

# هیدرولیک جریان در تصفیه‌خانه فاضلاب

جلال‌الدین شایگان\*، محمدرضا فدائی تهرانی، محمود برقی

دانشگاه صنعتی شریف

پست الکترونیکی: shayegan@sharif.edu

## چکیده

با رشد و توسعه جوامع بشری، نیاز به تصفیه فاضلاب به یکی از ضرورت‌های زندگی اجتماعی تبدیل شده است. در حال حاضر در اکثر کشورها، ساخت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مسائل مهم در طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، هیدرولیک جریان و ترسیم پروفیل هیدرولیکی می‌باشد. معمولاً برای رسم پروفیل هیدرولیکی در کل تصفیه‌خانه، ابتدا افت ارتفاع جریان در تک‌تک واحدها و در مسیر بین واحدها تعیین و سپس با در نظر گرفتن دیاگرام جریان در قسمت‌های مختلف، پروفیل هیدرولیکی به دست می‌آید. در این نوشتار نحوه محاسبه افت ارتفاع و تعیین پروفیل هیدرولیکی در قسمت‌های مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**کلمات کلیدی:** تصفیه‌خانه فاضلاب، هیدرولیک جریان، پروفیل هیدرولیکی، افت ارتفاع.

## مقدمه

هیدرولیک جریان از عوامل مؤثر در عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌باشد و بواسطه چنین اهمیتی توجه به آن ضروری است. منظور از طراحی هیدرولیکی مشخص نمودن سطح آب در هر واحد و تعیین افت ارتفاع در مسیر جریان و در نهایت رسم پروفیل سطح جریان می‌باشد. در طراحی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب افت ارتفاع از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و همواره سعی بر محاسبه صحیح و کمینه کردن این متغیر می‌باشد. زیاد بودن افت ارتفاع منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود، در حالی که طراحی هیدرولیکی با کمترین نیاز به تجهیزات برقی و مکانیکی و بر مبنای استفاده از شیب طبیعی زمین و حرکت ثقلی جریان، مزایای فراوانی دارد. لذا باید افت ارتفاع

در تک تک واحدهای موجود در تصفیه‌خانه، همراه با افت در مسیر بین واحدها، محاسبه و در نهایت پروفیل جریان ترسیم شود. افت ارتفاع در هر واحد، از بخش‌های افت ارتفاع در سازه ورودی، سازه خروجی و در داخل واحد تشکیل شده است. هر یک از این بخش‌ها خود می‌تواند مجموع چند افت دیگر باشد. در این مقاله ضمن بیان شکل‌های متداول برای سازه ورودی و خروجی در مورد هر واحد، نحوه محاسبه افت ارتفاع در آنها بصورت اجمالی بررسی می‌شود.

## ۱- آشنایی با فرآیندهای تصفیه فاضلاب

هدف از تصفیه فاضلاب، جداسازی موادی از آب است که آن را برای مصارف بعدی قابل استفاده نماید و یا رهاسازی آن، به منابع آب و یا

تصفیه زیستی نیز برای رسیدن به استانداردهای تخلیه پساب استفاده شود.

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. به علاوه 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 (۱) فرآیندهای رایج در تصفیه فاضلاب شهری و در شکل (۲) دو حالت از نحوه قرارگیری واحدها نشان داده شده است.

محیط زیست صدمه‌ای وارد نسازد. برای جداسازی این مواد از عملیات فیزیکی، فرآیندهای شیمیایی و فرآیندهای زیستی استفاده می‌شود. معمولاً از عملیات فیزیکی برای جداسازی مواد شناور و معلق، و از عملیات شیمیایی و زیستی برای جداسازی مواد کلوئیدی و محلول استفاده می‌شود.

فرآیندها و عملیات تصفیه فاضلاب را به چهار مرحله تقسیم‌بندی می‌کنند:

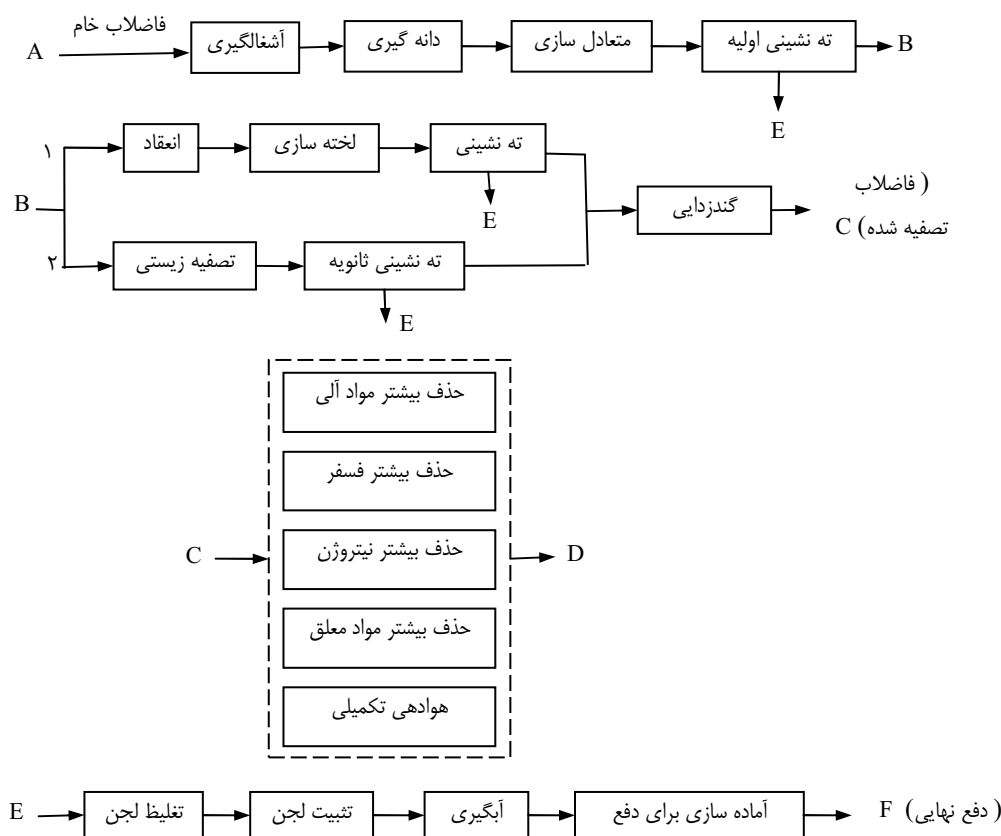
۱- تصفیه فیزیکی (تصفیه اولیه)،

۲- تصفیه شیمیایی،

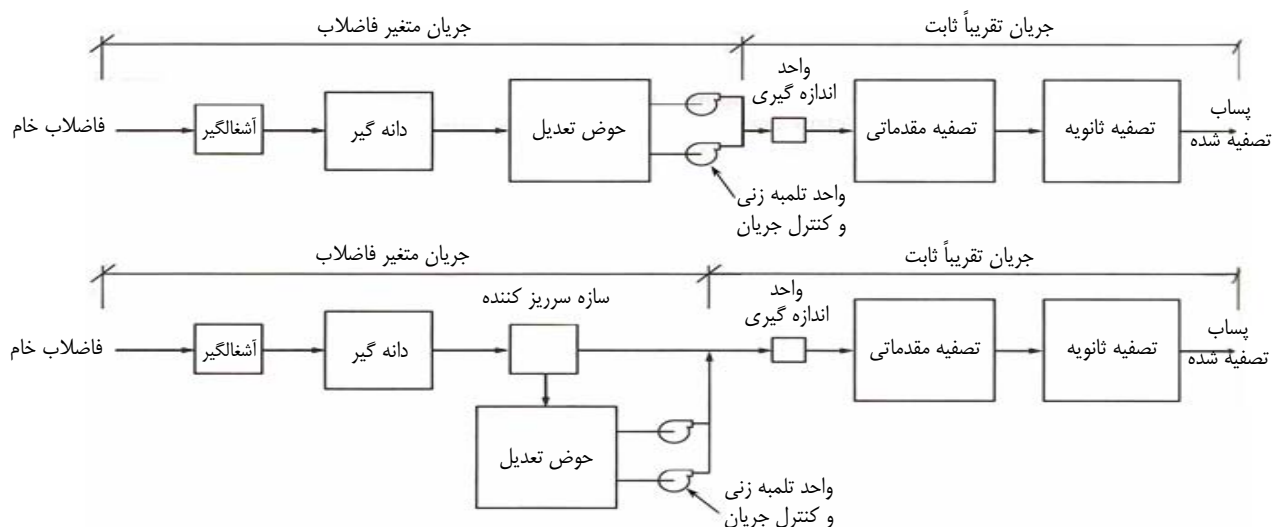
۳- تصفیه زیستی (تصفیه ثانویه)

۴- تصفیه تکمیلی

در تصفیه‌خانه‌هایی که عملیات فیزیکی جوابگوی ضوابط تعیین شده برای خروجی نباشد، لازم است که علاوه بر تصفیه فیزیکی از



شکل ۱- فرآیندهای متداول در تصفیه فاضلاب شهری [1].



شکل ۲- دو حالت از نحوه قرارگیری واحدها در خط اصلی تصفیه فاضلاب [1].

(منیفولدها) بررسی می‌شود.

