

جمهوری اسلامی ایران  
ریاست جمهوری  
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

# راهنمای طراحی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

نشریه شماره ۴۰۵

وزارت نیرو

دفتر نظام مهندسی و استانداردهای آب و آبفا

<http://www.wrm.ir/standard>

معاونت امور فنی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها

و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

<http://tec.mporg.ir>



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

شماره:	۱۰۰/۸۹۶۵۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۸۶/۷/۷	

موضوع:

راهنمای طراحی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۰۵ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، با عنوان «راهنمای طراحی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله ارسال کنند.

امیر منصور برقی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور



omoorepeyman.ir

۴۳۴۹۹۴



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
  - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
  - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
  - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ‌بهایی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله - صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷  
Email: [tsb.dta@mporg.ir](mailto:tsb.dta@mporg.ir) web: <http://tec.mporg.ir/>





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ هـ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است.

باتوجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای صنعت آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی (دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) به استناد آیین‌نامه اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی؛
  - استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی؛
  - بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت؛
  - پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور؛
  - توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات تهیه‌کننده استاندارد.
- ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند. با همه‌ی تلاش انجام‌شده قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که این‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پایان، از تلاش و جدیت مدیرکل محترم دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید، معاون و کارشناس دفتر آقای مهندس علیرضا دولتشاهی و خانم مهندس فرزانه آقارمضانعلی در هدایت امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

حبیب امین فر - معاون امور فنی

۱۳۸۶



:

:

)

(

:

...



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	۱- هدف
۲	۲- دامنه کاربرد
۲	۳- آشنایی با فرآیندهای تصفیه فاضلاب
۲	۱-۳ روشهای تصفیه فاضلاب
۴	۲-۳ واحدهای متداول در تصفیه فاضلاب
۵	۳-۳ تصفیه و دفع لجن
۷	۴- مبانی هیدرولیکی
۷	۱-۴ کلیات
۷	۲-۴ انواع جریان
۷	۳-۴ بررسی افت ارتفاع جریان در مجاری تحت فشار یا لوله
۷	۱-۳-۴ رابطه داریسی - وایسباخ
۹	۲-۳-۴ رابطه هیزن - ویلیامز
۱۰	۳-۳-۴ محاسبه افتهای موضعی
۱۲	۴-۴ نکات هیدرولیکی مهم در طراحی مجاری تحت فشار
۱۳	۵-۴ جریان در کانالهای باز
۱۳	۱-۵-۴ محاسبات در جریان یکنواخت و دائم
۱۴	۲-۵-۴ ارتفاع آزاد
۱۴	۳-۵-۴ افتهای موضعی در کانالهای باز
۱۷	۴-۵-۴ محاسبه عمق بحرانی
۱۷	۵-۵-۴ جریان دائم و غیر یکنواخت
۱۷	۶-۵-۴ جریان متغیر تدریجی
۱۸	۷-۵-۴ جریان متغیر سریع
۱۹	۸-۵-۴ جریان متغیر مکانی
۲۷	۶-۴ سیستمهای توزیع جریان
۲۹	۱-۶-۴ محاسبه افت ارتفاع در طول آبراهه توزیع
۲۹	۲-۶-۴ محاسبه افت ارتفاع در مسیر انشعاب



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۱	۵- هیدرولیک لجن
۳۱	۵-۱ خطوط انتقال لجن
۳۲	۵-۲ افت ارتفاع اصطکاکی در رژیم جریان لایه‌ای
۳۳	۵-۳ افتهای اصطکاکی در شرایط جریان آشفته
۳۴	۵-۴ روش دیگر محاسبه افت ارتفاع
۳۴	۵-۵ افتهای موضعی
۳۶	۶- هیدرولیک سازه‌ها
۳۶	۶-۱ سرریز
۳۶	۶-۱-۱ سرریزهای لبه تیز با جریان آزاد
۳۸	۶-۱-۲ سرریزهای لبه پهن
۳۹	۶-۱-۳ سرریز مستغرق
۴۰	۶-۲ دریچه
۴۱	۶-۲-۱ دریچه کشویی با جریان آزاد و خروجی آزاد
۴۲	۶-۲-۲ دریچه‌های کشویی با خروجی مستغرق
۴۲	۶-۲-۳ دریچه‌های با جریان آزاد در ابتدای لوله
۴۳	۶-۳ آبرو
۴۴	۶-۳-۱ مقطع دایره‌ای و ورودی غیر مستغرق
۴۴	۶-۳-۲ مقطع مستطیلی
۴۶	۷- هیدرولیک تلمبه‌ها
۴۶	۷-۱ مبانی هیدرولیکی
۴۶	۷-۱-۱ ارتفاع
۴۷	۷-۱-۲ منحنیهای مشخصه
۴۷	۷-۱-۳ منحنی ارتفاع-بده
۴۹	۷-۱-۴ ارتفاع مکش مثبت خالص (NPSH)
۴۹	۷-۲ انواع تلمبه‌ها و کاربرد آنها
۴۹	۷-۲-۱ هیدرولیک لوله مکش
۵۰	۷-۲-۲ منحنی سیستم



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۵۱	۳-۷ تلمبه‌زنی لجن و کفاب
۵۲	۸- هیدرولیک مقاطع اندازه‌گیری جریان
۵۳	۸-۱ نکات هیدرولیکی مهم در طراحی ناودان پارشال
۵۵	۸-۲ انواع ناودان پارشال
۵۵	۸-۳ محاسبه بده جریان در حالت جریان آزاد
۵۵	۸-۴ محاسبه بده جریان در حالت جریان مستغرق
۵۶	۸-۵ محاسبه افت ارتفاع در ناودان پارشال
۵۶	۸-۶ اندازه‌گیری جریان به کمک سایر انواع ناودان
۵۶	۸-۷ اندازه‌گیری جریان به کمک سرریز لبه تیز
۵۸	۹- طراحی هیدرولیکی واحد آشغالگیر
۵۸	۹-۱ معیارهای طراحی هیدرولیکی
۵۸	۹-۲ محاسبه افت در آشغالگیر
۶۱	۱۰- طراحی هیدرولیکی واحد دانه‌گیر
۶۱	۱۰-۱ معیارهای طراحی
۶۱	۱۰-۲ هیدرولیک جریان در واحد دانه‌گیر با جریان افقی
۶۴	۱۰-۳ هیدرولیک جریان در واحد دانه‌گیر با هوادهی
۶۶	۱۱- طراحی هیدرولیکی واحد ته‌نشینی
۶۶	۱۱-۱ بررسی هیدرولیک انواع مختلف حوضهای ته‌نشینی
۶۶	۱۱-۱-۱ حوضهای ته‌نشینی با جریان افقی
۶۶	۱۱-۱-۲ حوضهای ته‌نشینی با سطح مایل
۶۹	۱۱-۱-۳ حوضهای دوگانه
۷۰	۱۱-۲ عوامل هیدرولیکی موثر در طراحی
۷۰	۱۱-۲-۱ بار سطحی
۷۰	۱۱-۲-۲ زمان ماند
۷۰	۱۱-۲-۳ نرخ بار سرریز
۷۱	۱۱-۲-۴ ابعاد حوض ته‌نشینی
۷۱	۱۱-۲-۵ سازه ورودی



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۳	۶-۲-۱۱ سازه خروجی
۷۳	۷-۲-۱۱ جمع‌آوری و انتقال لجن
۷۵	۱۲- هیدرولیک سایر واحدها
۷۵	۱-۱۲ واحدهای زیستی تصفیه فاضلاب
۷۵	۱-۱-۱۲ واحد لجن فعال
۷۶	۲-۱-۱۲ صافیهای چکنده
۷۷	۳-۱-۱۲ صفحات زیستی دوار
۷۸	۴-۱-۱۲ ته‌نشینی ثانویه
۷۸	۵-۱-۱۲ برکه‌های تثبیت
۸۰	۲-۱۲ تصفیه و آماده سازی لجن برای دفع
۸۰	۱-۲-۱۲ حوض تغلیظ لجن
۸۱	۲-۲-۱۲ بسترهای لجن خشک کن
۸۱	۳-۱۲ واحد گند زدایی
۸۳	۴-۱۲ صاف سازی پساب
۸۳	۱-۴-۱۲ طبقه بندی صافیها
۸۶	۲-۴-۱۲ قسمتهای مختلف صافی
۸۷	۳-۴-۱۲ افت ارتفاع در بستر صافی
۸۹	۴-۴-۱۲ افتهای متفرقه
۸۹	۵-۱۲ ریز صافیها
۹۱	۱۳- انتخاب محل و جانمایی واحدها
۹۱	۱-۱۳ محل مناسب
۹۱	۱-۱-۱۳ توپوگرافی
۹۱	۲-۱-۱۳ کاربری و ارزش زمین
۹۲	۳-۱-۱۳ جنس خاک و شرایط پی
۹۲	۴-۱-۱۳ راههای دسترسی
۹۲	۵-۱-۱۳ منابع تولید کننده بو
۹۲	۶-۱-۱۳ منابع تولید کننده صدا



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹۲	۷-۱-۱۳ آسانی تملیک و خرید زمین
۹۲	۸-۱-۱۳ محدودیتهای خاص
۹۳	۹-۱-۱۳ دفع پساب تصفیه شده
۹۳	۱۰-۱-۱۳ کانال کنارگذر
۹۳	۲-۱۳ جانمایی
۹۵	۳-۱۳ طراحیهای خاص
۹۶	۴-۱۳ طراحی مرحله‌ای یا مدولار
۹۶	۱-۴-۱۳ تقسیم تصفیه‌خانه به چند مدول مشابه
۹۶	۲-۴-۱۳ تقسیم فرآیند تصفیه به چند مرحله
۹۷	۵-۱۳ آبراهه ارتباط دهنده
۹۹	۱۴- نیمرخ هیدرولیکی
۹۹	۱-۱۴ نکات مهم در رسم نیمرخ هیدرولیکی
۱۰۰	۲-۱۴ تعیین نیمرخ هیدرولیکی
۱۰۳	پیوست الف
۱۷۳	منابع و مراجع





🌐 omoorepeyman.ir

## مقدمه

در هیدرولیک تصفیه‌خانه فاضلاب تعیین و کنترل سطح آب از اهمیت زیادی برخوردار است و در این نشریه محاسبه افت ارتفاع و در نهایت تعیین نیمرخ هیدرولیکی<sup>۱</sup> در طول تصفیه‌خانه مد نظر می‌باشد. لذا باید افت ارتفاع در تک تک واحدهای موجود در تصفیه‌خانه فاضلاب همراه با افت در مسیرهای بین واحدها محاسبه و در نهایت نیمرخ هیدرولیکی ترسیم گردد. زیاد بودن افت ارتفاع منجر به افزایش هزینه‌ها به علت نیاز به تلمبه‌خانه یا نیاز به خاکبرداری بیشتر و افزایش هزینه‌های ساختمانی می‌شود. علاوه بر این، طراحی هیدرولیکی هر سامانه با کمترین نیاز به تلمبه‌زنی و بر مبنای استفاده از شیب طبیعی زمین و حرکت ثقلی جریان مزایای فراوانی دارد.

این استاندارد مشتمل بر چهارده فصل است که در آن پس از بیان مبانی فرآیند و معرفی واحدها در فصل اول، در فصل دوم تعاریف و روابط پایه هیدرولیک در کانالهای باز و مجاری بسته آورده شده است. در ادامه فصلهای سوم تا دوازدهم به طراحی هیدرولیکی واحدها اختصاص دارد. در نهایت در فصل سیزدهم جانمایی واحدها و در فصل چهاردهم نحوه تعیین نیمرخ هیدرولیکی کل در طول تصفیه‌خانه فاضلاب ارائه شده است. لازم به ذکر است در فصل چهاردهم بر مبنای نتایج بدست آمده در سایر فصلها، نیمرخ سطح آب در طول کل تصفیه‌خانه توضیح داده شده است. در پیوست این نشریه نیز یک مثال طراحی جهت تعیین عمق جریان در هر واحد و رسم نیمرخ هیدرولیکی در یک تصفیه‌خانه فاضلاب با اعداد واقعی آمده است.

در بیان روابط هیدرولیکی سعی بر این بوده تا از روابطی استفاده شود که علاوه بر دقت بالا و عمومیت کاربرد، تا حد امکان ساده و قابل استفاده باشند و اغلب با ارائه منحنی از بیان روابط پیچیده پرهیز شده است. روابط مورد استفاده در این استاندارد بر اساس سیستم ابعاد SI<sup>۲</sup> می‌باشد و لازم است در استفاده از این روابط کمیات را با ابعاد مناسب بکار برد.

در تهیه این استاندارد سعی گردیده تا از تکرار مباحث مشابهی که در سایر استانداردهای مورد تایید دفتر استاندارد وزارت نیرو وجود دارد، پرهیز شود و در قسمتهای مرتبط در صورت نیاز به این استانداردها ارجاع شده است. به علاوه چون هدف از تهیه این استاندارد، بررسی هیدرولیک تصفیه‌خانه فاضلاب و در نهایت محاسبه افت ارتفاع و ترسیم نیمرخ هیدرولیکی می‌باشد، لذا به موضوعاتی نظیر طراحی فرآیندی واحدها و یا مسائل سازه‌ای پرداخته نشده است. بنابراین در این نوشتار تنها متغیرهای هیدرولیکی جریان و تعیین افت ارتفاع مورد توجه می‌باشد و سایر موارد به عنوان مفروضات مسئله در نظر گرفته می‌شود و علاقه‌مندان می‌توانند در این زمینه‌ها به مراجع مربوط رجوع نمایند.



## ۱- هدف

هدف از تهیه این نشریه هیدرولیک جریان در واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشد که شامل بررسی سرعت، ظرفیت و نهایتاً افت ارتفاع در هر واحد و تعیین نیمرخ هیدرولیکی سطح فاضلاب است.

## ۲- دامنه کاربرد

محدوده کار در این استاندارد جریان فاضلاب از ورودی (واحد آشغالگیر) تا انتهای واحد گندزدایی می‌باشد.

## ۳- آشنایی با فرآیندهای تصفیه فاضلاب

با توجه به اینکه در فصلهای بعدی این راهنما، هیدرولیک واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب آمده است، در این فصل هر یک از عملیات و فرآیندهای مختلف تصفیه فاضلاب ذکر شده است. به خوانندگانی که علاقه مند به مطالعه کاملتر و یا آشنایی با نحوه عملکرد این واحدها هستند، پیشنهاد می‌شود به مراجع [۱۱]، [۱۶]، [۱۹] و [۲۲] مراجعه نمایند.

### ۱-۳ روشهای تصفیه فاضلاب

هدف از تصفیه فاضلاب، جداسازی موادی از آن است که آن را برای مصارف بعدی قابل استفاده نماید و یا رهاسازی آن به منابع آب و یا محیط زیست صدمه‌ای وارد نسازد. موادی که معمولاً باید از فاضلاب جدا شوند شامل:

- مواد معلق و شناور
- مواد کلوئیدی
- مواد محلول

می‌باشد. برای جداسازی این مواد از:

- عملیات فیزیکی
- فرآیندهای شیمیایی
- فرآیندهای زیستی

استفاده می‌شود. معمولاً عملیات فیزیکی برای جداسازی مواد شناور و معلق و عملیات شیمیایی و زیستی برای جداسازی مواد کلوئیدی و محلول بکار گرفته می‌شوند. فاضلابها را به دو نوع فاضلاب شهری و فاضلابهای صنعتی تقسیم می‌کنند. منظور از فاضلاب شهری (که بعضاً فاضلاب خانگی و یا فاضلاب انسانی نیز گفته می‌شود) کلیه پسابهایی است که در اثر فعالیت افراد در یک مجتمع مسکونی و یا در کاربرد وسیع تر در یک شهر بوجود می‌آید. در یک فاضلاب شهری علاوه بر فاضلاب واحدهای مسکونی، فاضلاب واحدهای اداری، تجاری، بیمارستانی و واحدهای کوچک صنعتی (بویژه صنایع غذایی) نیز وارد می‌شود. چنین فاضلابی در نقاط مختلف دنیا دارای ترکیب نسبتاً مشخص بوده و عملیات تصفیه مربوط به آن نیز تقریباً مشابه است.



فرآیندها و عملیات تصفیه فاضلاب را به چهار مرحله تصفیه فیزیکی (تصفیه اولیه)، تصفیه شیمیایی، تصفیه زیستی (تصفیه ثانویه) و تصفیه تکمیلی تقسیم بندی می‌کنند. در تصفیه اولیه بیشتر با روشهای فیزیکی مواد همراه با فاضلاب از آن جدا می‌گردد. تصفیه شیمیایی در تصفیه فاضلاب به معنای افزودن مواد شیمیایی برای تغییر حالت فیزیکی مواد جامد محلول یا معلق و تسهیل جداسازی آنها از طریق تشکیل رسوب می‌باشد. در تصفیه شیمیایی از مواد منعقد کننده نظیر آلوم، املاح آهن و برخی پلی الکترولیتها استفاده می‌شود. از معایب این روش می‌توان به زیاد بودن حجم لجن تولیدی و گران بودن مواد شیمیایی اشاره کرد. به همین سبب در تصفیه فاضلاب شهری کمتر از این روش استفاده می‌شود. در تصفیه‌خانه‌هایی که عملیات فیزیکی جوابگوی ضوابط تعیین شده برای خروجی نباشد، لازم است که علاوه بر تصفیه فیزیکی از تصفیه زیستی نیز برای رسیدن به استانداردهای تخلیه پساب استفاده شود.

در تصفیه زیستی فاضلاب، حسب نوع و نحوه استقرار می‌گروارگان‌های تصفیه، نوع جریان و سایر عوامل نظیر نحوه هوادهی، زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند موجودات ذره بینی، مقدار جریان برگشتی، روشهای متعددی مطرح است. هر یک از این روشها نیز حسب نوع و مقدار فاضلاب، درجه تصفیه مورد نیاز و امکانات و شرایط محلی به انواع بیشتری تقسیم می‌شوند. در تصفیه زیستی فاضلاب باید به خصوصیات روش انتخاب شده برای تصفیه و تطبیق آن با شرایط خاص طرح مورد نظر، از جمله شرایط محلی، امکانات یا محدودیتهای زمین و توپوگرافی آن، امکانات و محدودیتهای اجرایی، تخصصهای مورد نیاز برای بهره‌برداری و نگهداری، قابلیت انعطاف، نکات اقتصادی، توسعه‌های بعدی و سایر شرایط حاکم توجه خاص مبذول گردد.

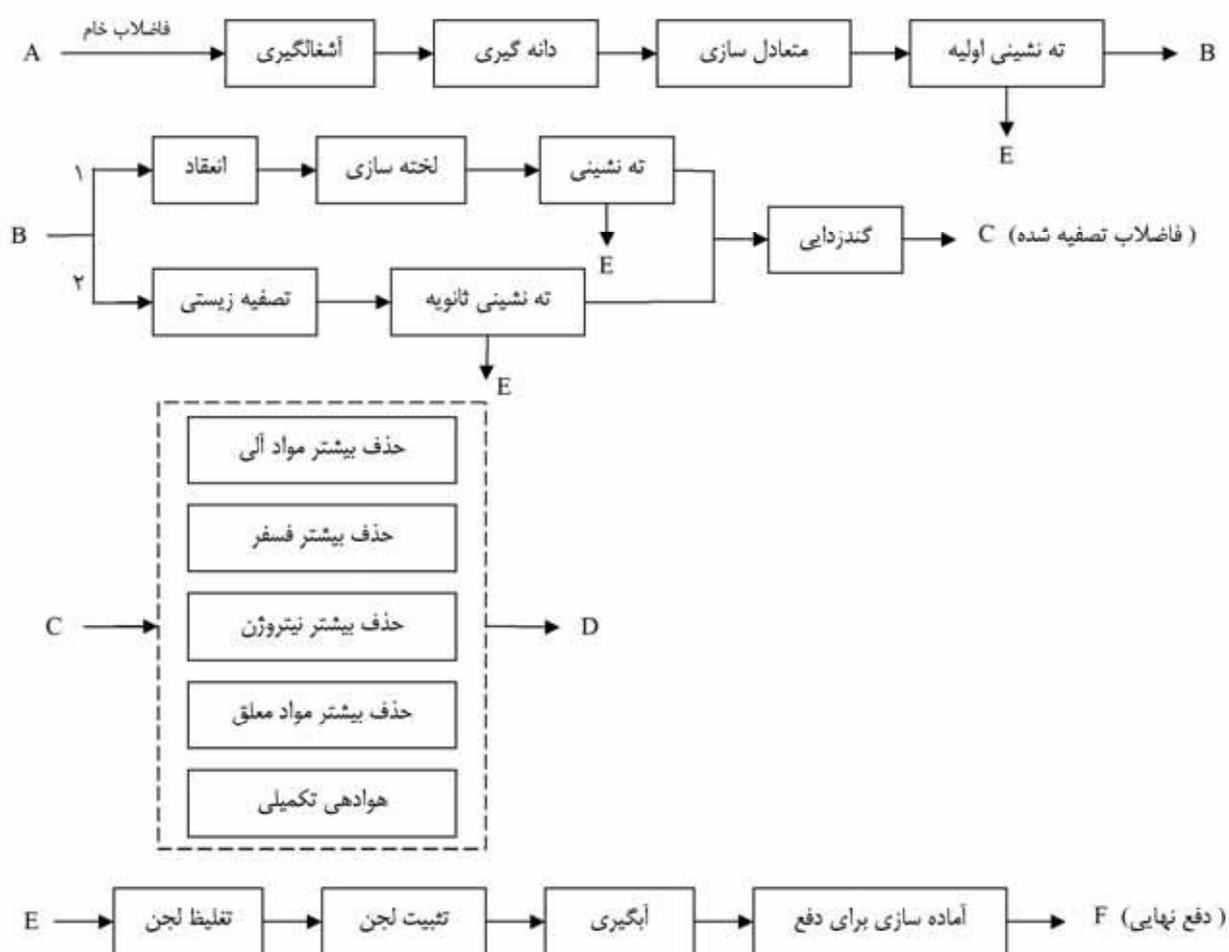
در اکثر موارد با تصفیه مقدماتی و زیستی می‌توان به بسیاری از استانداردهای تعیین شده از طرف سازمانهای حفاظت از محیط زیست دست یافت. اگرچه با اعمال این روشها مقدار نیتروژن و فسفر به حدود مجاز تعیین شده، تقلیل نمی‌یابد. بعلاوه برای استفاده مجدد از پساب، بسته به نوع استفاده، لازم می‌شود که کیفیت پساب تصفیه شده (خروجی از تصفیه زیستی) از نظر رنگ، بو و مواد معلق و شناور بهبود یابد. در این صورت از واحدهای تصفیه تکمیلی فاضلاب استفاده می‌شود.

در شکل (۳-۱) فرآیندها و عملیات رایج در تصفیه فاضلاب شهری نشان داده شده است. در این شکل، عملیات تصفیه از مرحله A تا B به عنوان عملیات تصفیه فیزیکی، از مرحله B<sub>1</sub> تا C به عنوان تصفیه شیمیایی، از B<sub>2</sub> تا C به عنوان تصفیه زیستی، از C تا D به عنوان تصفیه تکمیلی و از مرحله E تا F به عنوان عملیات فرآوری و تثبیت لجن متداول شده است. لازم به ذکر است که فرآیندهای ذکر شده در عملیات B<sub>1</sub>C در تصفیه فاضلابهای شهری خیلی مرسوم نبوده ولی در تصفیه فاضلابهای صنعتی بسیار متداول است. تقریباً در تمامی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در کشور ما، تصفیه فاضلاب محدود به عملیات AB، B<sub>2</sub>C و EF می‌باشد.

معمولاً برای ارتقای کیفیت فاضلاب تصفیه شده و یا استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده می‌توان از فرآیندهای CD استفاده نمود. این فرآیندها هم می‌تواند بصورت ترکیبی با فرآیندهای BC و یا بطور مستقل انجام پذیرد. به عنوان مثال حذف نیتروژن و یا فسفر می‌تواند در فرآیند تصفیه زیستی ادغام شود و یا برای حذف بیشتر مواد آلی از فرآیند جذب سطحی و یا تصفیه زیستی تکمیلی بعد از اتمام عملیات BC بهره جست.



پس از تصفیه فاضلاب و قبل از وارد نمودن آن به منابع آب و یا استفاده مجدد، لازم است میکروارگانیسمهای بیماریزای موجود در فاضلاب از بین بروند. حذف انتخابی میکروارگانیسمهای بیماریزا را گند زدایی می‌نامند. گندزدایی را می‌توان با استفاده از عوامل مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و یا تابش انجام داد. در استفاده از عوامل گندزدا، باید به عواملی نظیر زمان تماس، غلظت و نوع عامل گندزدا، تعداد و نوع میکروارگانیسمها، مشخصات فاضلاب و دما توجه داشت.



شکل ۳-۱- فرآیندها و عملیات متداول در تصفیه فاضلاب شهری

### ۲-۳ واحدهای متداول در تصفیه فاضلاب

واحدهایی که می‌تواند در یک تصفیه‌خانه فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد، عبارتند از :

- آشغالگیر
- دانه‌گیر
- متعادل سازی

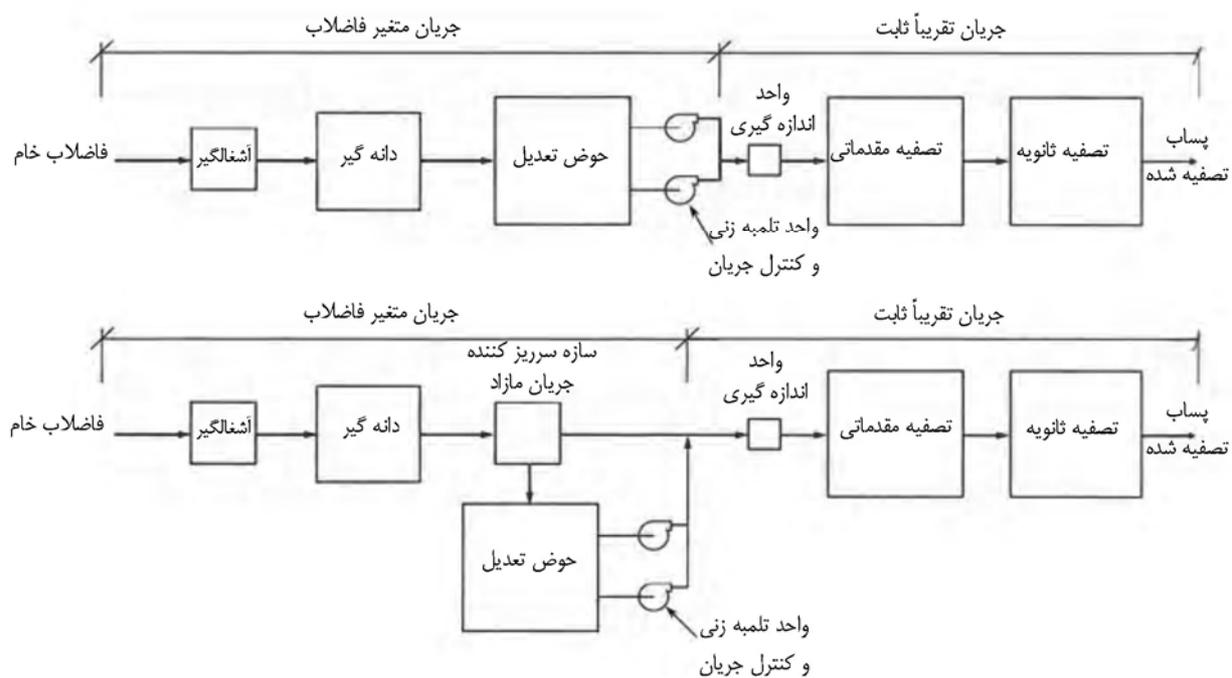


- ته‌نشینی اولیه
  - انعقاد
  - صافیها
  - لخته‌سازی
  - تصفیه‌های زیستی [فرآیندهای لجن فعال (اختلاط کامل، جریان پیستونی و تثبیت تماسی) صافیهای چکه‌ای، تماس دهنده‌های بیولوژیکی چرخان، استخرهای تثبیت]
  - ته‌نشینی ثانویه
  - حذف نیتروژن (نیترات سازی و نیترات زدایی بطور مستقل و بطور ترکیبی با تصفیه زیستی مرحله ثانویه)
  - حذف فسفر (روش شیمیایی، روش بیولوژیکی، بطور مستقل و یا بطور ترکیبی با تصفیه زیستی مرحله ثانویه)
  - واحد گندزدایی
  - استخرهای بلوغ
  - تغلیظ لجن
  - تثبیت لجن (فرآیندهای هوازی، بی‌هوازی و تثبیت شیمیایی)
  - عملیات آبیگری از لجن (فیلتر پرس، سانتریفوژ، بسترهای خشک کن لجن و فیلترخلاء)
- در شکل (۳-۲) بطور نمونه دو حالت از نحوه قرار گیری واحدهای مختلف در کنار هم آورده شده است. در صورت نیاز به اطلاعات جامع تر در مورد ضوابط و معیارهای انتخاب و بکارگیری هر یک از این واحدها به مراجع [۱] و [۲] مراجعه شود.

### ۳-۳ تصفیه و دفع لجن

لجن از پسماند حاصل از مواد جامد معلق موجود در فاضلاب ورودی و همچنین مواد معلق ایجاد شده در طی فرآیندهای زیستی یا شیمیایی تصفیه که از طریق ته‌نشینی جدا می‌شوند، تشکیل شده است. حجم عمده لجن را آب تشکیل می‌دهد. حسب نوع فرآیند و مرحله تصفیه، غلظت مواد جامد در لجن ممکن است بین ۰/۵ تا ۸ درصد تغییر نماید. مواد جامد در لجن اولیه (لجن حوض ته‌نشینی اولیه) ۴ تا ۱۲ درصد، مخلوط لجن اولیه و لجن صافیهای چکه‌ای ۴ تا ۶ درصد، مخلوط لجن اولیه و لجن مازاد لجن فعال ۴ تا ۵ درصد و لجن تغلیظ نشده لجن فعال ۰/۵ تا ۲ درصد می‌باشد. لجن اولیه ایجاد شده به علت حجم زیاد، قابلیت ایجاد بوی نامطبوع و غیر بهداشتی بودن، یکی از مهمترین مسائل تصفیه‌خانه فاضلاب است. لذا لازم است نسبت به جمع‌آوری، تصفیه و دفع بهداشتی آن توجه خاصی شود. مراحل که عموماً در تصفیه‌خانه بر روی لجن انجام می‌گیرد تا قابل دفع شود شامل ذخیره سازی، تغلیظ، تثبیت، آبیگری و دفع نهایی می‌باشد.





شکل ۳-۲- دو حالت از نحوه قرارگیری واحدها در خط اصلی تصفیه فاضلاب [۱۱]



## ۴- مبانی هیدرولیکی

### ۱-۴ کلیات

در این فصل معادلات جریان در مجاری تحت فشار و آزاد در حالت‌های مختلفی که در هیدرولیک تصفیه‌خانه فاضلاب وجود دارد ارائه می‌گردد. برای مطالعه بیشتر به " ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی: هیدرولیک کانالها"، نشریه شماره ۱۰۴ و "هیدرولیک لوله‌ها و مجاری" نشریه شماره ۱۰۵، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و یا سایر کتب مرجع مراجعه شود.

### ۲-۴ انواع جریان

جریان دائم یا ماندگار (بده ثابت با زمان) و یکنواخت (مقطع ثابت جریان، در مجاری باز یا تحت فشار)، مبنای طراحی حرکت جریان در مجاری می‌باشند. همچنین جریانهای غیر یکنواخت و متغیر مکانی در مجاری باز در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب زیاد اتفاق می‌افتد که در این بخش روابط آنها ارائه شده است.

### ۳-۴ بررسی افت ارتفاع جریان در مجاری تحت فشار یا لوله

برای محاسبه افت ارتفاع در مجاری تحت فشار، روابط متنوعی ارائه شده است که در این استاندارد با توجه به عمومیت کاربرد و دقت قابل قبول، روابط دارسی - وایسباخ و هیزن - ویلیامز برای محاسبه افت ارتفاع معرفی می‌شوند.

#### ۱-۳-۴ رابطه دارسی - وایسباخ

یکی از معمول ترین روابط برای تعیین افت ارتفاع در اثر وجود اصطکاک در لوله، رابطه معروف دارسی - وایسباخ می‌باشد. این رابطه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (1-4)$$

در رابطه (۱-۴)  $h_f$  افت ارتفاع یا افت خط تراز هیدرولیکی (واحد طول) در لوله با طول  $L$ ، قطر  $d$  و سرعت متوسط  $V$  است. ضریب اصطکاک  $f$  بدون بعد بوده و به سرعت، قطر لوله، جرم مخصوص ( $\rho$ )، لزجت ( $\mu$ )، و مشخصه‌های زبری سطح جدار لوله، که با زبری معادل یا  $\varepsilon$  مشخص می‌شود، وابستگی دارد. کلبروک<sup>۱</sup> آنرا بصورت زیر ارائه داده است [۱۵]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln \left( \frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.523}{N_{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (2-4)$$



که در آن  $N_{Re}$  عدد رینولدز جریان و  $\varepsilon/d$  زبری نسبی لوله می‌باشد.

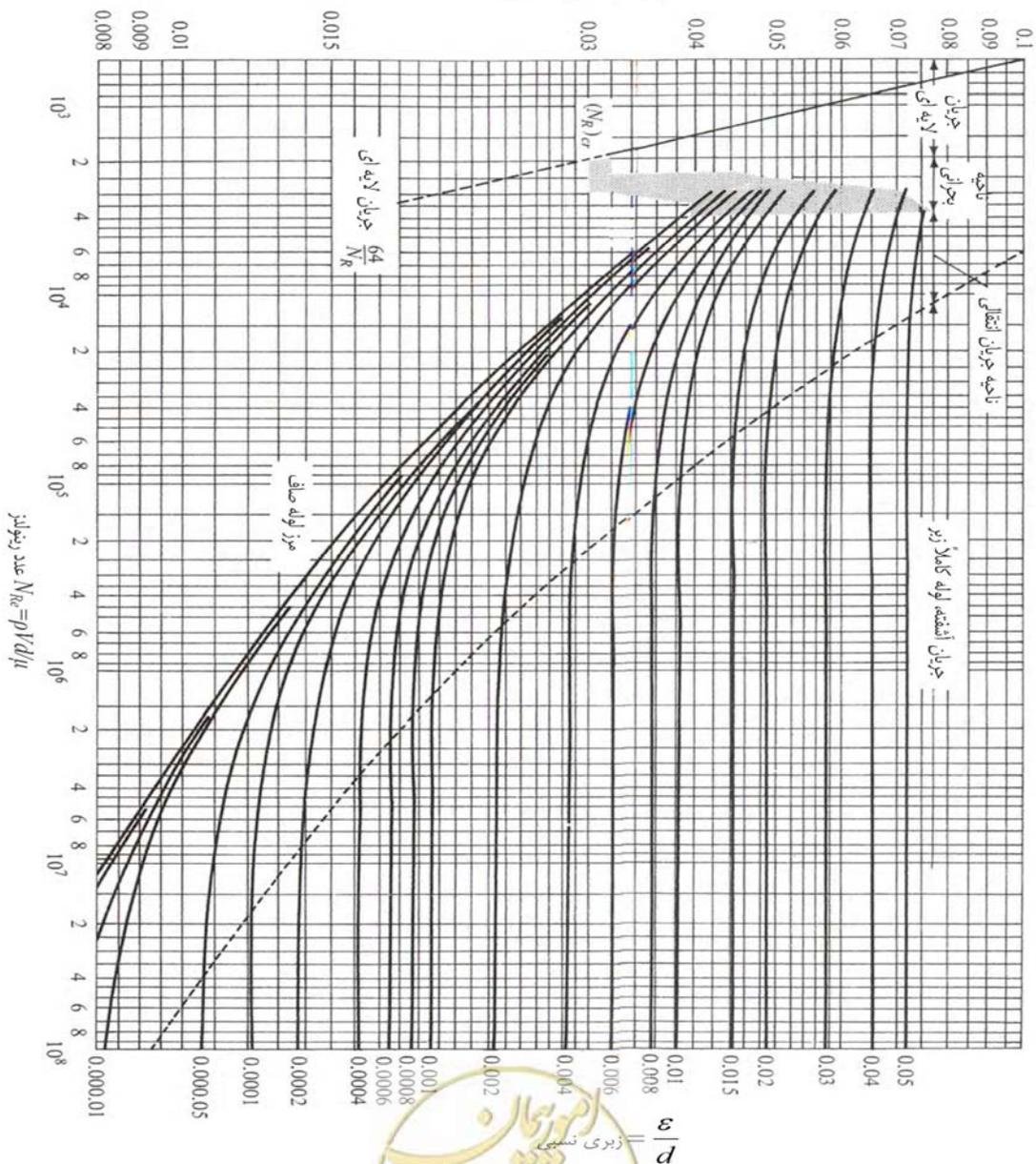
مودی<sup>۱</sup> یکی از رایج ترین نمودارها جهت تعیین ضریب اصطکاک در لوله‌های صنعتی را تهیه کرده که کاربرد و عمومیت زیادی یافته است (شکل ۴-۱). این نمودار ضریب اصطکاک  $f$  را به صورت تابعی از زبری نسبی و عدد رینولدز مشخص می‌سازد.

برای جریان لایه‌ای در لوله‌ها،  $f$  فقط تابعی از عدد رینولدز بوده و به صورت زیر ساده می‌شود:

$$f = \frac{64}{N_{Re}} \quad (3-4)$$

$$f = \frac{h_f}{(L/d)(V^2 / \gamma g)}$$

ضریب افت اصطکاک



شکل ۴-۱ - نمودار مودی برای محاسبه ضریب افت در رابطه داریسی - وایسباخ

1 - Moody

2 - From Moody, L.F. (1944) Friction factors for pipe flow, Transactions American Society of Civil Engineers Vol.66, p.671

همچنین در محدوده  $4000 < N_{Re} < 10^7$  و  $\frac{\varepsilon}{d} < 0.1$  می‌توان از رابطه مودی برای بدست آوردن ضریب اصطکاک  $f$  بصورت زیر استفاده نمود.

$$f = 0.001375 \left[ 1 + \left( 20000 \frac{\varepsilon}{d} + \frac{10^6}{N_{Re}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4-4)$$

علاوه بر رابطه فوق، برای محاسبه ضریب  $f$  در تمام نواحی جریان می‌توان از رابطه چرچیل به شرح زیر نیز استفاده نمود:

$$f = 8 \left[ \left( \frac{8}{N_{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^{1/5}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$A = \left[ \frac{2/457 \ln \frac{1}{\left( \frac{7}{N_{Re}} \right)^{0.9} + \frac{0.27\varepsilon}{d}}}{1} \right]^{16} \quad (5-4)$$

$$B = \left( \frac{37530}{N_{Re}} \right)^{16}$$

بعلاوه با توجه به اینکه ضریب اصطکاک  $f$  در طول مدت استفاده از لوله بخاطر تغییر زبری لوله تغییر می‌کند می‌توان با تقریب مناسب از نمودار شکل (۴-۲) استفاده نمود. در نمودار این ضریب برای انواع جنس لوله یا زبری نسبی که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعیین شده است.

#### ۴-۳-۲ رابطه هیزن-ویلیامز

رابطه هیزن-ویلیامز<sup>۱</sup> برای آب در دمای معمولی برابر است با:

$$h_f = 10/67 L C_H^{-1/85} d^{-4/86} Q^{1/85} \quad (6-4)$$

رابطه برای سامانه متریک بدست آمده و در آن ضریب  $C_H$  متناسب با زبری یا جنس لوله است. در جدول (۴-۱) این ضریب برای بعضی از انواع لوله ارائه شده است. معمولاً شرکت‌های سازنده لوله ضریب  $C_H$  را همراه با لوله ارائه می‌دهند. باید در نظر داشت که این ضریب به عمر لوله بستگی دارد و در طراحی باید عمر لوله کارکرده مد نظر قرار گیرد.



افت‌هایی را که در خطوط لوله به دلیل خمیدگی، زانوها، شیرها و اتصالات دیگر به وجود می‌آیند افت‌های موضعی می‌نامند. تقریباً در تمام حالات افت‌های موضعی را همانند رابطه (۷-۲) بصورت ضریبی از ارتفاع سرعت مشخص می‌کنند:

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (۷-۴)$$

جدول ۳-۴ - نمونه‌ای از ضریب هیزن - ویلیامز  $C_H$  برای انواع مختلف لوله

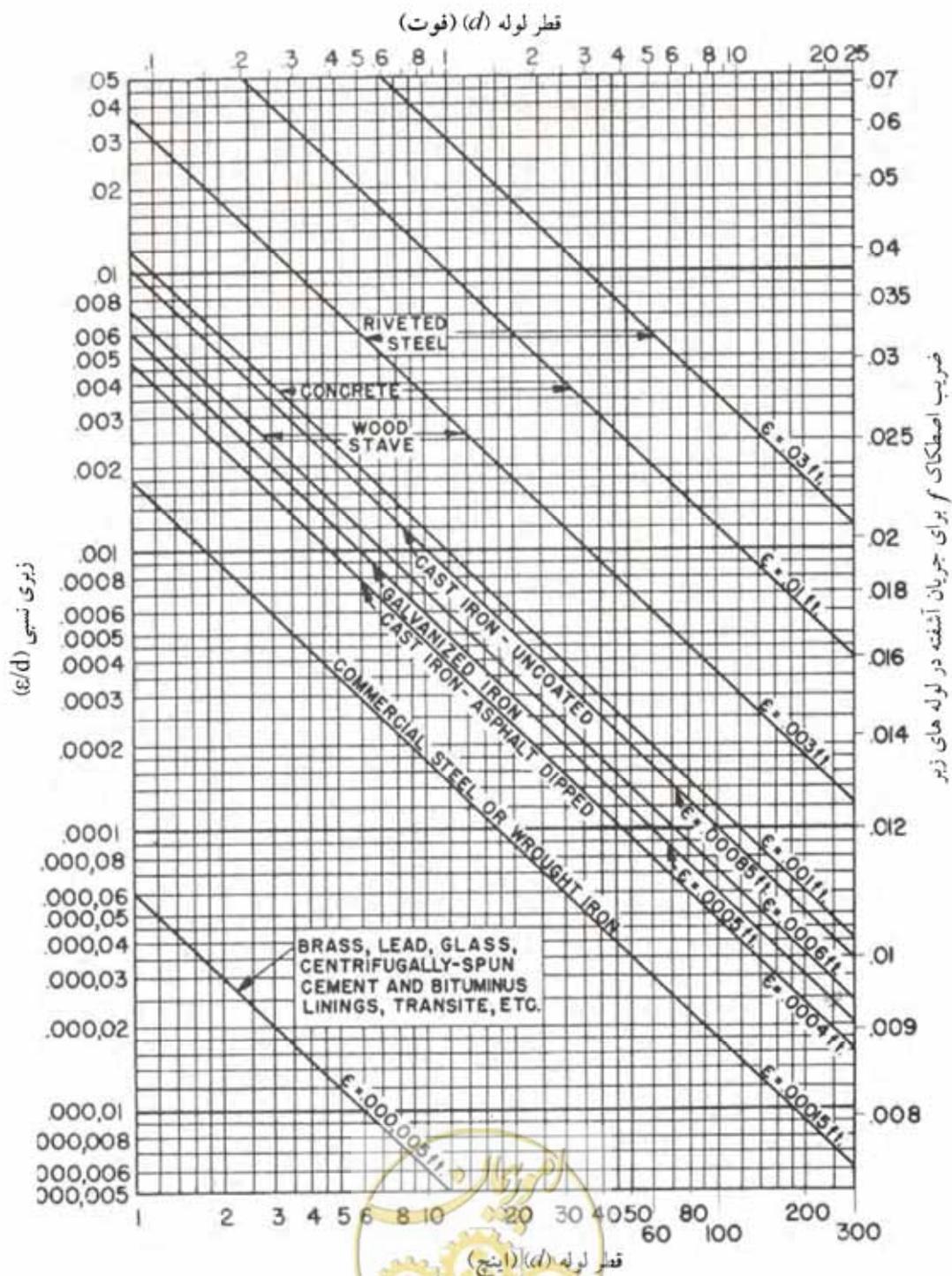
مقدار ضریب هیزن - ویلیامز ( $C_H$ )			نوع مواد تشکیل دهنده لوله
پیشنهاد طراحی	لوله کهنه	لوله نو	
۱۴۰	۱۳۰	۱۵۰	پلی‌اتیلن (PE) و پی‌وی‌سی (PVC)
۱۳۰	۱۲۰	۱۴۰	آزبست سیمان
۱۴۰	-	۱۵۰	فایبر (Fiber)
۱۴۰	-	۱۵۰	سیمانی با پوشش آهن یا فولاد
۱۰۰	۸۰	۱۳۰	لوله فولادی بدون درز
۱۰۰	-	۱۳۰	لوله با پوشش پرچ شده فولادی
۱۰۰	۸۰	۱۳۰	چدن
۱۰۰	۵۰	۱۳۰	چدن قیراندود
۱۰۰	۸۵	۱۲۰	بتن
۶۰	-	۶۰	فولاد موجدار
۱۱۵	۱۱۰	۱۲۰	لوله‌های چوبی
۸۰-۶۰	-	-	لوله‌های کهنه در شرایط بد

در این رابطه  $K$  یک ضریب تجربی است و مقدار آن برای هر حالت توسط سازندگان بصورت تجربی تعیین و همراه با قطعه ارائه می‌گردد. روش دیگر ارائه افت موضعی در معادلات، استفاده از طول معادل است. به این ترتیب که طول معادل افت موضعی، طولی از لوله است که با قطر  $d$  و ضریب  $f$  همان مقدار افت اصطکاک را که افت موضعی با ضریب  $K$  بوجود می‌آورد، ایجاد می‌کند. یعنی:

$$h_m = h_f \rightarrow f \frac{L_e}{d} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g} \rightarrow L_e = \frac{Kd}{f} \quad (۸-۴)$$



در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب معمولاً طول لوله‌ها کوتاه و تعداد اتصالات موضعی زیاد است، بنابراین افت‌های موضعی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. در جدول (۲-۴) طول معادل  $L_e$  برای برخی اتصالات ارائه شده است. برای تخمین ضریب  $K$  برای انواع مختلف اتصالات به مرجع [۹] مراجعه شود.



شکل ۲-۴- نمودار تعیین ضریب اصطکاک  $f$  با توجه به عمر لوله (یک اینچ =  $25/4$  میلی‌متر) [۹]

## جدول ۴-۲- طول معادل برای برخی اتصالات (متر) [۹]

								قطر لوله (میلی متر)	قطر لوله اینچ
زانوئی ۹۰° شعاع انحناء استاندارد	زانوئی ۹۰° شعاع انحناء متوسط	زانوئی ۹۰° شعاع انحناء بزرگ	زانوی ۴۵ درجه	شاخه T	شیر کشویی باز	شیر تویی باز	شیر کنترل		
۰/۸۲	۰/۷	۰/۵۲	۰/۴	۱/۷۷	۰/۱۸	۸/۲۴	۲/۰۴	۲۵/۴	۱
۰/۶۸	۰/۴	۱/۰۷	۰/۷۶	۳/۳۵	۰/۳۷	۱۷/۳۷	۳/۹۶	۵۰/۸	۲
۲/۴۷	۲/۰۷	۱/۵۵	۱/۱۶	۵/۱۸	۰/۵۲	۲۵/۹۱	۶/۱	۷۶/۲	۳
۳/۳۵	۲/۷۷	۲/۱۳	۱/۵۲	۶/۷۱	۰/۷	۳۳/۵۳	۸/۲۳	۱۰۱/۶	۴
۴/۲۷	۳/۶۶	۲/۷۱	۱/۸۶	۸/۲۳	۰/۸۸	۴۲/۶۷	۱۰/۰۶	۱۲۷	۵
۴/۸۸	۴/۲۷	۳/۳۵	۲/۳۵	۱۰/۰۶	۱/۰۷	۴۸/۷۷	۱۲/۱۹	۱۵۲/۴	۶
۶/۴	۵/۴۹	۴/۲۷	۳/۰۵	۱۳/۱۱	۱/۳۷	۶۷/۰۵	۱۶/۱۵	۲۰۳/۲	۸
۷/۹۲	۶/۷۱	۵/۱۸	۳/۹۶	۱۷/۰۷	۱/۷۴	۸۸/۳۹	۲۰/۴۲	۲۵۴	۱۰
۹/۷۵	۷/۹۲	۶/۱	۴/۵۷	۲۰/۱۲	۲/۰۴	۱۰۳/۶۳	۲۴/۳۸	۳۰۴/۸	۱۲
۱۰/۹۷	۹/۴۵	۷/۰۱	۵/۱۸	۲۳/۱۶	۲/۴۴	۱۱۸/۸۷	۲۸/۳۵	۳۵۵/۶	۱۴
۱۲/۸	۱۰/۶۷	۸/۲۳	۵/۷۹	۲۶/۵۲	۲/۷۴	۱۳۱/۰۶	۳۲/۶۱	۴۰۶/۴	۱۶
۱۴/۰۲	۱۲/۱۹	۹/۱۴	۶/۴	۳۰/۴۸	۲/۱۱	۱۵۲/۳۹	۳۶/۵۷	۴۵۷/۲	۱۸
۱۵/۸۵	۱۳/۱۱	۱۰/۳۶	۷/۰۱	۳۳/۵۳	۳/۶۶	۱۷۰/۶۸	۴۰/۸۴	۵۰۸	۲۰
۱۹/۲	۱۶/۱۵	۱۲/۱۹	۸/۵۳	۴۲/۶۷	۴/۲۷	۲۰۷/۲۵	۴۸/۷۷	۶۰۹/۶	۲۴
۲۸/۶۵	۲۴/۰۸	۱۸/۲۹	۱۳/۱۱	۶۰/۹۶	۶/۱	۳۰۴/۷۹	۷۳/۱۵	۹۱۴/۴	۳۶

### ۴-۴ نکات هیدرولیکی مهم در طراحی مجاری تحت فشار

در طراحی هیدرولیکی مجاری تحت فشار توجه به نکات زیر لازم می‌باشد:

(الف) در محاسبات هیدرولیکی مجاری تحت فشار قطر داخلی لوله در نظر گرفته می‌شود.

(ب) در انتخاب ضرائب مربوط به محاسبه افت ارتفاع نظیر ضریب اصطکاک دارسی- وایسباخ و ضریب هیزن- ویلیامز لازم است به این نکته توجه شود که این ضرائب در طول عمر لوله با گذشت زمان تغییر می‌کند و معمولاً بر اثر کهنه شدن لوله در جداره داخلی لوله مقدار زبری و در نتیجه ضریب افت ارتفاع اندکی افزایش می‌یابد. لذا لازم است طراحی مسئله برای پایان دوره طرح نیز کنترل گردد.

(ج) در انتخاب قطر لوله لازم است با توجه به جنس، از قطرهایی استفاده شود که امکان تهیه آن وجود داشته باشد.

## ۵-۴ جریان در کانالهای باز

در طراحی هیدرولیکی کانالها و مجاری باز انتقال آب یا فاضلاب نیاز است تا عمق آب در نقاط مختلف کانال و یا عبارتی نیمرخ هیدرولیکی محاسبه و تعیین شود. سپس با منظور نمودن ارتفاع آزاد، ابعاد هندسی نهایی برای کانال انتخاب و بر مبنای مشخصات هیدرولیکی، افت ارتفاع جریان محاسبه شود.

### ۴-۵-۱ محاسبات در جریان یکنواخت و دائم

برای تعیین مشخصات هیدرولیکی جریان در کانالهای باز روابط متعددی ارائه شده است. از این روابط می‌توان به رابطه مانینگ، رابطه بازن و رابطه کاتر اشاره نمود. این روابط همگی بر مبنای رابطه شزی ( $V = C\sqrt{R \cdot S}$ ) بدست آمده اند و تنها در نحوه تعیین ضریب  $C$  (ضریب شزی) با یکدیگر تفاوت دارند. در رابطه شزی  $V$  سرعت متوسط جریان آب،  $R$  شعاع هیدرولیکی و  $S$  شیب خط انرژی (یا شیب طولی کف کانال در جریان یکنواخت) می‌باشد. در این نشریه با توجه به عمومیت رابطه مانینگ، سهولت کاربرد و دقت قابل قبولی که از این رابطه بدست می‌آید، برای محاسبات هیدرولیکی جریان در کانالهای باز از آن استفاده می‌شود. رابطه مانینگ در سامانه متریک به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (۹-۴)$$

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (۱۰-۴)$$

و افت ارتفاع در طول  $L$  از کانال برابر است با:

$$h_f = S.L = \left( \frac{nQ}{AR^{2/3}} \right)^2 L \quad (۱۱-۴)$$

زبری و جنس جداره و کف در تعیین ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) که در حقیقت مبین مقاومت کانال در مقابل عبور جریان است، بیشترین اهمیت را دارند. جدول (۳-۴) این ضریب را برای چند جنس متداول تر کانال نشان می‌دهد. با توجه به اینکه کانالهای مورد استفاده در تصفیه‌خانه فاضلاب معمولاً با پوشش بتنی ساخته می‌شود و در آنها  $R < 1$  متر است<sup>۱</sup>، لذا می‌توان با توجه به نوع سیمان استفاده شده، نحوه قالب بندی و عمل آوری بتن، سطح نهایی و عمر کانال، مقدار  $n$  را بین ۰/۰۱۳ تا ۰/۰۱۷ انتخاب نمود. البته از لوله با جنس آریست، پلی اتیلن و یا فولادی نیز بعنوان کانال باز استفاده می‌شود که برای این جنس لوله‌ها نیز ضریب مانینگ ارائه شده است.



۱- تحقیقات انجام شده توسط موزه مقادیر ایالات متحده و دیگر مراکز تحقیقاتی نشان می‌دهد که ضریب زبری مانینگ برای شعاع هیدرولیکی بزرگتر از ۳ متر باید ۱۰ تا ۱۵ درصد نسبت به مقادیر بدست آمده از جدول افزایش داده شود.

#### جدول ۴-۳- ضریب زبری مانینگ برای بعضی جنسهای متداول کانال [۱۵]

جنس و نوع سطح	ضریب زبری n
لوله GRP و لوله پلی اتیلن	۰/۰۱۱-۰/۰۱۲
آزبست سیمان	۰/۰۱۳
سیمان پرداخت شده	۰/۰۱۲
سیمان پرداخت نشده	۰/۰۱۴
چدن	۰/۰۱۵
آجر	۰/۰۱۶
فولاد پرچی	۰/۰۱۸
صفحات فلزی موجدار	۰/۰۲۲
خاکی	۰/۰۲۵
سنگریزه و شن	۰/۰۲۹

ظرفیت طراحی برای کانال در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برابر با حداکثر جریان عبوری از آن طی مدت زمان بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از رابطه مانینگ، رابطه (۴-۱۰)، ابعاد کانال مورد نظر تعیین می‌شود. برای مشخصات کانالهای متداول مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با مقاطع مستطیلی، دوزنقه، مثلثی و دایره‌ای می‌توان از جدول (۴-۴) استفاده نمود.

#### ۴-۵-۲ ارتفاع آزاد

در طراحی کانالهای باز ارتفاع دیوار کانال ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق محاسبه شده برای جریان در نظر گرفته می‌شود تا به عنوان یک اندازه مطمئن از سرریز شدن جریان از کانال جلوگیری شود. پیش بینی ارتفاع آزاد به دلایلی نظیر بالا آمدن کف کانال بر اثر رسوب گذاری و رویش گیاه، وجود اختلال در بهره‌برداری از تصفیه‌خانه، ورود جریانهای اضافی ناشی از روان آب سطحی به داخل کانال و تلاطم ناشی از امواج در اثر وزش باد و موارد دیگر صورت می‌پذیرد.

#### ۴-۵-۳ افتهای موضعی در کانالهای باز

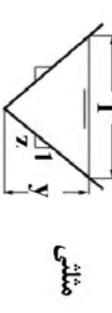
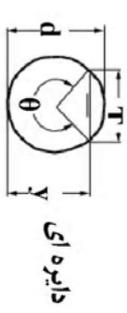
در جریان کانالهای باز افتهای موضعی در اثر تغییرات ناگهانی در جهت یا مقطع کانال و یا وجود سازه‌های کنترلی بوجود می‌آید. بررسی انواع افتهای موضعی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از اهداف اصلی این استاندارد می‌باشد. در این حالت افت از رابطه (۴-۱۲) تعیین می‌شود.

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

(۴-۱۲)



جدول ۴-۴- مشخصات هیدرولیکی مقاطع مختلف در کانالهای باز [۴]

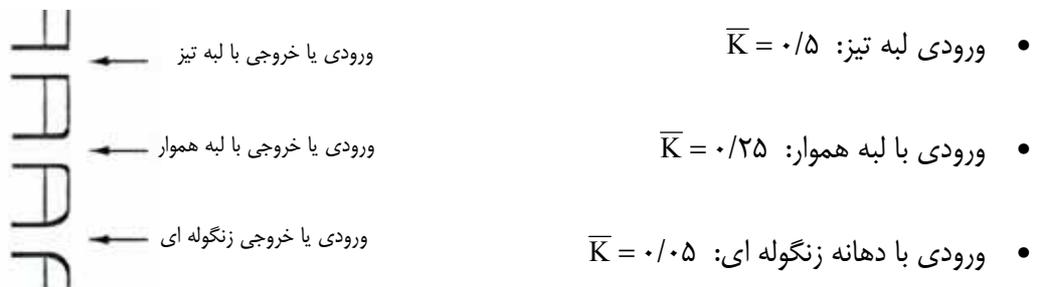
نوع مقطع	مساحت (A)	پیرامون مرطوب (P)	عرض سطح آزاد (T)	شعاع هیدرولیکی (R)	عمق هیدرولیکی (D)
 <p>مستطیلی</p>	$by$	$b + 2y$	$b$	$\frac{by}{b + 2y}$	$y$
 <p>دو زبانه</p>	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$
 <p>مثلثی</p>	$zy^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$2zy$	$\frac{zy^2}{2y\sqrt{1 + z^2}}$	$\frac{1}{2}y$
 <p>دایره ای</p>	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)d^3$	$\frac{1}{2}\theta d$	$2y\sqrt{y(d - y)}$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)d$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \theta}\right)d$

در این رابطه  $V$  سرعت متوسط و  $K$  ضریب افت موضعی است و مقدار  $K$  با توجه به شکل تغییر مقطع و نحوه اتصال تعیین می‌شود. ضریب افت موضعی در کانالها از جدولی که برای جریان تحت فشار در لوله‌ها ارائه شده، بدست می‌آید. علاوه بر رابطه (۴-۱۲) در برخی اتصالات مقدار افت ارتفاع را بر اساس اختلاف ارتفاع سرعت در قبل و بعد از اتصال محاسبه می‌کنند. در این حالت از رابطه (۴-۱۳) استفاده می‌شود:

$$h_m = \bar{K} \left( \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (4-13)$$

ضریب  $\bar{K}$  در این رابطه همانند رابطه (۴-۱۲) بصورت تجربی تعیین می‌گردد. در ادامه مقدار  $\bar{K}$  برای برخی اتصالات مهم کانالهای باز که در تصفیه‌خانه فاضلاب از آن استفاده می‌گردد، ارائه شده است.

### الف) ضریب افت موضعی در انقباض ناگهانی یا ورودی



### ب) ضریب افت موضعی در انبساط ناگهانی یا خروجی

- خروجی با گوشه‌های تیز:  $\bar{K} = 0.5 - 1.0$
- خروجی با دهانه زنگوله ای:  $\bar{K} = 0.1 - 0.3$

### ج) ضریب افت موضعی $\bar{K}$ در اتصالات و جعبه‌های تقسیم جریان

این ضریب تابعی از اندازه و نحوه اتصال اجزا به همدیگر، میزان تغییر جهت در مسیر جریان و شکل پستی و بلندیهای کف می‌باشد. برای تصفیه‌خانه فاضلاب حالات زیر را می‌توان در نظر گرفت:

- جعبه‌های تقسیم بزرگ که سرعت در آنها کوچک است
- ضریب افت خروجی:  $\bar{K} = 1.0$
- ضریب افت ورودی:  $\bar{K} = 0.5$

اگر در هر یک از موارد فوق تغییر جهت جریان وجود داشته باشد، مقادیر زیر به مقدار اولیه  $\bar{K}$  اضافه می‌گردد:

- تغییر جهت ۴۵ درجه بصورت ناگهانی:  $\bar{K} = 0.4$
- تغییر جهت ۴۵ درجه بصورت ملایم:  $\bar{K} = 0.3$
- تغییر جهت ۹۰ درجه بصورت ناگهانی:  $\bar{K} = 1.3$
- تغییر جهت ۹۰ درجه بصورت ملایم:  $\bar{K} = 1.0$



#### ۴-۵-۴ محاسبه عمق بحرانی

در هیدرولیک کانالهای باز عمق بحرانی به عنوان یک عمق معیار، مخصوصاً در حالت‌های ریزش آزاد، از اهمیت زیادی برخوردار است. با محاسبه عمق بحرانی و داشتن عمق آب در کانال، می‌توان نوع جریان (تحت بحرانی یا فوق بحرانی) را تعیین نمود. روابط ۴-۱۴، ۴-۱۵، ۴-۱۶ و ۴-۱۷ بترتیب عمق بحرانی را برای کانالهای مستطیلی، مثلثی، ذوزنقه و دایره ای ارائه می‌دهد [۶].

$$y_c = \left( \frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۴-۱۴)$$

$$y_c = \left( \frac{2Q^2}{gz^2} \right)^{0/2} \quad (۴-۱۵)$$

$$y_c = 0/81 \left( \frac{Q^2}{gz^{0/75} b^{1/25}} \right)^{0/27} - \frac{b}{30z} \quad (۴-۱۶)$$

$$y_c = \frac{1/01}{d^{0/26}} \times \left( \frac{Q^2}{g} \right)^{0/25} \quad (۴-۱۷)$$

در این روابط  $Q$  بده کل و  $q$  بده در واحد عرض (برای کانال مستطیلی) می‌باشند و بقیه تبخیرها در جدول ۴-۴ آمده است. همچنین، رابطه (۴-۱۶) در محدوده  $2/2 < Q/b^{2/5} < 0/06$  قابل استفاده است و برای  $Q/b^{2/5} < 0/06$ ، معادله مقطع مستطیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت رابطه (۴-۱۷) تنها در محدوده  $0/02 \leq \frac{y_c}{d_0} \leq 0/85$  برای کارهای مهندسی قابل قبول است.

#### ۴-۵-۵ جریان دائم و غیر یکنواخت

جریان غیر یکنواخت (جریان متغیر) در کانالهای باز به صورتهای متغیر تدریجی، متغیر سریع و متغیر مکانی وجود دارد. در این نشریه تنها جریانهای متغیر دائمی مورد بررسی قرار می‌گیرد و بحث پیرامون شرایط غیردائمی جریان خارج از موضوع این نشریه است<sup>۱</sup>. لذا واژه غیر یکنواخت در این راهنما به معنای جریان دائمی غیر یکنواخت بکار رفته است.

#### ۴-۵-۶ جریان متغیر تدریجی

هرگاه تغییرات عمق جریان در فاصله طولانی از مسیر صورت گیرد بطوریکه تغییرات بردار سرعت در مقطع ناچیز باشد، جریان متغیر تدریجی گفته می‌شود. در جریان متغیر تدریجی انحنای سطح جریان کم بوده و معمولاً تغییرات عمق در فاصله طولانی از مسیر جریان صورت می‌گیرد. تغییرات عمق و سرعت در جریانهای متغیر تدریجی در مواجهه جریان یکنواخت با عواملی چون

۱- برای مطالعه حالت متغیر غیر دائمی به مراجع [۴] و [۶] مراجعه شود.

سرریزها، دریچه‌ها و هر تغییری در مقطع بوجود می‌آید و در طراحی هیدرولیکی کانالهای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید به آن توجه شود.

برای طبقه بندی نیمرخهای طولی سطح آب، از دو علامت اختصاری که یکی معرف نوع شیب بوده و با یکی از حروف M، S، C، H و A (به ترتیب برای شیبهای ملایم، تند، بحرانی، افقی و معکوس) مشخص می‌شوند و دیگری که معرف ناحیه جریان است، استفاده می‌گردد. در ناحیه ۱ عمق آب از عمق نرمال ( $y_0$ ) و بحرانی ( $y_c$ ) بیشتر و در ناحیه ۳ عمق آب از عمق نرمال و بحرانی کمتر است و ناحیه ۲ بین این دو ناحیه واقع شده است. همچنین از مشخصات این نواحی، به سمت پایین دست جریان در ناحیه‌های ۱ و ۳ افزایش عمق و در ناحیه ۲ کاهش عمق وجود دارد.

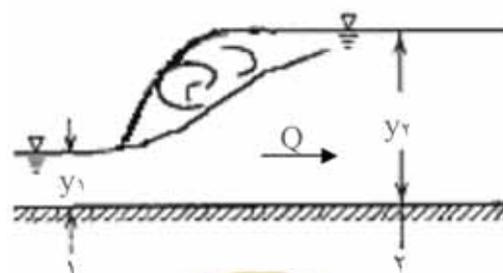
#### ۴-۵-۲ جریان متغیر سریع

در این جریان، که در حالتی مثل خروج آب از زیر دریچه‌ها اتفاق می‌افتد، تغییرات شدید عمق جریان در فاصله کوتاهی از مسیر صورت می‌گیرد و سطح آب انحناء قابل توجهی دارد. پدیده پرش هیدرولیکی تنها نوع جریان متغیر سریع مورد بررسی در این نشریه می‌باشد. همانطور که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است، گذر از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی توام با یک آشفتگی شدید در جریان بوده و افت انرژی موضعی زیاد و نامعلومی را سبب می‌شود. محاسبات هیدرولیکی مربوط به این حالت شامل محاسبه عمق آب قبل و بعد از پرش و تعیین افت ارتفاع در طول پرش می‌باشد.

برای کانال مستطیلی رابطه (۴-۱۸) استفاده می‌شود. برای مقاطع دیگر که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به ندرت نیاز می‌باشد به مراجع داده شده در این نشریه رجوع شود.

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right] \quad \text{یا} \quad \frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1 \right] \quad (4-18)$$

در این رابطه  $y$  عمق آب و  $Fr$  عدد فرود می‌باشد. زیرنویسهای ۱ و ۲ مربوط به بالادست و پایین دست می‌باشند.



شکل ۳-۴- پرش هیدرولیکی



#### ۴-۵-۱ جریان متغیر مکانی

جریان متغیر مکانی عبارت است از جریان متغیر تدریجی که در طول کانال و در جهت جریان، مقدار بده آن تغییر می‌یابد. در مجاری تحت فشار نظیر مجرای توزیع<sup>۱</sup> نیز امکان بوجود آمدن جریان متغیر مکانی وجود دارد که در این نشریه به آن نیز پرداخته شده است. بر حسب نوع تغییرات بده، جریان متغیر مکانی در کانالهای باز به دو گروه تقسیم می‌شود:

الف- جریانهای متغیر مکانی با افزایش شدت جریان (که به جریان با کانال جانبی معروف است).

ب- جریانهای متغیر مکانی با کاهش شدت جریان (که به جریان با سرریز جانبی معروف است).

