

به منظور بررسی کارآمدی سامانه تالاب ،پایلوتی ازجنس پلکسی گلس به ۸۰ سانتیمتر طول و عرض ۲۵ سانتیمتر و عمق۵۰ سانتیمتر ساخته شد. سپس با سه جداره از جنس پلکسی گلس تالاب را به چهار قسمت تقسیم گردید. در جداره وسط از بالا و جداره های اول و آخر در پایین شکافت هایی

جهت عبور جریان تعبیه گردید تا جریان به صورت روبه بالا و روبه پایین حرکت کند. دوسلول اول و آخر را به عنوان ورودی و خروجی جریان قرار داده و دو سلول وسط را با شن ریز، متوسط و درشت به نسبت های مساوی پر نموده و دو شیر تخلیه برای هر کدام قرار داده شد تا بتوان میزان حذف و عملکرد هر یک از سلول ها را به طور جداگانه مورد مطالعه قرار داد. پس از ساخت پایلوت، فورا کاشت نی (با نام علمی فاراگمیتس استرالیس) در مرحله جوانه و همچنین در ارتفاع های مختلف بین ۲۰ تا ۵۰ سانتیمتر انجام شد.

شکل ۳-۸- مراحل راه اندازی راکتور برای شروع آزمایش

### ۳-۲-۵-۴برنامه آزمایش ها

به منظور دست یابی به شرایط بهینه تصفیه و همچنین آماده سازی و وقف پذیر کردن گیاه با شرایط آزمایش در ابتدا تلاش بر این شد که به مدت یک ماه آزمایش در تالاب بدون حضور شیرابه به صورت بازگشتی انجام گردد و در هر هفته به میزان ۲ لیتر شیرابه به پایلوت اضافه شود تا گیاه آماده شده و شوک ناگهانی به آن وارد نشود. در مدت یک ماه تغییرات محسوسی در گیاه ایجاد نشد و همچنان گیاه شادابی و سر سبزی خود را داشت.

در ماه دوم آزمایش به پایلوت شیرابه ی رقیق شده به میزان ۱۰ درصد تزریق شد تا میزان پایداری گیاه در برابر شیرابه ی اصلی مورد بررسی قرار گیرد پس از گذشت یک ماه گیاه شادابی خود را از دست داده و درصد زیادی از برگ های گیاه به رنگ زرد تغییر رنگ دادند.

در ماه سوم شیرابه ی اصلی با جریان بازگشتی در سیستم ایجاد شد تا یک ارزیابی کلی در مورد توانایی گیاه و سیستم برای حذف آلاینده های اصلی شیرابه به دست آید. نتیجه ی آزمایش این بود که شیرابه ی اصلی گیاهان موجود در سیستم را در مدت زمان کمتر از ۱۰ روز به صورت کامل خشک کرده و از بین برد. در بعضی از گیاهان ریشه به طور کامل پودر شد.

شکل ۳-۹-الف- گیاه با شیرابه اصلی

شکل ۳-۹-ب- گیاه با شیرابه رقیق شده

### ۳-۲-۶ مرحله دوم تحقیق

#### ۳-۲-۶-۱مقدمه

این تحقیق در سه تالاب مصنوعی عمودی صورت گرفت. تالاب اول به‌عنوان تالاب شاهد (بدون گیاه وتیور) و تالاب دوم و سوم کاشته شده به‌وسیله گیاه وتیور (تالاب اول و دوم با شیرابه اصلی و تالاب سوم با شیرابه ۱۰ برابر رقیق‌شده تغذیه شدند)(شکل ۳-۱۰). ابعاد هر یک از تالاب‌ها ۱/۵×۰/۵×۰/۵ متر است. عمق ۴۰ سانتی‌متری هر تالاب به ترتیب ۲۰ سانتی‌متر ابتدای تالاب‌ها از ماسه با ضریب تخلخل

۴۸ درصد و ۱۵ سانتی‌متر میانی آن به‌وسیله شن ۳۵ درصد و ۱۰ سانتی‌متر انتهایی آن از قلوه‌سنگ با ضریب تخلخل ۲۵درصد پر شدند. شیرابه با شدت‌جریان ۲۶ لیتر بر روز به‌وسیله شیرهای تنظیم وارد سیستم‌ها شده و باگذشت ۵ روز (زمان ماند) از انتهای سیستم‌ها خارج شدند. گیاه وتیور با چگالی ۱۶ عدد در مترمربع در تالاب‌های اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده کاشته شدند.

شکل ۳-۱۰-نمای کلی تالاب‌های مصنوعی شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده

**۳-۲-۶-۲ گیاه مورد استفاده**

در تالاب‌های اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده از گیاه وتیور استفاده شد. چگالی گیاهان ۱۶ عدد در هر مترمربع است(شکل۳-۱۱). وتیور گیاهی از خانواده گرامینه با قدمتی چند هزار ساله است. این گیاه در اکثر خاک‌ها رشد می‌کند ولی بهترین خاک برای رشد مطلوب آن خاک شنی لوکی غنی با زهکشی مطلوب می‌باشد. ریشه‌های عمودی آن تا عمق ۳ متری نیز نفوذ می‌کند. در دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه رشد مطلوبی داشته و تا دمای ۱۵- درجه سانتی گراد را نیز تحمل می‌کند. با بررسی مجموعه عوامل فوق می‌توان نتیجه گرفت که این گیاه در بخش‌های قابل توجهی از ایران قابل کشت می‌باشد.

آستانه مقاومت شوری این گیاه ۸ دسی زیمنس بر متر می باشد که در مقایسه با بیشتر گیاهان مقاوم به شوری  مقاومت بالاتری دارد. این گیاه مقاومت زیادی به کادمیم، مس، سرب و روی دارد. هر کدام از این عناصر در قسمت‌های مختلف گیاه تقسیم می‌شوند.

شکل۳-۱۱-نحوه قرار گرفتن گیاهان وتیور در تالاب

شکل ۳-۱۲-تالاب شاهد و نحوه قرارگیری لوله‌های جمع‌آوری

### ۳-۲-۶-۳آماده کردن تالاب‌ها

بعد از راه‌اندازی سیستم‌ها و کاشتن گیاهان در آن به‌منظور پایداری و سازگاری گیاهان و شسته شدن بستر تالاب‌ها، هر سه تالاب به مدت ۱ ماه با آب معمولی آبیاری شدند. گیاهان وتیور استفاده‌شده در تالاب‌ها، قبل از قرارگیری در تالاب‌ها، به‌صورت آزمایشی به‌وسیله شیرابه، شامل سه تیمار با نسبت‌های یک، ۱۰ و ۱۵ برابر و سه تکرار برای هر نسبت، آبیاری شدند تا بهترین تیمار شیرابه را بین

مقادیر ۱۰ و ۱۵ برابر برای تیمار رقیق‌شده انتخاب گردد. طرح آبیاری آزمایشی علاوه بر انتخاب بهترین تیمار باعث سازگاری بین گیاه و شیرابه نیز می‌شود.

بعد از گذشت دو ماه از آبیاری آزمایشی گیاهان به‌وسیله شیرابه در تیمارهای مختلف، با توجه به پایداری و عدم تغییر در گیاهان در هر دو تیمار ۱۰ و ۱۵ برابر، نسبت ۱۰ برابر رقیق‌شده به‌عنوان شیرابه ورودی به تالاب مصنوعی عمودی انتخاب گردید. در نتیجه مطالعات بر روی سه تالاب: شماره یک به‌عنوان شاهد، شماره دو به‌عنوان تالاب با شیرابه ورودی خام و شماره سه به‌عنوان تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده به‌وسیله آب، صورت گرفت.

شیرابه ورودی با توجه به در نظر گرفتن زمان ماند پنج روز (زمان ماند پنج روز با توجه به نوع سیستم تالاب مصنوعی عمودی و مقایسه با مطالعات صورت گرفته، انتخاب شد) و همچنین ابعاد تالاب‌ها با دبی ۱/۱ لیتر بر ساعت با توجه به رابطه زیر وارد تالاب‌ها می‌شد. با توجه به پایین بودن مقدار دبی ورودی، جریان ورودی از یک نقطه به سیستم ها وارد می‌شوند.

$$(۱) Q = \frac{V}{t}$$

Q: برابر شدت‌جریان ورودی (مترمکعب بر ساعت)

T: زمان ماند (ساعت)

V: حجم شیرابه داخل تالاب مصنوعی (مترمکعب)

با توجه به مصالح انتخاب‌شده، V حجم شیرابه داخل تالاب، با توجه به حجم فضای خالی مواد پرشده بسترها محاسبه گردید.

$V =$ حجم تالاب × تخلخل = خالی فضای حجم

$$= (1.5 \times 0.48 \times 0.5 \times 0.20) + (1.5 \times 0.35 \times 0.5 \times 0.15)$$
$$+ (1.5 \times 0.25 \times 0.5 \times 0.1) = 0.130\ m^3 = 130\ lit$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{130\ lit}{5\ day} = 26\frac{lit}{day} = 1.1\frac{lit}{hr}$$

شکل (۳-۱۳) نحوه تنظیم کردن  جریان ورودی به تالاب‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱۳-نحوه تنظیم کردن شدت‌جریان ورودی

بعد از وارد شدن شیرابه به داخل تالاب‌ها نمونه‌گیری از ابتدا و انتهای تالاب‌های مصنوعی انجام گرفت، به این صورت که در ابتدا از جریان ورودی و بعد از گذشت ۵ روز، از جریان خروجی نمونه‌برداری صورت گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل پارامترهای pH، TSS، BOD، COD و فلز سنگین نیکل می‌باشند که هر ۵ روز یک‌بار مطابق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری خواهند.

## ۳-۳مواد مورد استفاده

### محلول کاتالیست برای سنجش COD

برای تهیه این محلول مقدار ۵/۵ گرم سولفات نقره در ۱ کیلوگرم اسید سولفوریک حل شده و محلول پس از حل شدن کامل سولفات نقره مورد استفاده قرار گرفت.

### محلول هاضم برای سنجش COD

برای تهیه این محلول ابتدا مقدار ۴/۹۱۳ گرم دی کرومات پتاسیم پس از حرارت در دمای ۱۰۳ درجه سیلسیوس به مدت ۲ ساعت در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل نموده سپس مقدار ۱۶۷ میلی لیتر اسید سولفوریک همراه با ۳/۳۳ گرم سولفات جیوه به محلول اضافه شد و در نهایت حجم محلول به ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد.

### اسید

از اسید سولفوریک مرک[۴] آلمان با درصد خلوص ۹۵ تا ۹۷، برای تنظیم pH، تهیه کاتالیست و محلول هاضم در آزمایش COD استفاده گردید.

### سود

برای تهیه سود مورد نیاز از هیدروکسید سدیم جامد که از شرکت مرک آلمان تهیه گردید، استفاده شد. از این ماده برای تنظیم pH در مراحل مختلف آزمایشگاهی استفاده گردید.

[۴] Merck

## ۳-۴آزمایش ها

### آزمایش COD

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی معیاری از مقدار بار آلی موجود در نمونه می با شد. برای انجام این آزمایش از روش متداول روش برگشتی بسته[۱]و باز[۲]که در روش های استاندارد معرفی شده است، استفاده می گردد، که در این تحقیق از روش استاندارد متد استفاده شده است.

برای انجام این آزمایش از لوله های آزمایشی به اندازه ۱۰۰×۱۶ میلی متر استفاده گردید. برای آماده سازی محلول COD از مقدار ۳/۵ میلی لیتر از محلول کاتالیست همراه با ۱/۵ میلی لیتر محلول هاضم در شیشه آزمایش آماده گردید و میزان ۲/۵ میلی لیتر از نمونه اضافه گردید. سپس لوله آزمایش را در راکتور COD به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد حرارت دیده است. بعد از آنکه دستگاه را خاموش و لوله ها را از دستگاه خارج نموده، اجازه داده شد تا لوله ها سرد گردند تا به دمای محیط برسند. در نهایت میزان جذب نور هر کدام از محلول ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه گیری گردید و میزان جذب نور به دست آمده را در فرمول به دست آمده از منحنی استاندارد COD قرار داده شد تا میزان COD به دست آید.

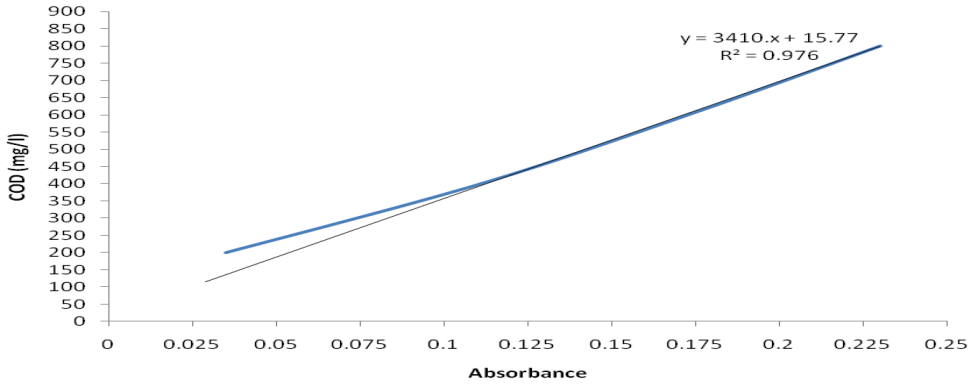
### منحنی استاندارد برای سنجش COD

برای اندازه گیری COD از محلول شیمیایی KHP به عنوان نمونه های استاندارد استفاده گردید. محلول KHP ($HOOCC_6H_4COOK$) با غلظت های متفاوت تهیه گردید که می تواند COD معادلی از صفر تا ۱۰۰۰ $mgO_2/l$ ایجاد کند. ۴۲۵ میلی گرم در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل گردید. این محلول

[۱] Closed Reflux Method
[۲] Open Reflux Method

ساخته شده دارای ارزش تئوری ۱۰۰۰ $mgO_2/l$ می باشد. از این محلول با غلظت های متفاوت جهت تهیه منحنی استاندارد برای اندازه گیری COD استفاده گردید.