## ۲- مبانی هیدرولیک

حرکت سیال در یک مجرا، به دو صورت جریان تحت فشار و جریان آزاد صورت می‌پذیرد که از این نظر می‌توان هیدرولیک را به هیدرولیک مجاری تحت فشار و هیدرولیک کانال‌های باز تقسیم نمود. در هر حال، معادلات مورد استفاده برای حرکت جریان، کلی بوده و فقط شرایط خاص هر نوع جریان، که بیشتر شامل تعیین فشار و افت فشار می‌باشد، را باید در نظر گرفت. جریان از نظر تغییر در مشخصات آن نسبت به زمان به جریان دائمی ( $\partial Q / \partial t = 0$ ) و جریان غیر دائمی ( $\partial Q / \partial t \neq 0$ ) و از نظر تغییر در مشخصات آن نسبت به مکان به انواع یکنواخت ( $\partial V / \partial s = 0$ ) و غیر یکنواخت ( $\partial V / \partial s \neq 0$ ) طبقه‌بندی می‌شود (Q بده جریان است).

در طراحی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب جریان دائمی فرض می‌شود. در کانال‌های باز، جریان هم به صورت یکنواخت و هم به صورت غیر یکنواخت، به حالت‌های متغیر تدریجی، متغیر سریع و حالت‌های خاص متغیر مکانی تقسیم‌بندی می‌شود. جریان در لوله‌های بسته، یکنواخت فرض می‌شود. البته حالت خاصی از جریان غیر یکنواخت در مجاری تحت فشار وجود دارد که بده در طول مجرا متغیر است. این حالت تحت عنوان سامانه‌های توزیع جریان

### ۱-۲- روابط اساسی حاکم بر جریان

روابط پیوستگی، انرژی و اندازه حرکت (مومنتم) روابط اساسی جریان سیال است. رابطه پیوستگی بیانگر قانون بقای جرم برای یک سامانه است که برای جریان دائم عبارت است از:

$$\dot{m} = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \rho V A \quad (1)$$

در این رابطه  $\dot{m}$  بده جرمی یا جرم عبوری در واحد زمان،  $\rho$  جرم مخصوص سیال،  $V$  سرعت متوسط در مقطع و  $A$  مساحت مقطع عمود بر بردار سرعت می‌باشد. همچنین زیرنویس‌های ۱ و ۲ مربوط به هر مقطع است.

رابطه انرژی بر اساس قانون بقای انرژی به دست می‌آید. این رابطه برای جریان بین دو مقطع ۱ و ۲ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f \quad (2)$$

است. عدد رینولدز در جریان تحت فشار، نوع حرکت را تعیین می‌کند و بطور تجربی اگر  $N_{Re} < 2000$  باشد، جریان آرام و اگر  $N_{Re} > 4000$  باشد، جریان آشفته و بین این دو عدد جریان انتقالی در نظر گرفته می‌شود. در مقاطع دایره‌ای جایگزین  $L$  در محاسبه عدد رینولدز قطر لوله ( $d$ ) و در مقاطع غیر دایره‌ای، شعاع هیدرولیکی ( $R$ ) به عنوان طول مشخصه جریان در نظر گرفته می‌شود و در آن، حد ۵۰۰ برای جریان لایه‌ای و ۱۰۰۰ برای شروع جریان آشفته می‌باشد.

معمولاً جریان درون کانال‌های باز حالت کاملاً آشفته دارد و لذا تأثیر لزجت یا عدد رینولدز ناچیز است، بدین ترتیب دسته‌بندی با توجه به تأثیر نیروی ثقل (عدد فرود) می‌باشد که برای  $Fr < 1$  جریان زیر بحرانی یا آرام،  $Fr = 1$  جریان بحرانی و  $Fr > 1$  جریان فوق بحرانی یا سریع خواهد بود.

### ۲-۳- بررسی افت ارتفاع

افت ارتفاع از دو قسمت افت ارتفاع طولی (اصطکاکی) و افت ارتفاع موضعی تشکیل شده است. برای محاسبه افت ارتفاع طولی در مجاری تحت فشار، روابط متنوعی ارائه شده است که در این مقاله با توجه به عمومیت کاربرد و دقت قابل قبول، روابط داریسی - وایسباخ (رابطه (۴)) و هیزن - ویلیامز (رابطه (۵)) برای محاسبه افت ارتفاع معرفی می‌شوند.

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

$$h_f = 10/67 L C_H^{-1/85} d^{-4/86} Q^{1/85} \quad (5)$$

در رابطه اول  $f$  ضریب اصطکاک بوده و مقدار آن تابعی از عدد رینولدز و زبری نسبی لوله می‌باشد. در رابطه دوم نیز  $C_H$  نشان دهنده مقاومت لوله در مقابل جریان است و برای هر نوع لوله، مقدار آن توسط سازنده تعیین و ارائه می‌شود.