که هر دو حالت آن در تصفیه‌خانه فاضلاب اتفاق می‌افتد. در ادامه هر یک از این حالتها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### الف- جریان متغیر مکانی با افزایش بده

این حالت در بسیاری از قسمتهای تصفیه‌خانه فاضلاب نظیر کانالهای جمع‌آوری در انتهای واحدهای دانه‌گیر، حوض ته‌نشینی و یا حوض هوادهی می‌تواند اتفاق بیفتد. در این حالات ریزش آزاد جریان بصورت جانبی از روی سرریز به داخل ناودان (فلوم یا کانال) باعث بوجود آمدن یک جریان متغیر مکانی با افزایش بده در طول ناودان و در مسیر جریان می‌شود که در نقطه انتهایی و خروجی، بده به مقدار حداکثر خود می‌رسد. رابطه دینامیکی این نوع جریان بصورت زیر می‌باشد [۶]:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left( \frac{2\beta Q}{gA^2} \right) q^*}{1 - Fr^2} \quad (۱۹-۴)$$

در این رابطه  $q^*$  بده ورودی در واحد طول به کانال می‌باشد. سایر متغیرهای رابطه در شکل (۴-۴) مشخص شده اند. برای محاسبه نیمرخ سطح آب لازم است تا خصوصیات جریان در یک نقطه، نظیر یک مقطع با عمق معیار، معین باشد. حل رابطه (۱۹-۴) پیچیده است و در عمل از روشهای عددی برای بدست آوردن نیمرخ سطح آب استفاده می‌گردد. یکی از این روشها استفاده از رابطه (۲۰-۴) [۶] که برای توزیع یکنواخت سرعت در هر مقطع بدست آمده، می‌باشد.

$$\Delta y' = \frac{Q_1 \bar{V}}{gQ} \left[ \Delta V + \frac{V_2}{Q_1} \Delta Q \right] + (\bar{S}_f) \Delta x \quad (۲۰-۴)$$

در این رابطه  $\Delta y'$  پائین افتادگی سطح آب از مقطع ۱ به ۲،  $y_1$  و  $y_2$  به ترتیب اعماق جریان در مقاطع ۱ و ۲،  $Q_1$  و  $Q_2$  بده جریان در مقاطع ۱ و ۲ (مترمکعب بر ثانیه)،  $V_1$  و  $V_2$  سرعت جریان در مقاطع ۱ و ۲ (متر بر ثانیه)،  $\Delta V$  اختلاف سرعتها ( $\Delta V = V_2 - V_1$ )،  $\bar{V}$  سرعت متوسط  $\left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right)$ ،  $\Delta Q$  بده اضافه شده ( $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ )،  $\bar{Q}$  بده متوسط جریان

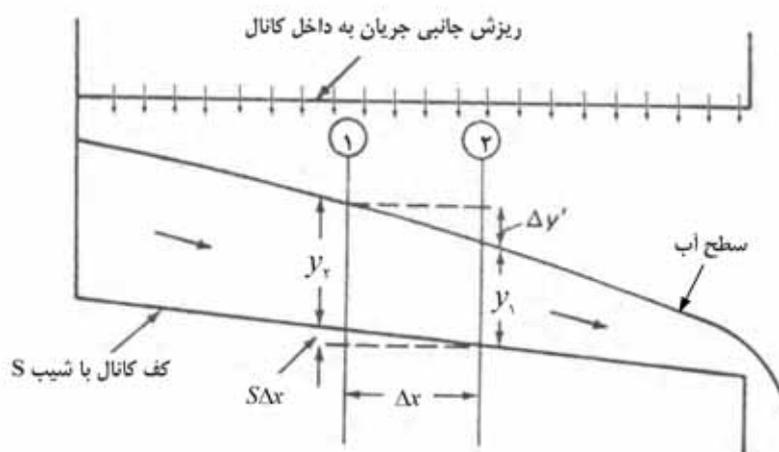


$\left(\frac{Q_1+Q_2}{2}\right)$ ، فاصله افقی بین مقاطع ۱ و ۲ و  $\bar{S}_f$  شیب متوسط خط انرژی (متر/متر) که از رابطه (۲۱-۴) بدست می‌آید، می‌باشند.

$$\bar{S}_f = \frac{n^2(\bar{V})^2}{(\bar{R})^3} \quad (21-4)$$

که شعاع هیدرولیکی متوسط ( $\bar{R}$ ) از رابطه (۲۲-۴) محاسبه می‌گردد:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (22-4)$$



شکل ۴-۴- نیمرخ سطح آب در کانال جانبی خروجی

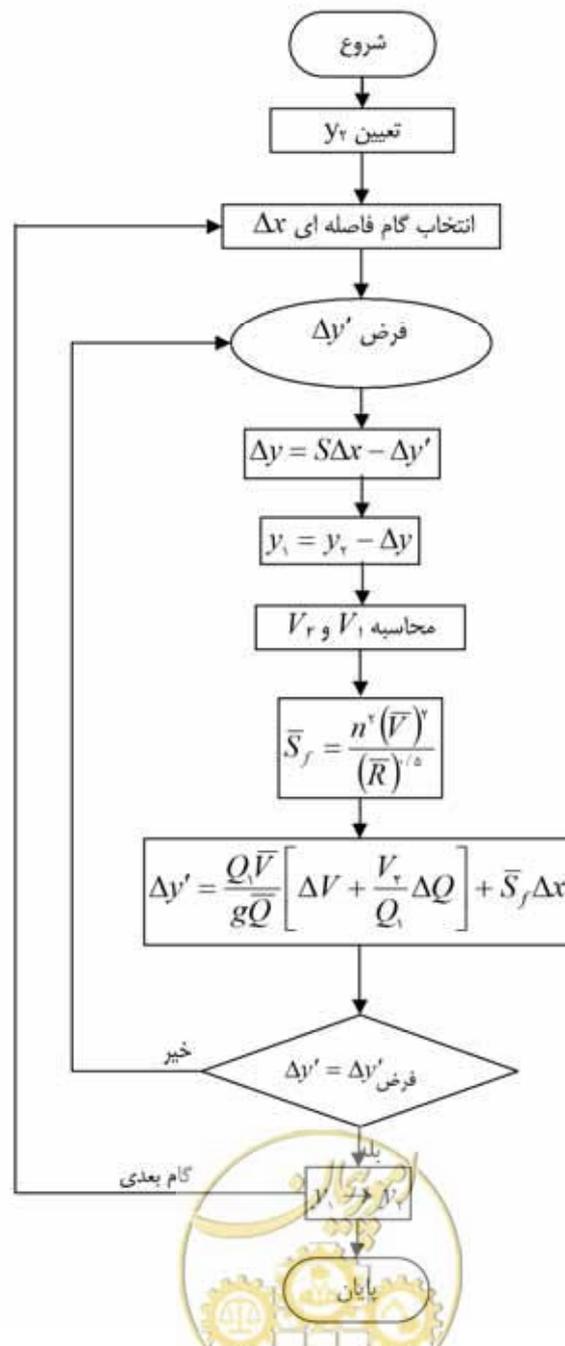
محاسبات مربوط به بدست آوردن عمق آب در طول کانال و رسم نیمرخ جریان در طول کانال بصورت سعی و خطا مطابق نمودار شکل (۴-۵) حل می‌گردد.

در بسیاری از طراحیها تنها محاسبه عمق جریان در بالادست یا ابتدای کانال مورد نظر است. بنابراین روشهای دیگری که در آنها می‌توان به سادگی عمق آب در ابتدای کانال را بدست آورد، ارائه شده است. در این صورت عمق طراحی در طول کانال تعیین می‌شود. از جمله این روشها نمودار ارائه شده در شکل (۴-۶) می‌باشد که به کمک آن می‌توان عمق آب در ابتدای کانال مستطیلی را بدست آورد. لازم به یادآوری است که این نمودار فقط تا عدد فرود ۱ در انتها جواب میدهد یعنی جریان در همه مقاطع کانال باید زیر بحرانی باشد، که معمولاً در مورد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب چنین است. همچنین از آنجا که این منحنی

بدون در نظر گرفتن اصطکاک کانال بدست آمده لذا جهت اطمینان بهتر است عمق بدست آمده را ۱۰ درصد افزایش دهیم. متغیر  $F_0$  و  $G$  در نمودار توسط روابط ذیل محاسبه می‌شود:

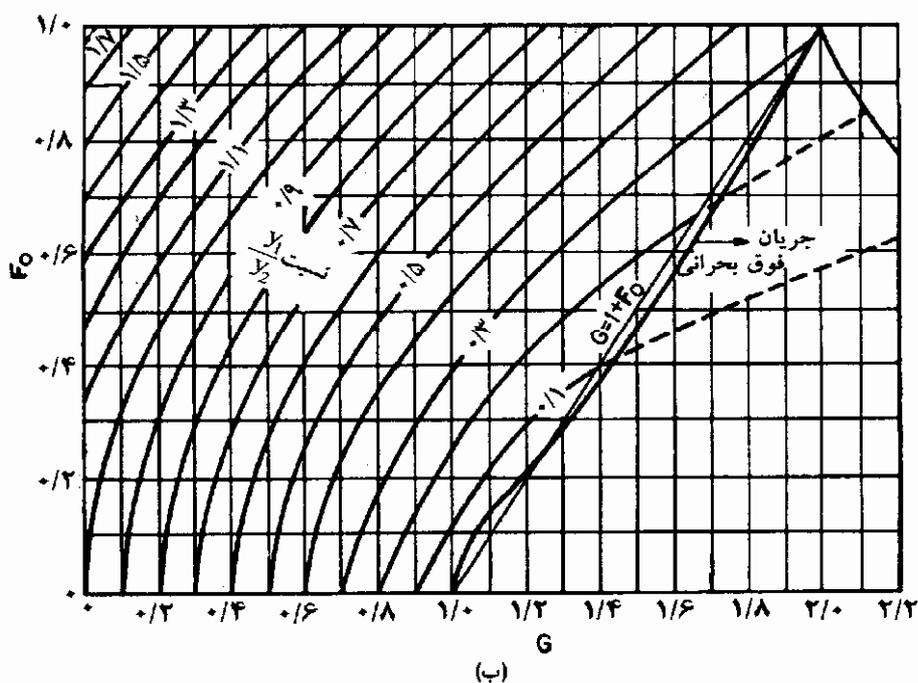
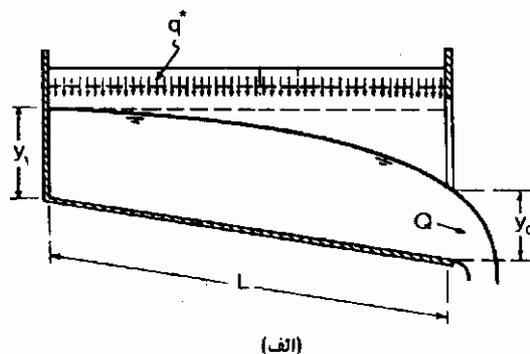
$$F_0 = \frac{Q}{A_2 \sqrt{g y_2}} \quad (۲۳-۴)$$

$$G = \frac{SL}{y_2} \quad (۲۴-۴)$$



شکل ۴-۵- نمودار محاسبه عمق در طول کانال با جریان متغیر مکانی (رابطه ۴-۲۰) با افزایش بده

در این روابط  $Q$  بده کل در انتهای کانال،  $y_2$  و  $A_2$  عمق و مساحت سطح مقطع جریان در انتهای کانال،  $S$  شیب کف کانال و  $L$  طول کانال می‌باشد. لازم به ذکر است از این نمودار می‌توان برای کانالهای بدون شیب نیز استفاده نمود که در این حالت  $G=0$  می‌باشد و مقدار  $F_0$  از روی محور قائم خوانده می‌شود.



شکل ۴-۶- نمودار تعیین عمق جریان متغیر مکانی در ابتدای کانال، (الف) مقطع کانال، (ب) نمودار [۶]

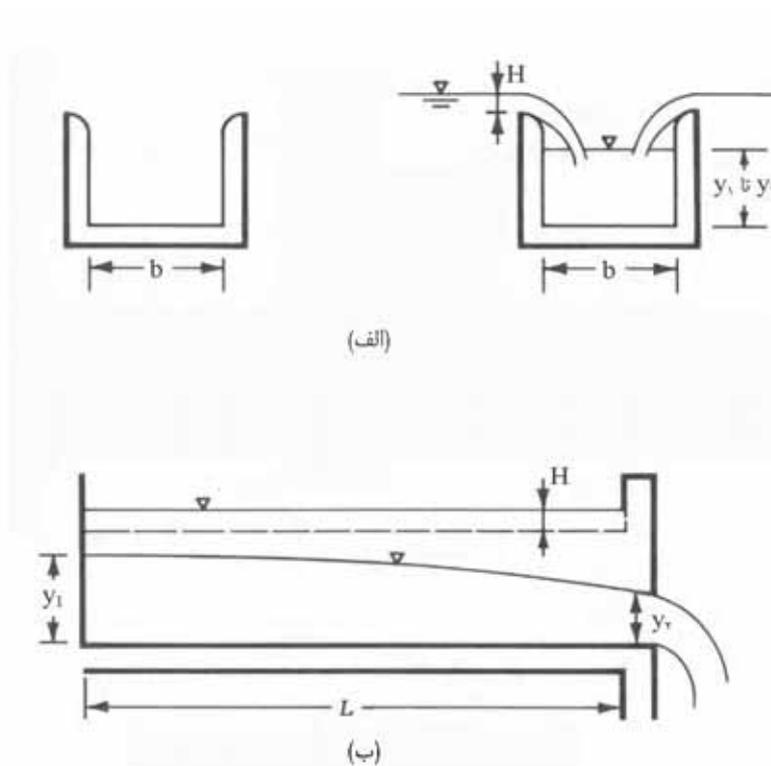
لازم به ذکر است اگر فاضلاب از دو طرف کانال جمع‌آوری به درون آن ریزش کند نیز مسئله به شکل مشابه با جمع بده ورودی از دو طرف به کانال قابل حل می‌باشد. در این نشریه با توجه به اهمیت و گستردگی کاربرد کانالهای جانبی در قسمتهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب، روش سوم در مورد نحوه تعیین عمق آب در انتهای ناودانهایی که از یک یا دو طرف آب به درون آن سرریز می‌شود، با در نظر گرفتن اثر اصطکاک ناشی از زبری کانال ارائه شده است. این ناودانها همانطور که در

شکل (۷-۴) نشان داده شده است، عملاً کانالهای ریزش جانبی هستند که برای طراحی آنها می‌توان از رابطه (۴-۲۵) استفاده نمود [۱۶].

$$y_1 = \sqrt{y_2^2 + \frac{2Q^2}{gb^2y_2} + \frac{2n'^2LQ^2}{3b^2R^{\frac{4}{3}}d}} \quad (۴-۲۵)$$

متغیرهای این رابطه در شکل (۷-۴) آمده است. همچنین،  $n'$  ضریب تصحیح شده مانینگ،  $\bar{R}$  شعاع هیدرولیکی متوسط،  $\bar{d}$  عمق متوسط را نشان می‌دهد. در این رابطه باید مقادیر  $n$  بین ۰/۰۳۹ تا ۰/۰۳۹ برای ناودان از جنس بتن در نظر گرفته شود که بزرگتر از مقادیر  $n$  مربوط به بتن در کانالهای باز معمولی است و دلیل آن اغتشاش موجود در کانال در اثر ریزش جانبی به داخل آن، می‌باشد. برای یک کانال تراز، نیمرخ سطح آب یک سهمی است و عمق متوسط  $\bar{d}$  با معادله زیر تقریب زده می‌شود:

$$\bar{d} = y_1 - \frac{1}{3}(y_1 - y_2) \quad (۴-۲۶)$$



شکل ۷-۴- ناودانهای جمع‌آوری جانبی، (الف) مقطع مجرای جمع‌آوری، (ب) نیمرخ سطح آب در طول مجرای جمع‌آوری [۱۶]



همچنین شعاع هیدرولیکی متوسط  $\bar{R}$  برای مقطع مستطیلی، از معادله زیر بدست می‌آید:

$$\bar{R} = \frac{b\bar{d}}{b+2\bar{d}} \quad (۲۷-۴)$$

رابطه (۲۵-۴) با روش سعی و خطا حل می‌شود. ابتدا با چشم پوشی از اصطکاک مقدار  $y_1$  محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از  $y_1$  بدست آمده و روابط (۲۶-۴) و (۲۷-۴)،  $\bar{d}$  و  $\bar{R}$  محاسبه می‌شوند. آنگاه معادله (۲۵-۴) می‌تواند برای بدست آوردن  $y_1$  برای اولین سعی بکار رود. حداقل مقدار  $y_2$ ، عمق بحرانی ( $y_c$ ) است و موقعی پدید می‌آید که سطح آب در قسمت خروجی بحرانی یا ریزش آزاد باشد. علاوه بر روش فوق بسیاری از طراحان، برای کانالهای افقی از رابطه تقریبی (۲۸-۴) [۱۳] که با صرفنظر از قسمت اصطکاک رابطه (۲۵-۴) بدست آمده، استفاده می‌کنند و برای در نظر گیری اثر اصطکاک مقدار محاسبه شده از این رابطه را ۱۲ درصد افزایش می‌دهند.

$$y_1 = \sqrt{y_2^2 + \frac{2Q^2}{gb^2y_2}} \quad (۲۸-۴)$$

#### ب- جریان متغیر مکانی با کاهش بده

در نوع دوم جریان متغیر مکانی، در طول کانال بخشی از بده جریان بصورت جانبی خارج و از کل بده کاسته می‌شود. جریان متغیر مکانی با کاهش بده معمولاً در سرریز کناری یا جانبی دیده می‌شود. سرریز کناری عبارت است از یک سرریز با جریان آزاد که در کناره کانال و به موازات جریان تعبیه شده و اجازه می‌دهد تا در موقعی که ارتفاع آب بالاتر از تاج سرریز است، مقداری از آب از روی آن، به صورت جانبی، خارج شود. این نوع سرریز در انحراف و تخلیه فاضلاب اضافی در کانال ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و یا در مقاطعی از تصفیه خانه که بده از ظرفیت واحد پایین دست بیشتر است موارد استفاده فراوان دارد. منظور از سرریزهای کناری یا جانبی سازه‌های هیدرولیکی بوده که در آنها نسبت طول سرریز به عرض کانال معمولاً کمتر از  $3 \leq \frac{L}{B}$  است. انواع نیمرخهای جریانی متداول که در مقطع سرریز در کانال بوجود می‌آید، به شرح زیر می‌باشد:

حالت اول: در این حالت کانال دارای شیب ملایم بوده و عمق قبل از سرریز بزرگتر از عمق بحرانی در مقطع بالادست سرریز است (شکل ۴-۸-الف). در انتهای سرریز، بده  $Q_2$  با عمق نرمال حاکم بوده و لذا عمق آب در آن با عمق آب در کانال پایین دست سرریز یکسان است. عمق جریان در مقطع قبل از سرریز که از عمق بحرانی با بده  $Q_1$  بیشتر و از عمق نرمال در کانال بالادست کمتر است. واضح است که در چنین شرایطی و با توجه به شیب ملایم کانال، عمق جریان بتدریج در طول سرریز افزایش یافته تا از  $h_1$  به  $h_2$  برسد. این حالت یکی از متداول ترین انواع جریان در سرریزهای جانبی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌باشد.

حالت دوم: در این حالت همانند حالت قبل کانال شیب ملایم دارد ولی عمق قبل از سرریز به عمق بحرانی در مقطع بالادست سرریز بسیار نزدیک است. در این شرایط، همانطور که در شکل (۴-۸-ب) مشخص شده است، اگر سرریز طولانی

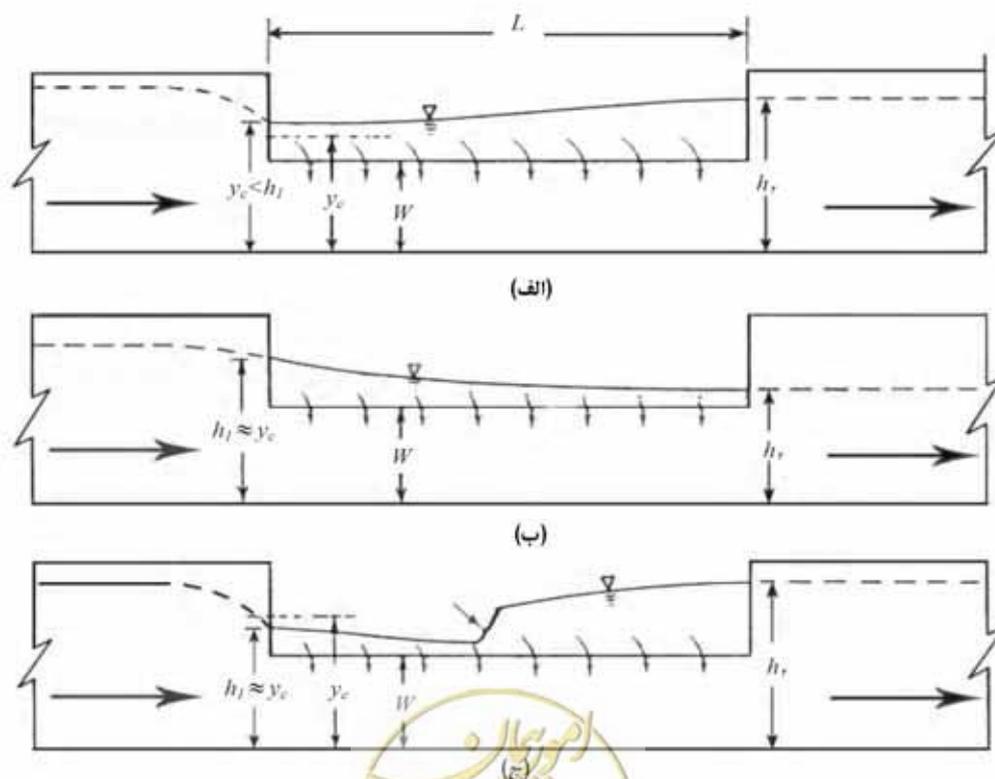


باشد، امکان ایجاد جریانی با عمق کمتر از عمق بحرانی وجود دارد. در این حالت عمق جریان در مقطع بالادست سرریز را مساوی عمق بحرانی در کانال بالادست گرفته و در پایین دست سرریز نیز عمق  $y_2$  از طریق یک پرش به عمق نرمال در کانال پایین دست متصل خواهد شد. لازم به ذکر است که بسته به عمق پایین دست، پرش می‌تواند به داخل منطقه سرریز نفوذ کرده و حالت سوم را بوجود آورد.

حالت سوم: در این حالت، همانطور که در شکل (۴-۸-ج) نشان داده شده است، عمق جریان در طول سرریز بتدریج کاهش پیدا کرده و قبل از رسیدن به مقطع ۲ در روی سرریز یک پرش هیدرولیکی بوجود می‌آید. این حالت به ندرت در تصفیه‌خانه اتفاق می‌افتد.

در طراحی سرریزهای جانبی معمولاً تعیین بده خروجی از کانال به ازای طول (L) و ارتفاع سرریز (W)، مهم است و تغییرات عمق در مقطع سرریز اهمیت کمتری دارد. برای محاسبه طول لازم برای سرریز از رابطه (۴-۲۹) که با فرض برابری انرژی در طول سرریز برای کانالهای مستطیلی و منشوری و منشوری لبه تیز بدست آمده، استفاده می‌شود [۶]:

$$L = \frac{3}{2} \frac{B}{C_M} (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (۴-۲۹)$$



شکل ۴-۸- انواع مختلف جریان روی سرریز کناری، (الف) حالت اول، (ب) حالت دوم، (ج) حالت سوم [۶]

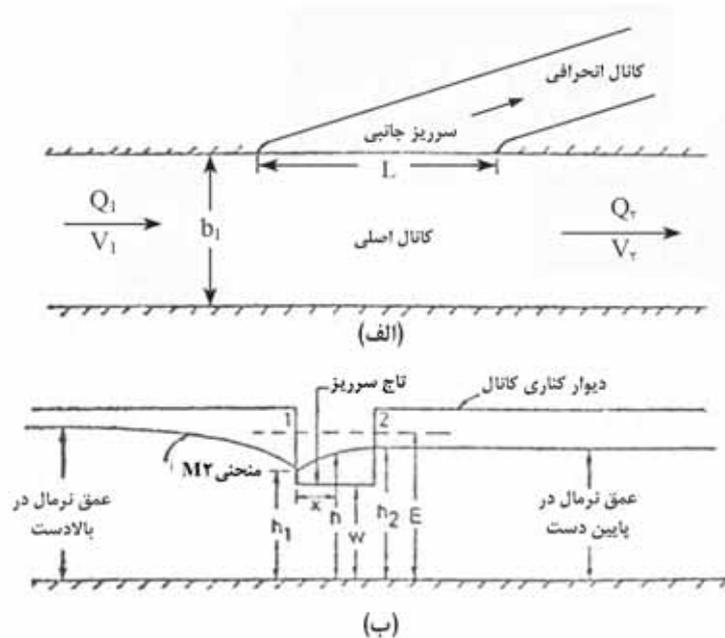
در رابطه (۲۹-۴) مقدار  $\phi$  در هر مقطع با عمق  $h$  برابر است با:

$$\phi = \frac{2E - 3W}{E - W} \sqrt{\frac{E - h}{h - W}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - h}{h - W}} \quad (۳۰-۴)$$

همانطور که در شکل (۹-۴) دیده می‌شود در این روابط  $E$  مقدار انرژی مخصوص (که مقدار آن در طول سرریز ثابت است)،  $W$  ارتفاع سرریز،  $L$  طول سرریز،  $B$  عرض کانال و  $h$  عمق آب می‌باشند. برای تعیین  $C_M$  روابط تجربی مختلفی ارائه شده است که در این نشریه از رابطه (۳۱-۴) برای مقطع مستطیلی لبه تیز که متداولترین هستند استفاده می‌شود.

$$C_M = 0.7 - 0.48 Fr_1 - 0.3 \frac{W}{h_1} + 0.06 \frac{L}{b} \quad (۳۱-۴)$$

در این رابطه عدد فرود در مقطع ابتدای سرریز با عمق  $h_1$  می‌باشد. این ضریب بصورت سعی و خطا همراه با رابطه (۲۹-۴) محاسبه می‌گردد.



شکل ۹-۴- سرریز جانبی (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع



## ۴-۶ سیستمهای توزیع جریان

با توجه به اینکه در بسیاری از قسمتهای تصفیه‌خانه فاضلاب واحدها بصورت موازی در کنار هم قرار گرفته اند، لازم است جریان بطور مساوی و یا با یک نسبت مشخص بین آنها تقسیم گردد. برای تقسیم جریان روشهای مختلفی وجود دارد که بسته به شرایط موجود روش مناسب انتخاب می‌گردد. این روشها بطور کلی به دو دسته تقسیم می‌گردد:

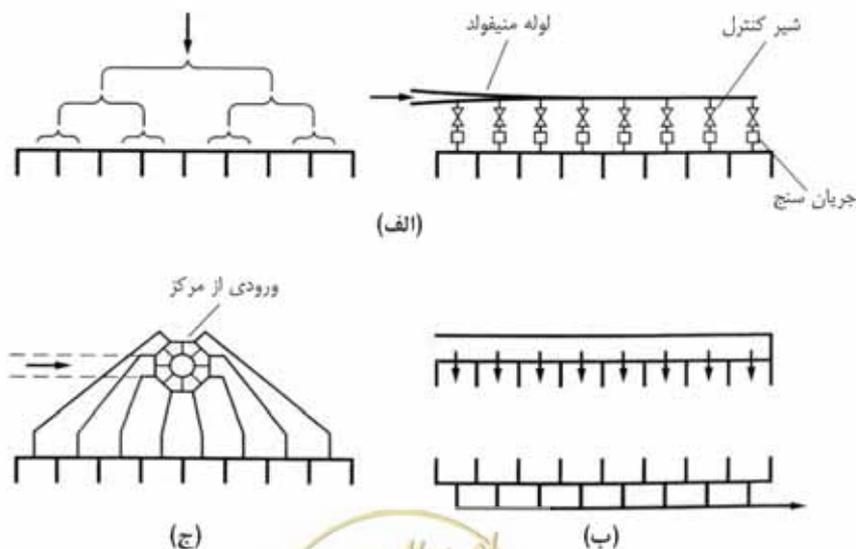
الف- جعبه تقسیم

ب- آبراهه توزیع جریان کانال باز و بسته<sup>۱</sup>

در شکل (۴-۱۰) چند نمونه از سیستمهای متداول توزیع جریان در تصفیه‌خانه فاضلاب نشان داده شده است. در ادامه طراحی هیدرولیکی مربوط به هر یک ارائه می‌گردد.

### الف- جعبه‌های تقسیم

در جعبه‌های تقسیم، با توجه به اینکه در اغلب موارد بده انشعابات با هم مساوی است، لذا بهتر است انشعابات جعبه با هم مشابه و بصورت متقارن قرار گیرند. ورودی جریان به جعبه تقسیم می‌تواند از کنار و یا بصورت ورودی از مرکز باشد. در صورت ورود جریان از کنار لازم است با در نظر گیری صفحه مانع، جریان در داخل جعبه را آرام کرد تا در توزیع مساوی جریان بین انشعابات اختلال ایجاد نگردد. معمولاً برای کنترل و تنظیم جریان ورودی هر انشعاب از دریچه، سرریز و یا شیر کشویی استفاده می‌شود. محاسبه افت ارتفاع در جعبه تقسیم با استفاده از روابط (۴-۹)، (۴-۱۲)، (۴-۱۳) و یا روابط مربوط به سرریز انجام می‌گردد.



شکل ۴-۱۰- انواع سیستمهای متداول توزیع جریان در تصفیه‌خانه فاضلاب،  
 (الف) آبراهه توزیع بسته، (ب) کانال باز توزیع جریان، (ج) جعبه تقسیم

### ب- آبراهه توزیع باز و بسته

جریان در آبراهه توزیع می‌تواند بصورت کانال باز یا لوله تحت فشار باشد. مجاری توزیعی که به صورت کانال باز عمل می‌کنند در طول دیوار جانبی خود شامل سرریزهائی هستند که جریان از آن خارج می‌گردد. علاوه بر سرریز در این کانالها می‌توان از روزنه‌های مستغرق نیز برای تخلیه جریان استفاده نمود. بده عبوری از سرریز و یا روزنه‌های مستغرق را می‌توان از رابطه (۳۲-۴) بدست آورد:

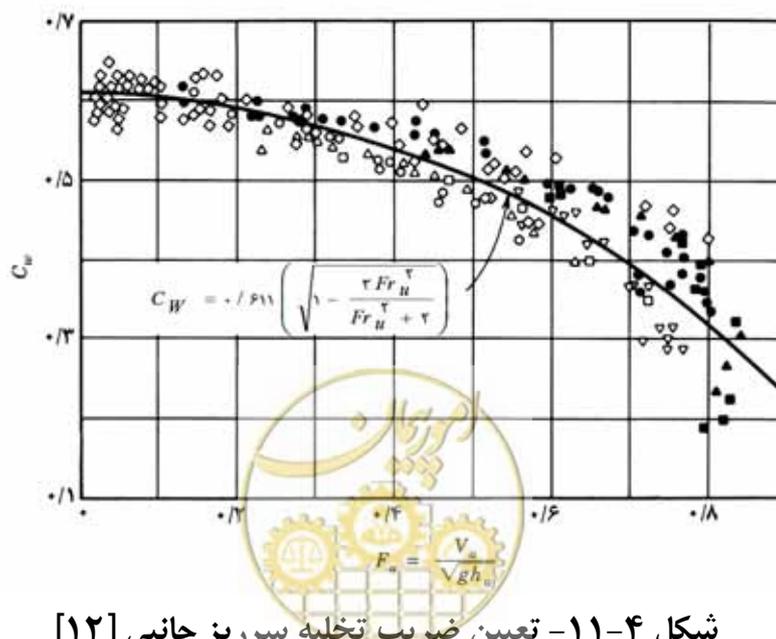
$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (32-4)$$

در این رابطه  $Q$  بده،  $A$  سطح مقطع جریان در سرریز یا روزنه،  $H$  ارتفاع جریان روی سرریز یا روزنه (تا مرکز روزنه) و  $C$  ضریب بده در حالت کلی می‌باشد. ضریب بده برای حالتی که سرریز عمل تخلیه از کنار را انجام می‌دهد، با  $C_W$  مشخص شده و از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$C_W = 0.611 \times \left(1 - \frac{3Fr_u^2}{Fr_u^2 + 2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad Fr_u < 1 \quad (33-4)$$

در این رابطه  $Fr_u$  عدد فرود جریان در مقطع قبل از سرریز در کانال توزیع را نشان می‌دهد. علاوه بر رابطه (۳۳-۴) می‌توان از نمودار شکل (۴-۱۱) نیز برای تعیین ضریب  $C_W$  استفاده نمود. در اغلب موارد ضریب  $C_W$  را می‌توان  $0.611$  فرض کرد. ضریب بده برای حالتی که از روزنه‌های مستغرق استفاده گردد، با  $C_D$  نشان داده شده و از رابطه (۳۴-۴) بدست می‌آید [۱۲]:

$$C_D = 0.611 - 0.291 \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (34-4)$$



شکل ۴-۱۱- تعیین ضریب تخلیه سرریز جانبی [۱۲]

در این رابطه  $V$  سرعت جریان در مقطع بالادست روزنه در کانال توزیع را نشان می‌دهد. در ادامه نحوه تعیین افت ارتفاع برای قسمتهای مختلف آبراهه توزیع جریان آمده است.

#### ۴-۶-۱ محاسبه افت ارتفاع در طول آبراهه توزیع

برای محاسبه افت ارتفاع در طول آبراهه بسته از رابطه (۴-۳۵) استفاده می‌گردد [۸]:

$$(h_L)_x = h_t \left[ \frac{x}{L} - \left( \frac{x}{L} \right)^2 - \frac{1}{3} \left( \frac{x}{L} \right)^3 \right] \quad (۴-۳۵)$$

در این رابطه  $(h_L)_x$  افت ارتفاع از ابتدای آبراهه تا فاصله  $x$  از آن،  $L$  طول کانال و  $h_t$  افت ارتفاع اصطکاکی در لوله توزیع بسته در حالتی که هیچ انشعابی وجود ندارد و کل جریان از مجرا عبور می‌کند، را نشان می‌دهند. برای محاسبه  $h_t$  می‌توان از روابط ارائه شده برای محاسبه افت ارتفاع اصطکاکی در مجاری بسته، استفاده کرد. چون در اغلب موارد محاسبه افت ارتفاع بین اولین و آخرین انشعاب (ابتدای آبراهه تا انتهای آن) مورد نظر است، با جایگذاری  $x = L$ ، داریم:

$$h_L = \frac{1}{3} h_t \quad (۴-۳۶)$$

در این رابطه  $h_L$  افت ارتفاع بین اولین و آخرین انشعاب را نشان می‌دهد. از روابط (۴-۳۵) و (۴-۳۶) می‌توان برای محاسبه افت ارتفاع و تعیین تغییرات عمق آب در کانالهای باز با استفاده از رابطه انرژی نیز استفاده نمود.

#### ۴-۶-۲ محاسبه افت ارتفاع در مسیر انشعاب

برای محاسبه افت ارتفاع در مسیر انشعاب ( $\Delta h$ )، بین نقاط ۱ و ۲ در شکل (۴-۱۲)، از رابطه زیر استفاده می‌گردد [۸]:

$$\Delta h = \beta \left( \frac{V_L^2}{2g} \right) \quad (۴-۳۷)$$

در این رابطه  $V_L$  سرعت متوسط جریان در انشعاب و  $\beta$  ضریب افت می‌باشد که مقدار آن از رابطه (۴-۳۸) تعیین می‌گردد [۸]:

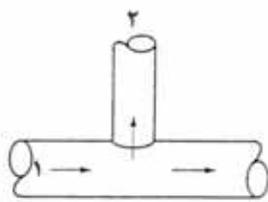
$$\beta = \varphi \left( \frac{V_M}{V_L} \right)^2 + \theta + 1 \quad (۴-۳۸)$$



در این رابطه  $V_M$  سرعت متوسط در منیفولد در بالادست محل انشعاب را نشان می‌دهد.  $\theta$  و  $\varphi$  ضرائب ثابتی هستند که با توجه به نوع انشعاب تعیین می‌گردد و مقدار آن را می‌توان از جدول (۴-۵) بدست آورد. انشعاب طویل حالتی را نشان می‌دهد که طول انشعاب از سه برابر قطر لوله آن بزرگتر و انشعاب کوتاه حالتی است که طول انشعاب از سه برابر قطر آن کوتاه تر باشد. سرعت جریان در انشعاب ( $V_L$ ) را می‌توان از رابطه (۴-۳۹) محاسبه نمود [۸]:

$$(V_L)_i = \frac{Q}{a\sqrt{\beta_i}} \left[ \sum_{j=1}^{j=n} \sqrt{\frac{1}{\beta_j}} \right]^{-1} \quad (۴-۳۹)$$

در این رابطه اندیسهای  $i$  و  $j$  مربوط به انشعابات  $i$ ام و  $j$ ام و  $Q$  بده کل،  $\beta$  از رابطه (۴-۳۸) تعیین شده،  $a$  سطح مقطع انشعاب و  $n$  تعداد انشعابات را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲- تعیین افت ارتفاع در انشعاب بین نقاط ۱ و ۲

#### جدول ۴-۵- تعیین مقادیر $\theta$ و $\varphi$

$\theta$	$\varphi$	طول انشعاب
۰/۴	۰/۹۰	طویل
۰/۷	۱/۶۷	کوتاه



## ۵- هیدرولیک لجن

لجن به علت دارا بودن مواد معلق بیشتر نسبت به فاضلاب، دارای لزجت بیشتری نیز می‌باشد و در طراحی مجاری انتقال لجن باید این امر در نظر گرفته شود به نحوی که لجن بتواند به راحتی جریان یافته و در صورت نیاز قابل تلمبه‌زنی باشد. برای انتقال لجن معمولاً از مجاری بسته نظیر لوله استفاده می‌شود و استفاده از کانالهای باز برای انتقال لجن کمتر مرسوم است. برای تعیین متغیرهای هیدرولیکی در مورد لجنهایی که غلظت مواد معلق موجود در آن کم است (کمتر از ۱/۵ درصد)، می‌توان از روابط ارائه شده برای فاضلاب و با در نظر گیری ضریب اطمینان بالاتر، استفاده کرد ولی در صورتی که غلظت لجن از این حد بیشتر باشد، مجاز به استفاده از این روابط نخواهیم بود. در این فصل روابط محاسبه متغیرهای هیدرولیکی و تعیین افت ارتفاع برای انواع لجن با درصد جامدات مختلف ارائه می‌گردد.

### ۱-۵ خطوط انتقال لجن

در خطوط انتقال لجن در نظر گرفتن رفتار لجن در لوله و کانال، طراحیهای خاصی را ایجاب می‌کند. استاندارد حداقل قطر لوله‌های انتقال لجن برای جریان تحت فشار ۱۵۰ میلی‌متر و برای جریان ثقیلی ۲۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به ماهیت لجن لازمست سرعت جریان لجن در لوله در محدوده ۰/۳ تا ۱/۵ متر بر ثانیه قرار گیرد. همچنین در طراحی سامانه‌های انتقال لجن توجه به نکات زیر ضروری است:

- لجن یک سیال غیر همگن است که غلظت مواد جامد در آن می‌تواند تغییرات زیادی داشته باشد.
- شاخصهای مفید در مورد آب یا فاضلاب (نظیر عدد رینولدز) را نمی‌توان بطور مستقیم در مورد لجن استفاده نمود زیرا لجن می‌تواند رفتار یک سیال غیر نیوتنی را داشته باشد. همچنین لزجت در محاسبه افت فشار می‌تواند ثابت نباشد و روش خاصی باید در محاسبه افتهای اصطکاکی مورد استفاده قرار گیرد.
- افتهای اصطکاکی با کاهش درصد جامدات موجود در لجن و افزایش دما کاهش می‌یابد و غلظت جامدات محلول در لجن به عنوان یک متغیر اصلی در محاسبات هیدرولیکی مورد توجه قرار می‌گیرد.
- به علت ماهیت بیولوژیکی، لجنهای تازه هضم نشده و لجنهایی که با فاضلاب مخلوط شده اند رفتار متفاوتی نسبت به لجنهای هضم شده دارند.

در هر صورت در طراحی سامانه‌های انتقال لجن مهمترین عامل هیدرولیکی محاسبه افت ارتفاع در لوله می‌باشد. لذا با تعیین ضریب افت و یا روابط مربوط به آن که می‌تواند با جریان آب کاملاً متفاوت باشد، افت ارتفاع تعیین می‌گردد. جریان لجن در لوله‌ها می‌تواند هم به صورت لایه‌ای (عدد رینولدز کمتر از ۲۰۰۰) و هم به صورت غیر لایه‌ای (عدد رینولدز بیشتر از ۳۰۰۰) وجود داشته باشد و لذا در هر مورد باید از روابط مخصوص به همان حالت استفاده نمود.

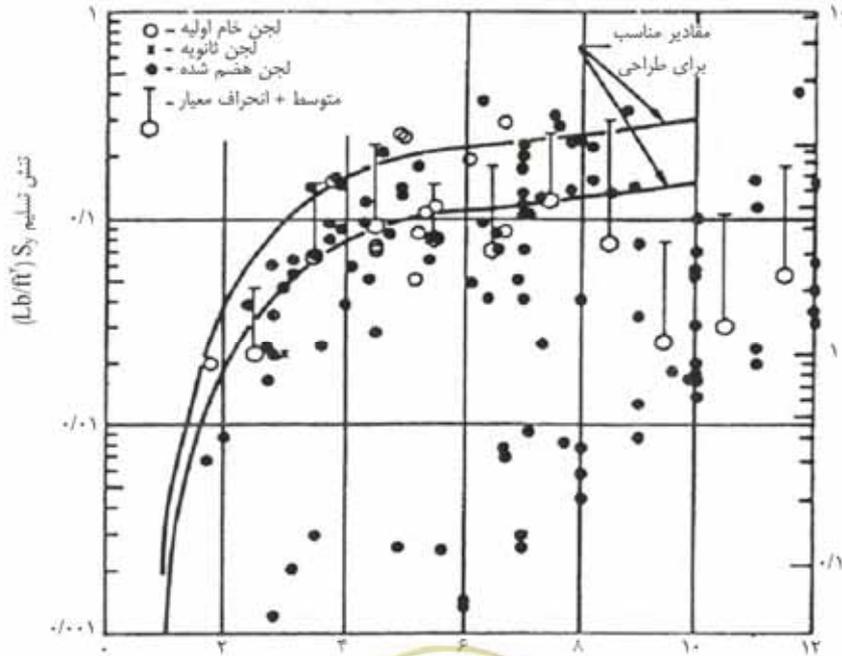


## ۲-۵ افت ارتفاع اصطکاکی در رژیم جریان لایه‌ای

بطور کلی لجن بصورت سیالات غیر نیوتنی رفتار می‌کند زیرا افتهای اصطکاکی در آن تابعی از رئولوژی<sup>۱</sup> (لزجت، الاستیسیته<sup>۲</sup> و پلاستیسیته<sup>۳</sup>)، قطر لوله و سرعت جریان می‌باشد و مقدار افت ارتفاع در آن می‌تواند تا چندین برابر افت ارتفاع در مورد آب باشد. عواملی همچون افزایش اصطکاک با افزایش درصد جامدات، انباشتگی چربی روی دیوار لوله و فرار بودن مواد محلول در لجن باعث پیچیدگی محاسبه افت ارتفاع اصطکاکی در آن نسبت به جریان آب در لوله شده است. بر خلاف آب، جریان لجن در لوله، افت ارتفاع با سرعت جریان به تنهایی متناسب نیست. برای تخمین میزان افت ارتفاع اصطکاکی لجن در لوله می‌توان از رابطه بینگهام استفاده نمود:

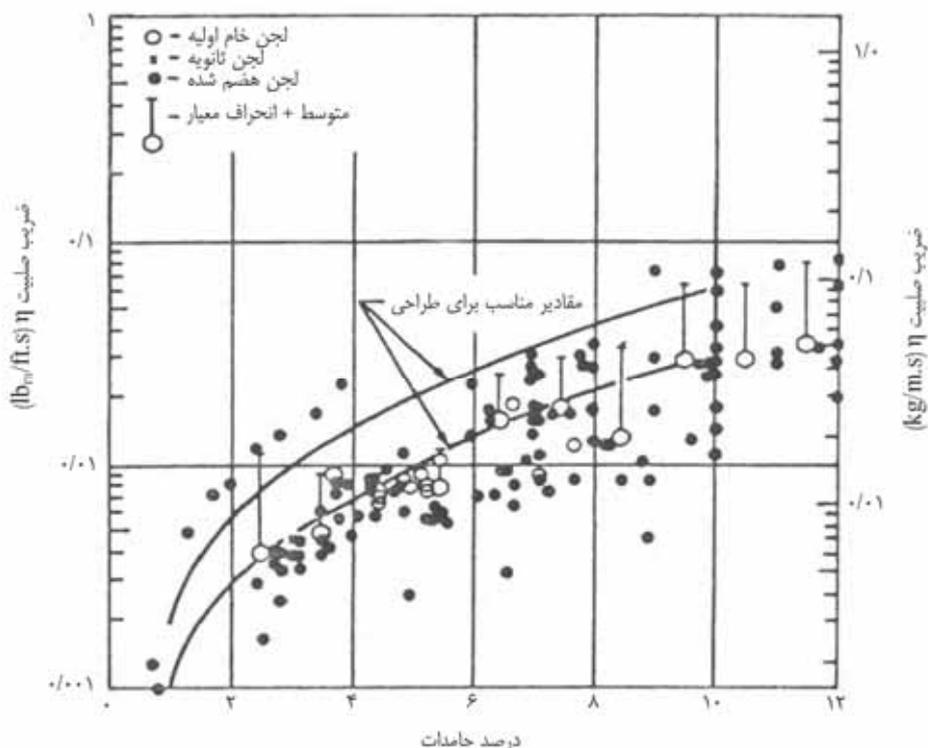
$$\frac{h_f}{L} = \frac{16S_y}{3\gamma d} + \frac{32\eta V}{\gamma d^2} \quad (۱-۵)$$

در این رابطه  $h_f$  افت ارتفاع اصطکاکی در طول لوله (متر)،  $d$  قطر لوله (متر)،  $V$  سرعت جریان (متر بر ثانیه)،  $\gamma$  وزن مخصوص لجن (نیوتن بر مترمکعب)،  $S_y$  تنش تسلیم (پاسکال) و  $\eta$  ضریب صلیبیت را نشان می‌دهند.  $S_y$  و  $\eta$  تابعی از درصد مواد جامد موجود در لجن می‌باشد و مقدار آن را می‌توان از نمودار شکل‌های (۱-۵) و (۲-۵) انتخاب نمود.



شکل ۱-۵- تنش تسلیم ( $S_y$ ) برای لجن با درصد جامدات مختلف [۱۱]

- 1 - Reology
- 2 - Elasticity
- 3 - Plasticity



شکل ۵-۲- ضریب صلیبیت ( $\eta$ ) در انواع مختلف لجن [۱۱]

### ۳-۵ افتهای اصطکاکی در شرایط جریان آشفته

رژیم جریان آشفته بیشتر برای لجن با غلظت مواد جامد پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رژیم جریان افتهای اصطکاکی به جریان آشفته در آب نزدیک بوده و بصورت تابعی از توان  $1/7$  الی  $2$  سرعت تغییر می‌کنند و مقدار آن بطور چشمگیری از افت اصطکاکی در شرایط جریان لایه‌ای بیشتر است. همچنین در رژیم جریان آشفته بر خلاف جریان لایه‌ای، زبری دیوار لوله، یا جنس آن، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. افتهای اصطکاکی در این شرایط تا حدود زیادی با جریان آب در لوله شباهت داشته و می‌توان میزان افت فشار در طول لوله را از رابطه (۲-۵) محاسبه نمود:

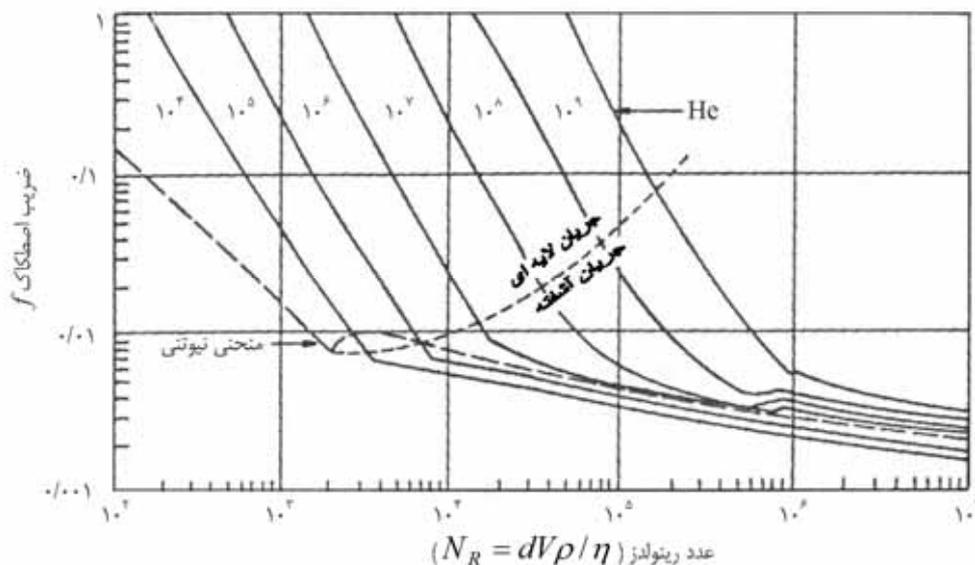
$$\Delta P = \frac{2\lambda\gamma LV^2}{gd} \quad (2-5)$$

در این رابطه  $g$  شتاب ثقل،  $\Delta P$  تغییرات فشار و  $\lambda$  ضریب افت اصطکاکی را نشان می‌دهند. در این رابطه  $\lambda$  تابعی از عدد هدستروم و عدد رینولدز بوده و مقدار تقریبی آن را می‌توان از نمودار شکل (۳-۵) تعیین نمود ( $\lambda = \frac{f}{4}$ ). عدد هدستروم ( $He$ ) یک ضریب بدون بعد است که خصوصیات لجن را بطور کامل در بر می‌گیرد و مقدار آن را می‌توان از رابطه (۳-۵) محاسبه کرد:

$$He = \frac{d^2 S_y \gamma}{\eta^2 g} \quad (3-5)$$



لازم به ذکر است در شرایط جریان بینابینی (انتقالی) استفاده از روابط ارائه شده برای رژیم جریان آرام و رژیم جریان آشفته به مقادیر تقریباً یکسانی منتج می‌شود.



شکل ۵-۳- ضریب اصطکاک برای محاسبه افت ارتفاع لجن در تئوری پلاستیک بینگهام [۱۱]

#### ۴-۵ روش دیگر محاسبه افت ارتفاع

محاسبه افت ارتفاع اصطکاکی برای جریان لجن با استفاده از روابط ارائه شده برای جریانهای لایه‌ای و آشفته به علت زیاد بودن تعداد متغیرها و پیچیدگی محاسبه ضرائب کمی دشوار است. لذا برای محاسبه افت ارتفاع اصطکاکی در لوله‌های انتقال لجن از روشهای ساده تری نیز می‌توان استفاده نمود. یکی از این روشها ساده سازی مسئله جریان لجن با فرض جریان آب در لوله و استفاده از ضریب تصحیح می‌باشد. این ضریب تصحیح تابعی از درصد جامدات موجود در لجن بوده و مقدار آن را برای طراحی در شرایط معمولی از نمودار شکل (۵-۴-الف) و برای طراحی در شرایط محافظه کارانه، از نمودار شکل (۵-۴-ب) تعیین می‌کنند.

یکی دیگر از روشهای ساده محاسبه افت ارتفاع جریان لجن در مجاری بسته استفاده از رابطه هیزن-ویلیامز (رابطه ۴-۱۱) است که اثر لزجت لجن در ضریب هیزن-ویلیامز ( $C_H$ ) منعکس شده است. در این حالت بر خلاف آنچه در محاسبات مربوط به خطوط آب یا فاضلاب بیان شد، ضریب هیزن-ویلیامز تنها تابعی از درصد جامدات موجود در لجن بوده و از جدول (۵-۱) انتخاب می‌گردد.

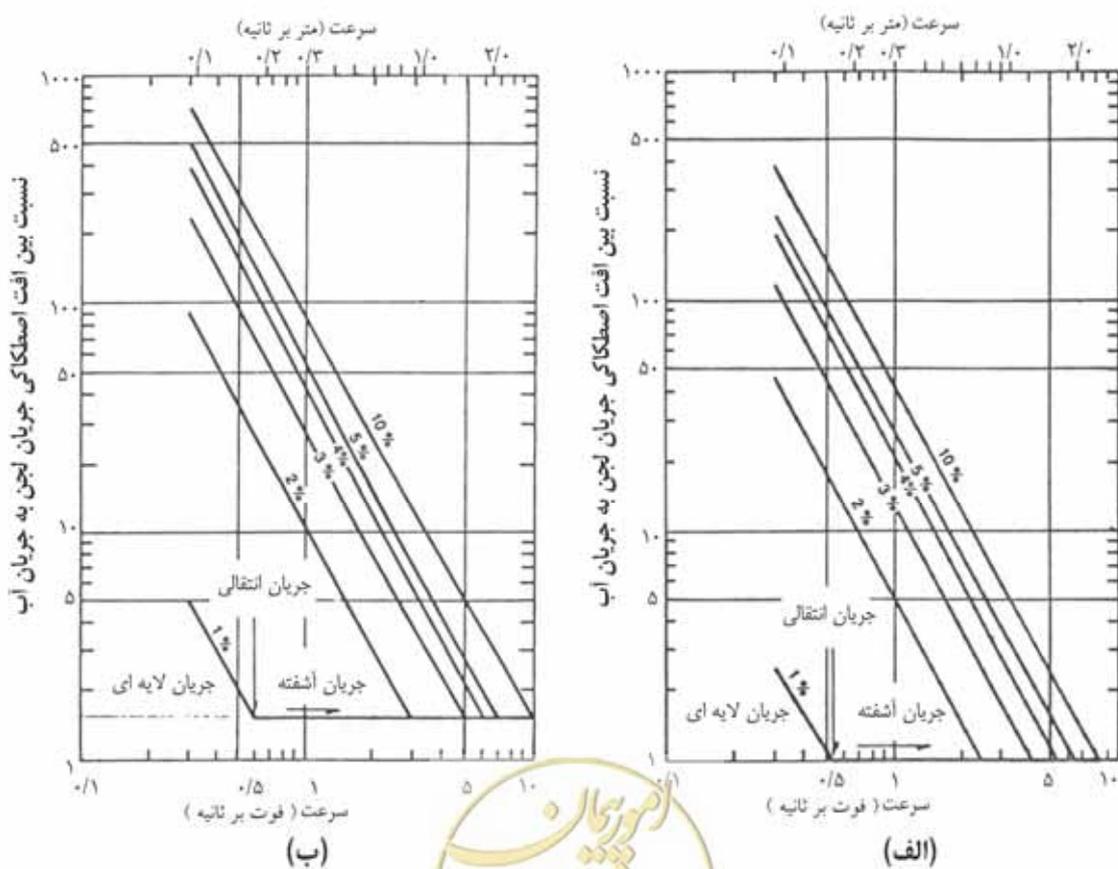
#### ۵-۵ افتهای موضعی

جهت محاسبه ارتفاع مربوط به افتهای موضعی با وجود لجن در لوله انتقال، بهتر است که طول معادل هر افت محاسبه شده و در نهایت طول معادل کل افتهای موضعی به طول اصلی لوله اضافه شود و افت ارتفاع کل بر مبنای افت اصطکاکی با طول لوله کلی محاسبه شود.



جدول ۵-۱- ضریب هیزن- ویلیامز برای محاسبه افت ارتفاع برای انواع مختلف لجن [۱۳]

ضریب هیزن- ویلیامز ( $C_H$ )		درصد جامدات لجن
لجن هضم شده	لجن خام	
۱۰۰	۱۰۰	۰
۱۰۰	۸۳	۱
۹۱	۷۱	۲
۸۳	۶۰	۳
۷۸	۵۳	۴
۷۳	۴۷	۵
۶۹	۴۲	۶
۶۵	۳۷	۷
۶۰	۳۳	۸
۵۵	۲۹	۹
۴۸	۲۵	۱۰



شکل ۵-۴- تعیین ضریب تصحیح افت ارتفاع بدست آمده از رابطه داریسی، (الف) شرایط طراحی

عادی، (ب) شرایط طراحی محافظه کارانه

## ۶- هیدرولیک سازه‌ها

در تصفیه‌خانه فاضلاب سازه‌های هیدرولیکی مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این استاندارد جزئیات و مشخصات هیدرولیکی چند سازه مهم که تقریباً در اکثر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وجود دارد، ارائه می‌شود.

### ۱-۶ سرریز

طبق تعریف، هر مانعی که بر سر راه جریان در کانال قرار گیرد و باعث شود تا آب در بالادست آن بالا آمده و بر سرعت آب ضمن عبور از روی آن افزوده شود، سرریز نامیده می‌شود. سرریزها را می‌توان در دو حالت آزاد و مستغرق مورد مطالعه قرار داد. سرریزهای متداول در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دو گروه سرریزهای لبه تیز و سرریزهای لبه پهن تقسیم می‌شوند. سرریزها می‌توانند با مقطع عرضی مستطیلی، مثلثی، دوزنقه‌ای و غیره در تمام یا بخشی از سطح مقطع جریان عبوری ساخته شوند.

#### ۱-۱-۶ سرریزهای لبه تیز با جریان آزاد

این نوع سرریزها بصورت عمود بر بردار سرعت در مسیر جریان قرار می‌گیرند و رابطه بین بده (Q) و ارتفاع آب روی سرریز (H) که در فاصله حداقل ۳ برابر آن از مقطع سرریز اندازه‌گیری می‌شود، به صورت  $Q = KH^n$  خواهد بود که n تابعی از شکل سرریز و K تابعی از شکل و نحوه استقرار سرریز می‌باشد. از جمله مصارف عمده این سرریزها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، کنترل سطح آب در بسیاری از واحدها مثل هوادهی، ته‌نشینی و یا حوضچه‌های تقسیم می‌باشد. در ادامه رابطه فوق برای حالت‌های متداول ارائه می‌گردد.

#### الف- سرریزهای لبه تیز مستطیلی

در این حالت با فرض اینکه بردار سرعت روی سرریز افقی است و کاهش عمق وجود ندارد (شکل ۱-۶)، رابطه بین بده در واحد عرض و عمق روی سرریز بصورت زیر بدست می‌آید [۵]:

$$\frac{Q}{L} = q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad (1-6)$$

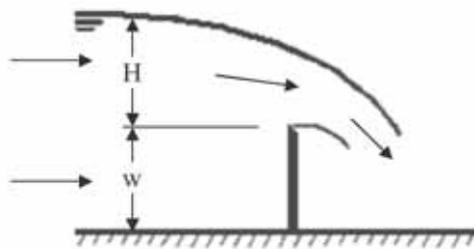
در رابطه بالا q بده در واحد عرض سرریز، H ارتفاع آب روی سرریز، g شتاب ثقل و  $C_d$  ضریب شدت جریان می‌باشند.

برای مقادیر  $\frac{H}{W} \leq 2$ ، ضریب بده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۵]:

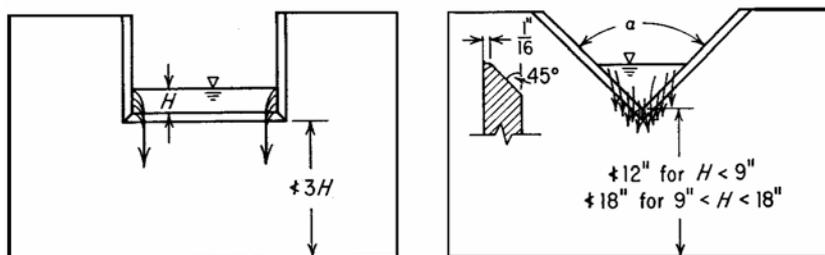
$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H}{W} \quad (2-6)$$

در این رابطه W ارتفاع سرریز نسبت به کف کانال در بالادست را نشان می‌دهد. البته استفاده از سرریز در شرایط  $\frac{H}{W} < 0.5$

مطلوبتر می‌باشد. در این صورت با توجه به تاثیر کم  $\frac{H}{W}$  می‌توان  $C_d$  را ثابت و برابر ۰/۶۱۱ در نظر گرفت.



شکل ۶-۱- سرریز لبه تیز آزاد



سرریز مستطیلی

سرریز مثلثی

شکل ۶-۲- سرریز لبه تیز کوچک شده

### ب- سرریزهای لبه تیز کوچک شده آزاد در کانالها

در این حالت عرض سرریز کمتر از عرض کانال می‌باشد و جمع شدگی آب در موقع خروج از سرریز باعث می‌شود طول موثر سرریز ( $L_e$ ) از طول سرریز ( $L$ ) کمتر شده و در محاسبه بده لازم است این انقباض جریان را نیز در نظر گرفت. این سرریزها معمولاً به شکلهای مستطیلی و مثلثی ساخته شده (شکل ۶-۲) و در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کاربرد زیادی جهت کنترل سطح آب و تنظیم بده عبوری دارند. روابط زیر برای محاسبه بده عبوری از آنها پیشنهاد شده است:

- برای سرریز مستطیلی [۵]:

$$Q = \frac{2}{3} C_c (L - 0.2H) \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (۳-۶)$$



omooorepeyman.ir

$$Q = \frac{8}{15} C_c \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{2gH}^{\frac{5}{2}} \quad (4-6)$$

اگر زاویه رأس  $\alpha$  برابر با  $90^\circ$  باشد و مقدار  $C_c = 0.585$  در نظر گرفته شود، داریم

$$Q = 1/382H^{\frac{5}{2}} \quad (5-6)$$

### ج- سرریز تناسبی<sup>1</sup>

در صورتی که طراحی سرریز به گونه‌ای انجام پذیرد که بده بصورت خطی با تغییرات  $H$  تغییر کند، آن سرریز را سرریز تناسبی می‌نامند. این نوع سرریز از یک مقطع مستطیلی که به یک قسمت انحنادار متصل است، تشکیل شده است و جریان همانند روزنه از داخل آن عبور می‌کند. در این قسمت ضمن ارائه رابطه بین بده و ارتفاع در سرریز تناسبی نحوه طراحی هیدرولیکی این سازه ارائه خواهد شد. در سرریز تناسبی رابطه (6-6) بین شدت جریان عبوری و عمق آب برقرار است [5]:

$$Q = 1/57 C_d \sqrt{2g} L H^{\frac{3}{2}} \quad (6-6)$$

در این رابطه  $Q$  بده جریان،  $H$  ارتفاع جریان روی سرریز،  $L$  طول متغیر بازشدگی دهانه سرریز (مطابق شکل 6-3) و  $C_d$  ضریب بده می‌باشد که برای سرریز تناسبی بین  $0.6$  تا  $0.9$  تغییر می‌کند ولی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به علت امکان رشد و جمع شدن لجن این مقدار برابر با  $0.6$  انتخاب می‌شود. با جایگزینی  $C_d$  در رابطه (6-6) خواهیم داشت:

$$Q = 4/173 [LH^{\frac{1}{2}}] H \quad (7-6)$$

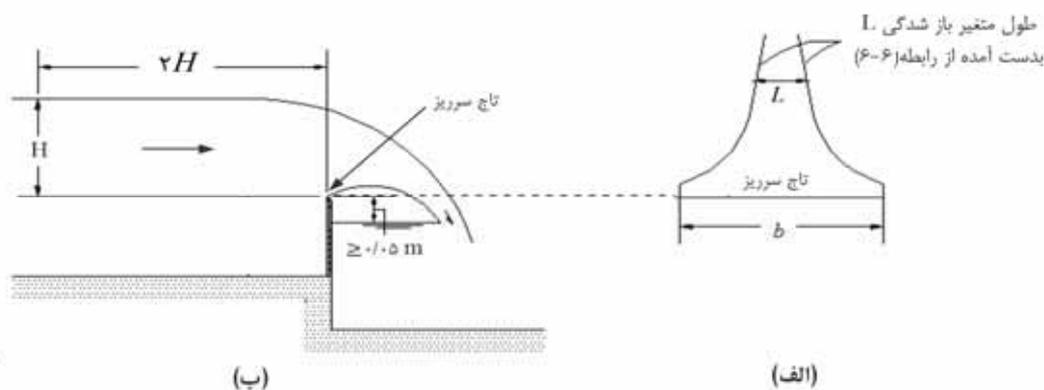
در سرریز تناسبی، بده با عمق جریان روی سرریز نسبت مستقیم دارد، بنابراین در رابطه بالا لازم است مقدار  $(LH^{\frac{1}{2}})$  ثابت نگه داشته شود. به این ترتیب طول بازشدگی  $L$  در هر ارتفاعی با توجه به  $H^{\frac{1}{2}}$  مشخص می‌گردد. اگر چه این نوع سرریزها در ایران کمتر استفاده شده اند ولی با دانستن هیدرولیک آنها، عملکرد بسیار مناسبی دارند.

### 6-1-2 سرریزهای لبه پهن

در این نوع، لبه سرریز به اندازه کافی نسبت به ارتفاع آب پهن بوده و در مقایسه با سایر ابعاد، دارای اندازه قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. تاج سرریزهای لبه پهن می‌تواند افقی یا انحنادار باشد. این نوع سرریز بیشتر در شرایط خاص مورد استفاده قرار



می‌گیرد و در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کمتر کاربرد دارند. روابط این نوع سرریزها نیز مانند روابط سرریز مستطیلی لبه تیز با ضریب بده خاص خود می‌باشد که برای هر نوع هندسه سرریز ارائه می‌گردد. برای مطالعه دقیق تر به مراجع [۵]، [۱۷] و [۱۸] مراجعه گردد.



شکل ۶-۳- سرریز تناسبی، (الف) مقطع عرضی، (ب) مقطع طولی

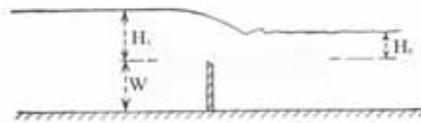
### ۶-۱-۳ سرریز مستغرق

اگر تراز پایاب به گونه‌ای نسبت به تاج سرریز در نظر گرفته شود که ریزش جریان از روی سرریز را تحت تاثیر قرار ندهد، جریان آزاد نامیده می‌شود. اما اگر تراز پایاب به حدی برسد که جریان عبوری از روی سرریز را تحت تاثیر قرار دهد در این صورت آب پس زده می‌شود و برای عبور همان بده، عمق آب بالادست افزایش می‌یابد. عبارتی، بده نسبت به حالت آزاد با همان عمق در بالادست، کاهش می‌یابد و جریان مستغرق نامیده می‌شود. عمق پایین دست نسبت به بالادست، در شکل (۶-۵) نسبت استغراق نامیده شده که شدت جریان سرریز در این حالت ( $Q$ )، به آن بستگی دارد. مقدار  $Q$  با تقریب بسیار خوبی از رابطه (۶-۸) بدست می‌آید [۵]:

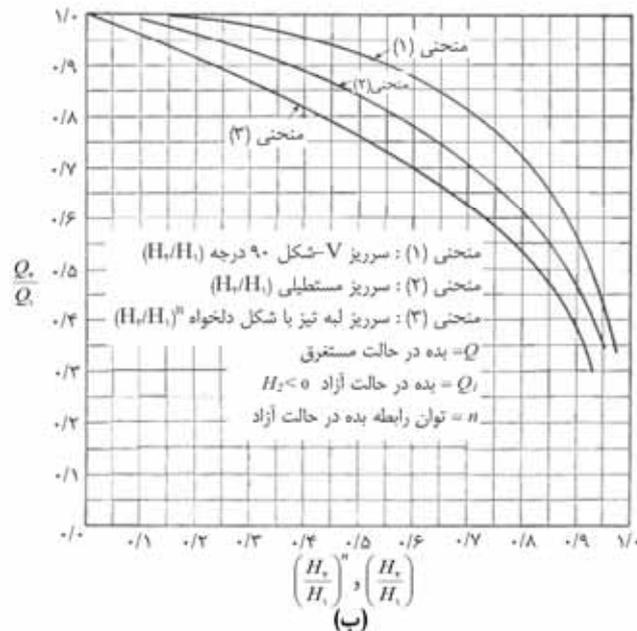
$$Q = Q_1 \left[ 1 - \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^n \right]^{0.385} \quad (۶-۸)$$

در این رابطه  $Q_1$  بده در حالت جریان آزاد با ارتفاع  $H_1$  و  $n$  نمای  $H_1$  در رابطه  $Q = KH_1^n$  (در سرریز مستطیلی  $n = 1/5$ ) را نشان می‌دهند. علاوه بر رابطه (۶-۸) از نمودار شکل (۶-۵) که دقیق تر است نیز برای بدست آوردن بده عبوری از روی سرریز استفاده می‌شود. برای حصول اطمینان از جریان آزاد، لازم است تراز آب پایین دست به اندازه کافی از تراز آب در بالادست سرریز، پایین تر در نظر گرفته شود. معمولاً ارتفاعی که باعث مستغرق شدن سرریز می‌شود،  $0.3$  عمق بالادست است ( $\frac{H_2}{H_1} < 0.3$ ) ولی جهت اطمینان بهتر است که تراز آب در پایین دست سرریز حداکثر در سطح تاج سرریز قرار گیرد. لازم

به ذکر است که در حالت مستغرق شدن سرریز مقدار افت ارتفاع کمتر از حالت جریان آزاد است ولی به علت افزایش عمق در بالادست، ارتفاع دیوارهای کانال افزایش می‌یابد.



(الف)



شکل ۶-۵- جریان در سرریز مستغرق، (الف) سرریز مستغرق، (ب) منحنی بده در حالت مستغرق [۵]

## ۲-۶ دریچه

دریچه‌ها از جمله سازه‌های کنترل کننده جریان هستند که در شکلها و عملکردهای متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دریچه‌های مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بیشتر از نوع دریچه‌های زیرگذر کشویی بوده و تنظیم و کنترل جریان بر اساس میزان باز شدگی انجام می‌گیرد. هیدرولیک جریان در عبور از دریچه‌ها را می‌توان در دو حالت جریان خروجی آزاد و جریان خروجی مستغرق مورد بررسی قرار داد.



omoorepeyman.ir

### ۱-۲-۶ دریچه کشویی با جریان آزاد و خروجی آزاد

در این حالت جریان خروجی از زیر دریچه تابع عمق آب در پایین دست نمی‌باشد و جریان در بالادست دریچه به صورت زیر بحرانی و بلافاصله پس از آن بصورت فوق بحرانی وجود خواهد داشت. مطابق شکل (۶-۶) عمق آب در کانال پس از دریچه،  $y_2$ ، تابع میزان باز شدگی دریچه ( $W$ ) و ضریب انقباض آن ( $C_c$ ) می‌باشد.

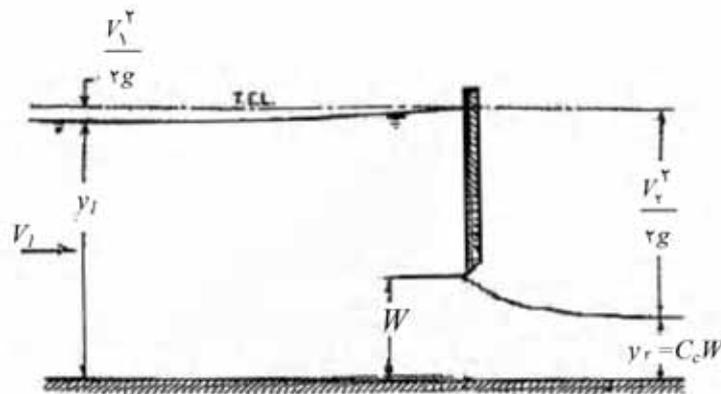
$$y_2 = C_c \cdot W \quad (۹-۶)$$

با برقراری رابطه انرژی بین دو مقطع ۱ و ۲ برای بده در واحد عرض عبوری از زیر دریچه، خواهیم داشت:

$$q = C_d W \sqrt{2gy_1} \quad (۱۰-۶)$$

ضریب بده  $C_d$  اغلب بصورت تجربی در نظر گرفته می‌شود. همچنین می‌توان مقدار  $C_d$  را از رابطه (۱۰-۶) بدست آورد:

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c W}{y_1}}} \quad (۱۱-۶)$$



شکل ۶-۶- دریچه کشویی با جریان خروجی آزاد

مقادیر  $C_c$  تابعی از  $\frac{W}{E_1}$  بوده و از جدول (۲-۶) انتخاب می‌شود ( $E_1$  انرژی کل در مقطع ۱ و برابر با  $y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$  می‌باشد).

