اصول مهندسی تصفیه فاضلاب

فاضلاب :

آب یا سیالی که مقادیر آلاینده ها و مواد خارجی وارد در آن به قدری زیاد باشد که سلامت انسان و محیط زیست را به خطر بیندازد.

تصفیه فاضلاب:

هرگونه عملیاتی که برای کاهش یا حذف آلودگی ها از فاضلاب انجام شود.

پساب تولید شده باید قابلیت استفاده مناسب و مطمئن برای مصارف غیر شرب را داشته باشد.

اهمیت تصفیه فاضلاب:

1. حفظ محیط زیست
2. سلامت و بهداشت انسان
3. استفاده مجدد شامل:

- تصفیه فاضلاب خام و استفاده مجدد از پساب برای مصارف غیر شرب به ویژه کشاورزی
- استفاده از لجن باقی مانده در فرایند های تصفیه به عنوان کود جهت مصارف کشاورزی و صرفه جویی در مصرف کود های شیمیایی
- استفاده از گاز متان تولید شده در تصفیه خانه جهت تامین انرژی لازم برای بخش های مختلف

انواع فاضلاب :

❑ فاضلاب شهری (فاضلاب بهداشتی):

فاضلاب خانه ها، موسسات، ساختمان های تجاری و ...
و گاهی فاضلاب صنایع کوچک

- **فاضلاب شهری شامل ۹۹/۹٪ آب و ۰/۰۱٪ مواد خارجی (آلاینده ها) می باشد.**
- **پارامتر های کیفی فاضلاب معمولا در شهر های مختلف یکسان بوده ولی غلظت مواد تشکیل دهنده فاضلاب تابع الگوی مصرف آب است.**

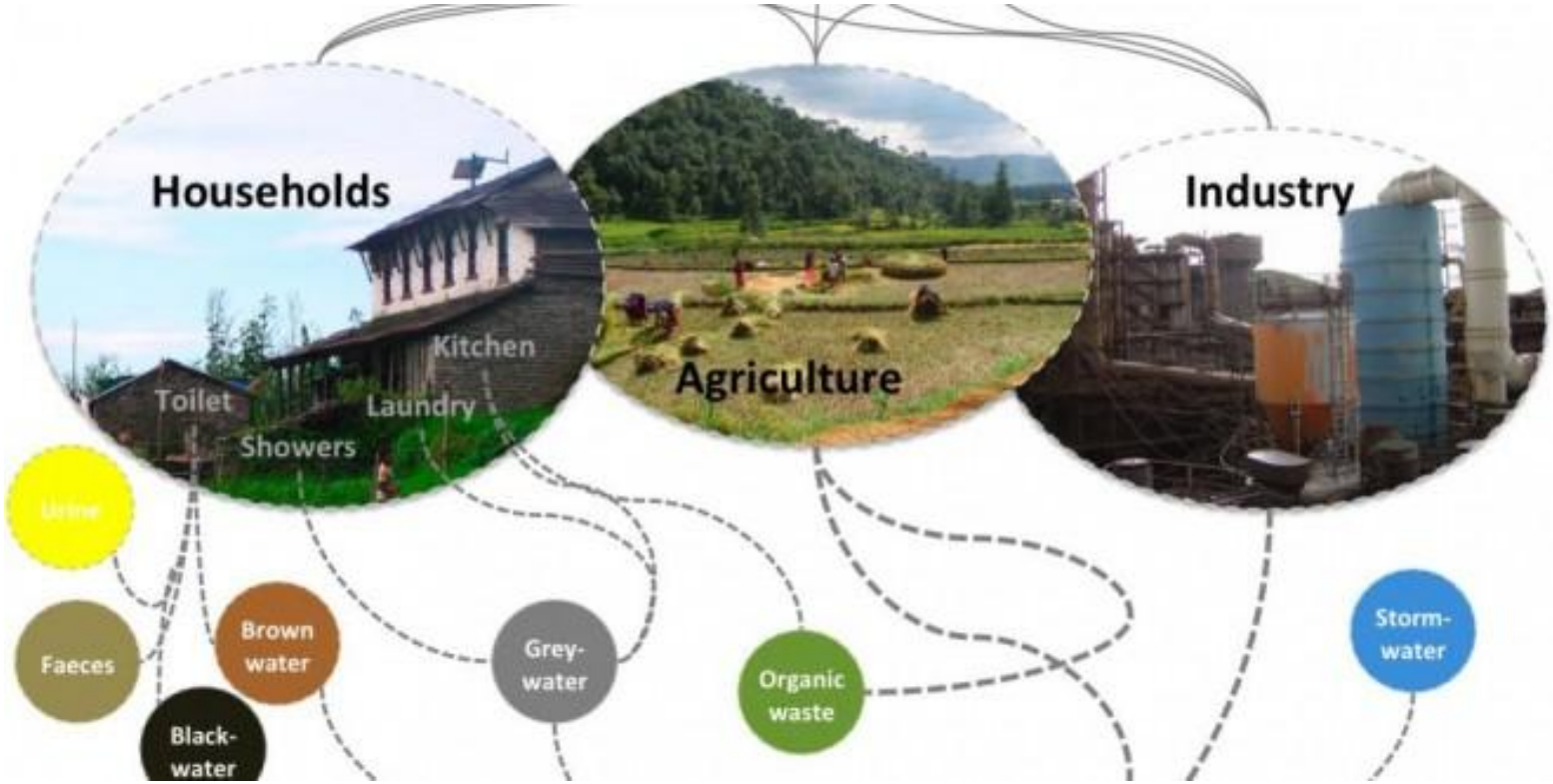
❑ فاضلاب صنعتی (صنایع و کارخانه های بزرگ): به لحاظ کمی و کیفی از صنعتی به صنعت دیگر متفاوت است. حتی در یک صنعت فاضلاب بخش های مختلف به لحاظ کیفی با هم تفاوت دارند.

مهمترین تفاوتی که فاضلاب صنعتی با شهری دارد عبارت است از:

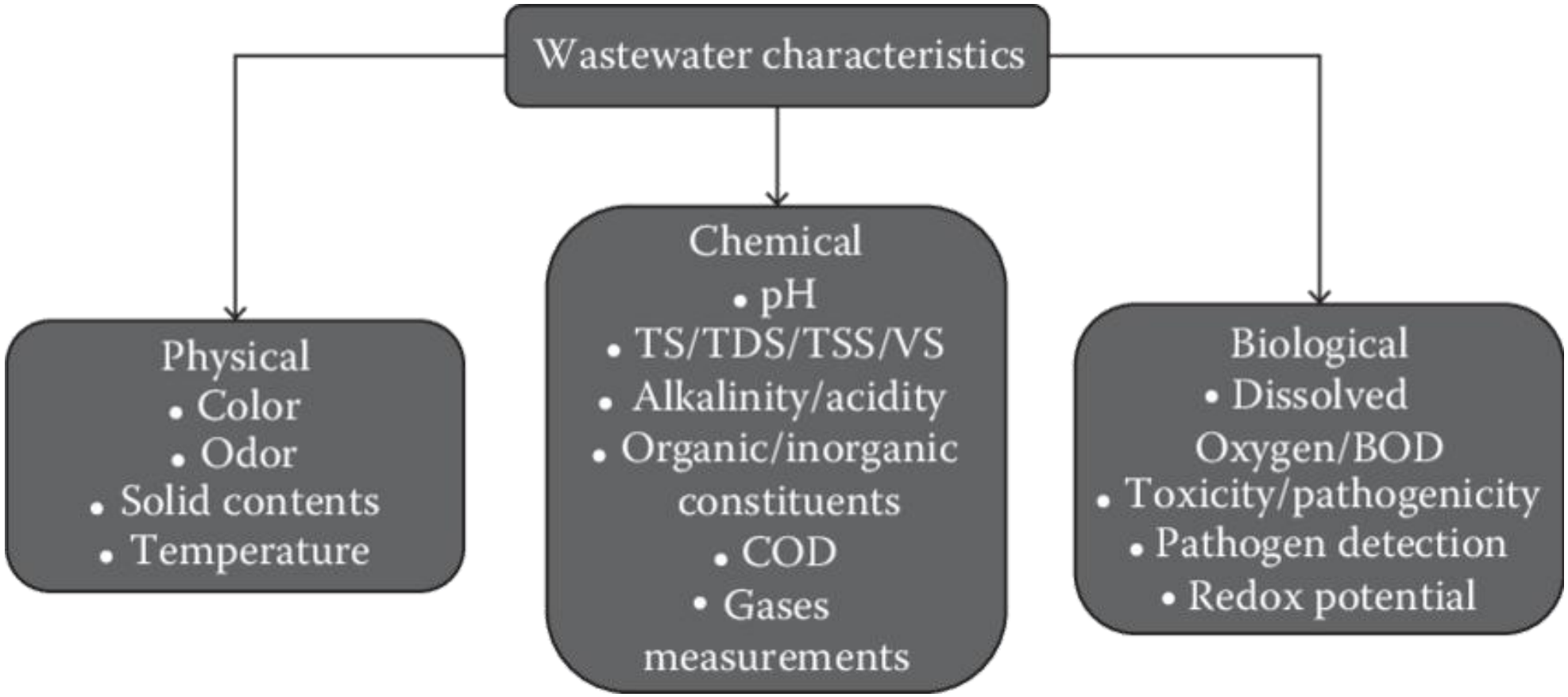
۱-امکان وجود مواد و ترکیبات شیمیایی و سمی در فاضلاب صنعتی بیشتر است.
۲-خاصیت خورندگی آن بیشتر است.
۳-خاصیت اسیدی و قلیائی بیشتری دارد
۴- امکان وجود ارگانیسم های زنده در آن کمتر است.

❑ فاضلاب های کشاورزی:

حاوی انواع آفت کش ها، سموم شیمیایی، و حشره کش ها و ترکیبات نیترات و فسفات



مشخصات کیفی فاضلاب



خصوصیات فیزیکی فاضلاب

۱) رنگ:

- رنگ فاضلاب شهری نشان دهنده عمر آن است.
- فاضلاب تازه دارای رنگ خاکستری است.
- با گذشت زمان در اثر گندیدگی و کهنه شدن رنگ فاضلاب تیره و سیاه می گردد.
- در صنایع رنگ آن بستگی به نوع مواد مصرفی دارد.

۲) بو:

- بوی فاضلاب ناشی از گازهایی است که در اثر متلاشی شدن مواد آلی بوجود می آید.

- بوی فاضلاب کهنه ناشی ازگاز هیدروژن سولفوره است که در اثر فعالیت باکتریهای بی هوازی رخ می دهد.

۳) دمای فاضلاب :

بعلت اعمال زیستی گرمای فاضلاب معمولا بیشتر و گرمتر از آب در همان محیط است.

۴) وزن مخصوص فاضلاب:

با توجه به سبک بودن مواد خارجی برابر آب در نظر گرفته می شود.

خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب شهری

CHARACTERISTICS OF WASTEWATER

Parameters	UNITS	GUIDELINE VALUE
pH	-	4-12
Suspended solids	mg/l	24-5700
BOD_5	mg/l	450-4,790
COD	mg/l	80 - 95000
Total nitrogen	mg/l	15-180
Total phosphorus	mg/l	11-160
Oil and grease	mg/l	10
Total coliform bacteria	Mpn/100ml	400
Magnesium	mg/l	25-49
Potassium	mg/l	11-160
Chloride	mg/l	48-469
Calcium	mg/l	57-112

pH فاضلاب شهری

فاضلاب تازه دارای pH=7است ولی در اثر گندیدگی پی اچ آن اسیدی می شود.

مهم ترین اجزای تشکیل دهنده فاضلاب شهری

1) جامدات معلق:

عمدتاً شامل پسماندهای غذایی، فضولات بدن انسان، کاغذ، پارچه و ذرات خاک

۲) مواد آلی فاضلاب :

عمدتاً شامل پروتئینها (۴۰ تا ۶۰ درصد)، کربوهیدراتها (۲۵ تا ۵۰ درصد) و لیپیدها (تقریباً ۱۰درصد)

۳) عوامل بیماریزا:

انواع عوامل بیماریزا با منشأ آبی یافت می شوند که شامل باکتریها، ویروسها، پرتوزوآ و انگلها می باشند.

استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران جهت استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده

پارامتر کیفی	کشاورزی	تخلیه به رودخانه ها	تخلیه به آبهای زیرزمینی
pH	۶- ۸/۵	۶/۵-۸/۵	۵-۹
BOD (mg/l)	۱۰۰	۳۰	۳۰
COD	۲۰۰	۶۰	۶۰
TSS	۱۰۰	۴۰	۴۰
رنگ(واحد رنگ)	۷۵	۷۵	۷۵
کدورت (NTU)	۵۰	۵۰	-
مواد پاک کننده (mg/l)	۰/۵	۱/۵	۰/۵
کل کلیفرم	≤۱۰۰۰عدد/۱۰۰ml	≤۱۰۰۰عدد/۱۰۰ml	≤۱۰۰۰عدد/۱۰۰ml
کلیفرم مدفوعی	≤۴۰۰عدد/۱۰۰ml	≤۴۰۰عدد/۱۰۰ml	≤۴۰۰عدد/۱۰۰ml
تخم نماتودها	یک عدد در لیتر≤	-	-

انواع مراحل تصفیه فاضلاب :

۱. تصفیه مقدماتی (اولیه)

2. تصفیه ثانویه

۳. تصفیه پیشرفته

- برای تخلیه فاضلاب به محیط زیست (آب یا خاک) لازم است تصفیه اولیه و ثانویه انجام شود .

❑ **عملیات واحد :**

کار های فیزیکی برای تصفیه فاضلاب مثل آشغال گیری ، ته نشینی ، انعقاد و فیلتراسیون

❑ **فرایند واحد :**

افزودن مواد شیمیایی یا استفاده از فعالیت های بیولوژیکی میکروارگانیسم ها جهت تصفیه فاضلاب

فرایند واحد شیمیایی : افزودن مواد تصفیه کننده برای لخته سازی ، میکروب کشی با افزودن کلر

فرایند واحد بیولوژیکی : راکتور لجن فعال یا فیلتر چکنده ، لاگون هوادهی و ...

❑ **راکتور : هر مخزن یا حوضچه ای که عملیات واحد یا فرایند واحد در آن انجام شود .**

❑ تصفیه مقدماتی (اولیه)

جداسازی تقریباً نیمی از جامدات معلق و تقریباً ۳۰ درصد کل BODفاضلاب ورودی

شامل:

۱. آشغالگیر

۲. ایستگاه پمپاژ

۳. کانال انتقال آب : آرام کردن جریان فاضلاب

4. آشغالگیر ریز

5. کانال دانه گیر : ذرات جامد درشت مثل شن و ماسه را از فاضلاب حذف کند (قطر بیش از ۰.۲ mm)

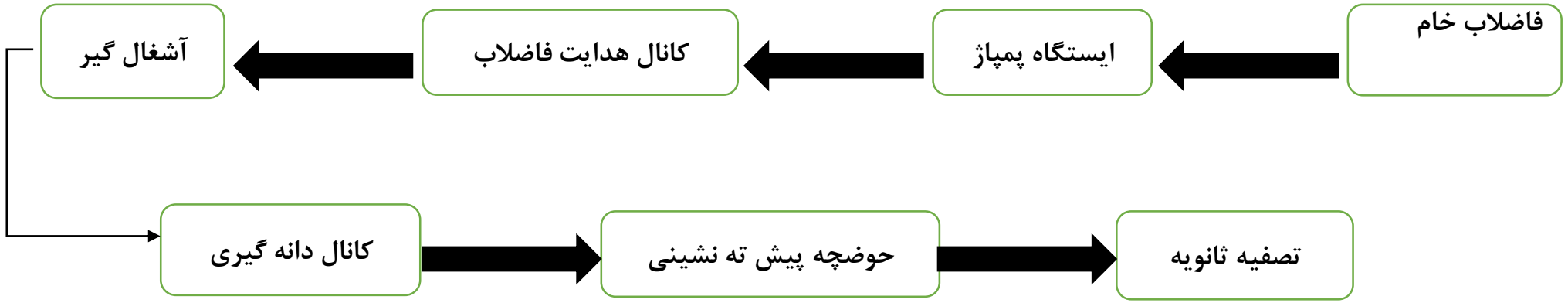
۶. حوضچه پیش ته نشینی:

- فاضلاب خروجی از حوضچه پیش ته نشینی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد ذرات جامد معلق خود را از دست می دهد . TSSخروجی = ۵۰٪ تا ۷۰٪ TSSورودی
- حدود ۳۰٪ ذرات جامد حذف شده در تصفیه اولیه مواد آلی بوده و بقیه مواد معدنی هستند .

۷. حوضچه متعادل ساز : تنظیم دبی فاضلاب و همین طور کیفیت فاضلاب .

منظور از دبی فاضلاب مقدار حجمی از فاضلاب است که در واحد سطح در واحد زمان می گذرد .

۸. واحد خنثی سازی : برای تنظیم pH فاضلاب .

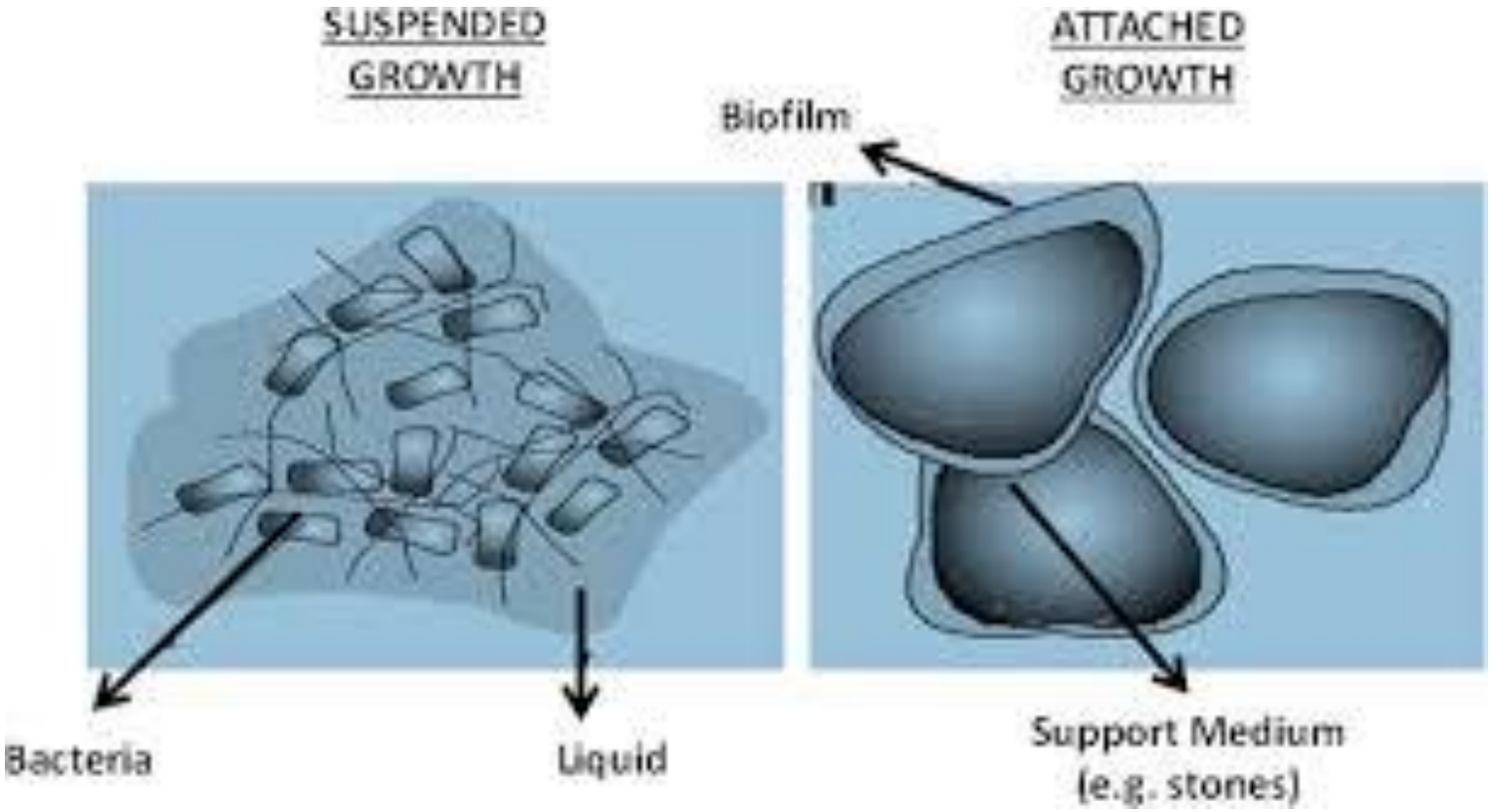


بخش های مختلف تصفیه اولیه فاضلاب

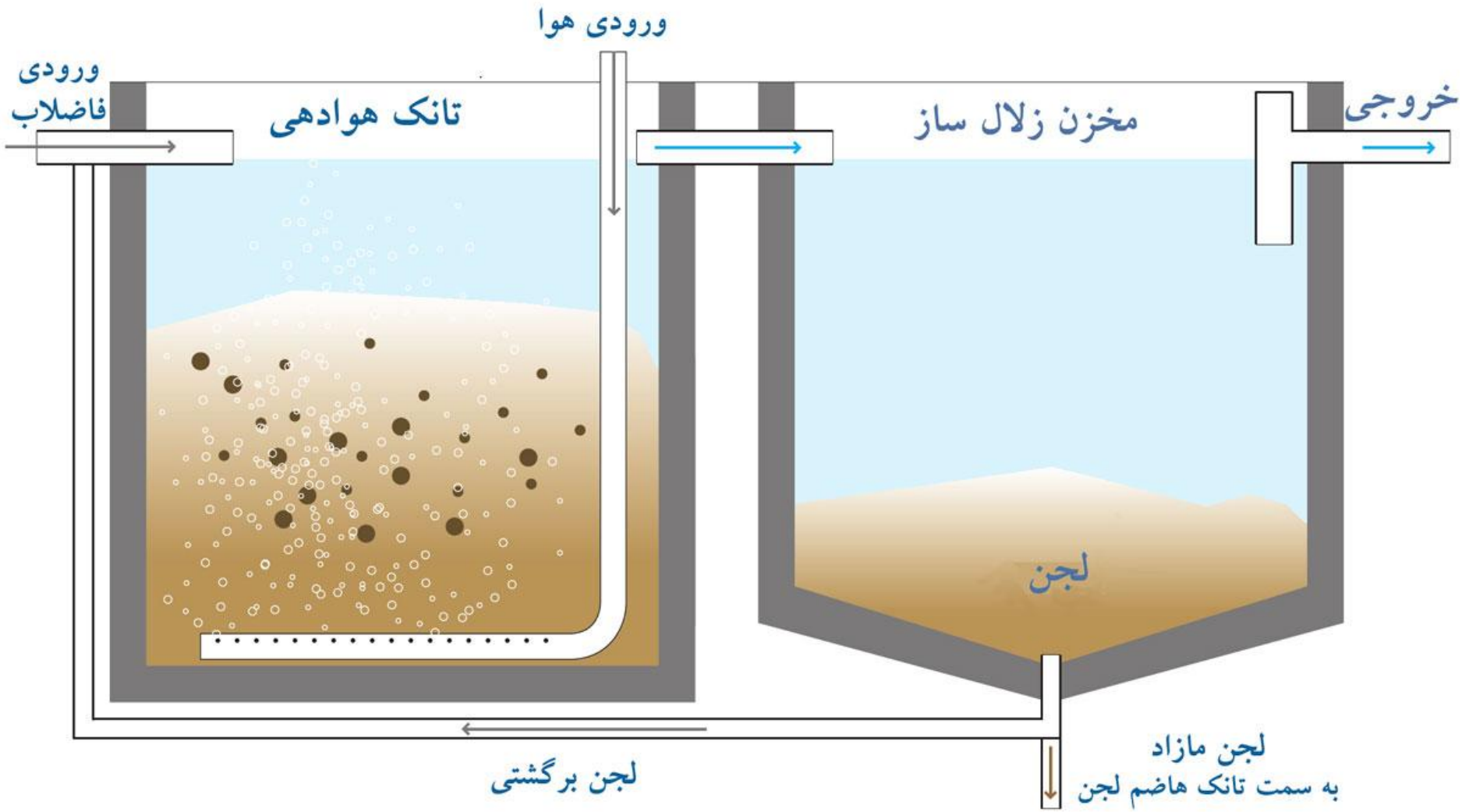
تصفیه ثانویه :

1. روش کشت میکروبی معلق (مثل راکتور لجن فعال)

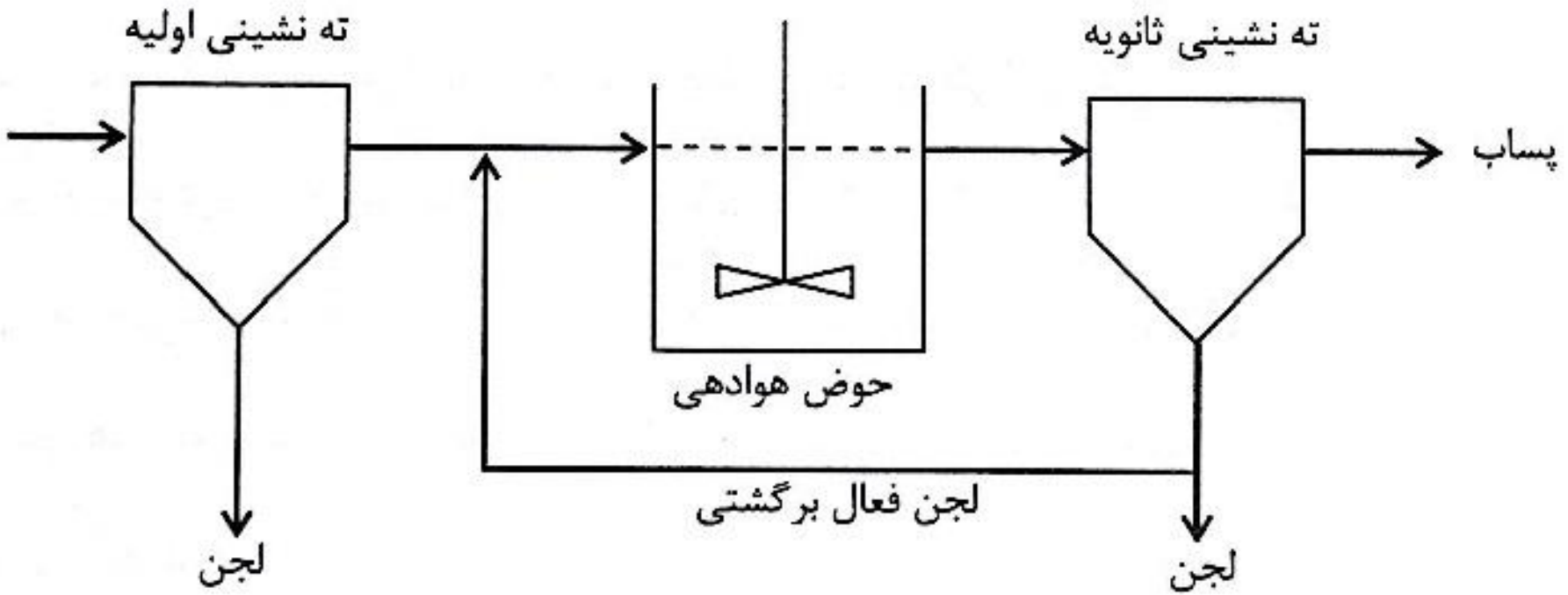
۲. روش کشت میکروبی متصل (مثل صافی های چکنده)



راکتور لجن فعال با دیفیوزر هوا در کف



راکتور لجن فعال با هوادهی پره ای



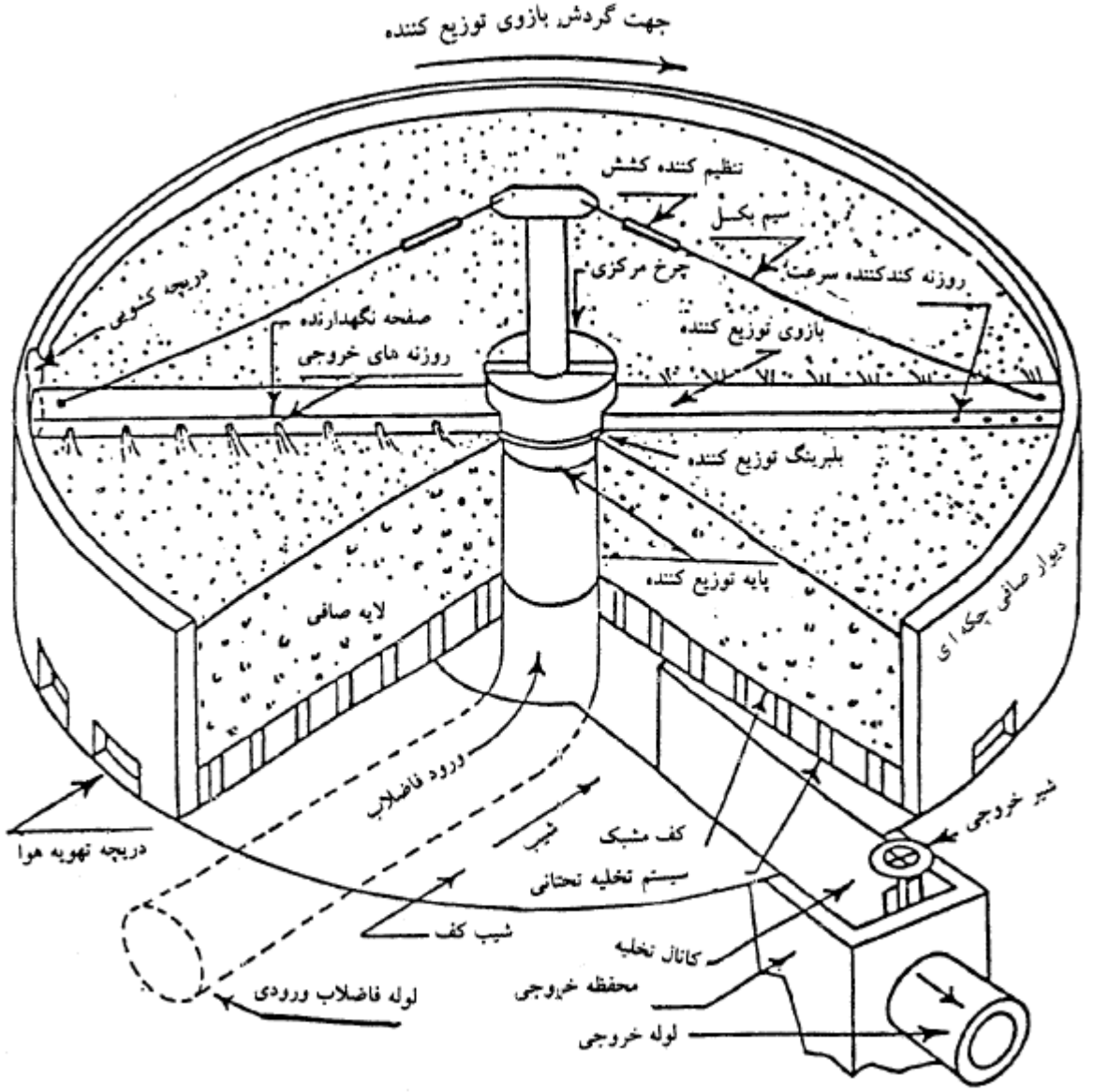
صافی های چکنده

- بنا به دلایل اقتصادی از این روش برای تصفیه فاضلابهای شهرهای کوچک تا متوسط به کار می روند.

- این سیستم از یک استوانه که درون آن قطعات قلوه سنگ و یا پلاستیک وجود دارد تشکیل شده است که فاضلاب بر روی آنها پخش می گردد.

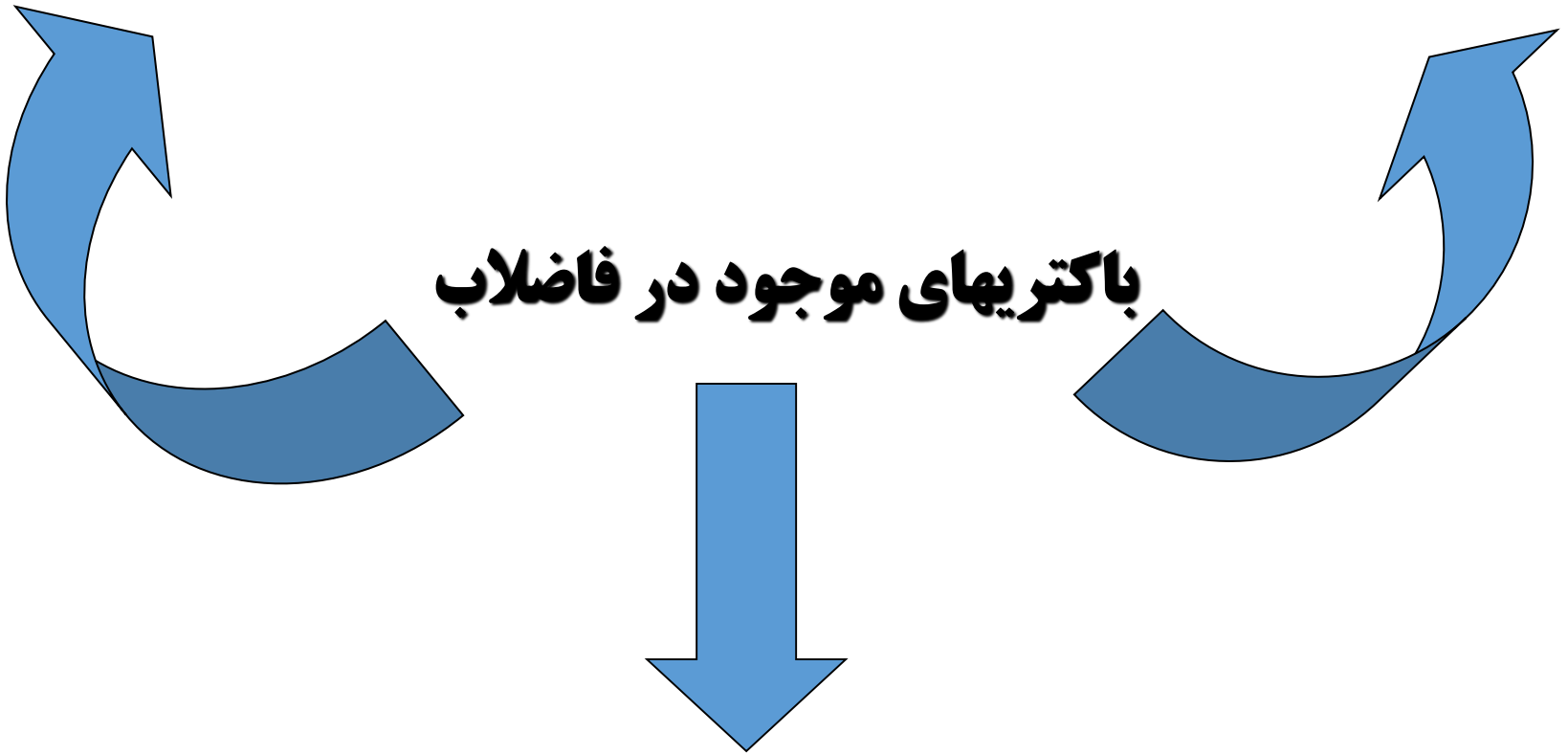
- میکروارگانیسم ها بر روی قطعات موجود در استوانه رشد کرده و مواد آلی موجود در فاضلاب را تجزیه می نمایند.