روش تهیه منحنی استاندارد طبق روش ارائه شده کلیه مراحل به ترتیب انجام گردید. از محلول KHP با غلظت های متفاوت استفاده گردید و از آنجا که هر غلظت از KHP، COD مخصوص به خود دارد تنها با به دست آوردن جذب نور هر غلظتی از محلول KHP می توان منحنی استاندارد را همانند شکل ۳-۱۴ به دست آورد. منحنی به دست آمده دارای معادله خطی زیر با ضریب زاویه ۳۴۱۰ و عرض از مبدا ۱۵/۷۷ می باشد که x در حقیقت میزان جذب نور نمونه ها در اسپکتوفتومتر است.




شکل ۳-۱۴- منحنی استاندارد برای اندازه گیری ***COD***

## آزمایش BOD

مقدار اکسیژنی که باکتریها به هنگام تثبیت مواد آلی قابل انحلال در شرایط هوازی به آن نیاز دارند، را BOD می گویند. این مقدار اکسیژن را (که همان اکسیژن محلول است) می توان مقیاسی از محتوی ماده آلی قابل انحلال در نظر گرفت.

BOD اعمالی می تواند تحت تاثیر عواملی چون ویژگیهای فاضلاب محتوی ماده آلی قابل انحلال ، توده باکتری ها و درجه حرارت قرار گیرد.

BOD اعمالی در ۲ مرحله انجام می پذیرد:

مرحله کربن دار

مرحله نیتروژن دار (نیتریفیکاسیون)

در فا ضلاب ۲ نوع باکتری، باکتری های تجزیه کننده کربن و باکتری‌های تجزیه کننده نیتروژن وجود دارد.

م شاهده شده در صد زیادی از کل BOD را در ۵ روز و در حرارت ۲۰ درجه سانتی گراد انجام می پذیرد و اندازه BOD ۵ روزه تا اندازه قابل قبولی قابل مقایســـه با BOD ۴ روزه در ۳۰ درجه و BOD ۳ روزه در ۳۵ درجه سانتیگراد می باشد.

BOD را به ۲ روش قابل اندازه گیری می باشد.

### الف- روش مستقیم

در این روش از دستگاه سنجش مستقیم BOD که دارای شیشه های استاندارد استفاده می شود. در این آزمایش حجم مشخصی از نمونه رقیق شده درون یکی از شیشه ها قرار داده، سپس برای جذب $CO_2$ ناشی از تجزیه بیولوژیکی در مخزن لوله ای کوچکی که در سر بطری قرار دارد مقداری NaOH جامد قرار داده می‌شود. عمل اختلاط در این دستگاه به کمک یک آهنربا موجود در درون ظرف شیشه ای، انجام می گیرد. پس از قرار دادن شیشه ها در جای مربوطه دستگاه را روشن نموده و پس از یک ساعت درب شیشه ها محکم گردید و پس از سپری شدن ۵ روز با استفاده از ضرائب موجود بر روی دستگاه مقدار BOD محاسبه شد.

## ب- روش غیر مستقیم با استفاده از آب رقیق شده[۴۳]

برای تهیه آب رقیق سازی به یک لیتر آب مقطر عاری از هر گونه ماده معدنی، یک میلی لیتر از هر کدام از محلول های بافر فسفات، سولفات منیزیم، کلرور کلسیم، کلرور آهن ۳ ظرفیتی و ۲ میلی لیتر فاضلاب خانگی به عنوان توده باکتریهای کمکی اضافه کرده و سپس هوادهی می شود تا از اکسیژن اشباع شود (مدت هوادهی حدود ۱۵ دقیقه می باشد).

نمونه مورد آزمایش را در بطری، در سمباده ای که ظرفیت آن ۳۰۵ میلی لیتر می باشد، ریخته و طوری عمل می شود که هنگام پر شدن بطری، اکسیژن هوا درون آب حل نشود. حال ظرفیت ۳ بطری را دقیق تعیین می نمایند.

در دو ظرف مخصوص BOD، یکی از آب رقیق سازی پر می شود به عنوان شاهد که آن را $DO_b$ می نامند. اکسیژن محلول نمونه ای که رقیق نشده است را در یکی از بطریها طبق آزمایش اکسیژن محلول بدست می آورند و آن را $DO_S$ می نامند.

در ظرف دیگر ۱/۵میلی لیتر از نمونه فاضلاب را به آرامی وارد کرده و سپس با آب رقیق سازی پر می کنند و آن را $DO_i$ می نامند، در ظروف را محکم می بندند به طوری که هر گاه درب را می بندند آب اضافی آن خارج شود. باید مراقب بود که حبابی در ظرف تشکیل نگردد و در صورت تشکیل حباب باید به آرامی خارج شود، سپس آن را به مدت ۵ روز در انکوباتور ۲۰ درجه سانتیگراد قرار می دهند. اکسیژن محلول شاهد را پس از ۱۵ دقیقه و نمونه را پس از ۵ روز به همان روش اندازه گیری DO تعیین می شود .در این پژوهش از روش مستقیم استفاده شده است.

[۴۳] Water dilution

### آزمایش اندازه گیری کل جامدات معلق

جهت انجام این آزمایش مقدار مشخصی از نمونه را از صافی گذرانده و مواد باقی مانده روی صافی پس از خشک کردن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد نشان دهنده کل جامدات معلق در نمونه است.

برای انجام این آزمایش ابتدا برای رسیدن به وزن ثابت کاغذ صافی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک گردید و به وسیله ترازوی آزمایشگاهی وزن شد. سپس حجم مشخص از نمونه از صافی عبور داده شد و پس از رساندن آون به دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد، صافی همراه با مواد باقیمانده روی آن را به مدت ۲ ساعت در این دما تحت حرارت قرار داده و پس از آن مجددا وزن گردید. اختلاف وزن صافی پس از خروج از آون با صافی اولیه نشان دهنده مقدار کل جامدات معلق است.

### آزمایش اندازه گیری pH

این پارامتر نشان دهنده اسیدی یا قلیایی بودن محیط می باشد. در تصفیه شیمیایی شیرابه ها باید pH مناسب جهت عملکرد بهینه را فراهم آورد. در هر بار آزمایش، الکترود pH متر در داخل نمونه مورد نظر قرار گرفته و پس از آنکه عدد صفحه نمایشگر به مقدار ثابتی رسید عدد مورد نظر قرائت می شود

### دستگاه های مورد استفاده

### دستگاه راکتور COD

جهت گرم کردن نمونه ها برای آزمایش COD در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد، از دستگاه راکتور COD ساخت شرکت هچ[۴۴] کشور امریکا استفاده گردید.

[۴۴] HATCH

**دستگاه راکتور BOD**

دستگاه مورد استفاده در این آزمایش عبارت است از یک دستگاه سنجش BOD مدل VELP SCIENTIFICA محصول کشور ایتالیا. این دستگاه دارای ۶ ظرف شیشه ای است که هر ظرف جهت ریختن حجم مشخصی از نمونه مورد استفاده قرار می گیرد. ظروف اندازه گیری داخل یک انکوباتور و در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد قرار می گیرد.

**دستگاه اندازه گیری pH**

در این تحقیق از دستگاه pH متر مدل هانا (HI8314) استفاده شد.

**دستگاه اون**

جهت گرم کردن نمونه ها برای آزمایشات گوناگون در آزمایشگاه، از دستگاه اون ساخت شرکت اکوتک[۴۵] کشور ایران استفاده گردید.

**ترازو**

برای اندازه گیری های مختلف از جمله مقدار مواد مصـــرفی مورد نیاز از ترازو با دقت ۰,۰۰۰۱ گرم ساخت شرکت اند[۴۶] آلمان استفاده گردید.

**کاغذ صافی**

از کاغذ صافی واتمن[۴۷] به منظور انجام آزمایش TSS استفاده گردید. قطر این کاغذ ۱۵۰ میلی متر و اندازه منافذ آن ۰/ ۴۵ µm است.

---

[۴۵] ECOTEC
[۴۶] AND
[۴۷] Whatman

# فصل چهارم بحث و نتیجه گیری

## ۴-۱مقدمه

این تحقیق به منظور بررسی امکان تصفیه شیرابه محل دفن زباله بابل در بهار ۱۳۹۵ به مدت ۶۰ روز انجام پذیرفت.

سیستم‌های این مطالعه عبارت‌اند از:

- تالاب مصنوعی شاهد با شیرابه اصلی
- تالاب مصنوعی با شیرابه اصلی
- تالاب مصنوعی با شیرابه ۱۰ برابر رقیق‌شده

نتایج حاصل از این تحقیق در دو بخش آمده است، در بخش اول خصوصیات کلی شیرابه در دوره آزمایش و در بخش دوم اثر تالاب مصنوعی بر تصفیه و حذف آلاینده‌ها گزارش شده است.

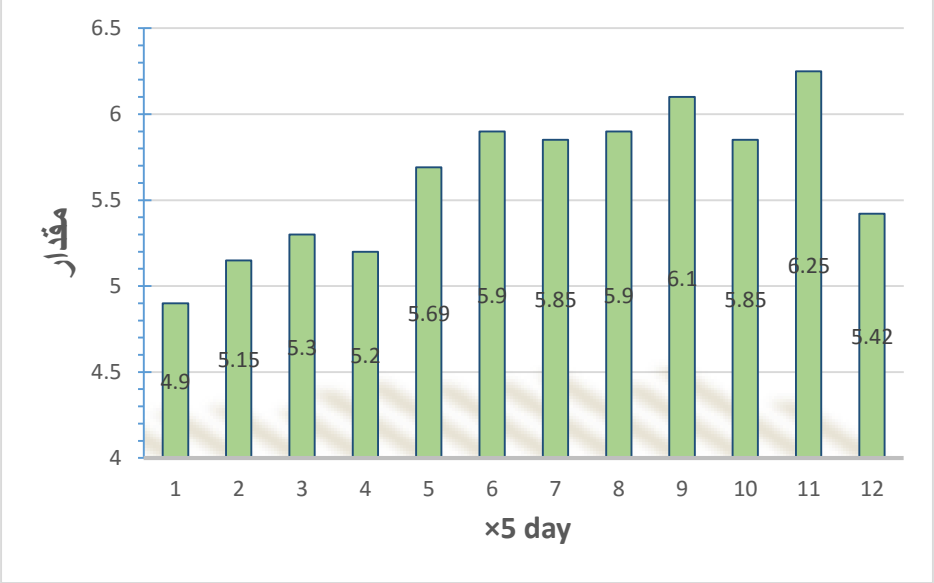
در پایان با استفاده از تحلیل‌های انجام‌گرفته تأثیر گیاه وتیور و تیمار شیرابه ورودی در تصفیه شیرابه در تالاب مصنوعی مشخص می‌گردد.

## ۴-۲ خصوصیات کلی شیرابه در دوره آزمایش

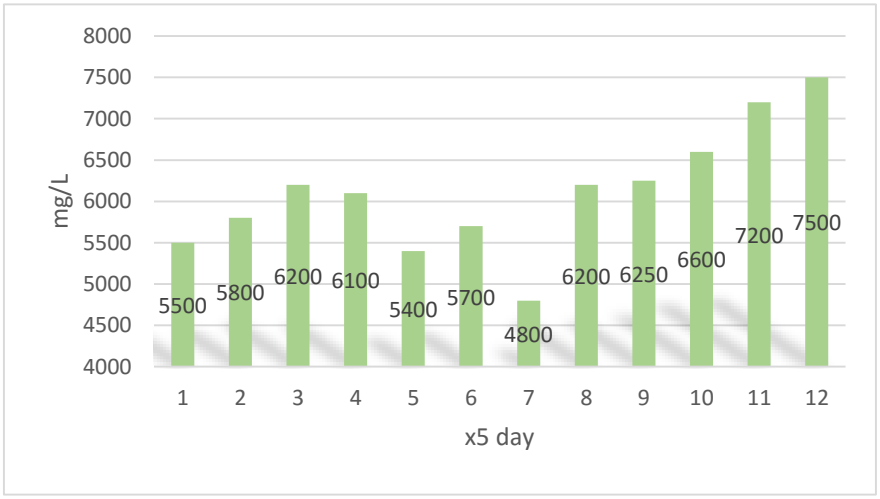
وجود مقادیر زیاد رطوبت در زباله‌های شهری منجر به تولید حجم زیادی شیرابه می‌گردد. کیفیت شیرابه نیز به نوبه خود از منبع تولید آن تأثیر می‌پذیرد و کاملاً به الگوی مصرف وابسته است. همان‌طور که از شکل‌های (۴-۱) تا (۴-۶) و جدول (۴-۱) مشخص است تغییرات اسیدیته، TSS، COD، نیتروژن آمونیاکی و فلز نیکل با گذشت زمان (در مدت زمان آزمایش) از روند خاصی پیروی نمی‌کند.