جدول ۲-۶- ضریب انقباض جریان  $C_c$  برای باز شدگیهای مختلف دریچه [۵]

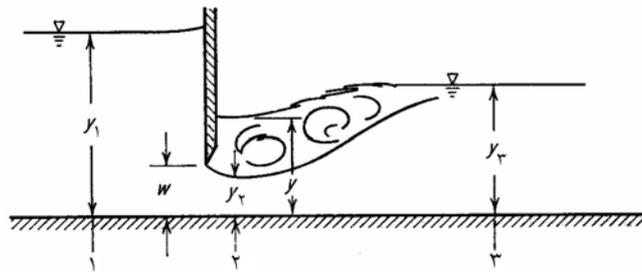
$W/E_1$	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵
$C_c$	۰/۶۱۱	۰/۶۰۶	۰/۶۰۲	۰/۶۰۰	۰/۵۹۸	۰/۵۹۸

### ۲-۲-۶ دریاچه‌های کشویی با خروجی مستغرق

در جریان خروجی آزاد عمق پایاب به گونه‌ای است که تاثیری روی بده خروجی ندارد. اگر با ثابت ماندن بده، عمق پایاب ( $y_3$ ) در شکل (۷-۶) افزایش یابد، پرش هیدرولیکی بوجود آمده، بتدریج به سمت بالادست حرکت کرده تا زمانی که شروع پرش به محل کوچکترین عمق جریان ( $y_2$ ) برسد. در این حالت هر مقدار افزایش اضافی در  $y_3$  باعث غرق شدن پرش گشته و لذا عمق جریان در مقطع ۲ بیش از  $C_c W$  خواهد شد و چنانچه بخواهیم شدت جریان ثابت بماند باید مقدار عمق در بالادست،  $y_1$ ، را افزایش دهیم (شکل ۷-۶). در این حالت جریان مستغرق شده و برای محاسبه مقدار  $y_1$  ابتدا به کمک رابطه (۶-۱۲) عمق جریان پس از دریاچه ( $y$ ) محاسبه و با برقراری رابطه مومنتم بین مقاطع ۲ و ۳ (شکل ۷-۶)، مقدار  $y_1$  محاسبه می‌شود.

$$F_2 = F_3 \xrightarrow[\text{مستطیلی}]{\text{کانال}} \frac{q^2}{gy_2} + \frac{y^2}{2} = \frac{q^2}{gy_3} + \frac{y_3^2}{2} \quad (۶-۱۲)$$

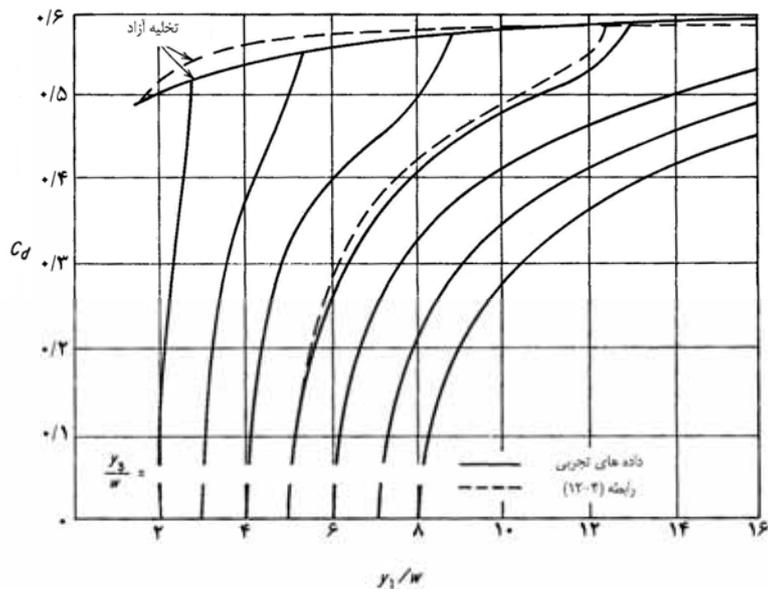
علاوه بر رابطه (۶-۱۱)، برای تعیین بده در حالت استغراق می‌توان از رابطه (۶-۱۰) نیز استفاده نمود و باید مقادیر ضریب  $C_d$  را که تابعی از  $\frac{y_1}{W}$  و  $\frac{y_2}{W}$  است از نمودار شکل (۶-۸) بدست آورد. نحوه استفاده از رابطه و نمودار در مثال (پیوست) نشان داده شده است.



شکل ۶-۷- دریاچه کشویی با جریان خروجی مستغرق

### ۳-۲-۶ دریاچه‌های با جریان آزاد در ابتدای لوله

در قسمتهای مختلفی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از دریاچه برای کنترل بده جریان ورودی به لوله استفاده می‌شود. این نوع دریاچه‌ها وقتی که کاملاً باز باشند، بیشترین بده را از خود عبور داده و معمولاً بیشترین افت در حالت بده حداکثر و در نتیجه سرعت حداکثر در نظر گرفته می‌شود. البته در طراحی هیدرولیکی با باز بودن کامل دریاچه، هیدرولیک جریان مثل آبروها (بخش ۶-۴) عمل می‌نماید و بسته به نسبت عمق بالادست به قطر (یا ارتفاع در آبراهه غیر دایره ای) و شیب مجرا یکی از حالت‌های جریان آزاد، تحت فشار و یا بینابینی اتفاق می‌افتد.



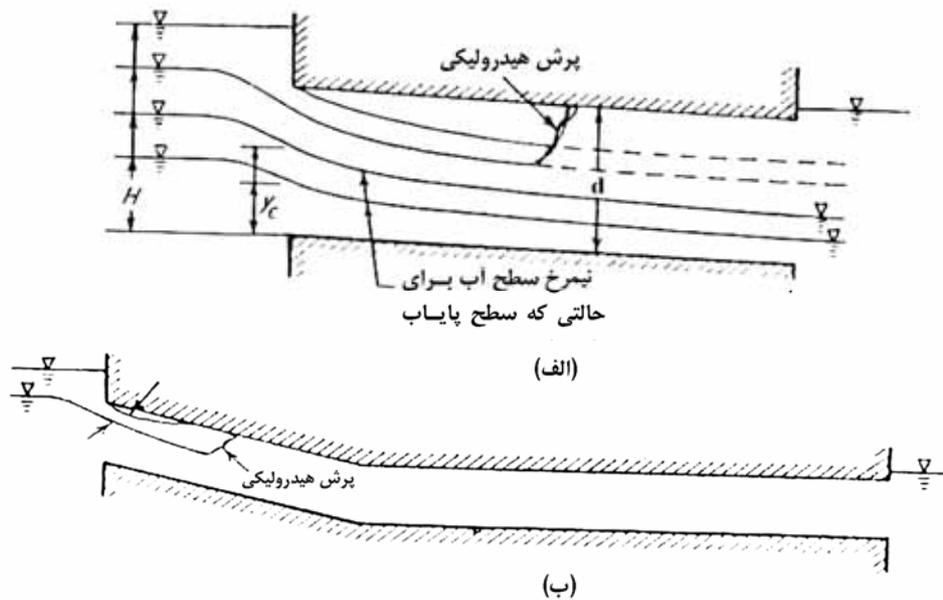
شکل ۶-۸- مقادیر  $C_d$  برای دریچه کشویی با جریان خروجی مستغرق [۵]

### ۳-۶ آبرو

یکی دیگر از سازه‌هایی که ممکن است در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد، آبروها هستند. این سازه‌ها اگرچه از نظر اجرایی ساده هستند اما طرح هیدرولیکی آنها تا حدودی پیچیده و تابعی از عوامل مختلف است که به سادگی قابل تقسیم به جریانهای تحت فشار یا آزاد نمی باشد، بلکه در برخی موارد ترکیبی از این دو حالت را دارا خواهد بود. از نظر هیدرولیکی پر یا نیمه پر بودن جریان عبوری از آبرو حائر اهمیت بوده و بسته به ارتفاع آب در بالادست و میزان افت انرژی، ممکن است هر دو حالت پر یا نیمه پر اتفاق افتد. به عبارت دیگر عوامل مختلف نظیر قطر (یا ابعاد مقطع برای حالت غیر دایره‌ای)، طول و زبری آبرو، ارتفاع آب در بالادست و پایین دست و نیز شیب آبرو در چگونگی جریان در داخل آبرو موثر می باشند. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، سرعت جریان در آبروها باید به حدی باشد که از ته نشین شدن ذرات معلق فاضلاب جلوگیری شود.

در آبروها مقدار بده با اعمال معادلات پیوستگی و انرژی بین دو مقطع ابتدایی و انتهایی بدست می آید و بر حسب آن که شیب کف آبرو تند یا ملایم باشد، انواع مختلف جریان در داخل آن تشکیل می شود شکل (۶-۹). در ادامه حالت‌های متداول جریان برای حالت‌های غیر مستغرق که شیب آبرو تند بوده و جریان از بالادست کنترل می شود، بررسی می گردد. برای سایر حالت‌های مستغرق، جریان بر مبنای جریان در مجاری تحت فشار در نظر گرفته می شود.





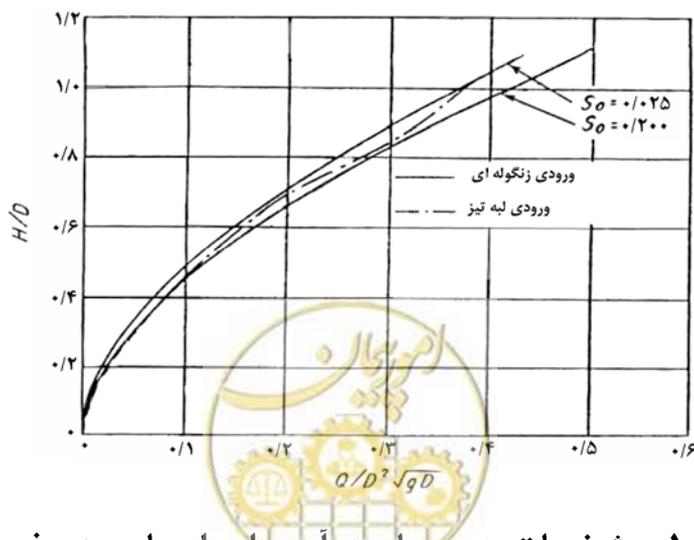
شکل ۶-۹- آبرو، (الف) انواع جریان در آبرو با شیب ثابت، (ب) آبرو با شیب متغیر [۵]

### ۱-۳-۶ مقطع دایره‌ای و ورودی غیر مستغرق

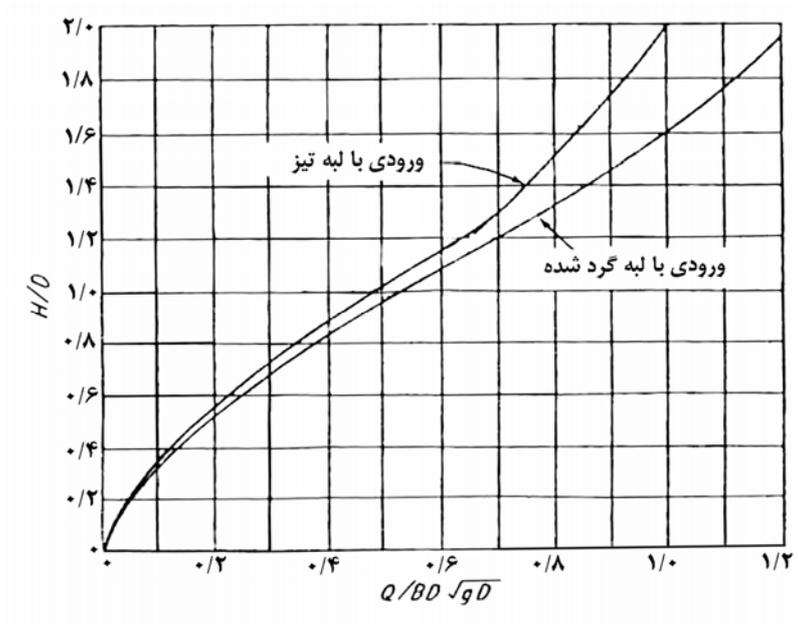
در نمودار شکل (۶-۱۰) رابطه بین بده (Q)، ارتفاع (H) و قطر (d) کالورت برای حالت‌های مختلف شیب کف مجرا و شکل ورودی نشان داده شده است. لازم به ذکر است در سازه‌های انتقال دهنده فاضلاب، مقطع دایره‌ای نسبت به مقاطع مستطیلی به علت نوسانات جریان فاضلاب و امکان ته‌نشینی کمتر مواد معلق، کاربرد بیشتری دارد.

### ۲-۳-۶ مقطع مستطیلی

در این حالت نیز رابطه بین بده (Q)، ارتفاع (H) و ارتفاع مقطع مستطیلی (d) و عرض (b) آبرو برای حالت‌های مختلف در نمودار شکل (۶-۱۱) ترسیم شده است.



شکل ۶-۱۰- مشخصات بده جریان در آبرو دایره‌ای با ورودی غیرمستغرق [۵]



شکل ۶-۱۱- مشخصات بده جریان در آبرو کوتاه با مقطع مستطیلی [۵]



## ۷- هیدرولیک تلمبه‌ها

ایستگاه‌های تلمبه‌زنی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کاربرد فراوانی دارند، که می‌توان به انتقال فاضلاب خام و یا تصفیه شده، انتقال دانه و ذرات ریز، انتقال ذرات معلق و شناور، انتقال لجن خام رقیق شده و یا لجن هضم شده اشاره کرد. لازم به ذکر است در این فصل نیز همانند سایر فصلها تنها به جنبه‌های هیدرولیکی مسئله پرداخته شده و از بیان مسائل مطرح در سایر زمینه‌ها صرف‌نظر شده است. لذا برای مطالعه بیشتر در مورد نحوه انتخاب و بهره‌برداری از تلمبه‌ها به نشریه "راهنمای طراحی تلمبه خانه‌های فاضلاب" شماره ۲۷۸- الف طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی و یا سایر کتب مرجع در این زمینه مراجعه شود.

### ۷-۱ مبانی هیدرولیکی

در بررسی هیدرولیکی ایستگاه‌های تلمبه‌زنی که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد لازم است ابتدا برخی تعاریف و روابط کلی هیدرولیک بیان شود.

#### ۷-۱-۱ ارتفاع

در مطالعه هیدرولیک ایستگاه‌های تلمبه‌زنی با انواع مختلف ارتفاع مواجه هستیم که عبارتند از: ارتفاع مکش استاتیکی، ارتفاع رانش استاتیکی و در نتیجه ارتفاع استاتیکی کل (TSH)<sup>۱</sup> که این ارتفاعها در شکل (۵-۱) نشان داده شده است. ارتفاع کل مورد نیاز یا ارتفاع دینامیکی کل (TDH)<sup>۲</sup> عبارت از مجموع ارتفاع استاتیکی کل، ارتفاع اصطکاکی و افتهای موضعی می‌باشد. ارتفاع اصطکاکی شامل افت ارتفاع در لوله‌های مکش و رانش است که توسط رابطه داریسی- وایسباخ و یا رابطه هیزن-ویلیامز محاسبه می‌گردد. افتهای موضعی نیز شامل افت ایجاد شده توسط اتصالات، شیر آلات و خمها می‌باشند و به صورت تابعی از ارتفاع سرعت، که در فصل دوم آمده، بیان می‌شوند. برای محاسبه ارتفاع کل مورد نیاز از روابط (۷-۱) الی (۷-۵) استفاده می‌شود.

$$TDH = TSH + h_f + h_m \quad (۷-۱)$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (۷-۲)$$

$$h_f = 6/82 \left( \frac{V}{C} \right)^{1/85} \times \frac{L}{D^{1/167}} \quad (۷-۳)$$

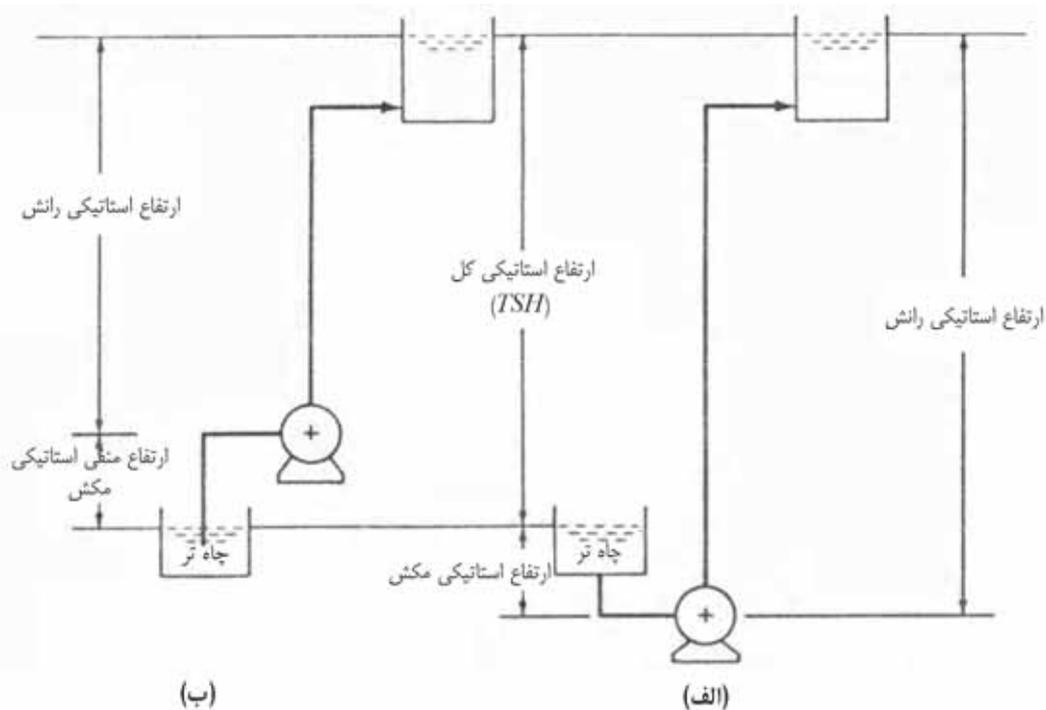
$$h_e = \sum K \frac{V^2}{2g} = \sum Kh_v \quad (۷-۴)$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad (۷-۵)$$



### ۲-۱-۷ منحنیهای مشخصه

مشخصات تلمبه نظیر ارتفاع، بازده، توان و دور موتور برای هر بده خاص در منحنیهای مشخصه نشان داده می‌شوند.

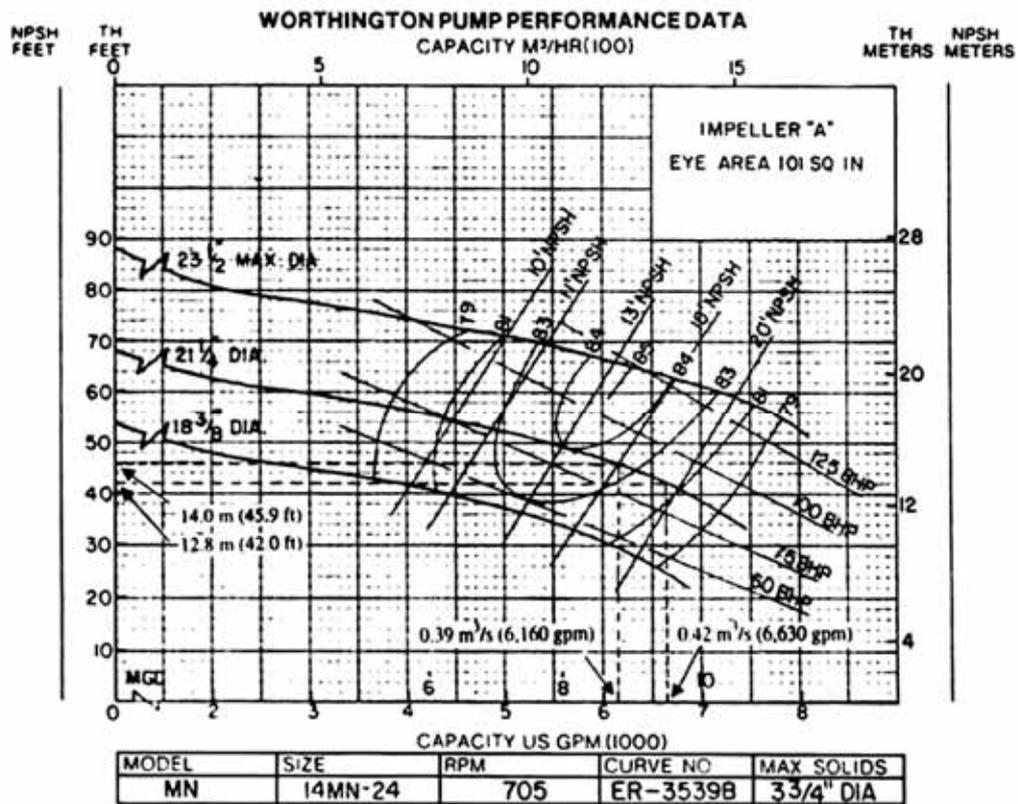


شکل ۷-۱- انواع ارتفاع مورد استفاده در تلمبه، (الف) ارتفاع در ورودی تلمبه مثبت، (ب) ارتفاع در ورودی تلمبه منفی

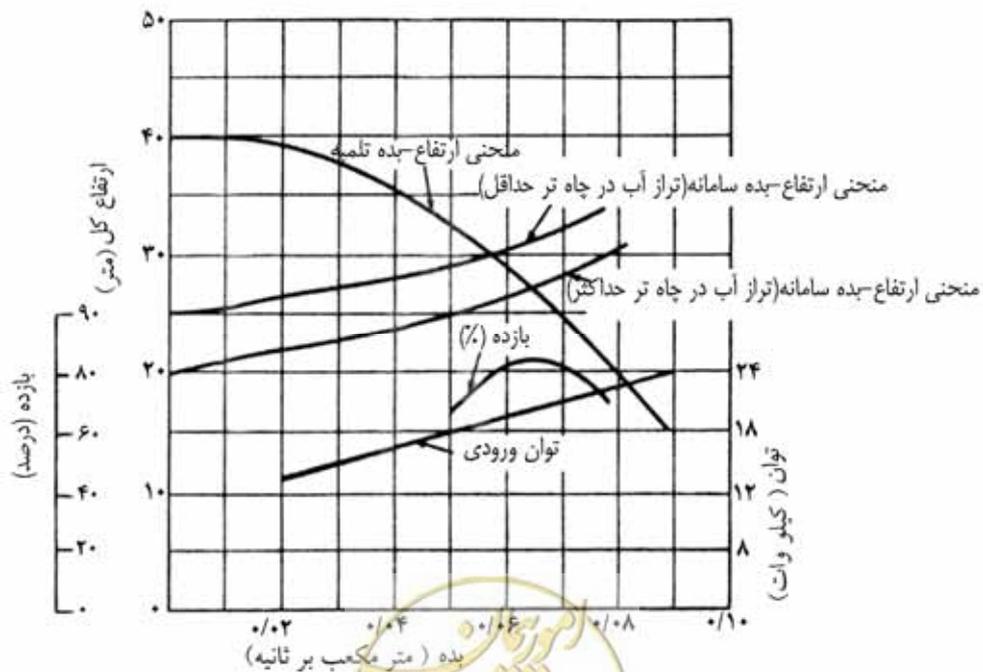
منحنیهای مشخصه تلمبه‌هایی که نمونه‌ای از آن در شکل (۲-۷) نشان داده شده است، میزان تغییرات توان ورودی، بازده و ارتفاع را در بده‌های مختلف نشان می‌دهند. سازندگان این منحنیها را همراه با تلمبه عرضه می‌کنند.

### ۳-۱-۷ منحنی ارتفاع-بده

در صورتی که منحنی ارتفاع-بده و منحنی سیستم مشخصه یک تلمبه در یک دستگاه مختصات رسم شوند، نقطه تقاطع دو منحنی، نقطه کار سیستم را نشان می‌دهد و با مشخص شدن این نقطه بده، ارتفاع و سایر مشخصات تلمبه بدست خواهد آمد. در ایستگاههای تلمبه‌زینی که از چاه تر با نوسانات سطح آب بالا استفاده می‌شود (یا بطور کلی نوسانات ارتفاع کل استاتیکی وجود داشته باشد)، بهتر است همانند شکل (۳-۷) از دو منحنی سیستم یکی در تراز حداکثر سطح آب در چاه تر و دیگری در تراز حداقل سطح آب در چاه تر استفاده شود.



شکل ۷-۲- نمونه‌ای از منحنیهای مشخصه تلمبه سانتریفوژ برای چند اندازه مختلف پره



شکل ۷-۳- تقاطع منحنی مشخصه تلمبه و منحنی ارتفاع سیستم برای تعیین نقطه کارکرد تلمبه [۱۳]

## ۷-۱-۴ ارتفاع مکش مثبت خالص (NPSH)

در قسمت ورودی تلمبه، فشار نسبت به سطح آب در چاه تر کمتر می‌شود. فشار بوجود آمده در این مقطع را فشار مکش یا ارتفاع مکش مثبت خالص (NPSH) نامیده می‌شود. NPSH به دو قسمت ارتفاع مکش مثبت خالص موجود در سیستم و ارتفاع مثبت خالص مورد نیاز تلمبه دسته بندی می‌شود. ارتفاع مکش مثبت خالص موجود به موقعیت و نحوه ورود فاضلاب به تلمبه بستگی دارد و مقدار آن از رابطه (۷-۸) محاسبه می‌شود. ارتفاع مثبت خالص مورد نیاز تلمبه که توسط سازنده تلمبه ارائه می‌گردد، حداقل ارتفاع مثبتی است که در دهانه مکش تلمبه می‌تواند وجود داشته باشد. در این صورت مقدار محاسبه شده برای ارتفاع مثبت خالص موجود در سیستم باید برابر یا بزرگتر از ارتفاع مکش مثبت خالص مورد نیاز تلمبه باشد.

$$NPSH = H_{abs} + H_s - h_l - H_{vp} \quad (۶-۷)$$

در این رابطه  $H_{abs}$  فشار مطلق بر روی سطح آب در چاه مکش،  $H_s$  ارتفاع استاتیکی مایع بالا تلمبه (اگر سطح مایع در چاه تر پایین تر از محور تلمبه باشد،  $H_s$  را منفی در نظر می‌گیریم)،  $h_l$  افت ارتفاع کل در لوله‌های مکش (مجموع افت طولی و موضعی)،  $H_{vp}$  فشار مطلق بخار سیال مورد نظر را نشان می‌دهند. ارتفاع مثبت خالص مورد نیاز تلمبه در بده‌های مختلف همراه با منحنی مشخصه تلمبه توسط سازنده ارائه می‌گردد.

بعضی اوقات با داشتن ارتفاع مکش تلمبه، ارتفاع نصب تلمبه نسبت به سطح آب در چاه تعیین می‌شود. در هر صورت ارتفاع مکش در تلمبه‌های مورد استفاده در سیستم‌های فاضلاب کمتر اهمیت دارد، زیرا معمولاً سطح فاضلاب در چاه تر بالاتر از محور تلمبه قرار دارد.

## ۷-۲ انواع تلمبه‌ها و کاربرد آنها

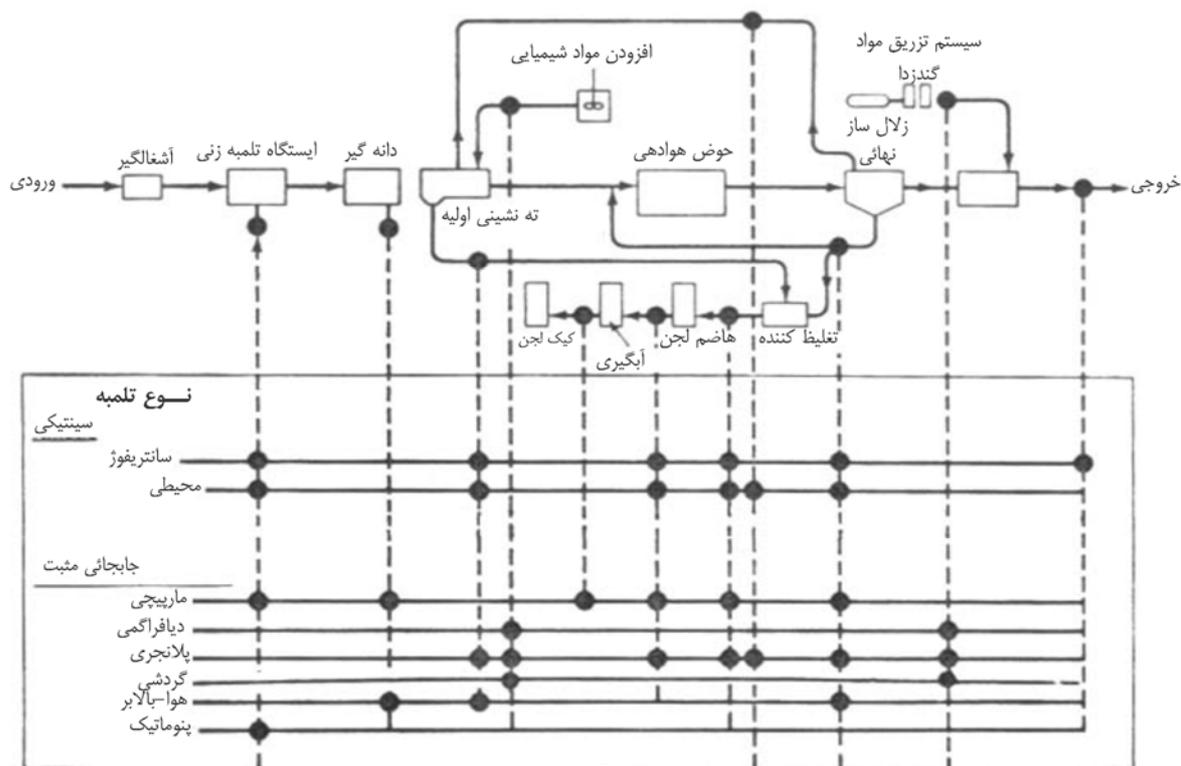
بطور معمول تلمبه‌ها به دو دسته تلمبه‌های با انرژی جنبشی<sup>۲</sup> و تلمبه‌های جابجایی مثبت<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند. در جدول (۷-۱) توصیفی خلاصه و کاربردی از انواع تلمبه متداول مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارائه شده است. در شکل (۷-۴) وضعیت و موقعیت هر یک از این انواع در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نشان داده شده است.

### ۷-۲-۱ هیدرولیک لوله مکش

در سیستم‌های تلمبه‌زنی، برای برقراری شرایط ایده‌آل از لحاظ هیدرولیکی سرعت در مدخل ورودی تلمبه باید کمتر از ۳ مترمکعب بر ثانیه باشد. اگرچه این عدد بزرگ به نظر می‌رسد ولی با توجه به نوسانات بده در نظر گرفته شده است بطوری که در بده حداقل هم سرعت حداقل ۰/۳ مترمکعب بر ثانیه وجود داشته باشد. همچنین استفاده از ورودی با دهانه مادگی معمولاً از ورودی‌های مستقیم دارای عملکرد بهتری می‌باشد. علت این امر جلوگیری از ایجاد گرداب می‌باشد. به منظور جلوگیری از آشفته شدن جریان، لوله مکش را به یک شیب مناسب به تلمبه متصل می‌کنند.



1 - Net Positive Suction Head  
2 - Kinetic  
3 - Positive Displacement



شکل ۷-۴- کاربردهای رایج تلمبه در قسمتهای مختلف تصفیه خانه فاضلاب [۱۳]

### ۲-۲-۷ منحنی سیستم

برای تعیین منحنی سیستم، کلیه افتها اعم از طولی و موضعی را به ازای بدههای مختلف محاسبه می‌کنیم. روند محاسبات به شرح زیر می‌باشد:

#### الف) محاسبه افت در شیرها و اتصالات

برای محاسبه این افت از رابطه (۷-۴) استفاده می‌شود. ضریب افت موضعی در این رابطه با توجه به نوع اتصال از جداولی مثل جدول (۴-۲) بدست می‌آید.

#### ب) محاسبه افت ارتفاع اصطکاکی در لوله

با توجه به جنس لوله‌ها از روابط و جداول و نمودارهای فصل چهارم استفاده می‌گردد.

#### ج) محاسبه افت ارتفاع کل

افت ارتفاع کل از مجموع افت در شیر آلات و اتصالات و افتهای اصطکاکی در لوله‌های ارتباط دهنده تلمبه‌ها و لوله‌های رابط دیگر حاصل می‌شود.



## د) محاسبه ارتفاع دینامیکی کل (TDH)<sup>1</sup>

ارتفاع دینامیکی کل از مجموع افت ارتفاع و ارتفاع استاتیکی حاصل می‌شود. در ایستگاه تلمبه‌زنی، به دلیل نوسانات سطح آب در چاه یا مخزن، ارتفاع دینامیکی کل به ازای ارتفاع استاتیکی حداکثر و ارتفاع استاتیکی حداقل باید محاسبه شود.

### ۳-۷ تلمبه‌زنی لجن و کفاب

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از تلمبه برای انتقال لجن و کفاب بین واحدها استفاده می‌گردد. در بعضی شرایط تلمبه‌زنی این مواد به خارج از تصفیه‌خانه نیز مورد نیاز است. در شرایط و موقعیتهای متفاوت برای تلمبه‌زنی لجن و کفاب از انواع مختلفی از تلمبه استفاده می‌شود. طراحی ایستگاههای تلمبه‌زنی لجن از جهات بسیاری مشابه با ایستگاههای تلمبه‌زنی فاضلاب می‌باشد. ولی در آن باید اختصاصات مربوط به لجن را هم در انتخاب تلمبه و هم در محاسبه افت ارتفاع در نظر گرفت. اگر غلظت جامدات موجود در لجن کمتر از ۱ درصد باشد، محاسبه افت ارتفاع مشابه با محاسبه افت ارتفاع برای آب می‌باشد ولی اگر غلظت لجن از ۱ درصد بیشتر شود باید با توجه به مطالب بیان شده در فصل چهارم افت ارتفاع را محاسبه نمود.



## ۸- هیدرولیک مقاطع اندازه‌گیری جریان

اندازه‌گیری دائمی مقدار جریان در مقاطع مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب جهت راهبری و بهره‌برداری صحیح از واحدهای مختلف آن لازم است. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اندازه‌گیری بده جریان و تعیین مدت زمان توقف فاضلاب در واحدهای مختلف نظیر حوضهای هوادهی، ته‌نشینی و نیز برای تعیین مقدار لجن برگشتی و کلر مصرفی ضروری است. برای اندازه‌گیری مقدار جریان فاضلاب در کانالهای باز می‌توان از روشهای مختلفی استفاده کرد که انتخاب روش اندازه‌گیری تابع عوامل هیدرولیکی، فنی و اقتصادی است. در جدول (۸-۱) مقایسه کلی بین روشهای مختلف اندازه‌گیری جریان مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، ارائه شده است. بعضی از روشهای ارائه شده در جدول نظیر روشهای صوتی یا الکترومغناطیسی اندازه‌گیری جریان عمدتاً به ابزار دقیق مربوط شده و به هیدرولیک جریان ربط ندارد و برخی دیگر که ذرات ریز در آنها تاثیر دارد بیشتر برای تصفیه‌خانه‌های آب و یا پسابهای با ذرات ریز اندک بکار می‌روند و لذا در این نشریه به آنها پرداخته نشده است. در این فصل اطلاعات هیدرولیکی مربوط به اندازه‌گیری جریان به کمک ناودان پارشال (پارشال فلوم) و سرریزهای لبه تیز با توجه به استفاده گسترده از آنها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارائه می‌شود.

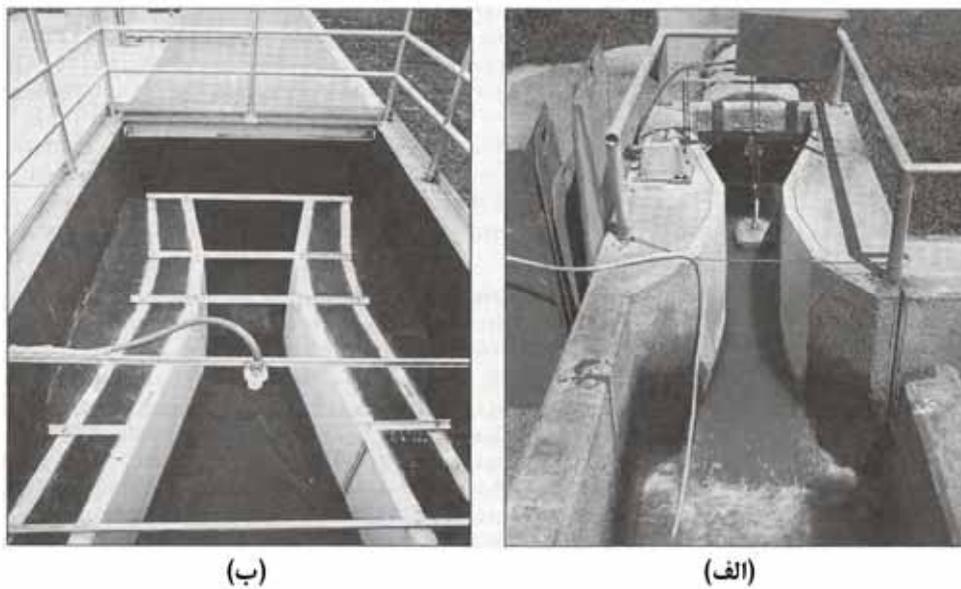
جدول ۸-۱- مقایسه روشها و تجهیزات مختلف اندازه‌گیری شدت جریان در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب [۱۳]

کاربرد	قابلیت حمل	هزینه	سهولت واسنجی	نیازمندی به تعمیرات	سادگی و قابلیت اطمینان	توان مورد نیاز	افت ارتفاع	تاثیر مواد معلق فاضلاب	دامنه و دقت		مورد استفاده		وسیله اندازه‌گیری
									دقت (درصد)	دامنه	کانال باز	تحت فشار	
اکثر کارها- فاضلاب	N	H	G	M	G	L	L	H	±۰/۵	۱:۱۰	N	Y	ونتوری متر
اکثر کارها- فاضلاب	N	M	G	L	G	L	M	H	±۰/۳	۱:۴	N	Y	نازل اندازه‌گیری
اکثر کارها- فاضلاب	Y	L	G	H	G	L	H	H	±۱	۱:۴	N	Y	روزنه اندازه‌گیری
اکثر کارها- فاضلاب-لجن	N	H	G	M	F	M	L	S	±۱-۲	۱:۱۰	N	Y	اندازه گیر مغناطیسی
اکثر کارها- فاضلاب	N	H	G	H	F	L	M	H	±۰/۲۵	۱:۱۵	N	Y	اندازه‌گیری توربینی
اکثر کارها- فاضلاب	N	H	G	M	F	M	L	M	±۱-۲	۱:۱۰	N	Y	سرعت سنج آلتراسونیک
اکثر کارها- فاضلاب	N	H	G	M	F	M	L	M	±۱-۲	۱:۱۰	N	Y	آلتراسونیک Doppler
کانال-فاضلاب-لجن	Y	M	G	L	G	L	L	S	±۵	۱:۲۰	Y	N	ناودان پارشال
آدم رو-کانال-فاضلاب-لجن	Y	L	G	L	G	L	L	S	±۱۰	۱:۲۰	Y	N	ناودان Palmer-Bowlus
آدم رو-فاضلاب	Y	L	G	M	G	L	H	H	±۰/۵	۱:۲۰	Y	N	سرریز
فاضلاب-لجن	Y	L	P	L	G	L	L	M	±۵۰	۱:۱۰	Y	N	عمق سنج
دهانه ریزش- فاضلاب-لجن	Y	L	F	M	G	L	M	S	±۱	۱:۲۰	Y	N	نازل جریان آزاد

\* F: نسبتاً خوب - G: خوب - H: بالا - L: پائین - M: متوسط - N: نه - P: ناچیز - S: کمی - Y: بله

## ۱-۸ نکات هیدرولیکی مهم در طراحی ناودان پارشال

ناودان پارشال به منظور اندازه‌گیری مقدار جریان در یک کانال باز مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۸-۱). در این سازه شکل هندسی فلوم باعث می‌شود تا آب از روی تاج ناودان با عمق بحرانی عبور نماید و به این ترتیب روشی برای تعیین میزان بده، به کمک اندازه‌گیری عمق جریان (تنها در یک مقطع برای حالت آزاد و یا در دو مقطع برای حالت مستغرق) حاصل می‌گردد. حالت جریان آزاد وقتی اتفاق می‌افتد که سطح آب کانال در پایین دست (پایاب) به اندازه کافی پایین باشد و اثری بر عمق آب روی تاج نداشته باشد. این حالت در محدوده گسترده‌ای از تغییرات عمق پایاب به وجود می‌آید حتی اگر رقوم پایاب به اندازه قابل توجهی بالاتر از تاج ناودان باشد بدون اینکه اثری روی عبور جریان بصورت آزاد از ناودان داشته باشد و برای تعیین بده عمق جریان تنها در یک مقطع اندازه‌گیری می‌شود. ولی چنانچه سطح آب پایین دست از حدود معینی که برای ناودان پارشال با ابعاد مختلف متفاوت است، تجاوز نماید، حالت جریان مستغرق اتفاق می‌افتد و برای تعیین مقدار جریان احتیاج به اندازه‌گیری عمق جریان در دو مقطع می‌باشد ولی افت ارتفاع در آن کمتر از حالت آزاد است. در صورتیکه جریان همواره بصورت آزاد عمل نماید بخش پایین دست گلوگاه پارشال فلوم تاثیر خاصی روی جریان نداشته و می‌تواند بطور معمول در نظر گرفته شود. در نشریه "ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی: اندازه‌گیری جریان" شماره ۱۰۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و یا کتابهای مرجع، جداول و نمودارهای مربوط به پارشال، آمده است. لذا، در این بخش بطور خلاصه به این موضوع پرداخته می‌شود.

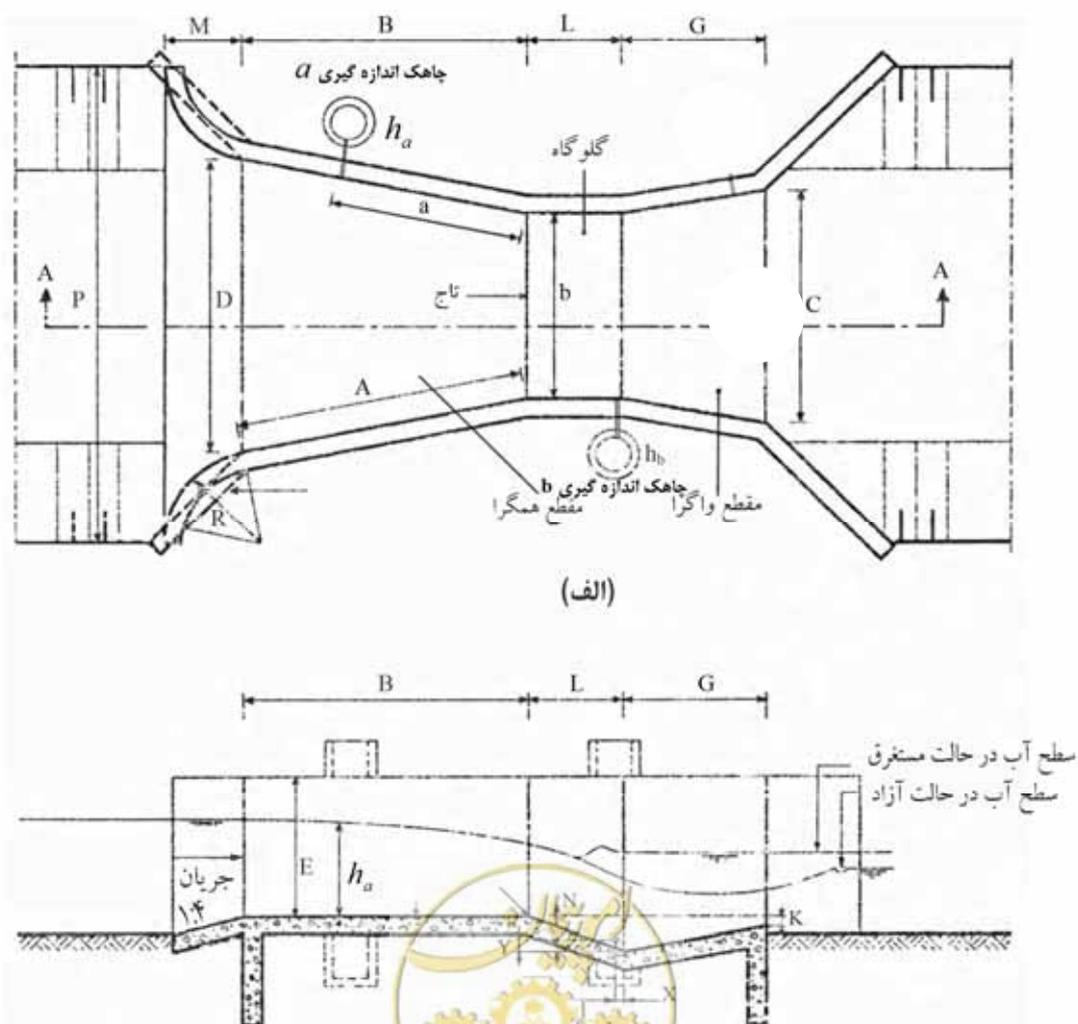


شکل ۸-۱- اندازه‌گیری شدت جریان به کمک ناودان پارشال، (الف) ناودان پارشال با شاخص شناور  
اندازه‌گیر عمق آب، (ب) ناودان پارشال با اندازه‌گیر آلتراسونیک عمق آب [۱۱]



در این سازه تراز بودن کف قسمتی که بتدریج تنگ می‌شود، از اهمیت زیادی برخوردار است. بطوری که جریان آب بصورت یکنواخت از روی هر بخش از عرض کانال عبور نماید. دیوارهای جانبی گلوگاه نیز باید موازی و قائم باشند. ناودان پارشال باید فقط در قسمت مستقیم کانال که جریان در آنجا نسبتاً آرام و یکنواخت است، قرار گیرد و آن را هرگز نباید در قسمتهای انحنادار کانال و در محلهایی که جریان غیر یکنواخت است، بکار برد. ناودان پارشال باید به اندازه کافی از سازه‌های کنترل مثل دریچه دور باشد بطوری که جریان ورودی به آن یکنواخت و بدون گرداب و تلاطم باشد. ناودانه‌های پارشال بعنوان یک سازه دقیق و قابل اطمینان برای اندازه‌گیری جریان در تصفیه خانه‌های فاضلاب شناخته شده و دارای مزایای زیر می‌باشند:

- ۱- قادر به اندازه‌گیری جریان با افت ارتفاع نسبتاً کوچک و در دامنه وسیعی از تغییرات عمق پایاب می‌باشند.
- ۲- وقتی که درجه استغراق زیاد بوده و مانع از عبور جریان بصورت آزاد شود، با اندازه‌گیری عمق در دو مقطع، تعیین بده جریان عبوری با افت کمتر ولی هزینه بیشتر، بخاطر اندازه‌گیری دقیق دو عمق به جای یک عمق، امکان پذیر خواهد بود.



شکل ۸-۲- هندسه ناودان پارشال، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع [۵]

- ۳- به علت شکل هندسی ناودان و سرعت جریان در گلوگاه، سازه همانند یک شستشو دهنده خودکار عمل نموده و نیازی به در نظر گیری تجهیزات شستشو و لایروبی ندارد.
- ۴- وقتی که ناودان پارشال با ابعاد استاندارد، ساخته شود و جریان ورودی به آن نیز یکنواخت و بدون تلاطم باشد، سرعت برخورد آب روی عملکرد آن تأثیری ندارد. بعلاوه توصیه می‌شود بالادست آن تا ده برابر عرض گلوگاه مستقیم باشد. از معایب پارشال می‌توان به گرانتز بودن هزینه ساخت آن نسبت به بعضی سازه‌های دیگر مثل سرریز، عدم امکان بکارگیری آن در قسمتهای انحنادار کانالها و لزوم وجود جریان آرام و یکنواخت برای استفاده از آن اشاره کرد.

## ۲-۸ انواع ناودان پارشال

از ناودانهای پارشال می‌توان برای اندازه‌گیری بده‌های کوچک، از ۰/۱ لیتر بر ثانیه تا بده‌های بسیار بزرگ تا ۹۰ مترمکعب بر ثانیه استفاده کرد. بر این اساس آن را با توجه به ظرفیت اندازه‌گیری به انواع بسیار کوچک، کوچک و بزرگ تقسیم بندی می‌کنند. مبنای این تقسیم بندی عرض گلوگاه ناودان می‌باشد. لازم به ذکر است عرض گلوگاه پارشال به همراه سایر ابعاد آن بصورت استاندارد وجود دارد و طراح مجاز به تغییر دادن آن نیست. ناودانهای بزرگ در تصفیه خانه‌های فاضلاب استفاده نمی‌شود.

## ۳-۸ محاسبه بده جریان در حالت جریان آزاد

بطور کلی رابطه بین شدت جریان و عمق آب در چاهک اندازه‌گیری،  $h_a$  شکل (۲-۸)، بصورت زیر می‌باشد [۵]:

$$Q = Kh_a^u \quad (۱-۸)$$

در این رابطه ضریب  $K$  تابعی از عرض گلوگاه  $b$  می‌باشد و  $u$  در این رابطه بین ۱/۵۲۲ و ۱/۶۰۲ تغییر می‌کند. مقادیر  $K$  و  $u$  به ازای مقادیر مختلف  $b$  در جدول مربوطه ارائه شده است.

## ۴-۸ محاسبه بده جریان در حالت جریان مستغرق

حداکثر نسبت  $\frac{h_b}{h_a}$ ، برای اینکه جریان آزاد عمل کند در پارشالها، بسته به عرض گلوگاه، از ۶۰ درصد تا ۷۰ درصد است (محل اندازه‌گیری  $h_a$  و  $h_b$  در شکل (۲-۸) مشخص شده است). برای کسب نتایج دقیق که معمولاً خطایی تا حدود ۲ درصد برای جریان آزاد و تا حدود ۵ درصد برای جریان مستغرق را شامل می‌شود، واسنجی و قرائت صحیح وسیله اندازه‌گیری عمق ضروری است.

چنانچه حالت استغراق بوجود بیاید، سطح آب پایین دست روی عمق جریان بالادست یعنی  $h_a$  تأثیر گذاشته و به ازای  $h_a$  ثابت مقدار بده را نسبت به حالت آزاد کاهش می‌دهد. در این حالت شدت جریان از رابطه (۲-۸) محاسبه می‌شود:

$$Q_s = Q - Q_E \quad (۲-۸)$$



در این رابطه  $Q_s$  بده در حالت استغراق،  $Q$  بده جریان با فرض جریان آزاد برای همان  $h_a$  و  $Q_E$  بده کاهش یافته در نتیجه استغراق را نشان می‌دهند. برای تعیین بده تصحیح،  $Q_E$ ، از نمودارهای مربوط استفاده می‌شود.

## ۵-۸ محاسبه افت ارتفاع در ناودان پارشال

مقدار افت ارتفاع برای ناودانهای پارشال در نمودار شکل (۳-۸) برای حالتی که در مرز استغراق و یا در حالت استغراق می‌باشند ارائه شده است و در حالتی که جریان حالت آزاد داشته باشد تقریباً با  $\Delta h$  در شکل (۳-۸-الف) یعنی  $\Delta h = h_a + h_2 - y_2$  برابر است. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با شکل (۳-۸) به مرجع شماره ۵ مراجعه شود.

## ۶-۸ اندازه‌گیری جریان به کمک سایر انواع ناودان

علاوه بر ناودان پارشال می‌توان از انواع دیگری از ناودان نیز برای اندازه‌گیری بده جریان در کانالهای باز استفاده نمود. در همه این انواع با بالا آوردن یا کم کردن عرض کانال، شرایط ایجاد عمق بحرانی در مقطعی از کانال فراهم می‌گردد. با توجه به اینکه در کانال مستطیلی بده جریان از عمق بحرانی بدست می‌آید، می‌توان با ایجاد و اندازه‌گیری عمق بحرانی، بده جریان را تعیین نمود. اصول کلی استفاده از این نوع ناودانها همانند پارشال فلوم است. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با توجه به تجربیات موفقی که در استفاده از پارشال فلوم وجود دارد، بجز در شرایط خاص، استفاده از سایر ناودانها به منظور اندازه‌گیری جریان توصیه نمی‌گردد.

## ۷-۸ اندازه‌گیری جریان به کمک سرریز لبه تیز

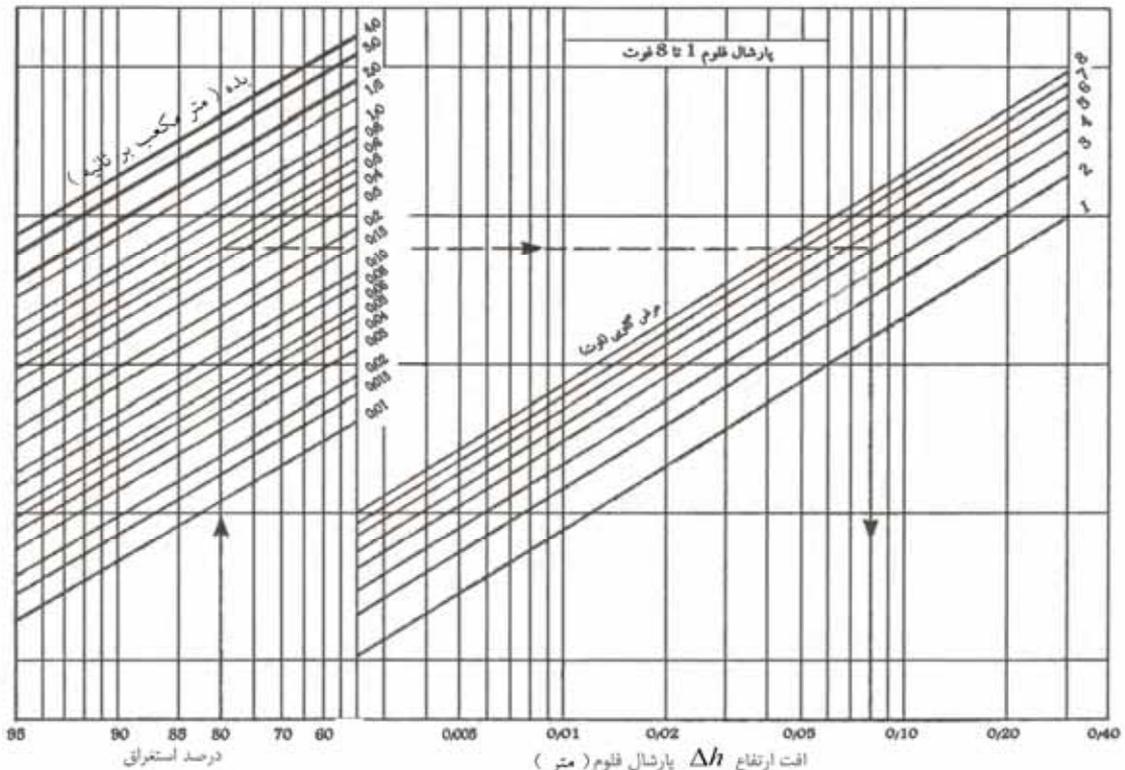
در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای اندازه‌گیری بده جریان در کانالها و یا خروجی مخازن و حوضچه‌ها می‌توان از سرریز نیز استفاده کرد. جریان آب در عبور از سرریز حالت ریزشی پیدا کرده و با اندازه‌گیری عمق جریان عبوری از روی آن و استفاده از روابطی که بین عمق و بده در سرریز وجود دارد، روش مناسبی برای اندازه‌گیری بده فراهم می‌شود (بخش ۶-۱). برای اندازه‌گیری بده بیشتر از سرریزهای لبه تیز مستطیلی، مثلثی و گاهی با شکل‌های دیگر استفاده می‌شود. در شکل (۴-۸) مقطع و تصویر افقی<sup>۱</sup> سرریز لبه تیز نشان داده شده است.

استفاده از سرریز برای اندازه‌گیری شدت جریان به لحاظ فنی و اقتصادی مزایای فراوانی از جمله انعطاف در طراحی و پایین بودن هزینه‌های ساخت و بهره برداری دارد ولی در استفاده از آن باید توجه شود که وجود حجم فاضلاب ساکن قبل از آن باعث ته‌نشینی مواد معلق همراه با فاضلاب و بوجود آمدن مشکلات بعدی می‌شود. لذا تا حدودی استفاده از آن محدود می‌گردد. روابط بین عمق و بده عبور از سرریز در بخش (۶-۱) بصورت کامل بیان شده است.



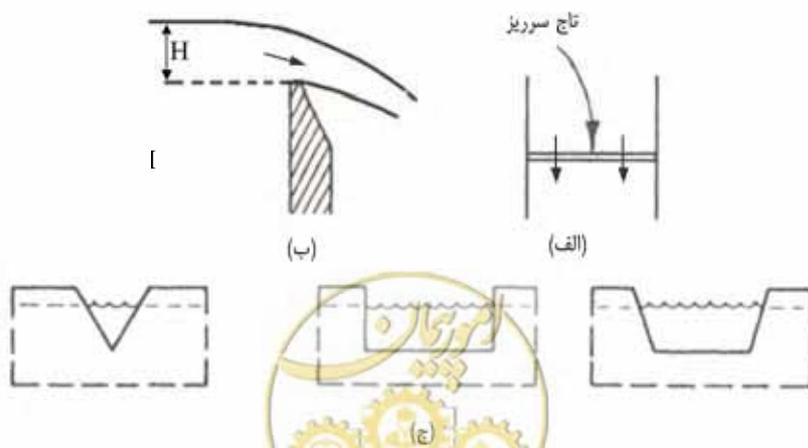


(الف)



(ب)

شکل ۸-۳- افت ارتفاع در ناودان پارشال با عرض گلوگاه  $3/0$  تا  $4/2$  متر، (الف) تغییرات سطح جریان در طول ناودان پارشال، (ب) نمودار تعیین افت ارتفاع [۵]



شکل ۸-۴- سرریز اندازه‌گیری جریان، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع طولی، (ج) مقطع عرضی

## ۹- طراحی هیدرولیکی واحد آشغالگیر

آشغالگیر معمولاً اولین واحدی است که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به کار گرفته می‌شود و هدف از نصب آن جداسازی مواد جامد شناور و غوطه‌ور از فاضلاب و جلوگیری از ورود آنها به ایستگاه تلمبه‌زنی و لطمه زدن به تلمبه‌ها و یا ورود به واحدهای بعدی و اختلال در کار آنها است. آشغالگیرها به سه نوع درشت، متوسط و ریز تقسیم می‌شوند و بصورت توربیه‌های فلزی، صفحات سوراخ دار و یا میله‌هایی با فواصل معین، به شکل‌های ثابت و یا متحرک ساخته می‌شوند. در انواع ثابت، سطح آشغالگیر ثابت و در انواع متحرک سطح آن توسط یک موتور الکتریکی می‌چرخد. اندازه چشمه‌ها در آشغالگیرهای مختلف متفاوت و بسته به شرایط ورودی و کیفیت مورد نظر فاضلاب خروجی از آشغالگیر انتخاب می‌شود.

### ۹-۱ معیارهای طراحی هیدرولیکی

طراحی هیدرولیکی واحد آشغالگیر شامل طراحی سازه ورودی، طراحی کانال آشغالگیر و محاسبه افت ارتفاع جریان در عبور از این واحد می‌باشد. سازه ورودی باید به شکلی طراحی شود که افت ارتفاع در آن کمینه باشد. با توجه به اینکه معمولاً آشغالگیر به صورت دوتائی و در کنار هم ساخته می‌شود، لازم است در سازه ورودی با در نظر گرفتن دریچه، امکان هدایت جریان فاضلاب به هر یک از کانالهای آشغالگیر فراهم گردد. در شکل (۹-۱) چند طراحی از جانمایی قسمت‌های مختلف واحد آشغالگیر نشان داده شده است.

مقطع کانال آشغالگیر معمولاً به شکل مستطیل و کف آن بدون شیب است. اغلب بده طراحی هر یک از کانالهای آشغالگیر برابر بده حداکثر لحظه‌ای طراحی در نظر گرفته می‌شود. طراحی این کانال باید به نحوی باشد که سرعت جریان در آن به اندازه‌ای کم نشود که ته‌نشینی ذرات معلق همراه با فاضلاب رخ دهد. همچنین، در حدی زیاد نباشد که آشغالها را از میان میله‌ها عبور داده و باعث افت زیاد شود. در جدول (۹-۱) مقادیر مجاز سرعت به همراه سایر مشخصات کانال آشغالگیر ارائه شده است.

### ۹-۲ محاسبه افت در آشغالگیر

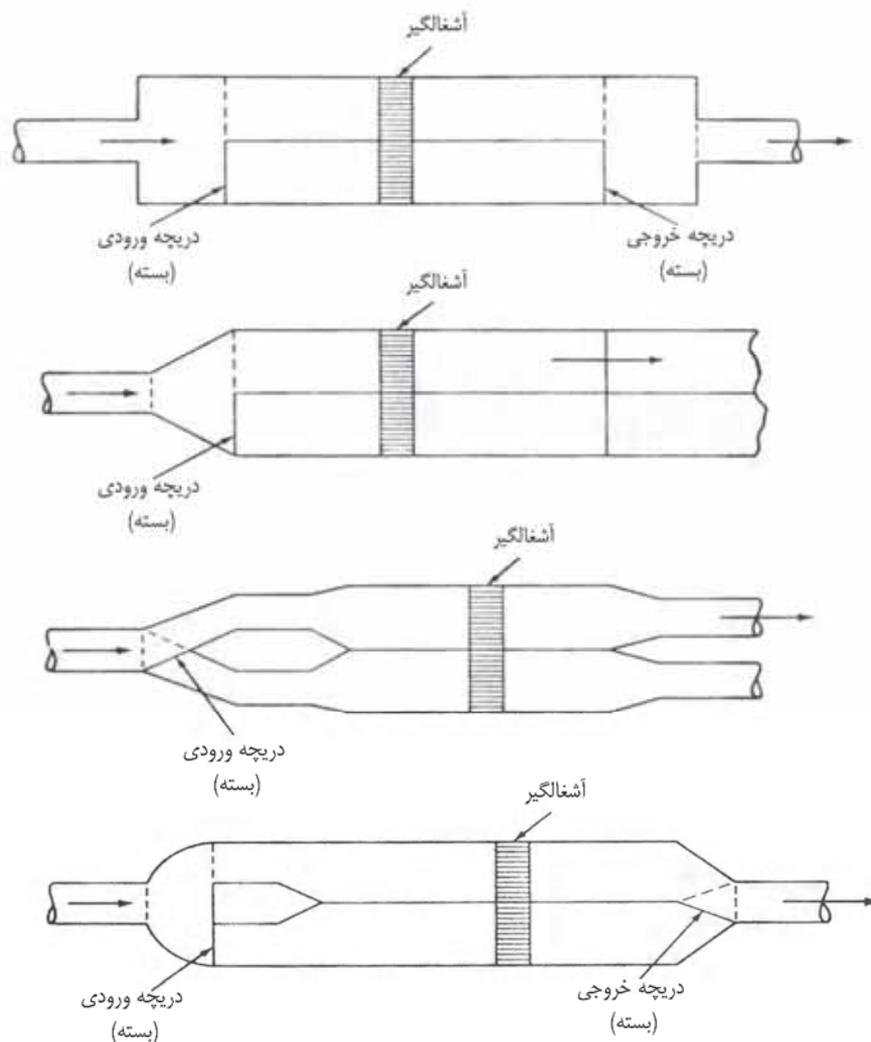
افت ارتفاع در آشغالگیر شامل افت ارتفاع در ورودی، افت ارتفاع در کانال آشغالگیر و افت ارتفاع در بین میله‌های آشغالگیر می‌باشد. محاسبه افت ارتفاع در بین میله‌های آشغالگیر در حالت‌های تمیز و گرفته انجام می‌شود. افت ارتفاع جریان در عبور از بین میله‌های آشغالگیر را می‌توان از هر یک از روابط زیر محاسبه نمود [۱۱]:

$$h_1 = \left( \frac{1}{0.7} \right) \cdot \frac{V^2 - \bar{V}^2}{2g} \quad (9-1)$$

$$h_1 = \beta \left( \frac{W}{b} \right)^3 \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \sin \theta \quad (9-2)$$

$$h_1 = \frac{1}{2g} \cdot \left( \frac{Q}{C_d A} \right)^2 \quad (9-3)$$





شکل ۹-۱- کانال اشغالگیر به صورت دوتایی و جانمایی ورودی و خروجی

در این روابط  $h_L$  افت ارتفاع در میله‌های اشغالگیر (متر)،  $\bar{V}$  سرعت متوسط در کانال بالادست اشغالگیر (متر بر ثانیه)،  $V$  سرعت عبور جریان فاضلاب از بین میله‌های اشغالگیر (متر بر ثانیه)،  $g$  شتاب گرانش زمین،  $W$  عرض مقطع میله‌ها که بطور مستقیم در مقابل جریان قرار دارد (متر)،  $b$  فضای باز بین میله‌ها (متر)،  $\theta$  زاویه میله‌ها با افق،  $A$  مساحت جریان،  $Q$  بده حداکثر لحظه‌ای عبوری (مترمکعب بر ثانیه) و  $C_d$  ضریب بده را نشان می‌دهد. ضریب بده  $C_d$  برای میله‌های تمیز برابر با  $0.6$  در نظر گرفته می‌شود.  $\beta$  فاکتور شکل است و مقدار آن را با توجه به شکل هندسی میله‌ها از جدول (۹-۲) و یا شکل (۹-۳) تعیین می‌شود.

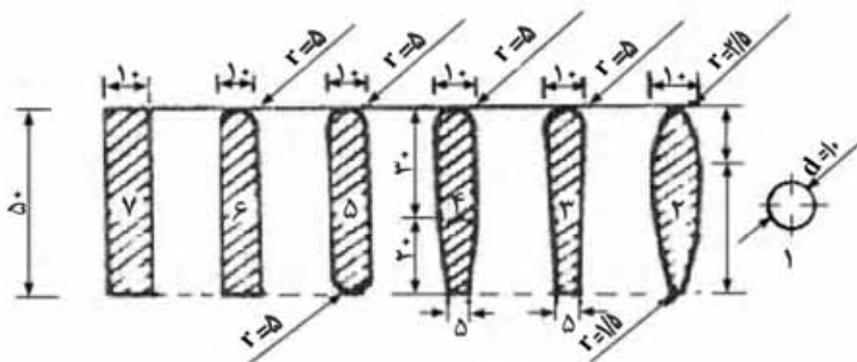
رابطه (۹-۱) را می‌توان برای محاسبه افت ارتفاع هم در اشغالگیر کاملاً باز یا تمیز و هم برای اشغالگیر تا حدودی مسدود مورد استفاده قرار داد. در صورتی که رابطه (۹-۲) را فقط برای اشغالگیر تمیز می‌توان بکار برد. رابطه (۹-۳) از رابطه روزنه ( $Q = C_d A \sqrt{2gh}$ ) بدست آمده و برای محاسبه افت ارتفاع در اشغالگیرهای دهانه ریز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۹-۱- متغیرهای هیدرولیکی آشغالگیر برای انواع مختلف سامانه تمیز کننده [۱۳]

متغیرهای طراحی		تمیز کننده دستی	تمیز کننده مکانیکی
سرعت در بین میله‌ها (مترمکعب بر ثانیه)		۰/۳-۰/۶	۰/۶-۱/۰
اندازه میله‌ها	عرض (میلی‌متر)	۴-۸	۸-۱۰
	عمق (میلی‌متر)	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵
فاصله باز بین میله‌ها (میلی‌متر)		۲۵-۷۵	۱۰-۵۰
شیب میله‌ها نسبت به افق (درجه)		۴۵-۶۰	۷۵-۸۵
افت ارتفاع مجاز (آشغالگیر گرفته) (میلی‌متر)		۱۵۰	۱۵۰

جدول ۹-۲- فاکتور شکل  $\beta$  برای انواع مختلف میله [۱۰]

نوع میله‌ها	$\beta$
میله‌های مستطیلی با گوشه‌های تیز	۲/۴۲
میله‌های مستطیلی با گوشه‌های گرد شده در بالادست	۱/۸۳
میله‌های مستطیلی با گوشه‌های گرد شده در دو طرف	۱/۶۷
میله‌های دو کی شکل	۰/۷۶
میله‌های گرد	۱/۷۹



حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$\beta$	۱/۷۹	۰/۷۶	۰/۹۲	۱/۰۲۵	۱/۶۷	۱/۸۳	۲/۴۲

شکل ۹-۲- فاکتور شکل  $\beta$  برای انواع مختلف میله‌های آشغالگیر

(r شعاع انحنا و D ضخامت میله‌ها می‌باشند) [۱۰]

## ۱۰- طراحی هیدرولیکی واحد دانه‌گیر

دانه‌گیری به معنای حذف شن و ماسه و مواد جامد سنگین معلق و عمدتاً غیر آلی موجود در فاضلاب است. عدم حذف این مواد می‌تواند سبب گرفتگی لوله‌ها، کانالها و مجراها، سایش تجهیزات مکانیکی، کاهش حجم مفید سایر واحدهای تصفیه و افزایش تواتر تخلیه لجن درهاضمهای لجن گردد. برای دانه‌گیری معمولاً از سه نوع دانه‌گیر با جریان افقی، دانه‌گیر با هوادهی و دانه‌گیر با جریان گردابی استفاده می‌شود. خیلی از اوقات در واحد دانه‌گیر، چربیها نیز از سیستم حذف می‌شوند. در هر صورت هیدرولیک دانه‌گیر با حذف چربی و بدون حذف آنها تفاوت چندانی نمی‌کند.