صافی چکنده


جهت گردش بازوی توزیع کننده
تنظیم کننده کشش
سیم بکسل
چرخ مرکزی
روزنه کندکننده سرعت
بازوی توزیع کننده
دریچه کنترلی
صفحه نگهدارنده
روزنه های خروجی
بلبرینگ توزیع کننده
پایه توزیع کننده
لایه صافی
دیوار صافی چکه ای
دریچه تهویه هوا
ورود فاضلاب
شیر
کف مشبک
سیستم تخلیه تحتانی
شیب کف
کانال تخلیه
محفظه خروجی
لوله فاضلاب ورودی
لوله خروجی
شیر خروجی

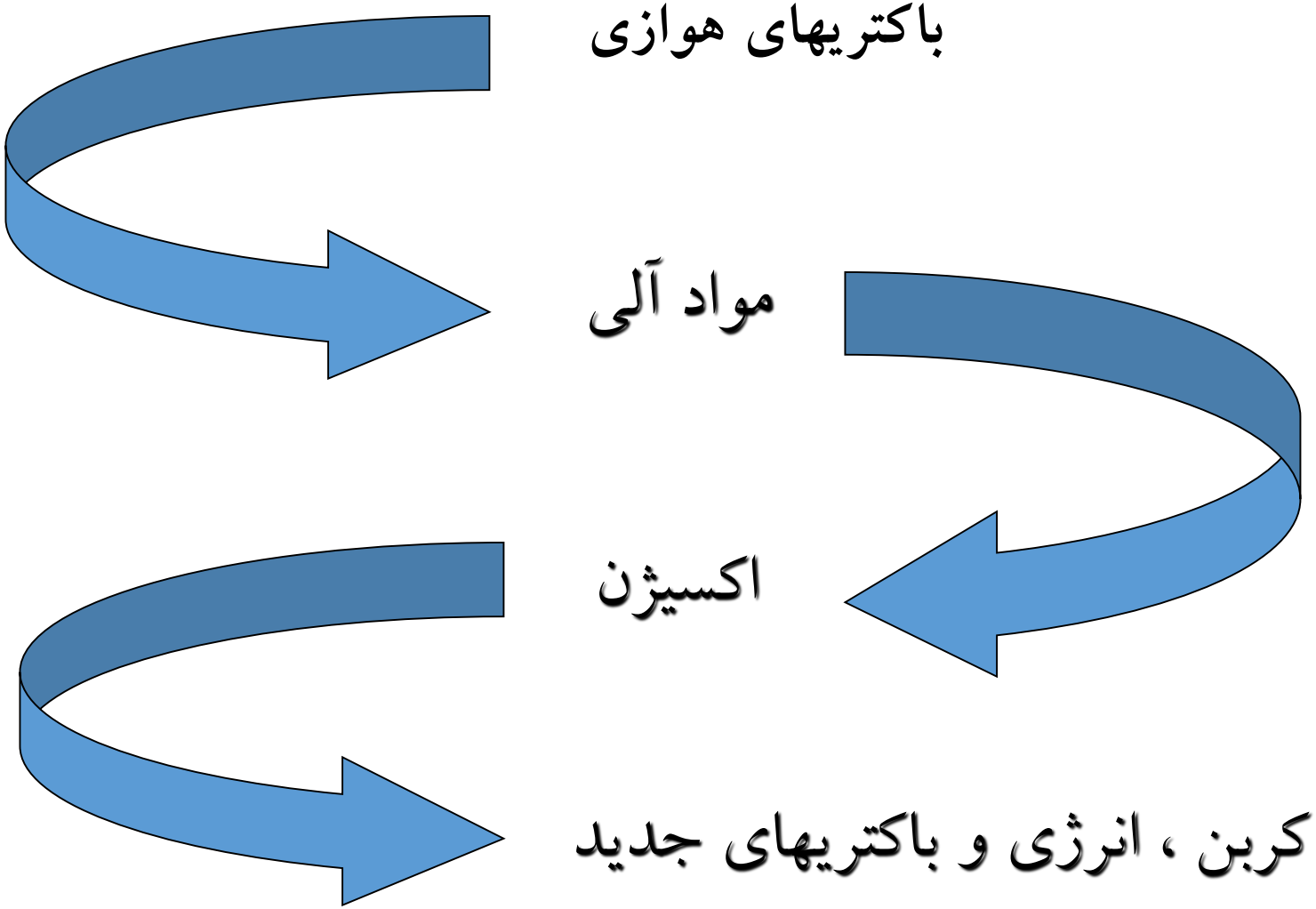
میکروارگانیسم های بیهوازی

میکروارگانیسم های هوازی

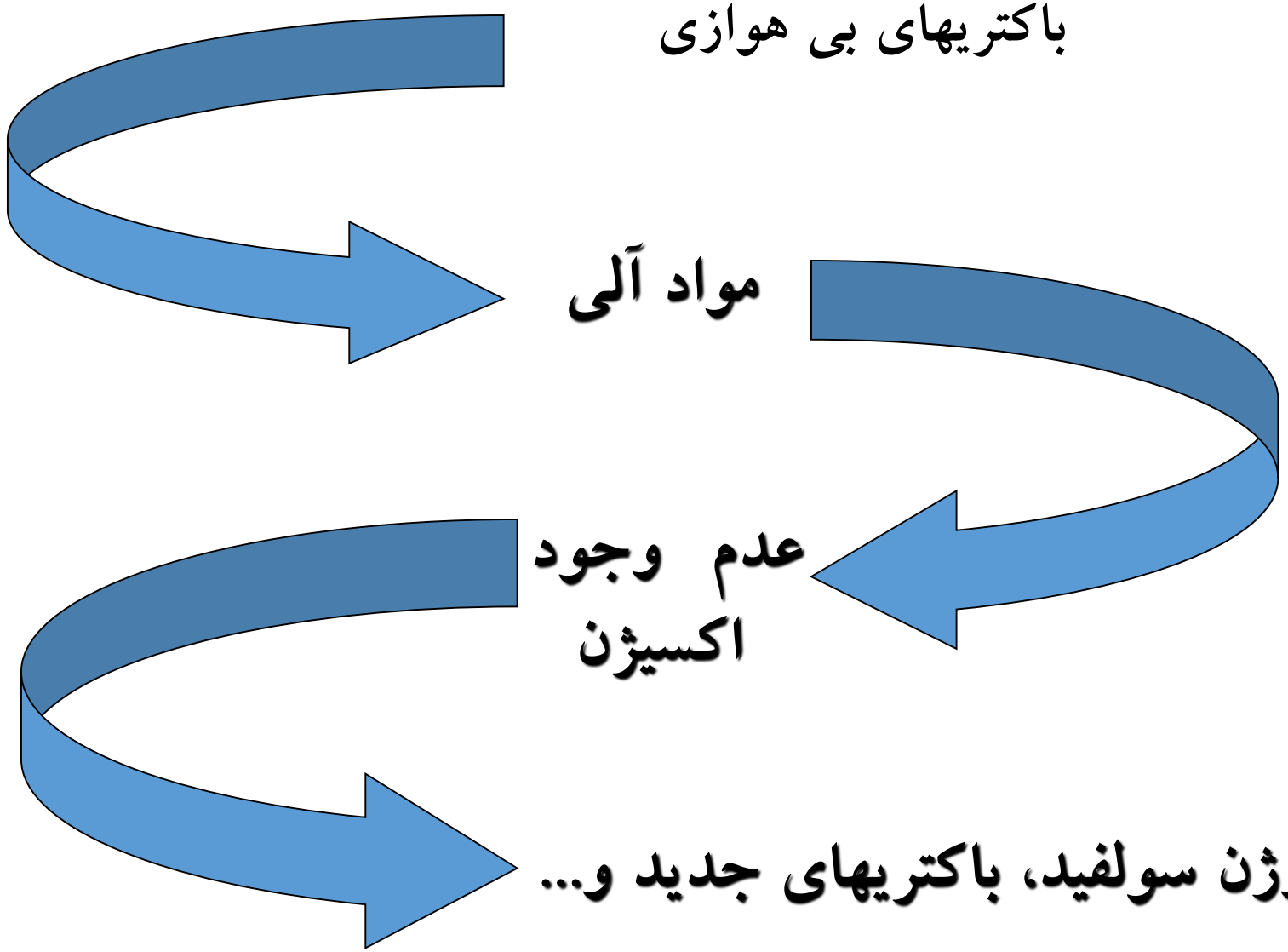


میکروارگانیسم های اختیاری

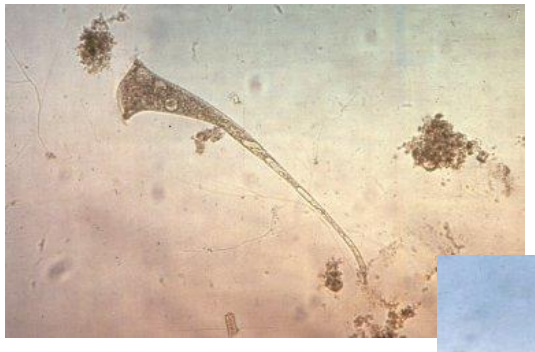
تصفیه بیولوژیک هوازی

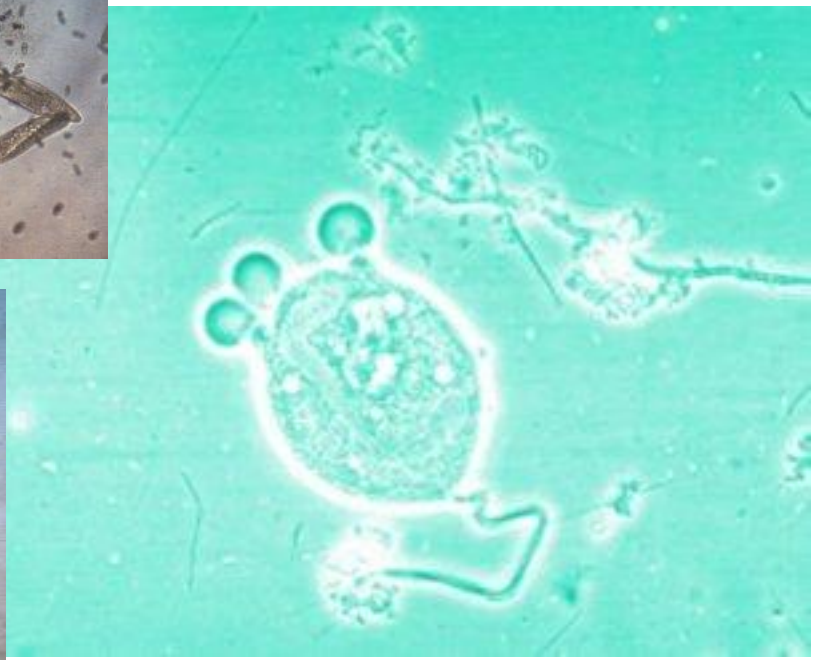


تصفیه بیولوژیک بی هوازی



برخی میکروارگانیسم های موجود در فاضلاب





❑ تاثیر دما و pH بر میکروارگانیسم ها

- به ازاء هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دما فعالیتهای باکتریها ۲ برابر می شود. این عمل تا دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ادامه دارد.

- مناسب ترین pH برای رشد باکتریها ۶/۵ الی ۷/۵ می باشد. اما برخی از آنها در pH های بسیار پایین و یا محیط های بسیار قلیایی نیز می توانند رشد نمایند.

- تغییرات ناگهانی pH می تواند منجر به توقف رشد و یا مرگ باکتریها شود.

تجزیه هوازی

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6Co_2 + 6H_2O$$

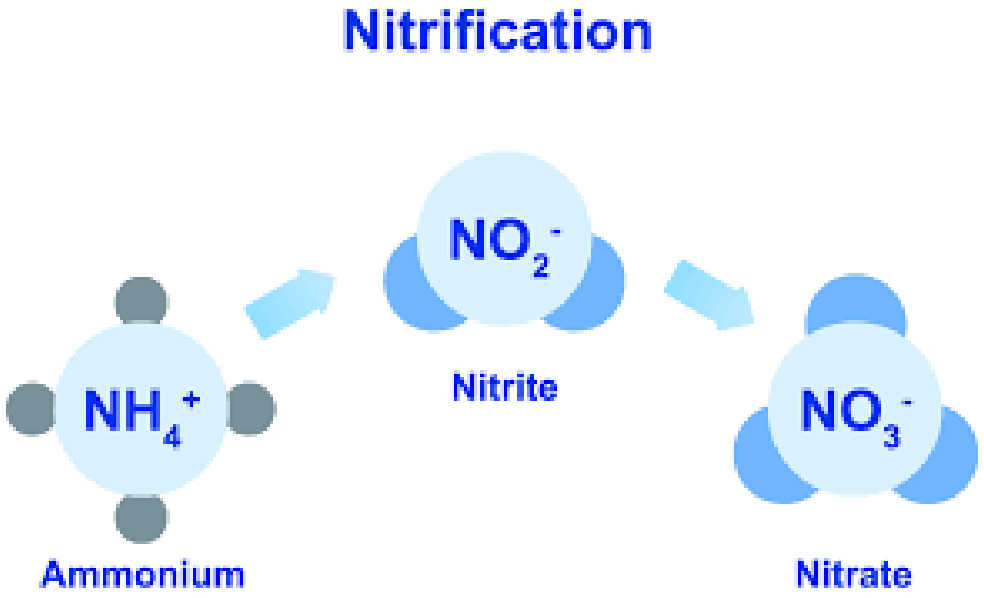
ماده آلی فاضلاب — ماده معدنی فاضلاب

تجزیه بی هوازی

$$C_6H_{12}O_6 + S \longrightarrow Co_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S$$

ماده آلی فاضلاب — باکتریهای گوگردی — % 29 — متان 68.8 % — آمونیاک — سولفید هیدروژن (بوی بد فاضلاب)

بیوگاز (Biogas)



نیترات سازی یا آمونیاک زدایی (نیتریفیکاسیون)

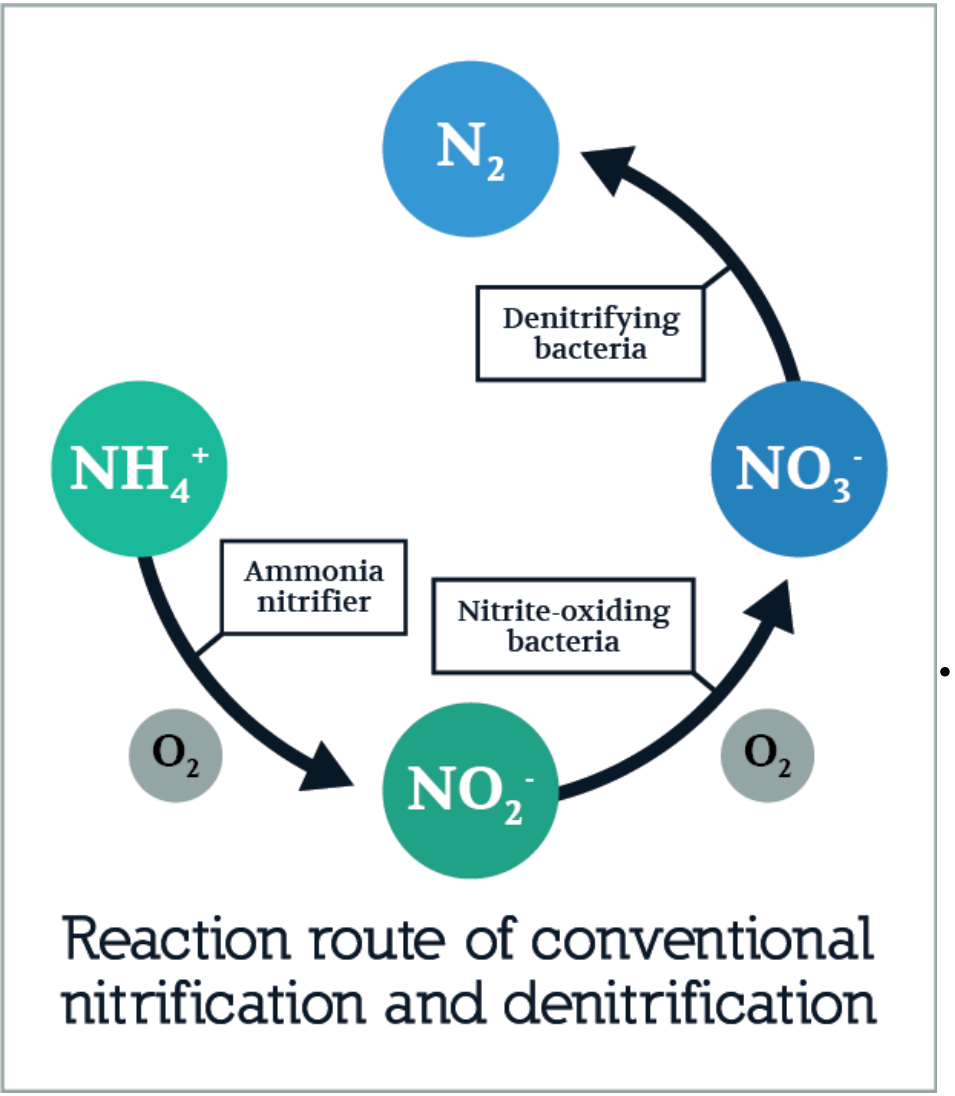
آمونیاک ⟵ نیترو باکتر ⟵ نیتریت ⟵ نیتروزومانوس ⟵ نیترات

نیترات ایجاد BOD نمی کند و تجزیه هوازی آن ممکن نیست، بنابر این باعث کاهش DO آب نمی شود. ولی منجر به تحریک شدید رشد جلبکها می گردد و مجدداً پس از مرگ جلبکها مواد آلی به آبهای پذیرنده وارد می شود.

مشکلات ناشی از حضور نیترات

- ایجاد پدیده شکوفایی جلبکی
- در صورت ورود این پساب به منابع آب آشامیدنی منجر به ایجاد بیماری کودک آبی (Blue baby) می گردد.
- ایجاد آلودگی در آبهای زیر زمینی

نیترات زدایی یا ازت زدایی (دنیتریفیکاسیون)

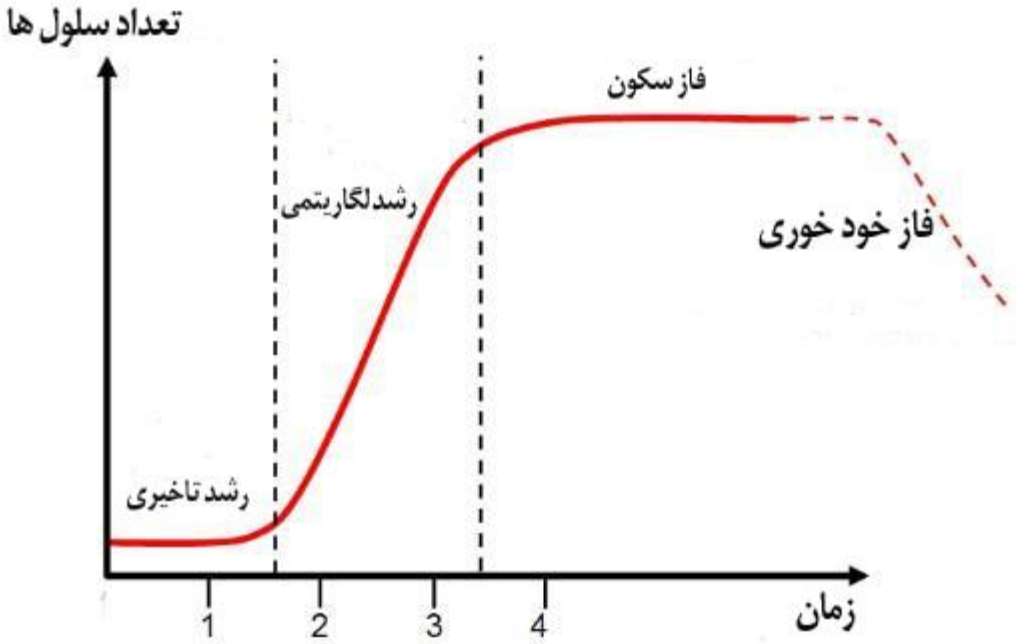


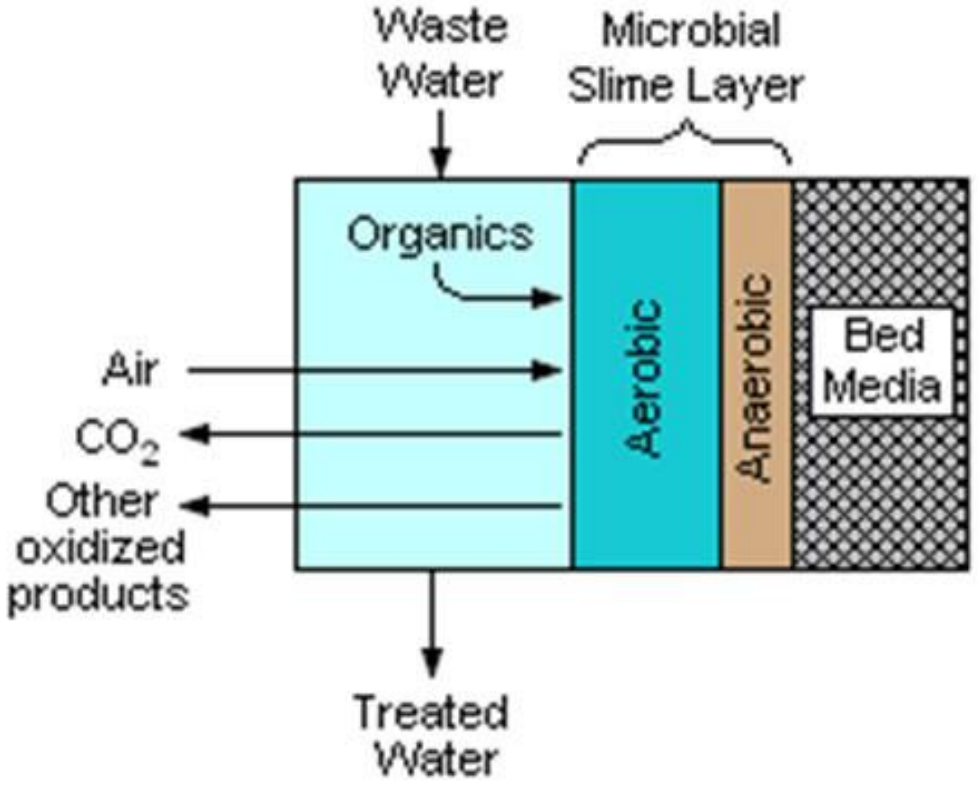
Reaction route of conventional nitrification and denitrification

این فرایند کاملاً بی هوازی بوده و در حضور اکسیژن انجام نمی شود.

$$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

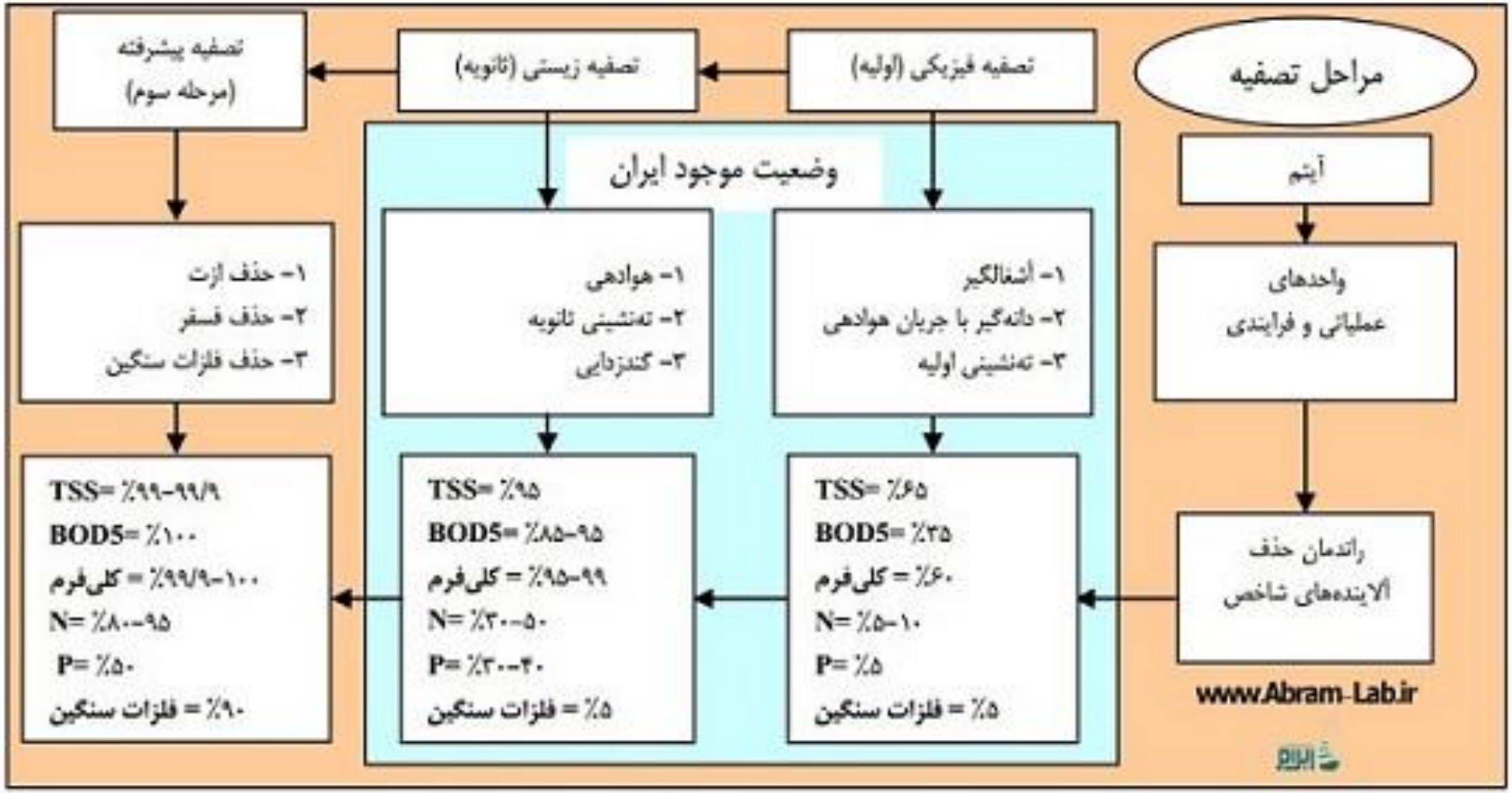
منحنی رشد باکتریایی در تصفیه فاضلاب





نحوه رشد توده سلولی در کشت میکروبی متصل

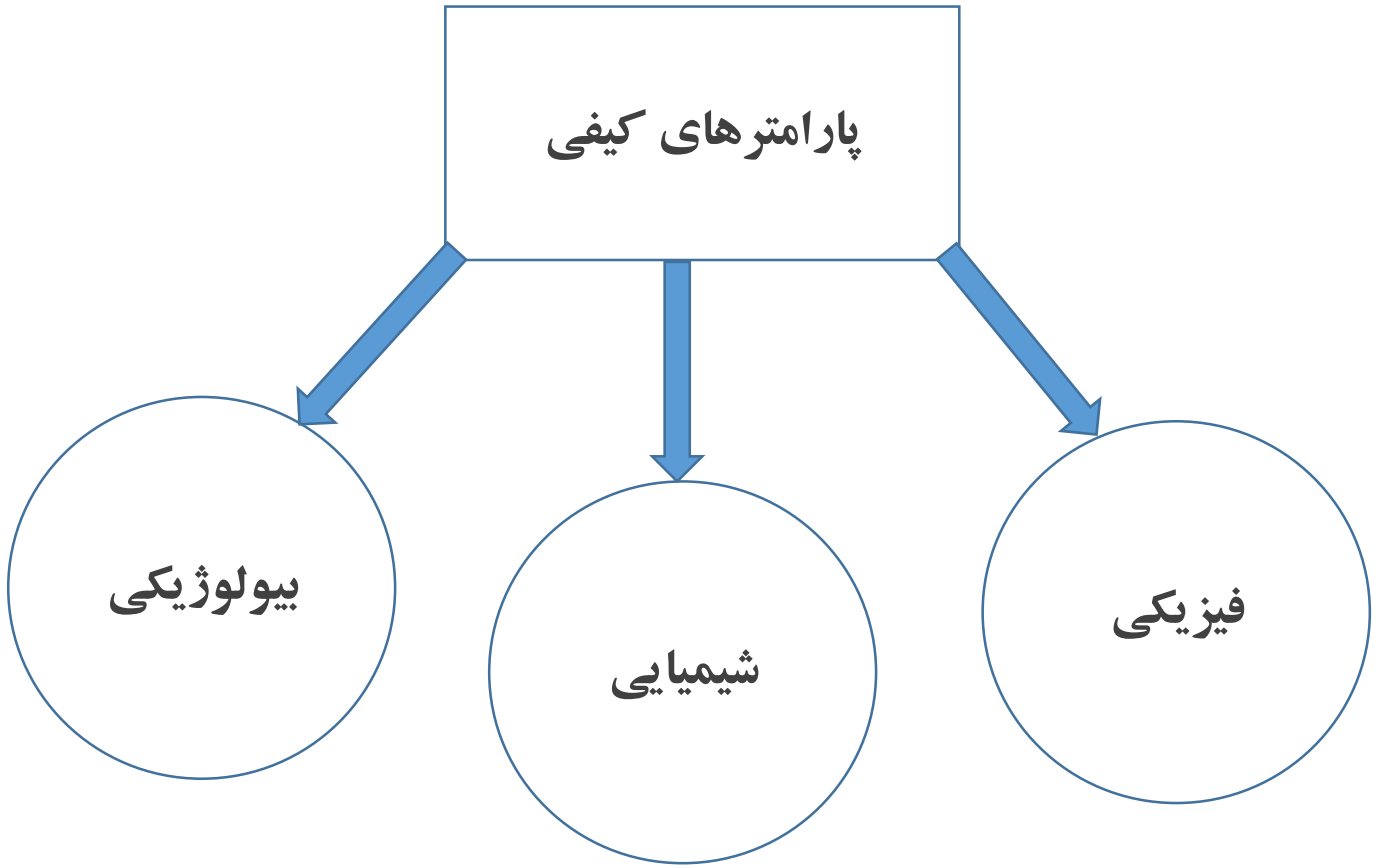
تصفیه	عملکرد	نوع فعالیت
اولیه (مقدماتی)	انتقال فاضلاب از اعماق پایین تر به سطح زمین (گاهی چاهک پمپاژ نقش متعادل ساز را نیز دارد)	ایستگاه پمپاژ
	برای حذف یا جدا کردن مواد جامد بزرگ مثل چوب ، پارچه و ... استفاده می شود .	آشغال گیری
	آرام کردن جریان فاضلاب قبل از ورود به بخش های دیگر تصفیه خانه	کانال انتقال فاضلاب
	حذف ذرات شن و ماسه (ذرات معدنی) از فاضلاب . (قبل از ته نشینی)	کانال دانه گیری
	ته نشینی ذرات معدنی قابل ته نشینی	حوضچه پیش ته نشینی
	تنظیم دبی کیفیت فاضلاب ، تنظیم pH ، تنظیم دما	تانک متعادل ساز
	تنظیم pH در فاضلاب صنعتی	واحد خنثی سازی
ثانویه	کمک گرفتن از میکروارگانیسم ها برای حذف مواد آلی فاضلاب و تبدیل آن ها به توده سلولی (جرم زنده)	واحد های بیلوژیکی تصفیه فاضلاب (راکتور لجن فعال یا صافی چکنده)
	اجازه دادن به توده سلولی برای ته نشینی در زلال ساز و تشکیل لجن در کف زلال ساز . پساب خروجی از زلال ساز ثانویه میتواند برای مصارف غیر شرب استفاده شود .	تانک ته نشینی ثانویه (زلال ساز ثانویه)
	لجن تغلیظ می شود (آبگیری می شود) – با گرما دادن به لجن توده سلولی تبدیل به CH_4 و CO_2 و سایر گاز ها شده و باقیمانده آن به عنوان کود مصرف می شود .	هضم لجن
		خشک کردن لجن



طرح شماتیک واحدهای عملیاتی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری

عوامل مؤثر بر طراحی بخش های مختلف تصفیه خانه

۱– کیفیت فاضلاب



پارامتر های اصلی در طراحی واحد های تصفیه: TSSو BOD

BOD

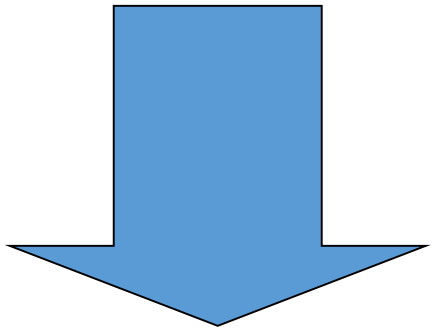
تعیین مقدار اکسیژن لازم که باید به فاضلاب داده شود تا باکتریهای هوازی مواد آلی موجود در فاضلاب را اکسید نمایند.

$$\text{مواد آلی} + \text{اکسیژن} \xrightarrow{\text{میکروارگانیسم ها}} CO_2 + H_2O$$

مقدار BOD به عوامل زیر وابسته است:

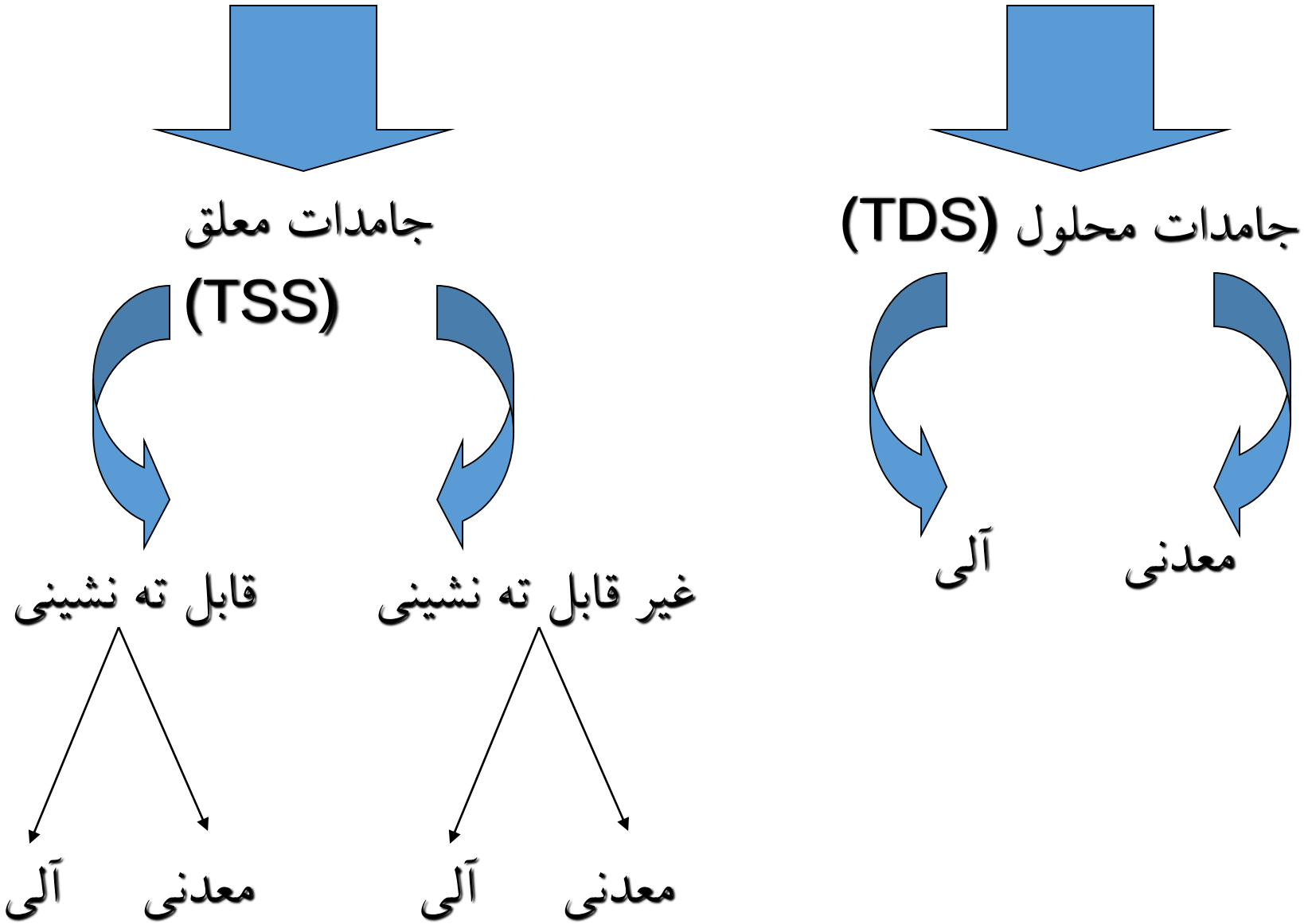
- مقدار مواد آلی موجود در آب
- میزان فعالیت باکتری ها
- درجه حرارت
- توربولانس یا اختلاط فاضلاب

بیشتر از هفتاد درصد مواد آلی در پنج روز اول اکسید می شوند



بنابر این برای صرفه جویی در زمان از BOD_5 (پنج روزه) استفاده می شود

جامدات موجود در فاضلاب (TS)



غلظت (mg/L)	پارامتر
۱۰۰۰–۵۰۰	TS کل جامدات
۴۰۰–۲۰۰	TDS کل جامدات محلول
۶۰۰–۳۰۰	TSS کل جامدات معلق
۳۵۰–۱۵۰	BOD_s (20°C)
۵۰۰–۳۰۰	COD
۶۰–۳۰	کل نیتروژن
۸–۵	کل فسفر
۱۲۰–۸۰	کل قلیائیت

هرچقدر $\frac{BOD}{COD}$ بزرگتر باشد ، کیفیت فاضلاب بهتر است .

راندمان تصفیه BOD = ($\frac{BOD$ ورودی $- BOD$ پساب}{BOD ورودی})×۱۰۰

راندمان حذف TSS = ($\frac{TSS$ ورودی $- TSS$ پساب}{TSS ورودی})×۱۰۰

۲– دبی جریان و نوسانات آن

مقدار حجم فاضلابی است که روزانه وارد تصفیه خانه می شود.

واحد دبی متر مکعب در روز یا مترمکعب در ثانیه ($\frac{m^3}{d}$ و $\frac{m^3}{s}$) است.

Q_{avg} مبنای طراحی قسمت اصلی تصفیه خانه است.

برای فاضلاب شهری مجزا $Q_{avg} = \frac{\sum_d Q_d}{365}$

$Q_{peak} = Q_{max}$ برابر است با حداکثر مقدار دبی روزانه در طول مدت یک سال.

Q_{min} برابر است با حداقل مقدار دبی روزانه در طول مدت یک سال.

$$Q_{\max(h)} = \frac{\sum_{n=1}^{365} Q_{max(h)_i}}{365} \qquad Q_{min(h)} = \frac{\sum Q_{min(h)_i}}{365}$$

$$Q_{avg(h)} = \frac{\sum Q_{(h)_i}}{24}$$

معمولا دوره طرح برای تصفیه خانه های فاضلاب ۲۵ تا ۳۰ سال است.

$$\text{ضریب حداکثر دبی} = \frac{Q_{max}}{Q_{avg}} = [1.5, 3] \Longrightarrow Q_{max} = (1.5 - 3).Q_{avg}$$

$$\text{ضریب حداقل دبی} = \frac{Q_{min}}{Q_{avg}} = [0.1, 0.3] \Longrightarrow Q_{min} = (0.1 - 0.3).Q_{avg}$$

- کاربرد Q_{max} تعیین زمان ماند فاضلاب در حوضچه متعادل ساز و مخزن کلرزنی است.

- کاربرد Q_{avg} برای طراحی قسمت های مختلف تصفیه خانه از جمله حوضچه های ته نشینی و همچنین تعیین ظرفیت تصفیه خانه و تعیین حجم لجن تولیدی است.

- کاربرد Q_{min} کنترل سرعت در کانال های انتقال فاضلاب جهت جلوگیری از ته نشینی رسوبات است.

- کاربرد $Q_{\max(h)}$ طراحی ایستگاه های پمپاژ، کانال انتقال، کانال دانه گیری، کنترل نرخ بار هیدرولیکی در حوضچه های ته نشینی و ... است.

- کاربرد $Q_{min(h)}$ کنترل جریان در فیلتر چکنده، کنترل نرخ بار هیدرولیکی در حوضچه ته نشینی، ایستگاه های پمپاژ و ... است.

بار آلی (*Mass Load*):

مقدار ماده آلی یا *BOD* که روزانه وارد تصفیه خانه می‌شود.

بار آلی *BOD* = دبی فاضلاب خام × غلظت *BOD* فاضلاب خام $(\frac{kg}{d}\ ،\ \frac{mg}{l}\ ،\ \frac{kg}{m^3})$

بار آلی *TSS* = دبی فاضلاب خام × غلظت *TSS* فاضلاب خام $(\frac{kg}{d})$

روز یا ساعت	Q_{avg}	BOD	TSS
1	Q_1	BOD_1	TSS_1
2	Q_2	BOD_2	TSS_2
3	Q_3	BOD_3	TSS_3
‟	‟	‟	‟
n	Q_n	BOD_n	TSS_n
	متوسط ریاضی	BOD_{avg} $= \frac{\sum_i BOD_i}{n}$	TSS_{avg} $= \frac{\sum_i TSS_i}{n}$

متوسط گیری وزنی پارامترهای کیفی:

$$BOD = \frac{\sum_i \ BOD_i . Q_i}{\sum_i \ Q_i}$$

$$TSS = \frac{\sum_i \ TSS_i . Q_i}{\sum_i \ Q_i}$$

زمان (ساعت)	Q (m^3/hr)	(mg/l ، g/m^2) BOD	TSS (mg/l)	بار آلی BOD	بار آلی TSS
0	16.5	171	192	2.822	3.168
1	15.2	142	163	2.158	2.478
2	13.7	103	125	1.411	1.713
3	13.4	74	97	0.992	1.3
4	12.6	51	67	0.643	0.844
5	12.4	55	60	0.682	0.744
6	12.3	69	62	0.849	0.763
7	13.5	118	105	1.593	1.418
8	16.6	149	216	2.473	3.586
9	18.4	190	271	3.496	5.562
10	19.2	212	283	4.07	5.395
11	19.6	221	294	4.332	5.246
12	19.2	223	281	4.282	4.556
13	19.5	218	269	4.251	3.913
14	18.6	210	245	3.906	3.186
15	18.2	205	215	3.751	2.923
16	17.6	192	181	3.379	2.904
17	17.5	166	167	2.905	3.44

$$Q_{avg} = \frac{\sum_i Q_i}{24} = 16.185\ m^3/hr$$

متوسط گیری ریاضی

$$BOD_{avg} = \frac{\sum_i BOD_i}{24} = 173.25$$

$$TSS_{avg} = \frac{\sum_i TSS_i}{24} = 188$$

متوسط گیری وزنی

$$BOD_{avg(w)} = \frac{\sum_i BOD_i . Q_i}{\sum_i Q_i} = 182\ mg/l$$

$$TSS_{avg(w)} = \frac{\sum_i TSS_i . Q_i}{\sum_i Q_i} = 198\ mg/l$$

معیارهای طراحی بخش های مختلف تصفیه خانه

۱- زمان ماند هیدرولیکی(HRTیاΘ) :

متوسط زمانی که فاضلاب ورودی به هر یک از بخش های تصفیه خانه طول می کشد تا از آن بخش خارج شود.