جدول ۴-۱-نتایج آنالیز شیرابه ورودی به تالاب اصلی و شاهد

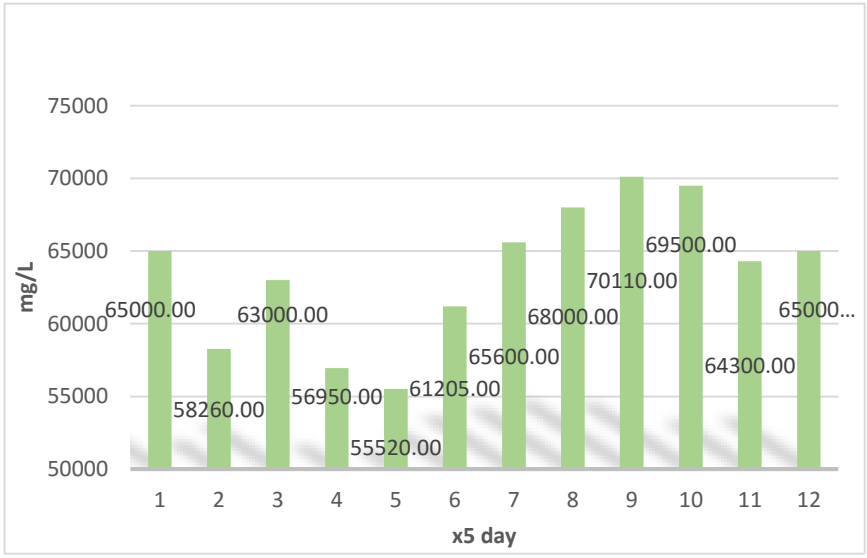
| پارامتر | واحد | میانگین | محدوده |
|---|---|---|---|
| **pH** | - | ۴/۸۷ | (۴/۱-۶/۱) |
| **TSS** | mg/lit | ۵۹۳۶ | (۴۸۰۰-۷۵۰۰) |
| **COD** | mg/lit | ۶۳۵۴۰ | (۵۰۰۰۰-۷۰۰۰۰) |
| **$BOD_5$** | mg/lit | ۴۶۵۰۰ | (۴۱۰۰۰-۵۱۰۰۰) |
| **نیکل** | mg/lit | ۲/۵۸ | (۲/۵۳-۲/۶۱) |
| **$NH_3$-N** | mg/lit | ۹۰۳ | (۷۷۰-۱۱۰۰) |



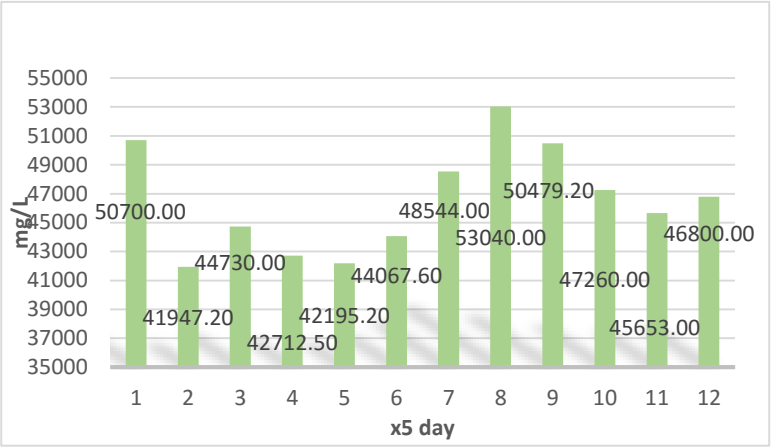

شکل۴-۱-تغییرات pH شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف



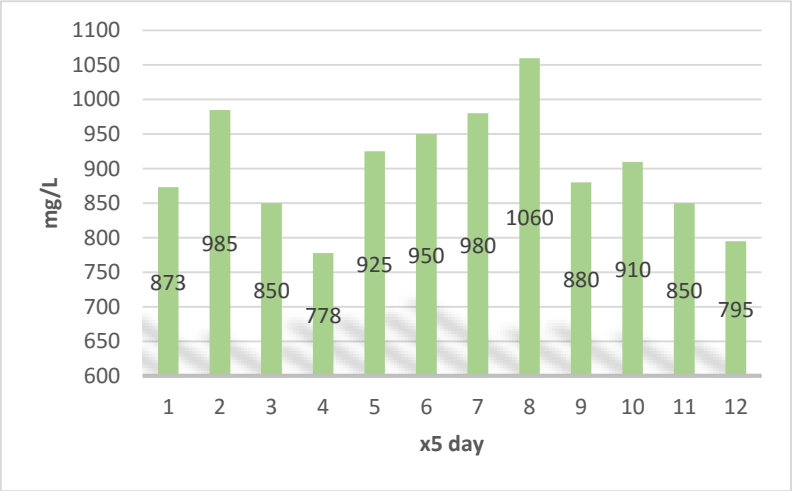

شکل۴-۲-تغییرات TSS شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف



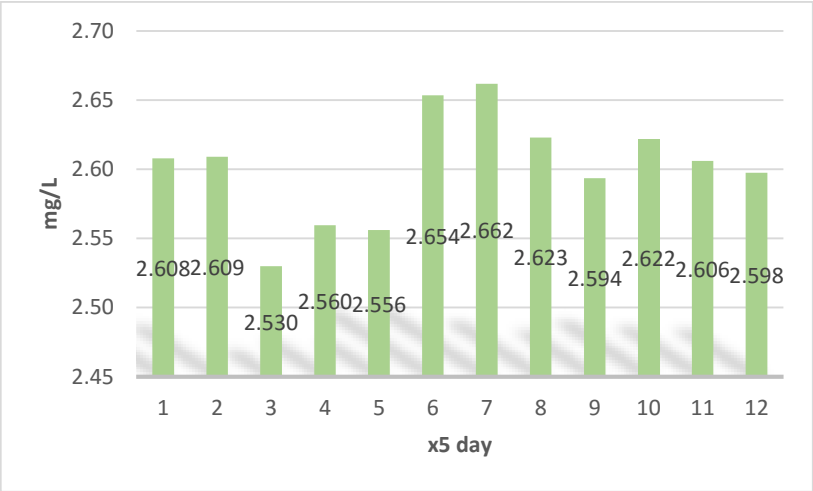

شکل۴-۳- تغییرات COD شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف




شکل۴-۴-تغییرات $BOD_5$ شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف




شکل۴-۵-تغییرات آمونیاک شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف




شکل۴-۶-تغییرات نیکل شیرابه ورودی در آبیاری‌های مختلف

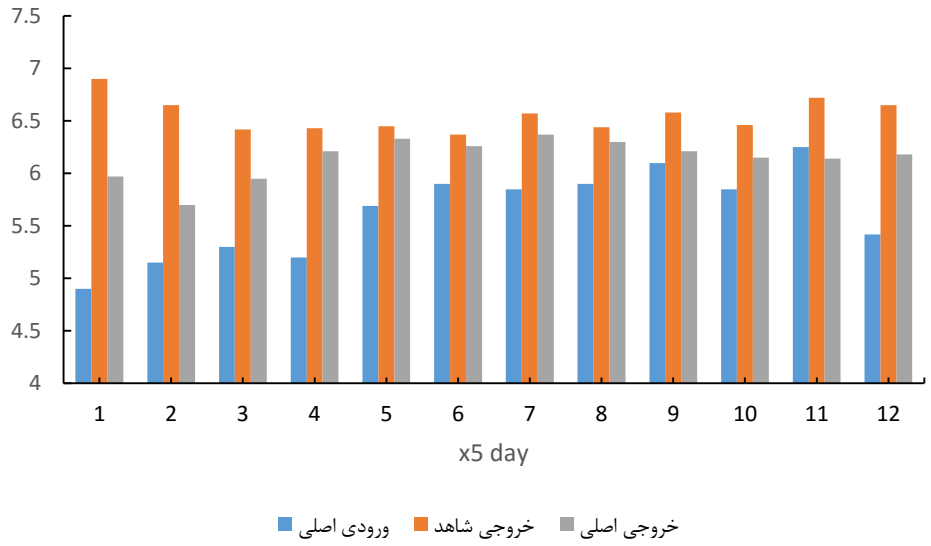
شیرابه‌های تولیدشده به‌وسیله زهکش‌ها ولوله‌های بتنی جمع‌آوری می‌گردند. pH شیرابه بین ۴/۱ تا ۶/۱، COD بین ۵۰۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ میلی‌گرم بر متر لیتر، غلظت بالایی از عناصر پر نیاز و کم نیاز و همچنین مقداری عناصر سنگین است. با مقایسه غلظت آلاینده‌های ورودی (جدول۴-۱) با غلظت مطالعات مشابه، شاهد بار بسیار بالای آلودگی در شیرابه محل دفن بابل هستیم. به‌عنوان‌مثال غلظت COD در این مطالعه به‌طور میانگین برابر ۶۳۵۴۰ میلی‌گرم بر لیتر است، درحالی‌که غلظت این پارامتر در مطالعات مشابه انجام‌گرفته در سراسر دنیا در بیشترین حالت در محدوده ۲۵۰۰۰-۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

## ۴-۳تأثیر تالاب‌های مصنوعی بر روی پارامتر pH

چنانکه قبلاً هم ذکرشده زباله شهری نا همگنی زیادی دارد و بنابراین نمونه‌های شیرابه زباله در روزهای مختلف ممکن است خواص کاملاً متفاوتی داشته باشد بر اساس تحلیل‌های انجام‌گرفته روی شیرابه محل دفن بابل و همان‌گونه که در جدول ۴-۱ مشاهده می‌شود، pH شیرابه زباله برابر ۴/۸۷ و حداقل و حداکثر۴/۱ و ۶/۱ بوده است. علت پایین بودن pH شیرابه احتمالاً به دلیل آن است که در

شیرابه زباله مواد آلی زود تجزیه شونده مثل شیره پوست میوه‌ها زیاد است و این مواد معمولاً ترش و اسیدی‌اند، درنتیجه شیرابه در فاز اسیدی قرار می‌گیرد.

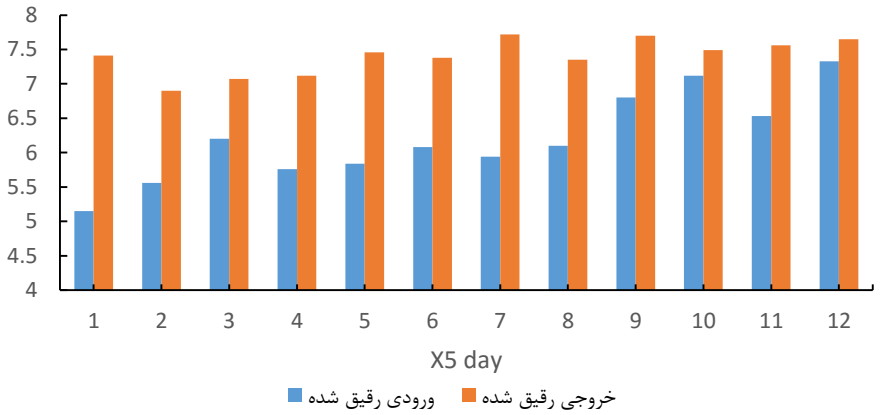
با توجه به شکل (۴-۷) مشاهده می‌شود که pH در خروجی تالاب شاهد در شروع کار دارای بیشترین مقدار خود (pH=۶/۹) است با گذشت زمان تا هفته چهارم این مقدار به ۶/۳ رسید و بعد از آن روند نسبتاً ثابتی را تا انتهای کار به خود گرفت. در خروجی تالاب اصلی در ابتدای کار این مقدار برابر ۶ است، در هفته دوم این مقدار کمی کاهش پیدا کرده و به ۵/۷ رسید، این امر به خاطر سازگار شدن گیاه با شیرابه ورودی است. با شروع هفته سوم مقدار pH به ۶/۳ رسید و تا انتهای کار تغییرات pH نسبتاً ثابت ماند. همان‌طور که از شکل (۴-۷) مشخص است، در هفته ابتدایی به علت سازگار شدن گیاه با شرایط موجود و شیرابه، تغییرات pH در خروجی تالاب مصنوعی اصلی هستیم.




شکل۴-۷-تغییرات pH شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی

میانگین pH در شیرابه ورودی به تالاب شماره ۳ (تالاب با شیرابه ورودی رقیق‌شده) برابر ۶/۲ (۵/۷-۱/۳) است. همان‌طور که از شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود، در هفته اول pH برابر ۷/۴ است، در هفته

اول به دلیل سازگاری گیاه و شیرابه این مقدار تا ۶/۹ کاهش پیدا کرده، از هفته سوم به بعد مقدار pH در حدود ۷/۵ ثابت ماند. در جدول ۱ پیوست pH ورودی و خروجی‌ها در روزهای مختلف آزمایش به تفکیک آورده شده است.




شکل۴-۸- تغییرات pH شیرابه ورودی و خروجی از تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده

نتایج آزمون T-Test زوجی (جدول ۴-۲) نشان داد که در تمامی زوج‌ها اختلاف معنی‌دار بین ورودی و خروجی‌ها برقرار است ($P<0.05$) و این نشان‌دهنده خنثی شدن فاز شیرابه است.