### ۱-۱۰ معیارهای طراحی

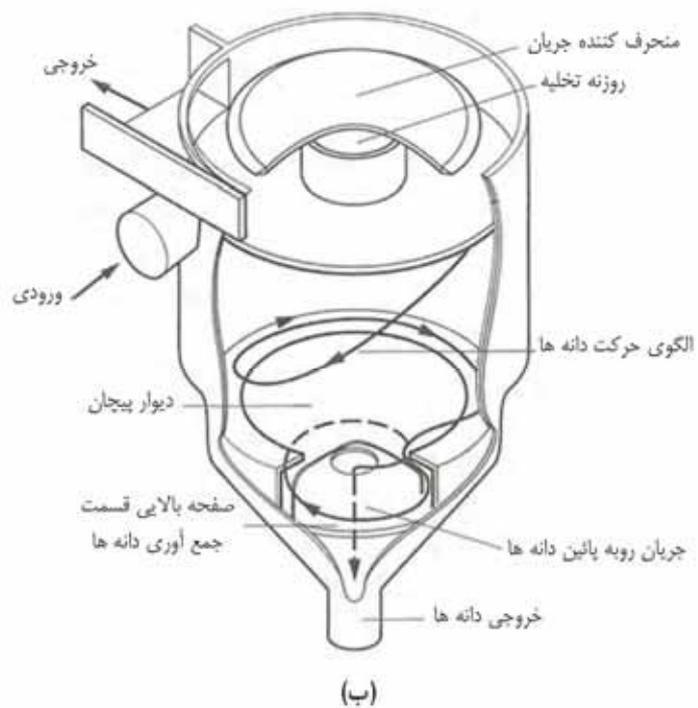
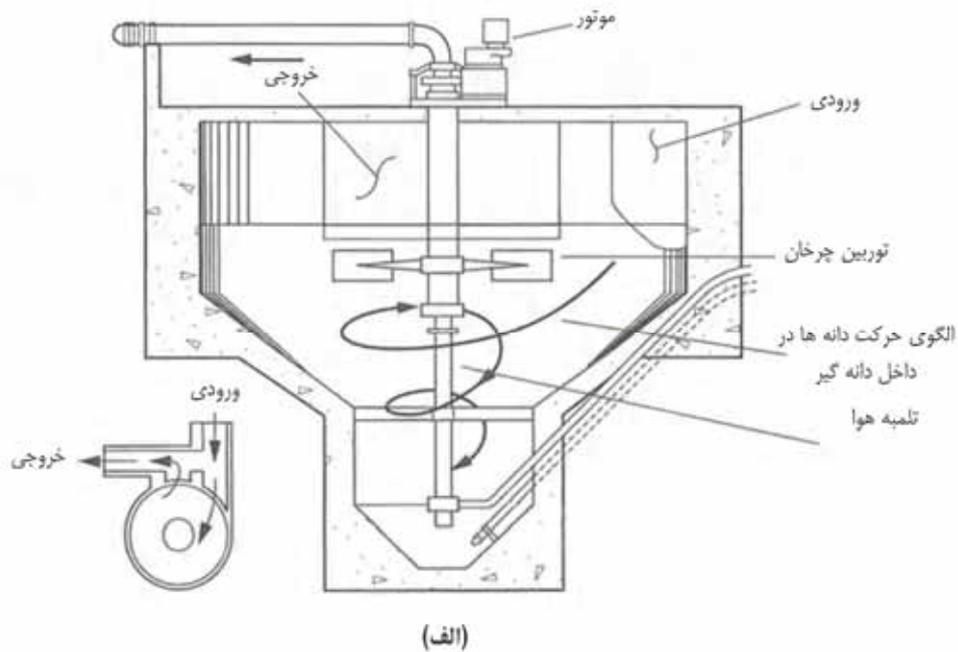
طراحی واحد دانه‌گیر از نظر عملکرد آن در حذف دانه‌ها با توجه به فرآیندهای بعدی انجام می‌گیرد. در طراحی کانال دانه‌گیر لازم است نوسانات روزانه جریان فاضلاب در نظر گرفته شده و سرعت جریان و راندمان حذف دانه‌ها در حالات مختلف بده، کنترل شود. برای کنترل جریان در دانه‌گیر از سازه کنترلی نظیر سرریز تناسبی، پارشال فلوم و یا سرریز استفاده می‌شود که جزئیات مربوط به سرریز تناسبی در فصل سوم و جزئیات طراحی برای پارشال فلوم نیز در بخش سازه‌های اندازه‌گیری آمده است. معمولاً دانه‌گیر برای جداسازی دانه‌های با قطر بزرگتر از  $0.21$  میلی‌متر طراحی می‌شود و این طراحی باید به گونه‌ای باشد که تنها دانه‌های با چگالی  $1/5$  تا  $2/7$  از فاضلاب جدا شود و ته‌نشینی مواد آلی (مواد با چگالی تقریبی  $1/0.2$ ) در آن صورت نگیرد. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب واحد دانه‌گیر به سه شکل دانه‌گیر با جریان افقی، دانه‌گیر با هوادهی و دانه‌گیر با جریان گردابی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دانه‌گیرهای با جریان گردابی معمولاً توسط شرکت‌های سازنده بصورت آماده<sup>۱</sup> با ظرفیتهای بهره برداری مختلف ساخته و عرضه می‌شوند. مشخصه‌های هیدرولیکی نظیر افت ارتفاع و ارتفاع فشار مورد نیاز به همراه سایر مشخصات در دستورالعمل بهره برداری از این تجهیزات، توسط سازندگان ارائه می‌شود. در شکل (۱-۱۰) دو نمونه از این نوع دانه‌گیر به همراه مسیر جریان فاضلاب و خروجی دانه‌ها، در آنها نشان داده شده است. در این استاندارد تنها محاسبات هیدرولیکی مربوط به دانه‌گیر با جریان افقی و دانه‌گیر با هوادهی تشریح می‌گردد.

### ۲-۱۰ هیدرولیک جریان در واحد دانه‌گیر با جریان افقی

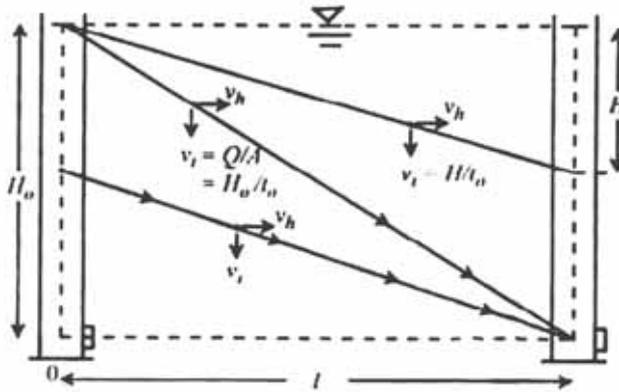
این نوع سامانه دانه‌گیر بیشتر در تصفیه‌خانه‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است، جریان فاضلاب در آن به آرامی حرکت کرده و هر یک از دانه‌ها با سقوط آزاد به کف کانال دانه‌گیر ته‌نشین می‌شوند. کانال دانه‌گیر معمولاً بدون شیب و یا با شیب بسیار ملایم و یا حتی شیب منفی، که فقط برای خروج آب در موقع تخلیه و شستشو است، ساخته می‌شود. سایر مشخصات نظیر بار سطحی، عمق و طول کانال دانه‌گیر را می‌توان با توجه به سرعت سقوط ذرات، که از نمودار شکل (۳-۱۰) تعیین می‌شود، بدست آورد.



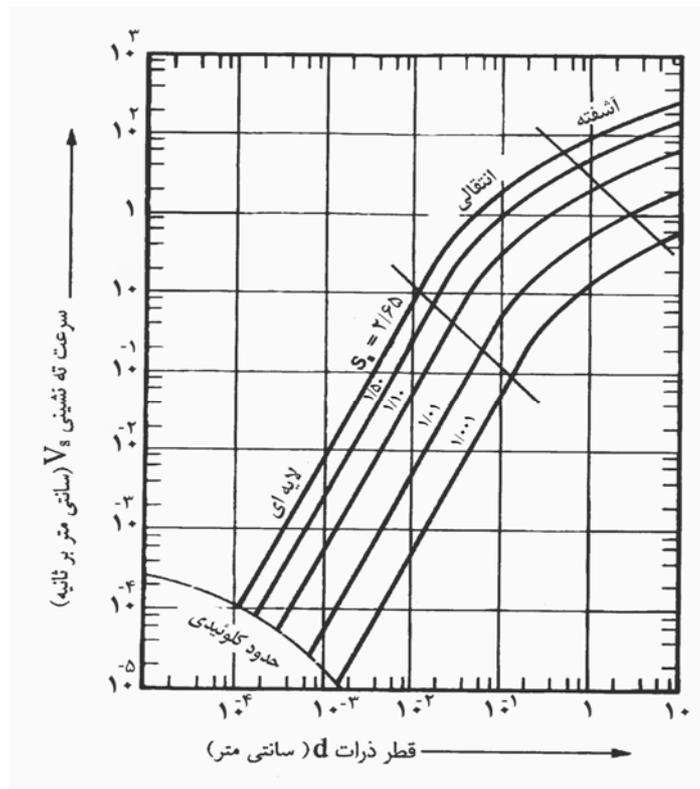


شکل ۱۰-۱- دانه گیر با جریان گردابی، (الف) نوع Pista، (ب) نوع Teacup [۱۱]





شکل ۱۰-۲- الگوی جریان در کانال دانه‌گیر با جریان افقی [۱۳]



شکل ۱۰-۳- نمودار تعیین سرعت ته‌نشینی ذرات براساس قطر دانه‌ها [۱۶]

در این نوع دانه‌گیر با طراحی خاص مقطع و استفاده از سازه کنترلی در خروجی، سرعت در حدود  $0/3$  متر بر ثانیه ثابت نگه داشته می‌شود تا ته‌نشینی دانه‌ها و عدم ته‌نشینی مواد آلی در آن فراهم گردد. دانه‌های ته‌نشین شده در این واحد را می‌توان بصورت دستی و یا مکانیکی تخلیه نمود. قسمتهای مختلف یک نوع واحد دانه‌گیر با جریان افقی در شکل (۱۰-۴) نشان داده شده است. افت ارتفاع در واحد دانه‌گیر از افت ارتفاع در سازه ورودی، افت ارتفاع در طول کانال دانه‌گیر و افت ارتفاع در سازه خروجی تشکیل شده است. افت ارتفاع در طول کانال دانه‌گیر با توجه به سرعت پایین جریان اندک بوده و معمولاً در دانه‌گیرهای با شیب منفی از آن صرف‌نظر و یا در دانه‌گیرهای با شیب ملایم برابر با شیب کف کانال در نظر گرفته می‌شود. افت

در سازه‌های ورودی و خروجی بسته به شکل آنها محاسبه می‌شود. نکات هیدرولیکی مهم در طراحی دانه‌گیر با جریان افقی عبارتند از:

- معمولاً دانه‌گیر برای جداسازی ذراتی که قطر بیشتر از  $0/21$  میلی‌متر (یا در برخی موارد  $0/15$  میلی‌متر) دارند، بکار می‌رود. همچنین چگالی دانه‌ها بین  $1/5$  تا  $2/7$  تغییر می‌کند. شرایط معمول برای طراحی در جدول (۱۰-۱) آمده است.
- طول کانال تابعی از عمق لازم بر اساس سرعت ته‌نشینی است و معمولاً در نظر گرفتن طول اضافه به مقدار حداقل  $50$  درصد طول نظری، برای جبران تلاطم جریان فاضلاب در ورودی و خروجی مطلوب است.

### جدول ۱۰-۱ - مقادیر معمول برای طراحی کانال دانه‌گیر با جریان افقی [۱۳]

مقدار	متغیر
۶۰ ثانیه	زمان ماند
$0/3$ متر بر ثانیه	سرعت افقی
$1/2$ متر بر دقیقه	سرعت سقوط ذرات

### ۱۰-۳ هیدرولیک جریان در واحد دانه‌گیر با هوادهی

امروزه از دانه‌گیر با هوادهی بطور گسترده‌ای برای حذف انتخابی دانه‌ها در تصفیه‌خانه‌های متوسط و بزرگ استفاده می‌شود. این واحد تا حد زیادی مشابه حوضهای هوادهی استاندارد با جریان مارپیچی<sup>۱</sup> است. همانطور که در شکل (۱۰-۶) نشان داده شده است، دمیدن هوا به داخل جریان باعث ایجاد جریان مارپیچی در عرض و طول کانال شده و دانه‌ها در کف کانال ته‌نشین می‌شوند. معمولاً دانه‌گیر با هوادهی به شکلی طراحی می‌شود که دانه‌ها با چگالی و قطر ذکر شده را از فاضلاب جدا نماید. در این نوع دانه‌گیر با تنظیم مقدار هوای تزریقی می‌توان دانه‌های ریزتر را نیز جدا کرد زیرا با کاهش میزان تزریق هوا سرعت پیچشی جریان کم و با افزایش میزان تزریق سرعت پیچش زیاد می‌شود. از مزایای دانه‌گیر با هوادهی نسبت به دانه‌گیر با جریان افقی می‌توان به کمتر بودن افت ارتفاع و امکان حذف انتخابی دانه‌ها با تغییر مقدار هوای تزریقی اشاره کرد. همچنین هوادهی می‌تواند باعث شناورسازی چربیها شده و با در نظر گیری چند مجرای کوچک در قسمت فوقانی این واحد، چربیها را نیز از فاضلاب جدا کرد. مشخصات رایج برای دانه‌گیر با هوادهی در جدول (۱۰-۲) ارائه شده است.



جدول ۱۰-۲- مشخصات رایج برای طراحی قسمتهای مختلف کانال دانه گیر با هوادهی [۱۳]

عامل طراحی	محدوده مجاز	توضیحات
عمق	۲-۵ متر	پهنای کانال دانه گیر محدود شده است تا امکان حرکت ماریپیچی در اثر تزریق هوا را فراهم سازد.
طول	۲۰-۷/۵ متر	
پهنا	۲/۵-۷ متر	
نسبت پهنا به عمق	۱:۱ - ۱:۵	
نسبت طول به پهنا	۱:۲/۵ - ۱:۵	
بار سطحی	۰/۶ - ۰/۸ متر بر ثانیه	-
زمان ماند در بده حداکثر لحظه ای	۲-۵ دقیقه	چنانچه از کانال دانه گیر برای هوادهی مقدماتی استفاده شود و یا جداسازی دانه های با قطر کمتر از ۰/۲۱ میلی متر مورد نظر باشد، زمان ماند بزرگتری در نظر گرفته شود.
سازه ورودی و خروجی	-	سازه ورودی و خروجی باید به نحوی طراحی شود که از ایجاد جریانهای اتصال کوتاه و یا جریانهای آشفته جلوگیری شود. ورودی باید جریان را در مسیر الگوی ماریپیچی جریان به داخل کانال وارد کند. همچنین معمولاً خروجی نسبت به امتداد ورودی زاویه قائم دارد (شکل ۸-۷). سازه ورودی و خروجی به نحوی طراحی می شود که همواره در تمام بدهها سرعت متوسط را در حدود ۰/۳ متر بر ثانیه ثابت نگه دارد.
صفحات مانع	-	صفحات مانع طولی و عرضی باعث کمک به حرکت ماریپیچی و افزایش راندمان جداسازی دانه ها می شود. اگر طول کانال نسبت به عرض آن زیاد باشد، استفاده از صفحه مانع ضروری است.
هندسه کانال	-	محل دیفیوزهای هوا، شیب کف کانال، چاهک و تجهیزات جمع آوری دانه ها روی شکل هندسی کانال تاثیر می گذارند.



## ۱۱- طراحی هیدرولیکی واحد ته‌نشینی

واحد ته‌نشینی (اولیه و ثانویه) در تصفیه‌خانه‌های متعارف جهت حذف ذرات معلق و ذرات قابل ته‌نشینی می‌باشد.

### ۱-۱۱ بررسی هیدرولیک انواع مختلف حوضهای ته‌نشینی

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب حوضهای ته‌نشینی به اشکال گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در مورد هر یک لازم است نکات مختلفی رعایت گردد.

#### ۱-۱-۱۱ حوضهای ته‌نشینی با جریان افقی

در این نوع حوض ته‌نشینی گرادیان سرعت در جهت افقی می‌باشد و مقطع معمول این حوضها به صورت مستطیلی و دایره‌ای است. از نکات مثبت هیدرولیکی تصویر افقی مستطیلی (شکل (۱۱-۱)) می‌توان به پایین آمدن احتمال وقوع جریانهای میان بر و کاهش افت در ورودی اشاره کرد. از نقاط ضعف هیدرولیکی این شکل می‌توان به حساسیت این سامانه به موجهای ناشی از جریان، نیاز به سرریزهای چند گانه جهت تثبیت بار سطحی و امکان بوجود آمدن فضای مرده اشاره کرد. همانطور که در شکل (۱۱-۲) نشان داده شده است، بوجود آمدن فضای مرده بازده ته‌نشینی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از بوجود آمدن فضای مرده لازم است سازه ورودی و خروجی به شکل مناسب طراحی و جریان بطور یکنواخت در مقطع حوض پخش شود. به همین منظور در ورودی و خروجی از صفحه مانع استفاده می‌شود. جزئیات مربوط به هندسه تصویر افقی حوضهای ته‌نشینی دایره‌ای در شکل (۱۱-۳) نشان داده شده است.

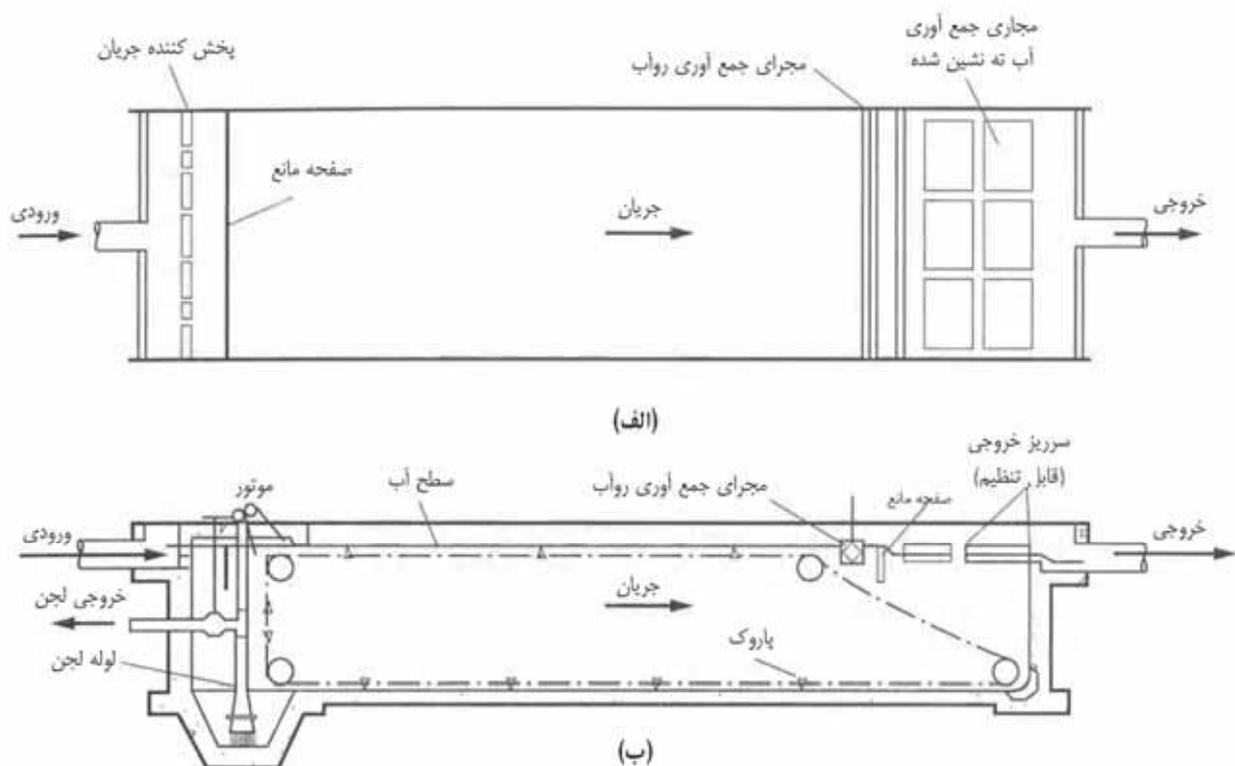
#### ۱-۱-۱۱ حوضهای ته‌نشینی با سطح مایل

در این سامانه حوض ته‌نشینی را با استفاده از یکسری سطوح مایل به قسمتهایی تقسیم می‌کنند که در این حالت عمق لازم برای ته‌نشینی کمتر است و بدین ترتیب زمان ته‌نشینی کاهش می‌یابد. این سامانه‌ها را می‌توان به انواع زیر تقسیم بندی کرد:

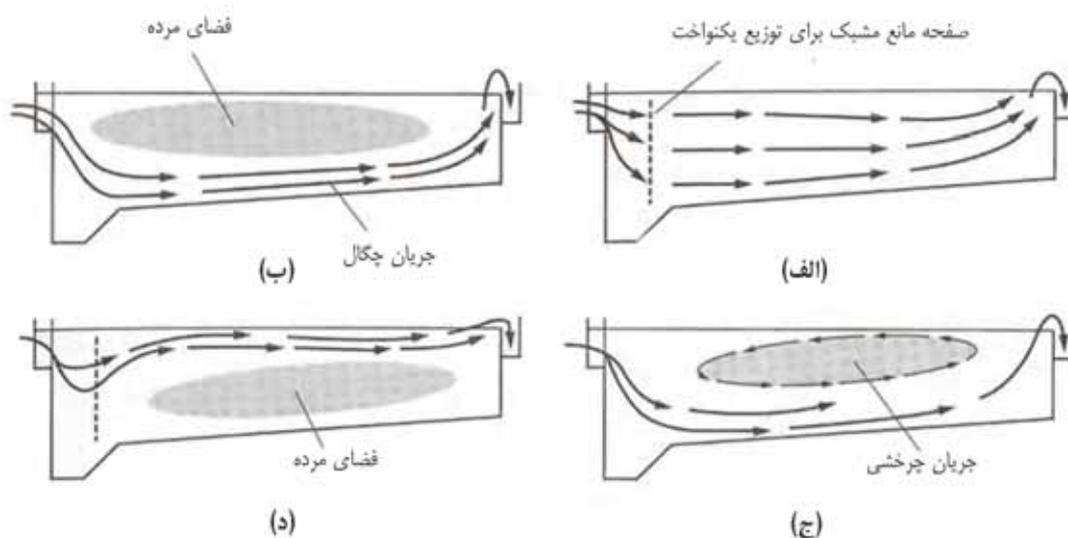
#### الف) ته‌نشینی کننده‌های لوله‌ای<sup>۱</sup>

در این سامانه از لوله‌های تو خالی با مقطع دایره، مربع و چند ضلعی به صورت مایل در حوض ته‌نشینی همانند شکل (۱۱-۴) قرار می‌دهند. همان طور که در شکل دیده می‌شود جهت جریان در این سامانه‌ها از پایین به سمت بالا می‌باشد و طی این حرکت ذرات ته‌نشینی پذیر روی جداره لوله ته‌نشینی و به طرف جمع‌کننده تحتانی در پایین هدایت می‌شوند.



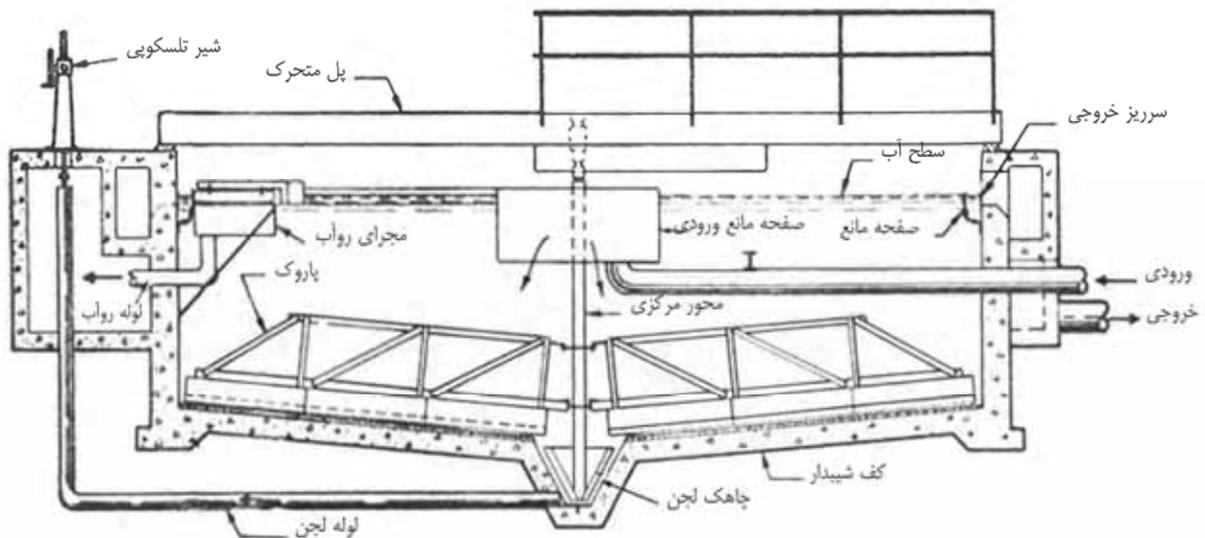


شکل ۱۱-۱- حوض ته نشینی با سطح مقطع مستطیلی، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع [۱۱]

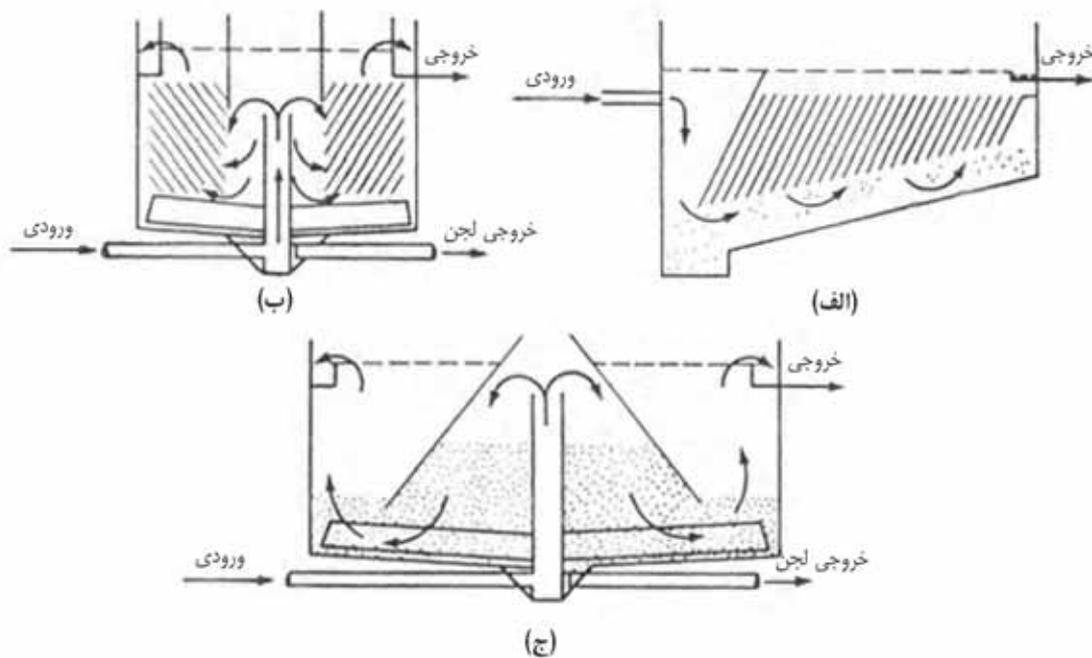


شکل ۱۱-۲- الگوهای مختلف جریان در حوض ته نشینی مستطیلی، (الف) حالت ایده آل، (ب) تأثیر جریان چگال یا لایه بندی حرارتی، (ج) تشکیل جریان چرخشی تحت تأثیر باد، (د) لایه بندی حرارتی [۱۱]





شکل ۱۱-۳- حوض ته نشینی با سطح مقطع دایره‌ای [۱۱]



شکل ۱۱-۴- انواع حوض ته نشینی با صفحات مایل، (الف) ته نشین کننده‌های لوله‌ای در حوض

مستطیلی، (ب) زلال‌ساز با صفحات مایل موازی، (ج) زلال‌ساز تماسی [۱۱]



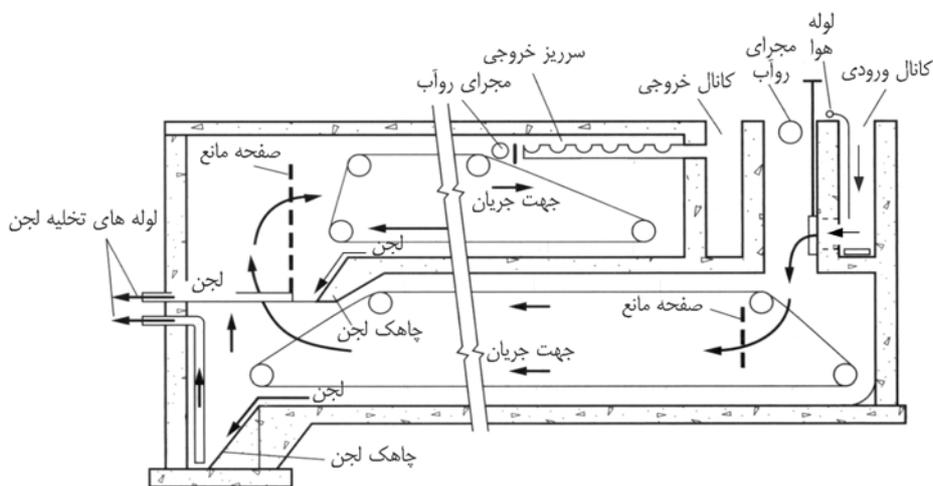
(ب) ته نشین کننده‌های متشکل از ورقهای موازی

استفاده از سطوح مایل، در حوضهای ته نشین، سطح بیشتری جهت تماس سیال بوجود می‌آورد و بدین ترتیب احجام حوضهای ته نشینی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. از ضعفهای هیدرولیکی این سامانه ایجاد شرایط ماندگاری لجن ته نشین شده

در دیواره داخلی صفحات مایل و ایجاد جریانهای چرخشی کوتاه در هنگامی که جریان ورودی دارای دمای بیشتری از دمای حوض باشد و گرفتگی صفحات می‌باشد. در این سامانه از ورقهایی همانند شکل (۱۱-۴-ب) در کل سطح حوض ته‌نشینی استفاده می‌شود و روند ته‌نشینی شدن ذرات نشست پذیر همانند ته‌نشینی کننده‌های لوله‌ای می‌باشد.

### ۱۱-۱-۳ حوضهای دوگانه

در شرایطی که فضای لازم برای ایجاد واحدهای جداگانه‌ای برای ته‌نشینی وجود نداشته باشد، سامانه‌های ته‌نشینی دوگانه جهت غلبه بر این مشکل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این سامانه‌ها به دو گروه سری (شکل (۱۱-۵)) و موازی (شکل (۱۱-۶)) طبقه‌بندی می‌شوند. در مورد حوضهای ته‌نشینی از این نوع، زمینه تحقیق بیشتر وجود دارد و در این استاندارد به آن پرداخته نخواهد شد. هر چند هیدرولیک جریان در این انواع مشابه روشهای ته‌نشینی معمولی مورد بحث در این استاندارد می‌باشد.



شکل ۱۱-۵- حوض ته‌نشینی دوگانه از نوع سری [۱۱]



شکل ۱۱-۶- حوض ته‌نشینی دوگانه از نوع موازی [۱۱]

## ۱۱-۲ عوامل هیدرولیکی موثر در طراحی

عوامل هیدرولیکی موثر در طراحی حوضهای ته‌نشینی اولیه در این قسمت مورد بررسی قرار می‌گیرد. کلیات مربوط به هیدرولیک حوضهای ته‌نشینی ثانویه مشابه با ته‌نشینی اولیه است. عوامل موثر در هیدرولیک جریان در حوضهای ته‌نشینی به شرح زیر می‌باشد:

### ۱۱-۲-۱ بار سطحی

یکی از عوامل مهم در طراحی حوضهای ته‌نشینی بار سطحی می‌باشد که این عامل مستقیماً بر بازده این واحد تاثیر می‌گذارد. مقادیر مختلف بار سطحی برای انواع مختلف ته‌نشینی اولیه در جدول (۱۱-۱) ارائه شده است. در عمل برای طراحی حوضهای ته‌نشینی اولیه در حالت بده طراحی متوسط، بار سطحی برابر ۴۰ مترمکعب بر مترمربع بر روز در نظر گرفته می‌شود.

### جدول ۱۱-۱- بار سطحی طراحی برای حوض ته‌نشینی اولیه [۱۳]

مقدار متعارف (مترمکعب بر مترمربع بر روز)	بار سطحی (مترمکعب بر مترمربع بر روز)	بده	شرایط
۴۰	۳۰-۵۰	متوسط	ته‌نشینی اولیه قبل از
۱۰۰	۷۰-۱۳۰	حداکثر	تصفیه ثانویه
۳۰	۲۵-۳۵	متوسط	ته‌نشینی اولیه با
۶۰	۴۵-۸۰	حداکثر	برگشت لجن

### ۱۱-۲-۲ زمان ماند

یکی دیگر از عوامل موثر بر بازده واحد ته‌نشینی زمان ماند فاضلاب در آن می‌باشد. برای یک سطح مشخص، زمان ماند تابعی از عمق حوض می‌باشد. در جدول (۱۱-۲) زمان ماند به ازای مقادیر مختلف از عمق و بار سطحی برای حوض ته‌نشینی اولیه ارائه شده است.

### ۱۱-۲-۳ نرخ بار سرریز

از دیگر عوامل مهم در کارایی حوضهای ته‌نشینی در حذف ذرات معلق فاضلاب، نرخ بار سرریز می‌باشد. در شرایطی که حوض ته‌نشینی برای حداکثر بده طراحی برابر یا کمتر از ۴۴ لیتر بر ثانیه طراحی شود، حداکثر نرخ بار سرریز برابر ۲۴۸ مترمکعب بر مترمربع بر روز می‌باشد و در شرایطی که برای حداکثر بده طراحی بیشتر از ۴۴ لیتر بر ثانیه طراحی شود، حداکثر نرخ بار سرریز برابر ۳۷۰ مترمکعب بر مترمربع بر روز می‌باشد.

## جدول ۱۱-۲- زمان ماند برای انواع بارهای سطحی در اعماق مختلف [۱۳]

بار سطحی (مترمکعب بر مترمربع بر روز)	عمق (متر)	۲/۰	۲/۵	۳/۰	۳/۵	۴/۰	۴/۵
	زمان ماند (ساعت)						
۳۰		۱/۶	۲/۰	۲/۴	۲/۸	۳/۲	۳/۶
۴۰		۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۱	۲/۴	۲/۷*
۵۰		۱/۰	۱/۲	۱/۴	۱/۷	۱/۹	۲/۲
۶۰		۰/۸	۱/۰	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۸
۷۰		۰/۷	۰/۹	۱/۰	۱/۲	۱/۴	۱/۵
۸۰		۰/۶	۰/۸	۰/۹	۱/۱	۱/۲	۱/۴

\* حالت معمول طراحی در شرایط عمق ۴/۵ متر، بار سطحی ۴۰ متر مکعب بر متر مربع در روز می‌باشد که تحت این شرایط زمان ماند ۲/۷ ساعت می‌باشد.

### ۱۱-۲-۴ ابعاد حوض ته نشینی

ابعاد پایه برای حوضهای مستطیلی یا دایره‌ای در جدول (۱۱-۳) ارائه شده است. شیب کف در حوض مستطیلی ۱ تا ۲ درصد و در حوض دایره‌ای ۴ تا ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

### ۱۱-۲-۵ سازه ورودی

اهداف هیدرولیکی سازه ورودی عبارتند از:

الف- آرام کردن جریان ورودی بوسیله صفحات مانع

ب- توزیع جریان به طور مساوی در عرض حوض

ج- جلوگیری از بوجود آمدن جریانهای میان بر بوسیله لایه بندی حرارتی و چگالی

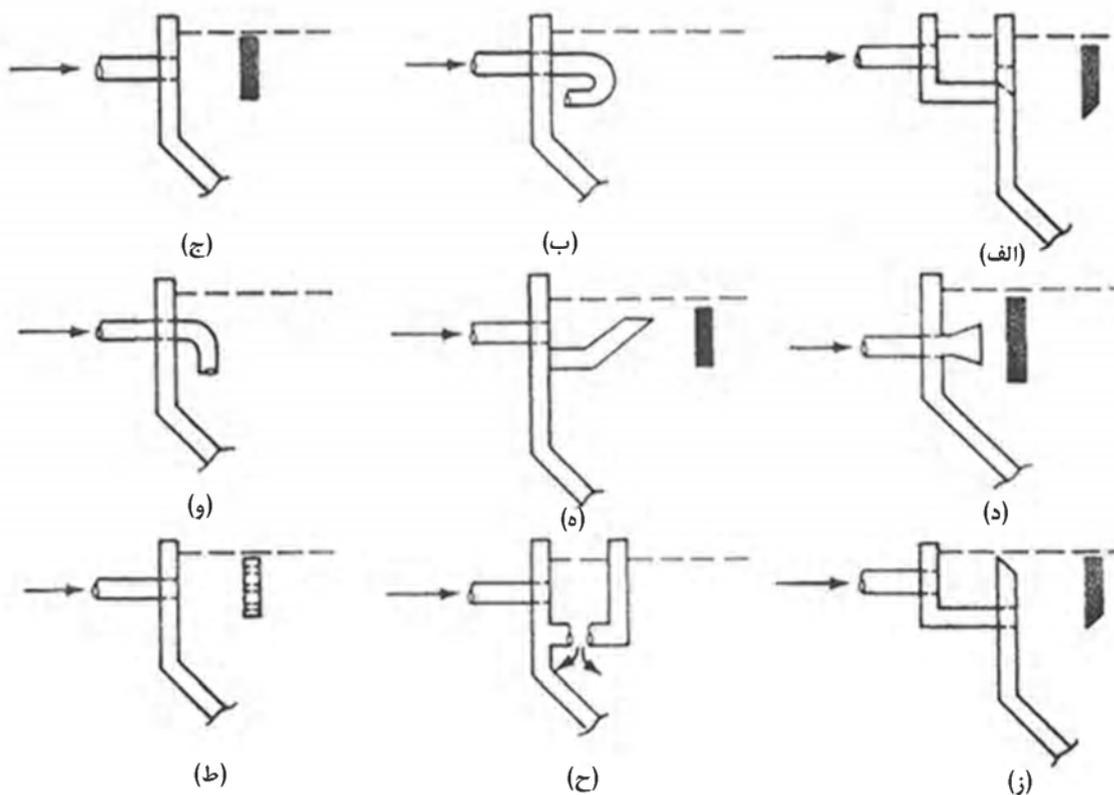
د- کمینه کردن افت ارتفاع در ورودی

سرعت جریان در سازه ورودی در حدود ۰/۳ متر بر ثانیه می‌باشد. در شکل (۱۱-۷) انواع مختلف سازه‌های ورودی در حوضهای ته‌نشینی با مقطع مستطیلی و در شکل (۱۱-۹) انواع سازه ورودی و خروجی برای حوضهای ته‌نشینی دایره‌ای نشان داده شده است.



جدول ۱۱-۳- ابعاد هندسی حوض ته‌نشینی مستطیلی و دایره‌ای [۱۳]

مقطع	ابعاد	دامنه	مقدار متعارف
مستطیلی	طول (متر)	۱۰-۱۰۰	۲۵-۶۰
	نسبت طول به عرض	۱/۰-۷/۵	۴
	نسبت طول به عمق	۴/۲-۲۵/۰	۷-۱۸
	عمق آب در کناره‌ها (متر)	۲/۵-۵/۰	۳/۵
	عرض (متر)	۳-۲۴	۶-۱۰
دایره‌ای	قطر (متر)	۳-۶۰	۱۰-۴۰
	عمق در کناره‌ها (متر)	۳-۶	۴



شکل ۱۱-۷- انواع مختلف سازه ورودی در حوضهای ته‌نشینی با مقطع مستطیلی [۱۳]

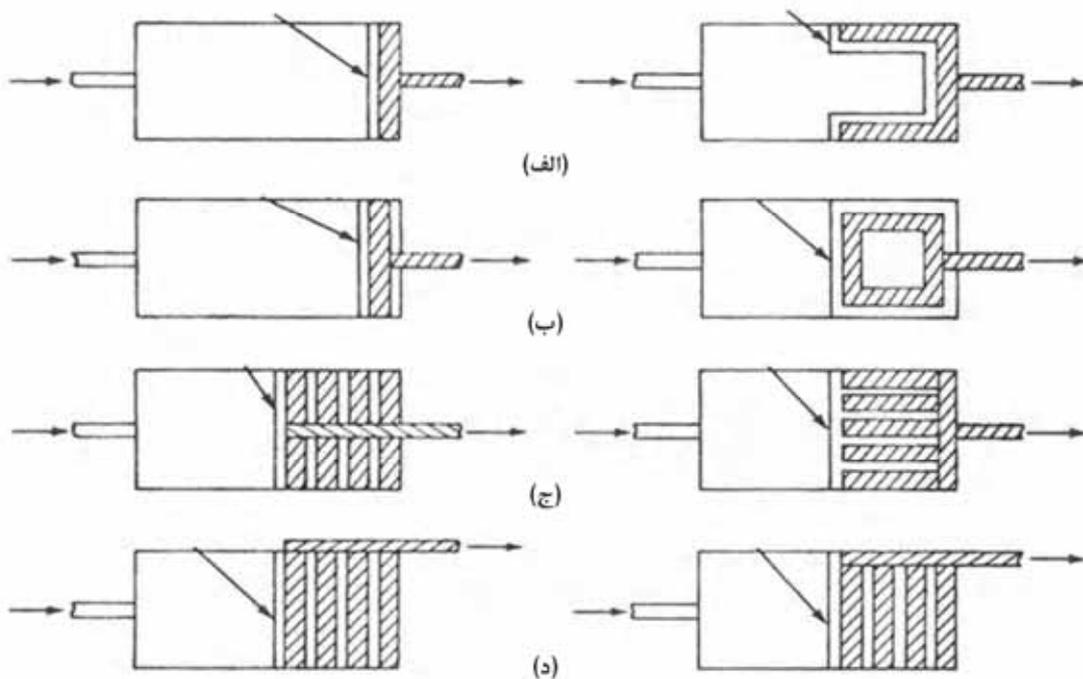


### ۱۱-۲-۶ سازه خروجی

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب سازه خروجی حوضهای ته‌نشینی معمولاً به صورت سرریزهای لبه تیز مستطیلی یا مثلثی یا سرریزهای با دهانه V شکل و U شکل می‌باشند. معمولاً برای جلوگیری از رسیدن امواج نوسانی موجود در سطح حوض به سرریزهای خروجی و جلوگیری از ورود کف و چربیها به واحدهای بعدی، از صفحات مانعی قبل از سرریز استفاده می‌شود. آرایشهای مختلف سازه‌های خروجی در حوض ته‌نشینی اولیه مستطیلی در شکل (۱۱-۸) نشان داده شده است.

### ۱۱-۲-۷ جمع‌آوری و انتقال لجن

معمولاً در حوضهای ته‌نشینی پس از جمع‌آوری لجن در جمع‌کننده‌های تحتانی<sup>۱</sup> برای انتقال لجن از تلمبه استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۸- انواع سازه خروجی در حوض ته‌نشینی با مقطع مستطیلی، (الف) مجرای منفرد با سرریز یک طرفه، (ب) مجرای منفرد با سرریز دو طرفه، (ج) مجرای چندگانه با سرریز دو طرفه خروجی از وسط، (د) مجرای چندگانه با سرریز دو طرفه خروجی از کنار [۱۳]

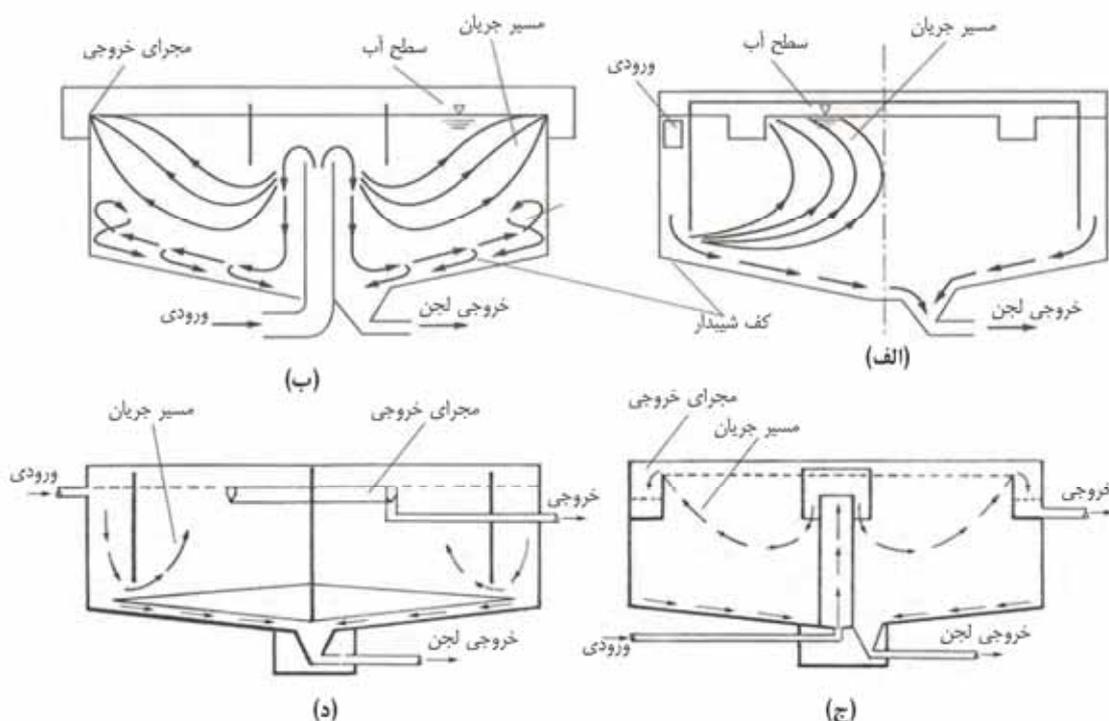
برای طراحی سامانه‌های انتقال لجن لازم است ملاحظات مربوط به آن، که در قسمت طراحی سامانه‌های انتقال لجن بصورت کامل بیان شده، رعایت گردد.



معمولاً در ته‌نشینی اولیه، تعداد حوض لازم ۲ عدد می‌باشد که هر حوض بصورت مستقل عمل می‌کند و باید توانایی عبور نصف بده حداکثر لحظه‌ای جریان را داشته باشد، همچنین باید ملاحظات لازم برای کنارگذر کردن<sup>۱</sup> جریان نیز در نظر گرفته شود به صورتی که در هنگامی که تصفیه‌خانه با بده حداکثر کار می‌کند و یکی از حوضهای ته‌نشینی از مدار خارج می‌شود، نصف بده حداکثر لحظه‌ای از یک حوض باقی مانده عبور داده شود و نصف دیگر جریان بصورت کنارگذر به حوض هوادهی انتقال داده شود.

مبنای تعیین نرخ سرریز (بار سطحی) و زمان ماند هیدرولیکی بر اساس بده متوسط طراحی می‌باشد و چون در سامانه با دو حوض، هر حوض باید توانایی عبور نصف بده را داشته باشد، از این رو مبنای تعیین نرخ سرریز و زمان ماند هیدرولیکی در هر حوض، نصف بده متوسط طراحی می‌باشد. البته باید توجه داشت که بار سطحی باید کمتر از ۳۶ مترمکعب بر مترمربع بر روز و زمان ماند هیدرولیکی نباید کمتر از ۱/۵ ساعت باشد. لازم به ذکر است عمق متوسط آب در حوض ته‌نشینی معمولاً بیشتر از ۳ متر می‌باشد. در شکل ۹-۱۱ انواع سازه‌های ورودی و خروجی در حوضهای ته‌نشینی دایره‌ای نشان داده شده است. انتخاب نوع آن بسته به طراحی فرآیند دارد.

همچنین سرعت جریان در کانال ورودی هر حوض در هنگام عبور بده حداکثر لحظه‌ای طراحی باید کمتر از ۰/۳۵ متر بر ثانیه باشد و لازمست جمع‌کننده روآبها (کف آبها) و کانال خروجی برای هر حوض برای نصف بده حداکثر لحظه‌ای طراحی شوند.



شکل ۹-۱۱- سازه ورودی و خروجی در حوض ته‌نشینی دایره‌ای، (الف) تغذیه از کنار - سرریز از کنار، (ب) تغذیه از مرکز - سرریز از کنار، (ج) تغذیه از مرکز - سرریز از کنار، (د) تغذیه از کنار - سرریز از مرکز [۱۱]

## ۱۲- هیدرولیک سایر واحدها

در بسیاری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب علاوه بر تصفیه فیزیکی از واحدهای تصفیه زیستی نیز برای تصفیه بیشتر فاضلاب استفاده می‌گردد. به علاوه واحد گند زدایی و واحدهای تغلیظ و تصفیه لجن نیز در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین در برخی شرایط نظیر مواقعی که استفاده مجدد پساب مورد نظر باشد، واحدهای تصفیه تکمیلی نظیر صاف سازی و ریزصافیها کاربرد دارند. در این فصل هیدرولیک هر یک از این واحدها ارائه می‌گردد.

### ۱-۱۲ واحدهای زیستی تصفیه فاضلاب

در تصفیه‌خانه‌هایی که عملیات فیزیکی کافی نباشد، لازم است که علاوه بر تصفیه فیزیکی از تصفیه زیستی نیز برای رسیدن به استانداردهای دفع پساب استفاده گردد. در تصفیه زیستی فاضلاب، حسب نوع و نحوه استقرار میکروارگانیسمها در واحدهای تصفیه، روشهای متعددی مطرح است. آنچه در مورد هیدرولیک این واحدها وجود دارد مشابه با موارد ذکر شده در واحدهای تصفیه مقدماتی فاضلاب است. تفاوتها در زمینه زمان ماند هیدرولیکی، میزان و نحوه هوادهی، مقدار جریان برگشتی و غیره است که تابعی از نوع فرآیند بوده و خارج از موضوع این استاندارد می‌باشد. لذا در ادامه هر یک از واحدهای زیستی تصفیه فاضلاب، با فرض موجود بودن اطلاعات فرآیندی، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. معمول ترین روشها در تصفیه فاضلاب شهری عبارتند از :

- فرآیند لجن فعال
- فرآیند صافی چکنده
- فرآیند صفحات بیولوژیکی چرخان
- فرآیند برکه‌های تثبیت

هر یک از این روشها نیز حسب نوع و مقدار فاضلاب، درجه تصفیه مورد نیاز، امکانات، شرایط محلی و هزینه‌های مورد نظر به انواع بیشتری تقسیم می‌شوند. در تصفیه زیستی فاضلاب باید به خصوصیات روش انتخاب شده برای تصفیه و تطبیق آن با شرایط خاص طرح مورد نظر توجه کرد. شرایط خاص طرح شامل مواردی نظیر شرایط محلی، امکانات یا محدودیتهای زمین و شیب آن، امکانات و محدودیتهای اجرایی، تخصصهای مورد نیاز برای بهره برداری و نگهداری، قابلیت انعطاف، نکات اقتصادی و توسعه‌های بعدی می‌باشد.

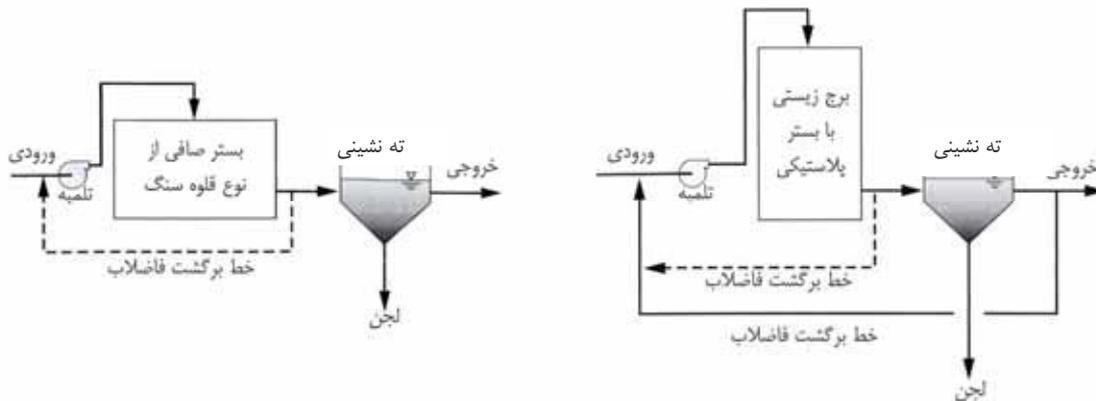
### ۱-۱-۱۲ واحد لجن فعال

یکی از معمول ترین سامانه‌های تصفیه زیستی فاضلاب استفاده از واحد لجن فعال است. این واحد از حوضهای هوادهی و سامانه برگشت لجن تشکیل شده است. علاوه بر این دو قسمت، امروزه با توجه به اهمیت کاهش نیتروژن و فسفر در فاضلاب تصفیه شده از واحدهای تکمیلی برای این منظور استفاده می‌شود. یکی از روشهای حذف فسفر و ازت اضافه کردن واحدهای بی‌هوازی و بی‌اکسل<sup>۱</sup> قبل از حوض هوادهی است. در این واحدها از موجودات ذره بینی ازوته موجود در فاضلاب و لجن برگشتی برای تبدیل نیترات به گاز نیتروژن استفاده می‌شود.

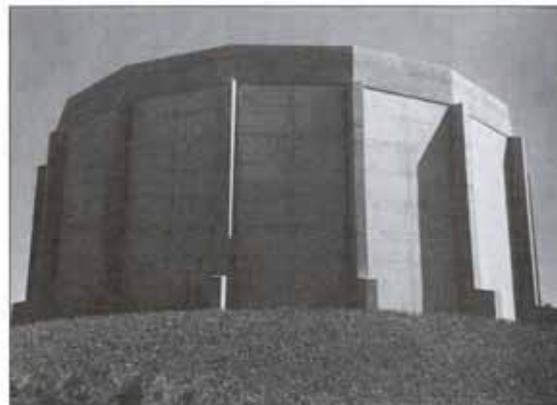


## ۱۲-۱-۲ صافیهای چکنده

صافی چکنده بستری است از آکنه‌های مناسب (نظیر قلوه سنگ، سربار کوره‌های ذوب فلز و یا قطعات پلاستیکی) که فاضلاب توسط یک دستگاه توزیع کننده، معمولاً از نوع بازوی چرخان، طوری روی سطح آن توزیع می‌شود که هر قسمت از سطح بطور منقطع ولی یکنواخت، فاضلاب دریافت می‌کند. فاضلاب در مسیر حرکت خود به سمت پایین سطح آکنه‌های بستر را خیس می‌کند و به تدریج لایه‌ای از میکروارگانیسمها روی سطح آکنه تشکیل می‌شود که بطور منقطع با فاضلاب و هوا در تماس است. از آنجا که با هر بار عبور فاضلاب از بستر صافی چکنده، فقط قسمتی از آلودگیهای آن حذف می‌شود، لذا برای تامین بازده بیشتر، مقداری از فاضلاب خروجی از بستر را برگشت داده و با فاضلاب ورودی مخلوط می‌کنند. این کار علاوه بر خیس نگه داشتن تمام بستر، بار هیدرولیکی لازم برای تنظیم ضخامت فیلم چسبیده را تامین می‌کند. در شکل (۱۲-۵) دو نمونه متداول صافی چکنده نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

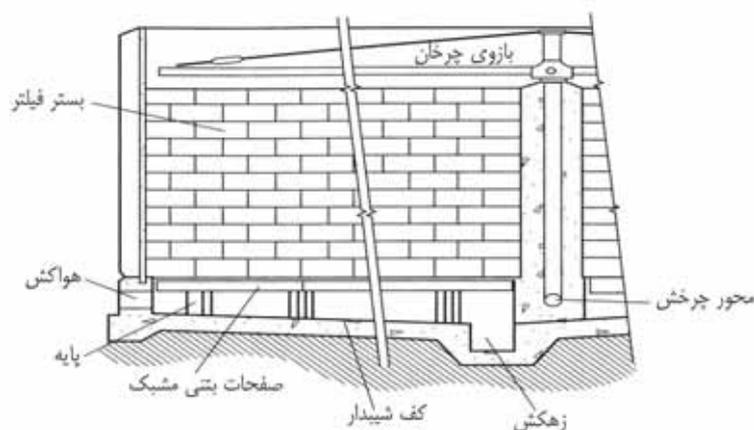
شکل ۱۲-۵- صافی چکنده، (الف) صافی چکنده از نوع برج زیستی،

(ب) صافی چکنده با بستر قلوه سنگ [۱۱]

به لحاظ هیدرولیکی هر صافی چکنده از قسمتهای زیر تشکیل شده است (شکل ۱۲-۶):

- سیستم توزیع جریان
- بستر صافی
- سیستم جمع‌آوری تحتانی

توزیع جریان معمولاً از طریق بازوی چرخان انجام می‌گیرد و حالت جریان در آن از نوع متغیر مکانی در آبراهه بسته (منیفولد) می‌باشد که در قسمت (۴-۷) نحوه محاسبات هیدرولیکی و تعیین افت ارتفاع در آن ارائه شد. در طول بازوی توزیع باید بده جریان افزایش یابد تا با فاصله گرفتن از محور چرخش، با افزایش محیط، جریان ورودی به بستر نیز افزایش یابد. به علاوه لازم است جریان خروجی از یک حداقل سرعت برخوردار باشد تا چرخش خودکار بازو را سبب گردد. با توجه به عبور ریزشی و ناپیوسته جریان از داخل بستر، محاسبه افت ارتفاع در طول بستر لازم نیست. طراحی سیستم زهکش زیرین نیز باید بنحوی باشد که به سرعت جریان عبوری از بستر را جمع‌آوری و تخلیه نماید و مانع انسداد و بالا رفتن سطح آب در بستر شود. افت ارتفاع در سیستم زهکش زیرین با توجه به روابط ارائه شده برای محاسبه افت ارتفاع در مجاری باز یا بسته محاسبه می‌گردد.



شکل ۱۲-۶- نمونه‌ای از قسمتهای مختلف صافی چکنده [۱۱]

### ۱۲-۱-۳ صفحات زیستی دوار

برای تصفیه زیستی فاضلاب شهری روشهای دیگری نیز نظیر صفحات زیستی چرخان وجود دارند که از آنها معمولاً برای تصفیه فاضلاب جوامع کوچک استفاده می‌شود. این سامانه‌ها بیشتر بصورت آماده<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند و لذا نمی‌توان هیدرولیک آن را به شکلی که برای سایر واحدهای بیان شده، مورد بررسی قرار داد. محاسبه افت ارتفاع و سایر مشخصات هیدرولیکی معمولاً توسط سازندگان این تجهیزات بعنوان انرژی یا فشار مورد نیاز بصورت ارتفاع بیان می‌شود. به طور کلی

<sup>۱</sup> - Package

هیدرولیک این واحدها نیز همانند سایر واحدها بوده و از مطالب ارائه شده در این استاندارد می‌توان در مورد آنها نیز استفاده نمود.

### ۱۲-۱-۴ ته‌نشینی ثانویه

تحت تاثیر فرآیندهای زیستی، مواد مغذی همراه فاضلاب توسط باکتریها مصرف و به توده‌های زیستی تبدیل می‌شوند که امکان ته‌نشینی آنها وجود دارد. برای جداسازی این توده‌ها از حوض ته‌نشینی ثانویه استفاده می‌گردد. طراحی حوض ته‌نشینی ثانویه مشابه حوض ته‌نشینی اولیه است.

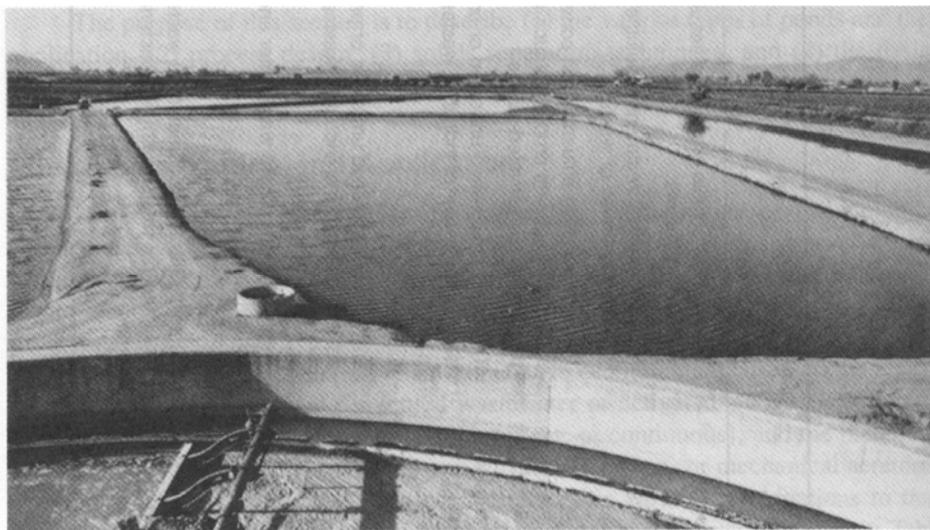
### ۱۲-۱-۵ برکه‌های تثبیت

این روش تصفیه به حوض یا مجموعه حوضهایی اطلاق می‌شود که تنها با ماند فاضلاب در آنها عمل تصفیه از طریق زیستی انجام می‌پذیرد. اگر چه استفاده از حوضهای تثبیت سابقه طولانی دارد ولی در گذشته چندان توجهی به آن نمی‌شد و ضوابط و مبانی علمی مشخصی برای طراحی آنها وجود نداشت. در دو سه دهه اخیر که لزوم جلوگیری از آلودگی آنها از طریق تصفیه فاضلاب، در تمام کشورها جدی مطرح شده است، حوضهای تثبیت بعلت سادگی عملیات اجرایی و پایین بودن هزینه‌های سرمایه‌ای مورد توجه خاص قرار گرفته‌اند. اما باید توجه داشت که بهره‌برداری صحیح و اصولی از حوضهای تثبیت به هیچ وجه ساده نبوده و سامانه نیاز به پایش و کنترل دائم دارد. در ایران برای شهرهایی که از شرایط آب و هوایی مناسب برخوردار بوده و زمین کافی برای ایجاد تصفیه‌خانه فاضلاب در اختیار دارند، روش حوضهای تثبیت می‌تواند گزینه‌ای مناسب باشد مشروط به آنکه کادر فنی متخصص برای بهره‌برداری این سامانه تربیت شوند. حوضهای تثبیت را می‌توان به تنهایی و یا ترکیب با سایر فرآیندهای تصفیه فاضلاب بکار برد. در شکل (۱۲-۸) نمایی از یک حوض تثبیت نشان داده شده است.

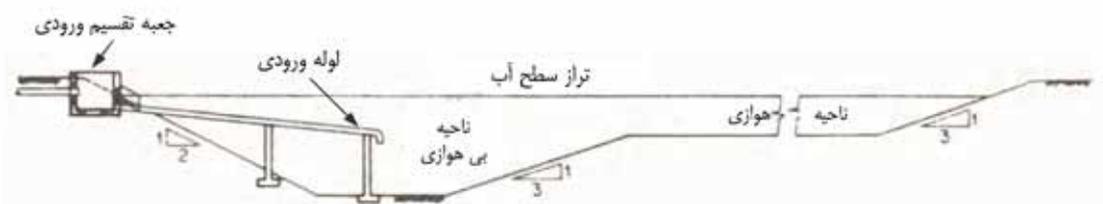
هر حوض برکه تثبیت از سازه ورودی، سازه خروجی و حجم میانی تشکیل شده است. بر اساس تجربیات بدست آمده مناسب‌ترین شکل برای برکه‌های تثبیت، مستطیل می‌باشد که نسبت به سایر اشکال نظیر مربع، دایره مناسب‌تر می‌باشد. معمولاً نسبت بین طول و عرض برکه بین ۲ به ۱ تا ۳ به ۱ تغییر می‌کند. برای ورود جریان به برکه معمولاً تقسیم جریان ورودی و استفاده از ورودیهای چند گانه که از چند نقطه جریان را به داخل برکه وارد می‌کنند، مناسب‌تر می‌باشد. تعیین تعداد واحدها، عمق و نحوه قرارگیری واحدها در کنار هم معمولاً تابعی از شرایط جغرافیایی و مشخصات فاضلاب ورودی بوده و توسط طراحی فرآیند تعیین می‌شود. هر برکه از قسمتهای زیر تشکیل شده است:

### الف- سازه ورودی

تمام سامانه‌های برکه تثبیت (احتمالاً به غیر از برکه‌های خیلی کوچک) باید دارای دریچه و یا هر سازه دیگری جهت اندازه‌گیری جریان ورودی باشند. از این طریق عملکرد برکه قابل نظارت و کنترل است و می‌توان دریافت که در چه زمانی برکه به حداکثر ظرفیت هیدرولیکی خود می‌رسد. در صورت استفاده از چند برکه توزیع جریان بین واحدهای مختلف را بسته به شرایط می‌توان از هر یک از روشهای ارائه شده در قسمت (۴-۷) انجام داد. جهت انتقال فاضلاب خام به برکه می‌توان از یک لوله، که بر روی ستونهایی قرار دارد، استفاده نمود (شکل (۱۲-۹)). برای اینکه مقدار کف تولید شده در برکه به حداقل خود



شکل ۱۲-۸- نمای یک نمونه برکه تثبیت



شکل ۱۲-۹- قسمتهای مختلف یک نمونه برکه تثبیت

برسد، فاضلاب خام توسط لوله ورودی در پایین ترین سطح برکه دفع می‌گردد و به جهت اینکه از تراکم و تجمع لجن جلوگیری شود، باید انتهای لوله در فاصله تقریبی  $0/2$  تا  $0/3$  طول برکه (بسته به ابعاد برکه) از حصار خاکی واقع گردد. سرعت جریان فاضلاب در سازه ورودی همانند آنچه در مورد سایر واحدها گفته شد باید بیشتر از  $0/3$  متر بر ثانیه باشد تا در آن ته‌نشینی رخ ندهد.

#### ب- اتصال بین برکه‌ها

از جمله مواردی که در برکه‌های تثبیت با اهمیت است نحوه مرتبط کردن برکه‌هایی است که در یک تصفیه‌خانه در کنار هم قرار گرفته‌اند. هنگامی که ارتفاع سطح آب در دو برکه اختلاف داشته باشند، فاضلاب بطور خودکار از یکی وارد دیگری خواهد شد. برای کنترل بهتر جریان بین برکه‌ها معمولاً در این اتصالات از دریچه یا شیر استفاده می‌شود. همچنین لازم است با در نظر گرفتن تمهیداتی مانع از سرریز شدن فاضلاب از روی دیوار برکه شد. برای این منظور می‌توان از سرریزهایی در دیوار و یا اتصال بین برکه‌ها استفاده نمود.



## ج- سازه خروجی

در خروجی برکه‌های تثبیت معمولاً از سرریز استفاده می‌شود که بسته به بده فاضلاب می‌توان از سرریزهای به شکل مستطیل یا مثلث استفاده نمود. در این سرریزها با اندازه‌گیری ارتفاع تیغه جریان روی سرریز، بده پساب محاسبه می‌شود.

## د- محاسبه افت ارتفاع

محاسبه افت ارتفاع در برکه‌های تثبیت از پیچیدگی خاصی برخوردار نیست. افت ارتفاع در برکه‌های تثبیت شامل قسمت‌های زیر است:

- افت ارتفاع در سازه ورودی
- افت ارتفاع در سازه خروجی
- افت ارتفاع در حجم میانی

با توجه به اینکه سرعت در حجم میانی بسیار کوچک است لذا افت ارتفاع در این قسمت در نظر گرفته نمی‌شود ولی با توجه به اینکه طول برکه معمولاً زیاد است می‌توان به ازای هر ۱۰۰ متر از طول مسیر جریان در برکه ارتفاعی معادل ۵ سانتی‌متر را برای افت ارتفاع منظور کرد. محاسبه افت ارتفاع در سازه ورودی مشابه با سایر واحدها است. چون خروجی برکه معمولاً بصورت سرریز است، می‌توان از روابط ارائه شده در قسمت (۶-۱) برای طراحی هیدرولیکی آن استفاده نمود.

## ۱۲-۲ تصفیه و آماده سازی لجن برای دفع

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب علاوه بر واحدهایی که عمل تصفیه فاضلاب را انجام می‌دهند واحدهایی نیز برای پردازش و تصفیه لجن و آماده سازی آن برای دفع به محیط وجود دارد. بسیاری از این واحدها نظیر سانتریفوژهای تغلیظ لجن یا سامانه‌های آبیگری بصورت آماده ساخته و عرضه می‌شوند. در طراحی دیگر واحدها نظیر حوضهای تغلیظ، هاضمهای لجن و یا بسترهای لجن خشک کن، باید در مواردی که درصد جامدات موجود در لجن بالاست (بیشتر از ۱ درصد) برای محاسبات هیدرولیکی این مسئله را در نظر گرفته و از روابطی که در فصل سوم ارائه شد، استفاده کرد. در ادامه هیدرولیک مربوط به حوض تغلیظ ثقلی و بسترهای لجن خشک کن، بررسی می‌شود. طراحی سایر واحدهای پردازش و آبیگری لجن نیز مشابه می‌باشد.

## ۱۲-۲-۱ حوض تغلیظ لجن

لجن خروجی از واحدهای تصفیه فاضلاب نظیر لجن خروجی از حوض ته‌نشینی اولیه و لجن خروجی از ته‌نشینی ثانویه دارای غلظت کم (کمتر از ۲ درصد) می‌باشد و چون در واحدهای هضم و تثبیت لجن معمولاً وجود غلظت‌های بیشتر از این مقدار مطلوب است، لذا لازم است قبل از ورود لجن به این واحدها، درصد جامدات موجود در لجن افزایش یابد. برای این منظور روشهای مختلفی نظیر تغلیظ ثقلی، تغلیظ به روش شناور سازی، تغلیظ به کمک سامانه‌های سانتریفوژ و یا استفاده از میکروفیلترها وجود دارد. طراحی این واحدها مشابه با طراحی حوضهای ته‌نشینی معمولی می‌باشد و تنها تفاوت مربوط به غلظت لجن می‌باشد.