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

V : حجم فاضلاب (m^3)

Q :دبی فاضلاب ($\frac{m^3}{s}$)

مثال :

حوضچه ته نشینی به ابعاد ۲۰×۱.۵×۲ متر موجود است . اگر دبی فاضلاب $0.5\ \frac{m^3}{s}$ باشد ، زمان ماند هیدرولیکی Θ را به دست اورید.

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{20 \times 1.5 \times 2}{0.5 \times 60} = 2min$$

۲- سرعت افقی (V_h)

$$V_h = \frac{Q}{Ax} = \frac{Q}{WH}$$

A_x : سطح مقطع عمود بر جریان کانال یا حوضچه

$$V_h = \frac{L}{\theta}$$

۳– سرعت ته نشینی (V_s)

دبی ورودی به استخر

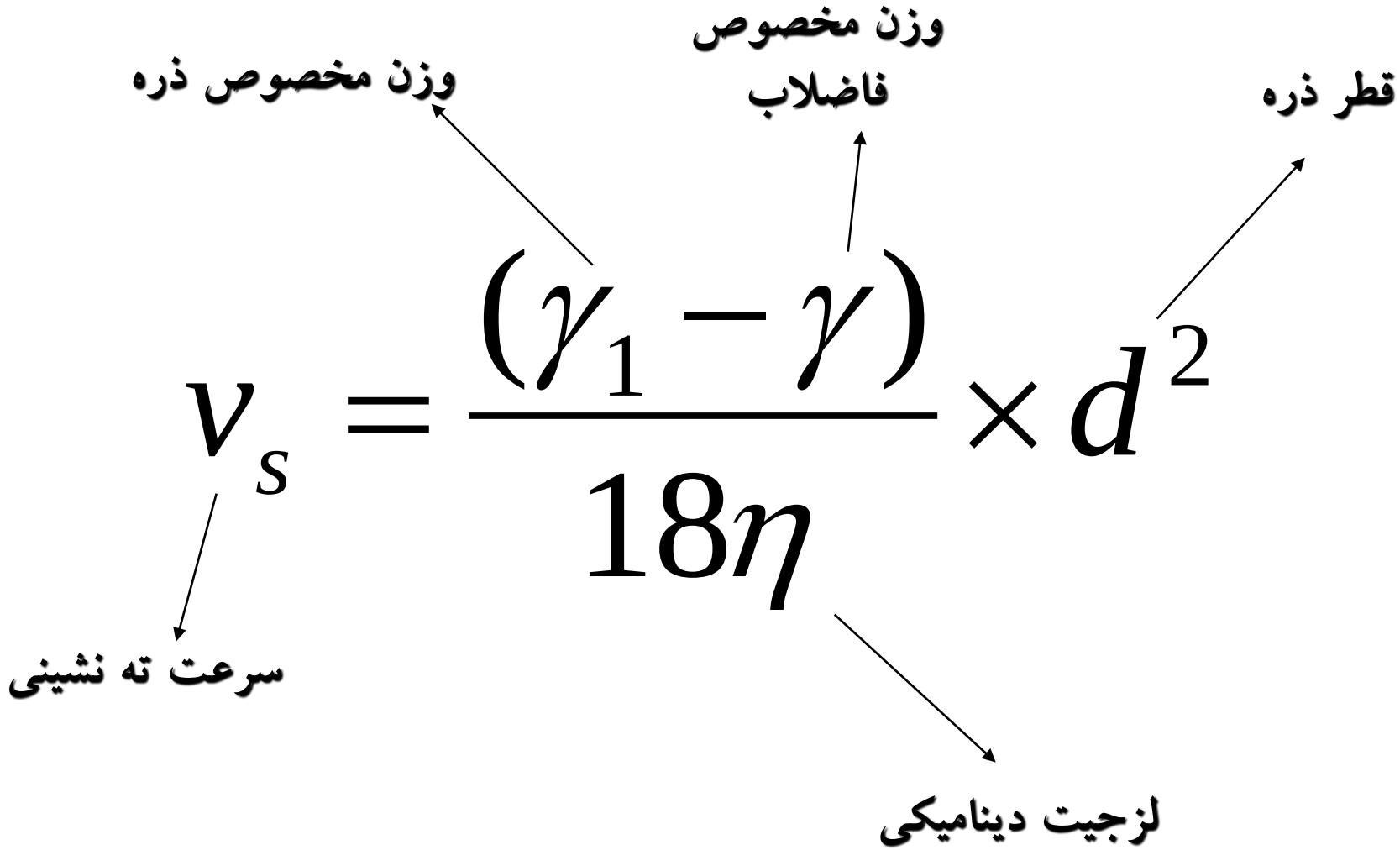
$$v_s(m/s) = \frac{Q}{A}$$

سرعت ته نشینی

سطح حوضچه ته نشینی

سرعت ته نشینی به عمق حوضچه ته نشینی بستگی ندارد.

سرعت ته نشینی با استفاده از رابطه استوکس



مثال :

یک قطعه چوب شناور در حوضچه ی زلال ساز مستطیلی به عرض ۲m و عمق ۱.۵m فاصله ی ۱.۵ متری را در مدت زمان ۳۰ ثانیه طی می کند. سرعت افقی جریان فاضلاب را به دست آورید.

حل:

$$\mathbf{V_h} = \frac{L}{t} = \frac{1.5}{30} = 0.5\,\frac{m}{sec}$$

مثال :

کانال دانه گیری به عمق 0.9m موجود است . اگر سرعت ته نشینی ذرات ماسه به قطر 0.2mm ، 2.3cm/sec باشد مدت زمان لازم برای ته نشینی این ذرات چقدر است ؟ طول کانال دانه گیری را به دست آورید . سرعت افقی جریان را 0.3m/s در نظر بگیرید.

حل:

$$V_s = \frac{H}{\theta}$$

$$\Theta = \frac{H}{Vs} = \frac{0.9}{2.3\times10^{-2}} = 39.13\ sec$$

$$V_h = \frac{L}{\theta}$$

$$L = V_{h\times}\ \theta\ = 0.3\ \times 39.13\ = 11.75\ m$$

۴– نرخ بار سطحی(بار هیدرولیکی) (q یا SLR)

$$q = \frac{Q}{As}$$

اگر کانال یا حوضچه مستطیلی باشد : $A_s = L \times w$

اگر کانال یا حوضچه دایره ای باشد : $A_s = \frac{\pi D^2}{4}$

ارتباط بین q و V_s :

$$q = \frac{Q}{As}$$

در حوضچه مستطیلی : $Q = \frac{V}{\theta}$

$$q = \frac{V}{\theta}$$

$$q = \frac{V}{As\,\theta} = \frac{WHL}{WL\theta} = \frac{H}{\theta}$$

$$q = v_S$$

مثال :

تانک زلال ساز ثانویه به قطر 20m و عمق 2.5m موجود است . اگر دبی جریان 10MLD (میلیون لیتر بر روز) می باشد . نرخ بار سطحی q را به دست آورید .

حل:

$$Q = 10MLD = 10 \times 10^6 \ \frac{L}{d} = 10 \times 10^3 \ \frac{m^3}{d}$$

$$A_S = \frac{\Pi D^2}{4} = \frac{\Pi (20)^2}{4} = 314.16 \ m^3$$

$$q = \frac{Q}{As} = \frac{10000}{314.16} = 31.8 \frac{m^3}{m^2.d} \left(\frac{m}{d}\right)$$

$$\Theta = \frac{V}{Q} = \frac{As \ H}{Q} = \frac{314.16 \times 2.5}{10000} = 0.07854 \ day$$

۵– نرخ سرریز(WLR) :

$$WLR = \frac{Q}{\text{طول سرریز}}$$

$$WLR = \frac{Q}{W}$$

در کانال دایره ای : $WLR = \frac{Q}{\pi D}$

نکته:

در کانال مستطیلی و دایره ای می توان طول سرریز را با افزایش طول مسیر سرریز افزایش داد.

مثال:

زلال ساز ثانویه دایره ای به قطر20m موجود است . نرخ سرریز را برای دبی 10MLD محاسبه کنید.

حل:

$$\mathbf{Q = 10MLD = 10\times 10^3\ \frac{m^3}{day}}$$

$$\mathbf{WLR = \frac{Q}{\Pi D} = \frac{10000}{\Pi D} \cong 160\,\frac{m^3}{m.day}}$$

مثال:

حوضچه ته نشینی به طول 10m و عرض 5m موجود است . نرخ سرریز را برای دبی 10MLD به دست آورید.

حل:

$$\text{WLR} = \frac{10000\ \frac{m^3}{day}}{5\ m} = 200\ \frac{m^3}{m.day}$$

۶– نرخ بار الی:

$$\text{BOD بار آلی} = \text{BOD} \times Q$$

$$\text{نرخ بار آلی} = \frac{\text{بار آلی } \left(\frac{Kg}{d}\right)}{\text{حجم حوضچه}(V)(m^3)}$$

نکته:

از روی واحد نرخ بار آلی می توان تشخیص داد از کدام فرمول استفاده شده است.

مثال:

صافی چکنده به قطر 20m و عمق25m موجود است . اگر دبی جریان 10MLD باشد و $BOD = 220 \frac{mg}{L}$ باشد ، نرخ بارالی را محاسبه کنید.

حل:

$$BOD = 220 \frac{mg}{L} \times \frac{10^{-6}}{10^{-3}} = 0.22 \frac{kg}{m^3} \qquad Q = 10MLD = 10000 \frac{m^3}{day}$$

$$BOD \text{ بارآلی} = 0.22(\frac{kg}{m^3}) \times 10000 \left(\frac{m^3}{day}\right) = 2200 \frac{kg}{day}$$

$$\text{نرخ بارآلی} = \frac{2200}{785.4} = 2.8 \frac{kg\ BOD}{m^3 d} \qquad \text{حجم صافی چکنده} = \frac{\Pi \times (20)^2}{4} \times 25 = 785.4 m^3$$

۷- نسبت $\frac{F}{M}$($\frac{\text{غذا}}{\text{میکروارگانیسم}}$):

این پارامتر در طراحی راکتور لجن فعال مهم می باشد.

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0 Q(\frac{kg}{day})}{XV(kg)} \qquad (\frac{1}{day})$$

Q: دبی ورودی به راکتور$(\frac{m^3}{day})$

S_0: غلظت BOD(مواد غذایی) ورودی $(\frac{mg}{L})$

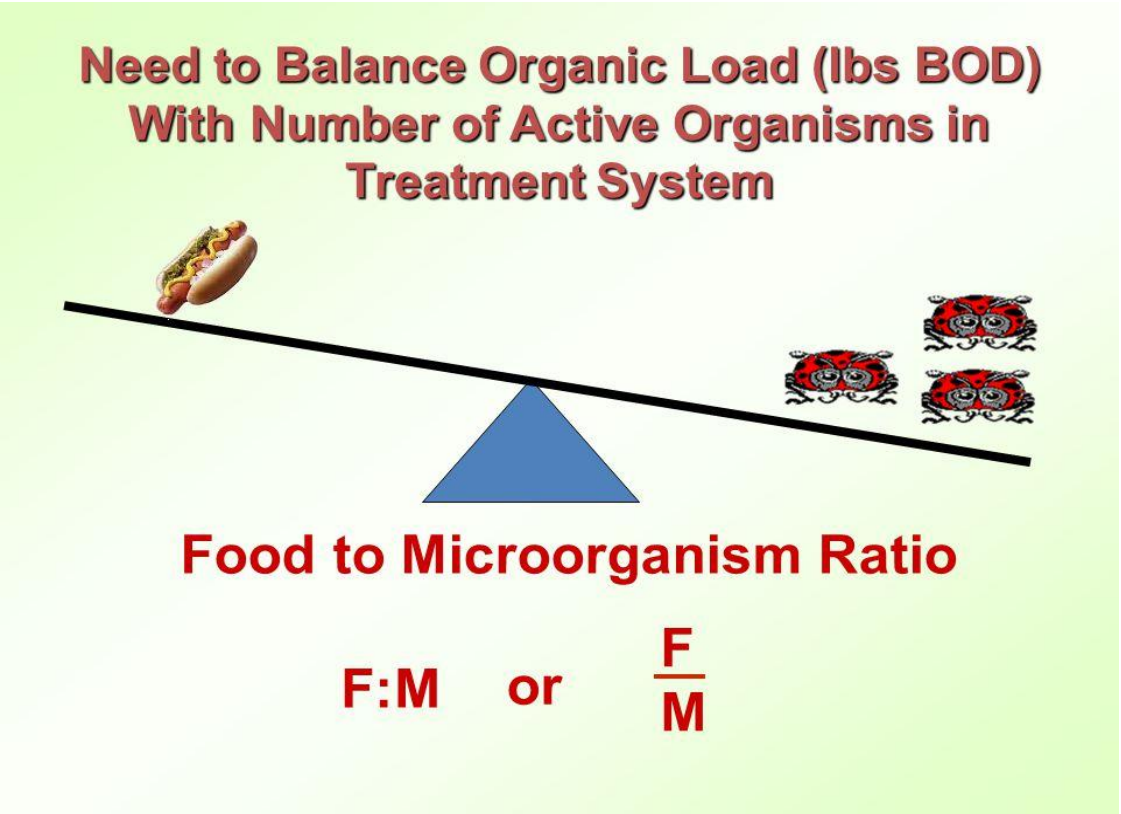
V: حجم راکتور(m^3)

X:غلظت توده سلولی در راکتور$(\frac{mg}{L})$

- نسبت غذا به میکروارگانیسم نشان دهنده مقدار مواد غذایی است که در اختیار میکروارگانیسم قرار می گیرد.

- کوچک بودن این نسبت به معنای کمبود مواد غذایی و تجزیه بهتر ترکیبات آلی موجود در فاضلاب می باشد.

- برای کاهش این نسبت باید میزان لجن برگشتی افزایش یابد.



مثال:

غلظت BOD فاضلاب خام ورودی به تصفیه خانه $220\frac{mg}{L}$ می باشد . اگر تصفیه اولیه فاضلاب ۲۵٪ BOD را حذف کند و نسبت $\frac{F}{M} = 0.6$ و دبی 0.5MLD باشد مقدار M را به دست آورید . (سیستم تصفیه ثانویه راکتور لجن فعال است)

حل:

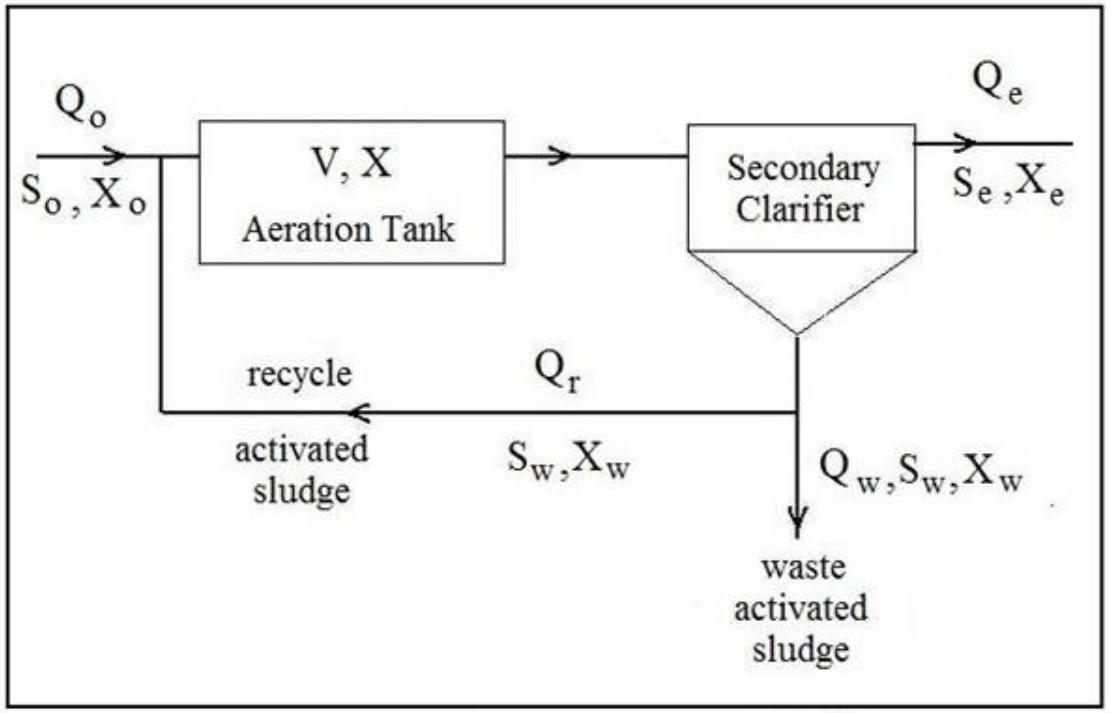
BOD = 0.75× 220 = $165\,\frac{mg}{L} = 165 \times 10^{-3}\,\frac{kg}{L}$ ورودی به راکتور لجن فعال

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0 Q}{XV} = 0.6 = \frac{165 \times 10^{-6}\left(\frac{kg}{L}\right) \times 0.5 \times 10^{-6}\left(\frac{L}{d}\right)}{XV}$$

M = XV = 137.5 kg

۸–زمان ماند سلولی(θc)

متوسط زمانی است که توده سلولی یا جرم زنده در داخل راکتور می ماند.



Activated Sludge Flow Diagram & Parameters

$$\theta c = \frac{\text{مقدار جرم زنده داخل راکتور}}{\text{جرم زنده خروجی از سیستم}}$$

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_w + Q_e X_c} \cong \frac{VX}{Q_w X_w}$$

مثال–مطلوب است محاسبه زمان ماند سلولی در سیستم لجن فعال با مشخصات زیر:

دبی ورودی Q0=10MLD=1000m3/day

دبی خروجی Qe=9.92MLD

نرخ لجن دفع شده Qw=0.08 MLD

زمان ماند هیدرولیکی $\theta = 6$ hr

X=3000 mg/L

غلظت جرم زنده در خروجی Xe=20 mg/L

غلظت جرم زنده در لجن Xr=9000 mg/L

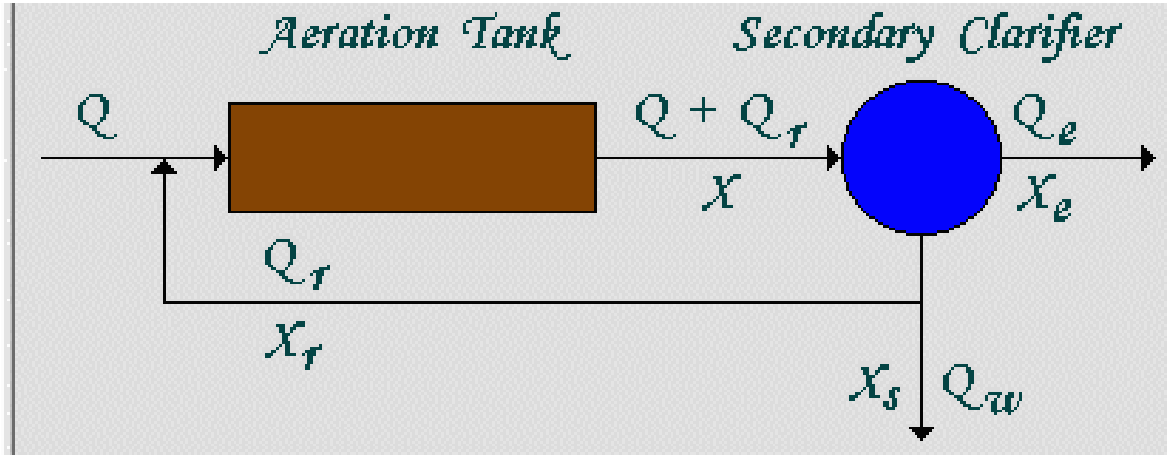
$$\theta = \frac{V}{Q_0} \rightarrow V = Q_0\theta$$

Q0=10MLD=10000 m3/day

$$\theta = 6hr = \frac{6}{24} = 0.25\ day$$ ⇨V=10000*0.25=2500m3

$$\theta_c = \frac{Vx}{Q_e x_e + Q_w x_r} = \frac{2500*3000}{9.92*10^3*20 + 0.08*10^3*9000} = 8.16day$$

تعیین Qr: نوشتن موازنه جرم حول راکتور هوادهی



$$Q_0 x_0 + Q_r x_r = (Q_0 + Q_r)x$$

$$Q_r (x_r - x) = Q_0 x$$

$$Q_r = \frac{Q_0 x}{x_r - x} = \frac{1000 * 3000}{(9000 - 3000)} = 5000 m^3 / day = 5 MLD$$

نسبت جریان برگشتی $$R = \frac{Q_r}{Q_0} = \frac{5}{10} = 0.5$$

ضوابط طراحی کانال هدایت فاضلاب:

مبنای طراحی Qmax

Qmax=(2-3)Qavg

سرعت افقی جریان $Vh \geq 0.45 \frac{m}{s}$

معمولا Vh=1.5 m/s

$\frac{\textbf{عمق کانال}}{\textbf{عرض کانال}}$=1/1.5 to 1/2

طول کانالL=2-3 m

حداقل تعداد کانال هدایت فاضلاب=۲

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

کنترل:

V=سرعت جریان در کانال باز

n=ضریب زبری مانینگ تابع جنس کانال

R=شعاع هیدرولیکی

$$R = \frac{A}{P}$$

A=سطح مقطع جریان

P=محیط تر شده

S=شیب کانال

مثال: مطلوبست طراحی کانال هدایت فاضلاب برای انتقال Qmax=26MLD

مفروضات:

n =0.013

Vh=0.75 m/s

$$\frac{W}{H}=1.5$$

تعداد کانال=۲

S=0.001

حل:

$$Q_{des} = \frac{26}{2} = 13MLD = 13000\, m^3/day = 0.15\, m^3/s$$

$$V_h = \frac{Q_{des}}{A_x} \rightarrow A_x = \frac{Q_{des}}{V_h} = \frac{0.15}{0.75} = 0.2m^2$$

$$w * H = 0.2 \rightarrow 1.5H * H = 0.2 \rightarrow H = 0.4m$$

$$B = 1.5 * 0.4 = 0.6m$$

کنترل سرعت رابطه مانینگ:

$$V_n = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.4*0.6}{0.4*2+0.6} = 0.171m$$

$$V_h = \frac{1}{0.013}(0.171)^{\frac{2}{3}}\sqrt{0.001} = 0.77\, m/s \geq 0.45 \rightarrow ok$$

کنترل سرعت جریان در کانال در دبی حداقل:

$$Q_{\min} = \frac{1}{3} Q_{\max}$$

$$R = \frac{\frac{0.4}{3} * 0.6}{\frac{0.4}{3} * 2 + 0.6} = 0.092m$$

$$(Vh_{\min}) = \frac{1}{0.013} (0.092)^{\frac{2}{3}} \sqrt{0.001} = 0.51 \, m/s \geq 0.45 \rightarrow ok$$

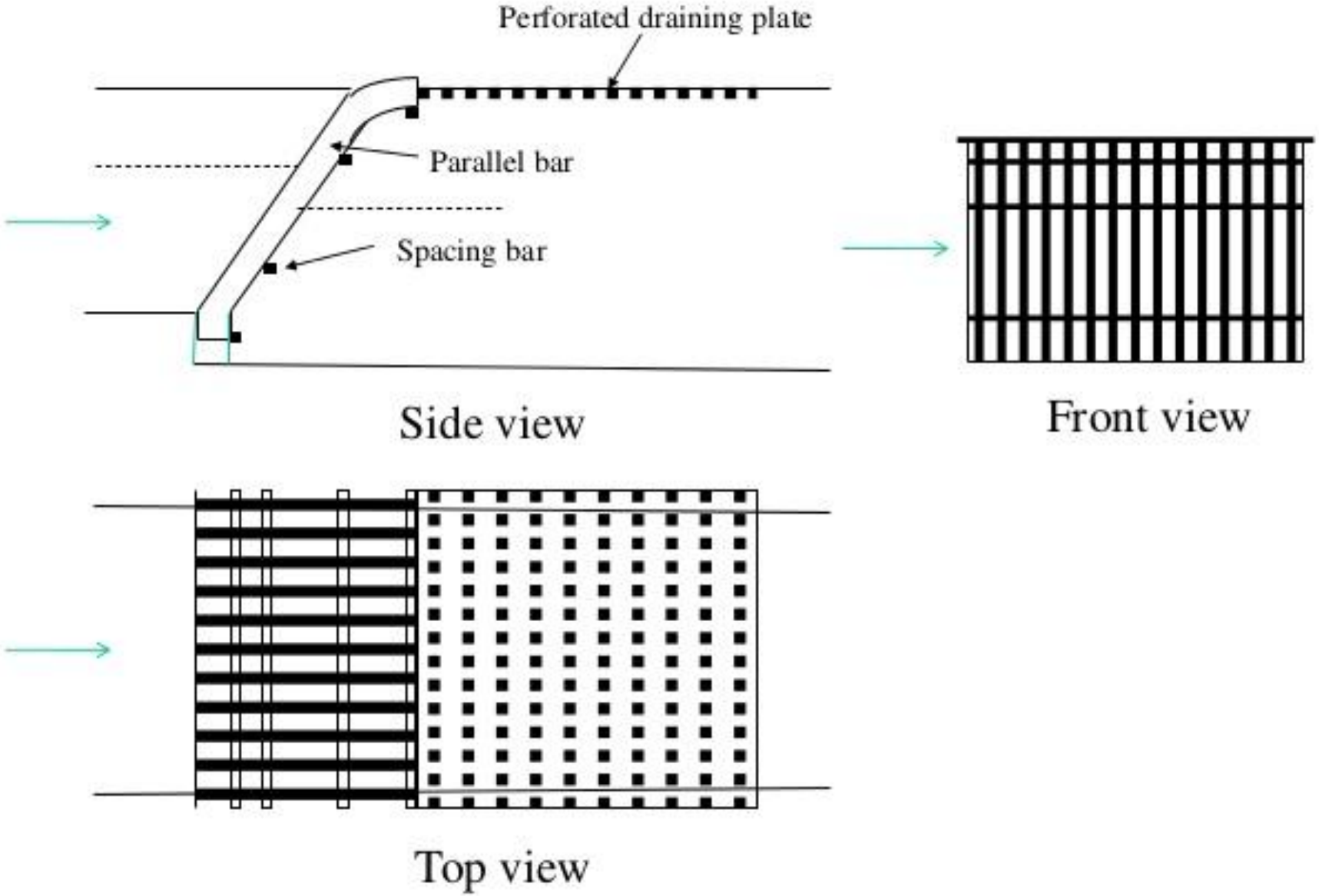
طراحی آشغالگیر

- **جدا کردن مواد جامد بزرگ مثل پارچه,تکه چوب و شاخ و برگ گیاهان از آب یا فاضلاب**

آشغال گیر درشت: قبل از ایستگاه پمپاژ

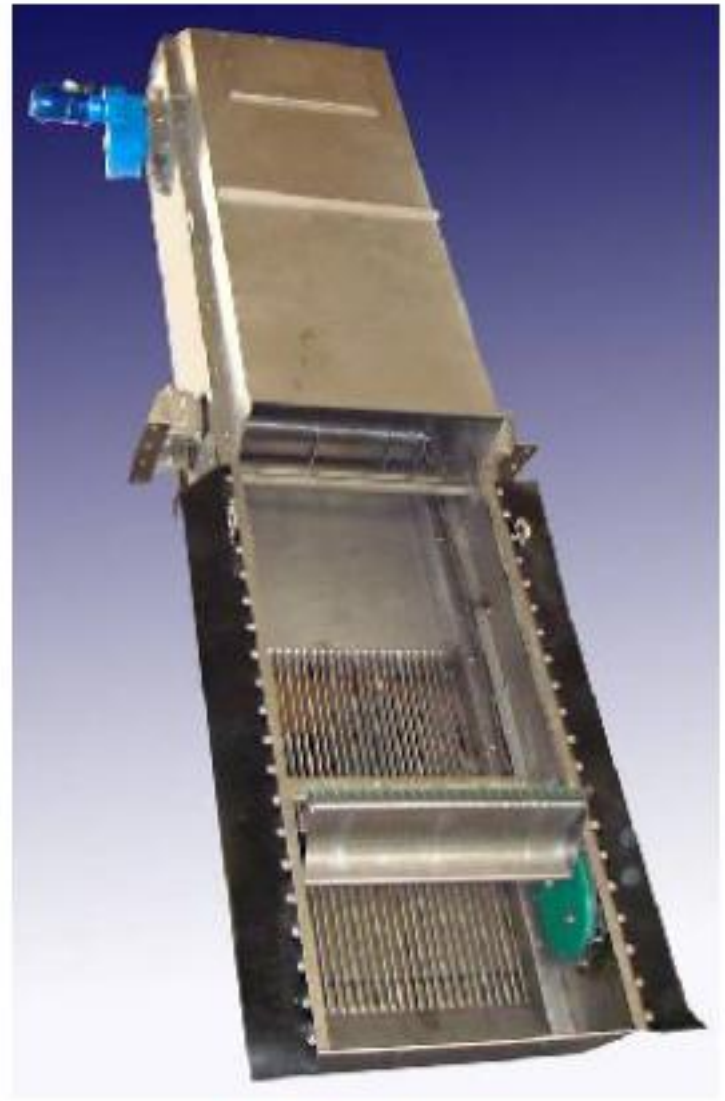
آشغال گیر ریز: قبل از کانال دانه گیر

نوع آشغالگیر	اندازه بازشدگی(فاصله بین میله ها)
درشت	بیشتر از ۵ سانتی متر
متوسط	2.5-5 cm
ریز	1-2.5 cm



Bar Screen and Perforated Draining Plate

Manual Bar Screen



Mechanical Bar Screen

ضوابط طراحی آشغال گیر

$$Q_{des}=Q_{max}=3Q_{avg}$$

سرعت افقی در کانال قبل از آشغالگیر $Vh\geq 37.5\ \frac{cm}{s}$

حداکثر سرعت عبوری از آشغالگیر:

(تمیز کردن دستی) Vmax=30 cm/s

(تمیز کردن مکانیزه) Vmax=75 cm/s

اندازه میله ها: 10mm*50mm

Characteristics of manual bar screen

- Bar spacing is in range of 2-5 cm
- The screen is mounted at an angle of 45-70 from horizontal
- Bars are usually 1 cm thick, 2.5 wide
- Minimum approach velocity in the bar screen channel is 0.45 m/s to prevent grit deposition.
- Maximum velocity between the bars is 0.9m/s to prevent washout of solids through the bars.

Characteristics of mechanical bar screen

- Bar spacing is in range of 1.5-4 cm
- The screen is mounted at an angle of 70- 90 from horizontal
- Bars are usually 1 cm thick, 2.5 wide
- Minimum approach velocity in the bar screen channel is 0.45 m/s to prevent grit deposition.
- Maximum velocity between the bars is 0.9 m/s to prevent washout of solids through the bars.

TABLE 3 DESIGN CRITERIA FOR MECHANICALLY CLEANED BAR SCREENS

Item	Design Criteria	
	Metric Units	English Units
Bar width	5-15 mm	0.2-0.6 in
Bar depth	25-40 mm	1.0-1.5 in
Clear spacing between bars	15-75 mm	0.6-3.0 in
Slope from vertical	0-30 degrees	0-30 degrees
Approach velocity	0.6-1.0 m/s	2.0-3.25 ft/s
Allowable Headloss	150 mm	6 in

$$E = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z$$

$$h_L = \frac{k\,(v_2^2 - v_1^2)}{2g}$$

$$h_L = 0.729(v^2 - v_h^2)$$

E=انرژی کل سیال

hL=افت هد در کانال آشغالگیر

Vh=سرعت جریان قبل از آشغالگیر

V=سرعت جریان عبوری از آشغالگیر

- افت هد در آشغالگیر حداکثر ۱۵ سانتی متر می باشد.

مثال– مطلوبست طراحی کانال آشغالگیر برای عبور فاضلابی با دبی حداکثر 26MLD

حل:

با فرض ۲ کانال دانه گیر

$$Q_{des} = \frac{Q_{\max}}{2} = 5MLD = 0.15m^3/s$$

$$V_h = \frac{Q_{des}}{A_d} = \frac{0.15}{0.4*0.6} = 0.625m/s \geq 0.375m/s \rightarrow ok$$

با فرض استفاده از میله های 10*50mm **با بازشدگی** 2.5cm

$$w = (n+1)b + na \rightarrow 0.6 = (n+1)0.025 + n*0.01$$

$$\rightarrow n = 16$$

$$w_e = w - 16a = 0.6 - 16*0.01 = 0.44m$$

$$A_g = 0.44*0.4$$

$$V = \frac{Q_{des}}{A_g} = \frac{0.15}{0.44*0.4} = 0.9\frac{m}{s}$$

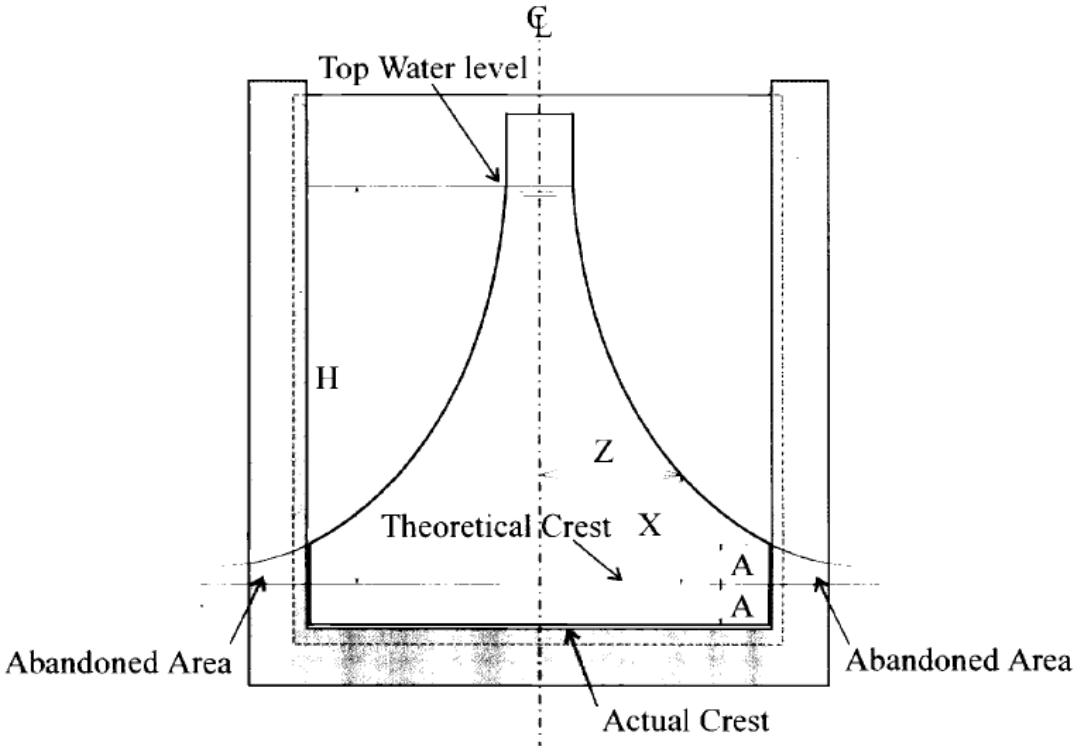
$$h_L = 0.0729(v^2 - v_h^2) \rightarrow h_L = 0.0729(0.9^2 - 0.625^2) = 0.03m$$

کانال دانه گیری

هدف: ته نشینی و حذف ذرات شن و ماسه از فاضلاب

دلیل استفاده از کانال دانه گیری :

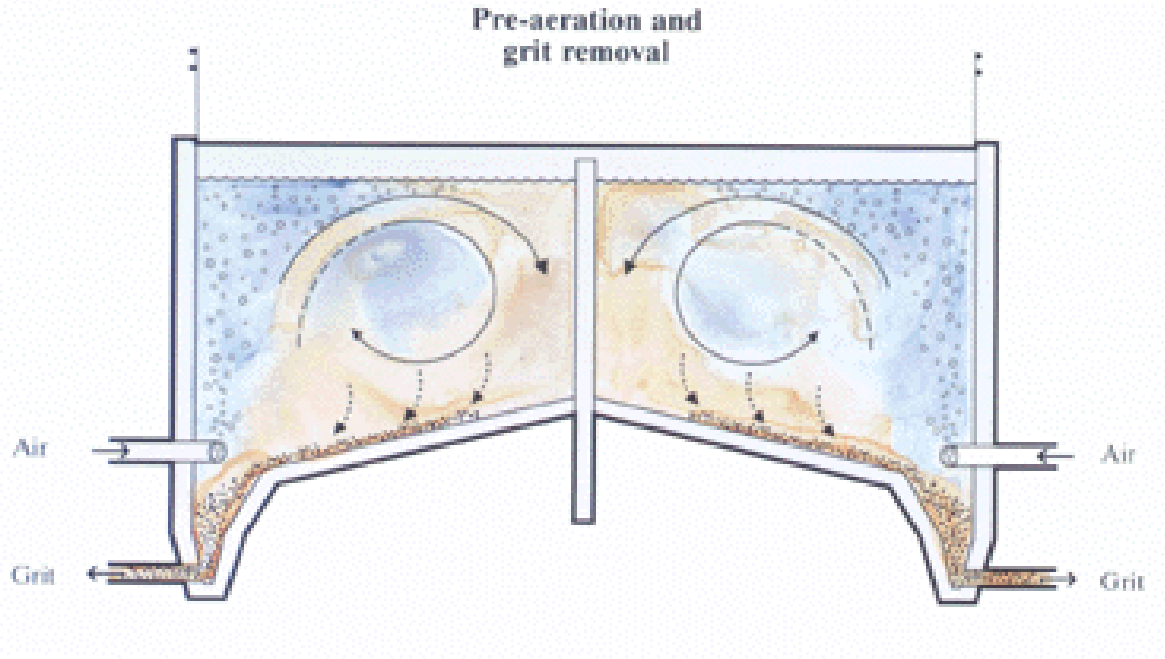
- جلوگیری از آسیب رسیدن به پمپ ، شیرالات و سایر اجزای موجود در تصفیه خانه
- جلو گیری از افزایش حجم لجن در حوضچه های پیش ته نشینی و زلال ساز ها
- جلو گیری از ایجاد اختلال در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

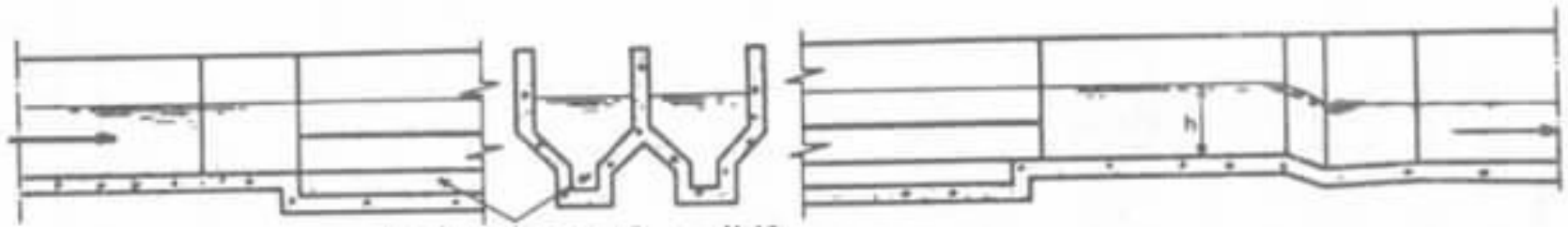


انواع کانال دانه گیری :

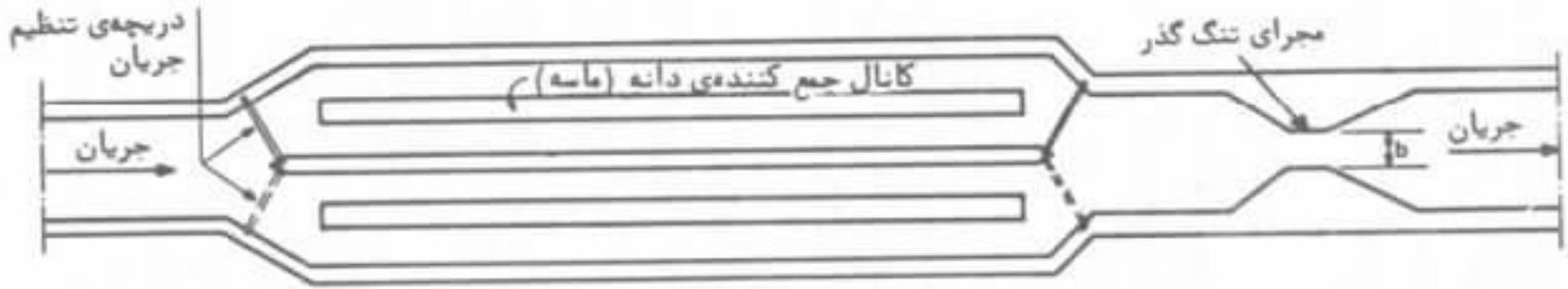
۱- کانال مستطیلی با سرعت افقی کنترل شده

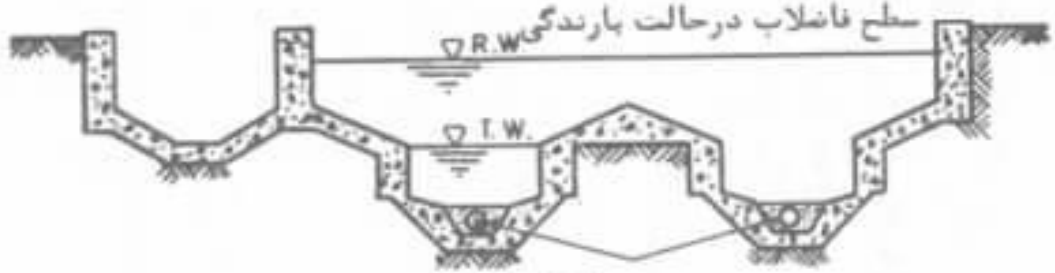
۲- کانال های مستطیلی هوادهی



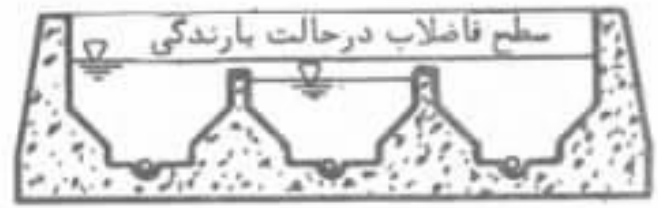


برش طولی وعرضی از حوض دانه‌گیر





برش (a)



برش (b)

ضوابط طراحی کانال مستطیلی با سرعت افقی کنترل شده

دبی طراحی $Q_{des} = Q_{\max} = (2.5-3)Q_{avg}$

سرعت افقی جریان $V_h = 0.2-0.4 m/s$ (معمولا 0.3 m/s)

زمان ماند $\theta = 30-90 \sec$ (معمولا 60 sec)

- اگر سرعت بیش از محدوده مشخص شده باشد ، باعث شستن ذرات شن وماسه و خروج آن از کانال دانه گیری می شود .
- اگر سرعت افقی کم باشد باعث ته نشینی ذرات آلی درشت نیز می شود که مطلوب نیست .