جدول۴-۲-آزمون T-Test زوجی برای pH

| خروجی‌ها | میانگین | انحراف معیار | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|
| ورودی اصلی- خروجی شاهد | -۰/۹۳ | ۰/۵۰ | ۰/۱٤ |
| ورودی اصلی- خروجی اصلی | -۰/۵۲ | ۰/۳٤ | ۰/۱۰ |
| ورودی و خروجی رقیق‌شده | -۱/۲۰ | ۰/۵۵ | ۰/۱٦ |

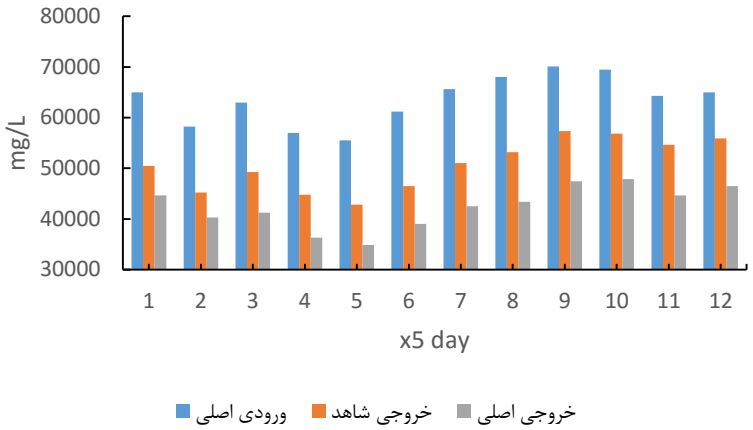
## ۴-۴ اثر تالاب‌های مصنوعی بر روی پارامتر COD و BOD

### COD

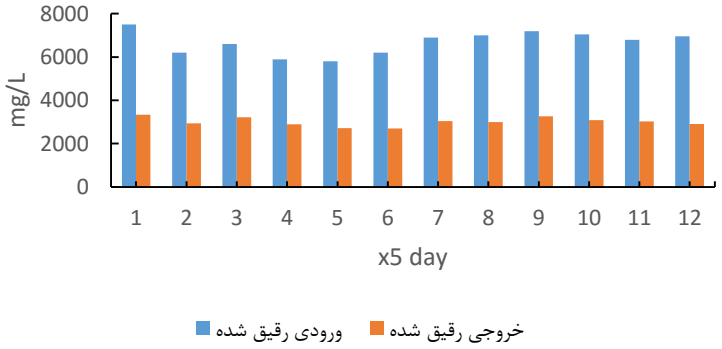
کیفیت شیرابه یکی از عوامل مهم در انتخاب روش تصفیه مناسب می‌باشد. کیفیت شیرابه به ترکیب پسماند و عمر شیرابه مورد مطالعه بستگی دارد. بر اساس تحلیل‌های انجام شده بر روی شیرابه محل دفن زباله بابل و همان‌گونه که در جدول ۴-۱ مشاهده می‌شود، میانگین مقدار COD برابر ۶۳۵۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و حداقل و حداکثر مقدار COD به ترتیب برابر ۵۰۰۰۰ و ۷۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است

همان‌طور که از شکل (۴-۹) مشخص است، ورودی COD اصلی به‌جز در هفته‌های ابتدایی دارای تغییرات نسبتاً ثابتی است. در تالاب مصنوعی شاهد در هفته های ابتدایی راندمان حذف COD بیشتر است، با گذشت زمان و پر شدن منافذ بستر و اشباع شدن آن‌ها غلظت خروجی افزایش و در نتیجه راندمان حذف COD کاهش یافت.

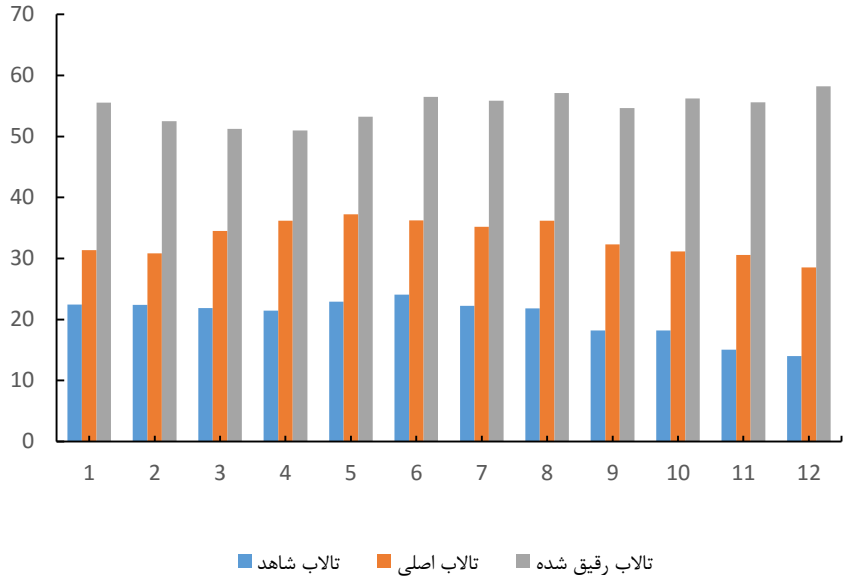
در تالاب اصلی با گیاه وتیور، در هفته دوم با توجه به افزایش غلظت COD در ورودی شاهد افزایش غلظت COD در خروجی هستیم، این افزایش تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که گیاه و میکرو ارگانیسم‌ها، خود را با شرایط موجود وفق دهند. از این به بعد، COD خروجی روند نزولی پیدا می‌کند، این کاهش تا زمانی که سیستم به حالت پایدار برسد ادامه پیدا می‌کند. در هفته‌های آخر، با توجه به نتایج بعدی و پایداری و بقا گیاه وتیور بعد از این مرحله شاهد افزایش غلظت COD در خروجی (شکل ۴-۹) و کاهش راندمان حذف COD (شکل ۴-۱۱) در تالاب بودیم.




شکل۴-۹-تغییرات COD شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی




شکل ۴-۱۰-تغییرات COD شیرابه ورودی و خروجی از تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده




شکل۴-۱۱- راندمان حذف COD در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده

با مشاهده شکل (۴-۱۱) در سیستم با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده، با توجه به تغییرات کم و غلظت پایین COD در ورودی نسبت به تالاب شاهد و اصلی، حذف بالای COD مشاهده شد. با توجه به پایدار بودن و سبز بودن گیاه وتیور (زنده‌بودن)، کاهش چشمگیری در هفته های انتهایی در سیستم رقیق شده مشاهده نشد.

نتایج آزمون T-Test زوجی (جدول ۴-۳) نشان داد که در تمامی زوج‌ها اختلاف معنی‌دار بین ورودی و خروجی‌ها برقرار است ($p < ۰/۰۵$) و این نشان‌دهنده حذف COD در تالاب مصنوعی عمودی می‌باشد.

جدول۴-۳- نتایج آزمون T-Test زوجی برای COD در تالاب‌ها

| خروجی‌ها | میانگین | انحراف معیار | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|
| ورودی اصلی- خروجی | ۱۲۸۸٦/۸۱ | ۱۸۷۷/٤۷ | ٥٤۲/۲٤ |
| ورودی اصلی– خروجی | ۲۱۱٤۸/۰۲ | ۱۹۰۷/۹۰ | ٥٥۰/۷۲ |
| ورودی و خروجی | ۳٦٦٥/۷۳ | ۳۹۹/٥۸ | ۱۱٥/٤۰ |

همچنین برای مقایسه اثر گیاه وتیور در حذف COD در سیستم بدون گیاه (شاهد) و سیستم با گیاه (اصلی) از آزمون T مستقل استفاده شد. نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده نقش مؤثر گیاه در حذف COD می‌باشد (P<۰/۰٥؛ جدول ۴-۴).

جدول۴-۴- نتایج آنالیز T مستقل برای COD خروجی در تالاب اصلی و شاهد

| تحلیل COD در خروجی تالاب اصلی و شاهد | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۴/۲۷ | ۲۲ | ۸۲٦۱/۲ | ۱۸۹۰/۹۴ |

در جدول (۴-٥) نتایج مربوط به آزمون T برای مقایسه اثر تیمار شیرابه بین خروجی تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده و خروجی تالاب با شیرابه اصلی نشان داده‌شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج

دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند (P<۰/۰۵). نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده تأثیر بهتر گیاه وتیور در غلظت‌های پایین شیرابه است.

جدول۴-۵- نتایج تحلیل T مستقل برای COD خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده

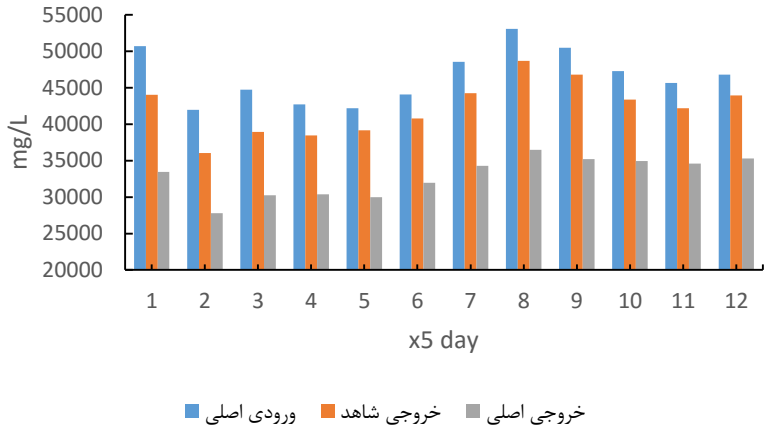
| تحلیل COD در خروجی تالاب | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| اصلی و رقیق‌شده | ۳۲/۷۷ | ۱۱/۷۹ | ۴۷۶۴۰/۴ | ۱۴۵۲/۷ |

میانگین غلظت خروجی و راندمان حذف در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده به ترتیب ۵۰۶۰۰، ۴۲۴۰۰ ۶۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۳، ۳۱ و ۵۵ درصد محاسبه شد. در جدول ۲ پیوست غلظت COD ورودی و خروجی‌ها در روزهای مختلف آزمایش به همراه راندمان‌های حذف آن‌ها به تفکیک آورده شده است.

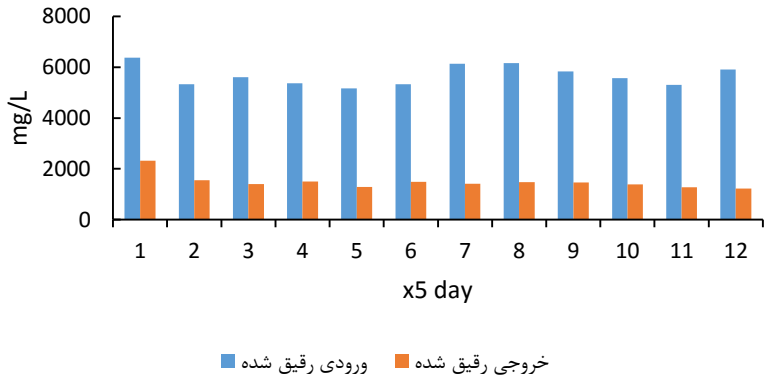
**$BOD_5$**

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در طول دوره راهبری سیستم، به‌طور میانگین در تالاب اصلی ۳۰ درصد از $BOD_5$ از شیرابه حذف گردید. در هفته ابتدایی، بیشترین مقدار حذف مشاهده شد (۳۵ درصد). در تالاب شاهد نیز بیشترین حذف در هفته اول و مقدار آن برابر ۱۴ درصد بود. میانگین $BOD_5$ ورودی برای تالاب‌های شاهد و اصلی برابر ۴۶۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین خروجی در تالاب شاهد و اصلی به ترتیب برابر ۴۲۲۰۰ و ۳۲۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. نتایج آزمون ANOVA بیان می‌کند که غلظت $BOD_5$ در خروجی به‌طور قابل‌توجهی($p<0.05$) از غلظت ورودی آن در شیرابه کمتر است، و این بیانگر حذف $BOD_5$ از شیرابه است. همان‌طور که از شکل‌های ۴-۱۲ و ۴-۱۴ مشخص است، در

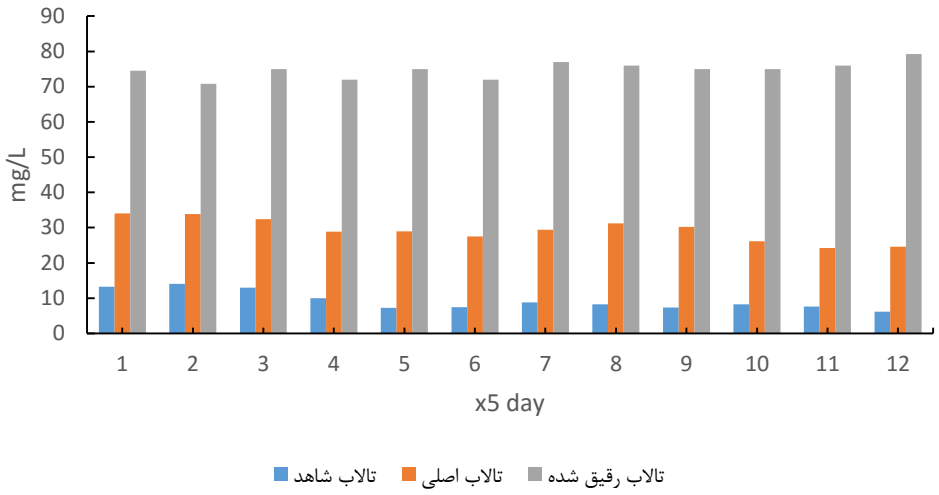
ابتدای کار و با توجه به سازگار نبودن گیاه وتیور شاهد حذف کمتر غلظت آلاینده‌ها در خروجی هستیم، با گذشت زمان راندمان حذف افزایش پیدا کرده است، در تالاب اصلی از روز ۴۵ تا انتهای کار با توجه به خشک شدن قسمتی از برگ‌های گیاه، راندمان حذف برای $BOD_5$ کاهش پیدا کرد. دلیل دیگر برای کاهش راندمان حذف در روزهای پایانی را می‌توان با توجه به نتایج مربوط به تالاب شاهد بیان کرد. در روزهای پایانی با توجه به اشباع شدن بستر تالاب شاهد و فیلتراسیون ضعیف تر مواد معلق در بستر، راندمان حذف کاهش پیدا کرد. این امر برای تالاب اصلی نیز صادق است.




شکل۴-۱۲- تغییرات $BOD_5$ شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی




شکل۴-۱۳-تغییرات $BOD_5$ شیرابه ورودی و خروجی از تالاب با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق‌شده




شکل۴-۱۴- راندمان حذف $BOD_5$ در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده

با مشاهده شکل (۴-۱۳) در سیستم با شیرابه ورودی ۱۰ برابر رقیق شده، با توجه به تغییرات کم و غلظت پایین $BOD_5$ در ورودی نسبت به تالاب شاهد و اصلی، حذف بالای $BOD_5$ مشاهده شد. با توجه به پایدار بودن و سبز بودن گیاه وتیور (زنده بودن)، کاهش چشمگیری در هفته‌های انتهایی در سیستم رقیق شده مشاهده نشد.

نتایج آزمون T-Test زوجی (جدول ۴-۶) نشان داد که در تمامی زوج‌ها اختلاف معنی‌دار بین ورودی و خروجی‌ها برقرار است ($p <$ ۰/۰۵) و این نشان‌دهنده حذف $BOD_5$ در تالاب مصنوعی عمودی می‌باشد.