## ۱۲-۲-۲ بسترهای لجن خشک کن

حذف آب همراه با لجن و در نتیجه افزایش درصد جامدات موجود در لجن را آبگیری لجن گویند. آبگیری لجن باعث کاهش هزینه انتقال لجن، افزایش کارایی سوزاننده‌های لجن و تبدیل لجن مایع به لجن جامد می‌شود. این بسترها به شکل حوضه‌هایی هستند که از چند لایه شن با دانه بندی مختلف تشکیل شده اند. لجن در این حوضه‌ها تحت تأثیر نیروی ثقل، نور خورشید و باد و بسته به میزان رطوبت نسبی هوا، آب خود را از دست می‌دهد. عمق این گونه حوضه‌ها کم است و به طور متناوب لجن به آن وارد می‌شود. در شکل (۱۲-۱۴) قسمتهای مختلف یک نمونه بستر لجن خشک کن ماسه‌ای نشان داده شده است. تنها مسئله هیدرولیکی در مورد این بسترها نحوه توزیع جریان در قسمتهای مختلف و محاسبه افت ارتفاع در طول لوله توزیع است. جریان در لوله توزیع از نوع متغیر مکانی است که در قسمت (۴-۷) روابط محاسبه آن آمده است. در محاسبه افت ارتفاع در این سامانه توزیع باید موارد گفته شده برای مجاری انتقال لجن (فصل پنجم) را نیز در نظر داشت.

## ۱۲-۳ واحد گند زدایی

قبل از وارد نمودن پساب تصفیه‌خانه فاضلاب به منابع طبیعی و یا استفاده مجدد از آن لازم است میکروارگانیسمهای بیماری زای موجود در فاضلاب از بین برود. گندزدایی را می‌توان به روشهای مختلفی انجام داد که این روشها در قسمت فرآیند مورد بررسی قرار گرفت. اختلاط مناسب مواد گندزدا با پساب تصفیه شده باعث ضد عفونی بهتر پساب خواهد شد. لذا لازم است گندزدایی همراه با اختلاط و تماس مناسب بین عامل گندزدا و پساب صورت گیرد. این اختلاط می‌تواند به یکی از روشهای ذیل انجام گیرد:

الف) اختلاط به وسیله تجهیزات مکانیکی

ب) اختلاط بوسیله در نظرگیری صفحات مانع ترتیبی

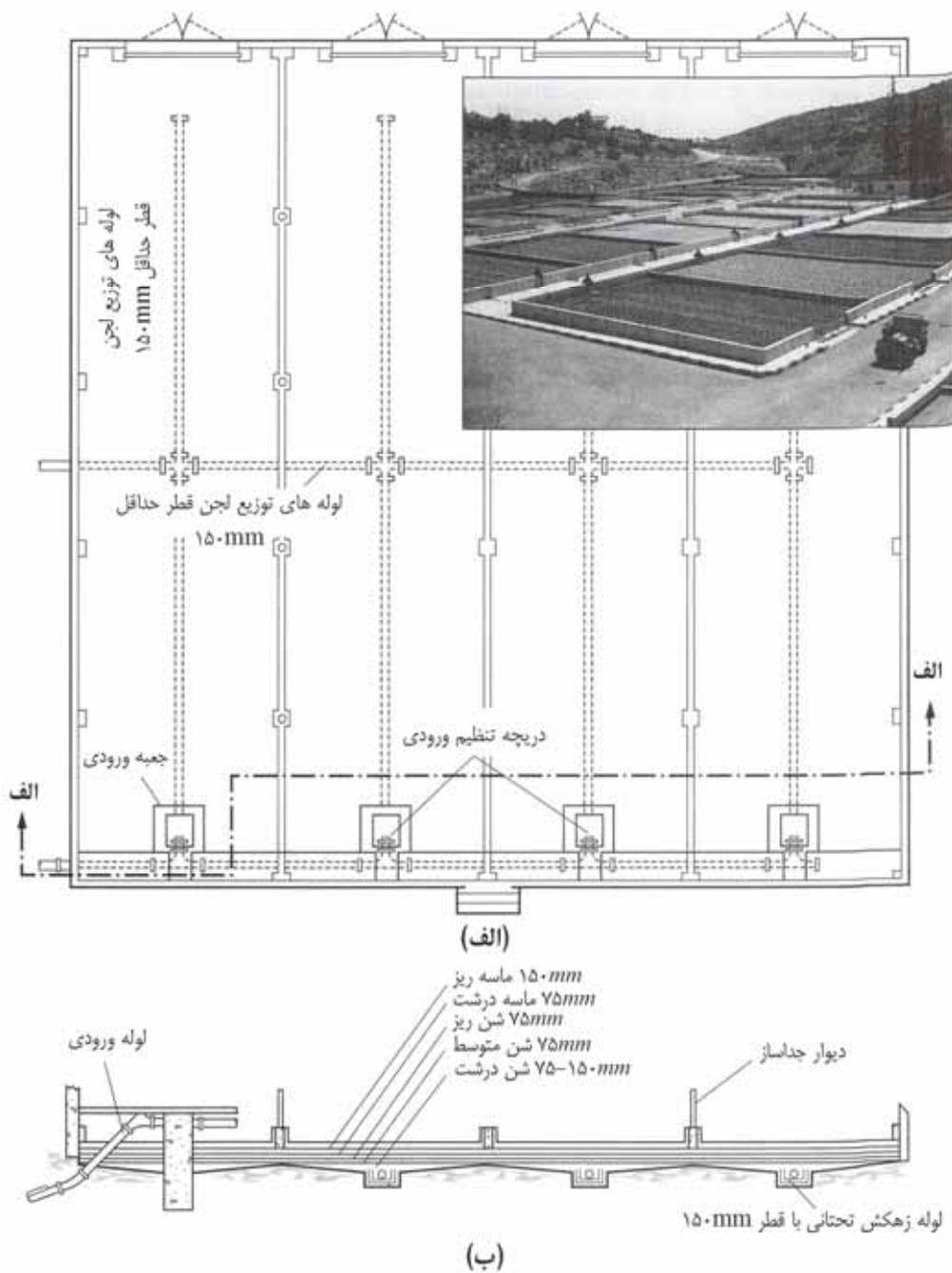
ج) اختلاط بوسیله پرش هیدرولیکی پس از سرریز، دریچه و یا پارشال فلوم

روشهای مختلف تزریق کلر به پساب و اختلاط در شکل‌های (۱۲-۱۵) و (۱۲-۱۶) نشان داده شده است. گرادیان سرعت مناسب برای اختلاط در این واحد در حدود  $400 \text{ Sec}^{-1}$  می‌باشد. گرادیان سرعت را می‌توان بوسیله رابطه (۱۲-۳) محاسبه نمود:

$$G = \left( \frac{\gamma h_L}{t\mu} \right)^{\frac{1}{r}} \quad (12-3)$$

در این رابطه  $G$  گرادیان سرعت ( $\text{Sec}^{-1}$ )،  $\gamma$  وزن مخصوص آب (نیوتن بر مترمکعب)  $9/78$  (کیلو نیوتن بر مترمکعب) در دمای  $25^\circ \text{C}$ ،  $\mu$  لزجت دینامیکی آب  $0/89 \times 10^{-3}$  نیوتن بر ثانیه بر مترمربع در دمای  $25^\circ \text{C}$ ،  $h_L$  افت ارتفاع کل در طول سامانه تزریق و  $t$  زمان ماند را نشان می‌دهد.





شکل ۱۲-۱۴- یک نمونه از بستر لجن خشک کن ماسه‌ای، (الف) تصویر افقی،

(ب) برش الف - الف [۱۱]

افت ارتفاع در واحد اختلاط نیز همانند سایر واحدها از سه قسمت افت ارتفاع در سازه ورودی، افت ارتفاع در سازه خروجی و افت ارتفاع در حوض اختلاط تشکیل می‌گردد. محاسبه افت ارتفاع در ورودی و خروجی مشابه با سایر واحدهاست و از افت ارتفاع در طول حوض اختلاط نیز صرف‌نظر می‌شود.



هدف از بکارگیری حوضهای تماس فراهم آوردن تماس مورد نیاز برای تاثیر مواد گندزدا و از بین بردن عوامل بیماریزا می‌باشد. طبق استاندارد ۳-۱۲۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی بعد از اختلاط کامل کلر با فاضلاب باید زمان تماسی معادل حداقل ۱۵ دقیقه در حالت بده حداکثر لحظه‌ای ساعتی جریان به کلر داده شود تا عمل ضد عفونی صورت پذیرد. بدین منظور از حوضی به نام حوضچه تماس کلر ساخته می‌شود. این حوض باید به نحوی ساخته شود که از ایجاد جریان میانبر در آن جلوگیری گردد. در شکل (۱۲-۱۷) چند نمونه حوض تماس نشان داده شده است. حوضهای تماس معمولاً به شکل مضاعف ساخته می‌شود و در بده حداکثر لحظه‌ای هر حوض نصف بده را با زمان ماند ۳۰ دقیقه از خود عبور می‌دهد و در صورت خارج شدن یکی از این حوضها از مدار، حوض دیگر کل بده را با زمان ماند ۱۵ دقیقه از خود عبور خواهد داد. در حوضهای تماس معمولاً از صفحات مانعی به منظور اختلاط بهتر استفاده می‌شود. نکات مهمی که در طراحی هیدرولیکی حوض تماس باید به آن توجه شود عبارتند از:

الف) بیشینه نمودن میزان اختلاط و در نتیجه بالا بردن بازده گند زدایی

ب) کمینه کردن فضاهای مرده و جلوگیری از بوجود آمدن جریان میان بر

ج) جلوگیری از ته نشین شدن ذرات معلق موجود در پساب

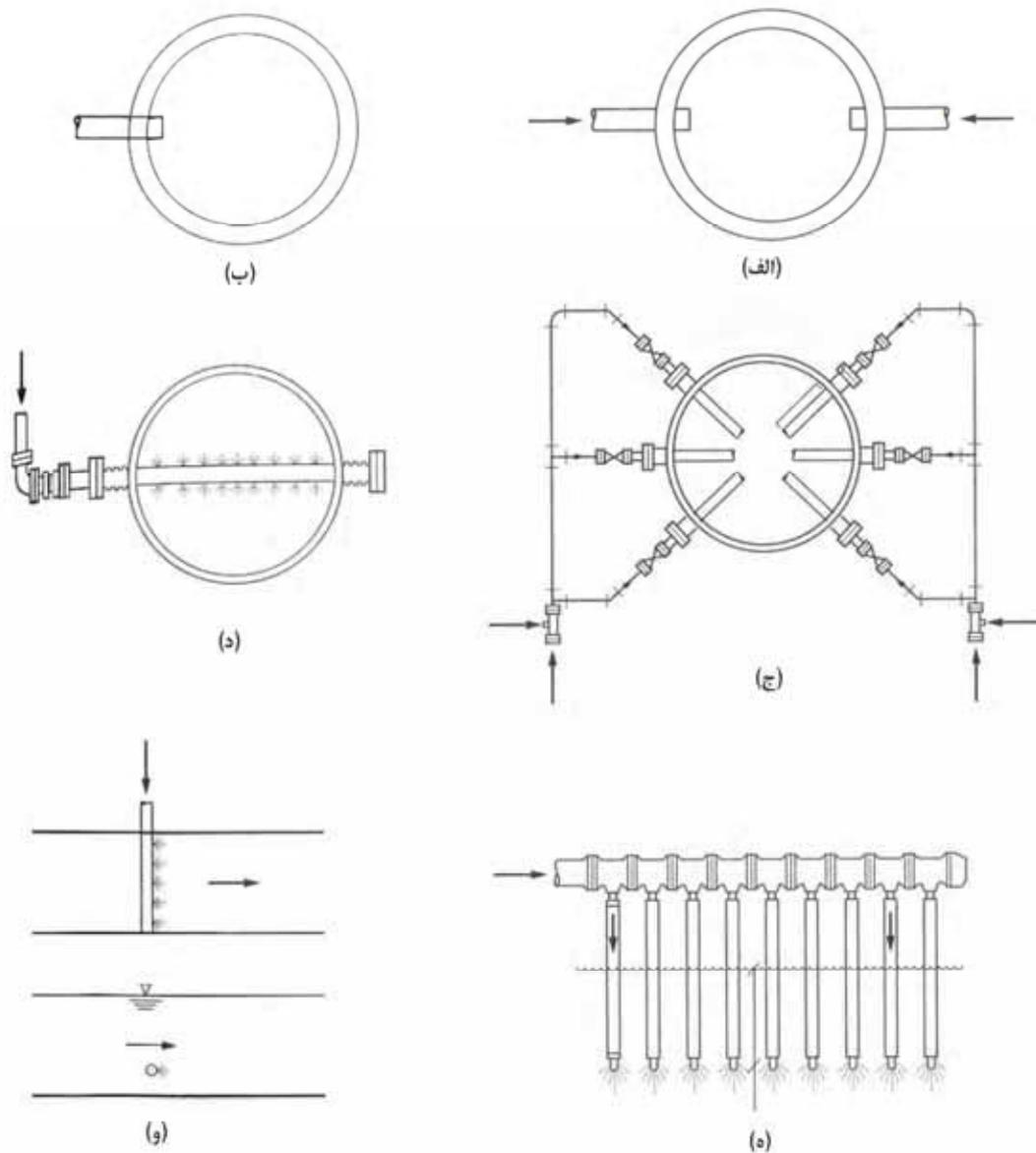
معمولاً در حوضهای اختلاط با استفاده از چند صفحه مانع در طول آن (۲ تا ۴ صفحه) باعث طولانی و باریک تر شدن کانال می‌شوند. همچنین به منظور بهبود تماس، گوشه‌های کانال بصورت گرد شده و صفحات مانع اضافی ساخته می‌شود. همچنین استفاده از صفحات مانعی که جریان از زیر و بالای آن عبور می‌کند، پیشنهاد می‌شود. اما در استفاده از این صفحات، تمیز کردن مواد ته نشین شده در زیر آن مسئله ساز است.

## ۴-۱۲ صاف سازی پساب

صاف سازی از قدیمی ترین روشهای تصفیه آب یا پساب است و در آن جریان با عبور از بسترهای سنگی و ماسه‌ای متخلخل، به آرامی ذرات ریز آن گرفته و تمیز می‌گردد. اگرچه صاف کردن یکی از فرایندهای اصلی مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب است، ولی در برخی موارد به منظور استفاده مجدد پساب در صنعت، از آن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز استفاده می‌شود. لازم به ذکر است این واحد کمتر در نیمرخ هیدرولیکی وارد می‌گردد. در این قسمت ضمن معرفی مختصر انواع صافیهای مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، هیدرولیک این سامانه‌ها به همراه روابط محاسبه افت ارتفاع ارائه می‌گردد.

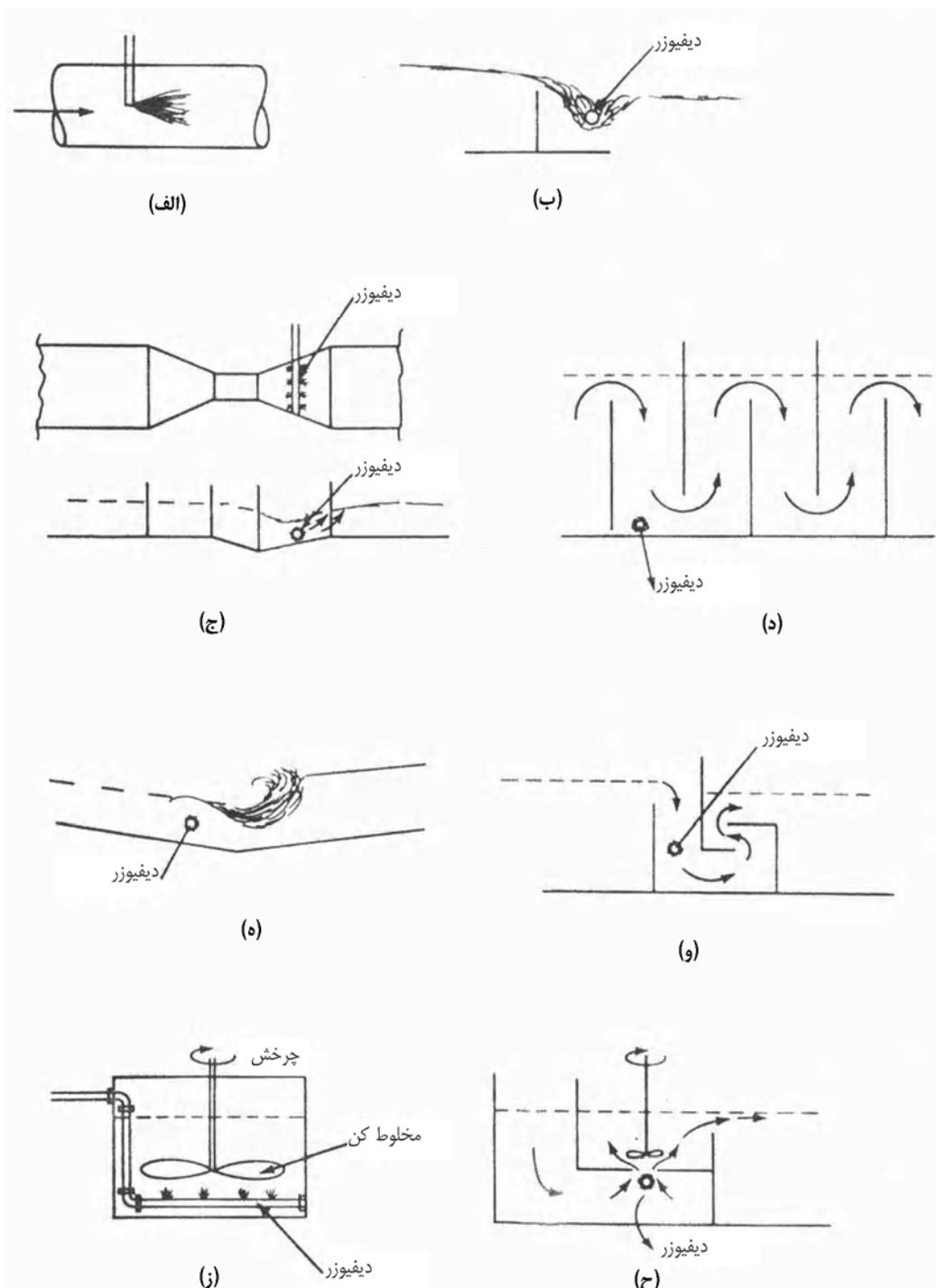
### ۱-۴-۱۲ طبقه بندی صافیها

صافیهای مورد استفاده در تصفیه فاضلاب را به انواع ثقلی و تحت فشار طبقه بندی می‌کنند (شکل (۱۲-۱۸)). همچنین صافیها بسته به تعداد بسترهای مورد استفاده، به سه دسته بسترهای تک لایه (تک محیطی)، بسترهای دو لایه (دو محیطی) و بسترهای مختلط (چند محیطی) طبقه بندی می‌شوند. جهت جریان در صافیها معمولاً از بالا به سمت پائین است ولی در بعضی موارد از صافیهای با جریان رو به بالا نیز استفاده می‌گردد.

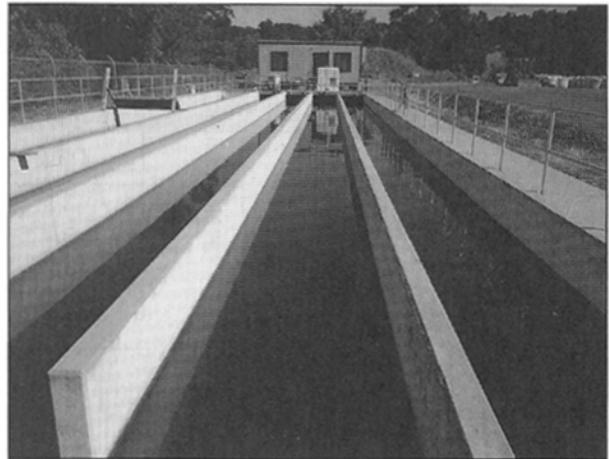
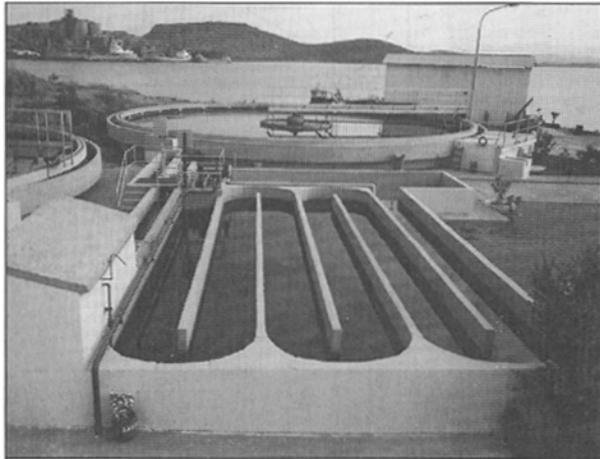
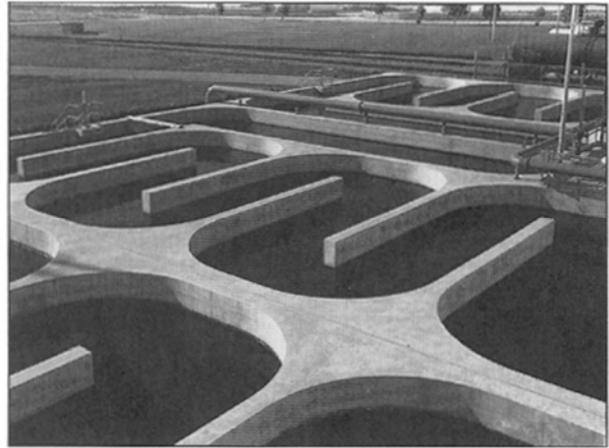


شکل ۱۲-۱۵- روشهای تزریق کلر به پساب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، (الف) انژکتور دوگانه برای لوله‌های کوچک، (ب) انژکتور منفرد برای لوله‌های کوچک، (ج) انژکتور چندگانه برای لوله‌های با اندازه متوسط، (د) سامانه انژکتور برای لوله‌های بزرگ، (ه) دیفیوزر چندگانه با نازل‌های آویزان در طول کانال باز (و) دیفیوزر منفرد قائم برای کانال‌های باز (برای کانال‌های عریض دیفیوزرهای چندگانه در عرض کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد) [۱۱]





شکل ۱۲-۱۶- انواع روشهای اختلاط کلر با پساب در تصفیه‌خانه فاضلاب، (الف) نازل در یک مجرای بسته و اختلاط به وسیله آسفنگی طبیعی و پخش، (ب) پایین دست سرریز و اختلاط به وسیله اغتشاش بوجود آمده در اثر ریزش، (ج) پارشال فلوم، (د) اختلاط در مخزن به وسیله صفحات مانع، (ه) پرش هیدرولیکی، (و) اختلاط به وسیله شکل خاص دیوارها، (ز) و (ح) اختلاط مکانیکی.

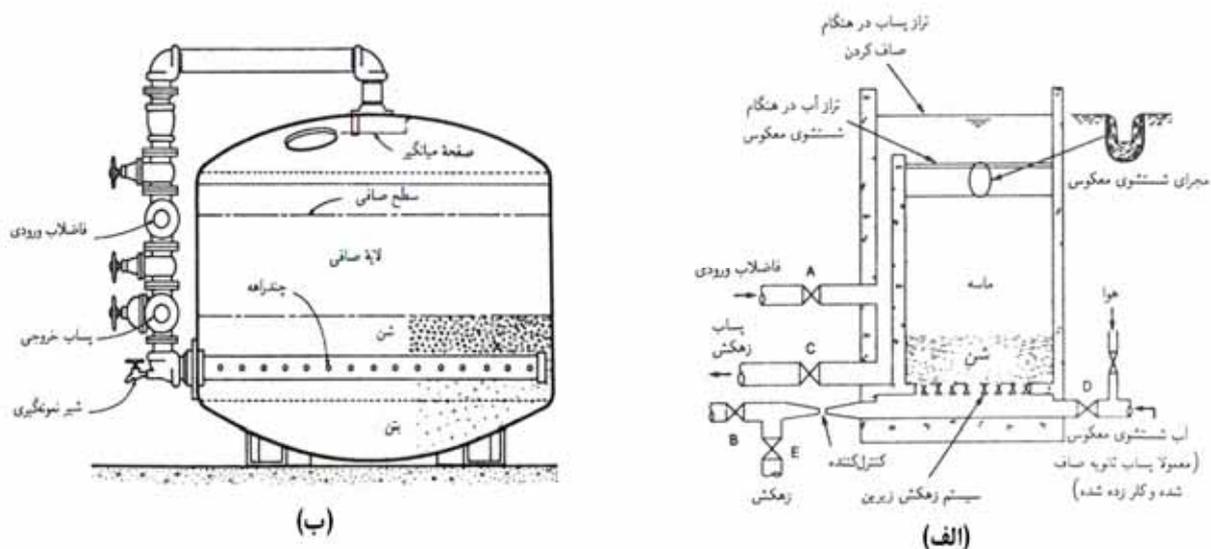


شکل ۱۲-۱۷- چند نمونه حوض تماس کلر در تصفیه‌خانه فاضلاب [۱۱]

### ۱۲-۴-۲ قسمتهای مختلف صافی

اجزای اصلی تشکیل دهنده صافی شامل بدنه اصلی، سامانه‌های لوله کشی، شیرها، مجاری آب شستشو و تلمبه‌ها همراه با دیگر تجهیزات لازم برای کنترل جریان آب به درون سامانه و یا خارج از آن می‌باشد. معمولاً جریان ورودی از قسمت بالا وارد صافی شده و از بستر صافی، لایه نگهدارنده شن و زهکش زیرین عبور می‌کند. زهکش زیرین جریان را به یک مجرای مرکزی هدایت کرده و در نهایت آب پس از خارج شدن از این مجرا وارد لوله خروجی می‌شود. پس از مدتی استفاده از صافی، منافذ آن با تجمع و انباشته شدن ذرات جامد جدا شده از پساب، گرفته شده و باید شستشو شود. در این مرحله شیرهای ورودی و خروجی صافی بسته شده و شیرهای آب شستشو باز می‌شوند. جریان آب پس از عبور از لایه نگهدارنده شنی وارد بستر صافی شده و آنرا شناور می‌سازد. با شناور شدن مصالح صافی ذرات جامد انباشته شده در بین ذرات، بالا آمده و به داخل ناودانهای جمع‌آوری پساب صافی وارد می‌شوند.





شکل ۱۲-۱۸- نمونه‌ای از انواع صافی، (الف) ثقلی، (ب) تحت فشار

### ۱۲-۴-۳ افت ارتفاع در بستر صافی

در سالهای اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی هیدرولیک صافیها صورت گرفته و روابط تجربی و نیمه تجربی متعددی برای تعیین افت ارتفاع در صافیهای ارائه شده است. یکی از روابط معروف در زمینه محاسبه افت ارتفاع در بستر صافیها رابطه کارمن-کوزونی<sup>۱</sup> است:

$$h_f = f \left( \frac{L_f}{\phi \cdot d_s} \right) \left( \frac{1-e}{e^3} \right) \left( \frac{V^2}{g} \right) \quad (4-12)$$

$f$  ضریب اصطکاک (بدون بعد) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f = 150 \left( \frac{1-e}{N_{Re}} \right) + 1/75 \quad (5-12)$$

در رابطه بالا عدد رینولدز  $N_{Re}$  برابر است با:

$$N_{Re} = \frac{\rho dV}{\mu} = \frac{dV}{\nu} \quad (6-12)$$

در این روابط  $L_f$  عمق بستر،  $e$  تخلخل بستر،  $d_s$  قطر متوسط دانه‌های بستر،  $V$  سرعت جریان در بستر (برابر با حاصل تقسیم بده عبوری بر مساحت سطح صافی است)،  $\mu$  لزجت،  $\rho$  جرم مخصوص آب و  $g$  شتاب ثقل و  $\phi$  ضریب شکل دانه‌ها (برای دانه‌های کروی ۱، ماسه‌های مدور ۰/۸۲، ماسه متوسط ۰/۷۵ و زغال خرد شده و ماسه شکسته ۰/۷۳) را نشان می‌دهند.



رابطه دیگر محاسبه افت ارتفاع در یک بستر تمیز متخلخل با دانه بندی نسبتاً یکنواخت، رابطه رز<sup>1</sup> می باشد که بیشتر مبتنی بر تجربه تدوین شده است:

$$h_f = \frac{1/067}{\phi} \cdot \frac{C_D}{g} \cdot L_f \cdot \frac{V^2}{e^4} \cdot \frac{1}{d_s} \quad (7-12)$$

در رابطه بالا  $C_D$  ضریب درگ را نشان می دهد و در شرایطی که رژیم جریان لایه ای باشد (عدد رینولدز کمتر از ۱)، مقدار  $C_D$  برای ذرات کروی از رابطه (۸-۱۲) و در شرایطی که رژیم جریان در وضعیت بینابینی (عدد رینولدز بین ۱ تا  $10^4$ ) باشد، مقدار  $C_D$  از رابطه (۹-۱۲) محاسبه می شود. مقدار  $C_D$  برای ذرات کروی در شرایطی که رژیم جریان آشفته (عدد رینولدز بیشتر از  $10^4$ ) باشد، برابر عدد ثابت ۰/۴ در نظر گرفته می شود.

$$C_D = \frac{24}{N_{Re}} \quad (8-12)$$

$$C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0/34 \quad (9-12)$$

برای بسترهای با اندازه دانه های متفاوت رابطه (۷-۱۲) عبارتست از:

$$h_1 = \frac{1/067}{\phi} \cdot \frac{L_f}{g} \cdot \frac{V}{e^4} \sum \frac{x}{d_s} \quad (10-12)$$

در این رابطه  $x$  درصد وزنی برای اندازه های ذرات  $d_s$  می باشد. برای بسترهای لایه لایه که تخلخل یکنواختی دارند، رابطه (۱۰-۱۲) عبارتست از:

$$h_1 = \frac{1/067}{\phi} \cdot \frac{L_f}{g} \cdot \frac{V^2}{e^4} \sum \frac{C_D x}{d_s} \quad (11-12)$$

در دو رابطه (۱۰-۱۲) و (۱۱-۱۲) قسمت مجموع از محاسباتی که بر روی نتایج آنالیز الک انجام می گیرد، بدست می آید و خارج از موضوع این استاندارد است.

اگرچه روابط ارائه شده در بالا محدود به بستر صافیهای تمیز می باشد، ولی می توان از آن برای محاسبه افت ارتفاع فشار در حالت صافی با درصدی گرفتگی نیز استفاده کرد. با گرفته شدن تدریجی منافذ بستر، تخلخل موثر  $e$  کاهش می یابد که به افزایش افت فشار  $h_1$  منتج می شود. میانگین تخلخل را می توان با فرض اینکه حجم ذرات حذف شده برابر با کاهش حجم منافذ است، تخمین زد. هر چند این روش ممکن است نتایج غیر واقعی به همراه داشته باشد. معمولاً کدورت خروجی صافیها

طی زمان بهره برداری تا زمانیکه افت ارتفاع آنها به حدود ۲ تا ۳ متر نرسیده، رضایت بخش است و برای جلوگیری از بالا رفتن کدورت آب خروجی و دسترسی به کیفیت بهتر، بایستی صافی دائماً شستشو شود. نحوه کاربرد این معادلات برای تعیین افت ارتفاع در طول بستر صافی، در مثال (پیوست) آمده است.

### ۱۲-۴-۴ افتهای متفرقه

در طراحی هیدرولیکی صافی علاوه بر در نظر گرفتن افت ارتفاع در طول بستر، افتهای ناشی از متعلقات صافی نیز باید لحاظ گردد. مهمترین این موارد عبارتند از:

- شبکه لوله کشی

این شبکه شامل سامانه لوله کشی جریان ورودی، جریان خروجی، کنترل کننده‌های جریان و شیرها می‌باشند. جهت محاسبه افت ارتفاع در این سامانه‌ها از رابطه افت داری و ایسباخ (رابطه (۴-۱))، رابطه هیزن-ویلیامز (رابطه (۴-۶)) و رابطه تعیین افت ارتفاع موضعی (رابطه (۴-۷)) استفاده می‌شود.

- بسترهای شنی

برای محاسبه افت ارتفاع در بسترهای شنی از روابط ارائه شده در قسمت (۱۲-۴-۳) استفاده می‌شود و طرز استفاده از آنها مشابه محاسبه افت ارتفاع در بستر تمیز است. بستر شنی معمولاً از چندین لایه که به ترتیب روی هم قرار گرفته اند، تشکیل می‌شود و افت ارتفاع کل برابر مجموع افتهای ارتفاع در تک تک لایه‌هاست.

- سامانه زهکش زیرین

سامانه زهکش زیرین معمولاً روزنه می‌باشد. ویژگیهای هیدرولیکی این سامانه‌ها به میزان زیادی متغیر است و توسط سازندگان ارائه می‌شود.

- کانالهای جمع‌آوری آب شستشو

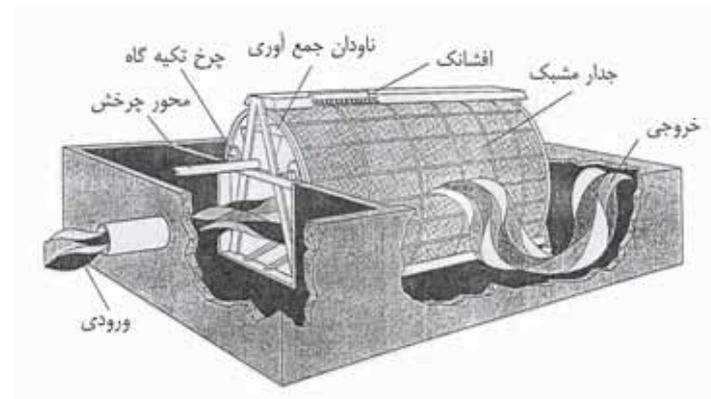
این کانالها پساب شستشو را به سمت زهکش هدایت می‌کنند و جریان در آنها از نوع متغیر مکانی است که در بخش (۴-۵-۸) مورد بررسی قرار گرفت. نحوه طراحی آنها همانند کانالهای جمع‌آوری خروجی در حوضهای ته‌نشینی است.

### ۱۲-۵ ریز صافیها

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از ریز صافی بیشتر به منظور حذف ذرات ریز باقیمانده در پساب خروجی استفاده می‌شود. ریز صافیها معمولاً بطور آماده<sup>۲</sup> توسط کارخانه‌ها و شرکتها عرضه می‌شوند. یک نوع از این سامانه‌ها متشکل از تعدادی سطح استوانه‌ای دوار است که از توریهای شبکه‌ای دانه ریز پوشیده شده است. پساب از محور مرکزی به استوانه وارد و به صورت شعاعی از محیط جانبی خارج می‌گردد. ذرات به جا مانده روی توری توسط جت آب از بالا به درون یک ناودان جمع‌آوری ریخته می‌شوند. جزئیات یک نمونه ریزصافی در شکل (۱۲-۱۹) نشان داده شده است. افت ارتفاع در ریز صافیها به قطر روزنه‌های آن و نحوه قرار گیری لایه‌های مختلف پوسته آن روی هم دارد و توسط سازنده تعیین می‌گردد.



1 - Micro strainer  
2 - Package



شکل ۱۲-۱۹- صافسازی پساب به کمک ریز صافی



omoorepeyman.ir

## ۱۳- انتخاب محل و جانمایی واحدها

انتخاب محل مناسب برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب و جانمایی واحدهای مختلف از جمله مواردی است که بیشتر با توجه به تجربه طراح و بر اساس موقعیت خاص تصفیه‌خانه و شرایط محل مورد نظر مورد نظر، انجام می‌شود. ولی، یک سری نکات کلی وجود دارند که لازم است مورد توجه قرار گیرد. البته مواردی که از نظر هیدرولیکی تأثیرگذار هستند، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

### ۱-۱۳ محل مناسب

معمولاً انتخاب محل تصفیه‌خانه فاضلاب بر مبنای محل خروج نهائی شبکه جمع‌آوری فاضلاب و شیب زمین انجام می‌شود. همچنین عواملی دیگر چون جهت وزش باد، نوع فرآیند تصفیه، محل دفع، شرایط محیطی، قیمت زمین و قوانین زیست محیطی در زمینه دفع پساب نیز بر این انتخاب تأثیر می‌گذارند که در ادامه این موارد بررسی می‌شود.

#### ۱-۱-۱۳ توپوگرافی<sup>۱</sup>

توپوگرافی محل یکی از متغیرهای مهم در انتخاب محل و جانمایی واحدهای مختلف یک تصفیه‌خانه می‌باشد، زیرا عاملی که بیش از همه، وضعیت واحدها را نسبت به یکدیگر مشخص می‌کند، پستی و بلندی محل است. در زمینهایی که در شیب ملایم (کمتر از ده درصد) قرار دارند، نیروی ثقلی ارتباط و حرکت جریان بین واحدها را بدون نیاز به انرژی اضافه انجام می‌دهد. همچنین میزان خاکبرداری و خاکریزی در چنین موقعیتهائی برای ایجاد شیب لازم به حداقل ممکن می‌رسد. به علاوه، یکی از مزیت‌های تصفیه‌خانه‌هایی که در زمینهای شیب دار ساخته می‌شوند، سهولت انتقال لجن به ماشینهای لجن کش بدون نیاز به عملیات تلمبه زنی می‌باشد.

#### ۱-۲-۱۳ کاربری و ارزش زمین

در انتخاب محل تصفیه‌خانه باید به کاربری فعلی یا آینده اراضی توجه شود. در بعضی موارد ممکن است کاربری فعلی یا پیش بینی شده اراضی مورد نظر، متناسب با ایجاد تصفیه‌خانه فاضلاب نباشد و نتوان این کاربری را تغییر داد. در این صورت باید محل دیگری را برای احداث تصفیه‌خانه در نظر گرفت. علاوه بر این، کاربری اراضی مجاور محلی که برای تصفیه‌خانه فاضلاب انتخاب شده، ممکن است از نوعی باشد که درانتخاب فرآیند اثر بگذارد. مثلاً اگر کاربری زمینهای مجاور تصفیه‌خانه، مسکونی باشد، در این صورت نمی‌توان برای تصفیه از برکه تثبیت استفاده کرد و اجباراً باید محل مناسب دیگری برای تصفیه‌خانه انتخاب و یا اینکه فرآیند تصفیه را عوض کرد. همچنین مسئله اقتصادی و ارزش زمین در بسیاری از موارد می‌تواند تعیین کننده باشد. این موضوع باید در توسعه تصفیه‌خانه نیز مدنظر قرار گیرد.



### ۱۳-۱-۳ جنس خاک و شرایط پی

برای احداث تصفیه‌خانه فاضلاب، انجام مطالعات زمین شناسی و مکانیک خاک لازم می‌باشد که در این مطالعات باید ظرفیت باربری خاک، سطح آب زیر زمینی و وضعیت نشست خاک و دیگر مطالعات لازم انجام گیرد.

### ۱۳-۱-۴ راههای دسترسی

راههای دسترسی در جانمایی تصفیه‌خانه مؤثر می‌باشد. راههای دسترسی جهت انتقال تجهیزات لازم به تصفیه‌خانه و مصالح مورد نیاز، لازم می‌باشد. بعلاوه، در مواقع تعمیرات و یا تعویض دستگاهها، بعضاً استفاده از لیفت تراک، جرثقیل و خودرو ضروری است. از اینرو راههای دسترسی به واحدهای مختلف باید در جانمایی دیده شود.

### ۱۳-۱-۵ منابع تولید کننده بو

فرآیندهایی که تولید کننده بو می‌باشند باید حتی الامکان بنحوی جانمایی شوند که تحت تاثیر بادهای غالب آزار و اذیتی برای ساکنان اطراف و کارکنان تصفیه‌خانه ایجاد نکنند. در نظر گرفتن فضاهای لازم برای درختکاری و استفاده از درختان مناسب در ردیفهای متعدد در جذب و جلوگیری از انتقال بو می‌تواند مؤثر باشد.

### ۱۳-۱-۶ منابع تولید کننده صدا

کنترل منابع تولید کننده صدا باید به نحوی انجام شود که حداقل مزاحمت را برای کارکنان و ساکنین اطراف تصفیه‌خانه بوجود آورد. برای جلوگیری و اطمینان از کنترل آلودگی صوتی می‌توان از موانع انتشار صوت در این واحدها استفاده کرد. دمنده‌های هوا از جمله دستگاههای تولید کننده صدا هستند که معمولاً آنها را در فضای بسته قرار دهند.

### ۱۳-۱-۷ آسانی تملیک و خرید زمین

معمولاً زمینهای اطراف شهر دارای مالکین مشخص بوده و بدلیل مناسب بودن برای توسعه شهر و یا کارگاههای صنعتی از قیمت بالایی برخوردار هستند. قیمت زمین متناسب با دوری از مرز شهر کاهش می‌یابد و خرید آنها نیز ساده تر خواهد بود. بعلاوه معضل بو نیز با دوری از شهر کاهش یابد. در مقابل این مزایا باید افزایش مخارج لوله گذاری از خروجی شهر یا تصفیه نیز مورد توجه قرار گیرد.

### ۱۳-۱-۸ محدودیتهای خاص

محدودیتهای خاصی که توسط سازمانهای مختلف نظیر سازمانهای حفاظت از محیط زیست و یا وزارت نیرو وضع می‌شود نیز باید در نظر گرفته شود. در بعضی از روشهای تصفیه نظیر استخرهای تثبیت باید حداقل فاصله تصفیه‌خانه از مناطق مسکونی در نظر گرفته شود. همچنین فواصل حداقلی بین تصفیه‌خانه فاضلاب و منابع تامین آب شرب باید رعایت گردد.



### ۱۳-۱-۹ دفع پساب تصفیه شده

در خروجی تصفیه‌خانه باید امکان تخلیه سریع پساب تصفیه شده به منابع پذیرنده نظیر رودخانه‌های طبیعی، دریاچه‌ها و آبهای زیرزمینی، فراهم گردد. همچنین در صورتی که استفاده مجدد از پساب مورد نظر باشد باید این امر نیز در انتخاب محل در نظر گرفته شود.

### ۱۳-۱-۱۰ کانال کنارگذر

از آنجاکه به هر علت ممکن است فاضلاب ورودی به‌طور کامل و یا بخشی از آن بدون هیچگونه عمل فرآیند و تصفیه از مدار خارج گردد، لذا دفع فاضلاب اضافه از طریق کانال کنارگذر میسر می‌شود که باید در انتخاب محل تصفیه مدنظر قرار گیرد.

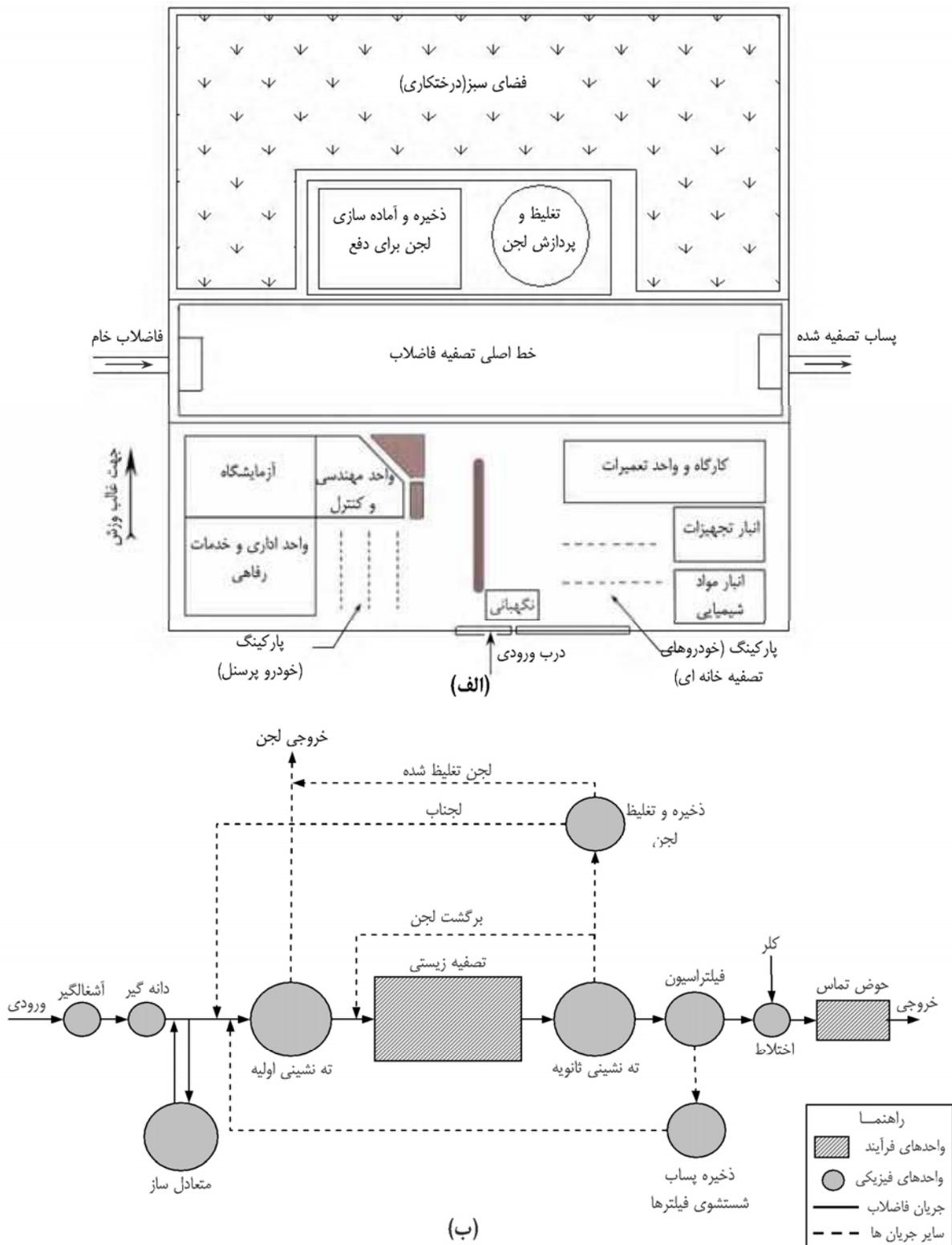
### ۱۳-۲ جانمایی

جانمایی، تعیین موقعیت واحدهای تصفیه‌خانه نسبت به یکدیگر در محل انتخابی می‌باشد. در این زمینه لازم است موقعیت واحدهای تصفیه‌خانه، مجاری ارتباط دهنده، جاده‌ها، ساختمان اداری و تاسیسات دیگر به درستی تعیین شوند. قسمتهایی که معمولاً برای هر تصفیه‌خانه فاضلاب در نظر گرفته می‌شود، عبارتند از :

- خط اصلی تصفیه فاضلاب شامل واحدهای تصفیه
- واحدهای جانبی (از جمله برق اضطراری و تولید بخار)
- واحد مهندسی و کنترل و آزمایشگاه
- واحد اداری و خدمات رفاهی
- کارگاه تعمیرات و انبار
- جاده‌های دسترسی
- محل توقف خودروها
- نگهبانی

در شکل (۱۳-۱) قسمتهای اصلی یک تصفیه‌خانه به همراه وضعیت واحدهای فوق نسبت به هم نشان داده شده است. در جانمایی واحدهای تصفیه‌خانه باید ضمن رعایت نیازهای اجرایی و بهره برداری آسان از نظر تناسب فاصله‌ها، کاهش هزینه‌های اجرایی (از جمله حذف لوله کشیهای اضافی، استفاده از دیوارهای مشترک)، از نظر منظره و زیبایی ظاهری نیز جذابیت داشته باشد. در شکل (۱۳-۲) وضعیت جانمایی واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب ناحیه‌هارفورد<sup>۱</sup> برای نمونه نشان داده شده است.





شکل ۱۳-۱- نمونه‌ای از جانمایی واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب، (الف) تصویر افقی قسمتهای معمول برای یک تصفیه‌خانه فاضلاب، (ب) خط اصلی تصفیه فاضلاب





شکل ۱۳-۲- جانمایی واحدهای مختلف تصفیه خانه فاضلاب شهر هارفورد شامل واحد زیستی حذف مواد مغذی (BNR) با ظرفیت ۷۶۰۰۰ مترمکعب بر روز [۱۳]

### ۱۳-۳ طراحیهای خاص

علاوه بر مواردی که ذکر شد، شرایط و موقعیت خاص هر پروژه تعیین کننده محل انتخابی برای تصفیه خانه و جانمایی واحدها خواهد بود که با توجه به تجربه و تواناییهای طراح، انتخاب نهایی انجام می گیرد. بطور مثال در صورت وجود شیب کافی می توان به جای ساخت تصفیه خانه در نزدیک شهر، با احداث یک خط انتقال فاضلاب با شیبی کمتر از شیب زمین، فاضلاب را در محلی دورتر از شهر، به سطح زمین آورد. به این ترتیب علاوه بر کمتر شدن هزینه خرید زمین، ایستگاه تلمبه زنی ابتدای تصفیه خانه فاضلاب را حذف نمود. حذف ایستگاه تلمبه زنی اولیه که دریافت کننده نوسانات بده فاضلاب ورودی است هم به لحاظ طراحی و هزینه های سرمایه گذاری اولیه و هم به لحاظ عملیات بهره برداری و نگهداری از اهمیت ویژه ای برخوردار است.



سهولت اجرا و بهره برداری از نظر تناسب فاصله‌ها، کاهش هزینه‌های اجرایی (از جمله حذف لوله کشیهای اضافی، استفاده از دیوارهای مشترک) از نظر منظره و زیبایی ظاهری نیز جذابیت داشته باشد. در طراحی تصفیه‌خانه رعایت نکات ایمنی از قبیل پیش بینی سامانه آتش نشانی، کمکهای اولیه برای حوادث غیرمترقبه و مسمومیت‌های ناشی از نشت گازهای سمی ضروری است.

### ۴-۱۳ طراحی مرحله‌ای یا مدولار<sup>۱</sup>

استفاده از تصفیه‌خانه‌های مرحله‌ای و یا مدولار علاوه بر این که موجب کاهش هزینه‌های اجرایی و بهره برداری می‌شود، کاهش حجم نیروی کاری، کاهش تجهیزات مورد نیاز و جلوگیری از استهلاک بی مورد قسمتی از تجهیزات را به همراه دارد. همچنین تقسیم تصفیه‌خانه به چند مدول و ساخت مرحله‌ای باعث بازده بهتر تصفیه در ابتدای بهره برداری از تصفیه‌خانه می‌شود. استفاده از یک مدول در مرحله اول راه اندازی و افزایش تدریجی ظرفیت تصفیه‌خانه بر حسب نیاز و همزمان با افزایش بده فاضلاب ورودی از فوائد استفاده از تصفیه‌خانه‌های مدولار می‌باشد. با توجه به اینکه در اغلب موارد بده ورودی به تصفیه‌خانه در ابتدای دوران بهره برداری به دلتالی نظیر ساخت تدریجی شبکه جمع‌آوری، اتصال تدریجی واحدهای مسکونی به شبکه جمع‌آوری و یا برآورد بیش اندازه، کمتر از مقدار بده طراحی تصفیه‌خانه است، طراحی مدولار تصفیه‌خانه می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب مطرح شود. در روش مدولار دوره طرح تصفیه‌خانه که معمولاً ۳۰ سال در نظر گرفته می‌شود را به چند مرحله، مثلاً سه مرحله ۱۰ ساله، تقسیم و در هر مرحله حسب نیاز، بخشی از تصفیه‌خانه ساخته و بهره برداری می‌شود. همچنین اگر فرآیند انتخابی برای تصفیه در آن شرایط مناسب نباشد می‌توان در مراحل ساخت بعدی، تا حدودی آن را تصحیح کرد. ساخت مدولار تصفیه‌خانه‌های فاضلاب معمولاً به روشهای ذیل انجام می‌گیرد:

#### ۱-۴-۱۳ تقسیم تصفیه‌خانه به چند مدول مشابه

در این روش کل ظرفیت تصفیه‌خانه را به چند مدول مشابه تقسیم و هر مدول را در یکی از مراحل و گامهای اجرایی احداث می‌کنند. در این حالت تمام مدولها از نظر فرآیند تصفیه، واحدهای تصفیه، ابعاد و تجهیزات می‌توانند کاملاً مشابه یکدیگر و هر مدول عملاً یک تصفیه‌خانه کامل باشد. البته در این میان بعضی واحدها نظیر واحد اندازه‌گیری برای ظرفیت کل ساخته می‌شوند.

#### ۲-۴-۱۳ تقسیم فرآیند تصفیه به چند مرحله

در این روش فرآیند تصفیه را بگونه‌ای طراحی می‌کنند که در مراحل مختلف ظرفیت آن افزایش یابد. در مرحله اول تمام فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه را به صورت مقدماتی تصفیه و پس از گذردن به آبهای پذیرنده یا محلهای دیگر دفع می‌کنند (البته ممکن است در این شرایط به استانداردهای تخلیه پساب نرسیم). مرحله دوم شامل اضافه شدن واحدهای تصفیه زیستی



به تاسیسات قبلی است و در آن فاضلاب خروجی از واحدهای تصفیه فیزیکی مورد تصفیه زیستی قرار می‌گیرد. در نهایت فاضلاب تصفیه شده پس از کلرزی به آبهای پذیرنده یا محل‌های دیگر دفع می‌شود.

در این روش طراحی و ساخت واحدهای تصفیه‌خانه بر مبنای بده طرح انجام می‌شود ولی در مرحله اول بهره برداری تجهیزات الکترومکانیکی که بیشتر برای هوادهی و برگشت لجن در تصفیه زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نصب نمی‌شود و تصفیه فاضلاب به صورت فیزیکی انجام می‌شود. در مرحله دوم بهره برداری با نصب تجهیزات الکترومکانیکی امکان تصفیه زیستی و افزایش ظرفیت فراهم می‌گردد. بدیهی است در مرحله اول بهره برداری با توجه به اینکه بده ورودی به تصفیه‌خانه کمتر از بده طرح است زمان ماند فاضلاب در واحدها بیشتر از حد معمول برای تصفیه مقدماتی بوده و بازده تصفیه اندکی بیشتر از تصفیه مقدماتی خواهد بود، ولی لازم است در طراحی هیدرولیکی تمهیداتی در نظر گرفته شود. در ادامه چند حالت متداول از این روش ارائه می‌گردد:

### الف- لجن فعال

در این حالت در مرحله اول از حوضهای ته‌نشینی ثانویه و اولیه به عنوان حوض ته‌نشینی ساده استفاده می‌شود و به این ترتیب با افزایش زمان ته‌نشینی، بازده ته‌نشینی بیشتر از حد معمول برای تصفیه فیزیکی می‌شود. در مرحله دوم، پس از افزایش بده، با نصب تجهیزات هوادهی و برگشت لجن، امکان تصفیه زیستی فراهم می‌گردد.

### ب- برکه تثبیت

در این حالت در مرحله اول از استخرهای ساخته شده به عنوان برکه‌های تثبیت ساده بهره برداری می‌شود و در مرحله دوم با افزایش بده ورودی به تصفیه‌خانه حسب مورد ممکن است از هوادهی، اختلاط ناقص و یا اختلاط کامل فاضلاب استفاده شود.

### ج- تبدیل هوادهی ممتد به لجن فعال

در این روش در ابتدای بهره برداری از تصفیه‌خانه تنها از هوادهی ممتد استفاده می‌شود و در سالهای بعد با افزایش بده ورودی، حوض ته‌نشینی اولیه قبل از این سامانه اضافه می‌شود. به این ترتیب سامانه هوادهی ممتد به سامانه لجن فعال متعارف تبدیل می‌شود و افزایش ظرفیت تصفیه‌خانه را به همراه دارد. لازم به ذکر است در این شرایط لازم است تاسیسات هضم لجن مازاد نیز راه اندازی شود.

در طراحی مدولار لازم است برخی قسمت‌ها نظیر سازه ورودی را بطور کامل در مرحله اول احداث کرد. همچنین در طراحی و اجرای سایر قسمت‌ها باید امکان توسعه بعدی در نظر گرفته شود. مثلاً محل مناسب برای ساخت مدولهای بعدی در نظر گرفته شده و در سازه‌هایی نظیر جعبه‌های تقسیم، محل انشعابات مربوط به قسمت‌های مورد نظر در آینده، ساخته شوند.

### ۱۳-۵ آبراهه ارتباط دهنده

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب سامانه ارتباطی بین واحدها شامل آبراهه اتصال دهنده، جعبه‌های جمع‌آوری، جعبه‌های تقسیم، شیرها، دریچه‌ها و سایر متعلقاتی است که بین واحدها قرار می‌گیرند. قبل از ترسیم نیمرخ هیدرولیکی لازم است افت ارتفاع در



هر یک از این اتصالات محاسبه گردد. فاصله اندک بین واحدهای همجوار در جانمایی واحدها بصورت مجتمع می‌تواند طول و در نتیجه هزینه سامانه ارتباطی بین واحدها را کاهش دهد. بنابراین قبل از طراحی باید جانمایی واحدها به نحوی تعیین شود که در مراحل بعد، طراحی مناسب مجاری ارتباطی بین واحدها امکان پذیر باشد. کانالها و لوله‌های ارتباط دهنده می‌تواند در زیر یا بالای زمین قرار داشته باشد و در طرحهای ارائه شده توسط طراح لازم است همه این موارد به طور واضح به همراه واحدهای متصل به آن مشخص شوند. همچنین لازم است با در نظر گرفتن شیر و دریچه در ابتدا و انتهای این مجاری امکان خارج کردن آنها از مدار و عبور جریان از خطوط کنارگذر فراهم گردد. در بسیاری از تصفیه‌خانه‌ها از تونلهای زیرزمینی، که گالریهای دسترسی نیز نامیده می‌شوند، برای دسترسی به شیرها و دریچه‌ها و کنترل بهینه آنها استفاده می‌شود.



## ۱۴- نیمرخ هیدرولیکی

بررسی هیدرولیک جریان در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عمدتاً بخاطر اینست که بتوان تغییرات سطح آب در مسیر جریان در واحدهای مختلف را بدست آورد و مشخص نمود در هر نقطه از تصفیه‌خانه سطح آب نسبت به مکانهای قبل از خود چقدر پائین تر قرار گرفته و یا نسبت به واحدهای پایین دست چقدر بالاتر می‌باشد. معمولاً افت ارتفاع کل در مسیر جریان محدود است و در صورتی که محاسبات افت ارتفاع صحیح انجام نشود باعث هزینه‌های اضافی زیادی از جمله خاکبرداری، مدفون نمودن بعضی از حوضها، تلمبه زنی و ناهنجاری سامانه‌های دسترسی می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه افت ارتفاع در هر واحد به شرایط مختلفی بستگی دارد، در شرایطی که با محدودیت شیب در محل تصفیه‌خانه مواجه باشیم باید با انتخاب مقادیر مناسب برای متغیرها، افتها را تا حد امکان کاهش داد. در این فصل ضمن بیان نکات مهم، بر مبنای اطلاعات داده شده در فصول قبل، نیمرخ هیدرولیکی برای یک تصفیه‌خانه رسم خواهد شد.

### ۱۴-۱ نکات مهم در رسم نیمرخ هیدرولیکی

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارتفاع کل موجود بر اساس تفاوت سطح آب در ورود و خروج تعیین می‌شود. اگر افت ارتفاع لازم از میزان افت ارتفاع در مسیر تصفیه‌خانه کمتر باشد، در این حالت وقوع جریان به صورت ثقلی در طول تصفیه‌خانه امکان پذیر نمی‌باشد و برای جبران کمبود ارتفاع باید از تلمبه زنی استفاده نمود. در تعیین نیمرخ هیدرولیکی باید به مسائلی توجه کرد که اهم آنها به شرح زیر است:

- نیمرخ هیدرولیکی تصفیه‌خانه باید برای حالت بده حداکثر لحظه‌ای رسم و برای بده متوسط و بده حداقل کنترل شود.
- نیمرخ هیدرولیکی معمولاً برای مسیرهای مهم یا اصلی در تصفیه‌خانه در نظر گرفته می‌شود.
- افت ارتفاع کل در هر واحد تصفیه‌خانه شامل بخشهای زیر می‌باشد:
  - افت ارتفاع در سازه ورودی
  - افت ارتفاع در سازه خروجی
  - افت ارتفاع در طول واحد تصفیه
- بیشترین افت ارتفاع در شرایط بده حداکثر لحظه‌ای تصفیه‌خانه در هنگامی که واحدهای بزرگ تصفیه‌خانه خارج از سرویس باشند، رخ می‌دهد. دامنه متعارف افت ارتفاع کل در واحدهای اصلی تصفیه‌خانه فاضلاب در جدول (۱-۱۴) نشان داده شده است.
- افت ارتفاع در لوله‌ها، اتصالات و کانالهای انتقال دهنده شامل قسمتهای زیر می‌باشد:

- افت ارتفاع ناشی از ورود فاضلاب
- افت ارتفاع ناشی از خروج فاضلاب
- افت ارتفاع ناشی از بازشدگیها و جمع شدگیها
- افت ارتفاع ناشی از اصطکاک
- افت ارتفاع ناشی از خمها، شیرها، دریچه‌ها، جعبه‌های تقسیم و جمع‌آوری



- ارتفاع مورد نیاز بر روی سرریزها و سایر سازه‌های هیدرولیکی
  - ارتفاع ریزش آزاد مجاز
  - ارتفاع مورد نیاز در صورت افزایش ظرفیت تصفیه‌خانه
- سرعت در لوله و مجاری انتقال باید به صورتی باشد که ذرات جامد به صورت معلق باقی بمانند و بر همین اصل حداقل سرعت در حین عبور جریان حداکثر لحظه‌ای باید برابر  $0/6$  متر بر ثانیه باشد. در حین عبور حداقل بده به دلیل انتقال جامدات آلی، سرعت باید حداقل  $0/3$  متر بر ثانیه باشد.
- در طراحی کانالهای تصفیه‌خانه فاضلاب، مبنای طراحی باید بر اساس بده حداکثر لحظه‌ای و شرایط جریان یکنواخت انجام می‌گیرد. مگر در حالتی که جریان در بیشتر طول مسیر متغیر باشد.

### جدول ۱۴-۱- دامنه تغییرات متعارف افت ارتفاع در واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب شهری

افت ارتفاع (متر)	واحد
۰/۰۲-۰/۳	آشغالگیر
۰/۵-۱/۵	دانه‌گیر با سرعت کنترل شده
۰/۵-۱/۲	دانه‌گیر با هوادهی
۰/۵-۱	حوض ته‌نشینی اولیه
۰/۳-۰/۸	حوض هوادهی
۳-۶	صافی چکنده با نرخ کم
۲-۵	صافی چکنده با نرخ بالا (تک مرحله ای)
۰/۵-۱	ته‌نشینی ثانویه
۰/۲-۱	تاسیسات گندزدایی فاضلاب
۰/۲-۰/۷	واحد بده سنج

### ۲-۱۴ تعیین نیمرخ هیدرولیکی

همانطور که در مقدمه ذکر شد نیمرخ هیدرولیکی نمایش تصویری تغییرات سطح آب در طول تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد. برای ترسیم نیمرخ هیدرولیکی به یک نقطه کنترل که تراز سطح آب در آن معین باشد، نیاز است. این نقطه می‌تواند در ابتدا، انتها و یا در برخی شرایط خاص در وسط تصفیه‌خانه یا یک نقطه یا تراز سطح آب اختیاری باشد. با مشخص شدن این نقطه می‌توان با



حرکت به سمت پایین دست یا بالادست و محاسبه افت ارتفاع در هر قسمت، تراز سطح آب در هر نقطه را محاسبه و نیمرخ سطح آب را رسم نمود.

افت ارتفاع کل در طول تصفیه‌خانه فاضلاب برابر تفاوت بین سطح فاضلاب در ابتدای واحد آشغالگیر و تراز حداقل در خروجی است. اگر ارتفاع کل موجود کمتر از افت ارتفاع کل محاسبه شده باشد، امکان برقراری جریان ثقیلی وجود نخواهد داشت و در این شرایط برای جبران کمبود ارتفاع به ایستگاه تلمبه زنی نیاز است. پس از اینکه سطح فاضلاب توسط تلمبه بالا آمد، امکان برقراری جریان ثقیلی در طول تصفیه‌خانه فراهم می‌گردد. در هر حال قرارگیری ایستگاه تلمبه زنی در بین واحدها (وسط تصفیه‌خانه) توصیه نمی‌شود و همواره سعی در بکارگیری آن در ابتدای تصفیه‌خانه قبل از ورودی است. یادآوری می‌شود که در پیوست این نشریه یک مثال کامل طراحی برای تعیین نیمرخ هیدرولیکی یک تصفیه‌خانه فاضلاب با واحدهای متعارف ارائه شده است.





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

# پیوست الف



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)



🌐 omoorepeyman.ir

در این پیوست یک مثال جامع جهت تعیین عمق فاضلاب در نقاط مختلف تصفیه‌خانه، همراه با محاسبه افت‌های بوجود آمده در اثر جریان و نهایتاً رسم نیمرخ هیدرولیکی جریان آمده است. مثال ارائه شده طوری انتخاب شده تا علاوه بر شباهت به شرایط واقعی موجود در کشور، به عمده قسمت‌های متداول در تصفیه‌خانه فاضلاب نیز پرداخته شود.

هرچند سعی بر آن بوده تا کلیه واحدها و قسمت‌های اصلی تصفیه‌خانه فاضلاب در این مثال مورد توجه قرار گیرد ولی ممکن است واحدها و قسمت‌های دیگری علاوه بر آنچه در اینجا مطرح شده، در یک تصفیه‌خانه فاضلاب وجود داشته باشد ولی بلحاظ مسائل و محاسبات هیدرولیکی جدید نخواهد بود و با بررسی محاسبات ارائه شده در این مثال، آن مورد قابل حل و محاسبه می‌باشند.

پس از ارائه داده‌های مورد نیاز طراحی (صورت مسئله) و برخی فرضیات عمومی در تصفیه‌خانه، به طراحی هیدرولیکی تک تک واحدها به ترتیب آورده شده در نشریه اصلی (به غیر از تلمبه‌ها) پرداخته شده است. همچنین لازم به ذکر است که در هر قسمت، توضیحات و جزئیات مربوط به آن واحد ذکر گردیده است. در صورتیکه برای واحد بخصوصی نیاز به اطلاعات طراحی باشد با عنوان فرضیات (فرآیندی) و یا راهنمایی طراحی (هیدرولیکی) در مثال آمده است.

## مثال:

شرایط زیر برای بده در طراحی یک تصفیه‌خانه فاضلاب مورد نظر است:

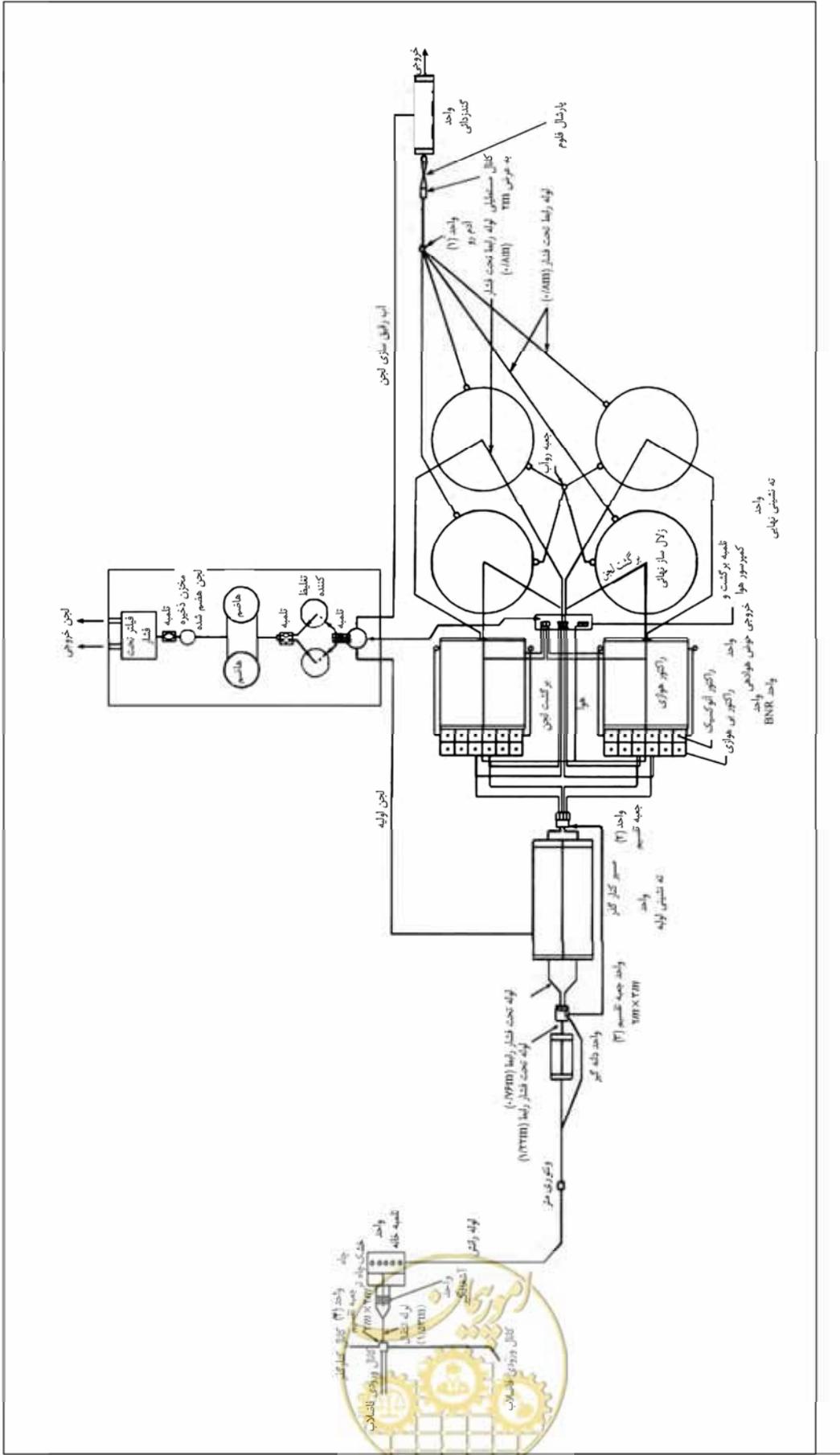
بده متوسط روزانه: ۰/۴۴ مترمکعب بر ثانیه

بده حداکثر لحظه‌ای طراحی خشک: ۰/۹۷۲ مترمکعب بر ثانیه

بده حداکثر لحظه‌ای طراحی تر: ۱/۳۲۱ مترمکعب بر ثانیه

ابتدا افت ارتفاع و رقوم سطح فاضلاب در هر واحد تصفیه‌خانه تعیین و سپس نیمرخ هیدرولیکی جریان در طول تصفیه‌خانه رسم شود. از بده حداکثر لحظه‌ای خشک برای طراحی واحد حذف زیستی (بخش الف-۵) و برای سایر واحدها از دو بده دیگر استفاده شود.