عمق کانال $H = 1 - 1.5 m/s$

طول کانال $L = 3 - 25 m$

نرخ بار سطحی به ازای Q_{max} $q = 1200 - 1700 m^3 / m^2 . d$

سرعت ته نشینی ذرات کروی به قطر ۰/۲ میلی متر $v_s = 0.01 - 0.021 m/s$

مثال: مطلوب است طراحی کانال دانه گیری برای دبی حداکثر ۶۰۰۰۰ متر مکعب بر روز و عرض کانال ۱/۵ متر . طراحی بر اساس ۲ کانال دانه گیر انجام شود . دبی متوسط و حداقل فاضلاب به ترتیب ۴۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ متر مکعب بر روز است . سرعت افقی جریان را ۰/۳ متر بر ثانیه در نظر بگیرید .

حل : سطح مقطع عمود بر جریان برابر اســت

با:

$$V_h = \frac{Q_{des}}{A_s} \Rightarrow A_s = \frac{Q_{des}}{V_h}$$

$$Q_{des} = Q_{\max} / 2 = 0.35 m^3 / s$$

$$A_s = 0.35 / 0.3 = 1.16 m^2$$

$$A_s = WH \Rightarrow 1.16 = 1.5H \Rightarrow H = 18m$$

$$m = 60 \rightarrow = _h \Rightarrow = 0.3 \times 60 = 18$$ ضـ

طول نهایی کانال برابر است با:

$$0.1L + L = 1.1L = 1.1*18 \cong 20m$$

کنترل نرخ بار سطحی:

$$q = \frac{Q_{des}}{LW} = \frac{30000}{18 \times 1.5} = 1112 m^3 / m^2 .d \rightarrow OK$$

Aerated Grit Chamber

Detention time at peak flow rate	3 minutes
Depth	2 - 5 m
Length	8 - 20 m
Width	2.5 - 7 m
Width/Depth	1:1 - 5:1
Length/Width	3:1 - 5:1
Air supply	0.2-0.5m^3/min/m

کانال دانه گیری با هوادهی :

1. جلوگیری از ته نشینی ذرات آلی درشت
2. جلوگیری از ایجاد شرایط بی هوازی در کف کانال

ضوابط طراحی:

زمان ماند هیدرولیکی $\theta = 2-4\,\text{min}$

سرعت ته نشینی ذرات کروی در کانال دانه گیری با رابطه زیر به دست می آید:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} g \frac{(\rho_s - \rho_w)d}{C_D . \rho_w}}$$

ضریب درگ تابع عدد رینولدر جریان می‌باشد. عدد رینولدز مشخص کننده نوع جریان است. (جریان آرام، گذرا، آشفته)

$C_D = \frac{24}{\mathrm{Re}}$ جریان آرام

$C_D = \frac{24}{\mathrm{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\mathrm{Re}}} + 0.34$ جریان انتقالی(گذرا)

$C_D = 0.4$ جریان آشفته

$\mathrm{Re} < 1$ جریان آرام

$\mathrm{Re} > 10^4$ جریان آشفته

$1 \le \mathrm{Re} \le 10^4$ جریان گذرا

جریان آرام:

$$C_D = \frac{24}{\mathrm{Re}} = \frac{24\vartheta}{V_s d}$$

$$V_s^{\,2} = \frac{4}{3} g \frac{(\rho_s - \rho_w) d}{\frac{24\vartheta}{V_s d}\rho_w} = \frac{g d^2 (\rho_s - \rho_w)}{18\vartheta\rho_w}$$

سرعت سقوط ذرات دانه طبق قانون استوکس بر حسب متر در ساعت

قطر ذره (میلیمتر) / جنس ذره معلق	وزن مخصوص (تن بر متر مکعب)	۱	۰/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵
ماسه	۲/۵۶	۵۰۲	۲۵۸	۸۲	۲۴	۶/۱	۰/۳	۰/۰۶
ذغال	۱/۵	۱۵۲	۷۶	۲۶	۷/۶	۱/۵	۰/۰۸	۰/۰۱۵
ذرات معلق فاضلاب خانگی	۱/۲	۱۲۲	۶۱	۱۸	۳	۰/۷۶	۰/۰۳	۰/۰۰۸

مثال: سرعت ته‌نشینی یک ذره کروی به قطر ۰/۵ میلیمتر و وزن مخصوص ۲/۶۵ را در آب با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد به‌دست آورید.

حل: در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد:

$$\mu = 1.002 * 10^{3}\ pa.s$$

$$\rho_w = 998.2\ {kg}/{m^3}$$

با فرض جریان آرام

$$V_s = \frac{9.81*(0.5*10^{-3})^2*(2650-998.2)}{18*1.002*10^{-3}} = 0.22$$

$$\mathrm{Re} = \frac{0.22*0.5*10^{-3}*998.2}{1.002*10^{-3}} = 112 < 10^4$$

پس جریان از نوع گذرا است.

$$C_D = \frac{24}{112} + \frac{3}{\sqrt{112}} + 0.34 = 0.84$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{9.81*(2650-998.2)}{0.84*998.2} * 0.5*10^{-3}} = 0.11 \, m/s$$

تکرار:

$$\mathrm{Re} = 55 \rightarrow C_D = 1.18 \rightarrow V_s = 0.11 \, m/s$$

حوضچه های ته‌نشینی

انواع حوضچه ته نشینی:

۱. دایره ای

۲. مستطیلی

مزیت حوضچه مستطیلی: هزینه اجرای پایین به‌خاطر ساخت دیوار مشترک

مزیت حوضچه دایره ای: سهولت در نظافت حوضچه و تخلیه لجن

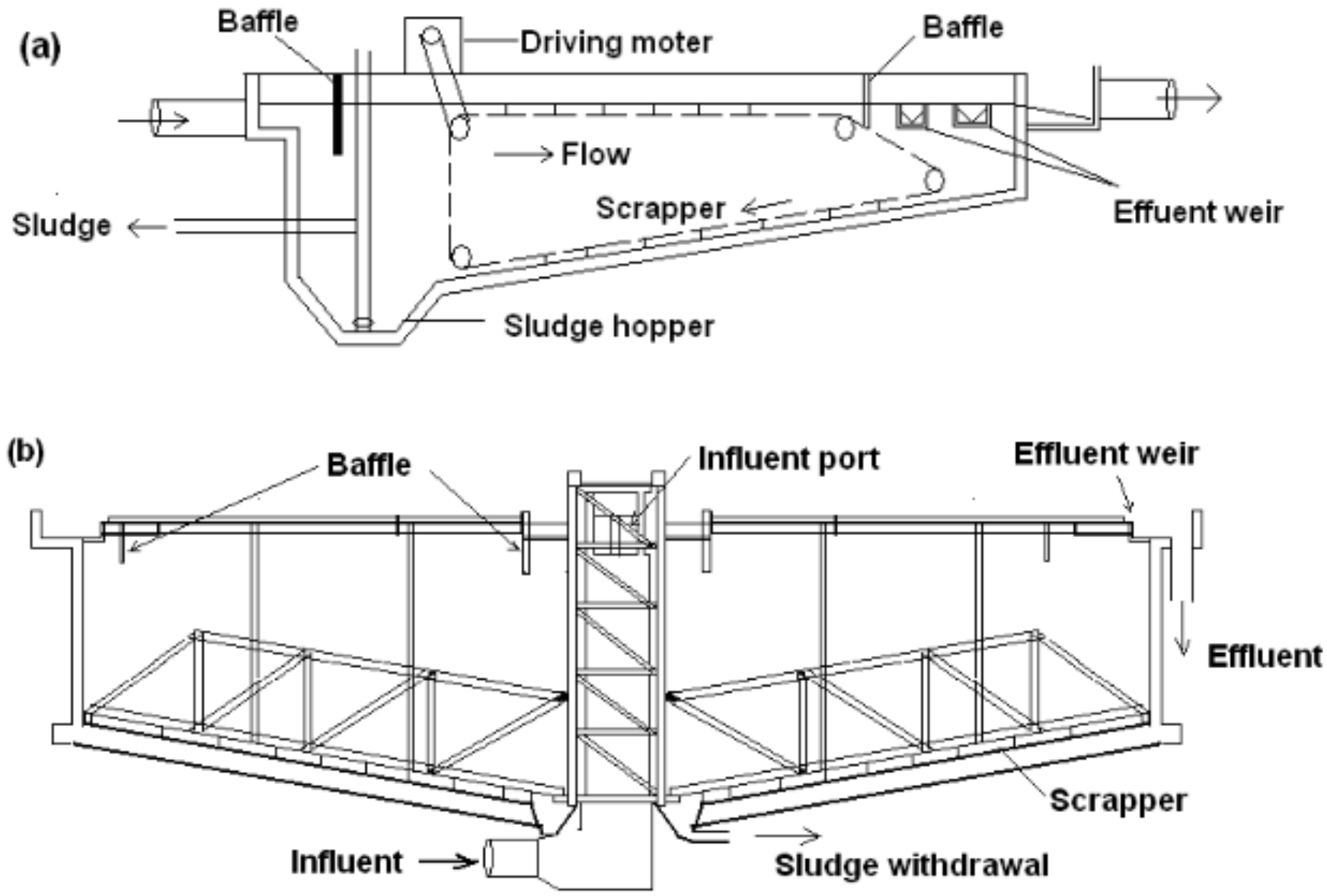


Figure 11.3 (a) Rectangular and (b) Circular primary sedimentation tank

معیار های طراحی حوضچه پیش ته‌نشینی

$$Q_{des} = Q_{avg}$$

شیب کف حوضچه $60 \sim 150 \, mm/m = 6 \sim 15\%$

تانک دایره ای:

$$D = 3 \sim 60m (\approx 30m)$$
$$H = 3 \sim 5m (\approx 4m)$$

تانک مستطیلی:

$$L = 15 \sim 100m (\approx 30m)$$
$$W = 3 \sim 30m (\approx 10m)$$
$$H = 2.5 \sim 5m (\approx 4m)$$

زمان ماند هیدرولیکی $t = 1 \sim 4hr (\approx 2hr)$

سرعت افقی $V_h = 0.6 \sim 3.6 \, {}^{m}\!/_{\min} (\approx 0.9 \, {}^{m}\!/_{\min})$

نرخ سرریز $\mathrm{WLR} = \frac{Q}{L} = 125 \sim 500 \, {}^{m^3}\!/_{m.d} (\approx 250 \, {}^{m^3}\!/_{m.d})$

نرخ بار سطحی برمبنای دبی متوسط $q = 1.2 \sim 2.5 \, {}^{m^3}\!/_{m^2.h} (\approx 1.6 \, {}^{m^3}\!/_{m^2.h})$

Table 11.2 Typically design information for P S T

Parameter	Range	Typical
Detention time(h)	1.5- 2.5	2.0
Overflow rate $m^3/m^2.d$		
Average flow	30 – 50	40
Peak flow	80 – 120	100
Weir loading, $m^3/m.d$	125 – 500	250
For Rectangular Tank:		
Depth, m	3 – 4.9	3 - 4
Length, m	15 – 90	24 – 40
Width, m	3 – 24	5 – 10
Scupper velocity, m/min	0.6 – 1.2	0.9
Circular Tank:		
Depth, m	3 – 4.9	3-4
Diameter	3 – 60	12 – 45
Bottom slope	1/16 – 1/6	1/12

مثال: با توجه به اطلاعات داده شده، مطلوبست طراحی حوضچه پیش ته‌نشینی برای تصفیه خانه فاضلاب شهری با جمعیت ۵۰۰۰۰۰نفر.

متوسط مصرف روزانه آب $250^{lit}/_{y}$ adر.

ضریب تبدیل آب به فاضلاب = ۰/۸

S STلاب اضا $=250^{mg}/_{l}$

$BOD_5 = 200^{mg}/_{l}$

زمان ماند هیدرولیکی $t = 2hr$

نرخ بار سطحی $q = 40$ متر در روز

حل:

$$Q_{avg} = 0.25*500000*0.8 = 100000\, m^3/day$$

با فرض اینکه سه تانک ته‌نشینی مستطیلی استفاده شود.

$$Q_{des} = \frac{Q_{avg}}{3} = \frac{100000}{3} \cong 33.5*10^3\, m^3/day$$

$$q = \frac{Q_{des}}{A_s} \qquad A_s = \frac{Q_{des}}{q} = \frac{33.5*10^3}{40} = 837.5 \cong 838 m^2$$

با فرض: $\frac{L}{W} = 3$

$$A_s = W.L = 838m^2 \xrightarrow{\frac{L}{W}=3} 3W^2 = 838 \rightarrow W = 16.8m$$

$$L = 3*16.8 = 50.4m$$

$$t = \frac{\forall}{Q_{des}} \rightarrow \forall = t.Q_{des} = \frac{2}{24}*33.5*10^3 \cong 2792m^2$$

$$\forall = W.L.H \rightarrow H = \frac{2792}{16.8*50.4} = 3.3m$$

با فرض اینکه حوضچه دایره ای باشد.

$$A_s = \frac{\Pi D^2}{4} \rightarrow D = 33m$$

$$\forall = t.Q_{des} = 2792m^3$$

$$H = \frac{\forall}{A_s} = \frac{2792}{838} \Rightarrow H \cong 3.35m$$

معیار های طراحی حوضچه ته‌نشینی

Design parameters for settling tank

Types of settling	Overflow rate m^3m^2/day		Solids loading kg/m^2/day		Depth	Detention time
	Average	Peak	Average	Peak		
Primary settling only	25-30	50-60	-	-	2.5-3.5	2.0-2.5
Primary settling followed by secondary treatment	35-50	60-120	-	-	2.5-3.5	
Primary settling with activated sludge return	25-35	50-60	-	-	3.5-4.5	-
Secondary settling for trickling filters	15-25	40-50	70-120	190	2.5-3.5	1.5-2.0
Secondary settling for activated sludge (excluding extended aeration)	15-35	40-50	70-140	210	3.5-4.5	-
Secondary settling for extended aeration	8-15	25-35	25-120	170	3.5-4.5	-

Design Details

- ✓ Detention period: for plain sedimentation: 3 to 4 h, and for coagulated sedimentation: 2 to 2.5 h.
- ✓ Velocity of flow: Not greater than 30 cm/min (horizontal flow).
- ✓ Tank dimensions: L:B = 3 to 5:1. Generally L= 30 m (common) maximum 100 m. Breadth= 6 m to 10 m. Circular: Diameter not greater than 60 m. generally 20 to 40 m.

- ✓ Depth 2.5 to 5.0 m (3 m).
- ✓ Surface Overflow Rate: For plain sedimentation 12000 to 18000 L/d/m^2 tank area; for thoroughly flocculated water 24000 to 30000 L/d/m^2 tank area.
- ✓ Slopes: Rectangular 1% towards inlet and circular 8%.

11.5 Secondary Sedimentation Tank

Table 11.3 Design parameters for SST

Parameter	Overflow rate, $m^3/m^2.d$		Solid loading rate, $kg/m^2.d$		Depth, m	Detention time, h
	Average	Peak	Average	Peak		
SST for TF	15 - 25	40 - 50	70 - 120	190	2.5 – 3.5	1.5 – 2.0
SST for ASP	15 - 25	40 - 50	70 - 140	210	3.5 – 4.5	1.5 – 2.0
SST for extended aeration ASP	8 - 15	25 - 35	25 - 120	170	3.5 – 4.5	1.5 – 2.0

Weir loading rate less than 185 $m^3/m.d$ is used for design of SST.

معیار های طراحی صافی های چکنده

Types of Filters

Trickling filters are classified as high rate or low rate, based on the organic and hydraulic loading applied to the unit.

S.No.	Design Feature	Low Rate Filter	High Rate Filter
1.	Hydraulic loading, $m^3/m^2.d$	1 - 4	10 - 40
2.	Organic loading,kg BOD / $m^3.d$	0.08 - 0.32	0.32 - 1.0
3.	Depth, m.	1.8 - 3.0	0.9 - 2.5
4.	Recirculation ratio	0	0.5 - 3.0 (domestic wastewater) up to 8 for strong industrial wastewater.

معیار های طراحی حوضچه هوادهی راکتور لجن فعال

Design criteria

- ✓ No of aeration tanks, N= min. 2 (small plants)
  = 4 or more (large plants)
- ✓ Depth of waste water in tank= 3-4.5 m (usually)
  = 4.5-7.5 m (diffuse aeration)
  = 1-6 m (surface aeration)
- ✓ Freeboard= 0.3-6 m (diffuse aeration)
  = 1-1.5 m (surface aeration)
- ✓ Rectangular aeration tank L:B= 5:1 and B:D=3:1 to 4:1 (depends on the aeration system)

✓ Air requirement:

I. 20-55 m3 of air/Kg of BOD removed for diffuse aeration when F/M => 0.3

II. 70-115 m3 air/Kg of BOD removed for diffuse aeration when F/M <= 0.3

✓ Power required for complete mixing : 10-14 kW/1000 m3 of tank volume for surface aeration system

برکه ها و لاگون ها

برکه های (استخرهای) تثبیت فاضلاب Waste Stabilization Ponds (WSP)

- استخرهای تثبیت فاضلاب در ساده ترین شکل خود حوضچه های عریض و کم عمق خاکی هستند که در آن فاضلاب خام به روشهای کاملاً طبیعی وبه مدت نسبتا طولانی نگهداری شده و در اثر واکنش جلبکها و باکتریها نور خورشید و حرارت، تصفیه می گردد.

- هزینه های ساختمانی، میزان سرمایه گذاری اولیه و تعمیرات مورد نیاز آنها پایین و بهره برداری و نگهداری از آنها بسیارآسان و کم هزینه است.

- در این روش کاهش کلیفرمهای مدفوعی نسبت به سایر روشهای تصفیه فاضلاب بیشتر می باشد.

- استخرهای تثبیت فاضلاب در مناطق گرمسیری و جایی که زمین کافی در اختیار باشد یکی از مؤثرترین روشهای تصفیه انواع فاضلاب های شهری و صنعتی است.

- استفاده از این استخرها منحصر به مناطق گرمسیر نمی باشد و در اکثر شرایط آب و هوایی حتی مناطق سردسیری مانند آلاسکا راندمان مناسبی داشته است.

- در کشورهای صنعتی نیز علیرغم وجود تکنولوژی مدرن و پیشرفته امروزی سهم عمده ای به استخرهای تثبیت فاضلاب واگذار گردیده است.

- به طور مثال یک سوم از کل تصفیه خانه های فاضلاب شهری در آمریکا از نوع استخرهای تثبیت می باشند.

- راندمان تصفیه در این روش عمدتا بستگی به نور خورشید ، درجه حرارت و شدت وزش باد و ... داشته که این پارامترها مستقیما بر روی بیولوژی سیستم دارای تاثیر می باشند.

- پساب خروجی از برکه ها از نظر کیفیت میکروبی و شیمیایی در حدی است که از آن می توان برای آبیاری زمین های کشاورزی و دیگر مصارف استفاده نمود .

به طور کلی بر اساس ماهیت واکنشهای بیولوژیکی برکه ها به سه دسته اساسی زیر تقسیم بندی می شوند:

1) استخرهای هوازی — **Anaerobic pond**

۲) استخرهای بیهوازی — **Facultative pond**

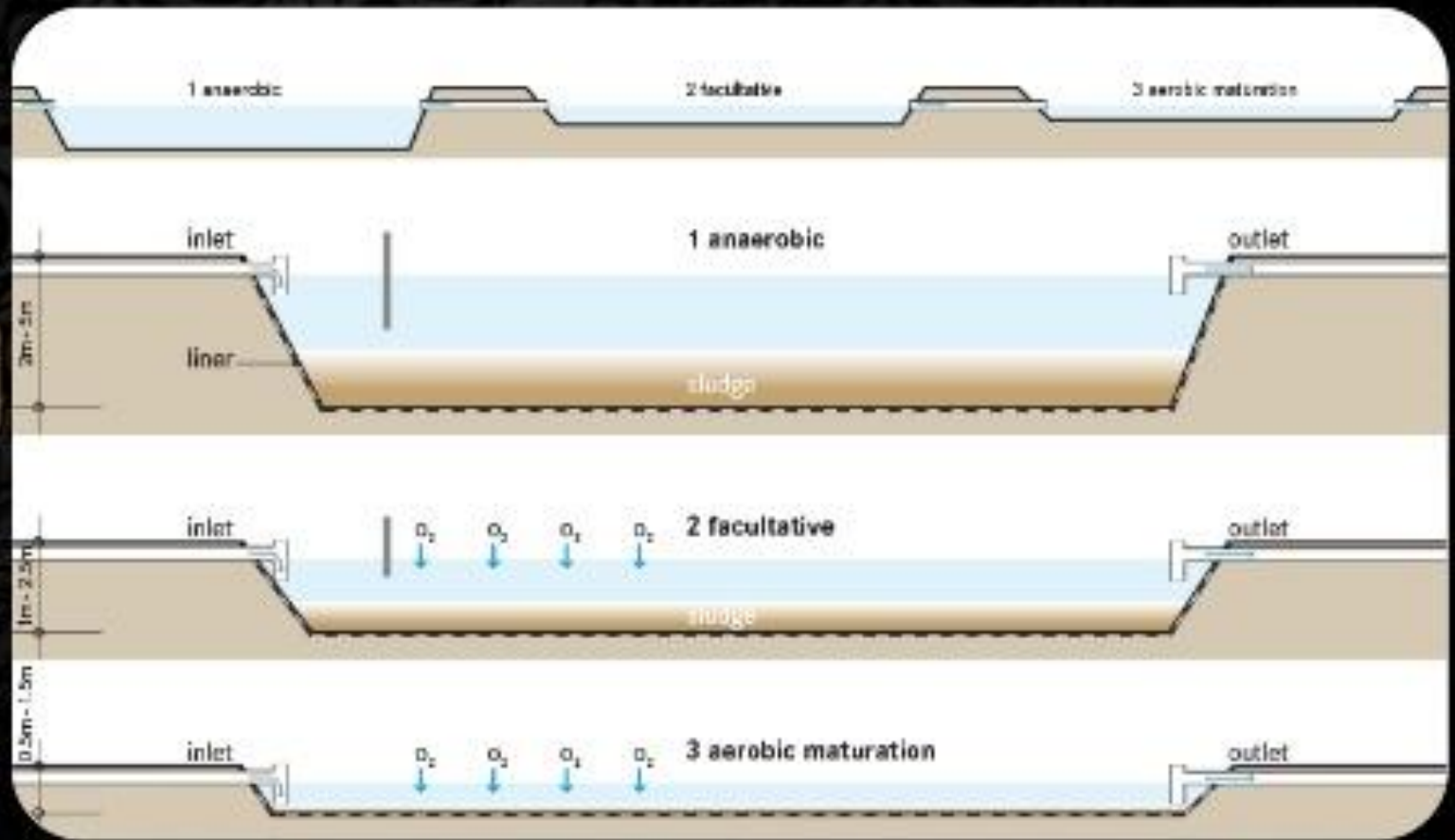
۳)استخرهای هوازی و بیهوازی (اختیاری) — **Maturation pond**

WASTE STABILIZATION PONDS

ANAEROBIC PONDS

FACULTATIVE PONDS

AEROBIC MATURATION



برکه های هوازی

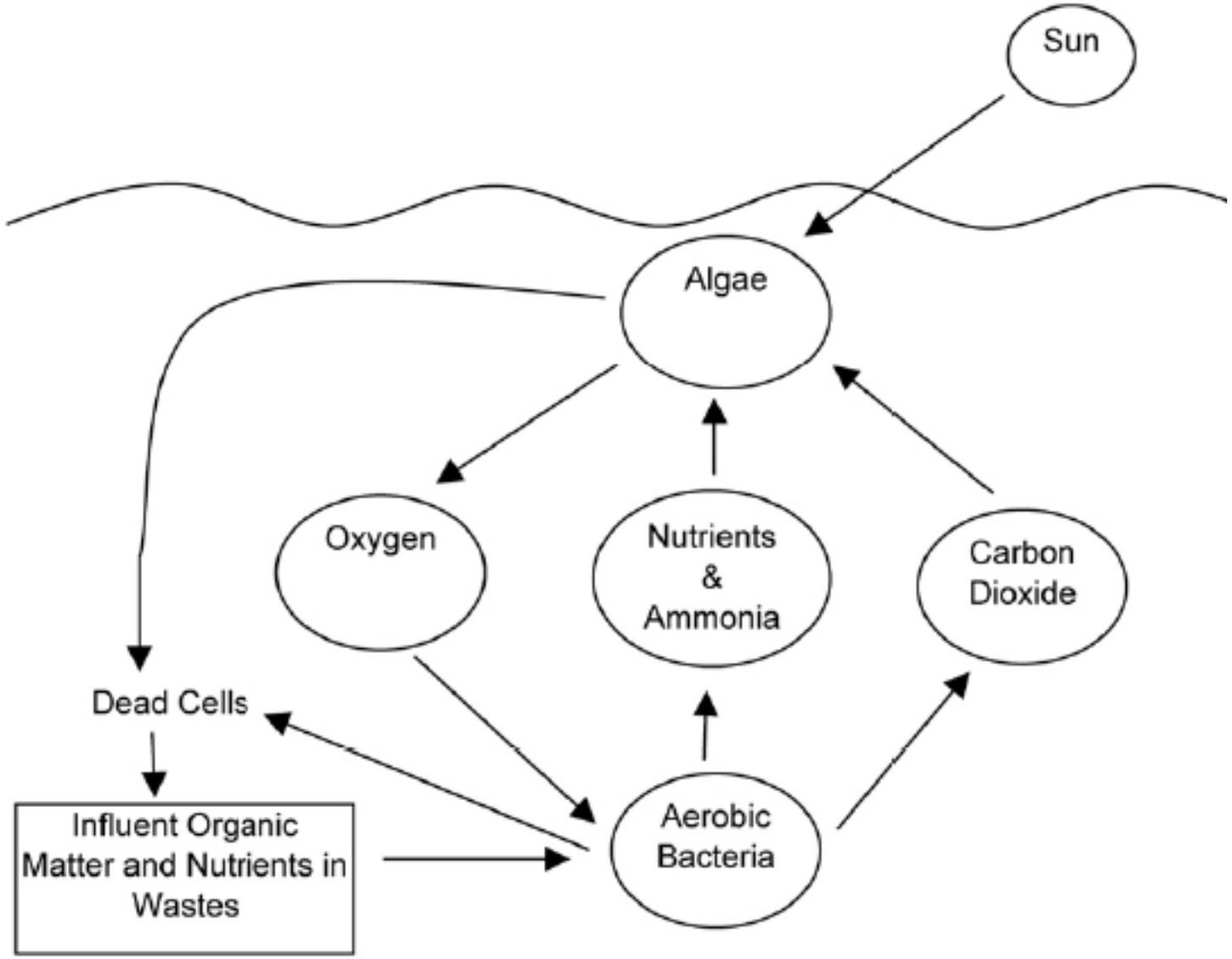
- یک برکه هوازی شامل باکتریها و جلبکهای در حال تعلیق بوده که در عمق آن نیز شرایط هوازی غالب باشد.

- در این برکه ها اکثر اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم ها توسط عمل فتوسنتز جلبکها و مقداری هم توسط عمل هوادهی طبیعی که در استخر صورت می گیرد تأمین می شود.

- صرفنظر از وجود جلبکها در محیط بیولوژیکی موجود، استخرهای تثبیت هوازی شبیه یک سیستم لجن فعال میباشد. اکسیژن تولید شده از جلبکها در طول عمل فتوسنتز توسط باکتریها هنگام تجزیه هوازی مواد آلی مصرف می گردد و در عوض مواد غذایی غیر آلی (نظیر فسفر و ازت) و دی اکسید کربن که در اثر این تجزیه آزاد می شوند توسط جلبکها مصرف می گردند.

- عمق این برکه ها معمولا ۱ تا ۱/۵ متر می باشد. زمان ماند ۱۰ تا ۱۵ روز است.

- هدف اصلی از ساخت این برکه ها حذف پاتوژن ها از فاضلاب است.


Sun
Algae
Oxygen
Nutrients
&
Ammonia
Carbon
Dioxide
Dead Cells
Influent Organic
Matter and Nutrients in
Wastes
Aerobic
Bacteria

AEROBIC

برکه های بی هوازی :

- در این برکه ها اکسیژن محلول در فاضلاب وجود نداشته و باکتری های بی هوازی مواد آلی را تجزیه می نمایند .

- عمق این برکه ها معمولا بین ۵-۲ متر است که دریافت کننده بار مواد آلی زیاد می باشند .

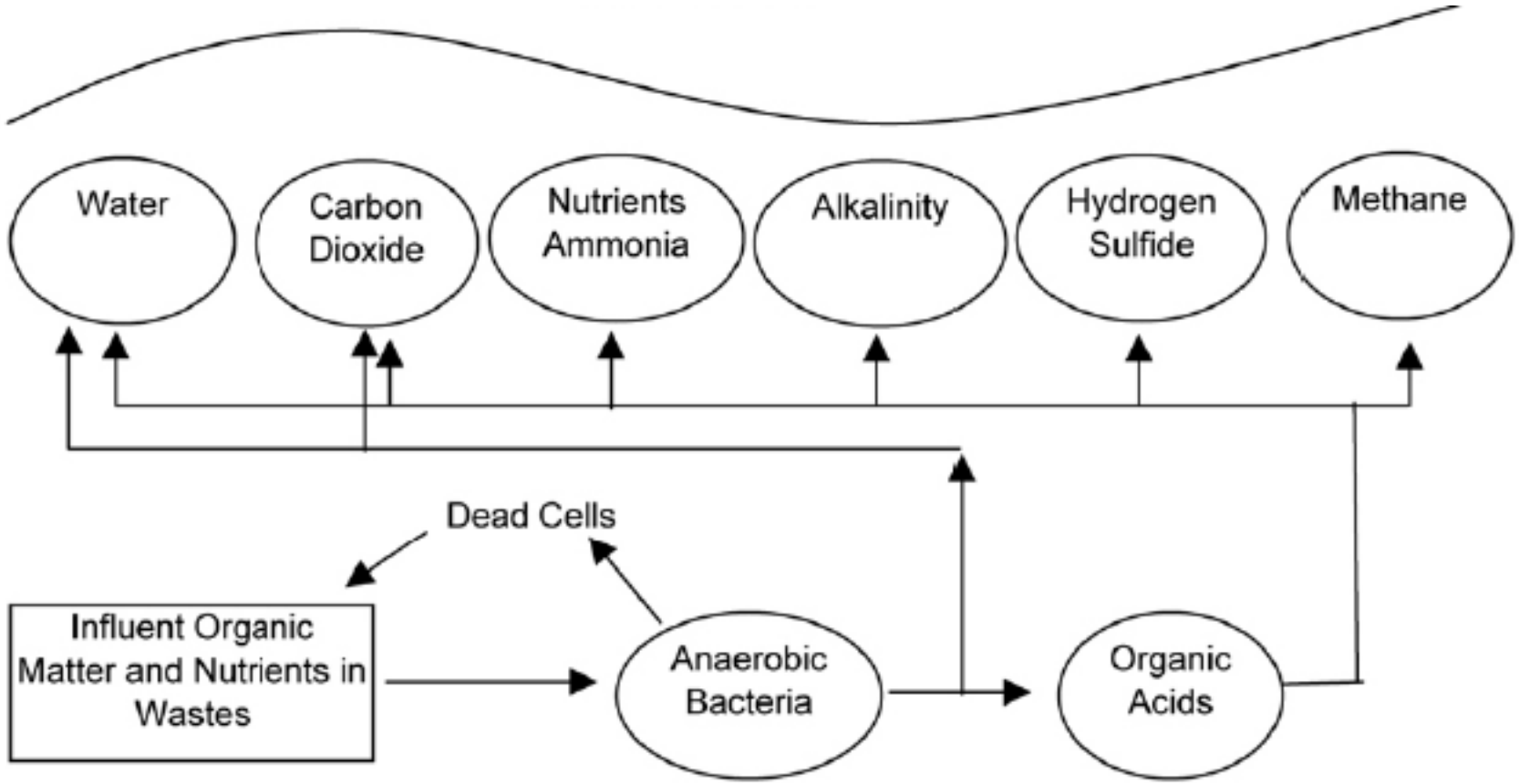
- به دلیل بار زیاد مواد آلی در برکه های بی هوازی هیچ گونه اکسیژن محلول و جلبکی در فاضلاب ندارد . در بعضی مواقع یک لایه نازکی از جلبک در سطح این برکه ها دیده می شود .

- هدف اصلی از ساخت این برکه ها حذف BOD از فاضلاب است.

- تصفیه رضایتبخش در برکه های بیهوازی بستگی به رفتار متقابل باکتریهای مولد اسید و باکتریهای مولد گاز دارد و بنابراین لازم است pH آن باید بیش از ۶ باشد و درجه حرارت برکه بیشتر از ۱۵ درجه سانتیگراد.

- زمان ماند فاضلاب در این برکه ها بین ۵-۲ روز نگهداری می شود. اگرچه زمان ماندهای طولانی تری نیز گزارش شده است .
- در حین عبور فاضلاب از برکه های تثبیت بی هوازی تغییرات زیر در فاضلاب صورت می گیرد :

- ❑ اکثر جامدات معلق در کف برکه ته نشین می شود .
- ❑ تا حدودی حذف پاتوژن ها صورت گرفته و تخم انگل ها نیز ته نشین می شوند .
- ❑ مواد سبک و کم وزن همچون روغن ، چربی ، کرک ، و کف بر روی سطح فاضلاب تجمع یافته و تشکیل لایه کفاب را می دهد.
- ❑ مواد آلی تبدیل به گاز و جامدات تثبیت شده می شوند .