جدول۴-۶-نتایج آزمون T-Test زوجی برای $BOD_5$ در تالاب‌ها

| خروجی‌ها | میانگین | انحراف معیار | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|
| ورودی اصلی- خروجی شاهد | ۱۲/۹٤ | ۳٥۲/۲٤ | ۱۲۱۹/٤۷ |
| ورودی اصلی– خروجی اصلی | ۲۳/٤٦ | ٥۸۱/۷۲ | ۲۰۱٤/۹۰ |
| ورودی و خروجی رقیق‌شده | ٤۲/۹٤ | ۱۰۱/٤۰ | ۳٤۹/٥۸ |

همچنین برای مقایسه اثر گیاه وتیور در حذف $BOD_5$ در سیستم بدون گیاه (شاهد) و سیستم با گیاه (اصلی) از آزمون T مستقل استفاده شد. نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده نقش مؤثر گیاه در حذف $BOD_5$ می‌باشد (P<۰/۰٥؛ جدول ۴-۷).

جدول۴-۷-نتایج آنالیز T مستقل برای $BOD_5$ خروجی در تالاب اصلی و شاهد

| تحلیل $BOD_5$ در خروجی تالاب اصلی و شاهد | t | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ۷/۲۷ | ۲۲ | ۹۳۴۰/۲ | ۱۳۲۳/۹۴ |

در جدول (۴-۸) نتایج مربوط به آزمون T برای مقایسه اثر تیمار شیرابه بین خروجی تالاب ۱۰ برابر رقیق شده و خروجی تالاب با شیرابه اصلی نشان داده شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند (P<۰/۰٥). نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده تأثیر بهتر گیاه وتیور در غلظت های پایین شیرابه است.

جدول۴-۸-نتایج تحلیل T مستقل برای $BOD_5$ خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده

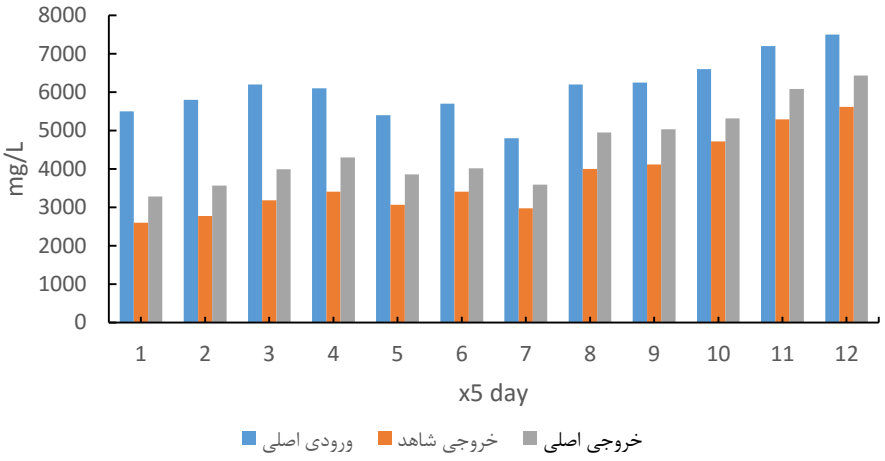
| تحلیل $BOD_5$ در خروجی تالاب | T | df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| اصلی و رقیق‌شده | ۳۹/۷۷ | ۱۱/۲۳ | ۳۱۳۸۸/۴ | ۷۹۲/۷ |

در جدول ۳ پیوست غلظت $BOD_5$ ورودی و خروجی‌ها در روزهای مختلف آزمایش به همراه راندمان‌های حذف آن‌ها به تفکیک آورده شده است.

## ۴-۵تأثیر تالاب‌های مصنوعی بر روی پارامتر TSS

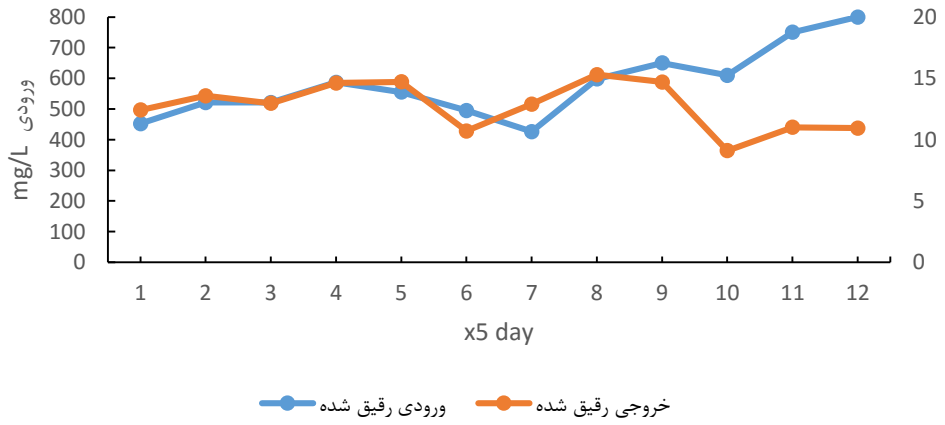
در تالاب های مصنوعی، TSS به‌وسیله فیلتراسیون، ته نشینی و جذب به بستر تالاب حذف می‌شود. بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده بر روی شیرابه محل دفن بابل و همان‌گونه که در جدول ۴-۱ شاهده می‌شود، میانگین مقدار TSS برابر ۵۹۳۶ میلی‌گرم بر لیتر و حداقل و حداکثر مقدار TSS به ترتیب برابر ۴۸۰۰ و ۷۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است.. مشکل اساسی تالاب‌های مصنوعی برای حذف TSS، گرفتگی بستر است. در این مطالعه نیز با گذشت زمان و گرفته شدن بستر تالاب راندمان حذف، روند نزولی به خود می‌گیرد.

در هفته اول تالاب اصلی ۵۳ درصد و تالاب شاهد ۴۰ درصد از TSS که بیشترین راندمان حذف در طول مدت آزمایش است را حذف کرد (شکل ۴-۱۷). با توجه به اشباع شدن بستر تالاب ها در هفته های پایانی، غلظت TSS خروجی نسبت به هفته های ابتدایی افزایش داشته و راندمان حذف آن کاهش پیدا کرد. این مقدار برای تالاب شاهد و اصلی به ترتیب برابر ۱۴ و ۲۵ درصد بود، با توجه به آنالیزهای انجام‌گرفته تأثیر گیاه در حذفTSS را مشاهده کردیم.

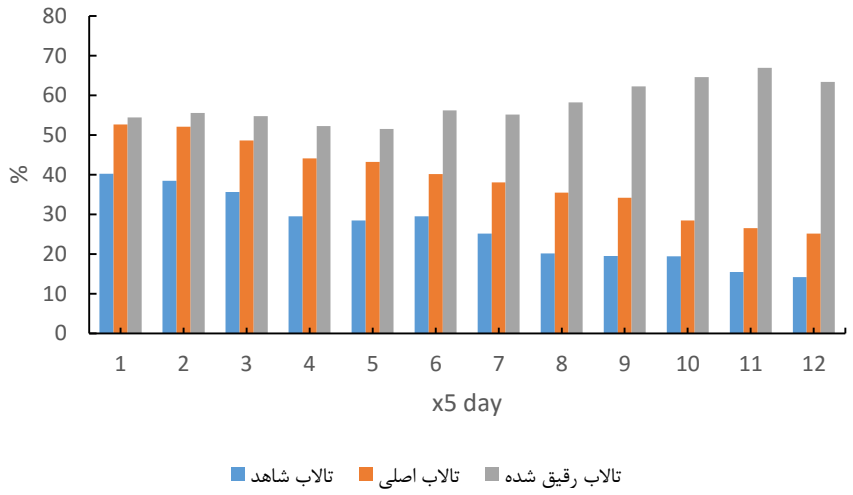



شکل۴-۱۵- تغییرات TSS شیرابه ورودی و خروجی از تالاب‌های شاهد و اصلی

همان‌طور که از شکل‌های (۴-۱۵) تا (۴-۱۷) مشخص است، در هفته‌های ابتدایی با توجه به شروع کار سیستم بیشترین حذف را تمامی سیستم‌ها دارد. در تالاب شاهد با توجه به اشباع شدن بستر، در هفته‌های پایانی شاهد کاهش راندمان حذف TSS بودیم. در تالاب اصلی نیز با توجه به خشک شدن قسمتی از برگ‌های گیاه، راندمان حذف کاهش پیدا کرده و به کمتر از ۲۰ درصد رسید.




شکل۴-۱۶- تغییرات TSS شیرابه ورودی و خروجی از تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده




شکل۴-۱۷- راندمان حذف TSS در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده

در تالاب با شیرابه ۱۰ برابر رقیق‌شده، با توجه به غلظت پایین‌تر TSS (شکل ۴-۱۶) و تغییرات آن در ورودی تالاب، در خروجی شاهد روند تقریباً ثابتی بودیم. با توجه به پایدار بودن گیاه در هفته‌های پایانی نیز شاهد حذف بیشتر از ۶۰ درصدی TSS بودیم.

آزمون T-Test زوجی (جدول ۴-۹) نشان داد که در تمامی زوج‌ها اختلاف معنی‌داری بین ورودی و خروجی‌ها برقرار است ($P < ۰/۰۵$) و این نشان‌دهنده حذف TSS در تالاب مصنوعی می‌باشد.

جدول۴-۹- نتایج آزمون T-Test زوجی برای TSS در تالاب‌ها

| خروجی‌ها | میانگین | انحراف معیار | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|
| ورودی اصلی- خروجی شاهد | ۲۳٤۰/۹۰ | ٤٥٥/۷۷ | ۱۳۱/۱٥ |
| ورودی اصلی– خروجی اصلی | ۱٥٦۸/۲۰ | ٤٥۰/۳٤ | ۱۳۰/۸٦ |
| ورودی و خروجی رقیق‌شده | ٥٦۷/٦٦ | ۱۱۲/٤٤ | ۳۳/٦٦ |

همچنین برای مقایسه اثر گیاه وتیور در حذف TSS در سیستم بدون گیاه (شاهد) و سیستم با گیاه (اصلی) از آزمون T مستقل استفاده شد. نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده نقش مؤثر گیاه در حذف TSS می‌باشد (P<۰/۰٥؛ جدول ۴-۱۰).

جدول۴-۱۰-نتایج آزمون T مستقل برای TSS خروجی در تالاب اصلی و شاهد

| تحلیل TSS در خروجی | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| تالاب اصلی و شاهد | ۶/۷ | ۲۱/۹ | ۷۲۲/۲٥ | ۴۱۱/۳۹ |

در جدول (۴-۱۱) نتایج مربوط به آزمون T برای مقایسه اثر تیمار شیرابه بین خروجی تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده و خروجی تالاب با شیرابه اصلی نشان داده‌شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند (P<۰/۰٥). نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده تأثیر بهتر گیاه وتیور در غلظت‌های پایین شیرابه است.

در جدول ۴ پیوست غلظت آمونیوم ورودی و خروجی‌ها در روزهای مختلف آزمایش به همراه راندمان‌های حذف آن‌ها به تفکیک آورده شده است

جدول۴-۱۱-نتایج آزمون T مستقل برای TSS خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده

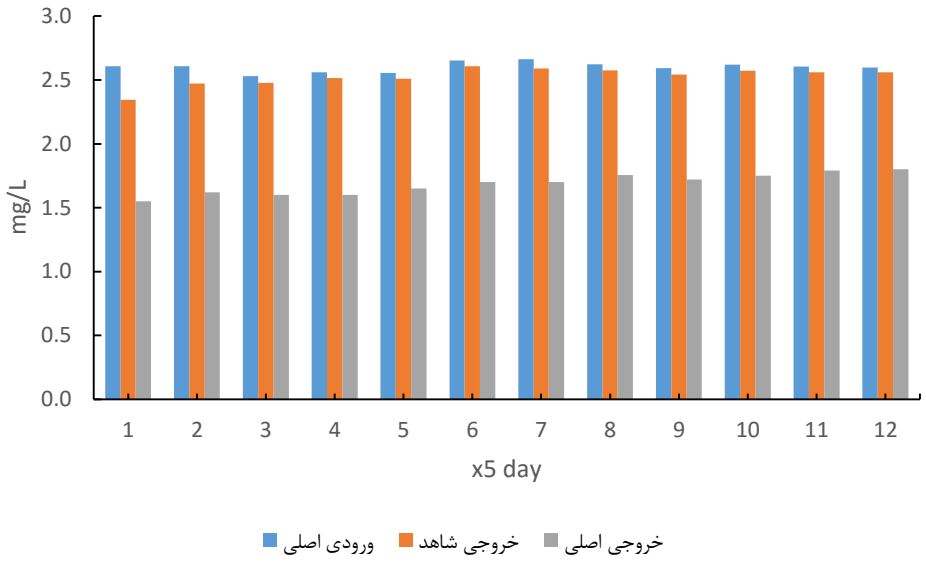
| تحلیل TSS در خروجی | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| تالاب اصلی و رقیق‌شده | ۱۳/۵۵۲ | ۱۱/۰۰ | ۳۷۵۰/۴ | ۲۸۶/۴۰۵ |

## ۴-۶حذف فلزات سنگین

### نیکل

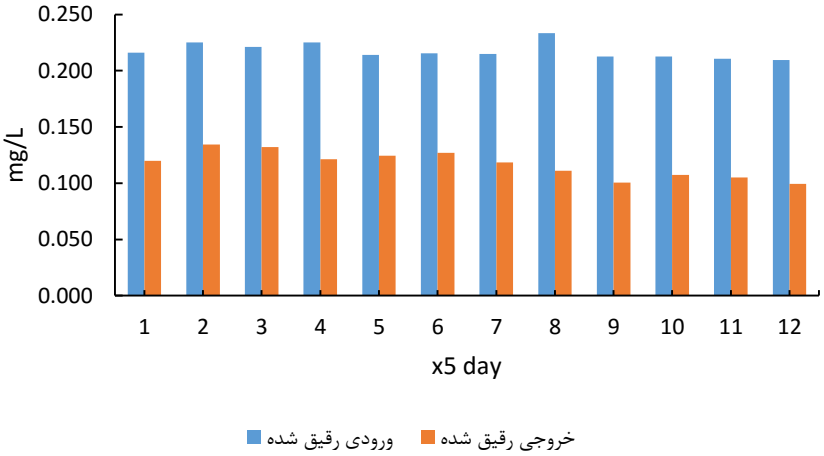
بر اساس تحلیل‌های انجام شده بر روی شیرابه محل دفن زباله بابل و همان‌گونه که در جدول ۵ پیوست مشاهده می‌شود، میانگین مقدار نیکل برابر ۲/۵۸ (۰/۰۵±) میلی‌گرم بر لیتر و حداقل و حداکثر مقدار نیکل به ترتیب برابر ۲/۵۳ و۲/۶۱ میلی‌گرم بر لیتر است.