شکل الف - ۱ - نمایش واحدها و متعلقات موجود در تصفیه خانه فاضلاب

## الف ۱- آشغالگیر (بخش ۹)

### فرضیات

- دو واحد آشغالگیر مشابه بطوری که هر یک ظرفیت عبور جریان با بده حداکثر را داشته و همچنین هر یک مجهز به تجهیزات تمیز کننده مکانیکی با زاویه نصب ۷۵ درجه باشند.
- فراهم نمودن این امکان که همیشه یکی از کانالهای آشغالگیر در حال کار و دیگری به صورت ذخیره می باشد بدون اینکه در روال عادی کار تصفیه خانه اختلالی بوجود آید.
- فاصله بین میله ها ۲/۵ سانتی متر در نظر گرفته شود.
- قطر لوله ورودی جریان به آشغالگیر برابر ۱/۵ متر در نظر گرفته شود.
- کف کانال آشغالگیر افقی است.

### راهنمایی

مقادیر تقریبی زیر را برای سرعت در بین میله های آشغالگیر در نظر بگیرید:

- سرعت در بین میله ها در حالت بده حداکثر در شرایط تر: ۰/۹ متر بر ثانیه
- سرعت در بین میله ها در حالت بده حداکثر در شرایط خشک: ۰/۶ متر بر ثانیه
- سرعت در بین میله ها در حالت بده متوسط در شرایط خشک: ۰/۴ متر بر ثانیه

کانال آشغالگیر برای حالت جریان حداکثر لحظه ای در شرایط تر طراحی می گردد و مقادیر سرعت بین میله ها، سرعت جریان در کانال و عمق جریان برای حالت های جریان متوسط و جریان حداقل کنترل می گردد. رقوم سطح فاضلاب در کانال آشغالگیر نهایتاً با هیدرولیک سازه خروجی که سرریز در انتهای کانال آشغالگیر می باشد، تعیین می شود. لذا با تعیین عمقها بر مبنای هیدرولیک در بالادست می توان رقوم سرریز در پایین دست را طوری انتخاب نمود که با عمقهای تعیین شده یکی باشد.

### حل

#### گام ۱: عمق جریان در لوله ورودی

با توجه به اینکه لازم است سرعت جریان در مجاری انتقال فاضلاب در محدوده بین ۰/۶ تا ۱ متر بر ثانیه قرار گیرد، برای بده حداکثر لحظه ای ۱/۳۲۱ مترمکعب بر ثانیه با انتخاب سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه و استفاده از نمودار تعیین مشخصات جریان در مجاری دایره ای نیمه پر (نشریه ۱۰۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تحت عنوان «هیدرولیک لوله ها و مجاری») خواهیم داشت:

$$\text{مترمربع } a = \frac{1/321}{0/9} = 1/468 = \text{مساحت سطح مقطع جریان در لوله ورودی}$$



با در نظر گیری قطر ۱/۵ متر برای لوله ورودی داریم:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 1/5^2}{4} = 1/767 \text{ مترمربع}$$

$$\Rightarrow \frac{a}{A} = \frac{1/468}{1/767} = 0/83$$

عمق جریان در لوله ورودی به کانال آشغالگیر: متر  $d = 1/18 \Rightarrow \frac{d}{D} = \frac{d}{1/5} = 0/787 \Rightarrow$  نمودار مجاری دایره‌ای نیمه پر

## گام ۲: طراحی کانال آشغالگیر

### الف) محاسبه عرض کانال

فرض می‌کنیم که سطح جریان در کانال آشغالگیر مشابه با سطح جریان در کانال ورودی جریان برابر ۱/۱۸ متر می‌باشد (شکل الف-۲-ب). بنابراین اگر فاصله باز بین میله‌ها ۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود، آنگاه:

$$\text{مترمربع } 1/47 = \frac{\text{بده حداکثر لحظه‌ای}}{\text{سرعت بین میله‌ها}} = \frac{1/321 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0/9 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\text{متر } 1/25 = \frac{\text{مساحت}}{\text{عمق جریان}} = \frac{1/47 \text{ m}^2}{1/18 \text{ m}}$$

$$\text{تعداد فضای باز بین میله‌های آشغالگیر} = \frac{1/25}{0/025} = 50$$

$$49 = (\text{تعداد فضای باز}) = \text{تعداد کل میله‌ها}$$

اگر ضخامت میله‌ها ۱۰ میلی‌متر انتخاب گردد، خواهیم داشت:

$$\text{متر } 1/74 = \frac{\text{عرض کانال آشغالگیر}}{\text{mm}} = 1/25 \text{ m} + 10 \text{ mm} \times 49 \times 10^{-3}$$

در شکل (الف-۲) تصویر افقی، مقطع طولی و مقطع عرضی کانال آشغالگیر به همراه سطح مبنا، سطح آب در حالت جریان حداکثر لحظه‌ای تر، جانمایی میله‌ها و فواصل بین آنها نشان داده شده است.

### ب) محاسبه ضریب تاثیر

ضریب تاثیر به صورت نسبت بین مجموع عرض فضای باز بین میله‌ها و عرض کانال تعریف می‌شود. بسیاری از سازندگان تجهیزات آشغالگیر این ضریب را محاسبه و به همراه محصولات خود عرضه می‌کنند. این ضریب را می‌توان برای محاسبه عرض کانال مورد استفاده قرار داد. در این مثال مقدار آن بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ضریب تاثیر} = \frac{\text{عرض فضای باز}}{\text{عرض کانال}} = \frac{50 \times 25 \text{ mm}}{1740 \text{ mm}} = 0/72$$

### گام ۳: محاسبه عمق جریان و افت ارتفاع

#### الف) محاسبه عمق واقعی جریان و سرعت در بین میله‌های آشغالگیر

در شرایط جریان حداکثر لحظه‌ای عمق واقعی جریان در بالادست میله‌های کانال آشغالگیر را با استفاده از رابطه انرژی محاسبه می‌نمائیم. رابطه انرژی با در نظرگیری دو مقطع ۱ (ورودی کانال) و ۲ در شکل (الف-۲-ب) بصورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$Z_1 + d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (\text{الف-۱})$$

که  $Z$  ارتفاع کف از سطح مبنا (متر)،  $V$  سرعت (متر بر ثانیه)،  $h_L$  افت ارتفاع کل (متر) و  $d$  عمق جریان در مقاطع ۱ و ۲ را نشان می‌دهند. در این مثال  $h_L$  افت ارتفاع برای تبدیلهای در کانالهای باز، بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h_L = K_e \left( \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (\text{الف-۲})$$

در این رابطه  $K_e$  ضریب انبساط<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد و مقدار آن به ساختار و شکل هندسی کانال دسترسی و چگونگی اتصال دو کانال به هم بستگی دارد.

رابطه انرژی (رابطه الف-۱) با در نظر گیری شرایط زیر بین دو مقطع ۱ و ۲ نوشته می‌شود:

کف کانال آشغالگیر افقی (بدون شیب) در نظر گرفته می‌شود.

سطح مبنا را روی کف کانال دانه‌گیر در نظر می‌گیریم یعنی  $Z_2 = 0$

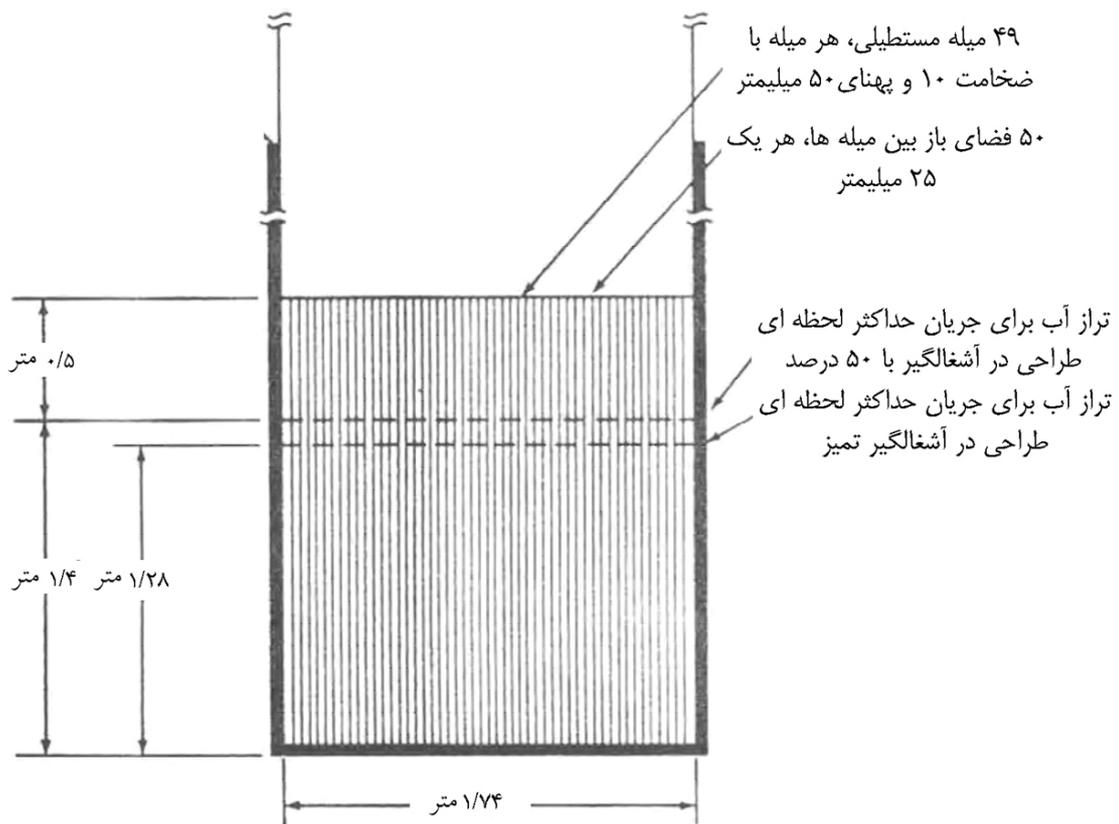
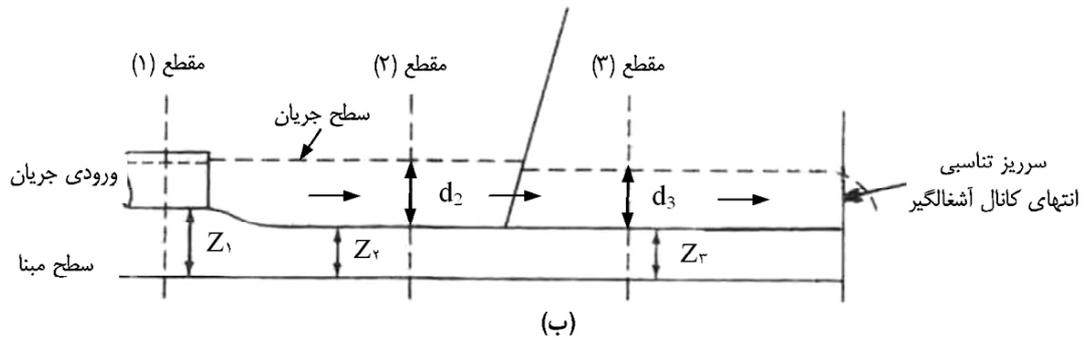
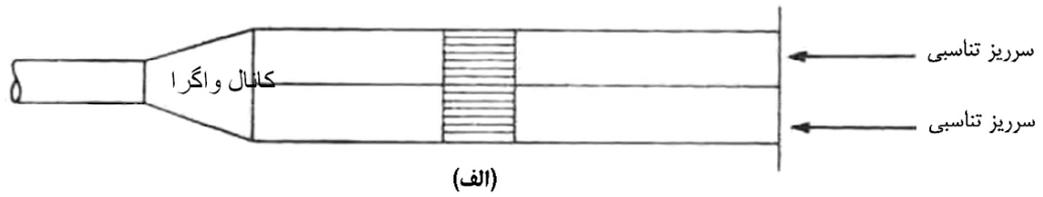
کف کانال مجرای ورودی  $Z_1 = 8$  سانتی‌متر بالاتر از سطح مبنا در نظر گرفته می‌شود (تا ۱۵ سانتی‌متر نیز مجاز است).

با توجه به شکل ورودی مقدار  $K_e$  برابر با  $0/3$  انتخاب می‌شود.

$$0/08 + 1/18 + \frac{(0/87)^2}{2 \times 9/81} = d_2 + \frac{\left( \frac{1/321}{1/74d_2} \right)^2}{2 \times 9/81} + 0/3 \left[ \frac{(0/87)^2}{2 \times 9/81} - \frac{\left( \frac{1/321}{1/74d_2} \right)^2}{2 \times 9/81} \right]$$

$$\Rightarrow d_2^3 - 1/282d_2^2 + 0/021 = 0$$





شکل الف-۲- جزئیات کانال آشغالگیر، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع طولی،

(ج) مقطع عرضی از میله‌ها و عمق جریان در حالت‌های مختلف

از حل رابطه فوق به روش آزمون و خطا خواهیم داشت:

$$d_2 = 1/28 \Rightarrow v_2 = \frac{1/321}{1/74 \times 1/28} = 0/59 \text{ متر بر ثانیه}$$

و سرعت جریان در بازشدگی بین میله‌ها در حالت تمیز برابر خواهد بود با:

$$V = \frac{\text{بده}}{\text{سطح خالص بین میله‌ها}} = \frac{1/321}{(50 \times 0/025) \times 1/28} = 0/83 \text{ متر بر ثانیه}$$

سرعت واقعی بین میله‌ها در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی برابر  $0/83$  متر بر ثانیه خواهد بود (سرعت قبل از آشغالگیر در کانال  $0/59$  متر بر ثانیه است). این مقدار اندکی کمتر از مقدار مورد نظر، یعنی  $0/9$  متر بر ثانیه، می‌باشد اما در محدوده مجاز قرار دارد. می‌توان با در نظر گرفتن  $47$  یا  $48$  بازشدگی بجای  $50$  بازشدگی، طراحی را دوباره انجام داد. این امر باعث کاهش عرض کانال و افزایش سرعت عبور جریان از بین میله‌های آشغالگیر خواهد شد.

### ب) محاسبه افت ارتفاع در بین میله‌های آشغالگیر

برای محاسبه افت ارتفاع در بین میله‌های آشغالگیر برای شرایط تمیز (بدون گرفتگی آشغالگیر) می‌توان از رابطه (۹-۱) و یا رابطه (۹-۲) استفاده نمود. محاسبه افت ارتفاع از هر دو رابطه در زیر نشان داده شده است:

$$h_L((1-9)) \text{ (با استفاده از رابطه (۹-۱))} = \frac{(0/83 \text{ m/s})^2 - (0/59 \text{ m/s})^2}{2 \times 9/81 \text{ m/s}^2} \times \frac{1}{0/7} = 0/025 \text{ متر}$$

$$h_L((2-9)) \text{ (با استفاده از رابطه (۹-۲))} = 2/42 \times \left( \frac{49 \times 10 \text{ mm}}{50 \times 25 \text{ mm}} \right)^{\frac{4}{3}} \times \frac{(0/83 \text{ m/s})^2}{2 \times 9/81 \text{ m/s}^2} \times \sin 75^\circ = 0/024 \text{ متر}$$

افت ارتفاع محاسبه شده از هر دو رابطه تقریباً یکسان است.

### ج) محاسبه عمق جریان و سرعت در کانال آشغالگیر پس از میله‌ها

عمق و سرعت در کانال آشغالگیر پس از میله‌ها را می‌توان با برقراری رابطه انرژی بین دو مقطع بالادست و پایین دست آشغالگیر (مقاطع ۲ و ۳ در شکل الف-۲) بدست آورد:

$$d_2 + \frac{V_2^2}{2g} = d_3 + \frac{V_3^2}{2g} + h_L$$

(الف-۳)



در این رابطه  $d_2$  و  $V_2$  ، عمق و سرعت جریان در مقطع بالادست میله‌ها در کانال آشغالگیر و  $d_3$  و  $V_3$  ، عمق و سرعت جریان در مقطع پایین دست میله‌ها در کانال آشغالگیر را نشان می‌دهد.  $h_L$  افت ارتفاع در میله‌های آشغالگیر می‌باشد. بنابراین با فرض افقی بودن کف کانال در مقطع آشغالگیر داریم:

$$1/28 + \frac{(0/59)^2}{2 \times 9/81} = d_3 + \frac{\left(\frac{1/321}{1/74 \cdot d_3}\right)^2}{2 \times 9/81} + 0/025 \Rightarrow$$

$$d_3^3 - 1/273 d_3^2 + 0/029 = 0 \Rightarrow d_3 = 1/25m \Rightarrow V_3 = 0/61 \text{ متر بر ثانیه}$$

### (د) افت ارتفاع برای ۵۰ درصد گرفتگی میله‌های آشغالگیر

در زمانی که نصف فضای بین میله‌های آشغالگیر مسدود شده باشد، سطح خالص جریان بین میله‌ها به نصف مقدار اولیه خود کاهش خواهد یافت. بنابراین با استفاده از رابطه انرژی افت ارتفاع بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_2' + \frac{V_2'^2}{2g} = d_3 + \frac{V_3^2}{2g} + h_{50}$$

در این رابطه  $d_2'$  و  $V_2'$  عمق جریان و سرعت در کانال آشغالگیر در بالادست میله‌ها در حالتی که ۵۰ درصد فضای باز بین میله‌ها توسط آشغال مسدود شده است را نشان می‌دهد. همچنین  $h_{50}$  نشانگر افت ارتفاع در بین میله‌ها در حالت ۵۰ درصد گرفتگی است.

سرعت و عمق جریان در کانال در زیر میله‌های آشغالگیر توسط شرایط جریان در کانال خروجی تعیین می‌شود. به علت اینکه شرایط جریان در کانال خروجی بدون تغییر در نظر گرفته می‌شود، می‌توان فرض کرد که  $d_3$  و  $V_3$  با مقادیر محاسبه شده برای حالت تمیز بودن میله‌ها، یکسان است. زیرا با طراحی سرریز در پائین دست آشغالگیر، جریان در کانال از سرریز سمت بالادست حکم خواهد شد و ربطی به عمق در بالادست آشغالگیر ندارد. عبارتی در حالت بدون گرفتگی عمق در کانال و نهایتاً رقوم سرریز جهت ثابت نمودن عمقها در کانال طراحی می‌شوند و در صورت گرفتگی آشغالگیر، سرریز همچنان با همان رقوم قبلی (یعنی طراحی اولیه) می‌باشد و باید رقوم در بالادست آشغالگیر بر این اساس محاسبه شود.

$$h_{50} = \frac{(V_2')^2 - V_2^2}{2g} \times \frac{1}{0/7}$$

$$\text{سرعت در بین میله‌ها با } 50 \text{ درصد گرفتگی} = \frac{1/321}{1/25 \times 0/5 \times d_2'} = \frac{2/114}{d_2'}$$

$$V_2' = \frac{1/321}{1/74 \times d_2'} = \frac{0/759}{d_2'}$$



$$d_2' + \frac{\left(\frac{0/759}{d_2'}\right)^2}{(2 \times 9/81)} = 1/25 + \frac{(0/61)^2}{2 \times 9/81} + \frac{\left[\left(\frac{2/114}{d_2'}\right)^2 - \left(\frac{0/759}{d_2'}\right)^2\right]}{2 \times 0/7 \times 9/81} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_2'^3 - 1/269 d_2'^3 - 0/254 = 0 \Rightarrow d_2' = 1/40 \text{ متر}$$

$$\Rightarrow V_2' = \frac{1/321}{1/74 \times 1/40} = 0/54$$

سرعت در فضای بین میله‌ها ( $V'$ ) برابر است با:

$$V' = \frac{2/114}{1/40} = 1/51 \text{ متر بر ثانیه}$$

و افت ارتفاع در بین میله‌ها در حالت ۵۰ درصد گرفتگی از رابطه (۹-۱) برابر خواهد بود با:

$$h_{m50} = \frac{(1/51)^2 - (0/54)^2}{2 \times 9/81 \times 0/7} = 0/15 \text{ متر}$$

می‌توان از روش تقریبی زیر برای محاسبه افت در حالت ۵۰ درصد گرفتگی نیز استفاده کرد. به این ترتیب که با توجه به اینکه در حالت ۵۰ درصد گرفتگی، مساحت سطح باز میله‌ها نصف و سرعت جریان در بین میله‌ها تقریباً دو برابر می‌شود، بنابراین:

$$h_{m50} = \frac{\left[(2 \times 0/83)^2 - (0/59)^2\right]}{2 \times 9/81 \times 0/7} = 0/18 \text{ متر}$$

افت ارتفاع محاسبه شده در این روش اندکی بزرگتر از مقدار بدست آمده در قسمت قبلی (۰/۱۵ متر) است. بیشتر بودن افت ارتفاع محاسبه شده در این روش باعث طراحی محافظه کارانه خواهد شد. بطوریکه سطح آب در بالادست آشغالگیر کمی بالاتر می‌رود (سطح آب در پائین دست به رقوم سرریز وابسته است).

با توجه به محاسبات بالا به این نتیجه می‌رسیم که افزایش افت ارتفاع ناشی از انسداد ۵۰ درصدی فضای بین میله‌های آشغالگیر در حدود ۱۵ سانتی‌متر خواهد بود که در حقیقت باعث پس زدن آب و افزایش عمق در بالادست آشغالگیر می‌شود. همچنین لازم است تناوب تمیز کردن میله‌ها و امکان بوجود آمدن نوسان و موج در سطح آب به دقت کنترل شود. یک ارتفاع آزاد ۵۰ سانتی‌متری بطور معمول برای مقابله با بار اضافی و یا جریانهای اضافی در نظر گرفته می‌شود. نتایج این مثال طراحی بصورت خلاصه در جدول (الف-۱) نشان داده شده است.



## گام ۴: سازه خروجی

برای کنترل کردن عمق آب در کانال آشغالگیر از سازه خروجی در انتهای کانال آشغالگیر استفاده می‌گردد تا عمق آب در کانال را در سطح مورد نظر نگه دارد. برای این منظور در برخی از طرحهای قدیمی انتهای کانال آشغالگیر را بصورت یک برآمدگی بالا می‌آوردند تا عمق آب در کانال ثابت نگه داشته شود و جریان فاضلاب با عمق بحرانی از روی برآمدگی عبور نماید. این روش طراحی به علت اینکه در مواقعی که بده جریان کم است باعث ته‌نشینی ذرات معلق موجود در فاضلاب قبل از

### جدول الف-۱- خلاصه محاسبات در قسمتهای مختلف کانال آشغالگیر

افت ارتفاع (سانتی‌متر)	کانال پایین دست آشغالگیر		سرعت در بین میله‌ها (متر بر ثانیه)	کانال بالادست آشغالگیر		
	عمق (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)		عمق (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	
۳	۱/۲۵	۰/۶۱	۰/۸۳	۱/۲۸	۰/۵۹	میله‌های تمیز
۱۵	۱/۲۵	۰/۶۱	۱/۵۱	۱/۴۰	۰/۵۴	۵۰ درصد گرفتگی

برآمدگی می‌شود و همچنین ساخت آن از نظر اجرایی کمی دشوار است، در این نشریه توصیه نمی‌گردد. روش بهتر و مناسب تر این است که در انتهای کانال آشغالگیر از سازه‌های کنترل جریان نظیر ناودان پارشال یا سرریز، مخصوصاً سرریز تناسبی، استفاده گردد. بعضی اوقات نیز کانال آشغالگیر به واحد دانه گیری متصل می‌گردد که در اینصورت کنترل عمق در کانال دانه گیر انجام می‌گیرد.

از طرفی استفاده از ناودان پارشال پس از آشغالگیر با توجه به نیاز به نصب تجهیزات و همچنین نیاز به همگرا و واگرا کردن دیوارهای کانال در انتهای آشغالگیر مطلوبیت کمتری نسبت به سرریز تناسبی دارد. اما سرریز تناسبی با توجه به مزایای زیر در انتهای کانال آشغالگیر می‌تواند گزینه مناسب باشد:

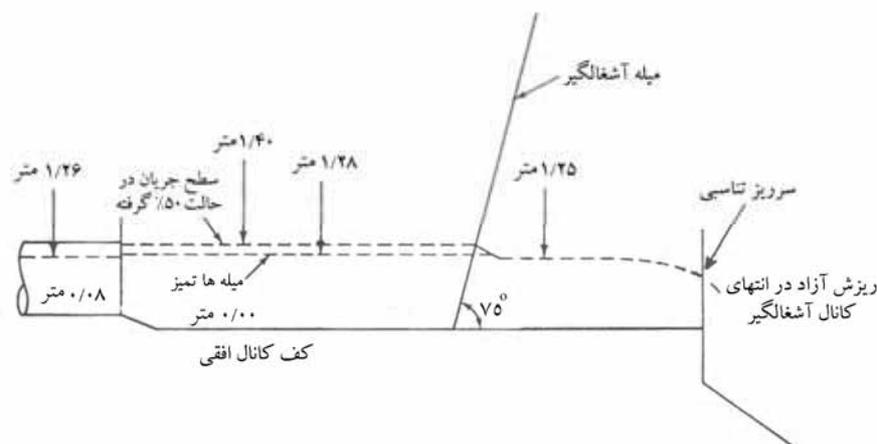
- استفاده از سرریز تناسبی نیازی به همگرا یا واگرا کردن دیوارهای کناری و یا بالا آوردن کف کانال ندارد.
- با استفاده از سرریز تناسبی در انتهای کانال آشغالگیر عمق و سرعت جریان تا حدود زیادی حتی در بده‌های کم بصورت یکنواخت نگه داشته می‌شود.
- با اندازه‌گیری ارتفاع جریان روی سرریز تناسبی می‌توان بده جریان فاضلاب را محاسبه نمود.
- طراحی و ساخت سرریز تناسبی از انعطاف پذیری زیادی برخوردار است و از نظر اقتصادی هم مناسب است.
- روابط هیدرولیکی مربوط به سرریز تناسبی در قسمت مربوط به مبانی هیدرولیکی سازه‌ها در فصل چهارم ذکر شد.



## گام ۵: نیمرخ هیدرولیکی

نیمرخ هیدرولیکی جریان در واحد آشغالگیر طراحی شده در این مثال در شکل (الف-۳) نشان داده شده است. ارتفاع کف کانال در این نیمرخ ۰/۰۰ در نظر گرفته شده است و افت ارتفاع جریان در عبور از میله‌های در حالت تمیز ۰/۰۳ متر و در حالت ۵۰ درصد گرفتگی برابر ۰/۱۵ متر می‌باشد. همانطور که در شکل (الف-۳) دیده می‌شود، در حالت ۵۰ درصد گرفتگی سطح آب در کانال آشغالگیر اندکی بالاتر از سطح آب در کانال ورودی به آشغالگیر قرار دارد که این امر باعث پس زدگی جریان می‌گردد. در صورتی که بنابر شرایط خاص پروژه نیاز به حذف این پس زدگی باشد، می‌توان با افزایش مقدار افت کف در ورودی به کانال آشغالگیر (اختلاف ارتفاع کف کانال ورودی و کف کانال آشغالگیر) تا ۰/۱۵ متر این مسئله را برطرف نمود. در بسیاری از موارد نظیر این مثال که پس زدگی جریان تنها در حالت ۵۰ درصد انسداد دیده می‌شود، می‌توان به دلایل زیر از آن صرفنظر نمود:

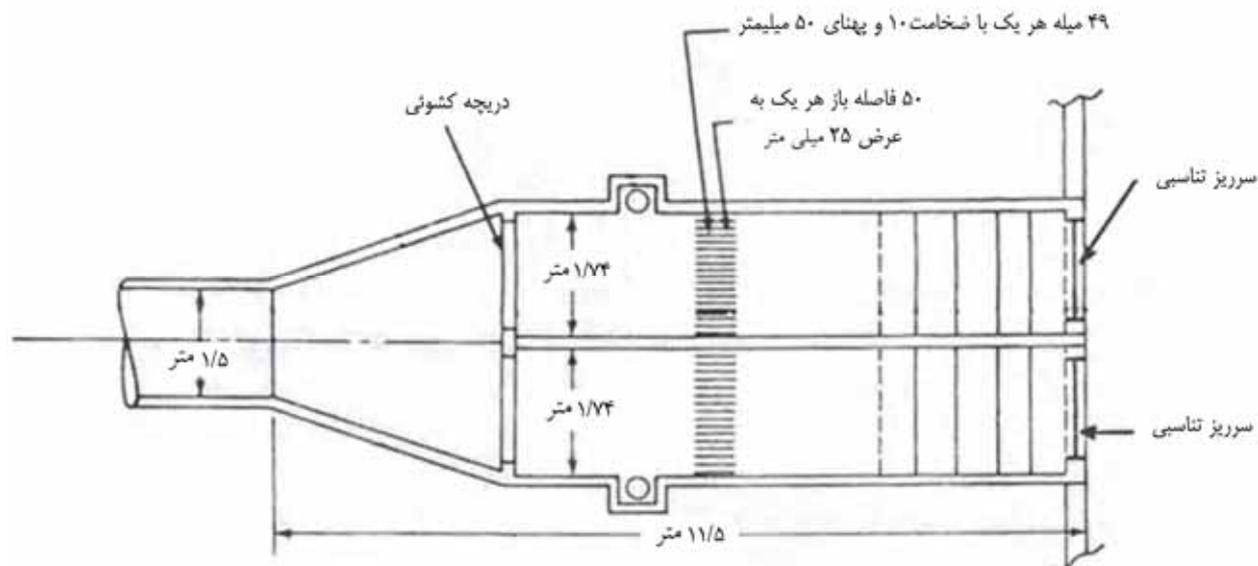
- مقدار آن ناچیز است بطوری که افزایش ارتفاع آب در بالادست در محدوده ارتفاع آزاد کانال یا لوله ورودی قرار دارد و پس زدگی مشکل خاصی در بالادست ایجاد نمی‌نماید.
- کنترل جریان در آشغالگیر از پایین دست آن انجام می‌گیرد. این امر باعث می‌شود پس زدگی جریان تاثیری در وضعیت جریان نداشته باشد.



شکل الف-۳- نیمرخ هیدرولیکی جریان در کانال آشغالگیر

لازم به ذکر است نباید وضعیت انسداد در واحدهای میانی تصفیه‌خانه فاضلاب دیده شود و در صورت مشاهده لازم است با بررسی میزان پس زدگی، تاثیر افزایش ارتفاع در مجاری و واحدهای بالادست بررسی گردد. در شکل (الف-۴) قسمتهای مختلف واحد آشغالگیر به همراه ابعاد طراحی شده در این مثال نشان داده شده است.





شکل الف-۴- تصویر افقی واحد آشغالگیر طراحی شده

## الف ۲- دانه گیر (بخش ۱۰)

### فرضیات

- دو واحد دانه گیر با جریان مارپیچی که ذرات به قطر  $0/21$  میلی متر یا بزرگتر را حذف نماید. هر واحد دانه گیر برای نصف جریان حداکثر لحظه ای طراحی شود. سازه ورودی و خروجی باید به شکلی طراحی گردد که قادر به جابجایی جریان در شرایط بحرانی و در مواقعی که یکی از واحدها خارج از سرویس است، باشند (شکل الف-۵).
- واحد دانه گیر باید برای بده حداکثر ورودی، و در صورت استفاده از تلمبه خانه بده حداکثر پس از آن طراحی، شود.
- ظرفیت هوادهی حداقل  $7/8$  لیتر بر ثانیه در واحد طول کانال دانه گیر در نظر گرفته شود.
- عرض هر کانال دانه گیر  $3/5$  متر در نظر گرفته شود.

### راهنمایی

- سرعت در سازه ورودی و خروجی باید در حد  $0/3$  متر بر ثانیه باشد.
- زمان ماند ۴ دقیقه (جدول ۱۰-۲)
- با توجه به سرعت بسیار کم در کانال دانه گیر، افت ارتفاع در طول کانال ناچیز است و لذا افت ارتفاع با توجه به رقوم ورودی و خروجی تعیین می شود.

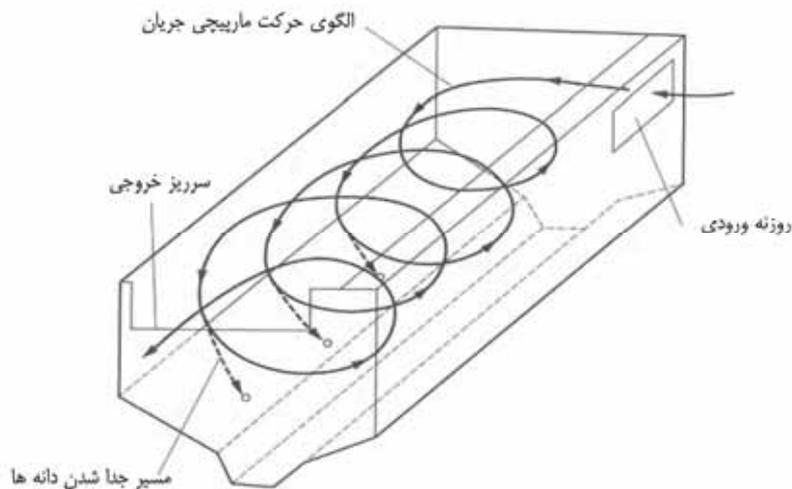


(حل)

گام اول: طراحی هندسی کانال دانه گیر

با در نظر گیری دو کانال دانه گیر که بطور مستقل از هم کار می کنند، ابعاد زیر با توجه به جدول (۱۰-۲) برای هر واحد در نظر گرفته می شود:

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{(1/321)}{2} = 0/661 = \text{بده حداکثر لحظه ای طراحی برای هر کانال}$$



شکل الف-۵- کانال دانه گیر با هوادهی

$$\text{مترمکعب} = 0/661 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 4 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 158/6$$

$$\text{متر} = 3/65 = \text{عمق متوسط آب در میانه کانال (انتخابی)}$$

$$\text{متر} = 0/8 = \text{ارتفاع آزاد}$$

$$\text{متر} = 3/65 + 0/8 = 4/45 = \text{عمق کل کانال دانه گیر}$$

$$\text{مترمربع} = \frac{158/6 \text{m}^3}{3/65 \text{m}} = 43/5 = \text{مساحت اولیه سطح هر کانال دانه گیر}$$

$$1:4 = \text{نسبت طول به عرض کانال}$$

$$\text{متر} = 13 = \text{طول کانال دانه گیر}$$

$$\text{متر} = 3/5 = \text{عرض کانال دانه گیر}$$

$$\text{مترمربع} = 13 \times 3/5 = 45/5 = \text{مساحت سطح هر کانال دانه گیر}$$



دیفیوزرهای تزریق هوا در طول کانال دانه‌گیر و در یک طرف آن به فاصله ۰/۶ متر از بالای کف آن همانطوری که در شکل (الف-۶) نشان داده شده است، قرار داده می‌شوند. کف کانال با شیب عرضی کمی به سمت کانال جمع‌آوری دانه‌ها که در انتهای یک طرف آن در نظر گرفته می‌شود، ساخته می‌شود.

کنترل زمان ماند:

$$\text{زمان ماند دقیق در بده طراحی حداکثر لحظه‌ای در هنگام کار هر دو واحد} = \frac{3/5\text{m} \times 3/65\text{m} \times 13/0\text{m}}{0/661\text{m}^3/\text{s} \times 60\text{min}} = 4/2 \text{ دقیقه}$$

$$\text{زمان ماند دقیق در بده طراحی حداکثر لحظه‌ای وقتی تنها یک کانال در حال کار} = \frac{3/5\text{m} \times 3/65\text{m} \times 13/0\text{m}}{1/321\text{m}^3/\text{s} \times 60\text{min}} = 2/1 \text{ دقیقه}$$

است.

### گام دوم: کنترل سرعت بالا آمدن سطحی<sup>۱</sup>

سرعت بالا آمدن جریان در زمانی که هر دو کانال دانه‌گیر در حال کار هستند برابر است با:

$$\text{مترمربع} = 3/5\text{m} \times 13/0\text{m} = 45/5$$

$$\text{سرعت بالا آمدن سطحی} = \frac{0/661\text{m}^3/\text{s} \times 86400\text{s}/\text{d}}{45/5\text{m}^2} = 1255/2 \text{ مترمکعب بر متر مربع بر روز}$$

این مقدار بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از حد مجاز سرعت بالا آمدن برای حذف دانه‌های بزرگتر از قطر ۰/۲۱ میلی‌متر (۱۷۳۰ مترمکعب بر متر مربع بر روز یا ۱/۲ متر بر دقیقه از جدول (۱۰-۱)) می‌باشد. سرعت بالا آمدن برای حالتی که یکی از کانالهای دانه‌گیر در حال سرویس است و تمام جریان از یک کانال عبور می‌کند برابر است با:

$$\text{مترمکعب بر متر مربع بر روز} = 2 \times 1255/2\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d} = 2510/4$$

که می‌تواند مناسب نباشد اما در شرایط اضطراری می‌توان از آن استفاده نمود.

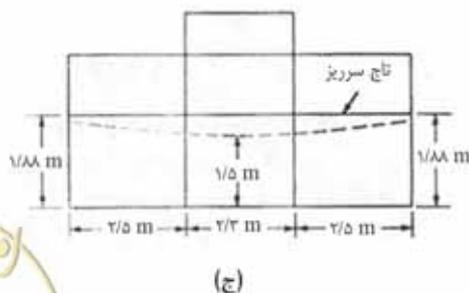
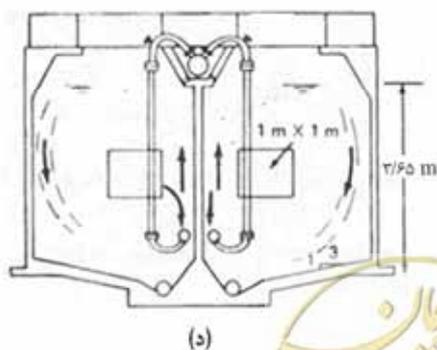
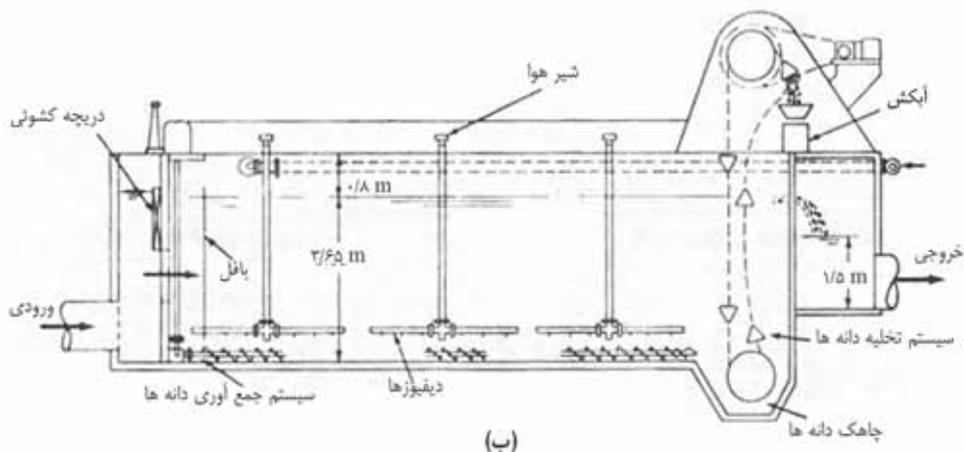
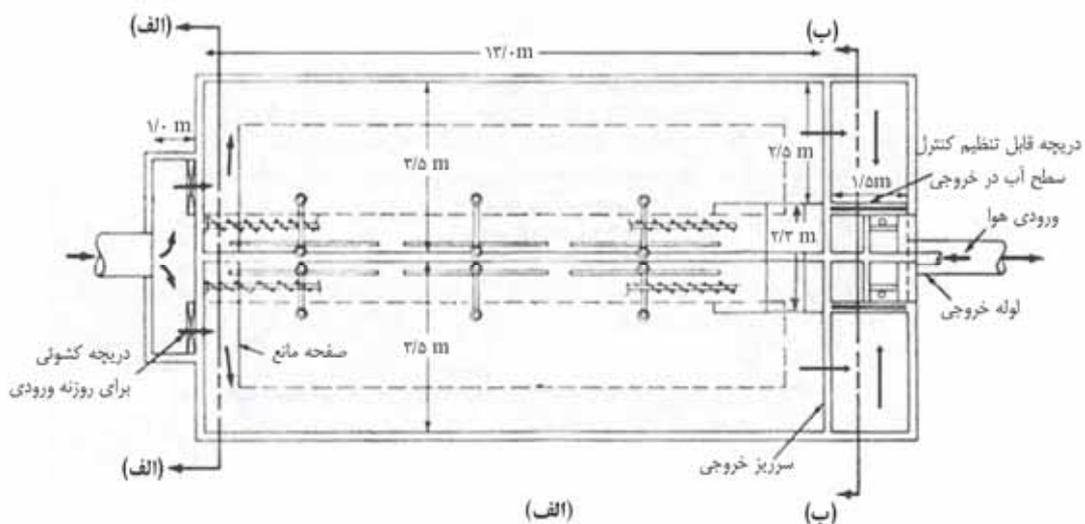
### گام سوم: طراحی سازه ورودی

#### الف) مشخصات هندسی سازه ورودی

برای سازه ورودی، از کانال ورودی مستغرق با عرض ۱ متر استفاده می‌شود به طوری که جریان را بین دو کانال دانه‌گیر تقسیم نماید. هر کانال دارای یک روزنه به ابعاد ۱/۰ متر × ۱/۰ متر و دریچه می‌باشد (شکل الف-۶) که بصورت مستغرق جریان را از



قسمت نزدیک به محل دیفیوزرهای تزریق هوا وارد کانال دانه گیر می‌نماید. یک صفحه مانع در ورودی هر کانال در نظر گرفته می‌شود به شکلی که جریان را به صورت الگوی چرخشی منحرف کند. همچنین دریچه بر روی روزنه، امکان خارج کردن هر کانال از مدار را فراهم می‌کند.



شکل الف-۶- جزئیات کانال دانه گیر، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع طولی،

(ج) مقطع ب-ب، (د) مقطع الف-الف



شکل الف-۷- مقطع کانال دانه‌گیر با نمایش سطح آب در سازه ورودی و خروجی

### ب) محاسبه افت ارتفاع در سازه ورودی

برای محاسبه افت ارتفاع در واحد ورودی رابطه انرژی بین دو مقطع ۱ و ۲، (شکل الف-۷)، نوشته می‌شود. رابطه انرژی به صورت زیر ساده شده است:

$$\Delta H = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + h_L \quad (\text{الف-۴})$$

در این رابطه  $V_1$  سرعت متوسط در کانال ورودی،  $V_2$  سرعت متوسط در داخل کانال دانه‌گیر،  $\Delta H$  اختلاف ارتفاع بین سطح آزاد آب در کانال ورودی و کانال دانه‌گیر و  $h_L$  افت ارتفاع کل در کانال و سازه ورودی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه افت ارتفاع در کانال ورودی و ارتفاع سرعت مقادیر کوچکی دارند،  $h_L$  بطور تقریبی مساوی اختلاف پیزومتریک در مقطع بخش ورودی است. بنابراین می‌توان مقدار  $h_L$  را با  $\Delta Z$  (اختلاف رقوم سطح آب در دو طرف دریچه ورودی به کانال دانه‌گیر) جایگزین نمود. در اینصورت با توجه به ابعاد روزنه، ارتفاع مورد نیاز، یعنی  $\Delta Z$ ، برای عبور بده  $Q$  بدست می‌آید:

$$Q = C_d A \sqrt{2g \Delta Z} \quad (\text{الف-۵})$$

در این رابطه  $A$  سطح مقطع روزنه و  $C_d$  ضریب بده را نشان می‌دهد که برای سطح مربع گوشه دار برابر  $0.61$  در نظر گرفته می‌شود. بطور کلی  $V_1$  و  $V_2$  کوچک هستند در نتیجه مقدار  $\left[ \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right]$  کوچک و قابل صرف‌نظر کردن است. به عبارتی برای بده حداکثر لحظه ای:

$$V_1 = \frac{1/321}{1 \text{ (عمق آب)} \times 4/06 \text{ (عرض کانال)}} = 0/33 \text{ متر بر ثانیه}$$



$$V_2 = \frac{1/321}{3/5} = 0/10 \text{ متر بر ثانیه (عمق آب فرضی در کانال دانه گیر) } \times 3/82 \text{ (عرض کانال دانه گیر)}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} = \frac{(0/10 \text{ m/s})^2}{2 \times 9/81 \text{ m/s}^2} - \frac{(0/33 \text{ m/s})^2}{2 \times 9/81 \text{ m/s}^2} = -0/005 \text{ متر}$$

که کوچک و قابل صرفنظر کردن است. در هر حال با ترکیب دو رابطه (الف-۴) و (الف-۵) خواهیم داشت:

$$\Delta H = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \left( \frac{Q}{C_d A \sqrt{2g}} \right)^2 \quad (\text{الف-۶})$$

در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی ۱/۳۲۱ مترمکعب بر ثانیه، وقتی یکی از کانالها در حال کار باشد، داریم:

$$\Delta H = -0/005 + \left[ \frac{1/321 \text{ m}^3/\text{s}}{0/61 \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times \sqrt{2 \times 9/81 \text{ m/s}^2}} \right]^2 = 0/24 \text{ متر}$$

با انتخاب یک ورودی با ابعاد و یا ضریب بزرگتر، مقدار بدست آمده برای  $\Delta H$  کاهش خواهد یافت.

### گام چهارم: طراحی سازه خروجی

سازه خروجی شامل یک سرریز مستطیلی، یک ناودان، یک جعبه خروجی و یک لوله خروجی می‌باشد. سرریز خروجی ۲/۵ متر طول دارد و ابعاد ناودان خروجی برابر (عرض) ۱/۵ متر  $\times$  (طول) ۲/۵ متر در نظر گرفته می‌شود. جعبه خروجی معمولاً بین دو کانال دانه‌گیر مشترک است و با ابعاد ۲/۳ متر  $\times$  ۱/۵ متر در نظر گرفته می‌شود (شکل الف-۶). دریچه‌های قابل تنظیم در جعبه خروجی نصب می‌شوند تا در مواقعی که هر یک از کانالها در حال کار نیستند، مانع ورود جریان به داخل آنها شود. لوله خروجی جریان را به یک جعبه تقسیم منتقل می‌کند که فاضلاب را بین حوضه‌های ته‌نشینی اولیه تقسیم می‌کند. ارتفاع روی سرریز خروجی را در جریان با بده حداکثر لحظه‌ای طراحی در زمانی که هر دو کانال دانه‌گیر در حال کار هستند، محاسبه می‌کنیم. ارتفاع روی سرریز مستطیلی را می‌توان از رابطه سرریز محاسبه نمود:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L' \sqrt{2gH^3} \quad (\text{الف-۷})$$

که در آن  $Q$  بده جریان روی سرریز (مترمکعب بر ثانیه)،  $H$  ارتفاع روی سرریز (متر)،  $C_d$  ضریب تخلیه بده که برابر ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود،  $L'$  طول موثر که مقدار آن از رابطه  $L' = L - 0/1nH$ ،  $L$  طول سرریز (در این مثال ۲/۵ متر) و  $n$  تعداد انقباض (جمع شدگی یا دهانه) که در این مورد برابر با ۱ می‌باشد.



در جریان حداکثر لحظه‌ای طراحی زمانی که دو کانال در حال کار هستند (بده برابر ۰/۶۶۱ متر مکعب بر ثانیه) با استفاده از روش آزمون و خطا خواهیم داشت:

سعی اول را با فرض  $L' = 2/44$  متر انجام می‌دهیم:

$$L' = 2/44 \text{ متر}$$

$$H = \left[ \frac{0/661 \text{ m}^3/\text{s} \times 3/2}{0/6 \times 2/44 \text{ m} \times \sqrt{2 \times 9/81 \text{ m}^2/\text{s}^2}} \right]^{2/3} = 0/286 \text{ متر}$$

$$L' = 2/5 \text{ m} - 0/1 \times 0/286 \text{ m} = 2/47 \text{ متر}$$

سعی دوم را با مقدار بدست آمده برای  $L'$  انجام می‌دهیم:

$$L' = 2/47 \text{ متر}$$

$$H = \left[ \frac{0/661 \text{ m}^3/\text{s} \times 3 \div 2}{0/6 \times 2/47 \text{ m} \times \sqrt{2 \times 9/81 \text{ m}^2/\text{s}^2}} \right]^{2/3} = 0/283 \text{ متر}$$

$$L' = 2/5 \text{ m} - 0/1 \times 0/283 \text{ m} = 2/47 \text{ متر}$$

مقدار بدست آمده برای  $L'$  مساوی سعی دوم شده بدست آمد. بنابراین عمق تیغه آب روی سرریز برابر با ۰/۲۸ متر بدست می‌آید. به این ترتیب ارتفاع تاج سرریز بالای کف کانال دانه‌گیر برابر است با:

$$\text{متر} \quad 3/37 = 3/65 - 0/28 = 3/37$$

برای حالتی که کل جریان از یکی از کانالهای دانه‌گیر عبور نماید، خواهیم داشت:

$$L' = 2/46 \text{ متر}$$

$$H = \left[ \frac{1/321 \text{ m}^3/\text{s} \times 3 \div 2}{0/6 \times 2/46 \text{ m} \times \sqrt{2 \times 9/81 \text{ m}^2/\text{s}^2}} \right]^{2/3} = 0/45 \text{ متر}$$

$$L' = 2/5 \text{ m} - 0/1 \times 0/45 \text{ m} = 2/46 \text{ متر}$$

عمق آب در کانال در بده طراحی حداکثر لحظه‌ای وقتی که یکی از کانالهای دانه‌گیر خارج از سرویس است، برابر است با:

$$\text{متر} \quad 3/82 = 3/37 + 0/45 = 3/82$$



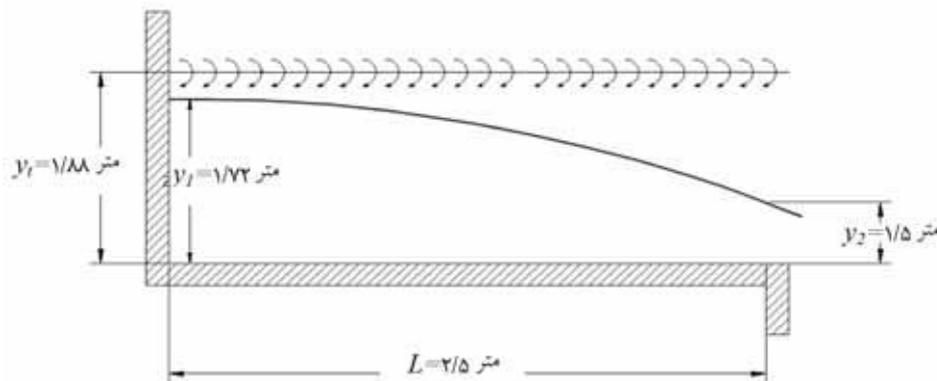
## گام پنجم: محاسبه عمق در ناودان خروجی<sup>۱</sup>

ریزش آزاد جریان از روی سرریز به داخل ناودان باعث بوجود آمدن یک جریان متغیر مکانی در طول ناودان می‌شود. در نقطه انتهایی، بده به مقدار حداکثر خود می‌رسد. برای بدست آوردن عمق حداکثر سطح آب درون مجرای جمع‌آوری شرایطی را در نظر بگیرید که یکی از کانالهای دانه‌گیر خارج از سرویس است و تمام جریان از یکی از کانالها عبور می‌کند. به علاوه باتوجه به اینکه ارتفاع سطح آب در جعبه خروجی بوسیله شرایط پایین دست آن حکم می‌شود، در این مثال فرض می‌شود عمق آب در نقطه تخلیه جریان از مجرا به جعبه خروجی (انتهای پایین دست مجرای جمع‌آوری) ثابت و برابر  $1/5$  متر است. به این ترتیب عمق آب در انتهای بالادست مجرا،  $y_1$ ، با استفاده از رابطه (۴-۲۸) خواهیم داشت:

$$y_1 = \sqrt{1/5^2 + \frac{2 \times 1/321^2}{9/81 \times 1/5^2 \times 1/5}} = 1/54 \text{ متر}$$

چنانچه از روش گام به گام مقدار  $y_1$  محاسبه شود (رابطه ۴-۲۰)، مقدار  $1/528$  متر بدست می‌آید که اندکی از مقدار بدست آمده در بالا کمتر است. همچنین استفاده از نمودار شکل (۴-۶) نیز عمق در ابتدای کانال را برابر با  $1/56$  متر نتیجه می‌دهد. برای در نظر گیری اثر اصطکاک معمولاً ۱۲ درصد مقدار بدست آمده برای  $y_1$  از رابطه بالا را افزایش می‌دهیم. به علاوه  $0/15$  متر نیز به منظور لحاظ کردن ارتفاع آزاد به ارتفاع مجرا افزوده می‌شود. بنابراین ارتفاع کل مجرای جمع‌آوری برابر است با (شکل الف-۸):

$$\text{متر } 1/88 = 1/12 \times 1/54 + 0/15$$



شکل الف-۸- نیمرخ سطح آب در ناودان خروجی دانه‌گیر



### گام ششم: مجموع افت‌های ارتفاع در دانه‌گیر

افت ارتفاع در واحد دانه‌گیر از قسمتهای زیر تشکیل شده است:

- افت ارتفاع در سازه ورودی
- افت ارتفاع در سازه خروجی
- افت ارتفاع در طول کانال دانه‌گیر
- افت ارتفاع در صفحات مانع

افت ارتفاع در سازه ورودی و سازه خروجی مطابق با روشی که در قسمتهای قبل توضیح داده شد، محاسبه می‌گردد. افت ارتفاع در طول کانال دانه‌گیر به علت سرعت پایین جریان و طول کوتاه کانال، کوچک و قابل صرفنظر کردن است. برای افت ارتفاع در صفحات مانع ورودی و خروجی که در جلو جریان مانع ایجاد می‌کنند، رابطه زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$h_L = C_D \frac{V_2^2}{2g} \frac{A_b}{A} \quad (\text{الف-۸})$$

که در این رابطه  $h_L$  افت ارتفاع در نتیجه وجود صفحه مانع (بافل)،  $V_2$  مولفه افقی سرعت در کانال دانه‌گیر منطقه حائل نشده (مانع نشده)،  $A_b$  تصویر قائم سطح مانع،  $A$  مساحت سطح مقطع کانال دانه‌گیر و  $C_D$  ضریب رانش (دراگ) را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب برای صفحات مسطح بطور تقریبی برابر با  $1/9$  در نظر گرفته می‌شود. چنانچه صفحه مانع ورودی ۵۰ درصد از سطح مقطع کانال دانه‌گیر را بپوشاند، افت ارتفاع ناشی از وجود صفحه مانع در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی در زمانی که یکی از کانالهای دانه‌گیر خارج از سرویس است، بصورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$\text{متر بر ثانیه} = \frac{Q}{\text{مساحت}} = \frac{1/321 \text{m}^3/\text{s}}{3/5 \text{m}(\text{عرض}) \times 3/82 \text{m}(\text{عمق جریان})} = 0/099$$

$$h_L = \frac{1/9 \times (0/099)^2}{2 \times 9/81} \times \frac{0/5}{1} = 0/0005 \text{ متر}$$

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار بدست آمده برای افت ارتفاع ناشی از وجود صفحه مانع در ورودی بسیار کوچک است و از آن می‌توان صرفنظر کرد. بصورت مشابه افت ارتفاع ناشی از وجود صفحه مانع در خروجی کانال نیز محاسبه می‌شود که مقدار بدست آمده برای آن نیز بسیار کوچک است و می‌توان از آن صرفنظر کرد. در مجموع اثر صفحات مانع ورودی و خروجی در افت ارتفاع کل قابل صرفنظر کردن است.

### گام هفتم: نیمرخ هیدرولیکی در طول واحد دانه‌گیر

نیمرخ هیدرولیکی در طول واحد دانه‌گیر برای شرایطی که تنها یکی از کانالهای دانه‌گیر در حال سرویس است در شکل (الف-۷) نشان داده شده است. در این نیمرخ از ارتفاع سرعت ناشی از سرعت نزدیک شدن جریان به سرریز خروجی، صرفنظر شده است.



## الف ۳- ناودان پارشال (بخش ۸)

### راهنمایی

- عرض کانال قبل از ناودان پارشال ۲ متر و عمق آب در بالادست و پایین دست مقطع ناودان پارشال به ترتیب ۰/۸ و ۱ متر است.
- پارشال را برای حالت آزاد طراحی می کنیم. طراحی پارشال مستغرق فقط برای حالت‌های خاص و در مواقعی که افت ارتفاع بر بقیه مسائل ارجح باشد، انتخاب می گردد.
- برای کمینه کردن افت، پارشال را در حد شروع استغراق در نظر می گیریم.
- محل پارشال در مسیر فاضلاب در تصفیه‌خانه به لحاظ هیدرولیکی تاثیری بر محاسبات آن ندارد.

### حل

#### گام ۱: انتخاب ابعاد ناودان پارشال

با توجه به بده پیک طراحی و همچنین عرض کانال بالادست، ناودان پارشال با عرض گلوگاه ۴ فوت (۱/۲۲ متر) انتخاب می گردد. سایر ابعاد از جداول و نمودارهای ارائه شده در نشریه ۱۰۶ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تحت عنوان «ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی» تعیین می شود.

#### گام ۲: تعیین رابطه محاسبه بده برای ناودان پارشال

از جدول مربوط رابطه بین  $h_a$  و شدت جریان در ناودان پارشال با عرض گلوگاه ۴ فوت در حالت آزاد بصورت زیر خواهد بود:

$$Q = 2/953 h_a^{1/578} \quad (\text{الف-۹})$$

#### گام ۳: محاسبه عمق $h_a$ در بده پیک طراحی

از رابطه (الف-۹) خواهیم داشت:

$$\text{متر } h_a = 0/6 \Rightarrow 2/953(h_a)^{1/578} = \text{مترمکعب بر ثانیه } 1/321$$

با در نظر گیری نسبت استغراق ۷۰ درصد (یعنی بیشترین مقدار استغراق در حالت جریان آزاد) داریم:

$$h_b = 0/7 h_a = 0/7 \times 0/6 = 0/42 \text{ متر}$$

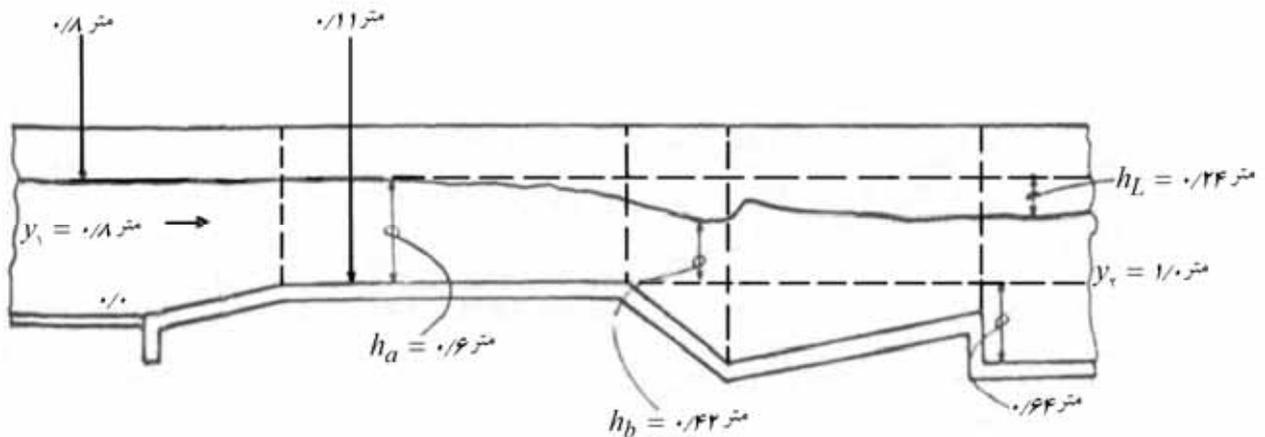


#### گام ۴: محاسبه افت ارتفاع در ناودان پارشال در شرایط بده پیک طراحی

از نمودار شکل (۸-۳) با در نظرگیری درصد استغراق ۷۰ درصد، بده ۱/۳۲۱ مترمکعب بر ثانیه و عرض گلوگاه ۴ فوت افت ارتفاع برابر ۰/۲۴ متر بدست می‌آید. در بده‌های کمتر، افت ارتفاع کمتر خواهد بود و لذا نیازی به کنترل ندارد.

#### گام ۵: ترسیم نیمرخ سطح آب در ناودان پارشال

نیمرخ سطح آب بصورت شکل (الف-۹) ترسیم می‌شود. تغییرات کف و عرض پارشال از جداول و منحنیهای مربوطه برای هر اندازه پارشال استخراج می‌شود.



شکل الف-۹- نیمرخ سطح جریان در ناودان پارشال

#### الف ۴- سامانه ته نشینی اولیه (بخش ۱۱)

##### فرضیات

- در این سامانه بر اساس ملاحظات طراحی، از دو حوض استفاده می‌شود.
- حوض ته نشینی را مستطیلی انتخاب می‌کنیم.

##### (حل)

#### گام ۱: تعیین ابعاد حوض

بر اساس مقادیر مندرج در جدول (۱۱-۱)، نرخ بار سطحی را برابر با ۳۶ مترمکعب بر مترمربع بر روز برای بده متوسط طراحی هر حوض که برابر ۰/۲۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد، در نظر می‌گیریم. از این رو سطح هر حوض توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{Q_{ave}}{q} = \frac{0/22}{\frac{36}{86400}} = 528 \text{ مترمربع}$$



با استفاده از جدول (۱۱-۳)، نسبت طول به عرض را برابر ۴ به ۱ انتخاب می‌کنیم:

$$A = W \times L = W \times 4W = 4W^2 \Rightarrow 4W^2 = 528 \Rightarrow W = 11/58 \text{ متر}$$

$$L = 4W = 46/33 \text{ متر}$$

عمق متوسط آب در میانه طول برابر ۴ متر در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه نسبت طول به عمق برابر ۱۱/۶ خواهد بود که بر اساس جدول (۱۱-۳) در محدوده مجاز خواهد بود. با در نظر گرفتن ۰/۶ متر به منظور تامین ارتفاع آزاد، عمق متوسط حوض برابر ۴/۶ متر بدست خواهد آمد. برای کنترل نرخ بار سطحی داریم:

$$\text{مناسب است} \Rightarrow 36 < \frac{\text{متر مکعب}}{\text{متر مربع، روز}} = \frac{0/22 \times 86400}{11/58 \times 46/33} = 35/4$$

نرخ بار سطحی در بده متوسط طراحی

$$\frac{\text{متر مکعب}}{\text{متر مربع، روز}} = 106 = \frac{0/661 \times 86400}{11/58 \times 46/33}$$

نرخ بار سطحی در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی

برای کنترل زمان، طبق جدول (۱۱-۲)، ماند داریم:

$$\text{مترمکعب} = 4 \times 11/58 \times 46/33 = 2146 = \text{حجم حوض}$$

$$\text{مناسب است} \Rightarrow 1/5 > \text{ساعت} = \frac{2146}{0/22 \times 3600} = 2/7$$

زمان ماند هیدرولیکی در بده متوسط طراحی

$$\text{ساعت} = 0/9 = \frac{2146}{0/661 \times 3600}$$

زمان ماند هیدرولیکی در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی

## گام ۲: سازه ورودی

سازه ورودی انتخابی در این سامانه به صورت یک کانال به عرض ۱ متر و به طول معادل عرض حوض ته‌نشینی می‌باشد. همانطور که در شکل (الف-۱۰) نشان داده شده است، در دیواره داخلی این کانال ۸ روزنه مربعی که هر کدام دارای مساحت ۳۴×۳۴ سانتی‌متر مربع می‌باشند، برای تخلیه فاضلاب به حوض ته‌نشینی تعبیه شده است. در جلوی این روزنه‌ها از صفحه مانعی به طول معادل عرض حوض ته‌نشینی و عرض ۱ متر که در فاصله ۰/۸ m متری جلوی روزنه‌ها و در ۵ سانتی‌متر پایین تر از سطح آب می‌باشد، استفاده شده است. برای محاسبه افت ارتفاع در سازه ورودی از رابطه (الف-۱۰) و قسمت‌های ۱ و ۲ در شکل (الف-۱۰-ب) استفاده می‌شود.



omoorepeyman.ir

$$\Delta H = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + h_L$$

(الف-۱۰)

با توجه به اینکه سرعت افقی در حوض ته‌نشینی کم می‌باشد، از این رو از افت ارتفاع در طول حوض ته‌نشینی صرف‌نظر می‌شود. سرعت متوسط در کانال سازه ورودی بر اساس بده حداکثر لحظه‌ای طراحی، محاسبه می‌شود. از آنجایی که هر حوض دو کانال ورودی دارد و هر کانال برای یک چهارم بده حداکثر کل طراحی می‌شود، بنابراین بده در هر کانال ورودی برابر  $0/331$  متر بر ثانیه خواهد بود. بر اساس موقعیت روزنه‌ها در کانال، عمق آب در بده حداکثر لحظه‌ای را در  $1$  متر ثابت می‌کنیم. سرعت در کانال ورودی برابر خواهد بود با:

$$\text{مناسب است} \Rightarrow 0/35 < \text{متر بر ثانیه} = 0/331 = \frac{0/331}{1 \times 1} = \text{سرعت در هر کانال در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی}$$

بر اساس رابطه (الف-۱۰) میزان اختلاف عمق آب بین حوض ته‌نشینی و کانال ورودی ( $\Delta H$ ) برابر مجموع افت‌های اصطلاحی در کانال ورودی و افت ارتفاع در روزنه‌ها می‌باشد. با جایگزین کردن افت ارتفاع از رابطه روزنه، رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta H = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \left( \frac{Q}{C_d A \sqrt{2g}} \right)^2 \quad \text{(الف-۱۱)}$$

بده عبوری از هر روزنه در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی برابر مترمکعب بر ثانیه  $0/083 = \frac{0/66}{8}$  می‌باشد. با استفاده از رابطه

(الف-۱۱) خواهیم داشت:

$$\Delta H = \left( \frac{0/083}{0/6 \times (0/34^2) \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right)^2 = 0/07 \text{ متر}$$

### گام ۳: سازه خروجی

سازه خروجی شامل سرریز، مجرای تخلیه روآب<sup>۱</sup>، جعبه خروجی و لوله‌های خروجی می‌باشد. سرریزها می‌توانند به صورت، سرریز لبه تیز مستطیلی و یا سرریزهای  $V^2$  و  $U^3$  شکل<sup>۳</sup> باشند. طول سرریزها بر اساس بار سرریز تعیین می‌گردد. ارتفاع آب محاسبه شده توسط روابط سرریز مستطیلی (رابطه ۶-۱)، در حدود چند میلی‌متر می‌شود که مناسب نیست. برای غلبه بر این مشکل اغلب سرریز سازه خروجی را به صورت  $V$  و یا  $U$  شکل طراحی می‌کنند. برای این منظور بصورت زیر عمل می‌شود:

### الف) طول سرریز

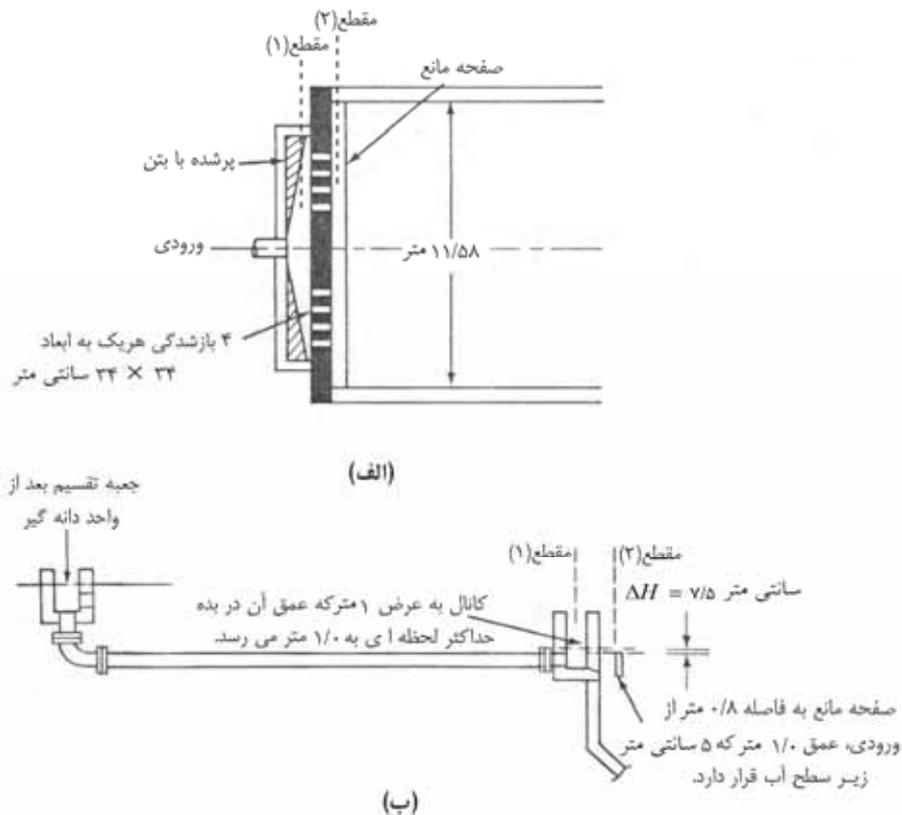
در صورتیکه از قسمت فرآیند، بار سرریز در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی برابر  $372$  مترمکعب بر مترمربع بر روز انتخاب شود، برای محاسبه طول مورد نیاز برای سرریز خواهیم داشت:

$$\text{مترمکعب بر روز} = 0/661 \times 86400 = 57110$$

$$\text{متر} = \frac{57110}{372} = 153/3$$



- 1 - Lunder
- 2 - V-notch
- 3 - U-notch



شکل الف-۱۰- جزئیات مربوط به سازه ورودی در حوض ته‌نشینی، (الف) تصویر افقی سازه ورودی، (ب) لوله و اتصالات انتقال جریان از سازه خروجی دانه‌گیر به سازه ورودی

بر اساس آرایش مورد نظر که در شکل (الف-۱۲-الف) نشان داده شده است، طول کلی سرریز برابر مقدار زیر خواهد بود:

$$\text{متر طول کلی سرریز} = 2 \times (29/5 + 10/38) + 2 \times (28/3 + 9/18) - 1 = 153/72$$

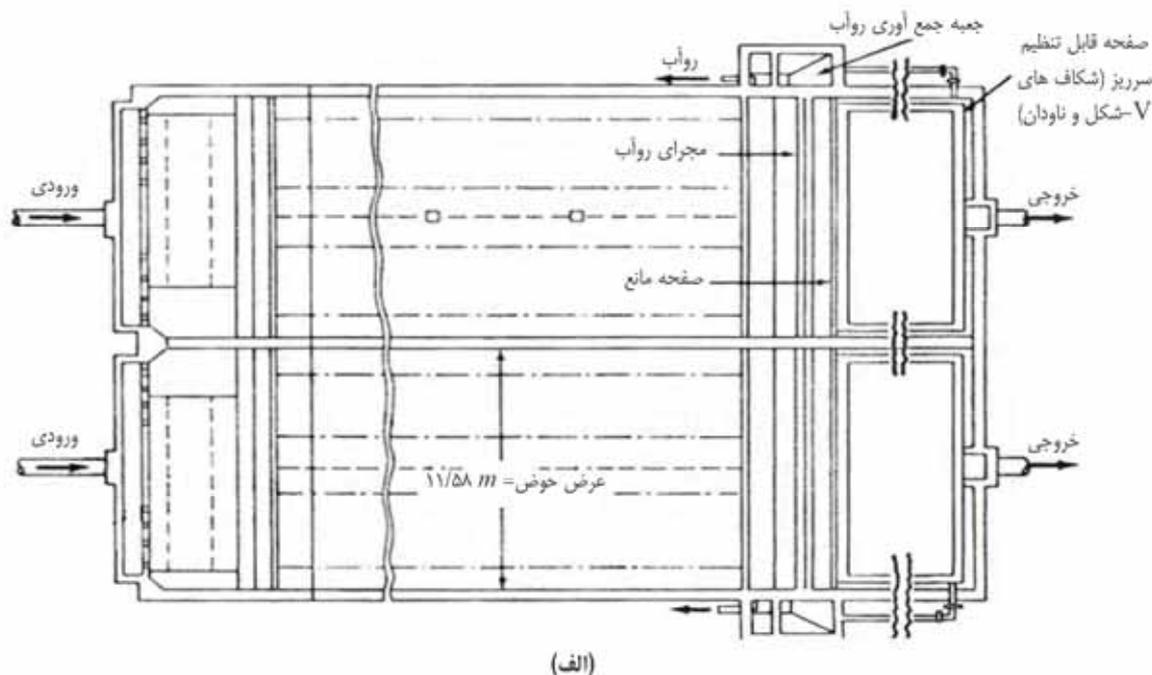
$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر روز} = \frac{57110}{153/72} = 371/6$$

### (ب) تعداد دهانه‌های سرریز

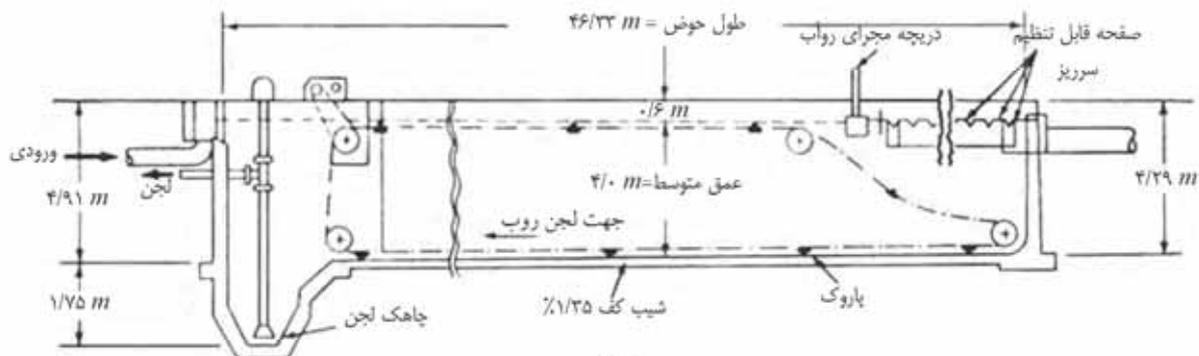
از سرریز V شکل با زاویه ۹۰ درجه و با فاصله مرکز به مرکز ۲۰ سانتی‌متر در دو طرف مجرای جمع‌کننده روآب همانند جزئیاتی که در شکل (الف-۱۲-ج) نشان داده شده است، استفاده می‌گردد. یعنی در هر متر طول سرریز، ۵ دهانه V شکل قرار خواهد گرفت. بنابراین:

$$\text{تعداد دهانه‌های V شکل} = 5 \times 153/72 = 769$$

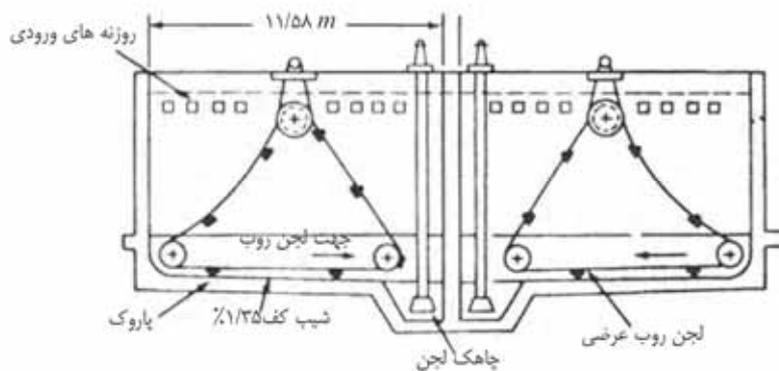
همچنین وضعیت چیدن دهانه‌های V شکل، در شکل (الف-۱۲-ج و د) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل الف-۱۱- حوض ته نشینی، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع طولی، (ج) مقطع عرضی



### ج) ارتفاع روی هر دهانه V شکل

بررسی ارتفاع روی سرریز بر اساس بده متوسط طراحی صورت می‌گیرد:

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{0/22}{765} = 2/88 \times 10^{-4}$$

از طرفی برای سرریزهای مثلثی ۹۰ درجه (رابطه ۵-۶) داریم:

$$2/88 \times 10^{-4} = 1/382 \times H^{\frac{5}{2}} \Rightarrow H = 0/03 \text{ متر}$$

ارتفاع آب روی هر دهانه در هنگامی که بده حداکثر لحظه‌ای از سرریز عبور می‌کند برابر خواهد بود با:

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{0/661}{769} = 8/6 \times 10^{-4}$$

در نتیجه

$$8/64 \times 10^{-4} = 1/382 \times H^{\frac{5}{2}} \Rightarrow H = 0/05 \text{ متر}$$

ارتفاع کلی هر دهانه را برابر با ۸ سانتی‌متر در نظر می‌گیریم تا در شرایط بده حداکثر لحظه‌ای ۳ سانتی‌متر تا غوطه ور شدن سرریز فاصله داشته باشیم.