Water
Carbon Dioxide
Nutrients Ammonia
Alkalinity
Hydrogen Sulfide
Methane
Dead Cells
Influent Organic Matter and Nutrients in Wastes
Anaerobic Bacteria
Organic Acids

ANAEROBIC

برکه های اختیاری :

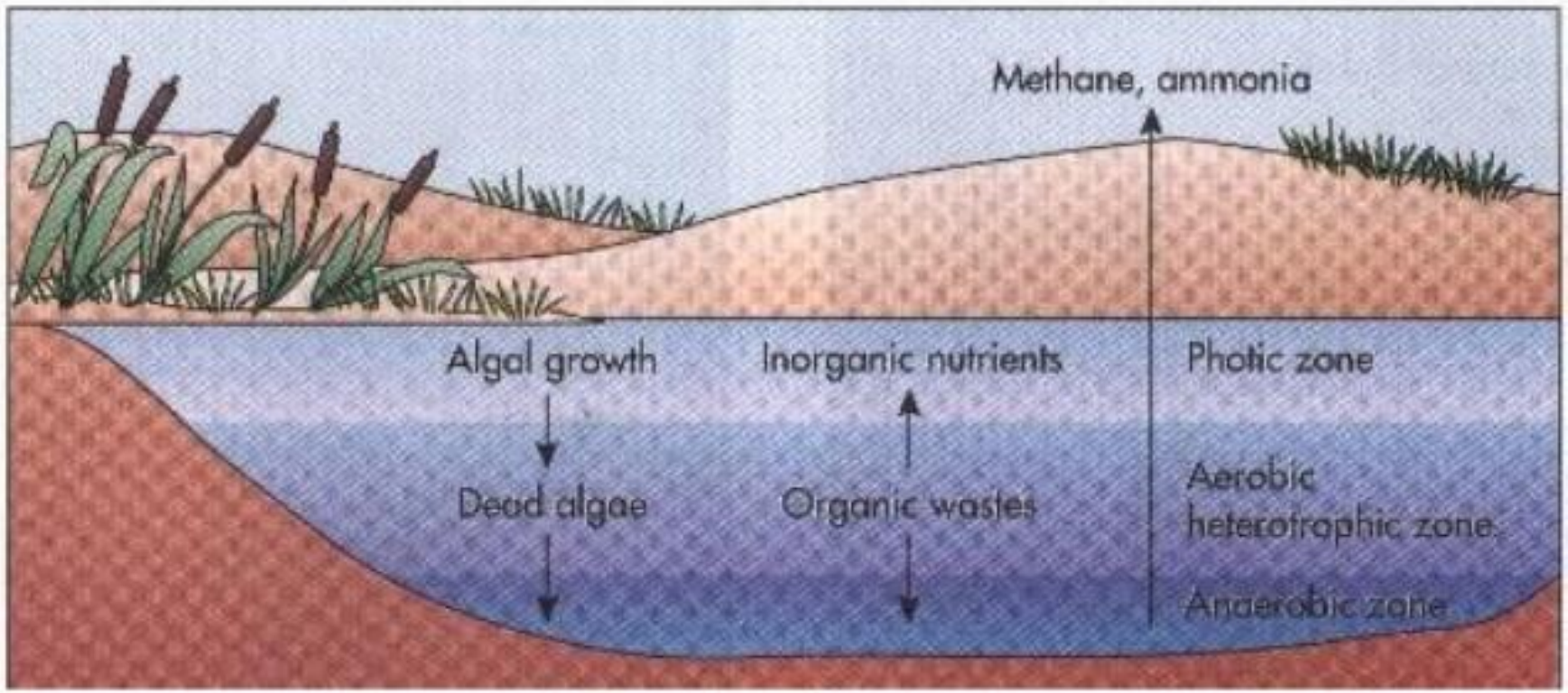
- متداول ترین نوع برکه ها هستند که در لایه های فوقانی آنها به دلیل وجود اکسیژن محلول شرایط هوازی وجود دارد و در لایه های تحتانی به دلیل عدم وجود اکسیژن محلول شرایط بی هوازی غالب می باشد .

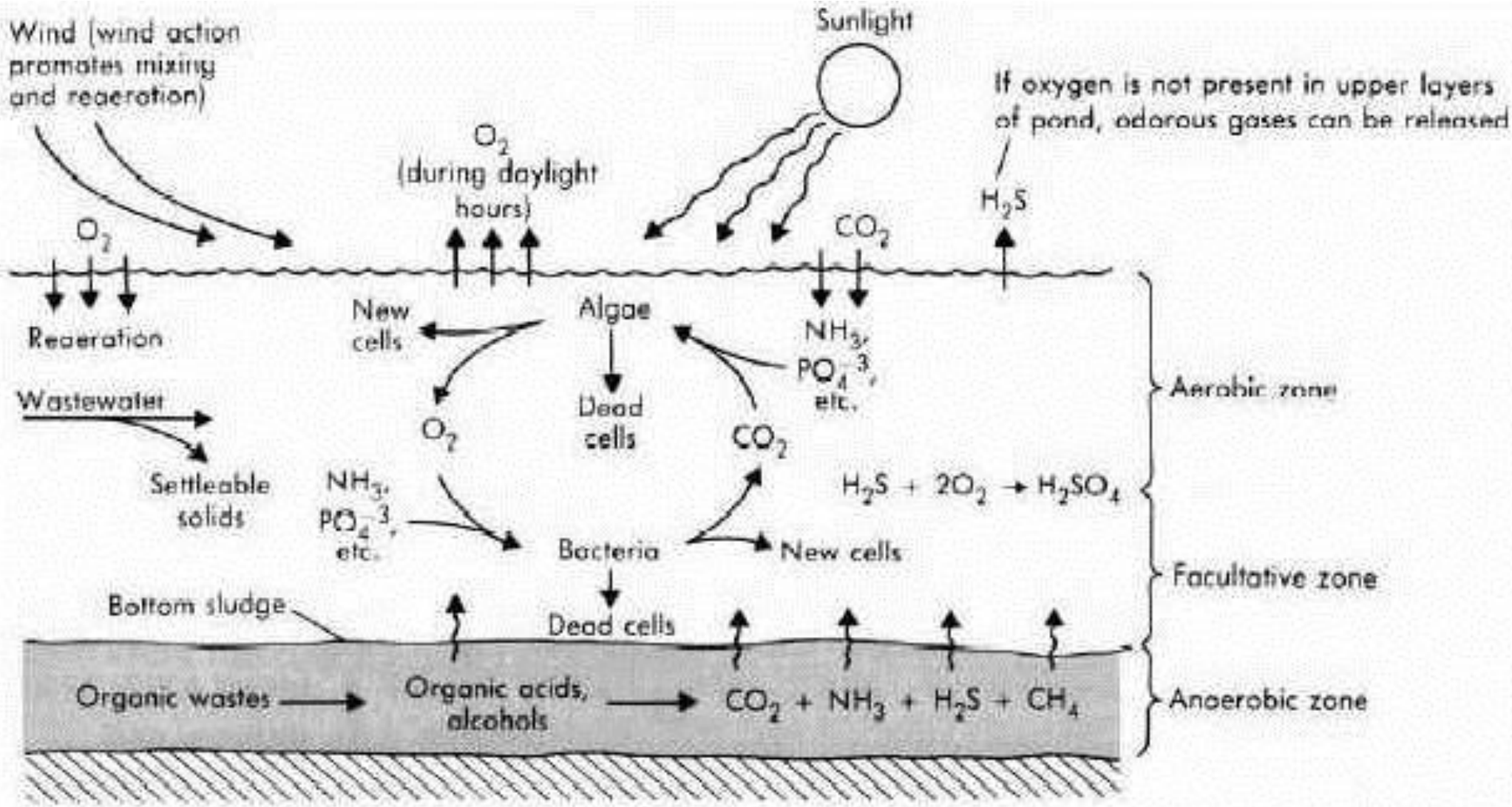
- لایه حد واسط نیز در بین لایه هوازی و بی هوازی شناسایی شده است .

- عمق این برکه ها معمولا بین ۱/۵ -۲/۵ متر و زمان ماند در آنجا بین ۹۰ -۳۰ روز می باشد .

- در لایه هوازی فوقانی ، جلبک ها و باکتری های هوازی و اختیاری به صورت همزیستی زندگی می کنند .

Facultative Oxidation (Waste Stabilization) Pond




Wind (wind action promotes mixing and reaeration)
Sunlight
If oxygen is not present in upper layers of pond, odorous gases can be released
O_2 (during daylight hours)
H_2S
O_2
CO_2
Reaeration
New cells
Algae
NH_3, PO_4^{3-}, etc.
Wastewater
Dead cells
O_2
CO_2
Aerobic zone
Settleable solids
NH_3, PO_4^{3-}, etc.
$H_2S + 2O_2 \rightarrow H_2SO_4$
Bacteria
New cells
Facultative zone
Bottom sludge
Dead cells
Organic wastes
Organic acids, alcohols
$CO_2 + NH_3 + H_2S + CH_4$
Anaerobic zone

- جلبکها در حضور نور خورشید و مواد معدنی شروع به فعالیت فتوسنتز می نمایند که در نتیجه آن تولید جلبکها ی جدید و همچنین تولید اکسیژن محلول (DO) می باشد.

- باکتری ها از اکسیژن محلول تولیدی توسط جلبکها استفاده نموده و شروع به اکسیداسیون مواد آلی موجود در فاضلاب می نمایند که نتیجه آن تجزیه مواد آلی و رشد و تکثیر باکتری ها می باشد .

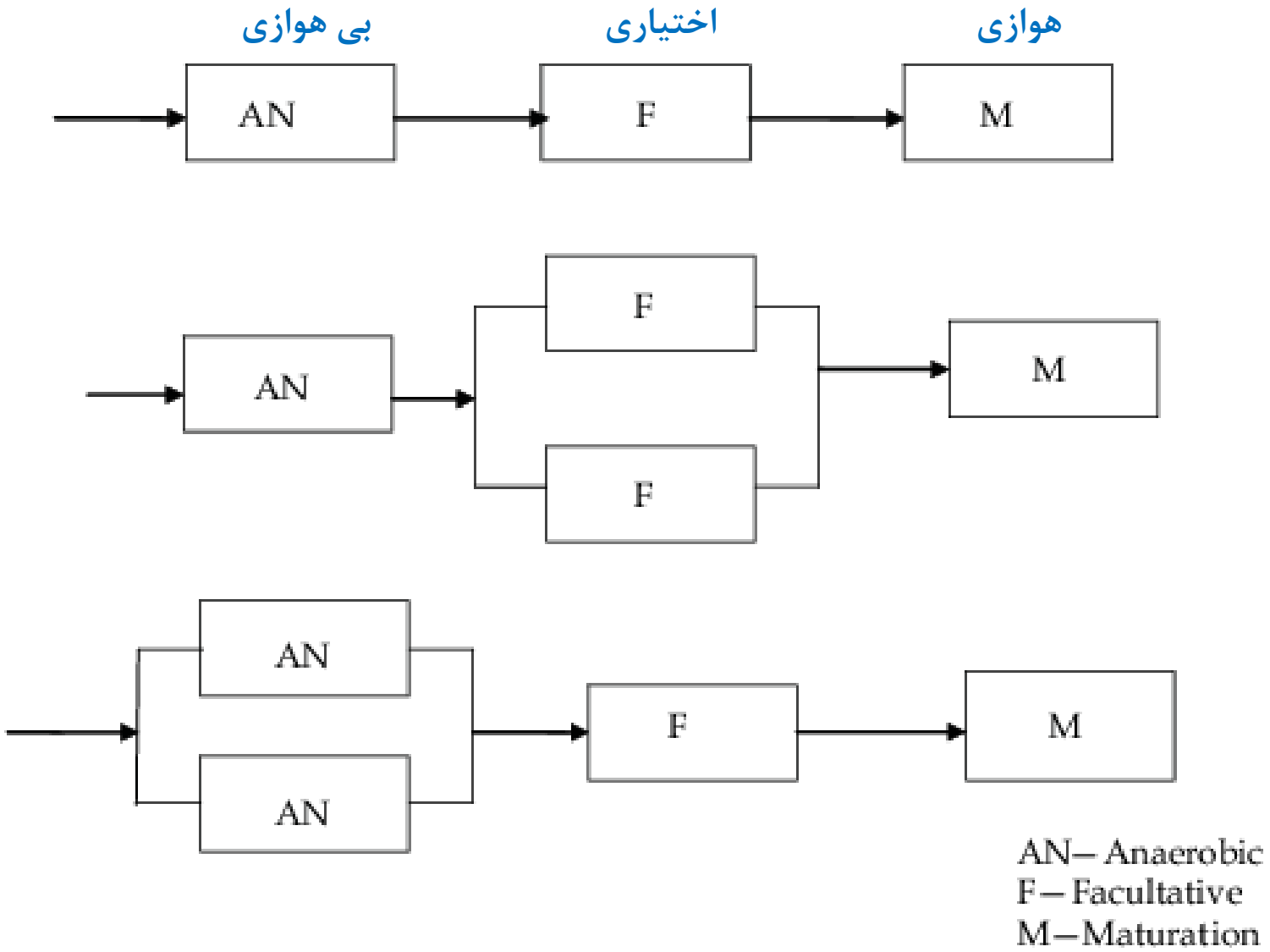
- در اثر اکسیداسیون مواد آلی گاز و ترکیباتی همچون $PO4$, $NO3$, $CO2$ و .....تولید می شود که بخشی از این گازها و ترکیبات مجددا توسط جلبکها در فعالیت فتوسنتز استفاده می شود.

- جامدات معلق موجود در فاضلاب که قسمت عمده آنها را مواد آلی تشکیل می دهد در اثر نیروی وزن در کف برکه تجمع یافته و تشکیل لایه لجن را می دهند.

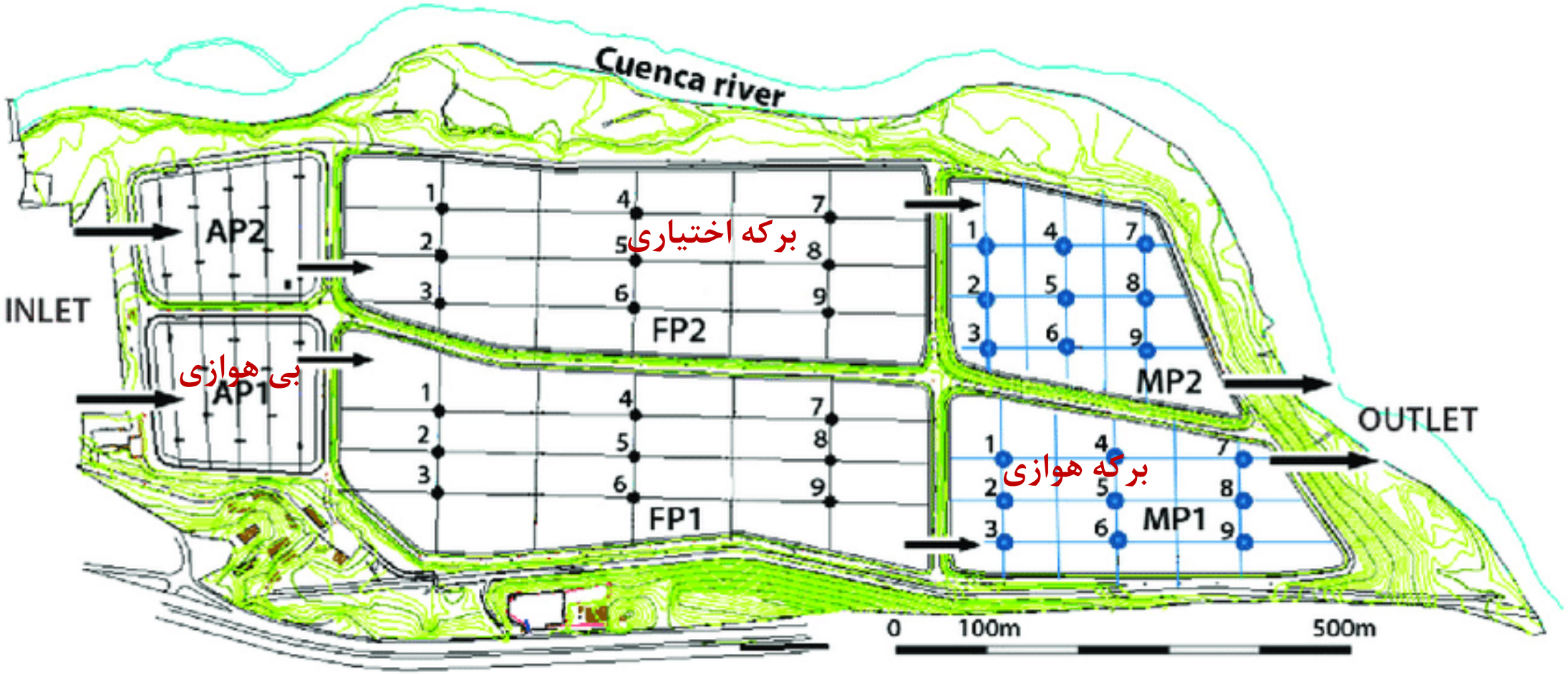
- در این لایه لجن با توجه به عدم وجود اکسیژن محلول، فعالیتهای بیولوژیکی بی هوازی اتفاق افتاده و مواد آلی لجن را تجزیه می نمایند که نتیجه آن تولید گازهای همچون CH_4 , CO_2 , N_2, NH_3, SH_2 و ..... می باشد .

- گازهای تولیدی در اثر نیروی شناوری به سمت بالا حرکت نموده و به صورت حباب از سطح فاضلاب خارج می شوند .

ترتیب قراگیری برکه ها برای تصفیه فاضلاب



ترتیب قراگیری برکه ها برای تصفیه فاضلاب



مزایای سیستم برکه های تثبیت

1) سادگی ساخت و راهبری

- برکه های تثبیت از نظر ساختمانی بسیار ساده هستند و مهمترین مرحله ساخت آنها را گود برداری ، تاسیسات تصفیه مقدماتی ، سازه های ورودی و خروجی ، جداره سازی و آب بندی دیواره ها و کف برکه تشکیل می دهد.

- از نظر بهره برداری و نگهداری نیز ساده بوده به طوری که بهره برداری از آنها شامل جمع آوری کفاب روی سطح برکه ، درو کردن علف ها ،تمیز نمودن سازه های ورودی و خروجی و تعمیر هر گونه صدماتی که به خاکریزهای اطراف آنها وارد می شود را شامل می گردد.

- همچنین از نظر پرسنل بهره برداری نیز به کارگران ساده و یا با مهارت کم نیازمند می باشد .

۲) ارزان بودن

- برکه های تثبیت نسبت به سایر روش های تصفیه فاضلاب معمولا ارزان تر می باشند.

- برکه ها نیاز به تجهیزات الکتریکی و مکانیکی نداشته و از نظر هزینه های جاری نیز مصرف انرژی در آنها بسیار پایین است.

- از نظر نیروی انسانی لازم برای بهره برداری نیز در برکه های تثبیت هم به نیروی انسانی کمتری مورد نیاز بوده و هم اینکه نیاز به نیروی متخصص و ماهر نمی باشد که در مجموع سبب کاهش هزینه های جاری تصفیه خانه می گردد.

۳) راندمان بالا

- پساب خروجی از برکه های تثبیت با استانداردهای کیفیت پساب ارائه شده از سوی جامعه اروپا (EC) و سازمان محیط زیست (EPA) مطابقت دارد .

- در برکه های تثبیت راندمان حذف BOD ، ازت و فسفر در حد مطلوبی است .

- همچنین برکه های تثبیت در زدایش عوامل بیماری زا بسیار موثر می باشند . در اکثر فرآیند های متداول تصفیه فاضلاب راندمان زدایش عوامل بیماری زا پایین بوده به طوری که جهت نابود سازی عوامل بیماری زا در پساب خروجی نیاز به گند زدایی پساب اجتناب ناپذیر است .

High Efficiency
BOD removals > 90%
Total nitrogen removals is 70-90%
Total phosphorus removal is 30-45%
Efficient in removing pathogens

۴) قابلیت تحمل شوک مواد آلی و سمی و بالا بودن راندمان حذف فلزات سنگین

- برکه های تثبیت به دلیل دارا بودن حجم زیاد و طولانی بودن زمان ماند هیدرولیکی در آنها ، نسبت به تحمل شک مواد آلی و سمی در برابر دیگر فرایند های متداول تصفیه فاضلاب دارای مقاومت بیشتری می باشد .

- علاوه بر این ، برکه ها نسبت به بالا بودن غلظت فلزات سنگین در فاضلاب ورودی دارای مقاومت زیادی می باشند بطوری که حتی تا غلظت ۶۰ میلی گرم در لیتر فلزات سنگین را تحمل می نماید .

بالا بودن مقاومت برکه ها نسبت به شک فلزات سنگین به دلیل کاهش غلظت فلزات از طریق رقیق سازی فاضلاب خام با حجم زیاد فاضلاب موجود در برکه ها است .

- فاضلاب خیلی قوی همچون فاضلاب صنایع مواد غذایی به راحتی توسط برکه های تثبیت تصفیه می شوند . به دلیل اینکه طراحی برکه ها بر اساس سردترین فصل سال است ،در فصول گرم سال ظرفیت تصفیه پذیری آنها بالا بوده بطوری که در تابستان فاضلاب بیشتری را می توانند تصفیه نمایند که این مسئله در شهرهای توریستی دارای اهمیت زیادی می باشد .

معایب برکه های تثبیت

۱) تولید بو

- برکه های تثبیت اگر بطور صحیح طراحی و راهبری شوند و بار مواد آلی ورودی به آنها بیش از حد مجاز نباشد ، مشکلات مربوط به تولید بو وجود نخواهد داشت .

- علت تولید بو در برکه های بی هوازی تولید گاز H_2S و متان می باشد.

- مشکلات مربوط به تولید احتمالی بو را در برکه های تثبیت می توان از طریق رعایت فاصله با مناطق مسکونی به حداقل کاهش داد .

- همچنین وجود کمربند فضای سبز در اطراف تصفیه خانه در کاهش مزاحمت ناشی از تولید بو مؤثر بوده خواهد بود .

۲) مزاحمت حشرات

رشد گیاهان و علف های هرز در برکه ها بخصوص بوته های نی ، محیط را برای تخم ریزی و رشد و تکثیر حشرات مساعد می سازد.

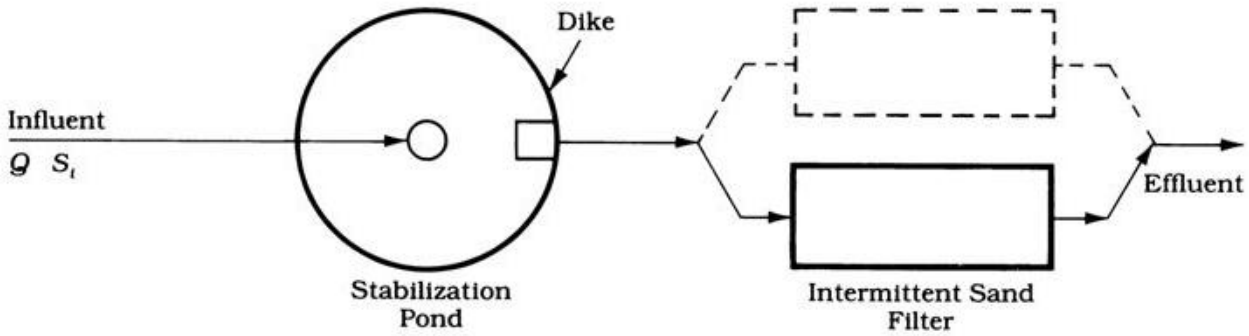
یکی از راههای مؤثر جهت مقابله با حشرات ، درو کردن مرتب علف های هرز می باشد

۳) بالا بودن غلظت جامدات معلق

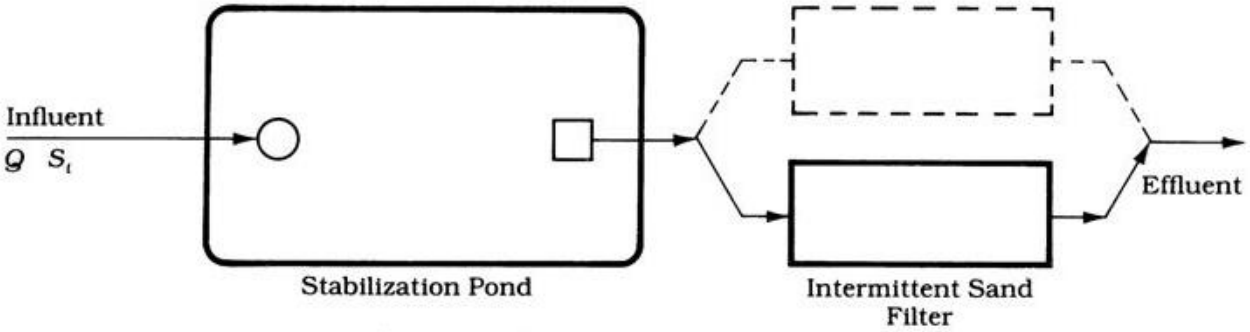
- در پساب خروجی از برکه های تثبیت به دلیل رشد بیش از حد جلبک ها غلظت جامدات معلق بالا خواهد بود که این بالا بودن غلظت جامدات معلق در مواردی جهت استفاده مجدد از پساب ممکن است مشکل ساز باشد به ویژه برای تغذیه آبهای زیر زمینی و همچنین در سیستم های آبیاری تحت فشار و قطره ای نیز سبب مسدود شدن نازل ها می شود .

- در صورت نیاز از طریق روش های ارزان قیمت می توان نسبت به جدا سازی جلبک از پساب خروجی برکه ها اقدام نمود .

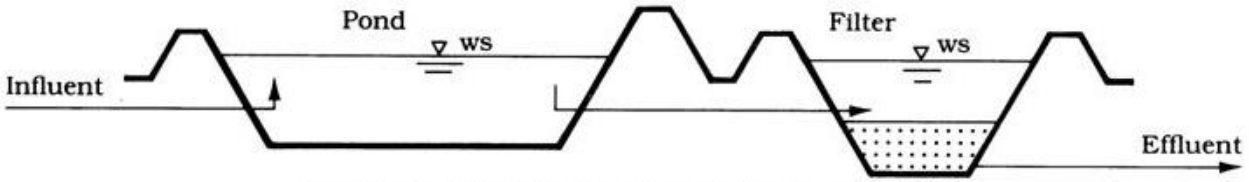
استفاده از فیلتر برای حذف جامدات معلق از خروجی برکه ها



(a) Layout for a Circular Pond and Filter



(b) Layout for a Rectangular Pond and Filter



(c) Profile of Stabilization Pond and Intermittent Sand Filter

FIGURE 18.1 *Stabilization Pond System*

۴) نیاز به زمین زیاد

- یکی ازمعایب عمده برکه های تثبیت نیاز به زمین زیاد می باشد که دلیل آن بالا بودن زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب در برکه ها است .

- میزان زمین مورد نیاز تابعی از شرایط آب و هوایی و کیفیت فاضلاب خام ورودی می باشد بطوری که در مناطق گرمسیری برای احداث برکه ها به زمین کمتری نیاز است که علت آن بالا بودن سرعت واکنش های بیولوژیکی در آب و هوای گرم است .

- در مناطق سرد سیر برای احداث برکه ها به زمین بیشتری نیاز می باشد . تملک زمین ارزان قیمت در بعضی از شهر ها با مشکل مواجه خواهد بود به همین دلیل در دسترس نبودن زمین کافی در بسیاری از مناطق کاربرد آنها را با محدودیت مواجه می کند .

- در اکثر کشور ها استفاده از این روش علی رغم نیاز به زمین زیاد ، از نظر اقتصادی باز هم نسبت به سایر روش ها ارزان ترین گزینه می باشد .

۵) اتلاف آب

- اتلاف زیاد آب از طریق تبخیر و همچنین نشت در داخل زمین از طریق برکه ها سبب کاهش مقدار پساب قابل استفاده برای مصارف کشاورزی و دیگر مصارف می شود .

۶) احتمال آلودگی آب های زیر زمینی

- در صورتی که محل انتخابی برای احداث برکه ها از نظر جنس خاک مناسب نباشد مسئله نشت فاضلاب در داخل زمین وجود داشته و آلودگی احتمالی آب های زیر زمینی را به همراه خواهد داشت .

- با انجام لاینینگ یا آب بندی در کف و دیواره برکه ها می توان میزان نشت فاضلاب را به حد اقل کاهش داد . پارامتر اصلی در رابطه با نشت فاضلاب ضریب نفوذ پذیری خاک است .

فاکتورهای موثر در تصفیه در برکه های تثبیت :

1- فاکتورهای طبیعی :

باد

برکه های تثبیت می بایست طوری طراحی شوند که از طریق جریان باد ، تلاطم لازم در آنها ایجاد شود.

درجه حرارت :

تصفیه فاضلاب در برکه ها از طریق مجموعه ای از فر آیند های فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی اتفاق می افتد که درجه حرارت بر روی این فرآیندها تاثیر قابل ملاحظه ای دارد .

بارندگی

بارندگی متوسط و شدید میتواند دارای اثراتی بر روی عملکرد و ضریب اطمینان برکه ها دارا باشد .

نور خورشید

شدت تابش نور خورشید پارامترهای مهم در عملکرد رضایت بخش برکه ها به حساب می آید . زیرا نور خورشید بطور غیر مستقیم بر روی تولید اکسیژن به واسطه فعالیت فتوسنتز تاثیر دارد .

تبخیر

تبخیر از سطح برکه ها سبب اتلاف آب شده که این اتلاف آب هم از نظر استفاده مجدد از پساب و هم از نظر تاثیر بر روی کیفیت پساب دارای اهمیت خواهد بود .

نشت

نفوذ آب از کف و دیواره برکه ها به لحاظ اتلاف مقادیر قابل توجهی آب و از لحاظ آلودگی آبهای زیر زمینی دارای اهمیت می باشند .

فاکتورهای فیزیکی

ارتفاع فاضلاب

برکه های تثبیت معمولا در عمق ثابت فاضلاب بهره برداری می شوند . کاهش ناگهانی ارتفاع آب در برکه ها به واسطه نشت یا تبخیر و یا برداشت اضطراری می تواند سبب بروز مسائلی شود .

میان بر زدن

میان بر زدن در برکه ها به علل مختلفی اتفاق افتاده و سبب می شود فاضلاب کوتاهترین مسیر را طی نموده و کمترین زمان ماند را داشته باشد که نتیجه آن به وجود آمدن نقاط کور و مرده است به طوری که سطح و حجم برکه ها را کاهش داده و تولید بو را به همراه خواهد آورد . همچنین جریان میان بر در کاهش راندمان تصفیه نیز موثر می باشد.

فاکتورهای شیمیایی

pH

هر دو نوع برکه ها بی هوازی و اختیاری تحت شرایط قلیایی جزئی دارای بهترین عملکرد می باشند .

مواد سمی

وجود غلظت زیاد مواد سمی در فاضلاب ورودی به برکه ها می تواند مشکل آفرین باشد .

اکسیژن محلول

اکسیژن محلول بهترین شاخص جهت بررسی عملکرد مطلوب برکه های اختیاری و هوازی می باشد .

پارامترهای کمی و کیفی فاضلاب

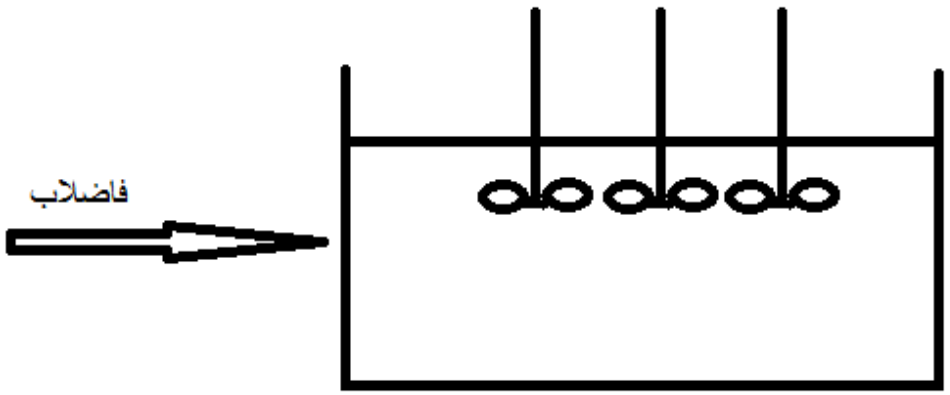
علاوه بر درجه حرارت و تبخیر که در بخش های قبلی توضیح داده شد ، دبی جریان و BOD نیز پارامتر مهم در طراحی برکه ها هستند .

چنانچه پساب برای مصارف کشاورزی و پرورش آبزیان مورد استفاده قرار گیرد ، تعداد کلی فرم ها و تخم انگل ها نیز دارای اهمیت می باشد .

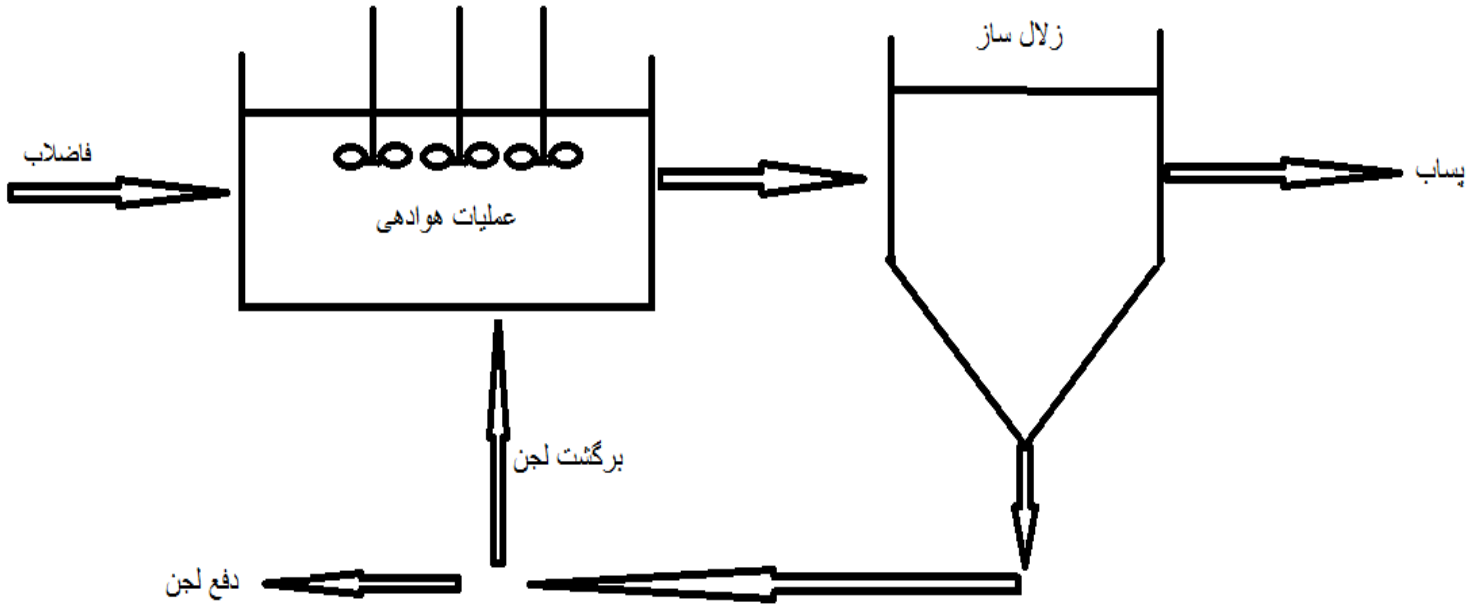
لاگون ها

لاگون

- لاگون ها برکه های کم عمقی هستند که اکسیژن مورد نیاز آنها از طریق هوادهی سطحی یا عمقی تامین می شود.
- زمان ماند در لاگون ها بین ۶ تا ۱۸ روز می باشد.
- درصد حذف BOD می تواند از ۷۵ تا ۹۰ درصد باشد.



مزیت لاگونها نسبت به برکه ها:

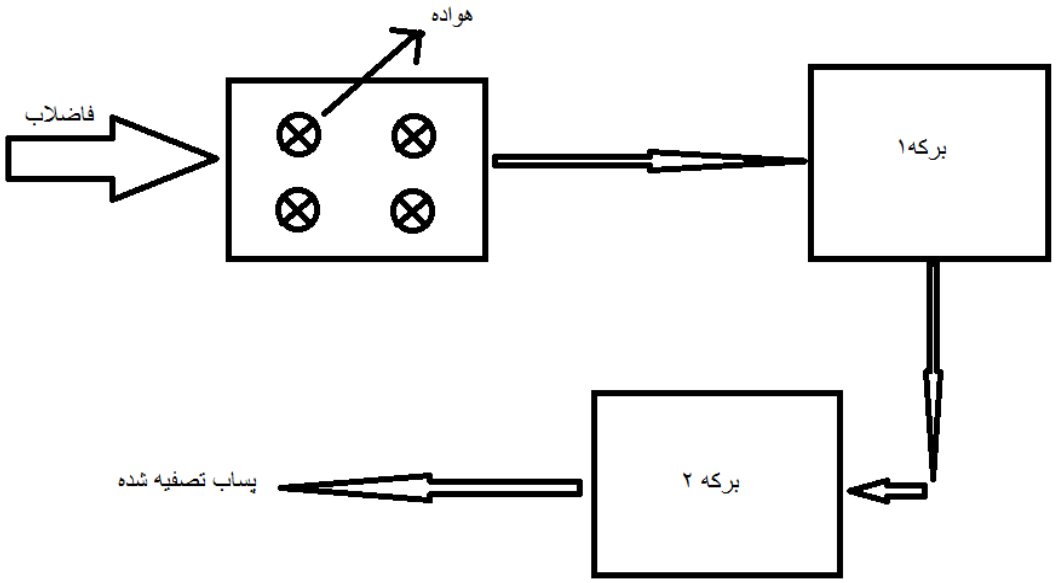


۱-فرایند تصفیه سریع تر اتفاق می افتد.

۲-سطح اشغال زمین کم می شود.

۳- امکان برگشت لجن وجود دارد.

معمولا بعضی جاها از ترکیب برکه و لاگون استفاده می شود:



لاگون ها در سه گروه دسته‌بندی می شوند:

- **لاگون هوادهی**
- **لاگون اختیاری**

لاگون هوازی:

- لاگون های هوادهی تشابه بسیار زیادی به برکه‌های هوازی دارند که از هوادهی مکانیکی برای تسریع در فعالیت‌های بیولوژیکی استفاده می‌رود.
- دیواره‌ی این لاگون ها از بتن ساخته می‌رود و دلیل این کار افزایش مقاومت در برابر امواج ایجادشده است.
- معمولاً عمق این نوع از لاگون ها ۲ الی ۵ متر است.

ضرورت تصفیه فاضلاب

- بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی WHO و یونیسف در سال ۲۰۰۰ از هر شش نفر یک نفر به آب سالم دسترسی ندارد و در نتیجه آن سالیانه حدود ۲/۱ میلیارد نفر در جهان به لحاظ بهداشتی و سلامتی دچار مشکل هستند.