افت‌هایی که در مسیر جریان به دلیل خمیدگی، زانوها، شیرها، اتصالات و تبدیل‌ها به وجود می‌آیند را افت‌های موضعی می‌نامند. تقریباً در تمام حالات، افت‌های موضعی را همانند رابطه (۶) به صورت ضریبی از ارتفاع سرعت مشخص می‌کنند:

در این رابطه  $H$  ارتفاع کل انرژی (یا انرژی کل در واحد وزن)،  $Z$  ارتفاع پتانسیل (یا انرژی پتانسیل در واحد وزن)،  $\gamma$  ارتفاع فشار (یا انرژی فشار در واحد وزن) و  $V^2/2g$  ارتفاع سرعت (یا انرژی جنبشی در واحد وزن) می‌باشد. همچنین در رابطه (۲)،  $P$  فشار متوسط مقطع،  $V$  سرعت متوسط،  $\gamma$  وزن مخصوص و  $g$  شتاب ثقل می‌باشد. همچنین در این رابطه  $\sum h_f$  افت ارتفاع انرژی کل در بین دو مقطع را نشان می‌دهد.  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  ضرایب تصحیح انرژی جنبشی در دو مقطع هستند که بر اثر یکنواخت فرض کردن سرعت در تمام سطح مقطع، وارد محاسبات می‌شود. مقدار  $\alpha$  برای کانال‌های منشوری منظم تقریباً برابر با یک است و برای کانال‌های داخل تصفیه‌خانه برابر با یک پیشنهاد می‌شود که باعث حذف  $\alpha$  از روابط می‌شود.

طبق قانون دوم نیوتن آهنگ تغییر مومنتم در سیال، باعث وارد شدن نیرو به آن می‌شود. این رابطه بین دو مقطع ورودی (مقطع ۱) و خروجی (مقطع ۲) برای جریان دائم و تراکم‌ناپذیر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum \vec{F} = \rho Q (\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1) \quad (3)$$

در این رابطه  $\sum \vec{F}$  برآیند نیروهای خارجی وارد بر سیال،  $\rho$  جرم مخصوص،  $\beta$  ضریب تصحیح مومنتم در دو مقطع را نشان می‌دهند. همانند  $\alpha$ ، مقدار  $\beta$  برای کانال‌های منشوری منظم تقریباً برابر با یک است و مقدار آن برای کانال‌های داخل تصفیه‌خانه برابر با یک پیشنهاد می‌شود که باعث حذف  $\beta$  از روابط می‌گردد.

### ۲-۲- رژیم‌های جریان

در جریان سیال تراکم‌ناپذیر نیروهای ثقل، لزجت، اینرسی و کشش سطحی اهمیت دارند. تأثیر این نیروها به صورت اعداد بدون بعد، بررسی می‌گردند. مهم‌ترین آنها در بررسی نوع جریان اعداد رینولدز ( $N_{Re} = \rho V L / \mu$ ) و فرود ( $Fr = V / \sqrt{gD}$ ) می‌باشند. تأثیر کشش سطحی معمولاً ناچیز است مگر در شرایط بسیار خاص که خارج از بحث این نوشتار بوده و اثر فشار نیز در نیروهای دیگر نهفته

لزجت و جرم مخصوص بیشتری است که در طراحی مجاری انتقال، لازم است این امر در نظر گرفته شود. برای انتقال لجن معمولاً از مجاری بسته نظیر لوله استفاده می‌شود و استفاده از کانال‌های باز برای انتقال لجن کمتر مرسوم است. حداقل قطر لوله‌های انتقال لجن برای جریان تحت فشار، ۱۵۰ mm و برای جریان ثقلی ۲۰۰ mm در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به ماهیت لجن سرعت جریان لجن در لوله در محدوده ۰/۳m/s تا ۱/۵ m/s انتخاب می‌شود. برای محاسبه افت ارتفاع در مورد لجن‌هایی که غلظت مواد معلق موجود در آن کم است (کمتر از ۱/۵ درصد)، می‌توان از روابط ارائه شده برای آب (با در نظر گرفتن ضریب اطمینان بالاتر) استفاده کرد ولی در صورتی که غلظت لجن از این حد بیشتر باشد، برای استفاده از این روابط باید از ضرایبی که در آن، غلظت لجن لحاظ شده است، استفاده نمود.

#### ۴- هیدرولیک سازه‌ها

##### ۴-۱- سرریز

طبق تعریف، هر مانعی که بر سر راه جریان در کانال قرار گیرد و باعث شود تا آب در پشت آن بالا آمده و بر سرعت، آب ضمن عبور از روی آن افزوده شود، سرریز نامیده می‌شود. سرریزها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از نوع لبه تیز هستند و آنها را می‌توان در دو حالت آزاد و مستغرق مورد مطالعه قرار داد. سرریزهای لبه تیز با جریان آزاد به صورت عمود بر بردار سرعت در مسیر جریان قرار می‌گیرند و رابطه بین بده (Q) و ارتفاع آب روی سرریز (H) 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 و احیاناً اندازه‌گیری شدت جریان است. سرریزها می‌توانند به شکل‌های مستطیلی، مثلثی، دوزنقه‌ای و غیره در تمام یا بخشی از سطح مقطع جریان عبوری ساخته شوند.