همان‌طور که از شکل ۴-۱۸ مشخص است، تالاب مصنوعی با گیاه وتیور توانسته راندمان بالاتری نسبت به تالاب مصنوعی شاهد که بدون گیاه است، داشته باشد. میانگین راندمان حذف در تالاب شاهد و اصلی به ترتیب برابر ۲/۸۴ و ۳۵/۲ درصد بود (شکل ۴-۲۰). با توجه به شکل (۴-۱۸) مشاهده شد که در هفته‌های پایانی غلظت نیکل در خروجی تالاب اصلی افزایش پیدا کرده، در مورد تالاب شاهد نیز از هفته سوم به بعد شاهد افزایش غلظت نیکل در خروجی بودیم.




شکل۴-۱۸- تغییرات نیکل در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب شاهد و اصلی

در تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده (شکل ۴-۱۹)، تفاوت بین غلظت نیکل ورودی و خروجی و نقش گیاه وتیور در حذف آن به‌وضوح مشخص است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، شاهد پایدار شدن گیاه و حذف نیکل هستیم.




شکل۴-۱۹- تغییرات نیکل در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده

شکل۴-۲۰- راندمان حذف نیکل در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده

آزمون T-Test زوجی (جدول ۴-۱۲) نشان داد که در تمامی زوج‌ها اختلاف معنی‌داری بین ورودی و خروجی‌ها برقرار است (P <۰/۰۵) و این نشان‌دهنده حذف نیکل در تالاب مصنوعی عمودی می‌باشد.

جدول۴-۱۲- نتایج آزمون T-Test زوجی برای نیکل در تالاب‌ها

| خروجی‌ها | میانگین | انحراف معیار | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|
| ورودی اصلی- خروجی شاهد | ۰/۰۷ | ۰/۰٦ | ۰/۰۲ |
| ورودی اصلی- خروجی اصلی | ۰/۹۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۲ |
| ورودی و خروجی رقیق‌شده | ۰/۱۰ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۳ |

همچنین برای مقایسه اثر گیاه وتیور در حذف نیکل در سیستم بدون گیاه (شاهد) و سیستم با گیاه (اصلی) از آزمون T مستقل استفاده شد. نتایج آزمون با سطح پنج درصد نشان‌دهنده نقش مؤثر گیاه در حذف نیکل می‌باشد (P<۰/۰۵؛ جدول ۴-۱۳).

جدول۴-۱۳- نتایج آزمون T مستقل برای نیکل خروجی در تالاب اصلی و شاهد

| تحلیل | T | df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| خروجی نیکل در تالاب اصلی و شاهد | ۲۶/۱۹ | ۲۲ | ۸/۸۰ | ۰/۰۳ |

در جدول (۴-۱۴) نتایج مربوط به آزمون T برای مقایسه اثر تیمار شیرابه بین خروجی تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده و خروجی تالاب با شیرابه اصلی نشان داده‌شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند (P<۰/۰۵).

جدول۴-۱۴-نتایج آزمون T مستقل برای نیکل خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده

| تحلیل | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|---|
| خروجی نیکل در تالاب اصلی و رقیق‌شده | ۶۵/۱۹ | ۲۲ | ۱/۸۰ | ۰/۰۲ |

در جدول ۵ پیوست غلظت نیکل ورودی و خروجی‌ها در روزهای مختلف آزمایش به همراه راندمان‌های حذف آن‌ها به تفکیک آورده شده است.

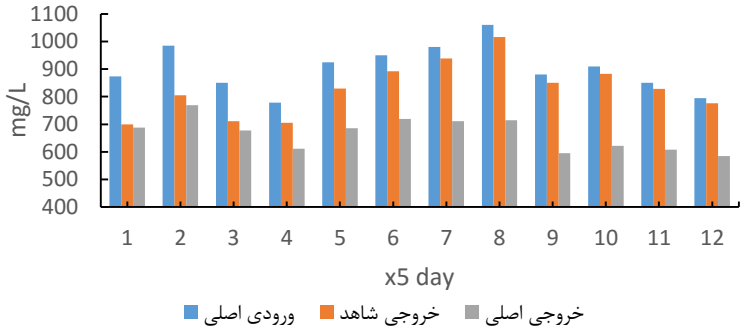
## ۴-۷حذف آمونیاک

درصد توزیع آمونیاک به pH بستگی دارد. در pH برابر ۸ درصد توزیع ۹۴/۶٪ است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در واحدهای تصفیه بیولوژیکی که pH در محدوده ۸ یا کمترقرار دارد، یون آمونیوم یون غالب می‌باشد.

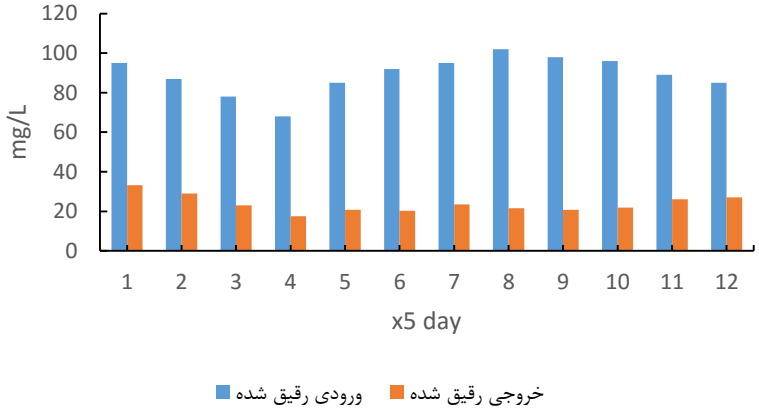
میانگین آمونیاک ورودی به تالاب‌ها برابر ۹۰۳ میلی‌گرم بر لیتر است که نسبت به مطالعات انجام‌شده دارای غلظت بالاتری می‌باشد (شکل ۴-۲۱). حذف آمونیاک در تالاب شاهد و اصلی در هفته اول نسبتاً یکسان و برابر ۲۰ درصد، ولی از هفته سوم تأثیر گیاه در حذف آمونیاک به وضوح دیده می‌شود، به‌طوری که راندمان حذف در تالاب شاهد ۱۴ درصد و تالاب اصلی ۲۵ درصد بود و این مقدار به ۳۵ درصد در هفته نهم رسید. با گذشت هفته نهم راندمان حذف آمونیاک در تالاب اصلی کاهش یافت و در هفته آخر این مقدار به ۲۷ درصد می‌رسد (شکل ۴-۲۳). با توجه به نتایج به دست آمده از تالاب شاهد و تالاب اصلی نقش گیاه وتیور در حذف آمونیاک به خوبی مشخص است. در تالاب شاهد عوامل حذف آمونیاک شامل ته نشینی، فیلتراسیون توسط بستر تالاب و فعالیت میکرو ارگانیسم های اغلب بی هوازی می‌باشد، همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدای کار شاهد بیشترین راندمان حذف در طول دوره مطالعه هستیم، با گذشت زمان و اشباع شدن بستر تالاب و مرگ میکرو ارگانیسم‌ها کاهش راندمان حذف را شاهد هستیم. در تالاب اصلی با توجه به نقش گیاه در رساندن اکسیژن به بستر تالاب توسط ریشه، شرایط هوازی در بستر ایجاد شده و علاوه بر فعالیت میکرو ارگانیسم‌های بی‌هوازی شاهد فعالیت میکرو ارگانیسم‌های هوازی نیز هستیم (نیترات زایی و نیتراتزدایی). همچنین جذب توسط ریشه گیاه نیز باعث حذف آمونیاک می‌شود. در ابتدای کار با توجه به عدم سازگاری گیاه با شرایط آبیاری به وسیله شیرابه شاهد حذف ۲۰ درصدی هستیم، با گذشت زمان و سازگار شدن گیاه با شرایط شاهد افزایش راندمان حذف بودیم، در هفته های انتهایی با توجه خشک شدن قسمتی از برگ‌های گیاه راندمان حذف روند نزولی به خود گرفت.

میانگین آمونیاک ورودی به تالاب با شیرابه رقیق‌شده برابر ۹۰ میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۴-۲۲). حذف آمونیاک در تالاب با شیرابه رقیق‌شده در هفته اول دارای کمترین مقدار خود می‌باشد (۶۵ درصد)، ولی از هفته سوم تأثیر گیاه در حذف آمونیاک به وضوح دیده می‌شود، به‌طوری که راندمان

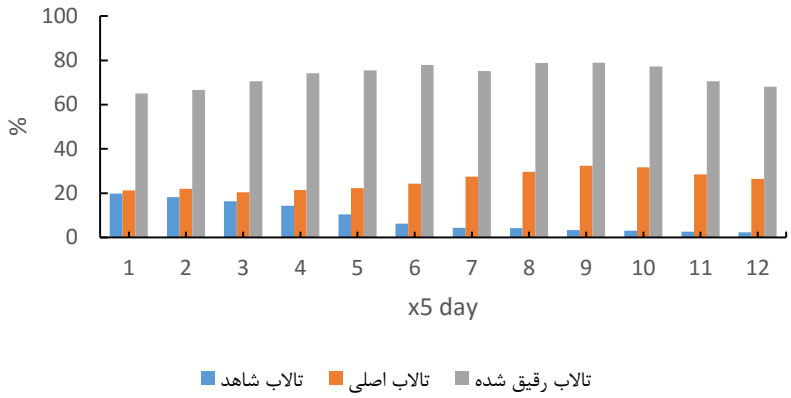
حذف بیشتر از ۷۰ درصد می‌شود و این مقدار به ۸۰ درصد در هفته نهم رسید (شکل ۴-۲۳). با توجه به نتایج به دست آمده از تالاب با شیرابه ۱۰ برابر رقیق شده، نقش گیاه وتیور در حذف آمونیاک به خوبی مشخص است.




شکل۴-۲۱-تغییرات آمونیاک در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب شاهد و اصلی




شکل۴-۲۲-تغییرات آمونیاک در شیرابه ورودی و خروجی از تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده




شکل۴-۲۳-راندمان حذف آمونیاک در تالاب‌های شاهد، اصلی و ۱۰ برابر رقیق‌شده

آزمون T-Test زوجی (جدول ۴-۱۵) نشان داد که در تمامی زوج‌ها اختلاف معنی‌داری بین ورودی و خروجی‌ها برقرار است (P <۰/۰۵) و این نشان‌دهنده حذف آمونیاک در تالاب مصنوعی می‌باشد.

جدول ۴-۱۵- نتایج آزمون T-Test زوجی برای آمونیاک در تالاب‌ها

| خروجی‌ه ا | میانگین | انحراف معیار | استاندارد خطای میانگین |
|---|---|---|---|
| ورودی اصلی- خروجی شاهد | ۷۵/۸۱ | ۵۸/۴۷ | ۱۶/۲۴ |
| ورودی اصلی– خروجی اصلی | ۲۳/۰۲ ۷ | ۵۲/۹۰ | ۱۵/۷۲ |
| ورودی و خروجی رقیق‌شده | ۶۵/۷۳ | ۹/۵۸ | ۲/۴۰ |

همچنین برای مقایسه اثر گیاه وتیور در حذف آمونیاک در سیستم بدون گیاه (شاهد) و سیستم با گیاه (اصلی) از آزمون T مستقل استفاده شد. نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده نقش مؤثر گیاه در حذف آمونیاک می‌باشد (P<۰/۰۵؛ جدول ۴-۱۶).

جدول۴-۱۶-نتایج تحلیل T مستقل برای آمونیاک خروجی در تالاب اصلی و رقیق‌شده

| تحلیل | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد میانگین | خطای |
|---|---|---|---|---|---|
| آمونیوم در خروجی تالاب اصلی و رقیق‌شده | ۴/۷۷ | ۱۸/۲۳ | ۱۶۲/۴ | ۳۲/۷ | |

در جدول (۴-۱۷) نتایج مربوط به آزمون T برای مقایسه اثر تیمار شیرابه بین خروجی تالاب ۱۰ برابر رقیق‌شده و خروجی تالاب با شیرابه اصلی نشان داده‌شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج دارای اختلاف معنی‌دار با یکدیگر هستند (P<۰/۰۵). نتایج آزمون در سطح پنج درصد نشان‌دهنده تأثیر بهتر گیاه وتیور در غلظت‌های پایین شیرابه است.

جدول۴-۱۷-نتایج آنالیز T مستقل برای آمونیاک خروجی در تالاب اصلی و شاهد

| تحلیل | T | Df | تفاوت میانگین‌ها | استاندارد میانگین | خطای |
|---|---|---|---|---|---|
| آمونیوم در خروجی تالاب اصلی و شاهد | ۳۷/۲۷ | ۲۲ | ۶۴۱/۲ | ۱۷/۹۴ | |

در جدول ۶ پیوســـت غلظت آمونیاک ورودی و خروجی‌ها در روزهای مختلف آزمایش به همراه راندمان‌های حذف آن‌ها به تفکیک آورده شده است.