- بر اساس گزارشهای برنامه محیط زیست ملل متحد UNEP که نهادی وابسته به سازمان ملل متحد است، حدود یک سوم جمعیت جهان در کشورهایی زندگی می کنند که تنش آبی دارند و سالیانه بیش از ده درصد از منابع آب تجدید پذیر خود را مصرف می کنند.

- در ایران کمبود آب یکی از مهمترین چالشهای زیست محیطی است و سالیانه بیش از ۸۰ درصد ازکل آب تجدیدپذیر کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد که حاکی از وضعیت بحران شدید آبی در ایران است.

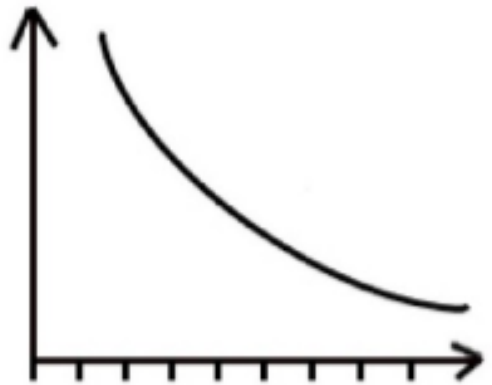
- ایران با وجود محدودیت منابع آبی، با ۱۹۰ لیتر میانگین روزانه مصرف آب شرب خانگی در مقایسه با متوسط جهانی ۱۵۰ لیتر در روز، جزء پرمصرف ترین کشورها می باشد.

- میانگین بارندگی در ایران حدود ۲۵۰ میلی متر در سال است که در حدود یک سوم متوسط جهانی بارندگی است.

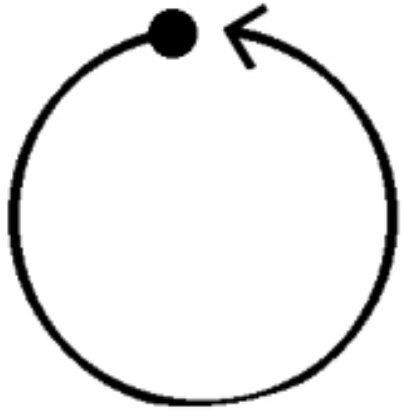
- بر اساس پایگاه اطلاع رسانی وزارت نیرو، سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور از حدود۱۳۰۰۰ متر مکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۰۰، به حدود ۱۴۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۳ تقلیل یافته

- سه اصل اساسی در مدیریت مصرف آب (3-R) وجود دارد:

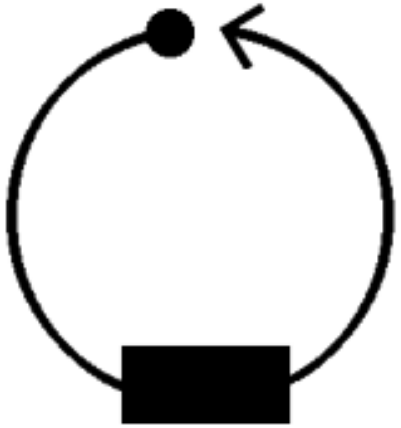
کاهش مصرف، استفاده مجدد از آب (به صورت مستقیم و بدون هیچ تصفیه ای) و بازچرخانی آب (تصفیه و استفاده مجدد).



الف) کاهش مصرف

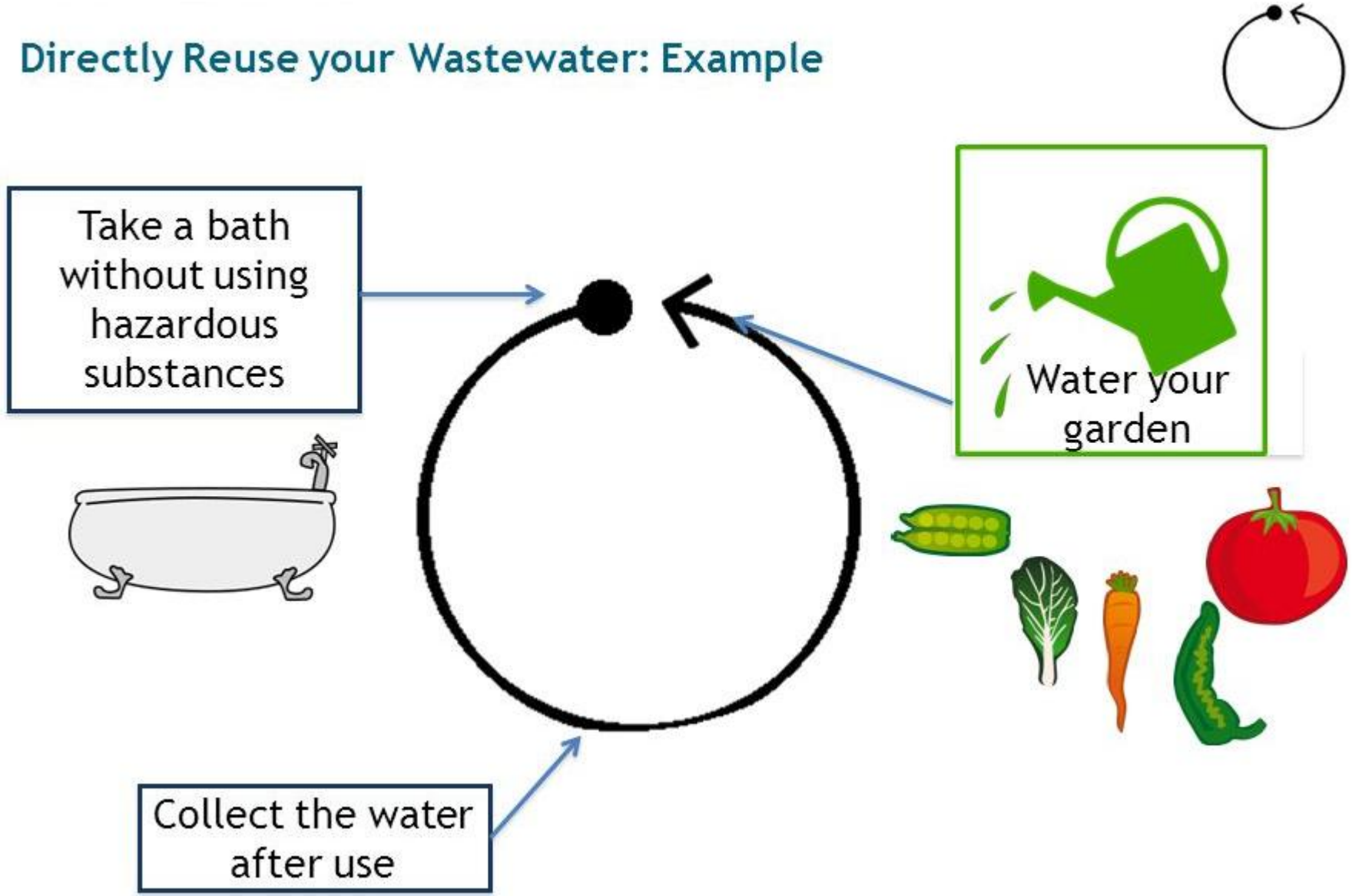


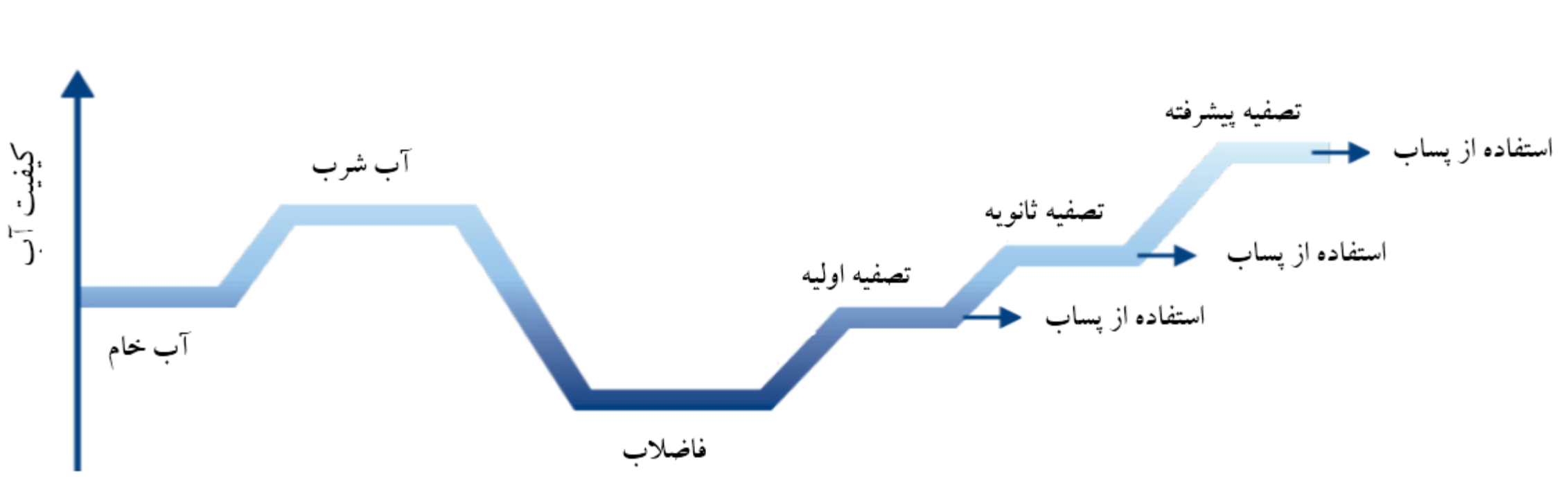
ب) استفاده مجدد



ج) بازچرخانی

Directly Reuse your Wastewater: Example




کیفیت آب
آب خام
آب شرب
فاضلاب
تصفیه اولیه
تصفیه ثانویه
تصفیه پیشرفته
استفاده از پساب
استفاده از پساب
استفاده از پساب

مهمترین دلایل استفاده مجدد و بازچرخانی فاضلاب برای مصارف غیر شرب:

خشکسالی و تغییرات آب و هوایی

افزایش جمعیت و تامین تقاضای آب مورد نیاز

افزایش نیازهای کشاورزی و صنعتی، حفظ آبهای با کیفیت بالاتر برای استفاده های مناسب تر

آگاهی از مزایای استفاده از پساب در بخش کشاورزی

توسعه شهرنشینی و تغییر الگوی مصرف آب

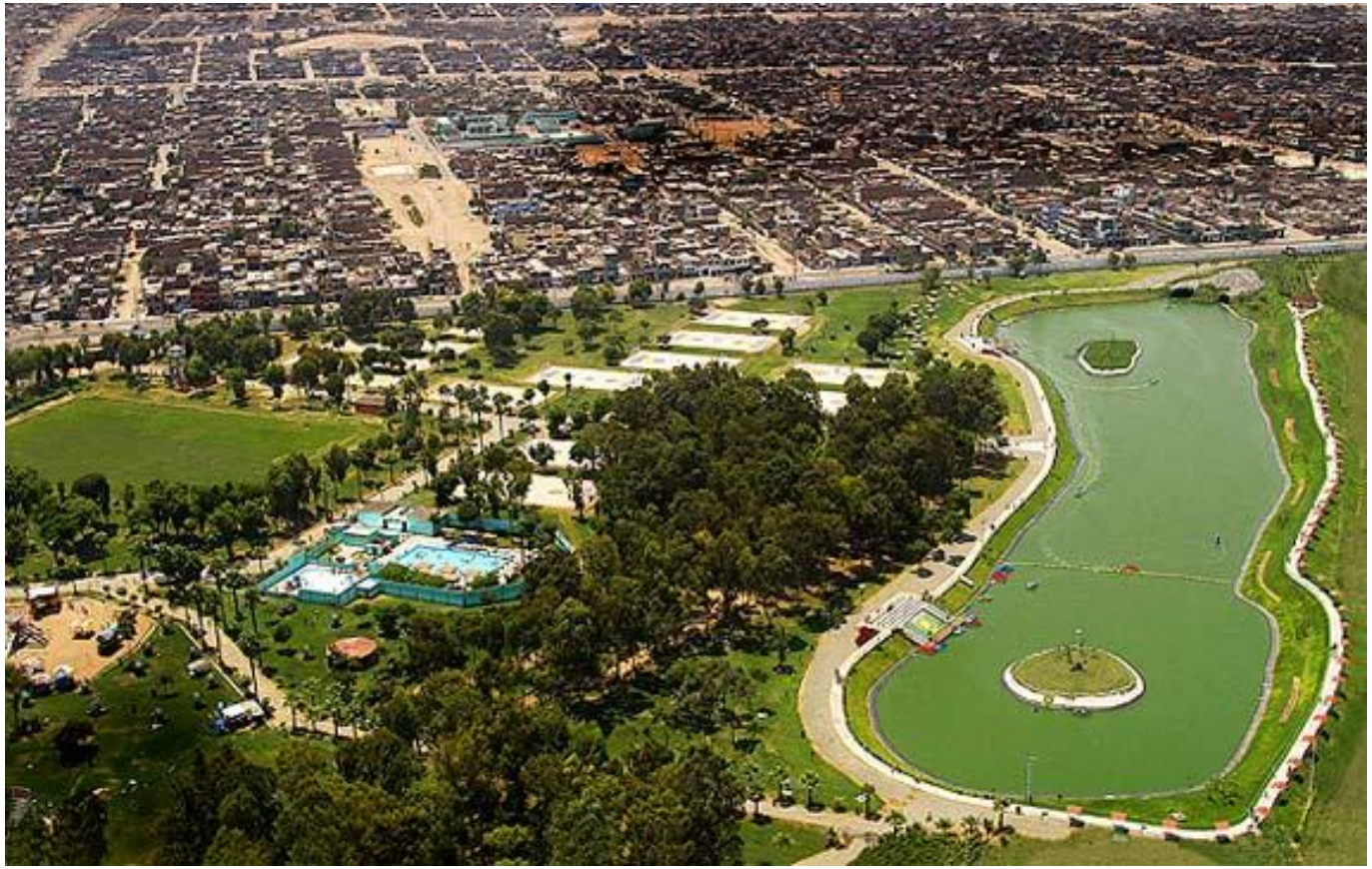
پیشرفتهای ایجاد شده در روش های تصفیه فاضلاب

کاربردهای پساب بر اساس تجارب کشورهای مختلف

نوع کاربری	درصد تخصیص	توضیحات
کشاورزی	۳۲	آبیاری درختان میوه، سبزیجات، غلات، علوفه و ...
تفریحی	۷	دریاچه های مصنوعی و استخرهای شنا، ماهیگیری، قایق سواری
احیا محیط زیست	۸	ایجاد مرداب های مصنوعی، احیا مرداب های طبیعی و ...
تغذیه آبخوان ها	۲	احیای آبخوان ها برای مصارف شرب، کنترل نفوذ آب شور، کنترل فرو نشست زمین
مصارف صنعتی	۱۹	خنک کردن دیگهای بخار، صنایع نفت، نساجی، ذوب فلزات و ...
مصارف غیر شرب شهری	۲۰	آبیاری پارکها، زمین های بازی، حیاط مدارس، گورستان ها، کمربند سبز شهرها، ذوب برف و...
سایر مصارف شهری	۱۰	آتش نشانی، ساخت و ساز و ...
مصارف غیر مستقیم شرب	۲	ترکیب فاضلاب با آب شرب شهری قبل از ورود به شبکه آبرسانی

استفاده از پساب در قلعه اساکا ژاپن

احیا رودخانه مگورو در توکیو با استفاده از پساب



پارک Huascar در لیما پایتخت پرو

دریاچه مصنوعی Santee در کالیفرنیا

تغذیه آب زیرزمینی در لوس انجلس کالیفرنیا

استفاده از فاضلاب تصفیه شده در بخش کشاورزی

تصفیه فاضلاب (متمرکز یا غیر متمرکز)

Centralized Wastewater treatment plant

Decentralized Wastewater treatment plant

- انتخاب سیستم تصفیه غیر متمرکز فاضلاب یا سیستم تصفیه متمرکز فاضلاب با توجه به مزایا و معایب هر کدام از روش ها یکی دیگر از مواردی است که باید به آن پاسخ داد.

- منظور از تصفیه غیر متمرکز فاضلاب، جمع آوری، تصفیه و بازیافت آب در همان محل یا نزدیکی مکان تولید فاضلاب است.

تصفیه غیرمتمرکز فاضلاب به دلایل زیر می تواند مفید باشد:

۱- می توان سیستم تصفیه را فقط برای بخشی از پروژه استفاده نمود و در صورت نیاز به توسعه آتی آن پرداخت. لذا هزینه های اجرای طرح پایین تر از سیستم های متمرکز خواهد بود.

۲- با توجه به اینکه فاضلاب بخش های مختلف به لحاظ کیفی متفاوت می باشند، با اجرای سیستم تصفیه غیر متمرکز عملیات و فرایندهای تصفیه مختلفی می توان برای فاضلاب های مختلف انتخاب نمود که می تواند به افزایش راندمان تصفیه و کاهش هزینه ها منجر شود.

۳- با توجه به اینکه تجهیزات و وسایل مورد استفاده در سیستم های غیر متمرکز ساده و کم هزینه بوده و به راحتی قابل تعویض می باشند.

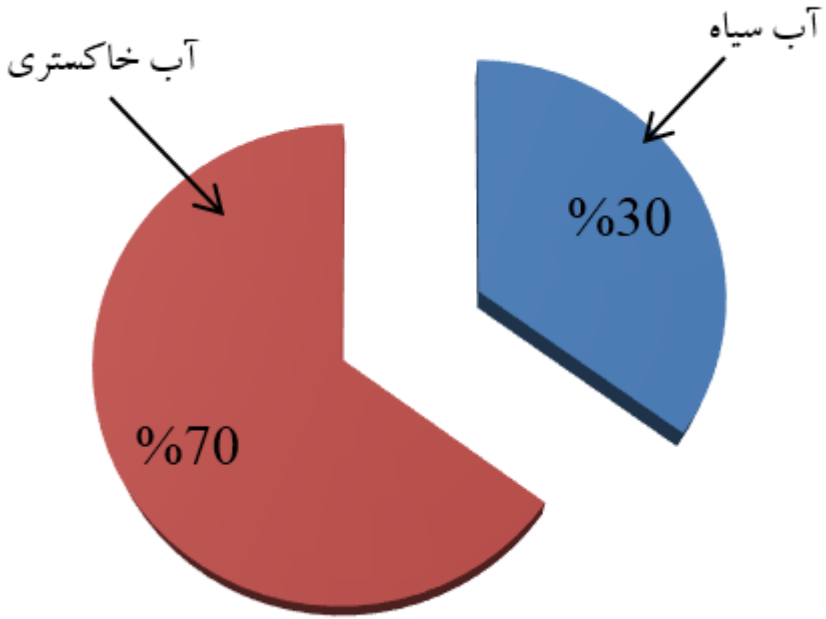
۴- هزینه بهره برداری و نگهداری پایین تری در مقایسه با سیستم های متمرکز دارند.

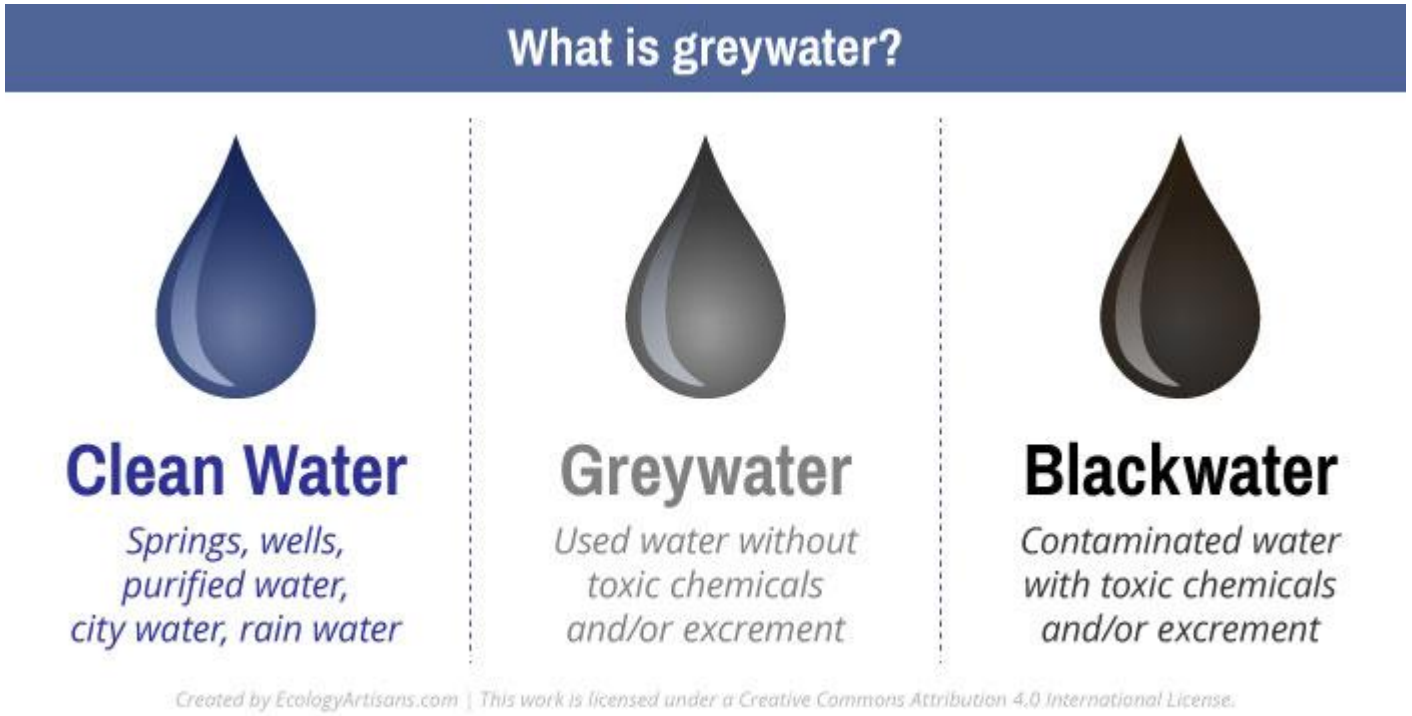
۵- به دلیل نزدیک بودن سیستم تصفیه با محل تولید فاضلاب هزینه های مرتبط با انتقال فاضلاب کمتر بوده و صرفه جویی در مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت.

آبهای خاکستری:

فاضلاب های دستشویی، حمام، آشپزخانه و ماشین لباسشویی

آبهای خاکستری حدود ۶۰ تا۸۰ درصد کل فاضلاب خانگی را شامل می شود

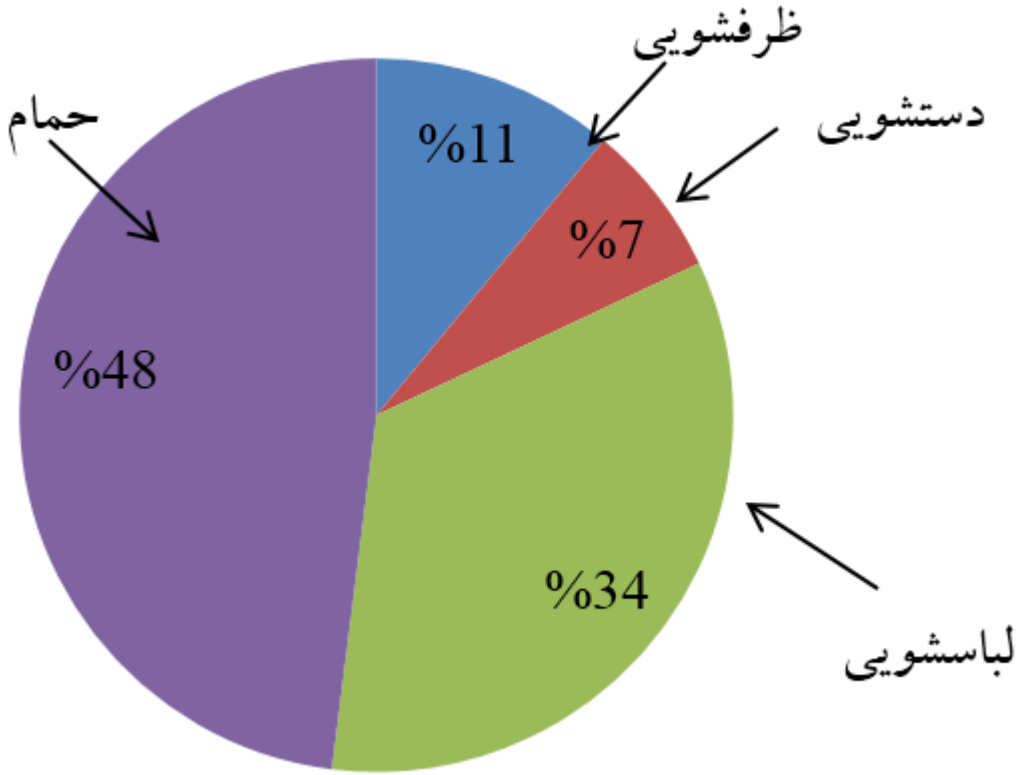




اجزاء مختلف فاضلاب خانگی و آب خاکستری

نوع فاضلاب	مقدار فاضلاب		مقدار آب خاکستری	
	کل (%)	L/day	کل (%)	L/day
توالت	32	186	-	-
دستشویی	5	28	7	28
حمام	33	193	48	193
آشپزخانه	7	44	11	44
لباس شویی	23	135	34	135
کل فاضلاب	100	586	100	400

اجزاء مختلف آب خاکستری



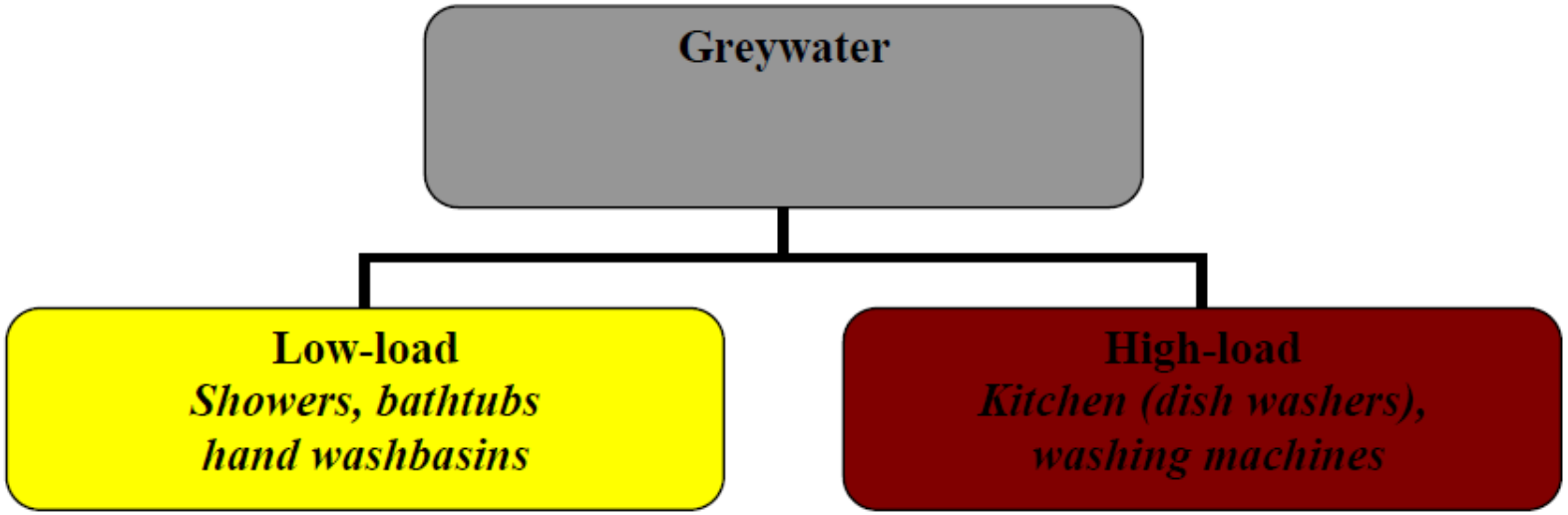
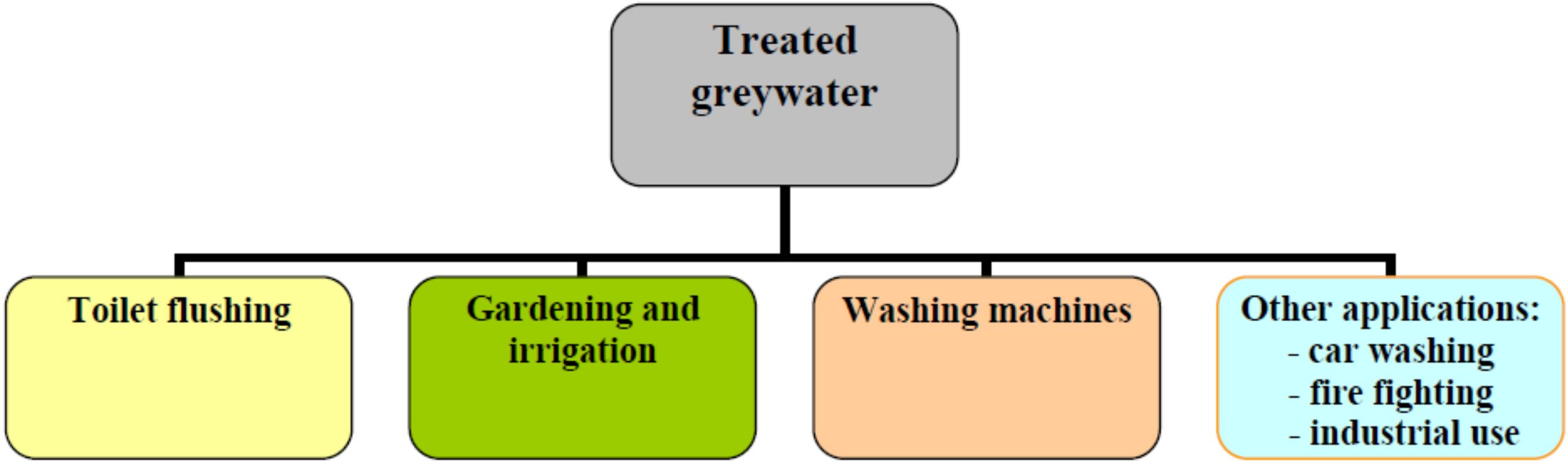


Fig. 1: Major greywater sources

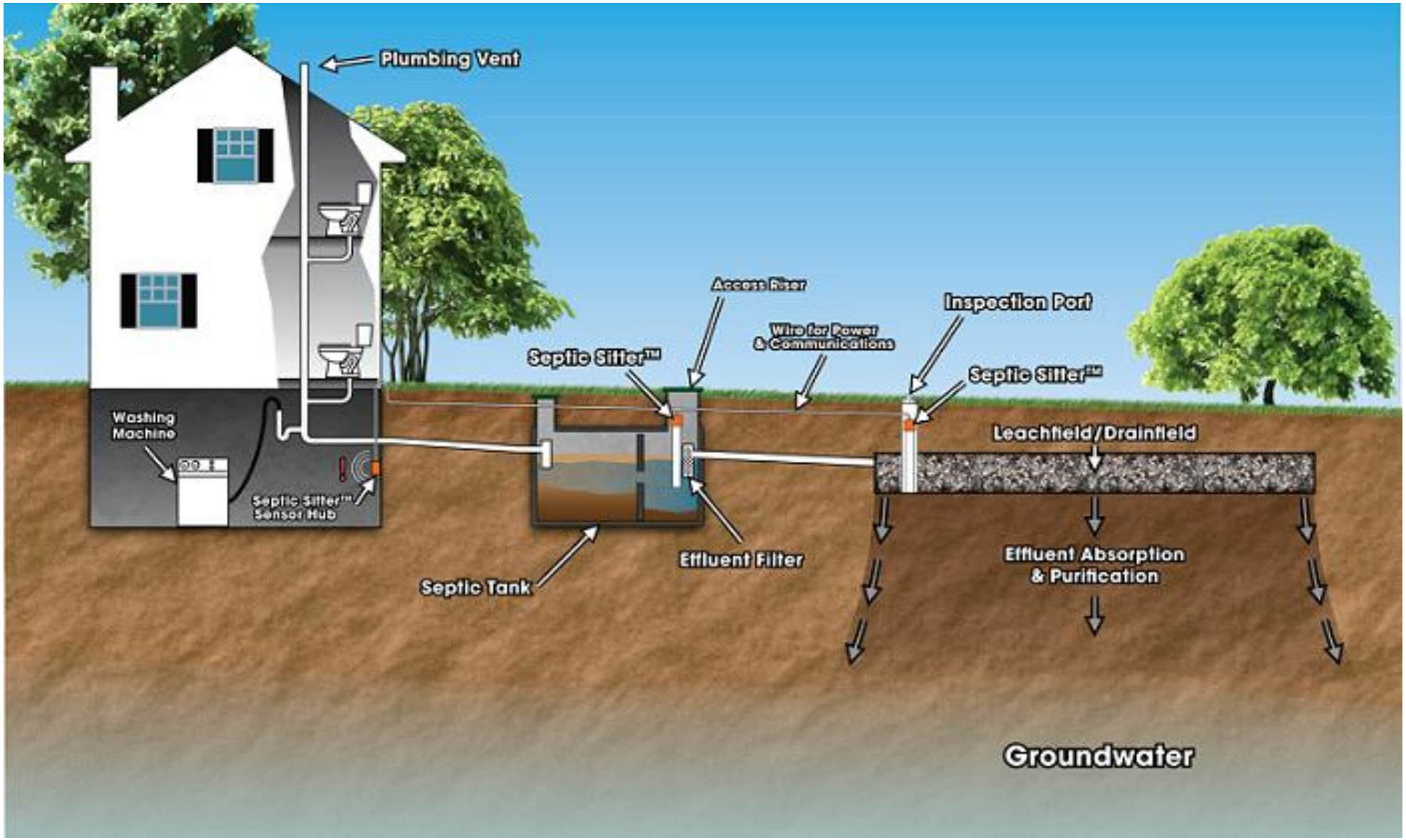
Greywater Source	Possible Contents
Automatic clothes washer	Suspended solids (dirt, lint), organic material, oil and grease, sodium, nitrates and phosphates (from detergent), increased salinity and pH, bleach
Automatic dishwasher	Organic material and suspended solids (from food), bacteria, increased salinity and pH, fat, oil and grease, detergent
Bathtub and shower	Bacteria, hair, organic material and suspended solids (skin, particles, lint), oil and grease, soap and detergent residue
Sinks, including kitchen	Bacteria, organic matter and suspended solids (food particles), fat, oil and grease, soap and detergent residue

Source: WHO-ROEM 2006


Treated greywater
Toilet flushing
Gardening and irrigation
Washing machines
Other applications:
- car washing
- fire fighting
- industrial use

روش های مختلف تصفیه غیرمتمرکز فاضلاب

سیستم سپتیک تانک و محیط جذب خاکی



- مرسوم ترین سیستم تصفیه فاضلاب شامل یک تانک سپتیک و یک محیط جذب خاکی می باشد که به سیستم فیلتر زیرسطحی فاضلاب نیزمرسوم است.

- تانک سپتیک یک راکتوربی هوازی استکه وظیفه حذف ذرات جامد معلق ومواد شناور در فاضلاب مثل چربی و روغن را بر عهده دارد.

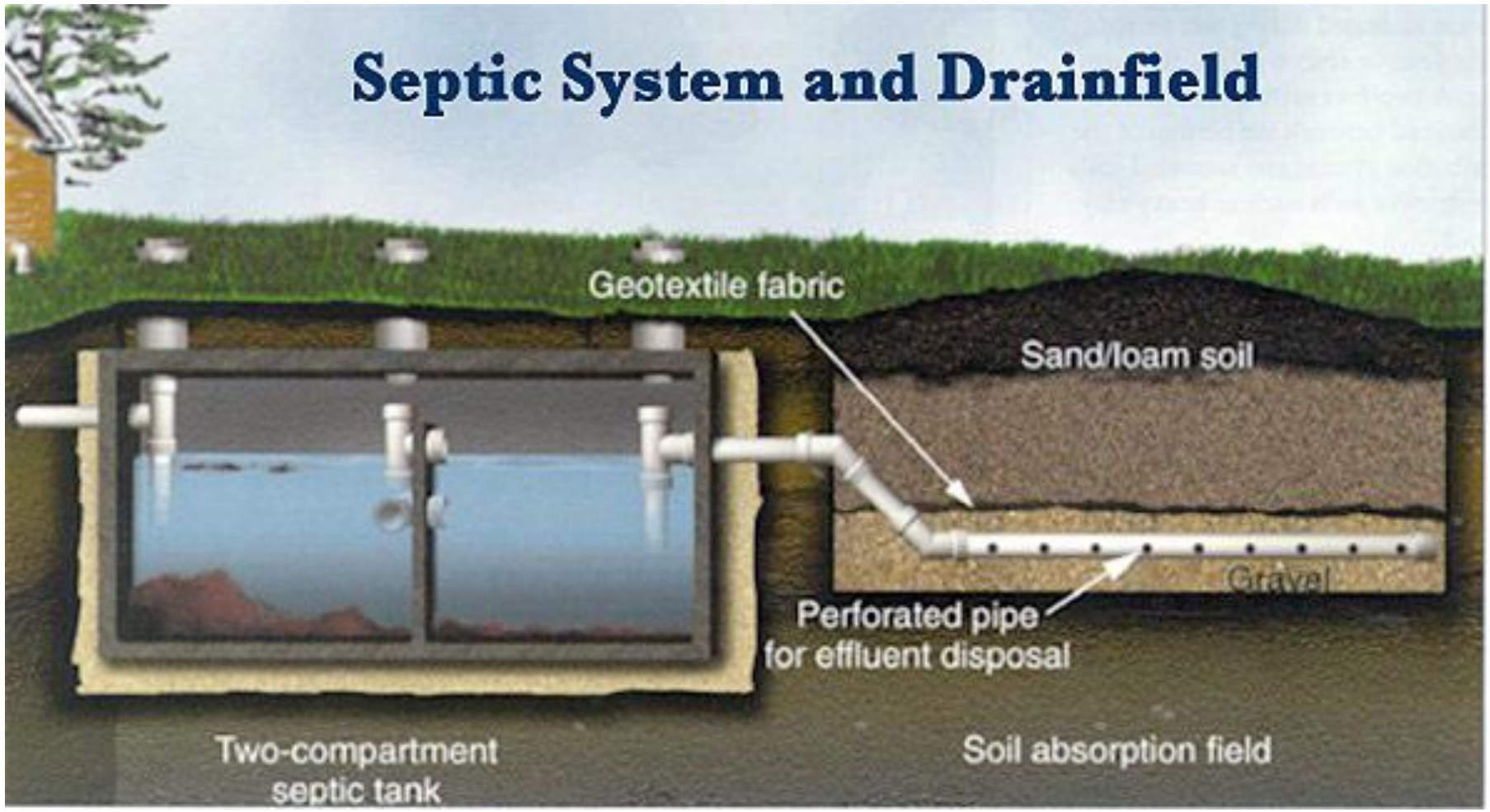
- خروجی از تانک سپتیک که حاوی پاتوژن هاو مواد مغذی(موادآلی قابل تجزیه) است وارد محیط متخلخل خاک شده تا طی فرایند های فیزیکی ،شیمیایی و بیولوژیکی تصفی شود.