اگر تراز پایاب (جریان در پس از سرریز) به گونه‌ای نسبت به تاج سرریز در نظر گرفته شود که ریزش جریان از روی سرریز را تحت تأثیر قرار ندهد، جریان آزاد نامیده می‌شود. اما اگر تراز پایاب به حدی برسد که جریان عبوری از روی سرریز را تحت تأثیر قرار دهد، در این صورت آب پس زده می‌شود و برای عبور همان بده عمق آب بالادست افزایش می‌یابد و یا بده نسبت به حالت آزاد با همان عمق در بالادست،

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

در این رابطه K یک ضریب تجربی است و مقدار آن را برای هر حالت با توجه به شکل و نوع اتصال، به صورت تجربی تعیین می‌کنند. در طراحی هیدرولیکی کانال‌ها و مجاری باز انتقال آب، لازم است تا عمق آب در نقاط مختلف کانال و یا به عبارتی پروفیل سطح آب محاسبه و تعیین شود. سپس با منظور نمودن ارتفاع آزاد، ابعاد هندسی مناسب برای کانال انتخاب و بر مبنای مشخصات هیدرولیکی افت ارتفاع جریان، محاسبه شود. برای تعیین مشخصات هیدرولیکی جریان در کانال‌های باز، روابط متعددی ارائه شده است. از این روابط می‌توان به روابط مانینگ، بازن و کاتر اشاره نمود. در این نوشتار با توجه به عمومیت رابطه مانینگ، سهولت کاربرد و دقت قابل قبولی که از این رابطه به دست می‌آید، برای جریان در کانال‌های باز، از آن استفاده می‌شود:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (7)$$

##### ۴-۲- عمق بحرانی

در هیدرولیک کانال‌های باز محاسبه عمق بحرانی به عنوان یک عمق معیار، از اهمیت زیادی برخوردار است. طبق تعریف، عمق بحرانی عمقی است که در آن عدد فروود جریان برابر با یک باشد، بنابراین:

$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{gD_c}} = 1 \Rightarrow \frac{Q^2 T_c}{g A_c^3} = 1 \quad (8)$$

در رابطه بالا  $T_c$  عرض سطح آزاد جریان بحرانی،  $D_c$  عمق هیدرولیکی بحرانی،  $V_c$  سرعت بحرانی و  $A_c$  مساحت سطح مقطع بحرانی می‌باشند.

#### ۳- هیدرولیک لجن

لجن به علت دارا بودن مواد معلق بیشتر نسبت به فاضلاب، دارا

در این رابطه  $H$  ارتفاع جریان روی سرریز و  $C_d$  ضریب بده می‌باشد که برای سرریز تناسبی بین  $0/6$  تا  $0/9$  تغییر می‌کند ولی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به جهت اطمینان این مقدار برابر با  $0/6$  انتخاب می‌شود. همچنین در این رابطه همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است،  $L$  طول بازشدگی روی سرریز، که متغیر است، را نشان می‌دهد.

#### ۴-۲- دریاچه

دریاچه‌ها در شکل‌ها و عملکردهای متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دریاچه‌های مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بیشتر از نوع زیرگذر کشویی بوده و تنظیم و کنترل جریان بر اساس میزان باز شدگی از پایین دست انجام می‌گیرد. دبی عبوری از زیر دریاچه را می‌توان با برقراری رابطه انرژی بین مقاطع قبل و بعد از دریاچه به دست آورد.

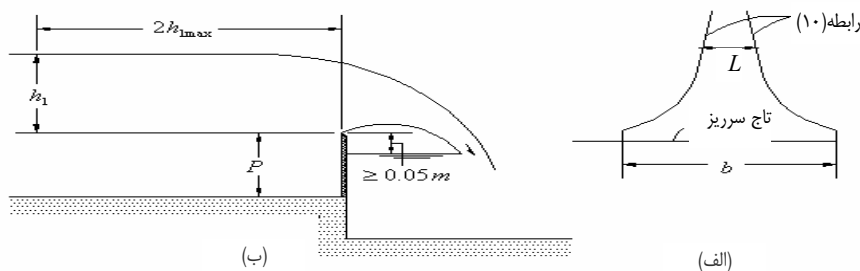
کمتر می‌شود. در این صورت جریان مستغرق نامیده می‌شود و مقدار  $Q$  با تقریب بسیار خوبی از رابطه (۹) به دست می‌آید [2]:

$$Q = Q_1 \left[ 1 - \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^n \right]^{0/385} \quad (9)$$

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  $n=1/5$ ) می‌باشد.