# فصل پنجم: نتیجه گیری

## ۵-۱مقدمه

با رشد روز افزون جمعیت، پیشرفت و گسترش صنایع، میزان مصرف در سطح و بعد جهانی افزایش یافته و به دنبال آن تولید پسماند به طور چشمگیری افزایش یافته است. تخلیه شیرابه ی تولید شده در محل های دفن به محیط زیست سبب تخریب بیولوژیکی و اکولوژیکی محیط، آلودگی منابع آب سطحی و زیر زمینی و بروز انواع بیماری ها می شود.

امروزه طیف گسترده ای از سیستم های تصفیه وجود دارد که می توان آن ها برای تصفیه ی شیرابه به کار برد. مشکلات عمده سیستم های متداول تصفیه را می توان بالا بودن هزینه های ساخت، بالا بودن مصرف انرژی، نیاز به بهره برداری پیچیده و نیاز به استفاده از سیستم های مکانیزه ذکر کرد که عمدتا از تکنولوژی بالا استفاده می کنند. اما سیستم های طبیعی تصفیه فاضلاب از تکنولوژی پائین برخوردارند و در عین حال از کارایی بالایی بر خوردارند.

متاسفانه کشور های در حال توسعه به جای استفاده از این سیستم های ارزان و مناسب به تبعیت از کشورهای پیشرفته به تکنولوژی های بالا روی آورده اند که با مسائل متعدد بهره برداری، نگه داری، مصرف انرژی زیاد و غیره رو به رو شده اند و این در حالی است که استفاده از سیستم های طبیعی اکنون به علت عدم نیاز به انرژی و داشتن کارایی بالا مورد توجه و علاقه زیاد کشورهای پیشرفته قرار گرفته است به نحوی که اکنون هزاران تالاب در کشور های پیشرفته وجود دارد و کشورهای در حال توسعه هنوز در غفلتِ استفاده از مزایای این سیستم ها می باشند. اگرچه این سیستم ها به صورت طبیعی برای تصفیه فاضلاب، به حد وفور در کشورهای در حال توسعه وجود دارند، اما از بعد کارایی این سیستم ها و نیز گسرتش سیستم های تالاب مصنوعی و بهینه سازی آن برای تصفیه شیرابه، تلاش جدی صورت نگرفته است. لذا این تحقیق با هدف بهینه سازی تالاب های مصنوعی در جهت افزایش کارایی آن و کاربردی نمودن آنها انجام گردید.

## ۵-۲نتیجه گیری

نکات برجسته این تحقیق را می توان به طور خلاصه به شرح ذیل بیان نمود:

- در میان شاخص های آلودگی مورد بررسی، بالاترین راندمان در تمامی فازها مربوط به حذف BOD بوده است.
- تغییرات pH در تمامی نقاط پایلوت شاهد بین۶/۴ تا ۶/۹ و در راکتور اصلی بین ۵/۷ تا ۶/۴ متغیر می باشد و این در حالی است که در راکتور رقیق شده این عدد ما بین ۶/۹ تا ۷/۶ که محدوده خنثی است بوده و در تمام مراحل آزمایش ثابت باقی مانده است.
- با توجه به اینکه در pH های کمتر از ۳ یا بیشتر از ۹ پروتوپلاسم سلولی ریشه آسیب دیده و گیاه نمی تواند دوام بیاورد و مهمترین اثر pH بر گیاه از طریق تغییر شرایط دسترسی مواد مغذی انجام می گیرد، همچنین با کاهش تدریجی pH و کمتر شدن آن از ۶ ، وجود نیتروژن، پتاسیم، فسفر، گوگرد، کلسیم و منیزیم نیز کاهش می یابد بنا براین دراین پایلوت عامل تاثیر گذار منفی pH دیده نشده است و گیاه بدون هیچ مشکلی به رشد و مصرف شیرابه ادامه داده است.
- به دلیل بالات بودن مقادیر شاخص های آلودگی در شیرابه امکان تصفیه مستقیم شیرابه اصلی وجود ندارد و باید حتما از رقیق سازی برای تاثیر گذاری گیاه استفاده شود.
- همه ی گیاهان تالاب های طبیعی توانایی حذف در تالاب های مصنوعی را نداشته و باید حتما پیش از انجام آزمایش شرایط وفق پذیری گیاه سنجیده شود.

## ۵-۳پیشنهادها

با توجه به مباحث مورد مطالعه در این تحقیق، پیشنهاد می شود:

- کارایی این روش برای سایر فاضلاب های صنعتی بررسی شود.

- بالا بردن غلظت اولیه نیتروژن تا ppm ۱۰۰۰۰ (میلی گرم در هر لیتر)، و بررسی اثر افزایش غلظت بر راندمان حذف.

- افزایش زمان پالایش بررسی شود.

- افزایش تعداد دیواره در طول و اثر افزایش تعداد دیواره بر راندمان حذف.

- انجام آزمایش موردی در مقیاس میدانی و مقایسه آن با نتایج حاصله در مقیاس آزمایشگاهی.

- مدل سازی فرآیندهای مختلف مورد استفاده.

- تعیین حداقل وحداکثر توان حذف شیرابه توسط گیاه نی یا سایر گیاهان با پتانسیل مصرف شیرابه.

# پیوست

جدول ۱- تغییرات pH در طول مدت آزمایش

| تاریخ | ورودی اصلی | خروجی شاهد | خروجی اصلی | ورودی رقیق شده | خروجی رقیق شده |
|---|---|---|---|---|---|
| ۹۵/۱/۱۰ | ٤/۹ | ٦/۹ | ٥/۹۷ | ٥/۱٥ | ۷/٤۱ |
| ۹۵/۱/۱٥ | ٥/۱٥ | ٦/٦٥ | ٥/۷ | ٥/٥٦ | ٦/۹ |
| ۹۵/۱/۲۰ | ٥/۳ | ٦/٤۲ | ٥/۹٥ | ٦/۲ | ۷/۰۷ |
| ۹۵/۱/۲٥ | ٥/۲ | ٦/٤۳ | ٦/۲۱ | ٥/۷٦ | ۷/۱۲ |
| ۹۵/۱/۳۰ | ٥/٦۹ | ٦/٤٥ | ٦/۳۳ | ٥/۸٤ | ۷/٤٦ |
| ۹۵/۲/٤ | ٥/۹ | ٦/۳۷ | ٦/۲٦ | ٦/۰۸ | ۷/۳۸ |
| ۹۵/۲/۹ | ٥/۸٥ | ٦/٥۷ | ٦/۳۷ | ٥/۹٤ | ۷/۷۲ |
| ۹۵/۲/۱٤ | ٥/۹ | ٦/٤٤ | ٦/۳ | ٦/۱ | ۷/۳٥ |
| ۹۵/۲/۱۹ | ٦/۱ | ٦/٥۸ | ٦/۲۱ | ٦/۸ | ۷/۷ |
| ۹۵/۲/۲٤ | ٥/۸٥ | ٦/٤٦ | ٦/۱٥ | ۷/۱۲ | ۷/٤۹ |
| ۹۵/۲/۲۹ | ٥/۲٥ | ٦/۷۲ | ٦/۱٤ | ٦/٥۳ | ۷/٥٦ |
| ۹۵/۳/۳ | ٥/٤۲ | ٦/٦٥ | ٦/۱۸ | ۷/۳۳ | ۷/٦٥ |
| **میانگین** | **٥/٦۲** | **٦/٥٥** | **٦/۱٥** | **٦/۲۰** | ۷/٤۰ |

جدول ۲- تغییرات کلی COD در طول مدت آزمایش

| خروجی شاهد (میلی‌گرم بر لیتر) | خروجی اصلی (میلی‌گرم بر لیتر) | خروجی رقیق شده(میلی‌گرم بر لیتر) | راندمان حذف شاهد(درصد) | راندمان حذف اصلی(درصد) | راندمان حذف رقیق شده(درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۵۰۴۳۱ | ۴۴۶۱۶ | ۳۳۳۳ | ۲۲/۴۱ | ۳۱/۳۶ | ۵۵/۵۶ |
| ۴۵۲۱۹ | ۴۰۲۸۵ | ۲۹۴۵ | ۲۲/۳۸ | ۳۰/۸۵ | ۵۲/۵۰ |
| ۴۹۲۳۴ | ۴۱۲۵۶ | ۳۲۱۷ | ۲۱/۸۵ | ۳۴/۵۱ | ۵۱/۲۵ |
| ۴۴۷۴۹ | ۳۶۳۲۸ | ۲۸۹۱ | ۲۱/۴۲ | ۳۶/۲۱ | ۵۱/۰۰ |
| ۴۲۸۰۸ | ۳۴۸۳۸ | ۲۷۱۱ | ۲۲/۹۰ | ۳۷/۲۵ | ۵۳/۲۵ |
| ۴۶۴۸۹ | ۳۹۰۲۸ | ۲۶۹۶ | ۲۴/۰۴ | ۳۶/۲۳ | ۵۶/۵۱ |
| ۵۱۰۲۷ | ۴۲۴۹۹ | ۳۰۴۴ | ۲۲/۲۲ | ۳۶/۲۱ | ۵۵/۸۸ |
| ۵۳۱۵۳ | ۴۳۳۸۴ | ۳۰۰۱ | ۱/۸ | ۳۶/۲۰ | ۵۷/۱۲ |
| ۵۷۳۳۹ | ۴۷۴۵۰ | ۳۲۶۴ | ۱۸/۲۲ | ۳۲/۳۲ | ۵۴/۶۷ |
| ۵۶۸۴۰ | ۴۷۸۶۳ | ۳۰۸۴ | ۱۸/۶۲ | ۳۱/۱۳ | ۵۶/۲۵ |
| ۵۴۶۱۰ | ۴۴۶۳۷ | ۳۰۲۰ | ۱۵/۰۷ | ۳۰/۵۸ | ۵۵/۵۸ |
| ۵۵۹۰۰ | ۴۶۴۷۵ | ۲۹۰۳ | ۱۴/۰۰ | ۲۸/۵۰ | ۵۸/۲۳ |
| ۵۰۶۵۰ | ۴۲۳۸۸ | ۳۰۰۹ | ۲۰/۳۸ | ۳۳/۳۶ | ۵۴/۵۱ |

جدول ۳- تغییرات کلی $BOD_5$ در طول مدت آزمایش

| خروجی شاهد | خروجی اصلی | خروجی رقیق شده | راندمان حذف شاهد | راندمان حذف اصلی | راندمان حذف رقیق شده |
|---|---|---|---|---|---|
| ٤٤٠٠٧ | ٣٣٤٣٢ | ٢٣١٨ | ١٣/٢ | ٣٤/١ | ٧٤/٥ |
| ٣٦٠٣٩ | ٢٧٧٦٧ | ١٥٥٥ | ١٤/١ | ٣٣/٨ | ٧٠/٩ |
| ٣٨٩٣٧ | ٣٠٢٤٩ | ١٤٠٢ | ١٢/٩ | ٣٢/٤ | ٧٥/١ |
| ٣٨٤٣٥ | ٣٠٣٧٦ | ١٥٠٣ | ١٠/٠ | ٢٨/٩ | ٧٢/١ |
| ٣٩١٣٧ | ٢٩٩٦٤ | ١٢٩٠ | ٧/٢ | ٢٩/٠ | ٩/٧١ |
| ٤٠٧٧٨ | ٣١٩٤٠ | ١٤٩٣ | ٧/٤ | ٢٧/٥ | ٧٦/٩ |
| ٤٤٢٦٠ | ٣٤٢٦٦ | ١٤١٧ | ٨/٨ | ٢٩/٤ | ٧٦/١ |
| ٤٨٦٨٠ | ٣٦٤٦٥ | ١٤٧٨ | ٨/٢ | ٣١/٢ | ٧٥/١ |
| ٤٦٧٧٧ | ٣٥٢٠٩ | ١٤٥٨ | ٧/٣ | ٣٠/٢ | ٧٦/٢ |
| ٤٣٣٧٩ | ٣٤٩٣١ | ١٣٩٢ | ٨/٢ | ٢٦/١ | ٧٥/١ |
| ٤٢١٩٤ | ٣٤٥٨٥ | ١٢٧٣ | ٧/٦ | ٢٤/٢ | ٧٥/٩ |
| ٤٣٩٢٠ | ٣٥٢٨٠ | ١٢٢٥ | ٦/١ | ٢٤/٦ | ٧٩/٣ |
| ٤٢٢١٢ | ٣٢٨٧٢ | ١٤٨٣ | ٩/٣ | ٢٩/٣ | ٧٩/٨ |

جدول ٤- تغییرات کلی TSS در طول مدت آزمایش

| TSS خروجی شاهد (میلی‌گرم بر لیتر) | TSS خروجی اصلی (میلی‌گرم بر لیتر) | TSS خروجی رقیق شده (میلی‌گرم بر لیتر) | راندمان حذف شاهد (میلی‌گرم بر لیتر) | راندمان حذف اصلی (میلی‌گرم بر لیتر) | راندمان حذف رقیق شده (میلی‌گرم بر لیتر) |
|---|---|---|---|---|---|
| ٢٦٠٣/٣ | ٣٢٨٦/٢ | ١٢/٤ | ٤٠/٢٥ | ٥٢/٦٧ | ٥٤/٤٩ |
| ٢٧٧٩/٢ | ٣٥٦٧ | ١٣/٦ | ٣٨/٥٠ | ٥٢/٠٨ | ٥٥/٥٥ |
| ٣١٨٤/٤ | ٣٩٨٧/٨ | ١٢/٩ | ٣٥/٦٨ | ٤٨/٦٤ | ٥٤/٧٩ |
| ٣٤٠٨/٨ | ٤٣٠٠/٥ | ١٤/٦ | ٢٩/٥٠ | ٤٤/١١ | ٥٢/٢٨ |
| ٣٠٦٦/٧ | ٣٨٦١ | ١٤/٧ | ٢٨/٥٠ | ٤٣/٢١ | ٥١/٥٤ |
| ٣٤٠٨/٦ | ٤٠٨١/٥ | ١٠/٧ | ٢٩/٦٨ | ٤٠/٢٠ | ٥٦/٢١ |
| ٢٩٧١/٢ | ٣٥٩٠/٤ | ١٢/٩ | ٢٥/٢٠ | ٣٨/١٢ | ٥٥/٢١ |
| ٣٩٩٩ | ٤٩٤٧/٦ | ١٥/٣ | ٢٠/٢٢ | ٣٥/٥٢ | ٥٨/٢٦ |
| ٤١١٢/٥ | ٥٠٣١/٢٥ | ١٤/٧ | ١٩/٥٢ | ٣٤/٢٢ | ٦٢/٣٢ |
| ٤٧١٩ | ٥٣١٩/٦ | ٩/١ | ١٩/٤٣ | ٢٨/٥٣ | ٦٤/٦٧ |
| ٥٢٩٢ | ٦٠٤٨ | ١١ | ١٥/٥٢ | ٢٦/٥٩ | ٦٦/٩٥ |
| ٥٦١٤/٥ | ٦٤٣٥ | ١٠/٩ | ١٤/٢١ | ٢٥/١٤ | ٦٣/٣٩ |