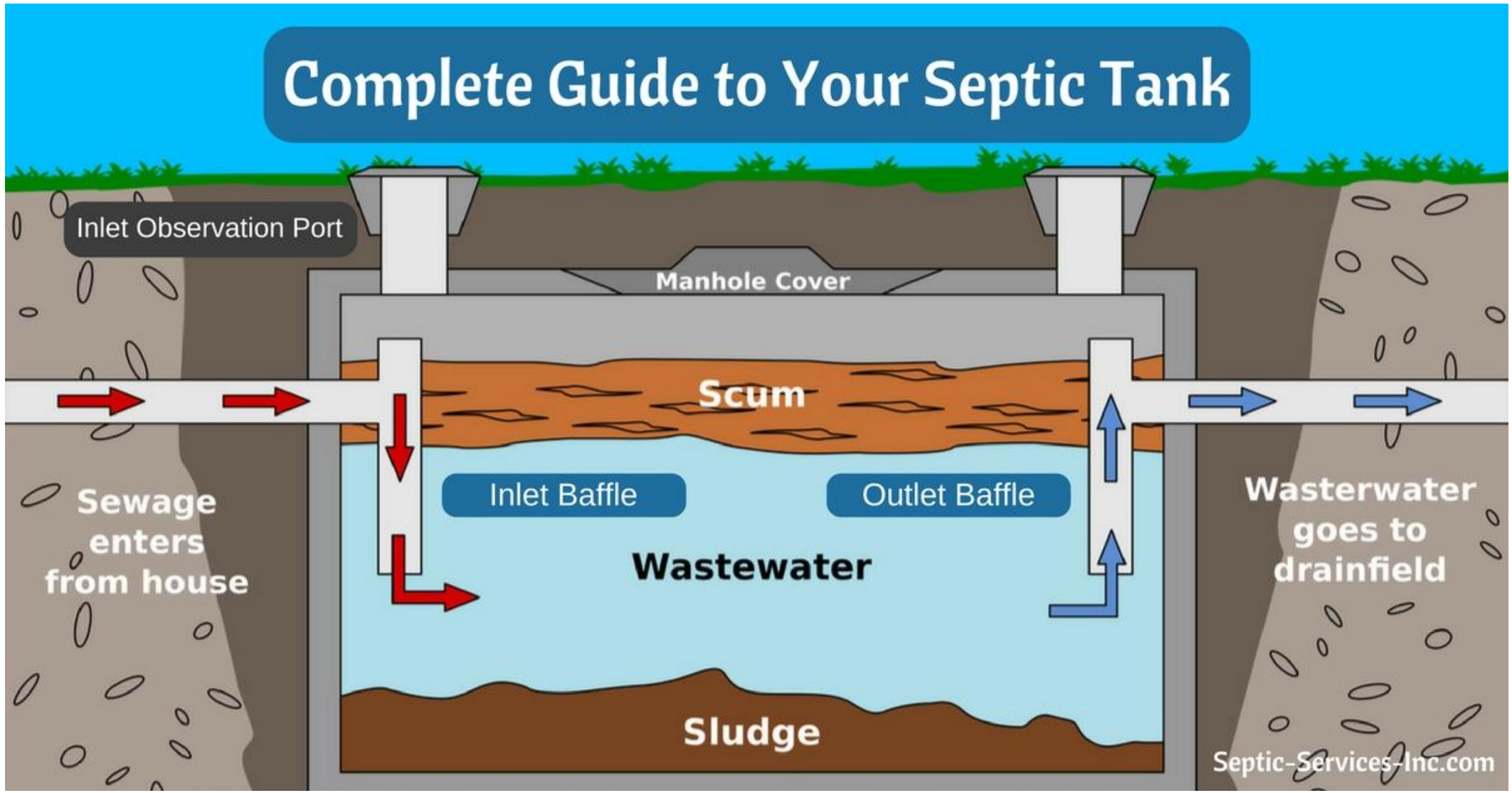
- این نوع سیستم در صورتی که جنس محیط فیلتر خاک مناسب بوده و سطح آب زیر زمینی بالا نباشد قادر به تصفیه فاظلاب و بهبود کیفیت آن به حدی استکه استاندارد های لازم در مورد حفظ سلامت انسان،کیفیت آب های زیر زمینی وآب های سطحی را تامین نماید.

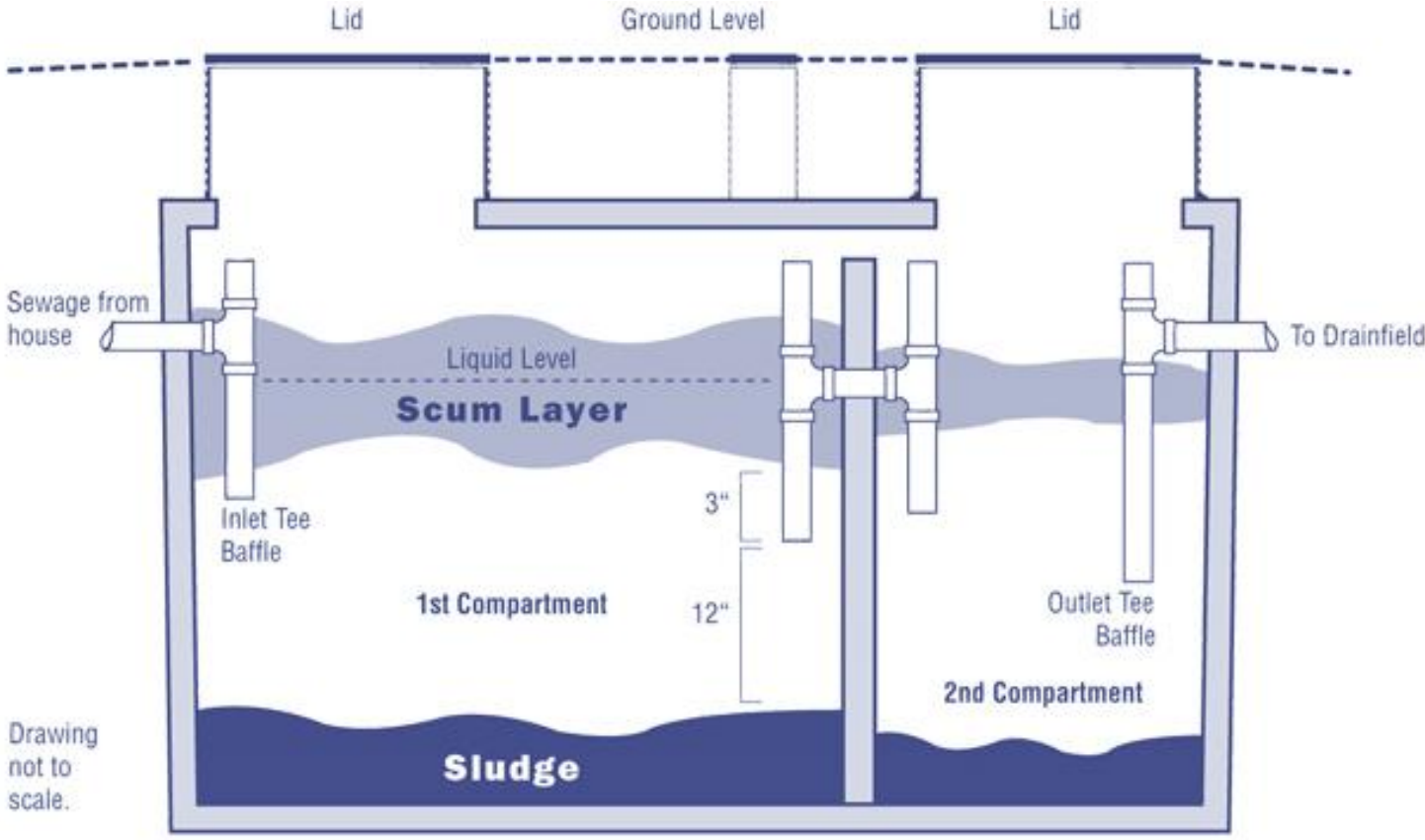
- طراحی اصولی و اجرا و استفاده درست این نوع سیستم ها میتواند تصفیه فاظلاب با کیفیت عالی را برای مدت زمان ۲۰سال یا بیشتر تضمین کند.

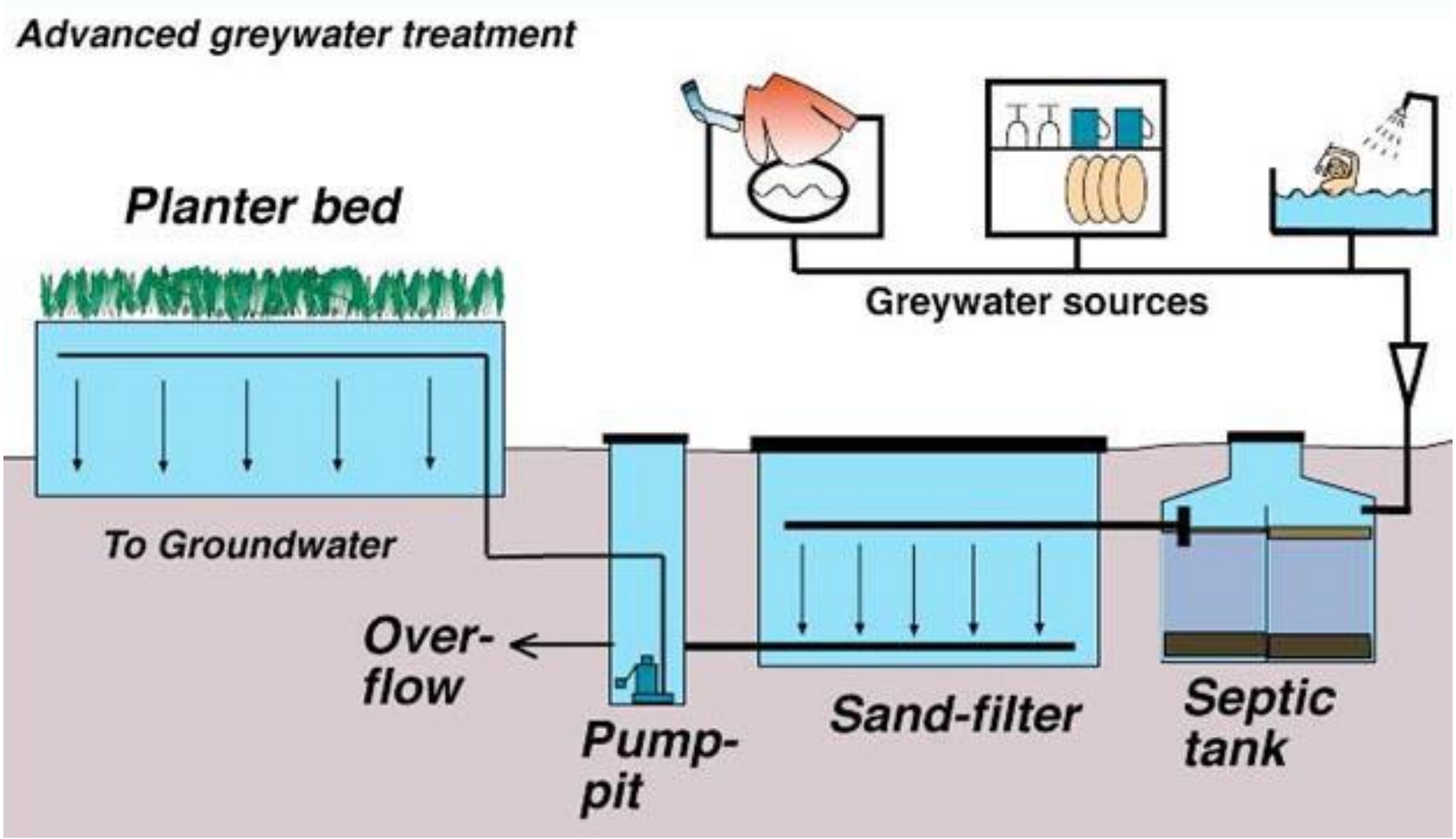
مهمترین نگرانی ها درخروجی سیستم های غیر متمرکز فاضلاب

پارامتر کیفی	اثرات زیست محیطی بر سلامت انسان و منابع آب
پاتوژن ها (انگل ها،باکتری ها،ویروس ها)	بیماری های همه گیردراثر تماس غیر مستقیم یا مستقیم انسان یا خوردن آب آلوده یا ماهی های آلوده و ...–پاتوژن ها مسافت های طولانی را درآب های سطحی یا زیرزمینی طی میکنند.
نیتروژن	ماده مغذی برای گیاهان آبزی استکه در فرایند مغذی سازی و مصرف اکسیژن محلول آب های سطحی شرکت میکند.(بویژه در دریاچه ها،خلیج ها،جلبک ها و سایر گیاهان ابزی باعث افزایش هالو متان ها در اب شده که میتواند اثرات سرطان زایی در آبهای شرب گندزدایی شده با کلر داشته باشد وجود بیش از اندازه نیترات–نیتروژن در آب شرب میتواند باعِث ایجاد سندرم بچه آبی در نوزادان شود(methemoglobinemia)
فسفر	فسفر نیز ماده مغذی برای گیاهان آبزی است که در فرایند مغذی سازی شرکت می کند.(phosphors-limited inland surface water) تولید بیش ازاندازه جلبک وسایر گیاهان آبزی در طول مغذی سازی باعث افزایش جمعیت باکتری های تجزیه کننده شده و مقدار اکسیژن محلول کاهش می یابد.


Septic System and Drainfield
Geotextile fabric
Sand/loam soil
Gravel
Perforated pipe
for effluent disposal
Two-compartment
septic tank
Soil absorption field

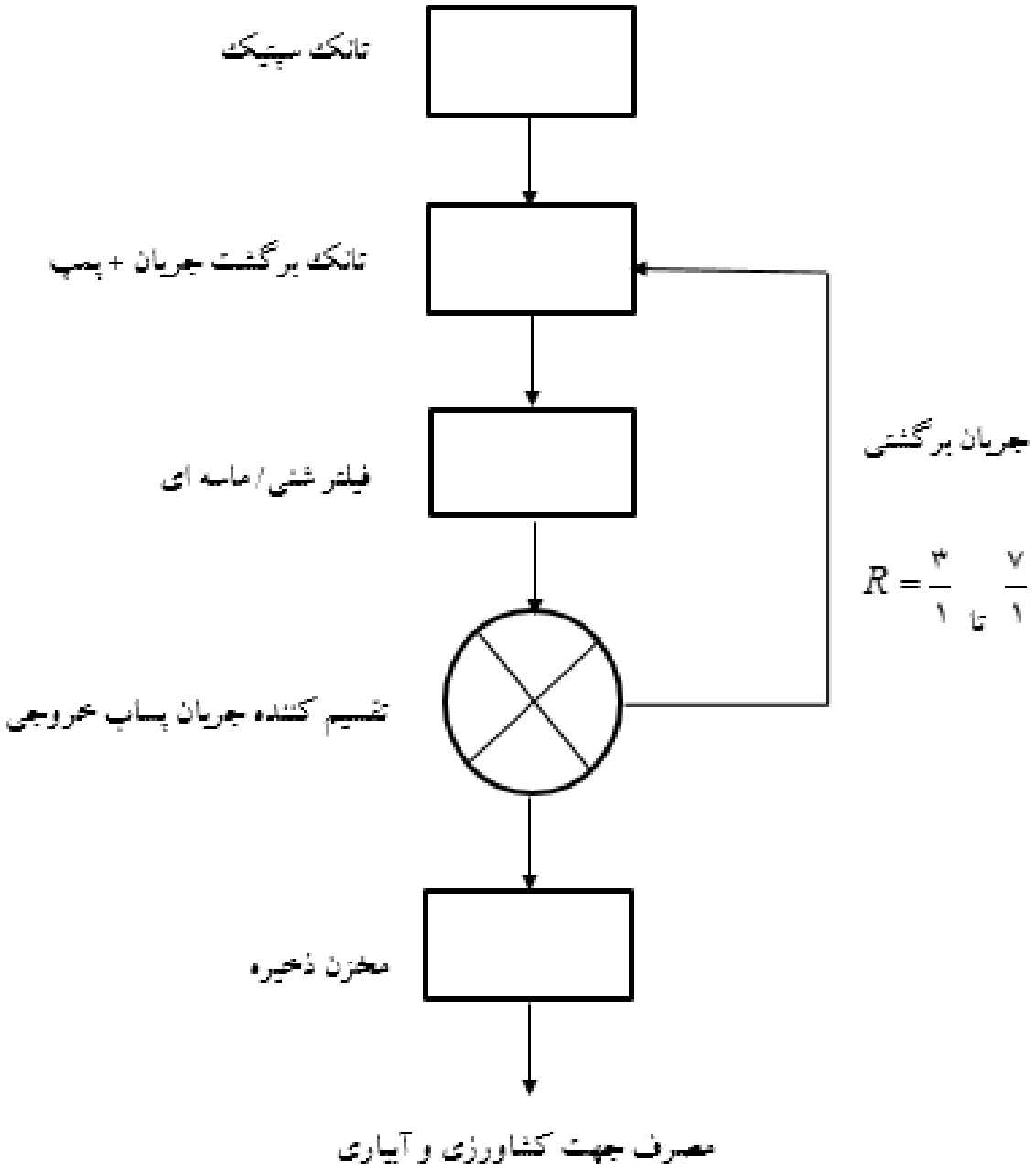

Complete Guide to Your Septic Tank
Inlet Observation Port
Manhole Cover
Scum
Inlet Baffle
Outlet Baffle
Wastewater
Sludge
Sewage enters from house
Wasterwater goes to drainfield
Septic-Services-Inc.com

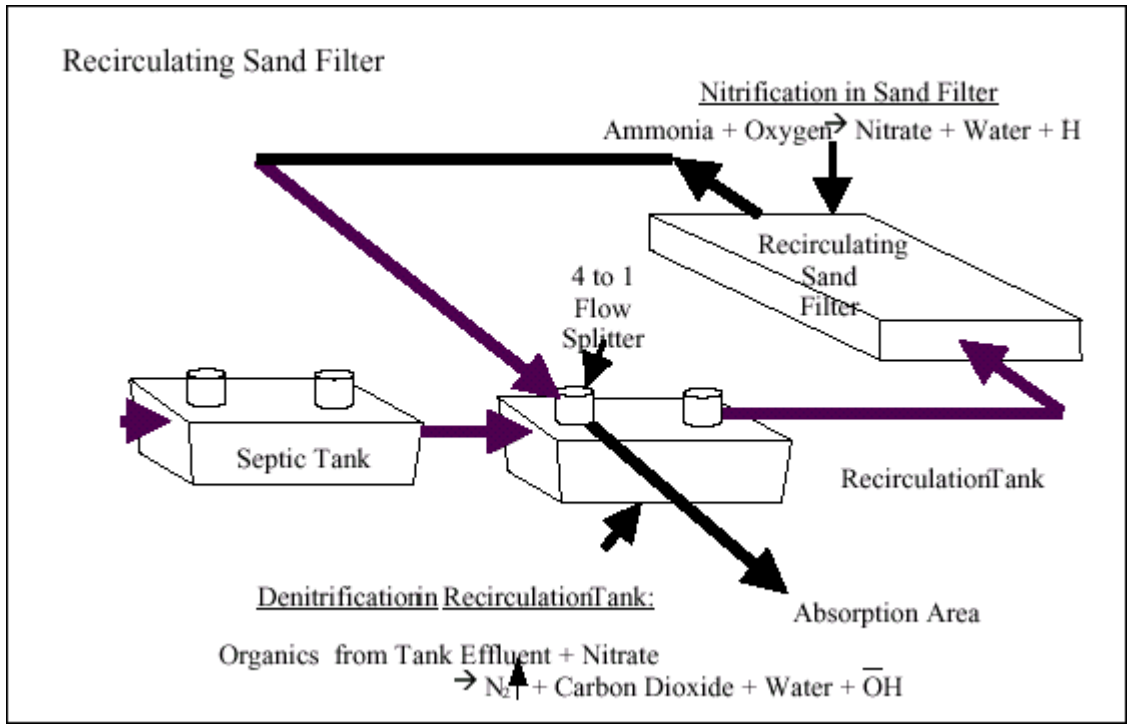

Lid
Ground Level
Lid
Sewage from house
Liquid Level
Scum Layer
To Drainfield
Inlet Tee Baffle
3"
1st Compartment
12"
Outlet Tee Baffle
2nd Compartment
Sludge
Drawing not to scale.


Advanced greywater treatment
Planter bed
Greywater sources
To Groundwater
Over-
flow
Pump-
pit
Sand-filter
Septic
tank

معرفی سیستم بیوفیلتر با جریان برگشتی

Recirculating Sand/Media Filter





- فاضلاب ابتدا وارد تانک سپتیک می شود. در این بخش، روغن و چربی از فاضلاب گرفته می شود و ذرات جامد معلق نیز ته نشین می شوند.

- یک نوع پیش تصفیه در این مخزن اتفاق افتاده و کیفیت فاضلاب ورودی به بستر فیلتر بهبود می یابد.
فرایند پیش تصفیه به صورت بی هوازی می باشد. بنابراین زمان ماند فاضلاب در این قسمت نباید بیشتر از ۲۴ ساعت باشد.

- مدت زمان ماند بیش از ۲۴ ساعت باعث افزایش فعالیت میکروبی و تولید بوی و کاهش اکسیژن محلول در فاضلاب می شود.

- فاضلاب خروجی از واحد پیش تصفیه وارد حوضچه برگشت جریان می شود. در این قسمت، فاضلاب خروجی از سپتیک با بخشی از پساب تصفیه شده توسط فیلتر (که BOD پایین و اکسیژن محلول بالایی دارد) مخلوط می شود و بر روی سطح فیلتر پخش می شود.

- رقیق شدن فاضلاب خروجی از تانک سپتیک مانع از ایجاد شرایط بی هوازی در فیلتر شده و از تولید بوی بد در بستر فیلتر جلوگیری می کند

مزایای RBF ها

1. *RBF* ها قادر به تولید پساب با کیفیت خوب و با کاهش قابل توجهی در نیتروژن می باشد.
   ۸۵٪ تا ۹۵٪ کاهش *BOD* و *TSS* در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است.
1. با طراحی مدولار، سیستم قادر به افزایش ظرفیت تصفیه فاضلاب می باشد.
2. مانیتورینگ *RBF* ها آسان بوده و نیاز به تجربه و تخصص برای اجرا ندارد.
3. مصالح محلی و ارزان مثل ماسه و شن قابل استفاده است.
4. هیچ ماده شیمیایی برای تصفیه فاضلاب نیاز ندارد.
5. در مقایسه با فیلترهای چندلایه ای مرسوم سطح زمین کمتری را اشغال می کند که دلیل آن اندازه بزرگتر مصالح فیلتر و در نتیجه نرخ بار هیدرولیکی بیشتر این سیستم می باشد.

راندمان حذف آلاینده های مختلف در سیستم RBFs

نوع پارامتر کیفی	راندمان حذف(٪)
BOD	90-98
کل نیتروژن	10-40
کل فسفر	85-95
کلی فرم مدفوعی	100-10000(2-4 Log) بار کوچکتر از مقدار اولیه

معایب ***RBF*** ها

1. در صورتیکه مصالح فیلتر محلی نباشد و از جاهای دیگر تامین شود فرایند تصفیه هزینه بر خواهد بود.
2. نگهداری و تعمیر پمپ و کنترل بخش های مختلف سیستم
3. عملکرد سیستم در هوای سرد ممکن است نیاز به تمهیدات خاص داشته باشد.

مکانیسم تصفیه فاضلاب

فرایند مصرف مواد آلی و تولید سلولهای جدید:

$$\text{مواد آلی} + \text{اکسیژن} + \text{میکروارگانیسم} \rightarrow O_2 + NH_3 + C_5H_7O_2 \left(\text{سلول های جدید}\right)$$

فرایند تجزیه سلول های جدید:

$$C_5H_7O_2 + 5O_2 + N \xrightarrow{\text{میکروارگانیسم}} 5CO_2 + 2H_2O + NH_3 + \text{انرژی}$$

فرایند نیتریفکاسیون و تبدیل آمونیم به نیتریت و نیترات:

$$2NH_3 + 3O_2 \xrightarrow{\text{میکروارگانیسم}} 2NO_2 + 2H + 2H_2O$$

$$2NO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{میکروارگانیسم}} 2NO_3$$

$$\boldsymbol{NO_3^-} + \text{کربن آلی} \longrightarrow \boldsymbol{NO_2^-} + \text{کربن آلی} \longrightarrow \boldsymbol{N_2 + CO_2 + H_2O}$$

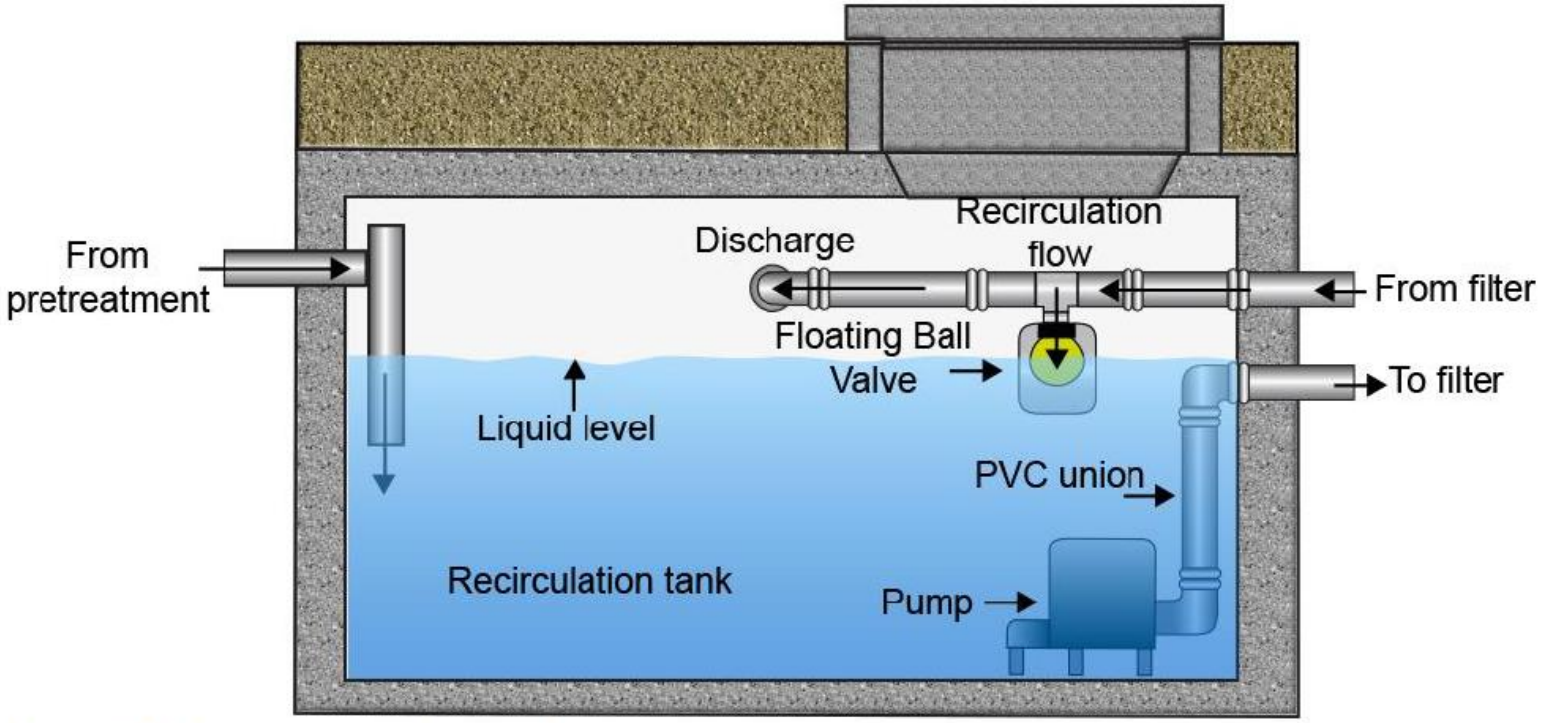
قسمت های مختلف سیستم تصفیه RBFs:

۱- تانک سپتیک

- در این قسمت باکتری ها بی هوازی فاضلاب ورودی را تا حدی تصفیه می کنند. این باکتری ها هم در ناحیه ته نشینی و هم در قسمت پایینی تانک که محل تجمع لجن است قرار دارند.

۲– حوضچه برگشت (دوزینگ) فاضلاب:

- در این حوضچه فاضلاب ورودی با بخشی از پساب برگشت داده شده از بیوفیلتر مخلوط شده و بر روی بستر فیلتر پخش می شود.



۳– محیط متخلخل فیلتر:

- مرسوم ترین مصالح مورد استفاده در بیوفیلترهای با جریان برگشتی ماسه درشت و شن ریز می باشد.
- کوچکترین دانه بندی استفاده شده توسط این سیتم اندازه موثر ۰.۳ میلی متر است
- هر چقدر دانه ها ریزتر باشند احتمال گرفتگی فیلتر وجود دارد.
- به جز شن و ماسه می توان از مواد دیگری مثل خرده شیشه، ذغال سنگ، الیاف های مصنوعی و ... نیز استفاده نمود.

آب بندی بدنه فیلتر

مصالح فیلتر و شبکه توزیع فاضلاب

یک مصالح ایده ال برای شرایط (خواص) زیر را داشته باشد:

۱ – نسبت سطح جانبی به حجم بالای داشته باشد

۲ – منافذ موجود به اندازه کافی بزرگ باشد تا هوا سریع به داخل بستر فیلتر نفوذ کند و حداقل گرفتگی منافذ ایجاد شود .

۳ – خواص فرسایشی خوبی داشته باشد از جمله مقاومت در برابر اشعه UV در صورتی که در تماس با نور خورشید قرار گیرد را داشته باشد، به صورت فیزیکی سالم باشد، حلالیت کمی در آب با شرایط اسیدی محیط داشته باشد و به لحاظ هزینه ای مقرون به صرفه بوده و در دسترس باشد.

اندازه دانه ها تاثیر زیادی بر عملکرد فیلتر دارد. افزایش اندازه دانه ها اثرات زیر را به دنبال دارد:

۱ – افزایش زمان گرفتگی منافذ بستر فیلتر

۲ – کاهش هزینه نگهداری و تعمیر

۳ – امکان افزایش نرخ بار هیدرولیکی و کاهش سطح اشغال فیلتر

۴ – افزایش عمر فیلتر

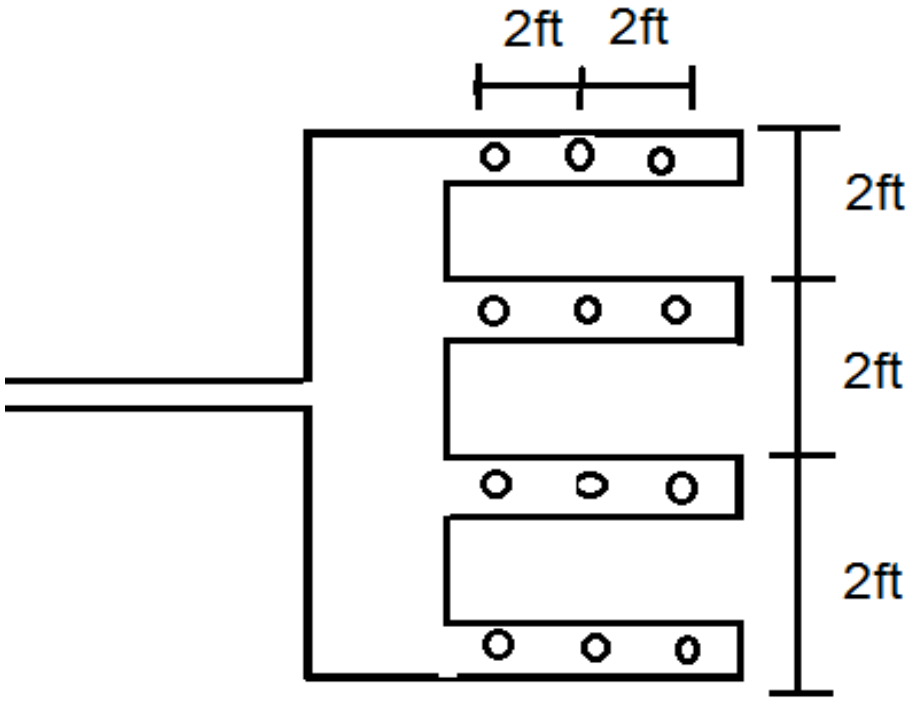
۵ – کاهش خطر یخ زدگی .

معیارهای طراحی بیوفیلتر ماسه ای

فاکتور طراحی	واحد	محدوده مجاز	مقادیر متوسط
اندازه مصالح	mm	0.25-0.75	0.35
ضریب یکنواختی دانه ها		<4	3.5
عمق فیلتر	in	18-36	24

۴- سیستم توزیع فاضلاب

- فاضلاب توسط پمپ دوزینک روی سطح بستر فیلتر توزیع می شود و از طریق یک سری افشانک روی سطح فیلتر پاشیده می شود
- بهترین روش رسیدن به این توزیع یکنواخت فاضلاب این است که افشانه ها درطول لوله های توزیع و به صورت عمود بر آن درفواصل نزدیک به هم قرار داشته باشند.
- قطر افشانه ها یک هشتم اینچ انتخاب می شود.
- جریان فاضلاب در سیستم توزیع فاضلاب روی بستر فیلتر نباید در فاصله بین هر دو مرحله دوزینگ یخ بزند. برای این منظور اولین و آخرین افشانه در هر شاخه از سیستم توزیع به سمت پایین قرار داده می شود تا تخلیه فاضلاب از طریق آنها به آسانی انجام شود و فاضلاب در لوله نماند.



سیستم توزیع فاضلاب روی بستر فیلتر

- معمولا به منظور محافظت از شبکه توزیع فاضلاب در مقابل هوای سرد و یا نور خورشید روی شبکه توزیع فاضلاب را با لایه ای از شن درشت می پوشانند.