در صورتی که طراحی سرریز به گونه‌ای انجام پذیرد که بده به صورت خطی با تغییرات  $H$  تغییر کند، آن سرریز را سرریز تناسبی می‌نامند. در سرریز تناسبی رابطه (۱۰) بین شدت جریان عبوری و عمق آب برقرار است [2]:

$$Q = 1/57 C_d \sqrt{2g} LH^{3/2} \quad (10)$$



شکل ۳- سرریز تناسبی، (الف) مقطع عبور جریان، (ب) مقطع طولی [2].

#### ۴-۳- سیستم‌های توزیع جریان

چنانچه این تقسیم جریان به نحو مطلوبی صورت نگیرد، عملکرد نامطلوب واحدهای زبردست خود را به همراه دارد. بنابراین طراحی سیستم‌های توزیع جریان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. برای تقسیم جریان روش‌های مختلفی وجود دارد که بسته به شرایط موجود

با توجه به اینکه در بسیاری از قسمت‌های تصفیه‌خانه فاضلاب واحدها به صورت موازی در کنار هم قرار گرفته‌اند، لازم است جریان به طور مساوی و یا با یک نسبت مشخص بین آنها تقسیم گردد. بدیهی است

### ۵- هیدرولیک تلمبه‌ها

در تصفیه‌خانه برای انتقال فاضلاب، مواد شیمیایی و پساب یا لجن بین واحدهای مختلف از تلمبه استفاده می‌شود (شکل ۵). تلمبه انرژی لازم را با افزایش ارتفاع و سرعت به آب می‌دهد تا جریان از نقاط با ارتفاع کمتر به سمت نقاط با ارتفاع بیشتر جریان یافته یا افت ارتفاع آن را جبران کند.

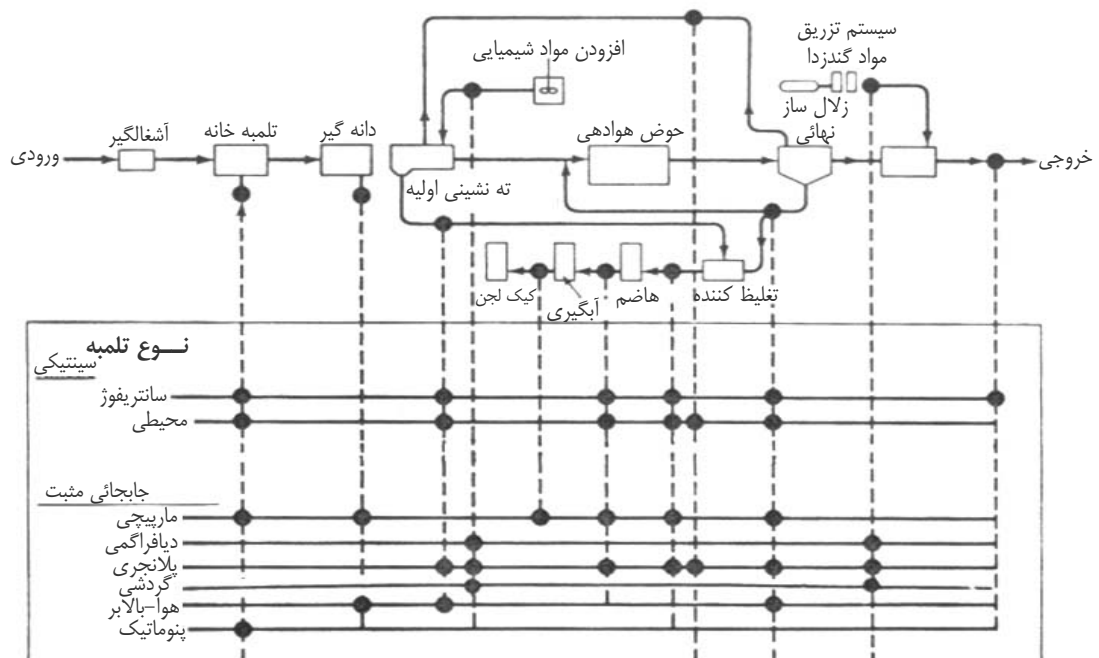
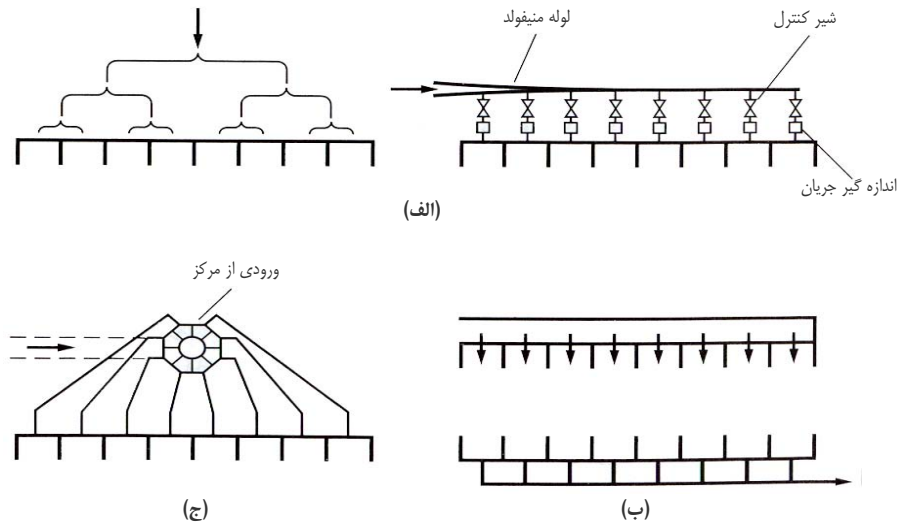
انتخاب می‌شود. این روش‌ها به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌گردد:

الف - جعبه تقسیم،

ب - مجاری توزیع باز

ج - منیفولد (Manifold)

در شکل (۴) چند نمونه از سیستم‌های متداول توزیع جریان در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نشان داده شده است.



فاضلاب در هر واحد ضروری است. برای این منظور می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد که انتخاب روش اندازه‌گیری، تابع عوامل هیدرولیکی، فنی و اقتصادی است. در جدول (۱) مقایسه کلی بین روش‌های اندازه‌گیری جریان مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، بیان شده است.

در مجاری بسته از روزنه (Orifice)، ونتوری (Ventury Meter) و نازل (Nozzle) برای اندازه‌گیری جریان استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری بده در کانال‌های باز نیز می‌توان از وسایل مختلفی نظیر سرریز و ناودان (فلوم) استفاده نمود. در مرجع [2] توضیحات مربوط به هیدرولیک هر یک از این وسائل اندازه‌گیری آمده است.

هنگامی که وجود یک تلمبه به تنهایی نتواند ارتفاع یا بده مورد نیاز را تأمین کند و یا در مواقعی که نوسانات ارتفاع یا بده زیاد باشد، از دو یا تعداد بیشتری تلمبه به صورت موازی (یا در برخی شرایط خاص به صورت سری) استفاده می‌شود. در شکل (۵) کاربردهای رایج انواع تلمبه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نشان داده شده است.

## ۶- اندازه‌گیری جریان

اندازه‌گیری دائمی مقدار فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه و خروجی از آن برای راهبری و بهره‌برداری صحیح از واحدهای مختلف آن لازم است. به علاوه اندازه‌گیری بده جریان و تعیین مدت زمان توقف

جدول ۱- روش‌های متداول اندازه‌گیری بده جریان در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب [4]

وسيله اندازه‌گیری	مورد استفاده		دامنه و دقت		تأثير مواد معلق آب	افت ارتفاع	توان مورد نیاز	سادگی و نیازمندی		سهولت واسنجی	هزینه	قابلیت حمل
	تحت فشار	کانال باز	دامنه	دقت				قابلیت اطمینان	به تعمیرات			
ونتوری متر	Y	N	۱:۱۰	±۰/۵	H	L	L	G	M	G	H	N
نازل	Y	N	۱:۴	±۰/۳	H	M	L	G	L	G	M	N
روزنه گیری	Y	N	۱:۴	±۱	H	H	L	G	H	G	L	Y
اندازه گیر مغناطیسی	Y	N	۱:۱۰	±۱-۲	S	L	M	F	M	G	H	N
اندازه گیری توربینی	Y	N	۱:۱۵	±۰/۲۵	H	M	L	F	M	G	H	N
سرعت سنج التراسونیک	Y	N	۱:۱۰	±۱-۲	M	L	M	F	M	G	H	N
التراسونیک	Y	N	۱:۱۰	±۱-۲	M	L	M	F	M	G	H	N
ناودان پارشال	N	Y	۱:۲۰	±۵	S	L	L	G	L	G	M	Y
ناودان	N	Y	۱:۲۰	±۱۰	S	L	L	G	L	G	L	Y
سرریز	N	Y	۱:۲۰	±۰/۵	H	H	L	G	L	G	L	Y
عمق سنج	N	Y	۱:۱۰	±۵۰	M	L	L	G	L	P	L	Y
نازل جریان آزاد	N	Y	۱:۲۰	±۱	S	M	L	G	L	F	L	Y

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

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 به صورت توری‌های فلزی، صفحات سوراخ‌دار و یا میله‌هایی با فواصل معین، به شکل‌های ثابت و یا متحرک ساخته می‌شوند. طراحی هیدرولیکی واحد آشغالگیر شامل طراحی سازه ورودی،

## ۷- 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



آشغالگیر، برابر بده حداکثر لحظه‌ای، 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 (۲) مقادیر مجاز سرعت به همراه سایر مشخصات کانال آشغالگیر ارائه شده است.