### د) ابعاد مجرای جمع کننده روآب

برای محاسبه نیمرخ آب در مجرای جمع کننده روآب از روابط جریانهای متغیر مکانی در فصل چهارم استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن این که کف مجرای جمع کننده روآب به اندازه ۰/۴۶ متر بالاتر از کف جعبه خروجی می‌باشد، داریم:

$$\text{متر} = y_2 = 1 - 0/46 = 0/54$$

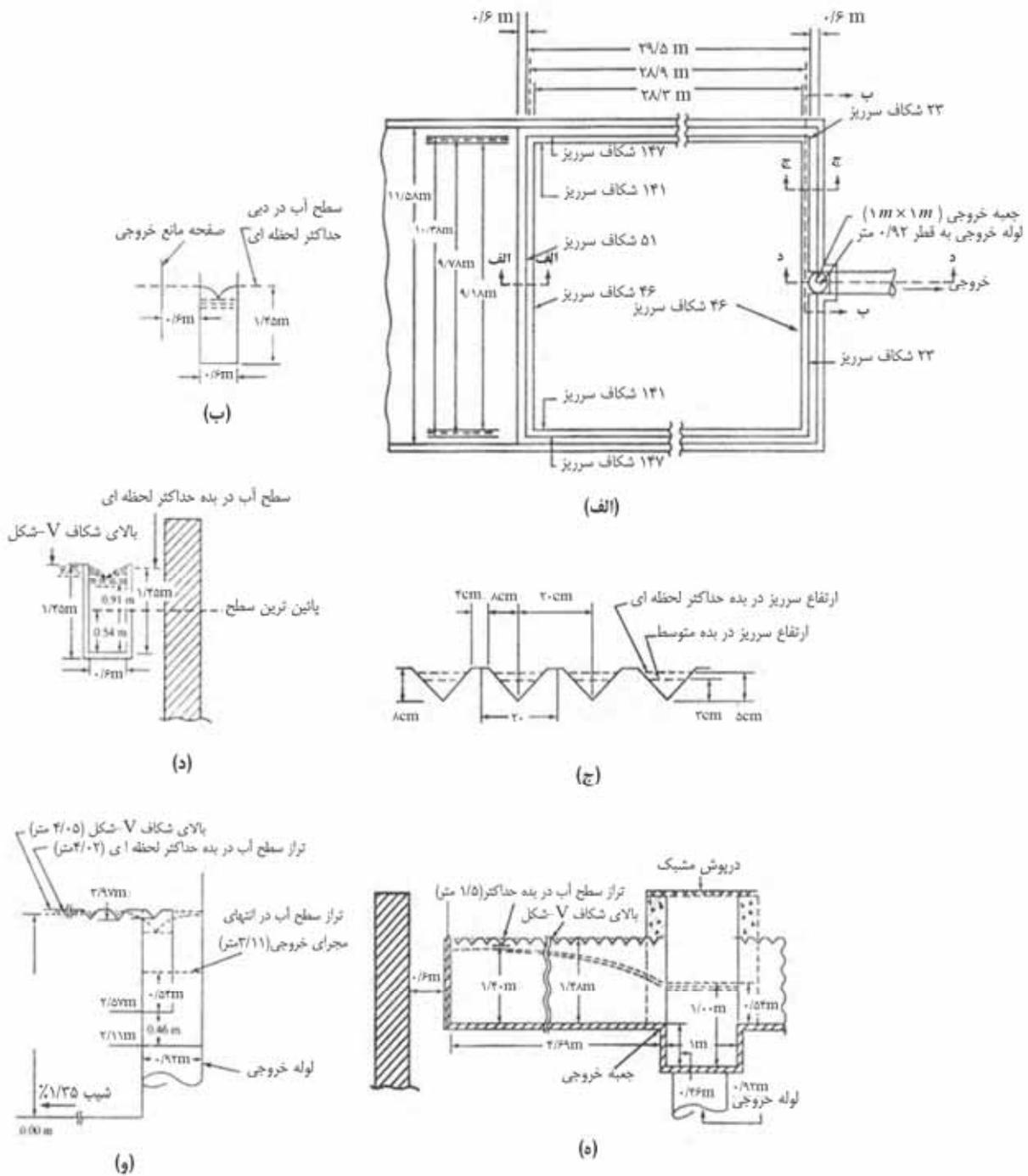
با توجه به این که نصف جریان در مجرای جمع کننده کناری جاری می‌باشد، داریم:

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{0/661}{2} = 0/33$$

$$y_1 = \sqrt{(0/54)^2 + \frac{2 \times (0/33)}{9/81 \times (0/06^2)}} \times 0/54 = 0/64 \text{ متر}$$

$$\text{متر} = 0/64 \times 1/25 = 0/8 = (\text{ضریب اطمینان} \times \text{عمق محاسبه شده}) = \text{عمق نهائی آب در نقطه انتهایی مجرا}$$

$$\text{متر} = 0/8 + 0/6 = 1/4 = \text{عمق کلی آب در مجرا جمع کننده}$$

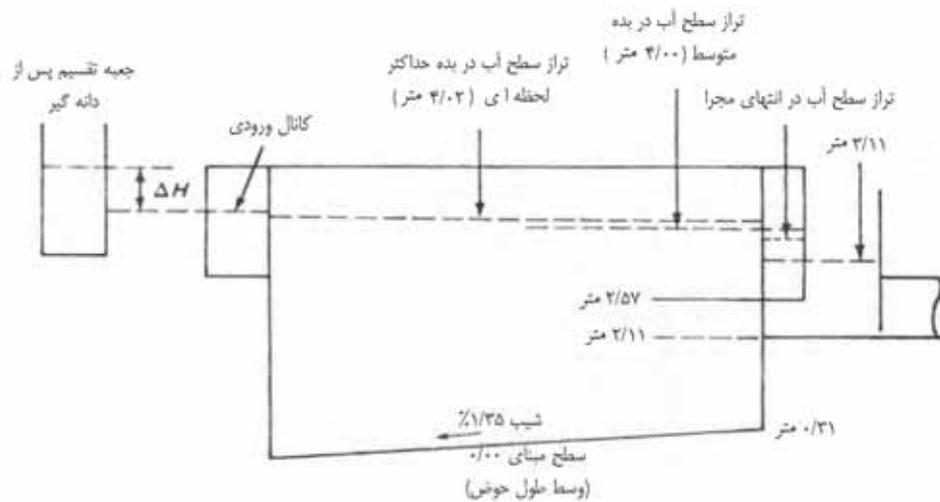


شکل الف-۱۲- اجزاء سازه خروجی حوض ته نشینی اولیه با مقطع مستطیلی ، (الف) تصویر افقی سازه خروجی، (ب) مقطع الف - الف، (ج) مشخصات شکافهای V- شکل، (د)مقطع ج - ج ، (ه) مقطع ب - ب ، (و) مقطع د - د



#### گام ۴: افت ارتفاع در حوض ته‌نشینی اولیه

افت ارتفاع کل شامل افت‌های ارتفاع در سازه ورودی، سازه خروجی، طول حوض و صفحات مانع می‌باشد. از مقادیر افت ارتفاع در طول حوض ته‌نشینی و در صفحات مانع با توجه به مقدار بسیار اندک آن، می‌توان صرف‌نظر کرد. در نهایت نیمرخ آب در طول حوض همانند شکل (الف-۱۳) می‌باشد. در این مثال میزان افت ارتفاع کل در حوض ته‌نشینی در حدود ۹۸ سانتی‌متر بدست می‌آید.



شکل الف-۱۳- نیمرخ هیدرولیکی جریان در حوض ته‌نشینی اولیه در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی

#### الف ۵- سامانه حذف زیستی مواد مغذی (BNR) (بخش ۱۲)

##### فرضیات

- این مجموعه شامل ۴ واحد جهت عملکرد به طور موازی می‌باشد. این چهار واحد در دو مدول یکسان قرار داده شده‌اند. هر مدول شامل دو قسمت با دیوار مشترک است. هر قسمت دارای سه حوض مربع شکل بی‌هوای به صورت سری و در ادامه آن سه حوض بی‌اکسل<sup>۲</sup> بطور سری می‌باشد که در انتهای آن جریان به واحد هوایی وارد می‌شود در شکل (الف-۱۴) جانمایی و ترتیب قرار گیری قسمت‌های مختلف واحد تصفیه زیستی آورده شده است.
- بر اساس مطالعات فرآیند ابعاد هندسی برای واحد بی‌هوایی و بی‌اکسل یکسان و بصورت ذیل می‌باشد:

• طول : ۷/۲۵ متر

• پهنا : ۵/۵ متر



1 - Biological Nutrient Removal

2 - Bioxic

- عمق : ۵/۵ متر
- ارتفاع آزاد : ۰/۸ متر
- جریان فاضلاب ورودی به همراه لجن برگشتی (به میزان ۰/۶ بده متوسط فاضلاب منتج از طراحی فرآیند) در حوض اول واحد بی هوازی به آن وارد و در ادامه پس از عبور از دو حوض بی هوازی دیگر از انتهای حوض سوم به حوض اول واحد بی اکسل وارد می‌شود. در ورودی واحد بی اکسل جریان فاضلاب برگشتی به میزان ۱/۷ بده متوسط (منتج از طراحی فرآیند) به جریان افزوده می‌گردد. جریان پس از عبور از سه حوض بی اکسل از انتهای حوض سوم به درون کانال توزیع واحد هوازی وارد می‌شود. در شکل (الف-۱۵) مسیر جریان در طول واحد بی هوازی و بی اکسل نشان داده شده است.
- در طراحی این واحد بده متوسط برابر با نصف بده حداکثر لحظه ای خشک و بده حداکثر لحظه‌ای برابر با بده حداکثر لحظه‌ای تر فرض شود.

(حل)

### گام ۱: واحد بی هوازی

حوض بی هوازی از سازه ورودی، صفحات مانع میانی و سرریز خروجی تشکیل شده است. در این مثال سازه ورودی شامل یک کانال مستطیلی با عرض ۱ متر و عمق ۳ متر می‌باشد که در امتداد کناری اولین حوض قرار دارد. جریان ورودی و لجن برگشتی وارد این کانال می‌شوند. این کانال دارای ۱۶ روزنه تخلیه، ۴ عدد در انتها و ۱۲ عدد در دیوار مقابل، می‌باشد.

مترمکعب بر ثانیه  $0/486 =$  مترمکعب بر روز  $42000 =$  جریان متوسط طراحی ورودی به هر BNR

عمق متوسط آب در همه حوضها در یک وضعیت طراحی متوسط تنظیم می‌شوند (بده متوسط + جریان لجن برگشتی) و هیدرولیک سامانه برای وضعیت جریان حداکثر لحظه‌ای، کنترل می‌گردد (بده حداکثر لحظه‌ای + جریان لجن برگشتی). ابعاد و جزئیات طرح در شکل (الف-۱۵) نشان داده شده است. برای طراحی واحد بی هوازی داریم:

مترمکعب بر ثانیه  $0/122 = \frac{0/486}{4} =$  جریان طراحی متوسط ورودی به هر قسمت

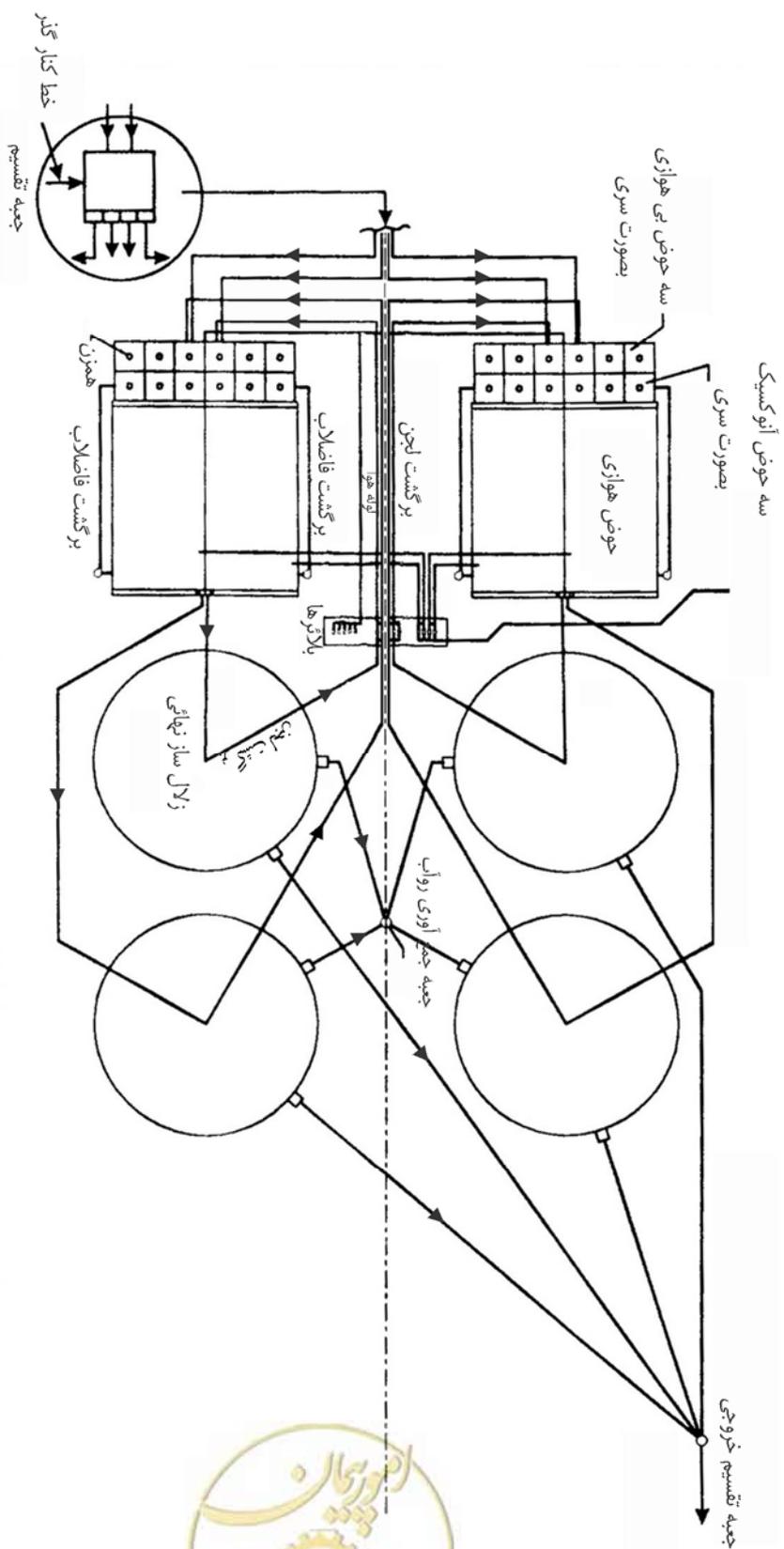
مترمکعب بر ثانیه  $0/292 = 0/486 \times 0/6 =$  جریان برگشتی کل (منتج از قسمت فرآیند  $0/6 = \frac{Q_I}{Q}$ )

مترمکعب بر ثانیه  $0/073 = \frac{0/292}{4} =$  جریان برگشتی به هر قسمت در شرایط بده متوسط طراحی

مترمکعب بر ثانیه  $0/33 = \frac{1/321}{4} =$  جریان ورودی به هر قسمت در شرایط بده حداکثر لحظه ای

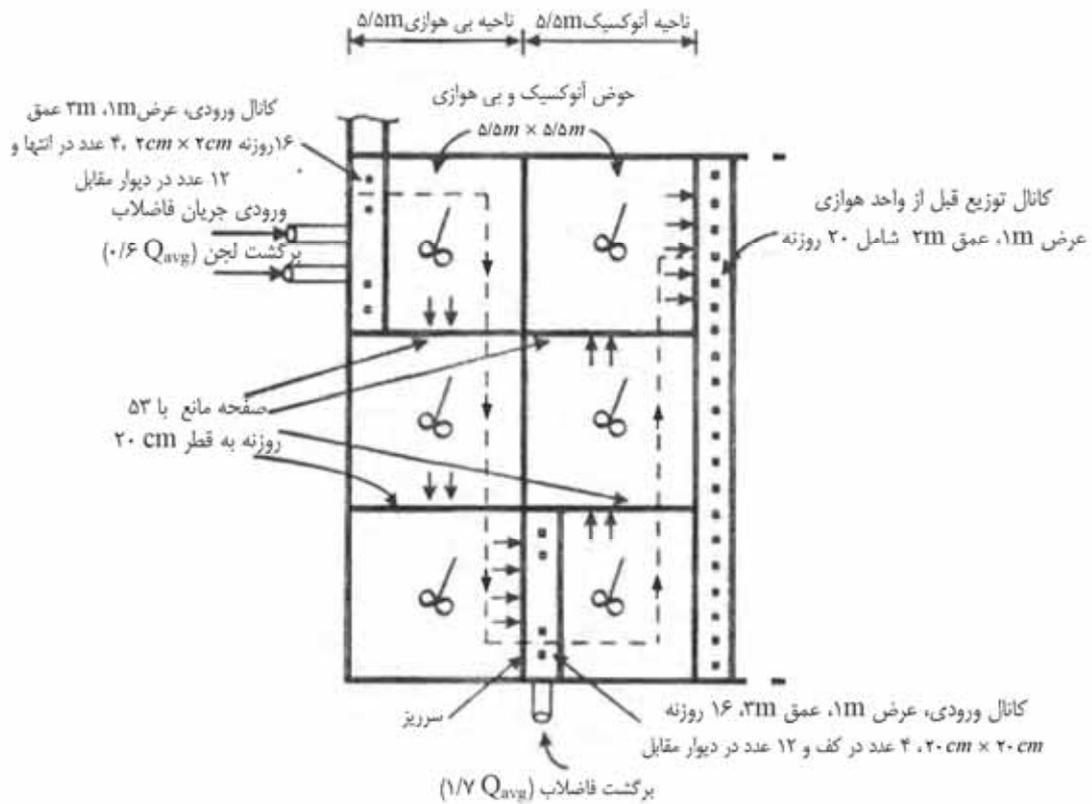
مترمکعب بر ثانیه  $0/195 = 0/122 + 0/073 =$  جریان ورودی به هر قسمت در شرایط بده طراحی متوسط

مترمکعب بر ثانیه  $0/403 = 0/33 + 0/073 =$  جریان ورودی در شرایط بده طراحی حداکثر لحظه ای



شکل پ-۱۴ - جانمایی قسمتهای مختلف واحد تصفیه زیستی فاضلاب به روش لجن فعال (BNR)





شکل الف-۱۵- مسیر جریان در طول واحد بی‌هوایی و واحد بی‌اکسل

در این مثال کانال ورودی ۱ متر عرض دارد و برای جریان متوسط، عمق ۳ متر در نظر گرفته می‌شود. افت ارتفاع در کانال ورودی کوچک است ولی در روزنه‌های تخلیه، افت ارتفاع زیادی بوجود می‌آید.

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = 0.12 = \frac{0.195}{16} = \text{بده تخلیه از هر روزنه در شرایط طراحی متوسط}$$

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = 0.25 = \frac{0.403}{16} = \text{بده تخلیه از هر روزنه در شرایط جریان طراحی حداکثر لحظه‌ای}$$

افت ارتفاع ناشی از روزنه تخلیه از رابطه (الف-۵) محاسبه می‌شود. اگر هر کدام از روزنه‌های تخلیه دارای ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر باشند و  $C_d = 0.61$  انتخاب شود، افت ارتفاع در شرایط جریان طراحی متوسط و حداکثر لحظه‌ای برابر است با:

$$\Delta Z_{avg} = \left[ \frac{0.12}{0.61 \times 0.2 \times 0.2 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \right]^2 = 0.1 \text{ متر}$$

$$\Delta Z_{max} = \left[ \frac{0.25}{0.61 \times 0.2 \times 0.2 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \right]^2 = 0.5 \text{ متر}$$



برای تقسیم حوض به سه قسمت دو صفحه مانع در نظر گرفته می‌شود. اگر هر صفحه مانع ۵۳ روزنه (شکل الف-۱۵) داشته باشد و قطر هر روزنه ۲۰ سانتی‌متر باشد، افت ارتفاع در هر صفحه مانع در شرایط جریان طراحی متوسط و حداکثر لحظه‌ای از رابطه (الف-۵) برابر است با:

$$\Delta Z_{avg} = \left[ \frac{0.195}{0.61 \times \frac{\pi}{4} \times (0.20)^2 \times 53 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^2 = 0.002 \approx 0.0 \text{ متر}$$

$$\Delta Z_{max} = \left[ \frac{0.403}{0.61 \times \frac{\pi}{4} \times (0.20)^2 \times 53 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^2 = 0.008 \approx 0.01 \text{ متر}$$

ارتفاع روی سرریز در شرایط جریان طراحی متوسط و حداکثر لحظه‌ای از رابطه (۶-۱) بدون جمع شدگی آب عبوری از سرریز محاسبه می‌شود:

$$0.195 = \frac{2}{3} \times 0.6 \times 5/5 \text{ m} \times \sqrt{2 \times 9/81} \times (H_{avg})^{5/2} \Rightarrow H_{avg} = 0.07 \text{ متر}$$

$$0.403 = \frac{2}{3} \times 0.6 \times 5/5 \text{ m} \times \sqrt{2 \times 9/81} \times (H_{max})^{5/2} \Rightarrow H_{max} = 0.12 \text{ متر}$$

یک ریزش آزاد ۰/۱۵ متر در جریان متوسط در نظر می‌گیریم.

## گام ۲: واحد بی اکسل<sup>۱</sup>

حوض بی اکسل از سازه ورودی، صفحات مانع میانی و سرریز خروجی تشکیل شده است. سازه ورودی شامل یک کانال در طول کناری آخرین حوض بی هوازی می‌باشد. جریان سرریز از حوض بی هوازی و فاضلاب برگشتی به داخل این آبرو، وارد می‌شود.

## الف) جریان ورودی به حوضهای بی اکسل

عمق آب در همه حوضها در شرایط جریان طراحی متوسط (یعنی مجموع بده متوسط و لجن برگشتی) تنظیم شده است و هیدرولیک سامانه برای جریان طراحی حداکثر لحظه‌ای کنترل می‌شود. ابعاد و مسیر جریان در شکل (الف-۱۵) نشان داده شده است. از قسمت فرآیند نسبت بین بده برگشتی و بده متوسط برابر ۱/۷ بدست آمده است.

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } = 0.122 + 0.073 + 1/7 \times 0.122 = 0.142 \text{ مترمکعب بر ثانیه}$$

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } = 0.161 + 0.073 + 1/7 \times 0.122 = 0.233 \text{ مترمکعب بر ثانیه}$$

### ب) افت ارتفاع ناشی از سازه ورودی

کانال ورودی دارای ۴ روزنه در انتها و ۱۲ روزنه در دیوار مقابل (همانند سازه ورودی حوض بی هوازی) می‌باشد. این روزنه‌ها دارای ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر می‌باشند. افت ارتفاع در هر یک از روزنه‌ها در بده متوسط و بده حداکثر لحظه‌ای برابر است با:

$$\Delta Z_{avg} = \left[ \frac{0.402/16}{0.61 \times 0.20 \times 0.20 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^2 = 0.05 \text{ متر}$$

$$\Delta Z_{max} = \left[ \frac{0.610/16}{0.61 \times 0.20 \times 0.20 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^2 = 0.12 \text{ متر}$$

### ج) افت ارتفاع در هر یک از صفحات مانع (کلاً دو صفحه)

صفحات مانع را همانند حوضهای بی هوازی در نظر گرفته و افت ارتفاع در هر صفحه مانع در شرایط جریان طراحی متوسط و حداکثر لحظه‌ای از رابطه روزنه محاسبه می‌شود:

$$\Delta Z_{avg} = \left[ \frac{0.402/16}{0.61 \times \frac{\pi}{4} \times (0.20)^2 \times 53 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^2 = 0.01 \text{ متر}$$

$$\Delta Z_{max} = \left[ \frac{0.610/16}{0.61 \times \frac{\pi}{4} \times (0.20)^2 \times 53 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^2 = 0.02 \text{ متر}$$

### د) ارتفاع روی سرریز خروجی در سومین حوض بی اکسل

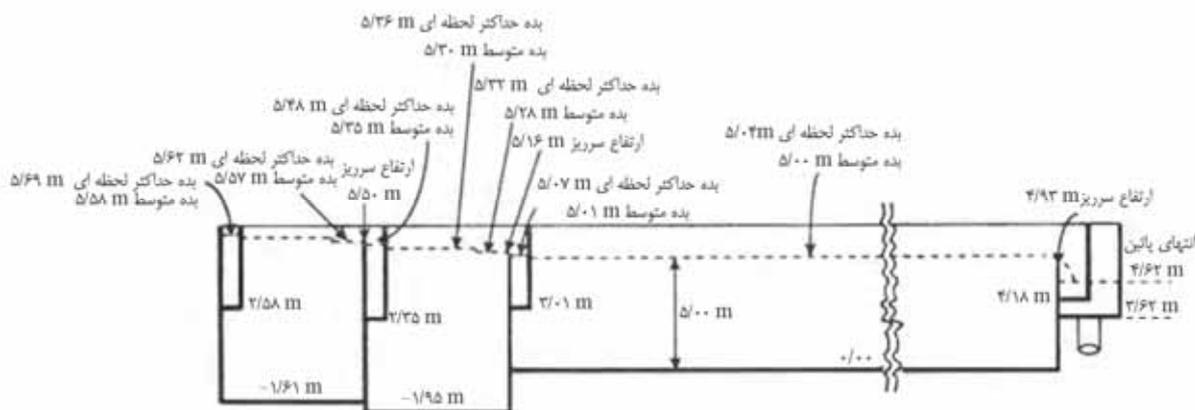
ارتفاع روی سرریز خروجی در جریانهای طراحی متوسط و حداکثر لحظه‌ای از رابطه سرریز محاسبه می‌شود:

$$0.402 \frac{m^3}{s} = \frac{2}{3} \times 0.6 \times 5/5 m \times \sqrt{2 \times 9/81} \frac{m}{s^2} \times H_{avg}^{\frac{3}{2}} \Rightarrow H_{avg} = 0.12 \text{ متر}$$

$$0.610 \frac{m^3}{s} = \frac{2}{3} \times 0.6 \times 5/5 m \times \sqrt{2 \times 9/81} \frac{m}{s^2} \times H_{max}^{\frac{3}{2}} \Rightarrow H_{max} = 0.16 \text{ متر}$$

یک ریزش آزاد ۰/۱۵ متر در جریان متوسط در نظر گرفته می‌شود. در شکل (الف-۱۶) نیمرخ سطح آب در واحد بی هوازی و بی اکسل براساس مقادیر افت ارتفاع محاسبه شده در شرایط بده متوسط و بده حداکثر لحظه‌ای رسم شده است.





شکل الف-۱۶- نیمرخ سطح آب در واحدهای بی‌هوایی، بی‌اکسل و هوایی

## الف ۶- حوض هوادهی (بخش ۱۲)

### فرضیات

- ابعاد نهایی بدست آمده برای حوض هوادهی از قسمت فرآیند بصورت زیر می باشد:

- طول : ۳۴ متر

- پهنا : ۱۷ متر

- عمق : ۵ متر

- ارتفاع آزاد : ۰/۸ متر

- سازه ورودی شامل یک کانال مستطیلی است که در امتداد تمام عرض حوض هوادهی ساخته می‌شود. این کانال دارای عرض ۱ متر می‌باشد و عمق آب در آن در بده متوسط ۲ متر است. جریان ورودی از روی سرریز خروجی سومین حوض بی‌اکسل از یک سمت حوض به داخل کانال ریزش کرده و به سوی انتهای دیگر حوض جریان می‌یابد (شکل الف-۱۷). این کانال مستطیلی دارای ۲۰ روزنه مستغرق، هر کدام با ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در امتداد کف کانال، جهت توزیع یکنواخت جریان خروجی به حوض هوادهی می‌باشد.

(حل)

### گام ۱: سازه ورودی

عمق آب در حوض هوادهی برای شرایط بده متوسط طراحی و هیدرولیک سامانه برای شرایط بده حداکثر لحظه‌ای، کنترل می‌گردد. جریان ورودی به حوض هوادهی، فاضلاب نیترات زدایی شده‌ای است که از حوض بی‌اکسل تخلیه می‌گردد.

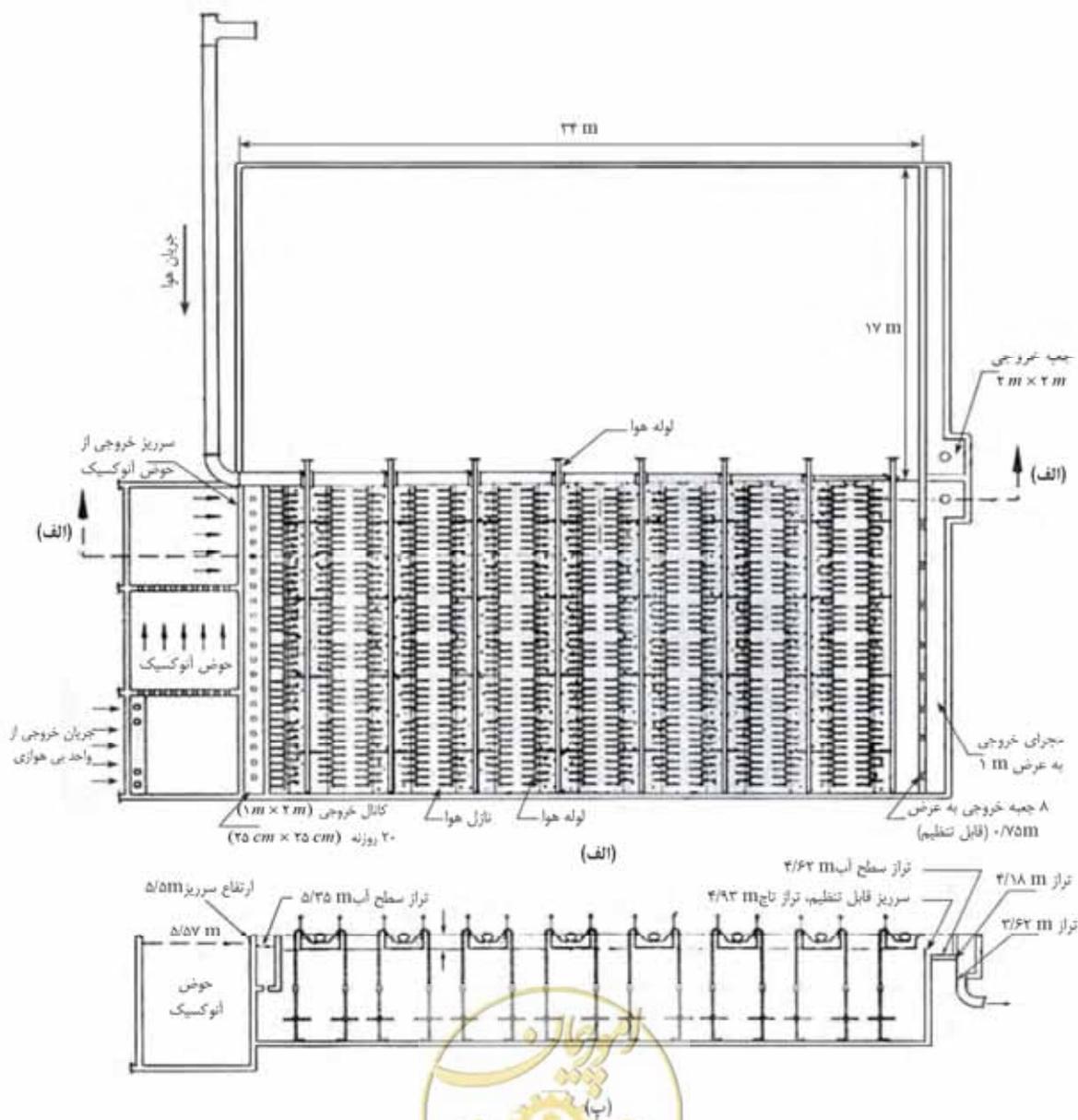
مترمکعب بر ثانیه  $0/402 =$  جریان ورودی در شرایط طراحی متوسط

مترمکعب بر ثانیه  $0/610 =$  جریان ورودی در شرایط طراحی حداکثر لحظه ای

برای محاسبه افت ارتفاع در شرایط بده متوسط و حداکثر لحظه‌ای از رابطه روزنه (الف-۵) استفاده می‌شود:

$$\Delta Z_{avg} = \left[ \frac{0.402}{0.61 \times 0.25 \times 0.25 \times 20 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \right]^2 = 0.01 \text{ متر}$$

$$\Delta Z_{max} = \left[ \frac{0.610}{0.61 \times 0.25 \times 0.25 \times 20 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \right]^2 = 0.03 \text{ متر}$$



شکل الف-۱۷- حوض هوازی مورد استفاده در سامانه BNR، (الف) تصویر افقی، (ب) برش الف - الف

## گام ۲: سازه خروجی

سازه خروجی شامل جعبه‌های سرریز خروجی، یک مجرای خروجی<sup>۱</sup> به عرض ۱ متر، یک جعبه خروجی به ابعاد ۲×۲ متر و یک لوله خروجی تحت فشار به قطر ۱ متر می‌باشد. هشت عدد سرریز به داخل هر جعبه خروجی در نظر گرفته می‌شود که هر کدام یک سرریز مستطیلی، قابل تنظیم با طول ۰/۷۵ متر داشته باشد. در هر جعبه سرریز اگر یک ارتفاع حداقل روی سرریز در شرایط جریان اولیه، مد نظر باشد، یک دریچه قطع جریان جهت انعطاف پذیری سامانه در بستن برخی ورودیها در نظر گرفته می‌شود.

## الف) بده عبوری از سازه خروجی

با توجه به اینکه جریان برگشتی از حوض هوادهی گرفته می‌شود، بده عبوری از سرریز خروجی شامل جریان برگشتی نمی‌شود:

مترمکعب بر ثانیه ۰/۱۹۵ = بده عبوری از سرریز تحت شرایط جریان طراحی متوسط

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } 0.024 = \frac{0.195 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8} = \text{بده در هر سرریز تحت شرایط جریان طراحی متوسط}$$

مترمکعب بر ثانیه ۰/۴۰۳ = بده عبوری از هر سرریز تحت شرایط جریان طراحی حداکثر لحظه ای

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } 0.05 = \frac{0.403 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8} = \text{بده در هر سرریز تحت شرایط جریان طراحی حداکثر لحظه ای}$$

ارتفاع عبوری از سرریز در شرایط بده متوسط و بده حداکثر لحظه‌ای محاسبه می‌گردد. برای این منظور رابطه (۳-۶) و روش سعی و خطا بکار برده می‌شود:

$$\text{فرض } L' = 0.74 \text{ m} \Rightarrow \Delta Z_{\text{avg}} = \left[ \frac{3}{2} \times \frac{0.024}{0.6 \times 0.74 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^{\frac{2}{3}} = 0.07 \text{ متر}$$

$$L' = 0.75 \text{ m} - 0.2 \times 0.07 \text{ m} = 0.74 \text{ متر}$$

$$\text{فرض } L' = 0.73 \text{ m} \Rightarrow \Delta Z_{\text{max}} = \left[ \frac{3}{2} \times \frac{0.05}{0.6 \times 0.73 \times \sqrt{2 \times 9/81}} \right]^{\frac{2}{3}} = 0.11 \text{ متر}$$

$$L' = 0.75 \text{ m} - 0.2 \times 0.11 \text{ m} = 0.73 \text{ متر}$$

در صورتی که مقدار بدست آمده برای  $L'$  با مقدار فرض شده یکسان نبود، با  $L'$  محاسبه شده محاسبات فوق تکرار می‌شود تا مقدار بدست آمده با مقدار فرض شده برابر گردد.



## ب) مجرای خروجی

برای محاسبه نیمرخ سطح آب در مجرای خروجی می‌توان از روشهای ارائه شده در فصل چهارم استفاده نمود. در این مثال از رابطه (۴-۲۸) استفاده می‌شود:

$$\text{متر } L = 17 - 2 = 15 \text{ (الف-۱۵) شکل}$$

$$\text{(بدون ریزش مستغرق) متر } y_c = 0.26 \Rightarrow y_p = 0.44 \text{ m (فرض)}$$

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } Q = 0.403 = \text{بده حداکثر از هشت جعبه سرریز}$$

$$\text{متر } b = 1$$

$$y_1 = \sqrt{0.44^2 + \frac{2 \times (0.403)^2}{9.81 \times 1 \times 0.44}} = 0.52 \text{ متر}$$

با در نظر گیری ۱۶ درصد اضافه (۱۲ درصد افتهای اصطکاکی و ۴ درصد جهت اطمینان بیشتر) و ۰/۱۵ متر برای ارتفاع ریزش آزاد، خواهیم داشت:

$$\text{متر } 0.75 = 0.52 \times 1.16 + 0.15 = \text{عمق کل مجرای خروجی}$$

## ج) جریان در جعبه و لوله خروجی

جعبه خروجی با ابعاد ۲×۲ متر می‌باشد و لوله خروجی دارای قطر ۱ متر است. سطح آب در جعبه خروجی به افت ارتفاع کل در لوله خروجی و سطح آزاد آب در ته نشینی ثانویه بستگی دارد. شرایطی را انتخاب کنید که در آن عمق مایع در جعبه خروجی در شرایط بده حداکثر لحظه‌ای، ۱ متر باشد:

$$\text{متر بر ثانیه } 0.51 = \frac{0.403}{\frac{1}{4} \times (1)^2} = \text{سرعت در لوله خروجی}$$

در شکل (الف-۱۶) نیمرخ سطح آب در سامانه BNR در شرایط بده متوسط و بده حداکثر لحظه‌ای رسم شده است.

## الف ۷- ته نشینی ثانویه (بخش ۱۲)

### فرضیات

- چهار حوض ته‌نشینی ثانویه دایره شکل که هر یک دارای سامانه بهره‌برداری مستقل از همدیگر در ارتباط با حوضهای هوادهی هستند. جانمایی کلی حوضهای ته‌نشینی در شکل (الف-۱۴) و ابعاد در نظر گرفته شده برای هر حوض در جدول (الف-۲) آورده شده است.



- حوضهای ته‌نشینی ثانویه برای شرایط بده متوسط طراحی و برای شرایط بده حداکثر کنترل می‌شوند. بده طراحی سازه خروجی برابر بده ورودی به حوض منتهای بده لجن خروجی از کف است.
- بار سطحی در بده متوسط و حداکثر لحظه‌ای طراحی نباید به ترتیب از ۱۵ و ۳۵ مترمکعب بر مترمربع بر روز تجاوز کند. بار سرریز نیز در بده متوسط از ۱۲۴ مترمکعب بر مترمربع بر روز و در بده حداکثر لحظه‌ای از ۳۷۲ مترمکعب بر مترمربع بر روز کمتر باشد.

## جدول الف-۲- جزئیات محاسبات طراحی ته‌نشینی ثانویه

متغیر	مقدار محاسبه شده	
تعداد حوض	۵	
مساحت سطح برای هر زلال ساز	۱۳۰۱ مترمربع	
قطر	۴۰/۷ متر	
عمق آب	۴/۵ متر	
ارتفاع آزاد	۰/۵ متر	
بده متوسط به اضافه بده برگشت لجن	۰/۱۹۲ مترمکعب بر ثانیه	
بده حداکثر لحظه‌ای به اضافه بده برگشت لجن	۰/۴۰۳ مترمکعب بر ثانیه	
زمان ماند	بده متوسط	۸/۵ ساعت
	بده حداکثر لحظه‌ای	۴/۰ ساعت
بار سطحی	بده متوسط	۱۲/۸ مترمکعب بر مترمربع بر روز
	بده حداکثر لحظه‌ای	۲۶/۸ مترمکعب بر مترمربع بر روز
شار جرمی مواد جامد	بده متوسط	۴۷/۸ کیلوگرم بر مترمربع بر روز
	بده حداکثر لحظه‌ای	۱۰۰/۴ کیلوگرم بر مترمربع بر روز

(حل)

### گام ۱: سازه ورودی

سازه ورودی شامل یک چاهک تغذیه مرکزی می‌باشد. یک لوله ورودی در وسط زلال ساز تعبیه شده است که فاضلاب را به درون چاهک تغذیه مرکزی تخلیه می‌کند. جریان ورودی از زیر صفحه مانع عبور کرده و سپس به طور یکنواخت درون حوض توزیع می‌شود.



## گام ۲: سازه خروجی

سازه خروجی شامل صفحه مانع خروجی، شکافهای سرریز، مجرای خروجی، جعبه خروجی و یک لوله خروجی تحت فشار می‌باشد. جزئیات سازه خروجی در شکل (الف-۱۸-۵) نشان داده شده است.

### الف) ارتفاع روی سرریز

طراحی انواع سرریزهای خروجی در حوضهای دایره‌ای مشابه با حوضهای ته‌نشینی مستطیلی است که در بخش (الف-۴) بطور کامل ارائه شده است. در این مثال از سرریز با شکافهای V- شکل با زاویه راس ۹۰ درجه استفاده می‌شود که در یک سمت مجرای خروجی تعبیه شده اند. اگر عرض مجرای خروجی را ۰/۵ متر در نظر بگیریم، طول صفحه سرریز برابر خواهد بود با:

$$\text{متر } ۱۲۴/۷ = \pi \times (۴۰/۷ - ۲ \times ۰/۵)$$

اگر ارتفاع شکافهای V- شکل ۸ سانتی‌متر و با فواصل مرکز به مرکز ۳۹/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شوند، داریم:

$$\text{تعداد کل شکافهای V-شکل} = \frac{۱۲۴/۷ \text{ m}}{۳۹/۵ \frac{\text{cm}}{\text{notch}} \times \left(۱۰۰ \frac{\text{cm}}{\text{m}}\right)^{-۱}} = ۳۱۶$$

به این ترتیب برای بده متوسط داریم:

MLSS زائد- بده متوسط ورودی به هر حوض هوادهی = بده متوسط طراحی ته نشینی ثانویه

$$= ۰/۴۸۶ \frac{\text{m}^۳}{\text{s}} - \left[ ۷۵/۲ \frac{\text{m}^۳}{\text{d}} \times \left( ۸۶۴۰۰ \frac{\text{s}}{\text{d}} \right)^{-۱} \right] = ۰/۴۷۷ \text{ مترمکعب بر ثانیه}$$

جریان خروجی از روی سرریز شامل لجن برگشتی نمی‌شود، زیرا از لجن برگشتی از ته زلال ساز برگردانده می‌شود.

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } ۰/۱۲ = \frac{۰/۴۷۷}{۴} = \text{بده متوسط هر زلال ساز}$$

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } ۰/۰۰۰۳۸ = \frac{۰/۱۲}{۳۱۶} = \text{بده از هر شکاف سرریز در بده متوسط}$$



ارتفاع روی هر شکاف سرریز از رابطه (۵-۶) محاسبه می‌شود:

$$H = \frac{۱۵}{۸} \left( \frac{۰/۰۰۰۳۸}{۰/۶ \times \sqrt{۲ \times ۹/۸۱ \times \tan ۴۵^\circ}} \right)^{۲/۵} \Rightarrow ۰/۰۳۷ \text{ متر} = ۳/۷ \text{ سانتی‌متر} \approx ۴ \text{ سانتی‌متر}$$

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } 0.00105 = \frac{1/321}{316 \text{ شکاف} \times 4 \text{ حوض}} = \text{مترمکعب بر ثانیه هر شکاف V- شکل در بده حداکثر لحظه‌ای}$$

$$\text{ارتفاع روی شکاف V- شکل} = H = \left[ \frac{0.00105}{\frac{8}{15} \times 0.16 \times \sqrt{2 \times 9/81} \times \tan 45^\circ} \right]^{2/5} = 0.056 \text{ متر} = 5/6 \text{ سانتی‌متر} \approx 6 \text{ سانتی‌متر}$$

$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر روز} = \frac{0.12 \text{ m}^3 / \text{s} \times 86400 \text{ s/d}}{124/7 \text{ m}} = 83/1$$

$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر روز} = \frac{1/321 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 86400 \frac{\text{s}}{\text{d}}}{4 \times 124/7 \text{ m}} = 229$$

### ب) عمق جریان در مجرای خروجی

ابعاد جعبه خروجی را ۲×۲ متر انتخاب می‌کنیم. لوله تحت فشار خروجی را با قطر ۰/۸ متر در نظر بگیرید. این لوله یک سیفون معکوس مرتبط با یک جعبه اتصال مشترک می‌باشد. ارتفاع سطح آب در جعبه اتصال در حدی نگه داشته شده است که عمق جریان در جعبه خروجی در بده حداکثر لحظه‌ای طراحی به میزان ۰/۶۱ متر باشد (بسته به ارتفاع خروجی از لوله و افتها در مسیر لوله). ارتفاع کف مجرای خروجی را ۰/۳ متر بالاتر از کف جعبه خروجی در نظر بگیرید.

$$\text{متر } 0.31 = 0.61 - 0.3 = \text{ارتفاع کف مجرای خروجی از کف جعبه خروجی - عمق آب در جعبه خروجی } y_2$$

عرض مجرای خروجی را ۰/۵ متر در نظر می‌گیریم:

$$\text{متر } b = 0.5$$

نصف بده به هر مجرای خروجی وارد می‌شود. لذا جریان در هر کناره مجرا خروجی (رابطه ۴-۲۸) برابر است با:

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } 0.17 = \frac{1/321 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4 \text{ عدد حوض} \times 2} = \text{جریان در هر کناره مجرای خروجی}$$

$$\text{متر } y_1 = \sqrt{(0.31)^2 + \frac{2 \times (0.17)^2}{9/81 \times (0.5)^2 \times 0.31}} = 0.42$$

با در نظر گیری ۱۶ درصد جهت افت اصطکاکی، تلاطم و خمیدگیها و ۳۱ سانتی‌متر عمق اضافی جهت اطمینان از ریزش

آزاد خواهیم داشت:

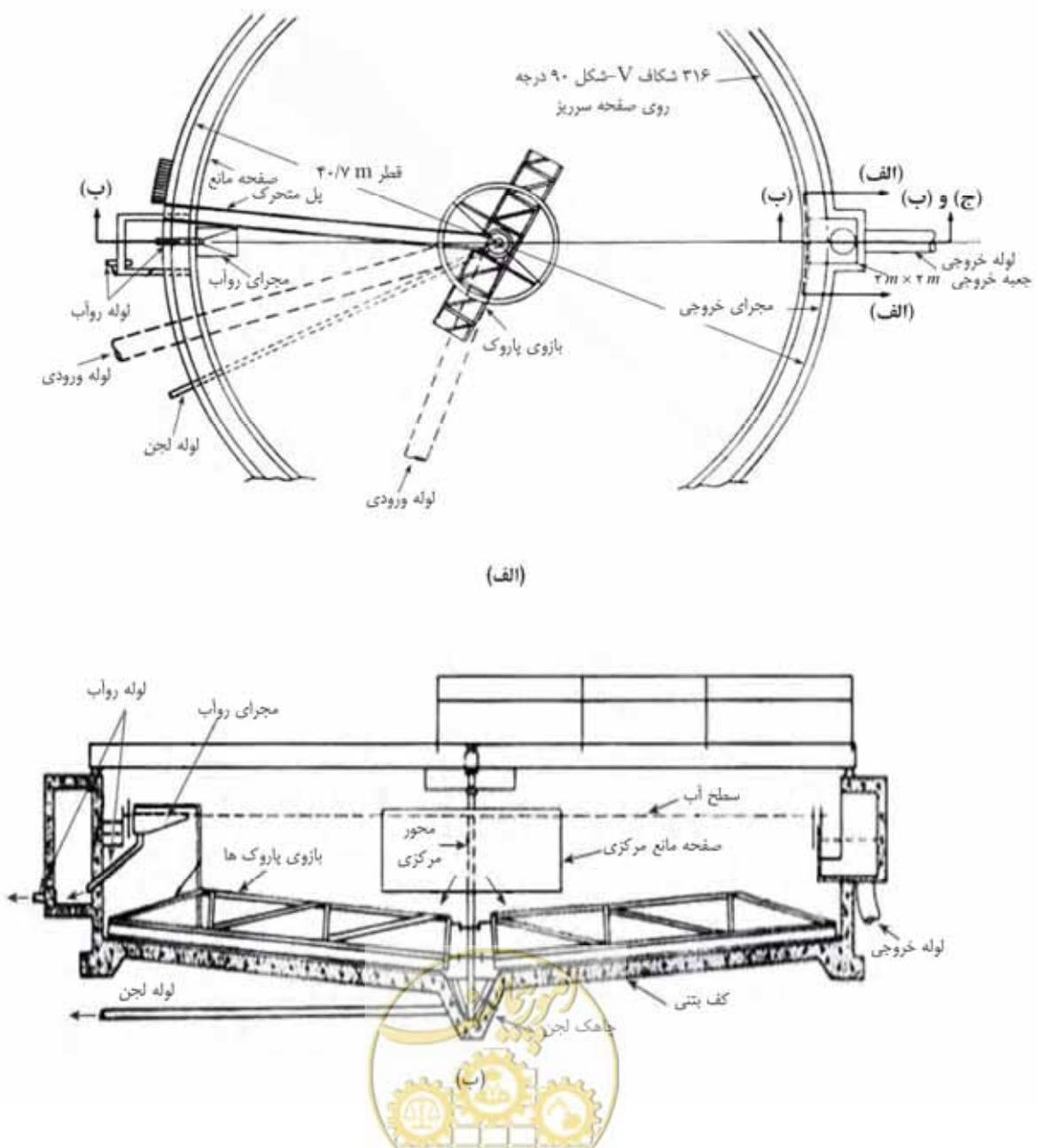
$$\text{متر } 0.80 = 0.42 \times 1/16 + 0.31 = \text{عمق کل مجرای خروجی}$$



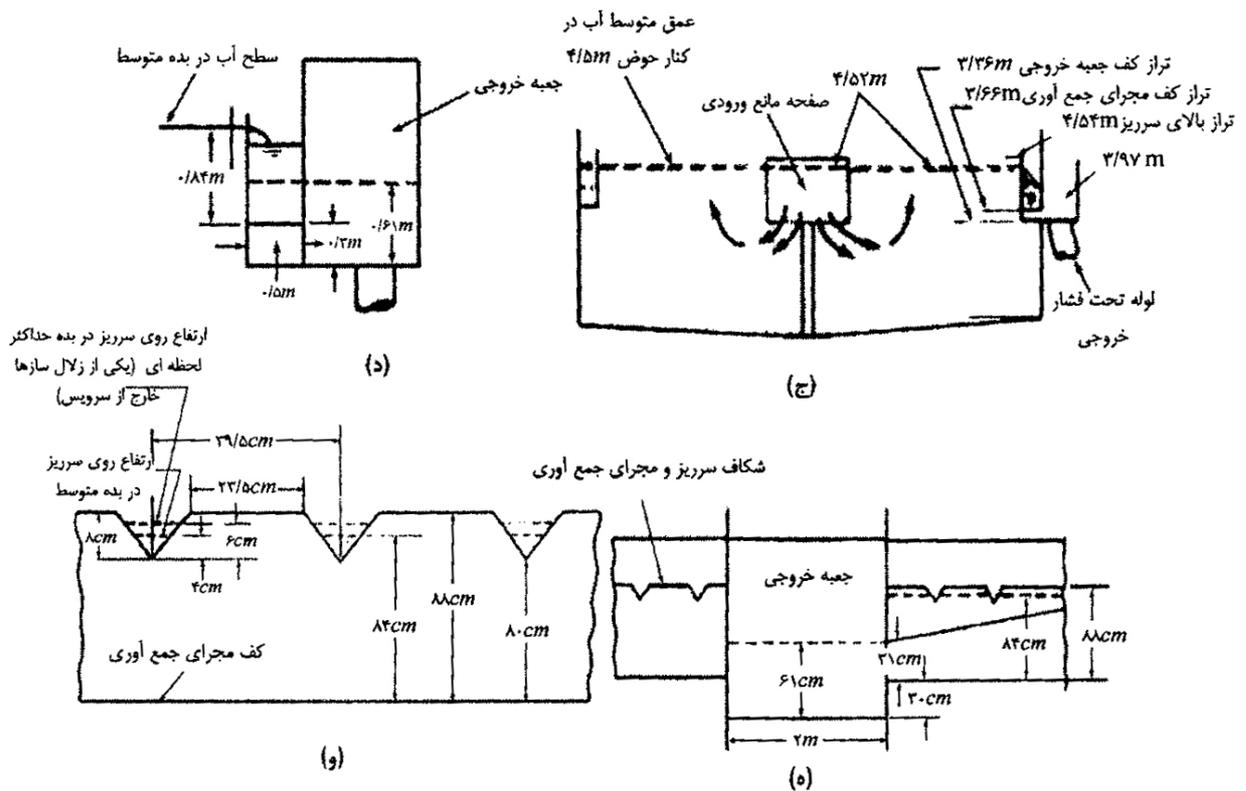
ارتفاع سطح آب در حوض ته نشینی ثانویه در بده متوسط طراحی متر  $0.84 = 0.10 + 0.04$  بالاتر از کف مجرای خروجی ننگه داشته می شود. جزئیات سازه خروجی در شکل (الف-۱۸-ه) نشان داده شده است.

#### گام ۴: نیمرخ هیدرولیکی

نیمرخ هیدرولیکی در حوض ته نشینی ثانویه در شکل (الف-۱۸-ب) نشان داده شده است. این نیمرخ برای بده حداکثر لحظه ای طراحی به اضافه جریان برگشتی تهیه شده است. افت ارتفاع در سازه ورودی کوچک است زیرا صفحات مانع موجود در چاهک مرکزی ممانعت اندکی در مقابل جریان ایجاد می کند.



شکل الف-۱۸- حوض ته نشینی ثانویه، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع ج - ج



ادامه شکل الف-۱۸، (ج) جزئیات سازه ورودی، (د) مقطع ب-ب، (ه) مقطع الف-الف، (و) شکافهای V- شکل بر روی سرریز به همراه جزئیات سازه خروجی

## الف ۸- برکه های زیستی

### راهنمایی

- پنج برکه موازی به عمق ۲ متر که هر یک دارای سامانه بهره برداری مستقل از همدیگر هستند و به کمک مجاری ارتباطی با هم ارتباط دارند. جانمایی و ابعاد قسمتهای مختلف در شکل (الف-۱۹) نشان داده شده است.
- قطر مجاری ارتباطی جعبه تقسیم و ورودی هر برکه لوله چدنی صاف ( $C_H=110$ ) به قطر ۶۰۰ میلی متر می باشد.
- کانال جمع آوری خروجی مقطع مستطیلی به عرض ۱/۵ متر و شیب کف ۰/۰۰۱ از جنس بتن ( $n=0.014$ ) می باشد.

(حل)

### گام ۱: تعیین افت ارتفاع در سازه ورودی

سازه ورودی متشکل از جعبه تقسیم با پنج انشعاب، خط انتقال و دهانه تخلیه به حوض می باشد. با توجه به همانندی برکه های تثبیت در این مثال، لازم است بده ورودی به هر انشعاب یکسان باشد. بنابراین محاسبات برای مسیری که حداکثر افت ارتفاع در آن روی می دهد (مسیر ABC در شکل الف-۱۹) انجام می شود (بده ورودی به سایر انشعابات به کمک شیر کشویی تنظیم می گردد).

$$\text{مترمکعب بر ثانیه } Q_1 = \frac{Q}{5} = \frac{1/321}{5} = 0/264 = \text{مترمکعب بر ثانیه}$$

$$\text{متر } = 0/47 = \left(0/264^{1/85}\right) \times \left(0/6^{-4/86}\right) \times \left(110^{-1/85}\right) \times (250 + 10) \times 10/67 = \text{افت ارتفاع اصطکاکی در طول ABC (رابطه ۴-۶)}$$

$$\text{متر بر ثانیه } V = \frac{Q_1}{A} = \frac{0/264}{\frac{\pi \times 0/600^2}{4}} = 0/93 = \text{سرعت متوسط}$$

$$\text{متر } = 0/08 = 1/8 \times \frac{0/93^2}{2 \times 9/81} = \text{افت ارتفاع موضعی در جعبه تقسیم (K= ۱/۸) (رابطه ۴-۷)}$$

$$\text{متر } = 0/02 = 0/4 \times \frac{0/93^2}{2 \times 9/81} = \text{افت ارتفاع موضعی در زانوی B (K= ۰/۴) (رابطه ۴-۷)}$$

$$\text{متر } = 0/04 = 1/0 \times \frac{0/93^2}{2 \times 9/81} = \text{افت ارتفاع موضعی در خروجی C (K= ۱) (رابطه ۴-۷)}$$

$$\text{متر } = 0/۶۱ = 0/۴۷ + 0/۰۸ + 0/۰۲ + 0/۰۴ = \text{مجموع افت ارتفاع}$$

## گام ۲: سازه خروجی

سازه خروجی از سرریز و کانال جمع‌آوری تشکیل شده است.

## الف- ارتفاع ریزش سرریز

در این مثال برای خروج جریان در انتهای هر حوض سرریز لبه تیز مستطیلی با طول ۲ متر در نظر گرفته می‌شود. برای بدست آوردن ارتفاع جریان روی آن از رابطه (۳-۶) داریم:

$$Q = \frac{2}{3} C_c (L - 0/2H) \sqrt{2gH} H^{3/2} \Rightarrow 0/264 = \frac{2}{3} \times 0/611 \times (2 - 0/2H) \sqrt{2 \times 9/81} \times H^{3/2} \Rightarrow H = 0/18 \text{ متر}$$

در این مثال ارتفاع ریزش پس از سرریز ۰/۳۰ متر (اختلاف بین سطح آب در برکه (شماره ۱) و کانال جمع‌آوری) در نظر گرفته می‌شود. این ارتفاع در جهت اطمینان و جلوگیری از پس زدگی جریان پایین‌دست منظور شده است و در شرایط محدودیت شیب می‌توان از مقادیر کمتر (تا حداقل ۰/۱۸ متر) نیز استفاده نمود.

## ب- کانال جمع‌آوری

محاسبات مربوط به کانال جمع‌آوری بر مبنای جریان یکنواخت و با استفاده از رابطه مانینگ (رابطه ۴-۱۰) انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه در طول مسیر کانال در پنج نقطه دبی جریان افزایش می‌یابد، در قسمتهای کوچکی از طول کانال جریان از نوع متغیر مکانی با افزایش دبی خواهد بود که با توجه به طول کم آن در مقایسه با طول کانال، از آن صرف‌نظر می‌گردد.

$$Q = \frac{1}{n} AR \frac{2}{3} S^{1/2} \Rightarrow R = \frac{(2y)^{1/33}}{(2+2y)^{0/33}} = \frac{0/014 \times Q}{\sqrt{0/001}} = 0/443Q$$

متر ۰/۱۲ = عمق در قسمت اول (مترمکعب بر ثانیه ۰/۲۶۴ = Q)

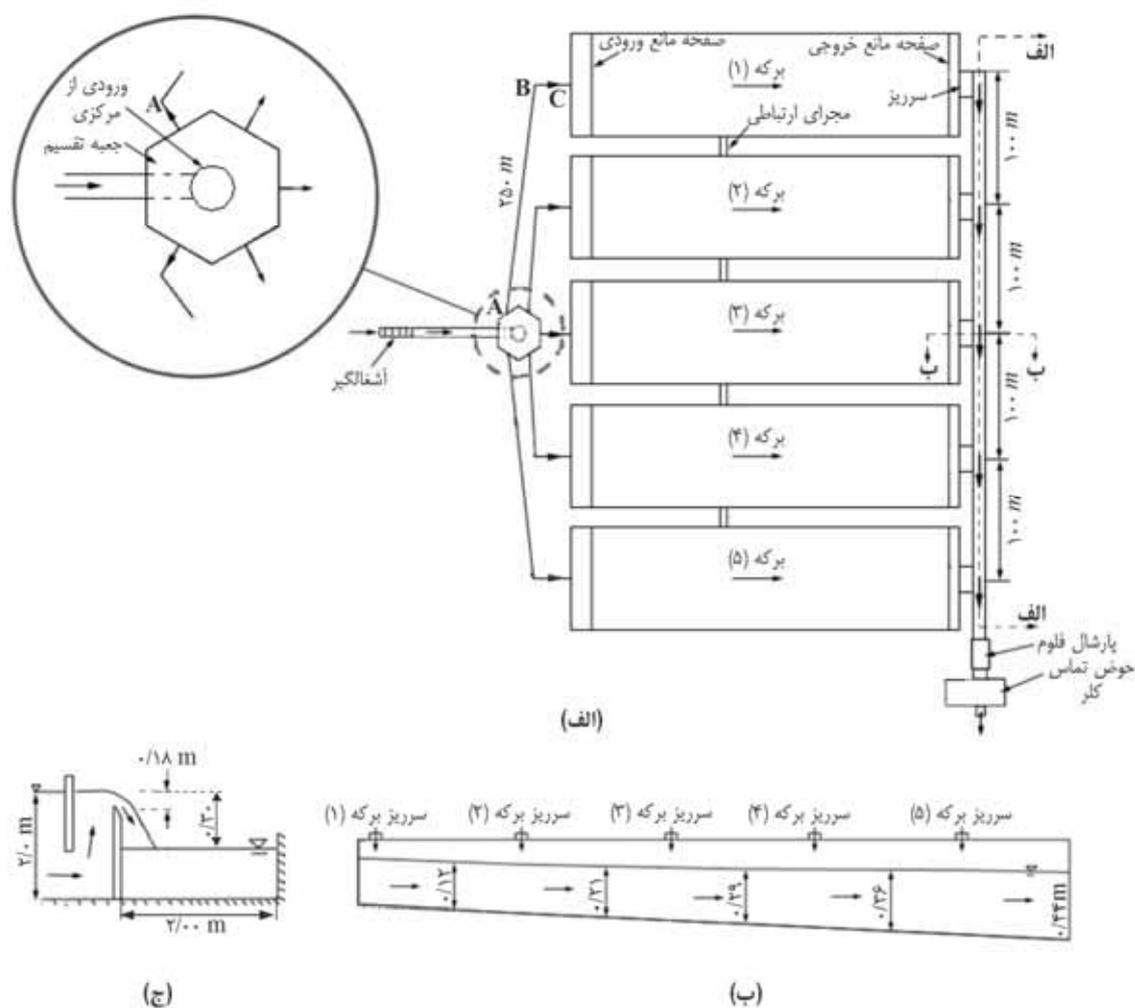
متر ۰/۲۱ = عمق در قسمت دوم (مترمکعب بر ثانیه ۰/۵۲۸ = Q = ۲ × ۰/۲۶۴)

متر ۰/۲۹ = عمق در قسمت سوم (مترمکعب بر ثانیه ۰/۷۹۲ = Q = ۳ × ۰/۲۶۴)

متر ۰/۳۶ = عمق در قسمت چهارم (مترمکعب بر ثانیه ۱/۰۵۶ = Q = ۴ × ۰/۲۶۴)

متر ۰/۴۴ = عمق در قسمت پنجم (مترمکعب بر ثانیه ۱/۳۲۱ = Q = ۵ × ۰/۲۶۴)

در شکل (الف-۱۹-ب) مقادیر مختلف افت ارتفاع محاسبه شده نشان داده شده است.