نحوه اجرای پوشش شنی روی شبکه توزیع فاضلاب (شکل سمت راست) و سیستم توزیه فاضلاب روی بستر فیلتر (شکل سمت چپ)

تعداد نازل ها و سطح مورد نیاز فیلتر بر حسب دبی فاضلاب پمپ شده

فاضلاب دبی پمپ شده(گالن/دقیقه)	تعداد نازلها	سطح مورد نیاز(ft^2)
10	23	93
20	46	185
30	69	278
40	93	370
50	116	463

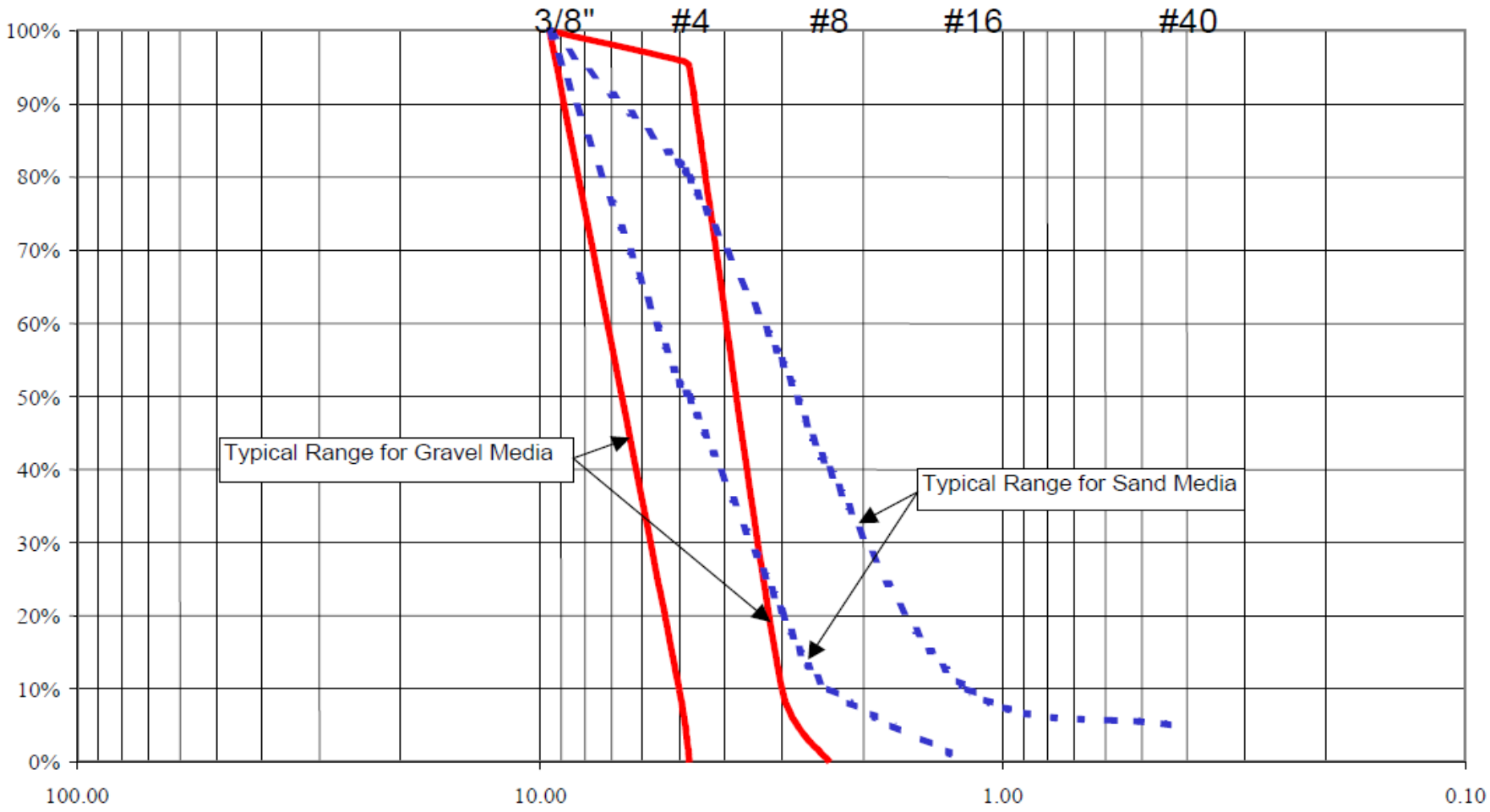
۵- سیستم جمع آوری و زهکشی فاضلاب (فیلتر) :

دانه بندی لایه ی پایین زهکشی

درصد وزنی عبوری	اندازه الک
۱۰۰درصد	1 “
۹۰ تا ۱۰۰درصد	3/4 “
۲۰ تا ۵۵ درصد	3/8”
صفر تا ۱۰ درصد	#4

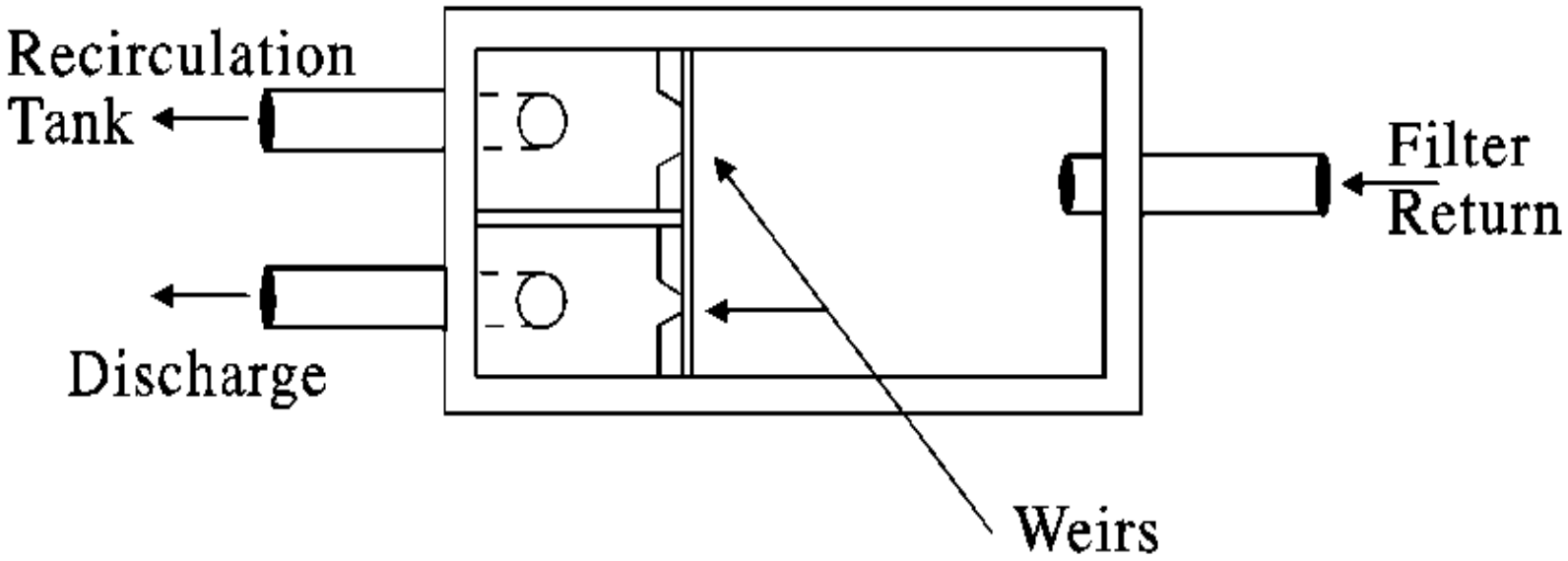
دانه بندی لایه ی بالای زهکشی

درصد وزنی عبوری	اندازه الک
۱۰۰درصد	1/2”
۵۰ تا ۱۰۰درصد	3/8”
۶ تا ۸۴ درصد	.۴NO
صفر تا ۲۹ درصد	.۸NO
صفر تا ۱۰ درصد	.NO 16

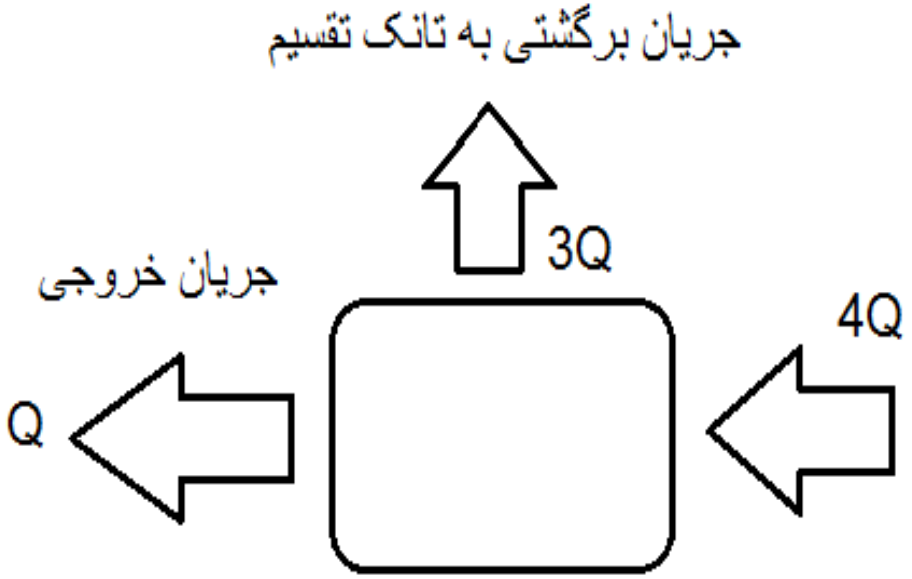


منحنی توزیع دانه بندی ماسه و شن در سیستم RBF

۶- تقسیم و برگشت جریان Flow splitting & Recirculation



$$R = \frac{\text{Q برگشت مخزن تقسیم}}{\text{Q خروجی}}$$



نحوه محاسبه نسبت جریان برگشتی

- نسبت جریان برگشتی R بین $\frac{3}{1}$ تا $\frac{7}{1}$ بوده و معمولا $\frac{4}{1}$ انتخاب می شود

پارامترهای طراحی بیوفیلتر:

مهمترین پارامترهایی که باید توجه ویژه ای به آن داشت عبارتند از:

- نرخ بار هیدرولیکی،
- نسبت جریان برگشتی،
- تناوب جریان فاضلاب عبوری از فیلتر،
- نرخ بار آلی
- عمق فیلتر

- نرخ بار هیدرولیکی RBF ها بر اساس حداکثر دبی فاضلاب بین ۰/۱۲ تا ۰/۲۴ متر مکعب فاضلاب بر متر مربع سطح فیلتر در روز متغیر است که به اندازه فیلتر بستگی دارد.

- مقدار HLR در بیوفیلترهای ماسه ای در محدوده ۰/۱۲-۰/۲ $m^3/m^2/d$

- در بیوفیلترهای شنی در محدوده ۰/۴-۰/۶ $m^3/m^2/d$ مقادیر مناسبی است

- با افزایش ضریب نفوذ پذیری مصالح فیلتر و به منظور رسیدن به تصفیه مناسب باید از مقادیر بزرگتر نسبت جریان برگشتی استفاده نمود

تناوب جریان فاضلاب عبوری از فیلتر:

- منظور از این پارامتر تعداد دفعاتی است که جریان فاضلاب عبوری از فیلتر توسط یک تایمر قطع و وصل می شود.
- به ازای یک دبی ثابت فاضلاب، هر چقدر این عدد بزرگتر انتخاب شود، راندمان حذف ذرات از فاضلاب بیشتر شده و امکان عبور جریان فاضلاب با نرخ بار هیدرولیکی بزرگتر وجود دارد.
- مقدار این عدد به شدت متاثر از مشخصات مصالح فیلتر دارد.
- هدف از قطع و وصل کردن جریان فاضلاب عبوری از فیلتر این است که بستر فیلتر زمان کافی برای هوادهی در خلال هر بار عبور فاضلاب داشته باشد. با کاهش اندازه موثر ذرات، مدت زمان لازم برای تنفس فیلتر افزایش می یابد.
- مقدار این عدد در RBF ها ۲ تا ۳ بار در ساعت یا ۴۸ تا ۷۲ بار در روز می باشد

عمق فیلتر:

- یکی دیگر از پارامترهای موثر بر عملکرد RBF ها عمق فیلتر است.
- مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف نشان داده است که عمده فرایند تصفیه فاضلاب در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری از سطح فیلتر اتفاق می افتد.
- انتخاب عمق بیشتر از این محدوده برای اطمینان از یکنواخت بودن کیفیت پساب خروجی از فیلتر می باشد.
- یکی دیگر از دلایل استفاده از فیلترهای عمیق تر این است که فرایند نیتریفیکاسیون معمولا در اعماق پایین تر فیلتر اتفاق می افتد.
- معمولا عمق فیلتر ها بین ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی متر انتخاب می شود.

نرخ بار آلی (OLR):

- نرخ بار آلی تاثیر زیادی بر میزان گرفتگی بستر فیلتر دارد.

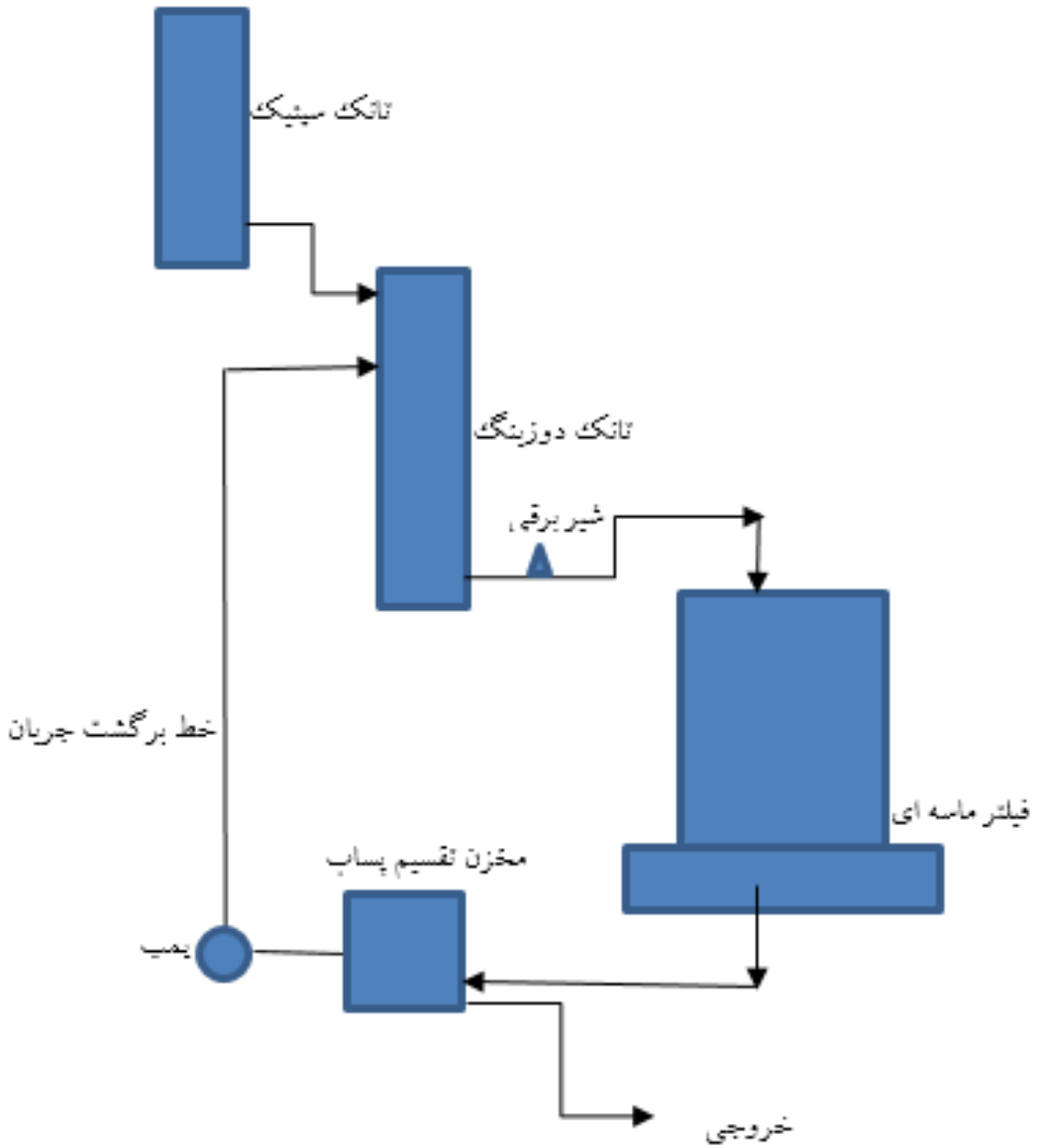
- با افزایش جرم زنده روی سطح دانه های فیلتر، اندازه منافذ و نفوذپذیری مصالح فیلتر کاهش می یابد. اگر نرخ بار آلی زیاد باشد، مقدار جرم زنده به حدی افزایش می یابد که لایه سطحی فیلتر گرفته شده و قادر به عبور و تصفیه فاضلاب نخواهد بود.

- اگر مقدار نرخ بار آلی کم باشد، مقدار مواد آلی مورد نیاز برای رشد میکروارگانیسم ها کاهش یافته و در نتیجه به دلیل کمبود غذا، میکروارگانیم ها وارد فاز خودخوری شده و باعث مرگ جرم زنده می شود.

- پیشنهاد می شود که نرخ بار آلی باید کمتر از ۰/۰۳ کیلوگرم BOD بر متر مربع بر روز در فیلترهای ماسه ای انتخاب شود.

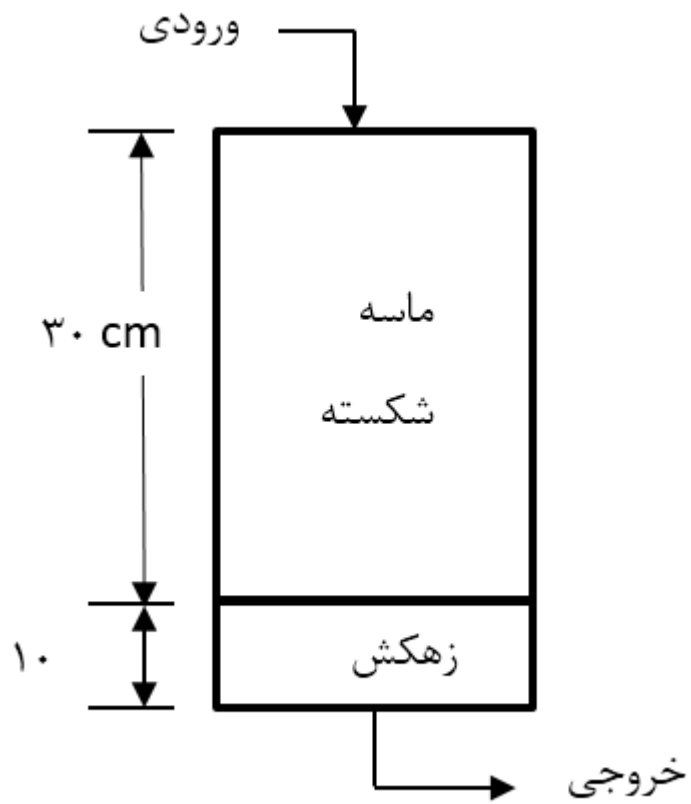
- نرخ بار آلی در فیلترهای شنی را می توان ۰/۱ kg/m2/d در نظر گرفت

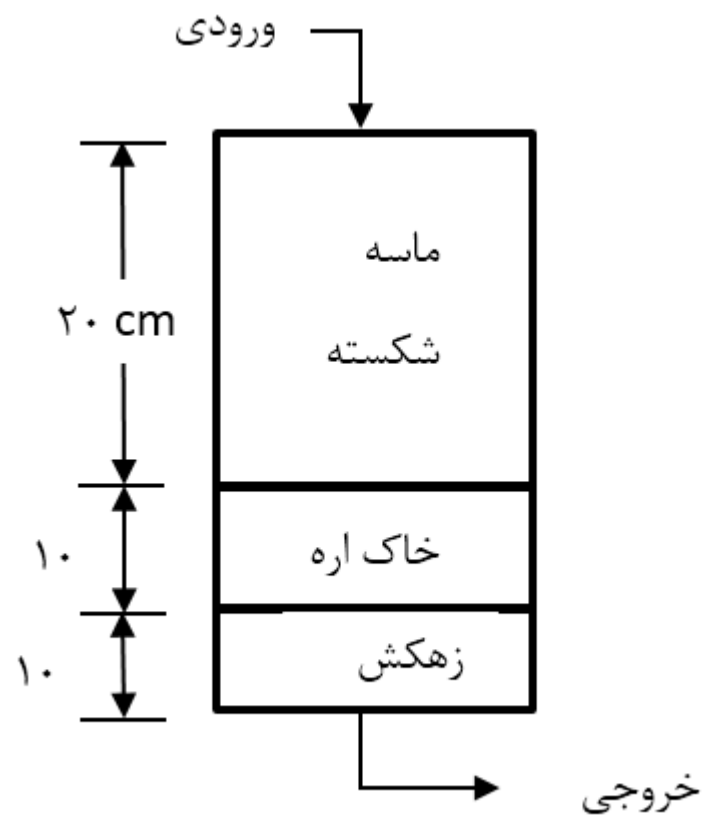
مدل آزمایشگاهی سیستم RBF



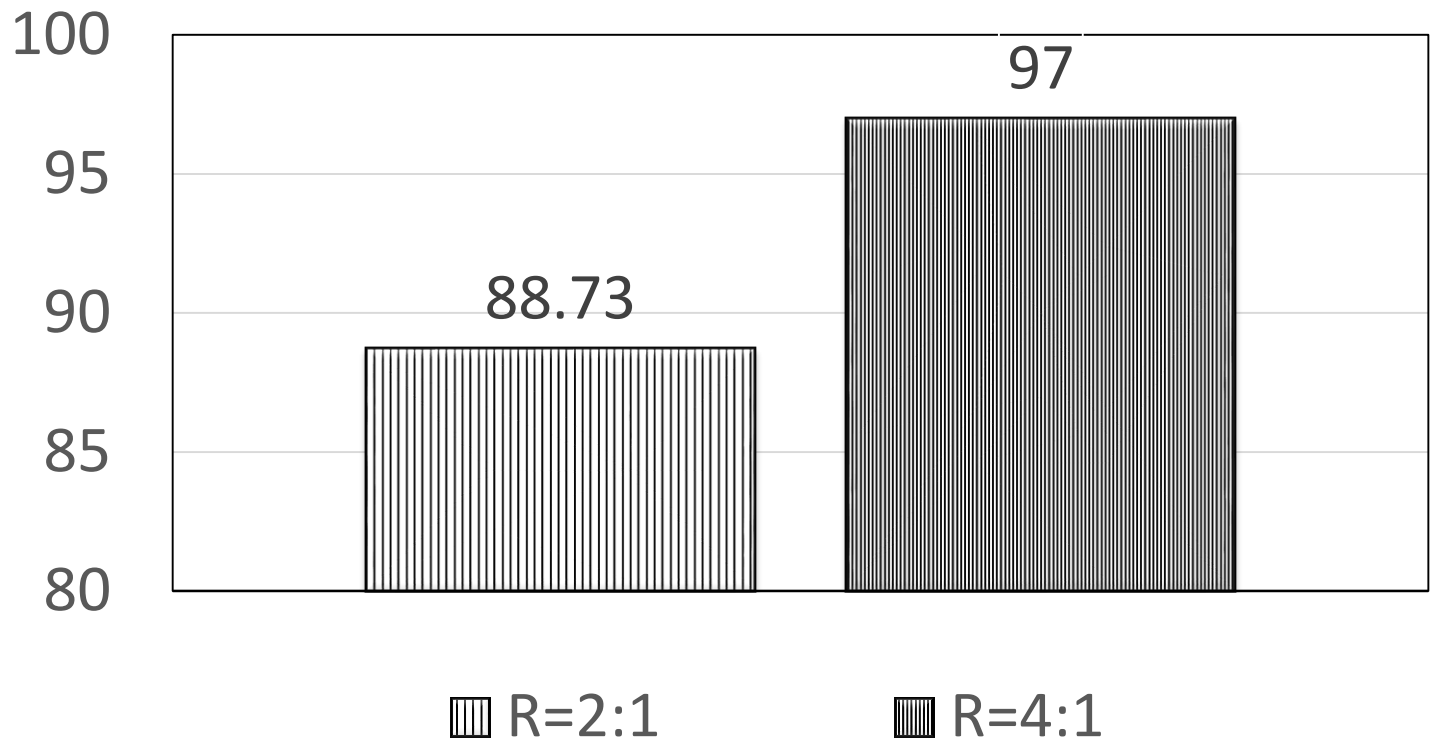
ردیف	جنس فیلتر	تناوب دوزینگ (تعداد در روز)	HLR ($m^3/m^2.day$)	نسبت جریان برگشتی
۱	ماسه	۴۸	۱۲/۰	۲:۱
۲	ماسه	۴۸	۲/۰	۲:۱
۳	ماسه	۴۸	۱۲/۰	۴:۱
۴	ماسه	۴۸	۲/۰	۴:۱
۵	ماسه+ خاک اره	۴۸	۲/۰	۳:۱

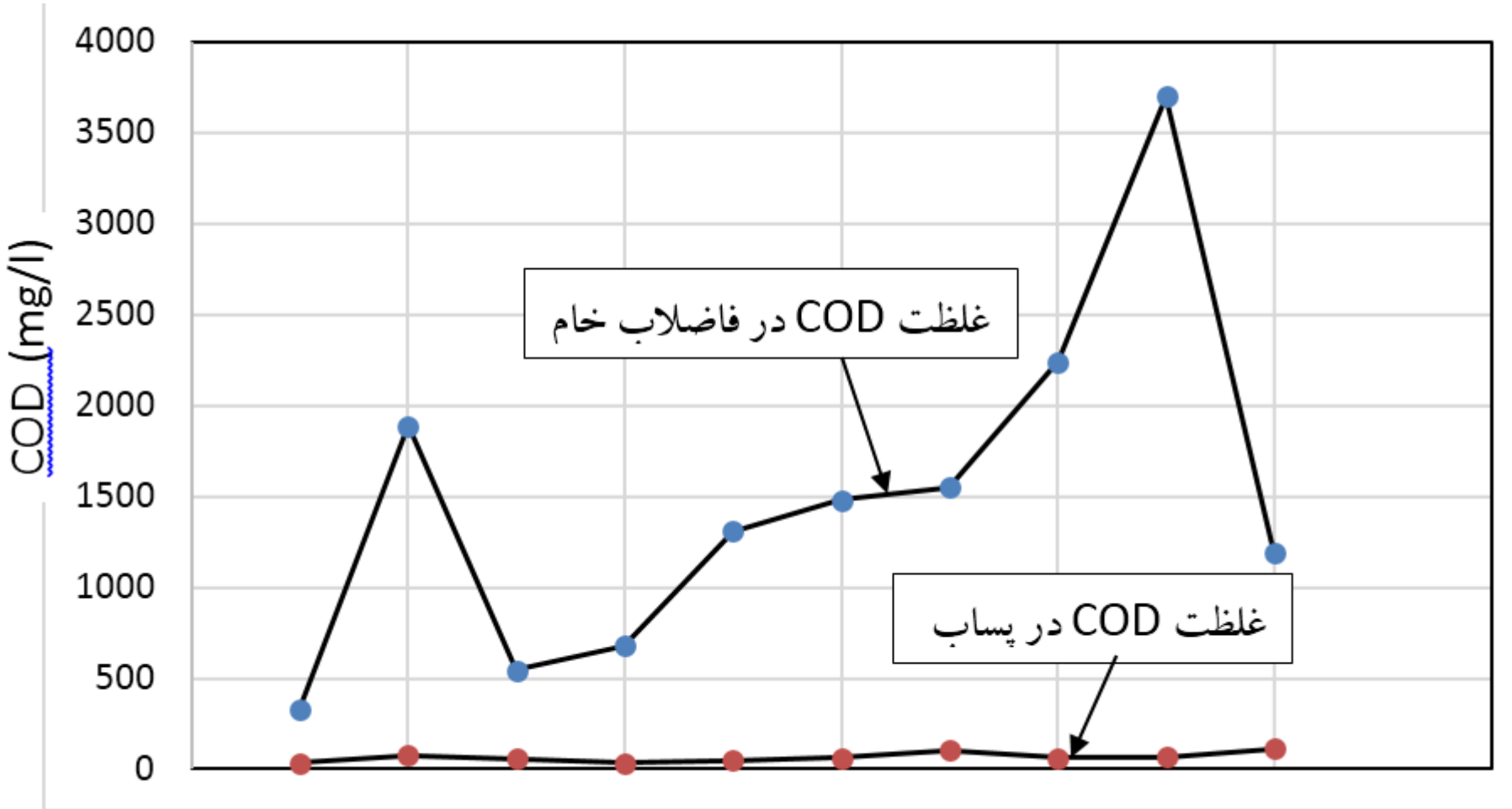
RBFS


ورودی
ماسه
شکسته
۳۰ cm
زهکش
۱۰
خروجی

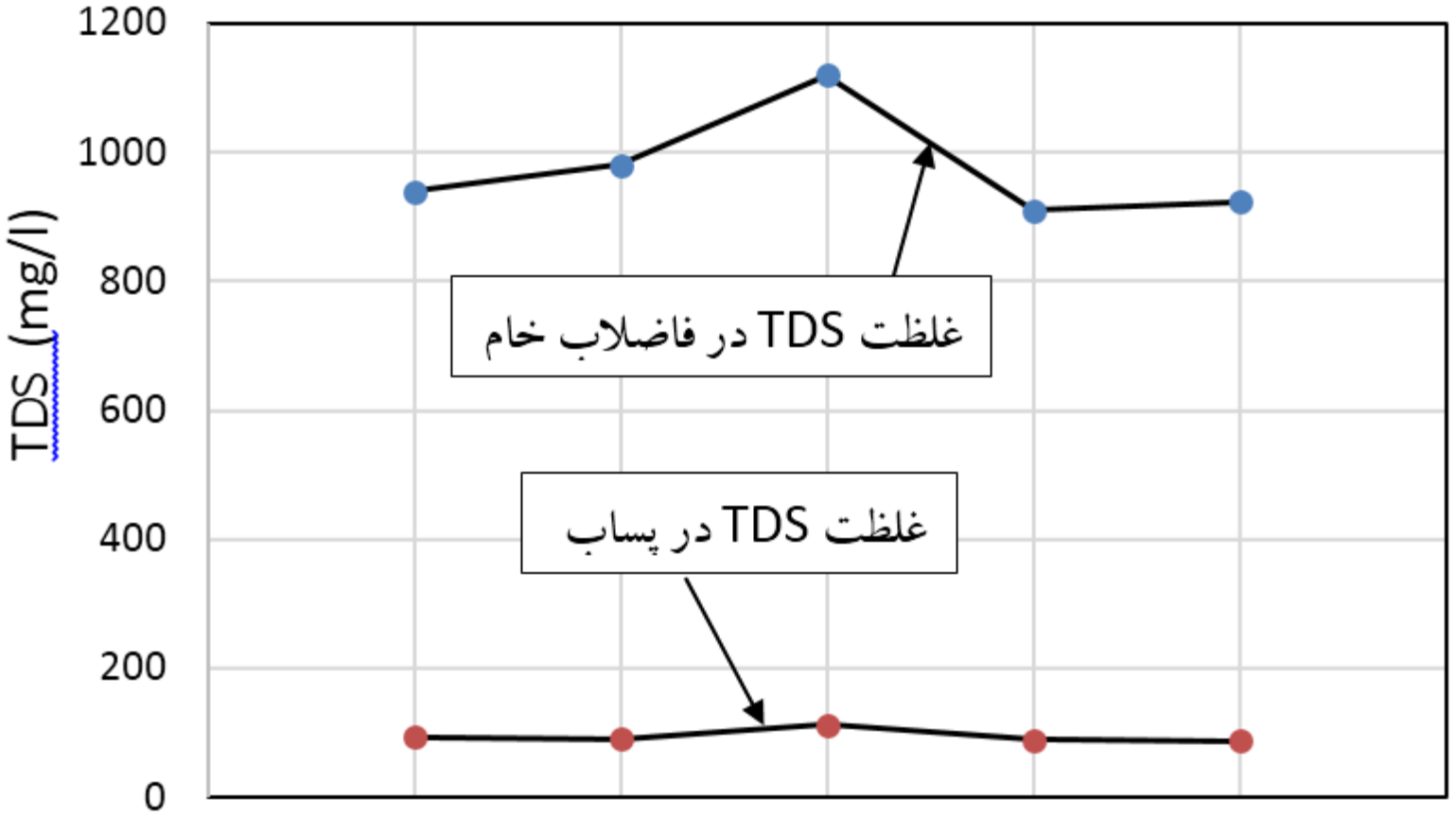

ورودی
ماسه
شکسته
۲۰ cm
خاک اره
۱۰
زهکش
۱۰
خروجی

تاثیر نسبت جریان برگشتی بر راندمان حذف COD به ازای نرخ بار هیدرولیکی ۰/۲

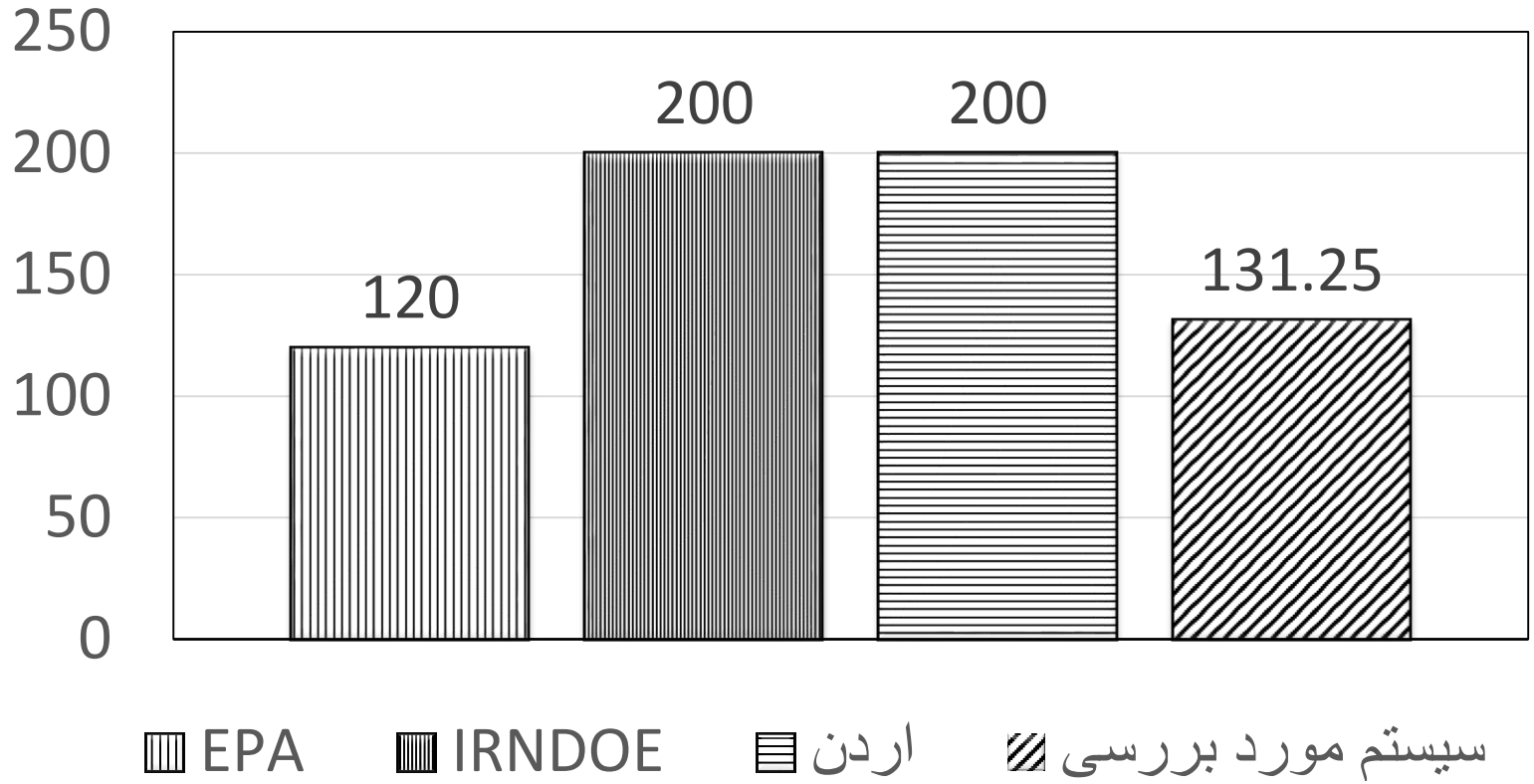




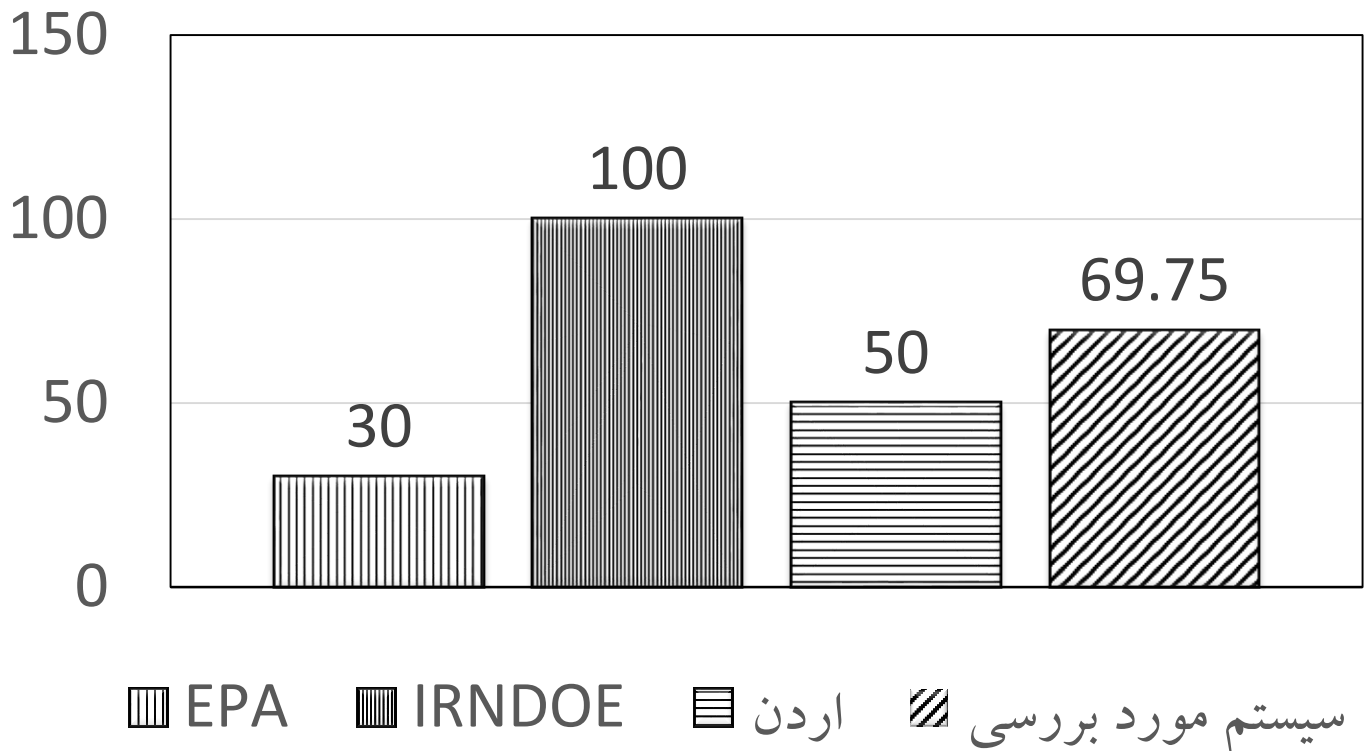
تغییرات غلظت **COD** در فاضلاب ورودی به سیستم و پساب خروجی از آن



تغییرات غلظت TDS در فاضلاب ورودی به سیستم و پساب خروجی از آن

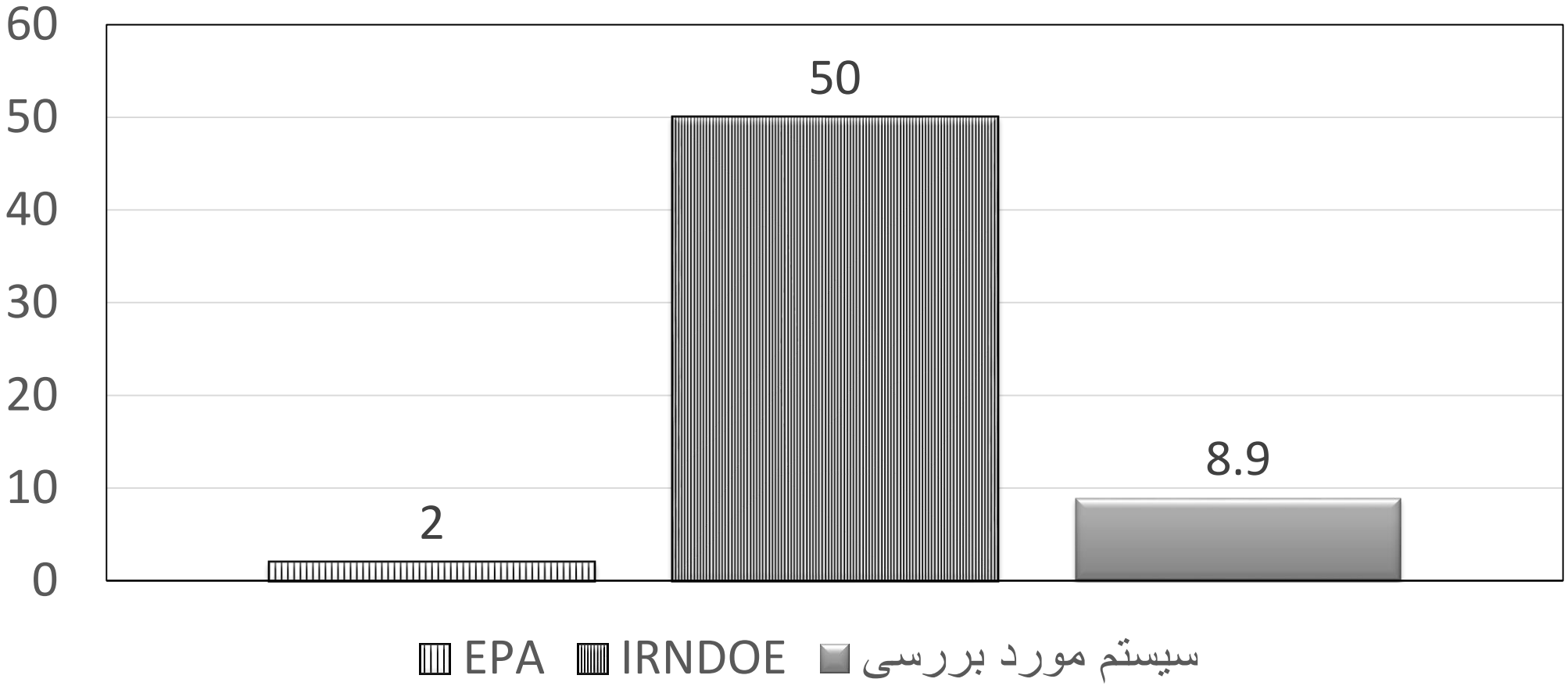


مقایسه متوسط COD پساب با مقادیر استاندارد



مقایسه متوسط BOD پساب با مقادیر استاندارد

مقایسه متوسط غلظت NO3 پساب با مقادیر استاندارد



مقایسه متوسط غلظت کدورت پساب با مقادیر استاندارد