جدول ۵- تغییرات کلی نیکل در طول مدت آزمایش

| خروجی شاهد نیکل (میلی‌گرم بر لیتر) | خروجی اصلی نیکل (میلی‌گرم بر لیتر) | ورودی رقیق شده نیکل (میلی‌گرم بر لیتر) | خروجی رقیق شده نیکل (میلی‌گرم بر لیتر) | راندمان حذف شاهد (درصد) | راندمان حذف اصلی (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۲/۳٤ | ۱/۵۵ | ۰/۲۱ | ۰/۱۲ | ۱۰/۱۰ | ٤۰/۵۷ |
| ۲/٤۷ | ۱/٦۲ | ۰/۲۲ | ۰/۱۳ | ۵/۲۱ | ۳۷/۹۱ |
| ۲/٤۸ | ۱/٦۰ | ۰/۲۲ | ۰/۱۳ | ۲/۱۱ | ۳٦/۷٦ |
| ۲/۵۲ | ۱/٦۳ | ۰/۲۲ | ۰/۱۲ | ۱/۷۲ | ۳۷/٤۹ |
| ۲/۵۱ | ۱/٦٤ | ۰/۲۲ | ۰/۱۲ | ۱/۸۰ | ۳۵/٤٤ |
| ۲/٦۱ | ۱/۷۰ | ۰/۲۱ | ۰/۱۲ | ۱/۷۳ | ۳۵/۹۳ |
| ۲/۵۹ | ۱/۷۳ | ۰/۲۲ | ۰/۱۳ | ۲/٦۷ | ۳٦/۱٤ |
| ۲/۵۷ | ۱/۷۵ | ۰/۲۱ | ۰/۱۲ | ۱/۸۳ | ۳۳/۰۵ |
| ۲/۵٤ | ۱/۷۲ | ۰/۲۳ | ۰/۱۱ | ۱/۹۹ | ۳۳/٦۸ |
| ۲/۵۷ | ۱/۷۵ | ۰/۲۱ | ۰/۱۰ | ۱/۸۹ | ۳۳/۲٤ |
| ۲/۵٦ | ۱/۷۹ | ۰/۲۱ | ۰/۱۱ | ۱/۷۳ | ۳۱/۳۱ |
| ۲/۵۸ | ۱/۸۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۰ | ۱/٤۰ | ۳۰/۷۰ |
| **۲/۵۳** | **۱/٦۹** | **۰/۲۲** | ۰/۱۰ | **۲/۸۵** | ۳/۱۹ ۵ |

جدول ٦- تغییرات کلی آمونیوم در طول مدت آزمایش

| خروجی شاهد آمونیوم (میلی‌گرم بر لیتر) | خروجی اصلی آمونیوم (میلی‌گرم بر لیتر) | خروجی رقیق شده آمونیوم (میلی‌گرم بر لیتر) | راندمان حذف شاهد (درصد) | راندمان حذف اصلی (درصد) | راندمان حذف رقیق شده (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| ٦٩٩/٧ | ٦٨٧/٨ | ٣٣/٢ | ١٩/٨ | ٢١/٢ | ٦٥/١ |
| ٨٠٥/٢ | ٧٦٩/١ | ٢٩/٠ | ١٨/٢ | ٢١/٩ | ٦٦/٧ |
| ٧١١/٣ | ٩٧٧/٣ | ٢٢/٩ | ١٦/٣ | ٢٠/٣ | ٧٠/٥ |
| ٧٠٥/٠ | ٦١١/٢ | ١٧/٥ | ١٤/٣ | ٢١/٤ | ٧٤/٢ |
| ٨٢٩/٥ | ٦٨٥/٢ | ٢٠/٨ | ١٠/٣ | ٢٢/٢ | ٧٥/٥ |
| ٨٩١/٦ | ٧١٨/٩ | ٢٠/٣ | ٦/١ | ٢٤/٣ | ٧٧/٩ |
| ٩٣٨/٣ | ٧١١/٢ | ٢٣/٥ | ٤/٢ | ٢٧/٤ | ٧٥/٢ |
| ١٠١/٢ ٦ | ٧١٥/٢ | ٢١/٦ | ٤/٣ | ٢٩/٦ | ٧٨/٨ |
| ٨٥٠/٨ | ٥٩٥/٦ | ٢٠/٧ | ٣/٣ | ٣٢/٣ | ٧٨/٩ |
| ٨٨٢/٨ | ٦٢٢/٢ | ٢١/٨ | ٣/١ | ٣١/٦ | ٧٧/٣ |
| ٨٢٧/٧ | ٦٠٧/٧ | ٢٦/١ | ٢/٦ | ٢٨/٥ | ٧٠/٦ |
| ٧٧٦/٥ | ٥٨٤/٣ | ٢٧/١ | ٢/٣ | ٢٦/٦ | ٦٨/١ |
| **٨٢٧/٨** | **٦٦٥/٥** | **٢٣/٧** | ٨/٧ | **٢٥/٦** | ٧٣/٢ |

# منابع

1- Lofrano, G., Brown, J., 2010. Wastewater management through the ages: A history of mankind. Science of the Total Environment 408(22) 5254-5264.

2- Kadlec, Wallace, S., 2009. Treatment wetlands. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC Press, 1048 pp.

3- Foo KY1, Hameed BH. An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process.. Environmental Science and Technology 45, 61–69.

leachate and 4- Lema. J.M., Mendez, R., Blazquez, R. (1998). Characteristics of landfill alternatives for their treatment: a review. Water Air Soil Pollut. 40, 223-250

5- Andreottola, G. Cannas,P.(1992). Chemical and Biological Characteristics of Landfill Leachate.In: Christensen, H., Cossu, R., Stegmann, R. (Eds.), Landfilling of Waste: Leachate: 65-88.

6- Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil A, (1991): Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill Education

7- UK department of Environment

8- J.Wiszniowski · D. Robert · J. Surmacz-Gorska ·K. Miksch · J.V. Weber (2006) Landfill leachate treatment methods: A review

9- EPA. 2005. Landfill Manuals; Landfill Operational Practices.

10- Seidel,K. ( 1976). Macrophytes and water purification. In Biological Control of Water Pollution, J. Tourbier and R.W. Pierson (eds), Pennsylvania University Pres, Philadelphia, Pennsylvania, app. 109-122.

11-Kadlec, R.H., And Wallace, S.D., (2008). Treatment wetlands, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, in press.

12- تشیعی،ح؛ مهدوی، م؛ کرکانی، ف؛ غلمانی، و؛ عطایی فر،ح. کاربرد سیستم های وتلند ساختگی با جریان زیر سطحی در تصفیه شیرابه کشورهای خارجی و ایران. مجله تحقیقات نظام سلامت: سال هفتم، شماره ششم، ویژه نامه ۱۳۹۰.

13- EPA. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. Ohio: Office of Research and Development, 2002.

14- Vymazal, J., 2011. Constructed Wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environmental Science and Technology 45, 61–69.

15- A guide to creating wetlands for: Agricultural wastewater domestic wastewater in the Mid-Atlantic Region

16- Kadlec, R.H. Overview: Surface Flow Constructed Wetlands. In Proceedings of the 4th International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control; ICWS Secretariat Guangzhou, China, 1994; pp. 1-12.

17. Jan Vymazal(2010) Review of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Department of Landscape Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences.

18- Seidel K (1955): Die Flechtbinse Scirpus lacustri*. Ökologie, Morphologie und Entwicklung, ihre Stellung bei den Volkern und ihre wirtschaftliche Bedeuting. Sweizerbart'sche Verlgsbuchhandlung, Stuttgart

19- U.S. EPA. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater. Manual. EPA

625/R-99/010; U.S. Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, USA, 2000.

20- Vymazal, J.; Kröpfelová, L. Is Concentration of Dissolved Oxygen a Good Indicator of Processes in Filtration Beds of Horizontal-flow Constructed Wetlands In Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management; Vymazal, J., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2008; pp. 311-317.

21- Cooper, P.F. A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems. Wat. Sci. Tech. 1999, 40, 1-9.

22- Brix, H. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic waste water: New Danish guidelines. Ecol. Eng. 2005, 25, 491-500.

23- Tanner, C.C., 1996. Plants for constructed wetland treatment systems – A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species.Ecological Engineering 7, 59–83.

24- Cronk, J.K., Fennessy, M.S., 2001. Wetland Plants: Biology and Ecology. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

25- Stottmeister, U., Wiessner, A., Kuschk, P., Kappelmeyer, U., Ka¨stner, M., Bederski, OMu¨ ller, R.A., Moormann, H., 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances 22, 93–117.

26- USEPA, 1995. A Handbook of Constructed Wetlands – Volume 1: General Considerations, USEPA Region III with USDA, NRCS.

27- Brix, H., 1994b. Functions of macrophytes in constructed wetlands. Water Science and Technology 29 (4), 71–78.

28- Kadlec, R.H.,Knight ,R.L., 1996. TreatmentWetlands. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

29- Garcı´a, J., Rousseau, D.P.L., Morato´, J., Lesage, E., Matamoros, V., Bayona, J.M., 2010. Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetlands: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 40, 561–661.

30- Faulwetter, J.L., Gagnon, V., Sundberg, C., Chazarenc, F., Burr, M.D., Brisson, J., Camper, A.K., Stein, O.R., 2009. Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: A review. Ecological Engineering 35, 987–100

31- Saeed, T., Sun, G., 2011b. The removal of nitrogen and organics in vertical flow wetland reactors: Predictive models. Bioresource Technology 102, 1205–1213.

32- Vymazal, J., Greenway, M., Tonderski, K., Brix, H., Mander, U¨ ., 2006. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. In: Verhoeven, J.T.A., Beltman, B., Bobbink, R., Whigham, D.F.

(Eds.), Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies190, Springer-Verlag,Berlin,Germany, pp. 69–94.

33- Yeh, T.Y., 2008. Removal of metals in constructed wetlands: a review. Practice Periodical of Hazardous,Toxic,and Radioactive Waste Management 12 (2), 96–101.

34- Sobolewski, A., 1999. A review of processes responsible for metal removal in wetlands treating contaminated mine drainage. International Journal of Phytoremediation 1 (1), 19–51.

35- Sundaravadivel, M., Vigneswaran, S., 2001. Constructed wetlands for wastewater treatment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 31 (4), 351–409.

36- Sheoran, A.S., Sheoran, V., 2006. Heavy metal removal mechanisms of acid mine drainage in wetlands: A critical review. Minerals Engineering 19, 105–116.

37- Scholz, M., Xu, J., 2002b. Performance comparison of experimental constructed wetlands with different filter media and macrophytes treating industrial wastewater contaminated with lead and cooper. Bioresource Technology 83, 71–79.

38- Walker, D.J., Hurl, S., 2002. The reduction of heavy metals in a storm water wetland. Ecological Engineering 18 (4), 407

**Abstract**:

Constructed wetlands are among the green technologies to purify contaminated waters and compared to conventional wastewater treatment systems, they are more cost-effective and have more simplicity. However, these systems have some limitations such as; high occupancy levels, limitation on providing oxygen, inability on sufficient nitrogen removal and application limits for strong wastewater treatment.

In this study, a pilot was designed to treat the landfill leachate in a subsurface flow constructed wetland. This study and the tests were done in the period of 60-day after plants growth in three different systems including: Control Constructed Wetland containing the main leachate (without Vetiver plant species), Main Constructed Wetland containing the main leachate (with Vetiver plant species) and Constructed Wetland with a 10-percent diluted leachate (with Vetiver plant species).

Constructed wetlands were designed with the dimension of 1.5m*0.5m*0.5m. The bed of this constructed wetland was filled with gravel, sand, and rock with the effective porosity of 35,48 and 25 percent. Vetiver plant species used in this case study were planted to 16 per square meters in both the main and diluted constructed wetland. Sampling and measurement was conducted each 5 days due to the 5-day hydraulic retention time.

Based on the results of this study, removal efficiencies obtained for diluted and undiluted leachate were: BOD5, 79% and 29%; COD, 54 and 33%; TSS, 57 and 39%; Ammonium, 73 and 25%; Nickel 46 and 35% respectively. Due to the results of this research in each phase removal efficiency of assessed parameters were relatively high. Among pollution indexes the highest amount was for ammonia and BOD5, respectively.

**Keywords: Constructed wetlands, Landfill leachate treatment, Vetiver plant species**

**Faculty of Civil Engineering**

**M.Sc. Thesis in Environmental Engineering**

# Landfill leachate treatment of Babol city by constructed wetland

**By: Abbas Rajabpour Ganj**

**Supervisors:**

**Dr. Mehdy Hosseini**

**Dr. Ramezan Vaghei**

**February 2017**