شکل الف-۱۹-ب - قسمتهای مختلف برکه تثبیت، (الف) تصویر افقی،

(ب) مقطع الف - الف، (ج) مقطع ب - ب



## الف ۹- واحد تغلیظ ثقلی لجن (بخش ۱۲)

### فرضیات

- دو حوض ته‌نشینی ثقلی در نظر بگیرید که مخلوط لجن ته‌نشینی اولیه و لجن ثانویه به آنها وارد می‌شود.
- مشخصات جریان ورودی در شرایط متوسط عبارتست از:
  - بده طراحی: ۸۸۶ مترمکعب بر روز
  - درصد جامدات موجود در لجن: ۱/۰۶ درصد
  - شار جامدات همراه فاضلاب: ۹۶۱۱ کیلوگرم بر روز
- مشخصات جریان ورودی در شرایط حداکثر لحظه‌ای عبارتست از:
  - بده طراحی: ۹۰۲ مترمکعب بر روز
  - درصد جامدات موجود در لجن: ۱/۰۹ درصد
  - شار جامدات همراه فاضلاب: ۱۰۲۰۱ کیلوگرم بر روز
- در این طراحی لازم است شار جامدات از ۴۷ کیلوگرم بر مترمربع بر روز کمتر و بار هیدرولیکی از ۹/۰ کیلوگرم بر مترمربع بر روز بیشتر باشد.

### حل

#### گام ۱: تعیین سطح مورد نیاز

سطح مورد نیاز بر مبنای حداکثر شار جامدات و حداقل بار هیدرولیکی تعیین می‌شود:

$$\text{مترمربع} = \frac{10201 \text{ kg/d}}{47 \text{ kg/m}^2 \text{ d}} = 217/0$$

سطح کل مورد نیاز بر مبنای شار جامدات ۴۷ کیلوگرم بر مترمربع بر روز

$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر روز} = \frac{\text{حجم لجن}}{\text{سطح}} = \frac{902 \text{ m}^3/\text{d}}{217/0 \text{ m}^2} = 4/16$$

بار هیدرولیکی مترمکعب بر مترمربع بر روز

مقدار بدست آمده از مقدار حدی توصیه شده برای بار هیدرولیکی در فرضیات مثال کمتر است. لذا نیاز است با افزودن آب به لجن آن تا حدی که شرایط بار هیدرولیکی ارضاء نماید، رقیق شود.

مترمکعب بر روز ۲۱۲۷ = مترمربع ۲۱۷/۰ × مترمکعب بر مترمربع بر روز ۹/۸ = بده کل (مجموع بده لجن با آب رقیق سازی)

مترمکعب ۹۰۲ = بده لجن

مترمکعب بر روز ۱۲۲۵ = ۲۱۲۷ - ۹۰۲ = بده آب ترقیق

$$\text{درصد جامدات موجود در مخلوط ورودی به حوض تغلیظ} = \frac{10201 \text{ kg/d}}{1/01 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 2127 \text{ m}^3/\text{d}} \times 100 = 0/48\%$$

گام ۲: ابعاد هندسی حوض تغلیظ

الف) محاسبه سطح مورد نیاز برای هر حوض تغلیظ

$$\Rightarrow \text{مترمربع } 10.8/5 = \frac{217}{2} = \text{سطح مورد نیاز برای هر حوض}$$

$$\text{متر } 11/75 = D = \sqrt{\frac{\pi}{4} \times 10.8/5} = \text{قطر هر حوض تغلیظ}$$

اگر قطر انتخابی ۱۲/۲ متر (۴۰ فوت) باشد، مجموع سطح دو حوض برابر ۲۳۳/۸ مترمربع خواهد بود که از حداقل بدست آمده در قسمت قبل بیشتر است.

ب) کنترل بار هیدرولیکی و شار جامدات

$$\text{کیلوگرم بر مترمربع بر روز } 43/7 = \frac{10201}{2 \times 116/9} = \text{شار جامدات وقتی هر دو حوض در حال کار هستند.}$$

$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر روز } 9/1 = \frac{2127}{2 \times 116/9} = \text{بار هیدرولیکی وقتی هر دو حوض در حال کار هستند.}$$

بده متوسط طراحی، وقتی تنها یکی از حوضها در مدار است:

$$\text{کیلوگرم بر مترمربع بر روز } 82/2 = \frac{9612}{116/9} = \text{شار جامدات}$$

$$\text{مترمکعب بر روز } 200.4 = \frac{2127}{10201} \times 9611 = \text{بده ورودی به حوض در شرایط بده متوسط}$$

$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر روز } 17/1 = \frac{200.4}{116/9} = \text{بار هیدرولیکی}$$

ج) عمق کناری حوض تغلیظ

همانطور که در شکل (الف-۲۰) مشخص شده، عمق حوض تغلیظ از ناحیه‌های زیر تشکیل شده است:

- ناحیه آب زلال
- ناحیه ته‌نشینی
- ناحیه تغلیظ لجن

مجموع مقادیر بدست آمده برای موارد بالا از قسمت فرآیند (ناحیه آب زلال ۱/۰ متر، ناحیه ته‌نشینی ۱/۹ متر و ناحیه تغلیظ ۱/۰ متر) برای این مثال ۳/۹ متر می‌باشد. با در نظر گیری ۰/۶ متر ارتفاع آزاد عمق کل بدست آمده برای کنار حوض تغلیظ در برابر ۴/۵ متر بدست می‌آید.

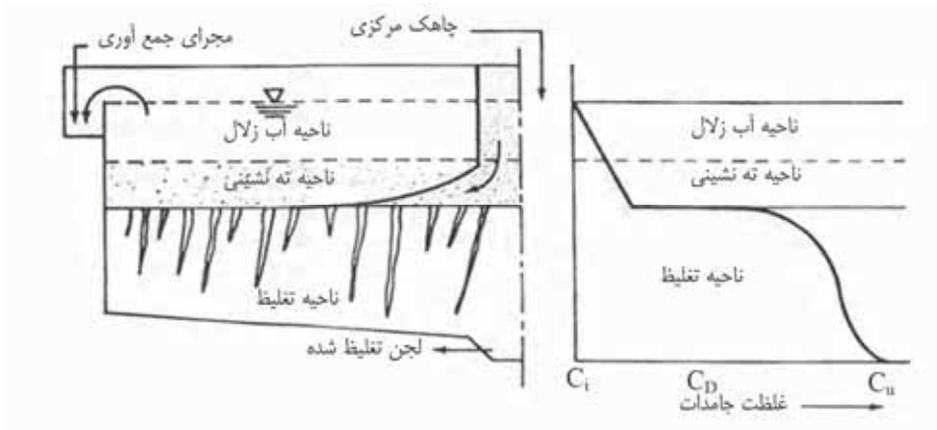


### د) عمق حوض تغلیظ در چاهک مرکزی

اگر برای تسهیل حرکت لجن ته نشین شده به سمت چاهک مرکزی، شیب کف حوض تغلیظ ۱۷ سانتی‌متر بر متر منظور شود:

$$\text{متر } ۱/۰ = \frac{۱۷}{۱۰۰} \times \frac{۱۲/۲}{۲}$$

$$\text{متر } ۵/۵ = ۴/۵ + ۱ = \text{ عمق حوض در چاهک مرکزی حوض تغلیظ}$$

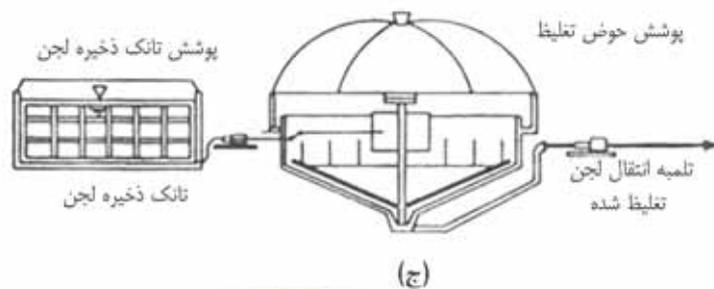
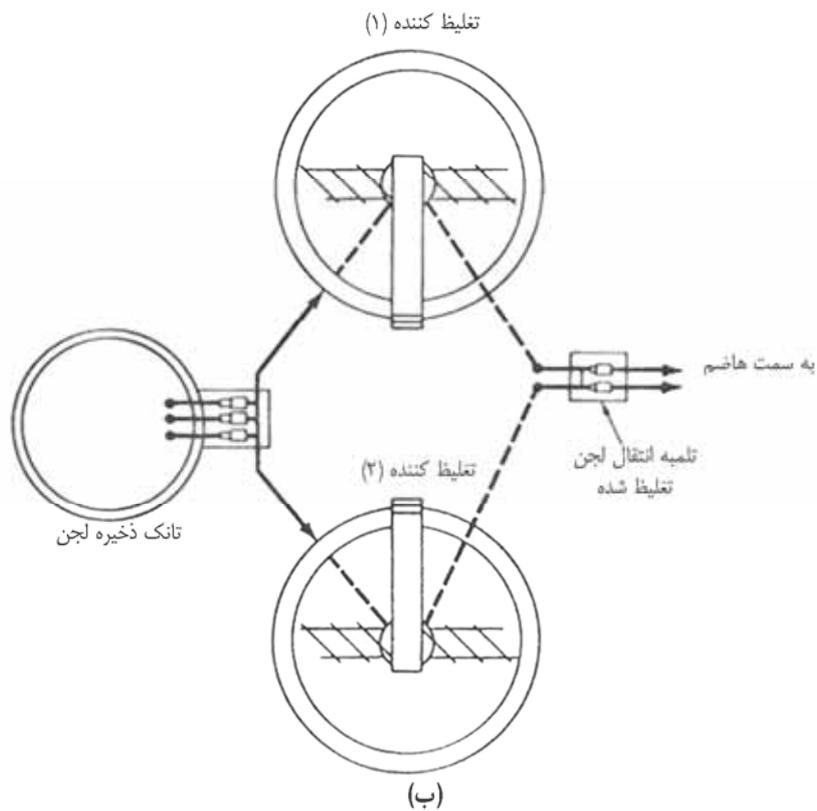
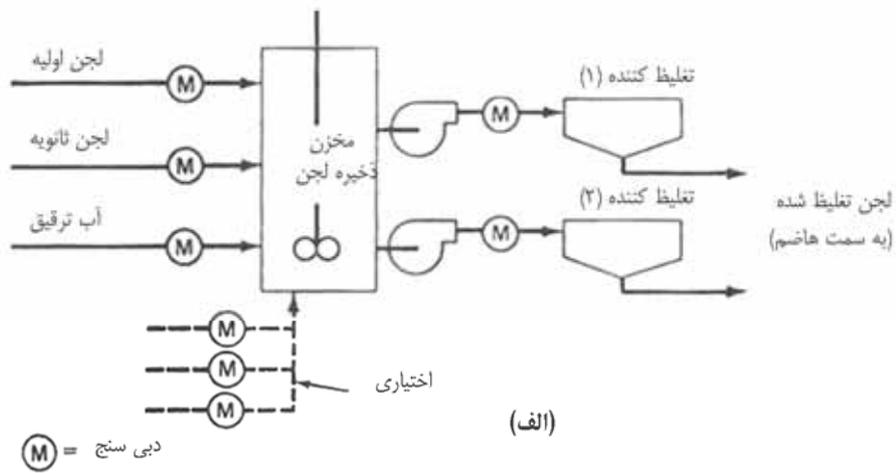


شکل الف-۲۰- ناحیه‌های مختلف حوض تغلیظ ثقلی لجن ( $C_i$  غلظت ورودی،  $C_D$  غلظت حداقل در لحظه شروع تغلیظ و  $C_u$  غلظت در لجن خروجی) [۱۳]

جزئیات طراحی شده برای حوض تغلیظ در این مثال در شکل‌های (الف-۲۱) و (الف-۲۲) نشان داده شده است. در کنار حوض تغلیظ معمولاً مخازنی برای ذخیره لجن در نظر گرفته می‌شود که در طراحی آن نکته خاص هیدرولیکی وجود ندارد. معمولاً در مخازن ذخیره لجن برای جلوگیری از سپتیک شدن لجن از هم‌زنهای مکانیکی یا هوادهی استفاده می‌شود.

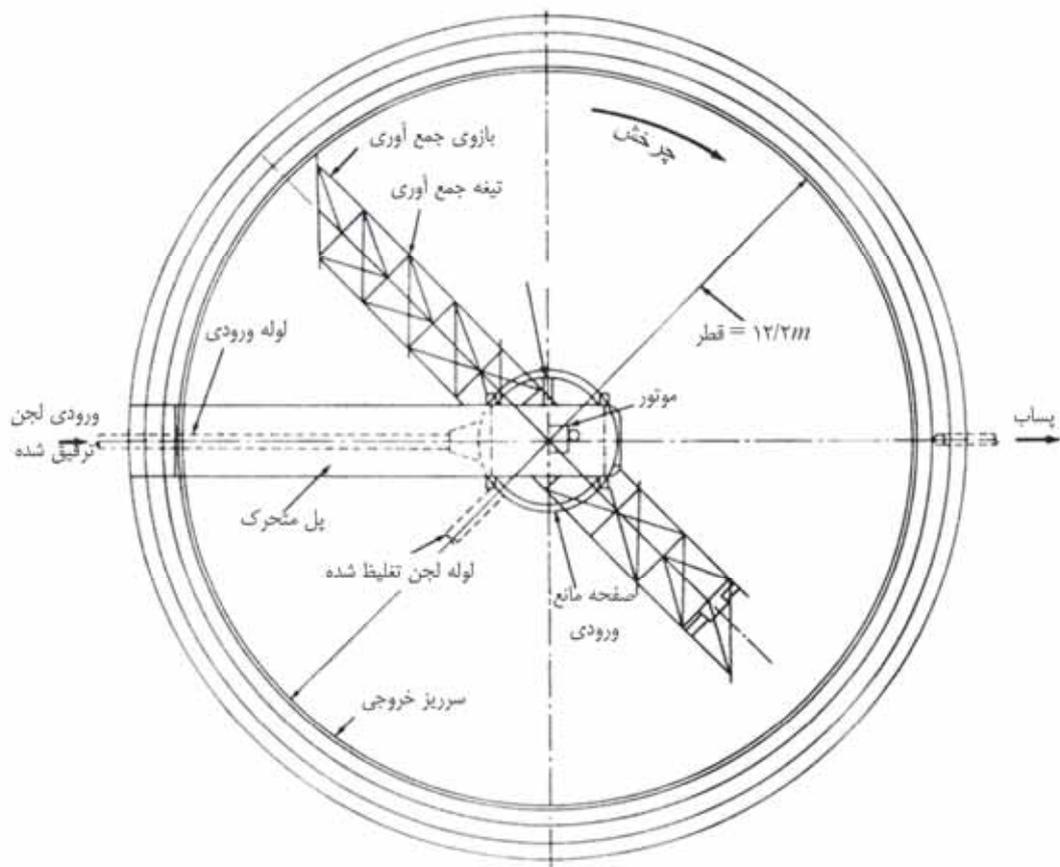
### گام ۳: افت ارتفاع و نیمرخ هیدرولیکی

افت ارتفاع در حوض تغلیظ از سه قسمت افت ارتفاع در سازه ورودی، افت ارتفاع در سازه خروجی و افت ارتفاع در داخل حوض تغلیظ تشکیل شده است. محاسبه افت ارتفاع در ورودی و خروجی مشابه با حوضهای ته‌نشینی معمولی است و از افت ارتفاع در داخل حوض تغلیظ به علت کوچک بودن صرف‌نظر می‌گردد. طراحی سازه ورودی در این مثال مشابه با سازه ورودی حوضهای ته‌نشینی است زیرا غلظت مخلوط لجن ورودی از یک درصد کمتر است. در غیر این صورت باید از روابط خاصی که برای محاسبه افت ارتفاع در فصل پنجم ارائه شد، استفاده شود. سازه خروجی در حوضهای تغلیظ مشابه با سایر حوضهای ته‌نشینی می‌باشد.

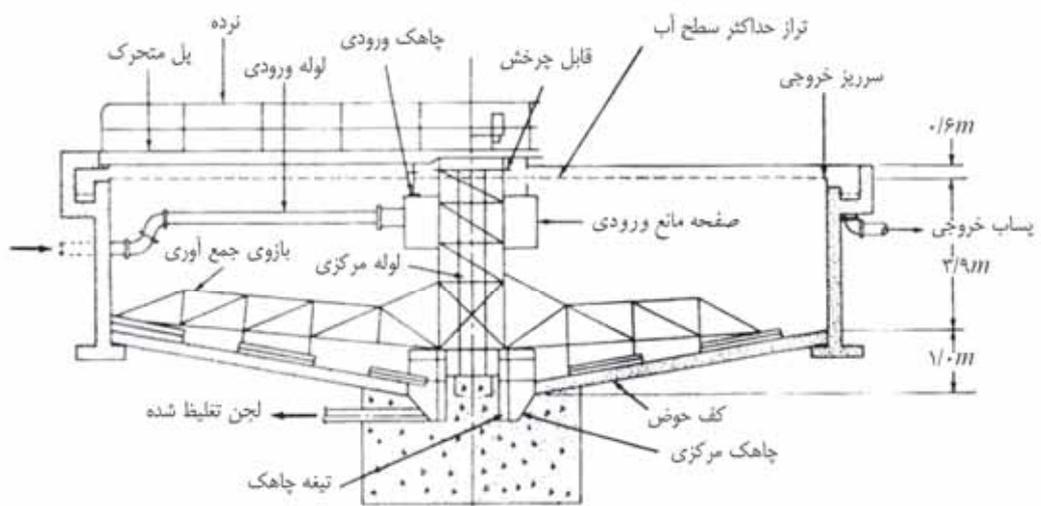


شکل الف-۲۱- واحد تغلیظ لجن، (الف) سامانه تغلیظ لجن، (ب) تصویر افقی، (ج) مقطع





(الف)



(ب)

شکل الف-۲۲- جزئیات حوض تغلیظ لجن، (الف) تصویر افقی، (ب) مقطع



## الف ۱۰- سامانه گندزدا (تزریق کلر) (بخش ۱۲)

### فرضیات

- سرعت متوسط و عمق جریان در کانال تماس به ترتیب ۰/۱۵ متر بر ثانیه و ۲ متر در نظر گرفته شود.
- دو حوض تماس در نظر گرفته می شود.
- زمان ماند در بده حداکثر ۳۰ دقیقه می باشد.

### حل

#### گام ۱: طراحی هیدرولیکی

در طراحی سامانه گندزدا از بده حداکثر استفاده می شود. با در نظرگیری دو حوض تماس، بده عبوری از هر یک برابر خواهد بود با:

$$Q = \frac{1/321}{2} = 0/1605 \text{ مترمکعب بر ثانیه}$$

با در نظر گیری زمان ماند هیدرولیکی ۳۰ دقیقه، طول مورد نیاز برای هر کانال برابر است با:

$$L = V \times t = 0/15 (\text{m/s}) \times \left( 30 \text{ min} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \right) = 270 \text{ متر}$$

اگر همانند شکل (الف-۲۳) از کانال ماریچ شش ردیفه استفاده گردد، طول لازم برای حوض تماس برابر است با:

$$\text{متر} = \frac{270}{6} = 45 \text{ طول حوض تماس}$$

$$\text{مترمربع} = \frac{0/661 \text{ m}^3/\text{s}}{0/15 \text{ m/s}} = 4/41 \text{ مساحت سطح مقطع کانال}$$

چنانچه عمق هر حوض ۲ متر در نظر گرفته شود:

$$\text{متر} = \frac{4/41 \text{ m}^2}{2 \text{ m}} = 2/2 \text{ عرض کانال تماس}$$



## گام ۲: تعیین افت ارتفاع

### الف) افت ارتفاع در داخل حوض

افت ارتفاع در داخل حوض از دو قسمت افت ارتفاع اصطکاکی در طول کانال و افت ارتفاع موضعی در محل تغییر جهت جریان تشکیل شده است. برای محاسبه افت ارتفاع طولی،  $h_f$ ، از رابطه مانینگ استفاده می‌گردد.

$$R = \frac{A}{P} = \frac{4/4 \text{ m}^2}{2/2 + 2 \times 2} = 0/71 \text{ متر}$$

$$h_f = S.L = \left( \frac{nQ}{AR^3} \right)^2 . L \Rightarrow h_f = \left( \frac{0/014 \times 0/661 \text{ m}^3 / \text{s}}{4/4 \text{ m}^2 \times (0/71 \text{ m})^3} \right)^2 \times 270 \approx 0/0002 \text{ متر}$$

برای محاسبه افت ارتفاع موضعی،  $h_m$ ، داریم:

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} = K \times \frac{0/15^2}{2 \times 9.81} = 0/0011K$$

که مقدار  $K$  را می‌توان با توجه به جدول جریان تحت فشار تعیین کرد ولی بدون توجه به مقدار  $K$  مقدار افت ارتفاع بدست آمده ناچیز خواهد بود. بنابراین در ترسیم نیمرخ هیدرولیکی تاثیر چندانی ندارد و مقدار تقریبی ۱۰ سانتی‌متر برای مجموع افت اصطکاکی و افت موضعی در داخل حوض منظور می‌شود.

### ب) افت ارتفاع در سازه ورودی

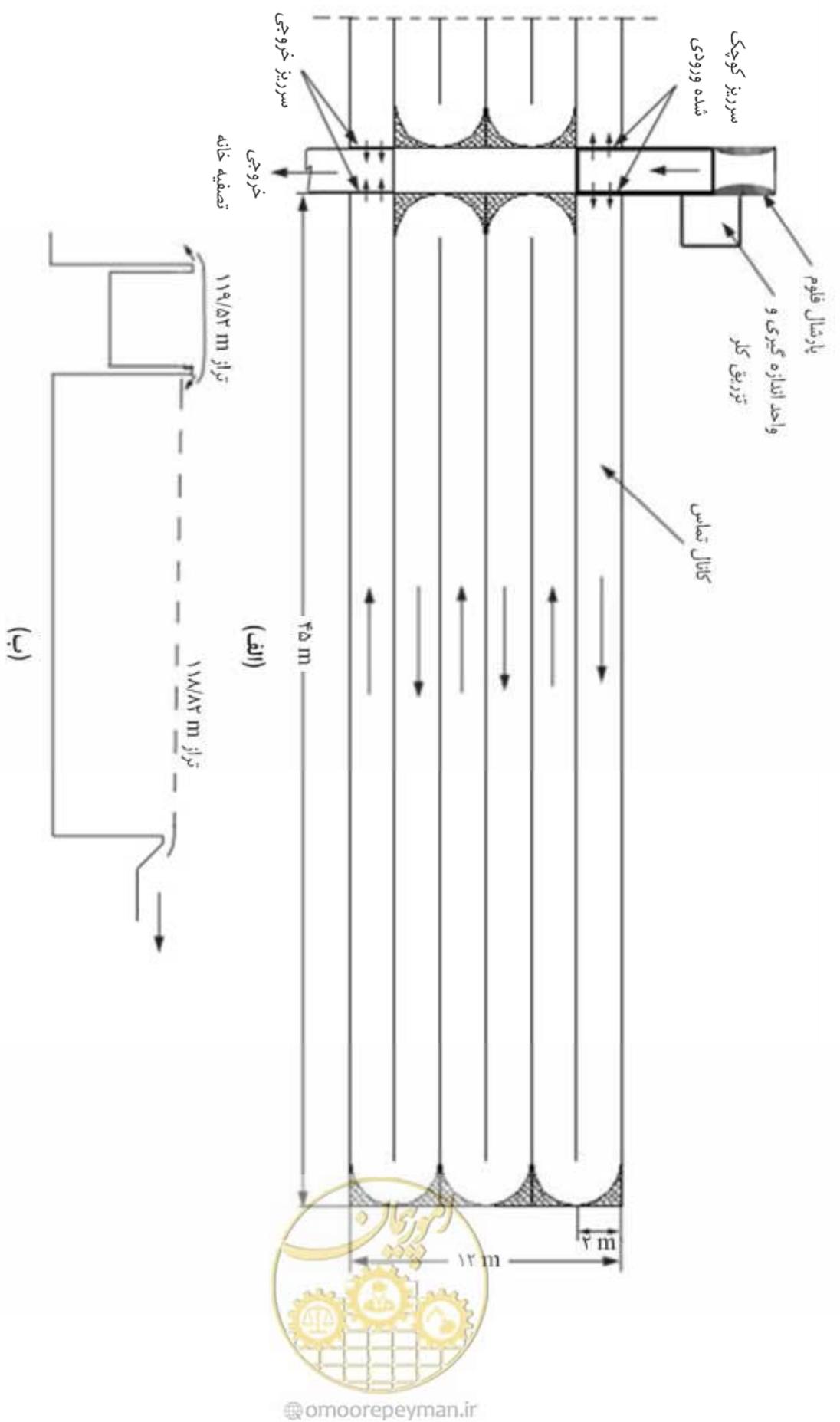
سازه ورودی بصورت سرریز مستطیلی به عرض ۱/۵ متر در نظر گرفته می‌شود. برای سرریز مستطیلی کوچک شده، ارتفاع آب روی سرریز،  $H$ ، برابر است با:

$$Q = \frac{2}{3} C_c (L - 0/2H) \sqrt{2g} H^{3/2} \Rightarrow 0/661 \text{ m}^3 / \text{s} = \frac{2}{3} \times 0/611 \times (1/5 - 0/2 \times H) \times \sqrt{2 \times 9/81} \times H^{3/2}$$

$$\text{متر } H = 0/29 \Rightarrow \text{آزمون و خطا}$$

$$\text{متر } 0/39 = 0/10 + 0/29 = \text{مجموع افت ارتفاع در حوض تماس و ارتفاع روی سرریز}$$





شکل الف-۲۳- کانال تماس واحد گذردایی، (الف) تصویر افقی، (ب) نیمرخ سطح آب در طول کانال تماس

با توجه به ارتفاع آب روی سرریز، اختلاف تراز سطح آب در کانال توزیع و سطح آب در کانال تماس برابر با  $0/6$  m در نظر گرفته می‌شود. این ارتفاع ریزش، علاوه بر تامین ارتفاع مورد نیاز برای جبران افت در کانال تماس، باعث اختلاط بهتر مواد گندزدا با پساب می‌شود و امکان هر گونه پس زدگی جریان را نیز منتفی می‌نماید. ولی در صورتی که چنین ارتفاعی موجود نباشد می‌توان از مقادیر کمتر (تا حداقل  $0/39$  متر) نیز استفاده نمود.

### ج) افت ارتفاع در سازه خروجی

سازه خروجی بصورت سرریز در انتهای شاخه انتهایی کانال تماس در نظر گرفته می‌شود. این سرریز در تمام طول کانال می‌باشد. بنابراین طول آن ۲ متر است. با استفاده از رابطه سرریز ارتفاع تیغه آب روی این سرریز برابر است با:

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H^{3/2} \Rightarrow 0/661 \text{ m}^3/\text{s} = \frac{2}{3} \times 0/611 \times 2 \times \sqrt{2 \times 9/81} \times H^{3/2} \Rightarrow H = 0/18 \text{ متر}$$

### گام ۳: ترسیم نیمرخ هیدرولیکی

تراز سطح تاج سرریز خروجی کانال تماس برابر با  $118/74$  متر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین:

ارتفاع تیغه آب روی سرریز + تراز سطح سرریز خروجی = تراز سطح آب در سرریز خروجی

$$= 118/74 + 0/18 = 118/92 \text{ متر}$$

افت ارتفاع جریان در کانال + تراز سطح آب در سرریز خروجی = تراز سطح آب در ابتدای کانال تماس

$$= 118/92 + 0/1 = 118/92 \text{ متر}$$

ارتفاع ریزش + تراز سطح آب در ابتدای کانال تماس = تراز سطح آب سرریز ورودی کانال تماس

$$= 118/92 + 0/6 = 119/52 \text{ متر}$$

نتایج بدست آمده در شکل (الف-۲۳-ب) نشان داده شده است.

### الف ۱۲- صافی (بخش ۱۲)

#### فرضیات

- بستر صافی متشکل از ۲۵ سانتی‌متر آنتراسیت یکنواخت با اندازه میانگین  $1/6$  میلی‌متر و ۲۵ سانتی‌متر ماسه یکنواخت با اندازه میانگین  $0/5$  میلی‌متر را برای نرخ عبوری  $0/160$  مترمکعب بر مترمربع بر دقیقه تعیین می‌شود.
- دمای پساب  $20^\circ\text{C}$ ، مقدار  $\varphi$  برای ماسه و آنتراسیت به ترتیب  $0/73$  و  $0/82$  و تخلخل هر دو لایه  $0/4$  فرض شود.



(حل)

مقدار لزجت سینماتیکی،  $\nu$ ، با توجه به دمای  $20^\circ\text{C}$  پساب،  $1/004 \times 10^{-6}$  مترمربع بر ثانیه (معادل آب) در نظر گرفته می شود. عدد رینولدز برای لایه آنتراسیت و ماسه بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{مترمکعب بر مترمربع بر ثانیه} = 0/160 \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{sec}} = 0/0027$$

سرعت جریان در بین ذرات بستر  $= 0/160 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$

$$\text{لایه آنتراسیت: } N_{Re} = \frac{\rho dV}{\mu} = \frac{dV}{\nu} = \frac{0/0016 \times 0/0027}{1/004 \times 10^{-6}} = 4/30$$

$$\text{لایه ماسه: } N_{Re} = \frac{\rho dV}{\mu} = \frac{dV}{\nu} = \frac{0/0005 \times 0/0027}{1/004 \times 10^{-6}} = 1/34$$

با توجه به عدد رینولدز، رژیم جریان در هر دو لایه بینابینی بوده و ضریب دراگ،  $C_D$  از رابطه (۹-۱۲)، برابر است با:

$$\text{لایه آنتراسیت: } C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0/34 = \frac{24}{4/3} + \frac{3}{\sqrt{4/3}} + 0/34 = 7/37$$

$$\text{لایه ماسه: } C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0/34 = \frac{24}{1/34} + \frac{3}{\sqrt{1/34}} + 0/34 = 20/84$$

حال با بدست آمدن ضریب دراگ می توان افت ارتفاع (رابطه ۱۱-۱۲) در هر لایه را محاسبه نمود:

$$\text{لایه آنتراسیت: } h_f = \frac{1/067}{\phi} \cdot \frac{C_D}{g} \cdot L_f \cdot \frac{V^2}{e^4} \cdot \frac{1}{d_s} = \frac{1/067}{0/82} \times \frac{7/37}{9/81} \times 0/25 \times \frac{0/0027^2}{0/4^4} \cdot \frac{1}{0/0016} = 0/043$$

$$\text{لایه ماسه: } h_f = \frac{1/067}{\phi} \cdot \frac{C_D}{g} \cdot L_f \cdot \frac{V^2}{e^4} \cdot \frac{1}{d_s} = \frac{1/067}{0/73} \times \frac{20/84}{9/81} \times 0/25 \times \frac{0/0027^2}{0/4^4} \cdot \frac{1}{0/0005} = 0/442$$

افت ارتفاع کل برابر مجموع افت ارتفاع در دو لایه است:

$$\text{متر} \quad \text{افت ارتفاع کل} = 0/43 + 0/442 = 0/872$$

### الف ۱۳- نیمرخ هیدرولیکی برای کل مسیر تصفیه خانه (بخش ۱۴)

#### راهنمایی

- نیمرخ هیدرولیکی نمایش تصویری تغییرات سطح آب در طول تصفیه خانه را نشان می دهد. برای ترسیم نیمرخ هیدرولیکی به یک نقطه کنترل که تراز سطح آب در آن معین باشد، نیاز است. این نقطه می تواند در ابتدا، انتها و یا در برخی شرایط خاص در وسط تصفیه خانه یا یک نقطه با تراز سطح آب اختیاری باشد. با مشخص شدن این نقطه می توان با حرکت به سمت پایین دست یا بالادست و محاسبه افت ارتفاع در هر قسمت بصورت بالارو یا پائین رو، تراز سطح آب در هر نقطه را محاسبه و نیمرخ سطح آب را رسم نمود.



- افت ارتفاع کل در طول تصفیه‌خانه فاضلاب برابر تفاوت بین سطح فاضلاب در ابتدای واحد آشغالگیر و تراز حداقل در خروجی است. اگر ارتفاع کل مورد نظر کمتر از افت ارتفاع کل محاسبه شده باشد، امکان برقراری جریان ثقیلی وجود نخواهد داشت و در این شرایط برای جبران کمبود ارتفاع به ایستگاه تلمبه زنی نیاز است. پس از اینکه سطح فاضلاب توسط تلمبه بالا آمد، امکان برقراری جریان ثقیلی فراهم می‌گردد. در هر حال قرارگیری ایستگاه تلمبه زنی در بین واحدها (وسط تصفیه‌خانه) توصیه نمی‌شود و همواره سعی در بکارگیری آن در ابتدای تصفیه‌خانه قبل از ورودی است.
- مقادیر مختلف افت ارتفاع در جدول (الف-۳) آمده است. در حل این مثال تراز سطح آب در خروجی واحد گندزدایی به عنوان نقطه کنترل در نظر گرفته شده است. رقوم سطح آب در سرریز خروجی کانال تماس کلر ۱۱۸/۹۲ متر و رقوم تاج سرریز برابر ۱۱۸/۷۴ متر در نظر گرفته می‌شود و بصورت عقب رو به ترتیب رقوم سطح آب در هر واحد بدست می‌آید.

(حل)

### گام ۱: واحد گندزدایی و ناودان پارشال

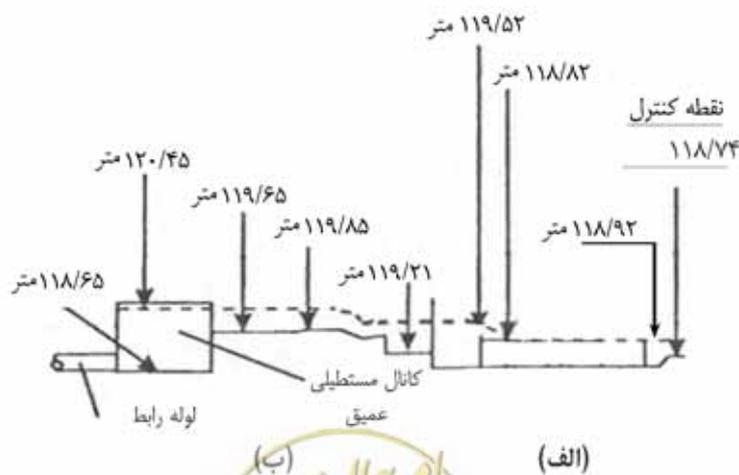
مطابق با شکل (الف-۲۴)، و بر مبنای نیمرخ رسم شده در شکل (الف-۲۳-ب) محاسبه رقوم سطح آب بصورت زیر انجام می‌گیرد:

متر ۱۱۸/۷۴ = رقوم تاج سرریز خروجی کانال تماس

متر ۱۱۸/۹۲ = رقوم سطح آب در سرریز خروجی کانال تماس کلر

متر ۱۱۸/۸۲ = رقوم سطح آب در ابتدای کانال تماس

متر ۱۱۹/۵۲ = رقوم سطح آب در کانال توزیع قبل از کانال تماس



شکل الف-۲۴ - نیمرخ سطح آب، (الف) واحد گندزدایی، (ب) ناودان پارشال



با توجه به رقوم سطح آب در ناودان پارشال داریم:

$$\text{متر } 120/45 = 118/81 + 1/64 = \text{رقوم سطح آب در بالادست کانال مستطیلی در ناودان پارشال}$$

### گام ۲: جمع کننده واحد (۱)

مجرای ارتباط دهنده ناودان پارشال و جمع کننده واحد (۱) یک کانال مستطیلی و یک لوله می‌باشد، این کانال دارای عرض ۲ متر، طول ۴ متر و عمق ۱/۸ متر می‌باشد. رقوم کف و سطح آب در کانال مستطیلی ۱۲۰/۴۵ متر و ۱۱۸/۶۵ متر می‌باشد. برای محاسبه افت ارتفاع در لوله داریم:

$$\text{متر } 1/37 = \text{قطر لوله}$$

$$Q = 1/321 \text{ مترمکعب بر ثانیه}$$

### جدول الف-۳- افت ارتفاع در طول واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب

افت ارتفاع (متر)	نوع جریان	واحد تصفیه
۰/۰۳	حداکثر لحظه ای	میله‌های آشغالگیر
-۱۲/۷۰	حداکثر لحظه ای	ایستگاه تلمبه زنی
۱/۰۷	حداکثر لحظه ای	کانال دانه گیر
۰/۹۸	حداکثر لحظه ای	ته نشینی اولیه
۱/۰۷	حداکثر لحظه ای	تصفیه زیستی (BNR)
۰/۵۵	حداکثر لحظه ای	ته نشینی ثانویه
۰/۲۴	حداکثر لحظه ای	ناودان پارشال
۰/۶	حداکثر لحظه ای	کانال تماس کلر

$$V = \frac{1/321 \text{ m}^3/\text{s}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times (1/37 \text{ m})^2} = 0/9 \text{ متر بر ثانیه}$$

$$L = 40 \text{ متر}$$



omoorepeyman.ir

با استفاده از رابطه هیزن- ویلیامز ( $C_H = 100$ ) داریم:

$$h_f = 6/82 \times \left(\frac{0/9}{100}\right)^{1/85} \times \frac{40}{1/37^{1/167}} = 0/031 \text{ متر}$$

$$\text{افت خروجی در بالادست کانال مستطیلی ناودان پارشال ( } K = 0/5 \text{ )} = \frac{0/5 \times 0/9}{2 \times 9/81} = 0/02 \text{ متر}$$

متر 0/01 = سایر افتها

$$\text{متر } 0/06 = 0/03 + 0/02 + 0/01 = \text{کل افت در لوله‌های رابط}$$

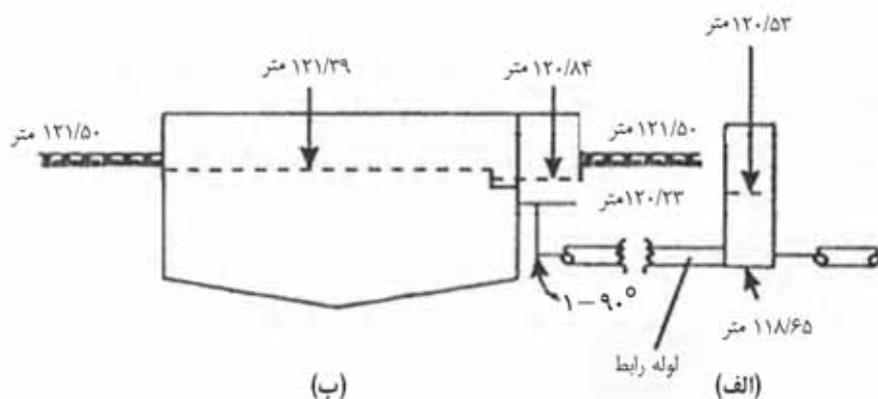
$$\text{متر } 0/02 = \frac{0/35 \times 0/95^2}{2 \times 9/81} = \text{افت ورودی در لوله ( } K = 0/35 \text{ )}$$

$$120/53 = 120/45 + 0/06 + 0/02 = \text{رقوم سطح آب در آدم رو (واحد ۱)}$$

بر این اساس که رقوم کف آدم رو برابر رقوم کف کانال مستطیلی ناودان پارشال باشد، داریم:

$$\text{متر } 118/65 = \text{رقوم کف آدم رو (واحد ۱)}$$

در شکل (الف-۲۵) نیمرخ سطح آب در جمع‌کننده واحد (۱) نشان داده شده است.



شکل الف-۲۵- نیمرخ سطح آب، (الف) جمع‌کننده واحد (۱)، (ب) ته نشینی ثانویه



### گام ۳: ته نشینی ثانویه

همانطور که در شکل (الف-۱) نشان داده شده است، تعداد لوله ورودی از جعبه خروجی ته نشینی ثانویه به آدم رو واحد (۱)، برابر ۴ عدد می‌باشد. ابعاد این لوله‌ها برای شرایط بحرانی در حالتی که یکی از حوضهای زلال ساز خارج از سرویس باشد، طراحی شده اند. طراحی هیدرولیکی ته نشینی نهائی در قسمتهای قبل انجام شد.

محاسبه افت ارتفاع :

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{1/321 \text{ m}^3/\text{s}}{3} = 0/44 = \text{حوض زلال ساز نهایی در سامانه قرار دارند}$$

$$\text{متر} = 0/8 = \text{قطر لوله رابط}$$

$$\text{متر بر ثانیه} = \frac{0/44 \text{ m}^3/\text{s}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 0/8^2} = 0/9 = \text{سرعت}$$

$$\text{متر} = \frac{1 \times 0/3 \times 0/9^2}{2 \times 9/81} = 0/02 = \text{افت خروجی در واحد (۱)}$$

$$\text{متر} = \frac{1 \times 0/3 \times 0/9^2}{2 \times 9/81} = 0/02 = \text{افت موضعی در زانویی } 90^\circ$$

$$\text{متر} = \frac{1 \times 0/9^2}{2 \times 9/81} = 0/04 = \text{افت ورودی در ته نشینی ثانویه (K=1)}$$

$$\text{متر} = 0/2 = \text{افت اصطکاکی از رابطه هیزن-ویلیامز (L=40m و C=100)}$$

$$\text{متر} = 0/03 = \text{سایر افتها}$$

$$\text{متر کل} = 0/02 + 0/02 + 0/04 + 0/2 + 0/03 = 0/31$$

محاسبه رقوم سطح آب و سایر رقومها:

$$\text{متر} = 120/53 + 0/31 = 120/84 = \text{رقوم سطح آب در محفظه ورودی}$$

$$\text{متر} = 120/84 - 0/61 = 120/33 = \text{رقوم کف در محفظه خروجی از ته نشینی ثانویه}$$

$$= \text{حداکثر سطح آب در چاله مرکزی در شرایط بده حداکثر به علاوه جریان برگشتی دز ته نشینی ثانویه}$$

$$\text{متر} = 120/84 + 0/55 = 121/39$$

در شکل (الف-۲۵) نیمرخ سطح آب برای حوض ته نشینی ثانویه نشان داده شده است.

### گام ۴: محفظه خروجی حوض هوادهی

محاسبه سطح آب در لوله‌های رابط محفظه خروجی حوض هوادهی و چاله مرکزی ته نشینی ثانویه بصورت زیر انجام می‌شود:

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{1/321 + 0/292}{3} = 0/538 = \text{مجموع بده حداکثر لحظه‌ای و جریان برگشتی وقتی یکی از حوضهای ته نشینی خارج از سرویس باشد}$$



متر ۰/۷۶ = قطر لوله رابط

$$\text{مترمکعب بر ثانیه} = \frac{Q}{A} = \frac{0/538}{\left(\frac{\pi}{4} \times 0/76^2\right)} = 1/19$$

$$\text{متر} = \frac{1 \times 1/19^2}{2 \times 9/81} = 0/07 \quad (K=1) \text{ افت خروجی از چاله مرکزی}$$

$$\text{متر} = \frac{1 \times 0/3 \times 1.14^2}{2 \times 9/81} = 0/02 \quad (K=0/3) \text{ افت در زانویی ۹۰ درجه}$$

$$\text{متر} = \frac{3 \times 0/2 \times 1/19^2}{2 \times 9/81} = 0/04 \quad (K=0/2) \text{ افت در سه زانویی ۴۵ درجه}$$

متر ۰/۳۵ = افت اصطکاکی بر اساس رابطه هیزن- ویلیامز (L = 130m و C = 100)

$$\text{متر} = \frac{0/5 \times 1/19^2}{2 \times 9/81} = 0/04 \quad (K=0/5) \text{ افت در محفظه خروجی راکتور هوادهی}$$

متر ۰/۰۳ = سایر افتها

$$\text{متر} = 0/07 + 0/02 + 0/04 + 0/35 + 0/04 + 0/03 = 0/56 \text{ افت ارتفاع کل در لوله‌های رابط}$$

بر اساس این محاسبات، رقوم سطح آب در محفظه خروجی حوض هوادهی بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{متر} = 121/39 + 0/55 = 121/94 \text{ رقوم سطح آب}$$

$$\text{متر} = 121/94 - 1 = 120/94 \text{ رقوم کف خروجی}$$

$$\text{متر} = 120/94 + 0/56 + 0/75 = 122/25 \text{ رقوم سرریز در طول خروجی}$$

در شکل (الف-۲۶) نیمرخ سطح آب در واحد هوادهی و اتصالات مربوط به آن نشان داده شده است.

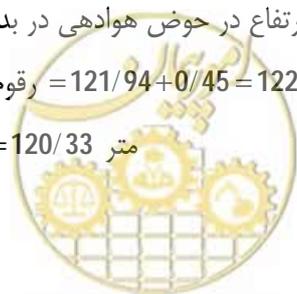
### گام ۵: تاسیسات BNR (واحدهای بی هوازی، بی اکسل و هوازی)

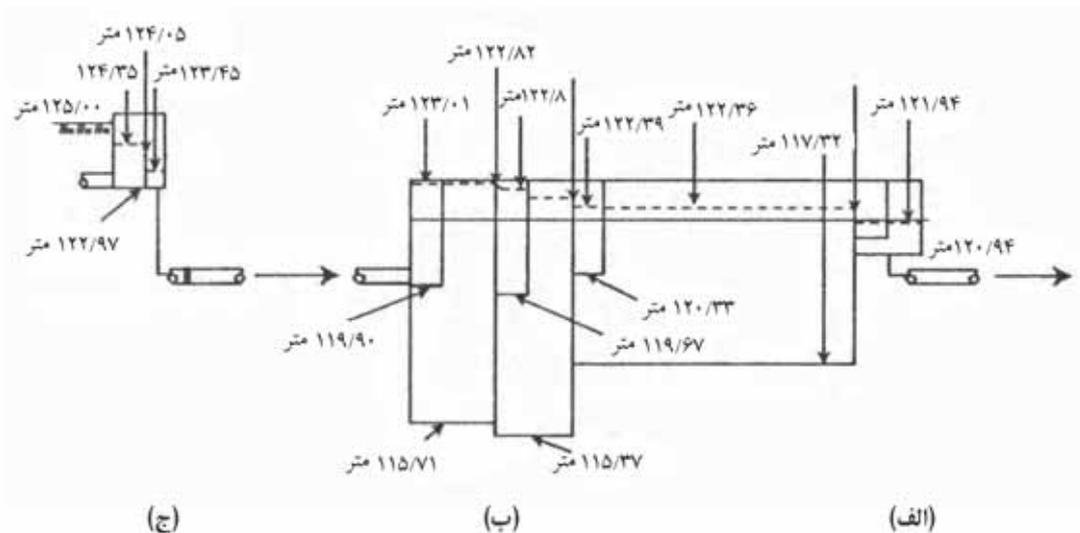
رقوم سطح آب در جعبه خروجی حوض هوادهی و در کانال ورودی با توجه به شکل (الف-۱۷) بدست می‌آید. نیمرخ سطح آب در طول واحد BNR بر اساس محاسبات زیر بدست می‌آید.

$$\text{متر} = 0/۴۵ = \text{افت ارتفاع در حوض هوادهی در بده حداکثر لحظه‌ای به علاوه جریان برگشتی}$$

$$\text{متر} = 121/94 + 0/45 = 122/39 \text{ رقوم سطح آب در کانال ورودی حوض هوادهی}$$

$$\text{متر} = 122/31 - 2/06 = 120/33 \text{ رقوم کف کانال ورودی}$$





شکل الف-۲۶- نیمرخ سطح آب، (الف) محفظه خروجی حوض هوادهی، (ب) تأسیسات BNR، (ج) جمع کننده و مقسم واحد (۲)

متر  $122/48 = 120/33 + 2/15 =$  رقم سرریز در سازه خروجی راکتور بی اکسل

متر  $0/41 =$  افت ارتفاع در ناحیه بی اکسل در شرایط بده حداکثر لحظه‌ای بعلاوه جریان برگشتی و لجن برگشتی

متر  $122/8 = 122/39 + 0/41 =$  رقم سطح آب در کانال ورودی راکتور بی اکسل

متر  $119/67 = 122/8 - 3/13 =$  رقم کف در کانال ورودی ناحیه بی اکسل

متر  $122/82 = 119/67 + 3/15 =$  رقم سرریز سازه خروجی در راکتور هوادهی

متر  $0/21 =$  افت ارتفاع در راکتور هوادهی در بده حداکثر لحظه‌ای بعلاوه لجن برگشتی

متر  $123/01 = 122/8 + 0/21 =$  سطح آب در کانال ورودی راکتور هوادهی

متر  $119/9 = 123/01 - 3/11 =$  رقم کف در کانال ورودی راکتور هوادهی

گام ۶: محفظه جمع کننده و مقسم (جعبه تقسیم) واحد (۲)

افت ارتفاع در این واحد بصورت زیر محاسبه می‌شود:

متر  $0/44 = \frac{1/321}{3} =$  بده حداکثر هنگامی که یک واحد خارج از سرویس باشد

متر  $0/66 =$  قطر لوله

متر بر ثانیه  $1/29 = \frac{0/44}{\frac{\pi}{4} \times 0/66}$  سرعت



omoorepeyman.ir

$$\text{متر } 0/09 = \frac{1 \times 1/29^2}{2 \times 9/81} = \text{افت خروجی در حوض هوادهی (K=1)}$$

$$\text{متر } 0/09 = \frac{3 \times 0/3 \times 1/29^2}{2 \times 9/81} = \text{افت موضعی ۳ زانوی ۹۰ درجه (K=0/3)}$$

$$\text{متر } 0/04 = \frac{0/5 \times 1/29^2}{2 \times 9/81} = \text{افت ورودی در جعبه مقسم (K=0/05)}$$

$$\text{متر } 0/18 = \text{افت اصطکاکی (L=50m و C=100)}$$

$$\text{متر } 0/04 = \text{سایر افتها}$$

$$\text{متر } 0/44 = 0/09 + 0/09 + 0/04 + 0/18 + 0/04 = \text{افت ارتفاع کل}$$

$$\text{متر } 123/45 = 123/01 + 0/44 = \text{رقوم سطح آب}$$

$$\text{متر } 122/97 = 123/45 - 0/48 = \text{رقوم کف}$$

طول سرریز برابر ۱/۵ متر و ارتفاع روی سرریز برابر ۰/۳ متر می‌باشد و ۰/۶ متر را برای ریزش آزاد در نظر می‌گیریم. بنابراین برای محاسبه رقوم تاج سرریز و رقوم سطح آب در محفظه جمع کننده داریم:

$$\text{متر } 124/05 = 123/45 + 0/6 = \text{رقوم تاج سرریز}$$

$$\text{متر } ۱۲۴/۳۵ = ۱۲۴/۰۵ + ۰/۳ = \text{رقوم سطح آب در جعبه جمع کننده}$$

در شکل (الف-۲۶) نیمرخ سطح آب در جمع کننده و مقسم واحد (۲) رسم شده است.

### گام ۶: حوض ته‌نشینی اولیه

قطر لوله تحت فشاری که جعبه خروجی از حوض ته‌نشینی اولیه را به محفظه جمع کننده و مقسم وصل می‌کند، ۹۲ سانتی‌متر است. هر لوله به گونه‌ای طراحی می‌شود که در شرایط جریان حداکثر لحظه‌ای بده ۰/۶۶ مترمکعب بر ثانیه را از هر حوض ته‌نشینی عبور دهد.

محاسبه افت ارتفاع در لوله‌های جمع کننده حوض ته‌نشینی اولیه:

$$\text{متر بر ثانیه } 0/99 = \frac{Q}{A} = \frac{0/66}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 0/92^2} = \text{سرعت}$$

$$\text{متر } 0/05 = \frac{1 \times 0/99^2}{2 \times 9/81} = \text{افت خروجی (K=1)}$$

$$\text{متر } 0/05 = \frac{3 \times 0/3 \times 0/99^2}{2 \times 9/81} = \text{افت‌های فرعی در سه زانویی ۹۰ درجه (K=0/3)}$$

$$\text{متر } 0/05 = \text{افت اصطکاکی (L=30m و C=100)}$$



$$\text{متر } 0/02 = \frac{0/5 \times 0/99^2}{2 \times 9/81} = \text{افت در محفظه خروجی حوض ته‌نشینی اولیه}$$

$$\text{متر } 0/04 = \text{سایر افتها}$$

$$\text{متر } 0/21 = 0/05 + 0/05 + 0/05 + 0/02 + 0/04 = \text{افت ارتفاع کل}$$

محاسبه رقوم سطح آب و رقوم کف کانال در محفظه خروجی حوض ته‌نشینی اولیه:

$$\text{متر } 124/56 = 124/35 + 0/21 = \text{رقوم سطح آب}$$

$$\text{متر } 123/56 = 124/56 - 1 = \text{رقوم کف کانال}$$

$$\text{متر } 121/76 = 123/56 - 1/8 = \text{رقوم کف حوض ته‌نشینی در انتهای بالادست}$$

$$\text{متر } 125/47 = 121/76 + 3/71 = \text{رقوم سطح آب در حوض اولیه در شرایط عبوری بده حداکثر لحظه ای}$$

$$\text{متر } 0/98 = \text{افت ارتفاع در طول واحد ته‌نشینی اولیه}$$

$$\text{متر } 125/54 = 124/56 + 0/98 = \text{سطح آب در ورودی حوض در بده حداکثر لحظه ای}$$

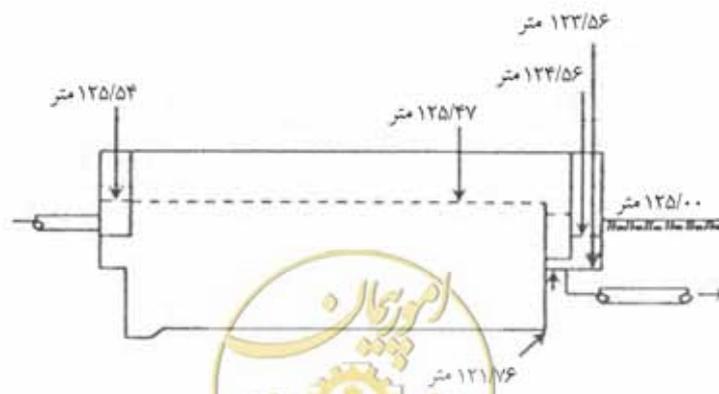
نیمرخ سطح آب در حوض ته‌نشینی در شکل (الف-۲۷) نشان داده شده است.

### گام ۷: جمع کننده و مقسم واحد (۳)

محاسبه افت ارتفاع در لوله و رقوم سطح آب در حوض خروجی:

$$\text{متر } 0/76 = \text{قطر لوله رابط}$$

$$\text{متر مکعب بر ثانیه } 0/66 = \text{بده حداکثر لحظه ای طراحی}$$



شکل الف-۲۷- نیمرخ سطح آب در واحد ته‌نشینی اولیه

$$\text{سرعت} = \frac{Q}{A} = \frac{0/66}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 0/76^2} = 1/46 \text{ متر بر ثانیه}$$

$$\text{متر } (K=1) = \frac{1 \times 1/46^2}{2 \times 9/81} = 0/11$$

$$\text{متر } (K=0/3) = \frac{1 \times 0/3 \times 1/46^2}{2 \times 9/81} = 0/03$$

$$\text{متر } (K=0/2) = \frac{2 \times 0/2 \times 1/46^2}{2 \times 9/81} = 0/01$$

$$\text{متر } (K=0/3) = \frac{0/3 \times 1/46^2}{2 \times 9/81} = 0/03$$

$$\text{متر } (C=100 \text{ و } L=22\text{m}) = 0/08$$

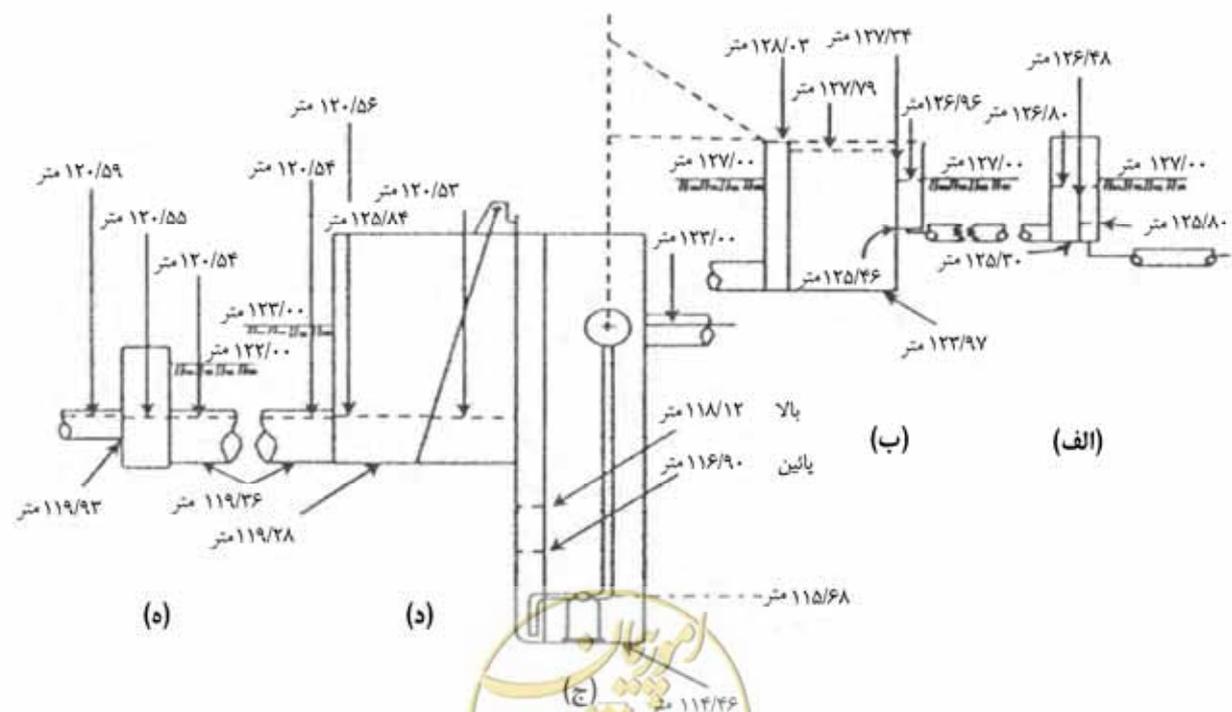
$$\text{متر } = 0/11 + 0/03 + 0/01 + 0/03 + 0/08 = 0/26$$

$$\text{متر } = 125/54 + 0/26 = 125/9$$

توجه: در صورتیکه قطر لوله را بزرگتر انتخاب کنیم، سرعت و در نتیجه افتها کمتر خواهند شد و لذا باید مطمئن باشیم که در شرایط عادی سرعت از حد مجاز ۰/۹ متر بر ثانیه کمتر شود.

محاسبه رقوم تاج سرریز و رقوم سطح آب در محفظه مقسم و جمع کننده:

$$\text{متر } = 0/68 \text{ ریزش آزاد}$$



شکل الف-۲۸- نیمرخ سطح آب، (الف) جمع کننده و مقسم واحد (۳)، (ب) کانال دانه گیر، (ج) تلمبه خانه، (د) آشغالگیر و (ه) جعبه مقسم واحد (۴)

متر  $126/3 + 0/68 = 126/48$  = رقوم تاج سرریز

متر  $2$  = طول سرریز

متر  $0/32$  = ارتفاع روی سرریز

متر  $126/48 + 0/32 = 126/8$  = رقوم سطح آب

متر  $1/5$  = عمق آب در محفظه (فرض)

متر  $126/8 - 1/5 = 125/3$  = رقوم کف محفظه

نیمرخ سطح آب در واحد (۳) در شکل (الف-۲۸-الف) نشان داده شده است.

### گام ۸: کانال دانه گیر

محاسبه افت ارتفاع در لوله‌های رابط:

متر  $1/22$  = قطر

مترمکعب بر ثانیه  $1/321$  = بده حداکثر لحظه ای

متر بر ثانیه  $1/13$  = 
$$\frac{Q}{A} = \frac{1/321}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 1/22^2}$$
 سرعت

متر  $0/07$  = 
$$\frac{1 \times 1/13^2}{2 \times 9/81}$$
 افت ارتفاع در خروجی (K=1)

متر  $0/02$  = 
$$\frac{1 \times 0/3 \times 1/13^2}{2 \times 9/81}$$
 افت ارتفاع فرعی یک زانویی ۹۰ درجه (K=0/3)

متر  $0/01$  = افت ارتفاع اصطکاکی (L=10m و C=100)

متر  $0/03$  = 
$$\frac{0/5 \times 1/13}{2 \times 9/81}$$
 افت ورودی در محفظه کانال دانه گیر (K=0/5)

متر  $0/03$  = سایر افتها

متر  $0/07 + 0/02 + 0/01 + 0/03 + 0/03 = 0/16$  کل افت

محاسبه رقوم سطح آب در کانال دانه گیر:

متر  $126/8 + 0/16 = 126/96$  = رقوم سطح آب در جعبه خروجی در کانال دانه گیر

متر  $126/96 - 1/5 = 125/46$  = رقوم کف محفظه

متر  $1/88$  = عمق در مجرای خروجی (شکل الف-۶-د)

متر  $125/46 + 1/88 = 127/34$  = رقوم تاج سرریز

متر  $0/45 =$  افت ارتفاع در شرایط عبور بده حداکثر لحظه‌ای هنگامی که یک واحد از سرویس خارج باشد  
 متر  $127/34m + 0/45m = 127/79 =$  رقوم سطح آب در بده حداکثر لحظه‌ای هنگامی که یک واحد از سرویس خارج باشد  
 متر  $126/96m + 1/07m = 128/03 =$  رقوم سطح آب در کانال ورودی از سازه دانه‌گیر در بده  
 حداکثر لحظه‌ای وقتی تنها یکی از واحدها در حال سرویس است.  
 متر  $123/97 =$  ( شکل (8-8) )  $128/03m - 4/06m =$  ارتفاع کف کانال دانه‌گیر

در شکل (الف-۲۸) نیمرخ سطح آب در واحد دانه‌گیر نشان داده شده است.

### گام ۹: ایستگاه تلمبه زنی

فرض می شود که پس از کانال آشغالگیر و قبل از دانه گیر از ایستگاه تلمبه زنی جهت ایجاد ارتفاع مورد نیاز استفاده می شود.  
 ایستگاه تلمبه زنی شامل چاه تر، چاه خشک، انواع شیر آلات و اتصالات و خطوط انتقال می‌باشد. محاسبات مربوط به افت ارتفاع در فصل هفتم ارائه شد. در ادامه با فرض بعضی از رقوم سطح آب در این واحد، مثال را بصورت زیر محاسبه می‌کنیم.

متر  $11/13 =$  ارتفاع تخلیه در رقوم حداقل چاه تر  
 متر  $9/91 =$  ارتفاع تخلیه در رقوم حداکثر چاه تر  
 متر  $116/9 = 128/03 - 11/13 =$  رقوم کمینه سطح آب در چاه تر  
 متر  $118/12 = 128/03 - 9/91 =$  رقوم بیشینه سطح آب در چاه تر  
 متر  $114/46 = 116/9 - 2/44 =$  رقوم کف چاه تر و خشک  
 متر  $130/82 = 118/12 + 12/7 =$  رقوم خط انرژی در حداکثر ظرفیت تلمبه زنی  
 متر  $128/2 = 116/9 + 9/91 =$  رقوم خط انرژی در حداقل ظرفیت تلمبه زنی

نیمرخ سطح آب در واحد تلمبه زنی در شکل (الف-۲۸) نشان داده شده است.

### گام ۱۰: واحد آشغالگیر

متر  $119/28 = 114/46 + 4/82 =$  رقوم کف کانال آشغالگیر  
 متر  $120/53 = 119/28 + 1/25 =$  رقوم پایین سطح آب آشغالگیر هنگامی که یک واحد از مدار خارج باشد و بده حداکثر لحظه‌ای از سامانه عبور کند.  
 متر  $120/56 = 120/53 + 0/03 =$  رقوم بالای سطح آب آشغالگیر هنگامی که یک واحد از مدار خارج باشد و بده حداکثر لحظه‌ای از سامانه عبور کند. (آشغالگیر تمیز)

متر  $120/54$  = رقوم سطح آب در ورودی

متر  $119/36$  = رقوم کف در ورودی

نیمرخ سطح آب مربوط به این محاسبات در شکل (الف-۲۸) نشان داده شده است.

#### گام ۱۱: جعبه مقسم (واحد ۴)

متر  $120/55$  = رقوم سطح آب در جعبه مقسم

متر  $119/36$  = رقوم کف جعبه مقسم

متر  $119/93$  = رقوم کف در فاضلابرو خط (۱) در محفظه مقسم

متر  $120/59$  = رقوم سطح آب در فاضلابرو خط (۲) در محفظه مقسم

نیمرخ سطح آب در این واحد نیز در شکل (الف-۲۸) نشان داده شده است.

#### گام ۱۲: رسم نیمرخ سطح آب در کل تصفیه‌خانه فاضلاب

پس از اینکه در تک تک واحدها نیمرخ سطح آب رسم شد با کنار هم قراردادن این نیمرخها، نیمرخ کلی سطح آب در تصفیه‌خانه فاضلاب بدست می‌آید که در شکل (الف-۲۹) این نیمرخ نشان داده شده است. در صورتی که تصفیه‌خانه فاضلاب شامل واحدهای دیگری باشد، مثلاً به جای واحد BNR و ته نشینی ثانویه از برکه تثبیت استفاده گردد، تعیین نیمرخ هیدرولیکی بصورت مشابه خواهد بود.



omooorepeyman.ir



## منابع و مراجع

- ۱- راهنمای انتخاب فرآیند تصفیه فاضلابهای شهری، نشریه شماره ۱۳۲-الف، دفتر استاندارد وزارت نیرو.
- ۲- ضوابط فنی بررسی و تصویب طرحهای تصفیه فاضلاب شهری، نشریه ۳-۱۲۹، سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- ۳- معیارهای هیدرولیکی طراحی کانالهای آبیاری و زهکشهای روباز، نشریه ۱۶۶، سازمان برنامه و بودجه.
- ۴- هیدرولیک کانالهای باز، دکتر سید محمود حسینی-دکتر جلیل ابریشمی، (۱۳۷۹.ه.ش)، انتشارات آستان قدس رضوی.
- 5- Bos, M.C.(Ed.), "Discharge Measurement Structures", Publication No.161, Hydraulics, (1976).
- 6- Chow, Vente, "Open Channel Hydraulics" , McGraw-Hill , (1956).
- 7- Davis.C.V,Sorenson.K.E, "handbook of Applied Hydraulic" ,McGraw-Hill , (1984).
- 8- Hudson.H.E & Uhler.R.B,"Dividing-Flow Manifolds with Square-Edged Laterals", Journal Environmental Engineering Division, ASCE, No.105,pp745 , (1979) .
- 9- Igor J.Karassik,William C.Krutzsch, Worren H.Fraser, "Pump Handbook", Mc Graw-Hill Second Edition, (1976) .
- 10- Imre Horvath C.Sc, "Hydraulics in Water and Wastewater Treatment Technology" , JOHN WILEY & SONS, (1994).
- 11- Metcalf and Eddy,Inc, "Wastewater Engineering" ,McGraw-Hill , (2003).
- 12- M.Montgomery James , "Water Treatment Principles and Design" , John Wielely & Sons , (1976) .
- 13- Qasim,Syed R , "Wastewater Treatment Plants" Technomic Publishing Company, Inc , (1999).
- 14- Richard H. French , "Open-channel hydraulics" , McGraw-Hill , (1985).
- 15- Streeter&Wylie & Bedford , "Fluid Mechanics" , McGraw-Hill , (1909).
- 16- Tom D.Reynolds, Poul A.Richards , "Unit Operations and Processes in Environmental Engineering" , PWS Publishing Company , (1999).
- 17- U.S.Department of the Interior, "Design of Small Dams", OXFORD & IBH PUBLISHING Co, (1974).
- 18- U.S.Department of the Interior, "Design of Small Canal Structures" , (1978).
- 19- W.Wesley.Eckenfelder, "Industrial Water Pollution Control" , McGraw-Hill , (1926).
- 20- Hammer M.J, "Water and Wastewater Technology", McGraw-Hill , (1986).
- 21- Brater,E.F, King,H.W, "Handbook of Hydraulic" McGraw-Hill , (1976).
- 22- French, R.H, "Open – Channel Hydraulics" , Mc Graw-Hill, (1986).
- 23- Jeppson.R.W "Analysis of Flow in Pipe Networks" , An Arbor Science , (1977).
- 24- Henderson, F.M , "Open Channel Flow" , Macmillan , (1966).
- 25- Mohinder L.Nayyar, "Piping Handbook", McGraw.Hill companies , (1967) .
- 26- Ranga Raju.K.G, "Flow Through Open Channels" , McGraw-Hill , (1981) .





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی-فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

Islamic Republic of Iran

# Guideline for Hydraulics of Wastewater Treatment plant

**No. 405**

Office of Deputy of Technical Affairs  
Technical Criteria Codification & Earthquake Risk  
Reduction Affairs Bureau

<http://tec.mporg.ir>



omoorepeyman.ir



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## این نشریه

تصفیه‌خانه فاضلاب شامل فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد که برای عملکرد صحیح باید از هیدرولیک مناسب جریان برخوردار باشد. در صورتی که در مراحل مختلف فرآیند، افت هیدرولیکی به طور صحیح محاسبه نشود باعث معضلات در فرآیند تصفیه شده و می‌تواند عواقب زیست محیطی متعددی داشته باشد. در این نشریه شرایط هیدرولیکی جریان در واحدهای مختلف و خطوط انتقال، تصفیه‌خانه اعم از تحت فشار و آزاد، بررسی شده و همراه با مثال‌های واقعی، تعیین دقیق خط پروفیل هیدرولیکی ارائه می‌گردد. این نشریه راهنمایی برای طراحان و کاربران تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