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 دوتایی 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 شود. مقطع کانال آشغالگیر معمولاً به شکل مستطیل و کف آن بدون شیب است. اغلب بده طراحی هر یک از کانال‌های

جدول ۲- متغیرهای هیدرولیکی آشغالگیر برای انواع مختلف سامانه تمیز کننده [4]

تمیز کننده مکانیکی	تمیز کننده دستی	متغیرهای طراحی
۰/۶-۱/۰	۰/۳-۰/۶	سرعت در بین میله‌ها (m <sup>۳</sup> /s)
۸-۱۰	۴-۸	عرض (mm)
۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	عمق (mm)
۱۰-۵۰	۲۵-۷۵	فاصله باز بین میله‌ها (mm)
۷۵-۸۵	۴۵-۶۰	شیب میله‌ها نسبت به افق (درجه)
۱۵۰	۱۵۰	هد افت مجاز (آشغالگیر گرفته) (mm)

زمین،  $W$  عرض مقطع میله‌ها که به طور مستقیم در مقابل جریان قرار دارد (m)،  $b$  فضای باز بین میله‌ها (m)،  $\theta$  زاویه میله‌ها با افق،  $A$  مساحت جریان،  $Q$  بده حداکثر لحظه‌ای عبوری (m<sup>۳</sup>/s) و  $C_d$  ضریب بده را نشان می‌دهد. ضریب بده  $C_d$  برای میله‌های تمیز، برابر با ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود.  $\beta$  فاکتور شکل است و مقدار آن را می‌توان با توجه به شکل هندسی میله‌ها از محدوده ۱/۷۹ برای میله‌های گرد، تا ۲/۴۲ برای میله‌های مستطیلی لبه تیز، تعیین کرد.

### ۸- 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 در هاضم‌های لجن شود. برای دانه‌گیری معمولاً از سه نوع دانه‌گیر با جریان افقی، با هوادهی و با جریان گردابی استفاده می‌شود. خیلی از اوقات در واحد دانه‌گیر، چربی‌ها نیز از سیستم حذف می‌شوند. در طراحی کانال دانه‌گیر، لازم است نوسانات روزانه جریان

هد افت، در آشغالگیر شامل افت ارتفاع در ورودی، افت ارتفاع در کانال آشغالگیر و افت ارتفاع در بین میله‌های آشغالگیر است. 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 [1]:

$$h_l = \left( \frac{1}{0.7} \right) \cdot \frac{V^2 - \bar{V}^2}{2g} \quad (11)$$

$$h_l = \beta \left( \frac{W}{b} \right)^3 \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \sin \theta \quad (12)$$

$$h_l = \frac{1}{2g} \cdot \left( \frac{Q}{C_d A} \right)^2 \quad (13)$$

در این روابط  $h_l$  افت ارتفاع در میله‌های آشغالگیر (m)،  $\bar{V}$  سرعت متوسط در کانال بالادست آشغالگیر (m/s)،  $V$  سرعت عبور جریان فاضلاب از بین میله‌های آشغالگیر (m/s)،  $g$  شتاب گرانش

ته‌نشینی به اشکال گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### الف - حوض‌های ته‌نشینی با جریان افقی

در این نوع، جهت جریان افقی بوده و مقطع معمول این حوض‌ها به صورت مستطیلی و دایره‌ای است. از نکات مثبت هیدرولیکی هندسه مستطیلی می‌توان به پایین بودن احتمال وقوع جریان‌های میان‌بر و کاهش افت در ورودی اشاره کرد. از نقاط ضعف هیدرولیکی این هندسه می‌توان به حساسیت این سامانه به موج‌های ناشی از جریان، نیاز به سرریزهای چندگانه جهت تثبیت آهنگ بار سطحی و امکان به وجود آمدن فضای مرده اشاره کرد. بوجود آمدن فضای مرده بازده ته‌نشینی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از به وجود 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.

### ب- حوض‌های ته‌نشینی با سطح مایل

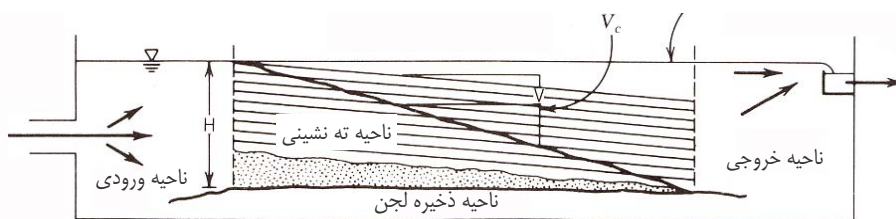
در این سامانه، حوض ته‌نشینی را با استفاده از یکسری سطوح مایل به قسمت‌هایی تقسیم می‌کنند که در این حالت عمق لازم برای ته‌نشینی کمتر است و زمان ته‌نشینی کاهش می‌یابد. این سامانه‌ها را می‌توان به انواع ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای (Tube Settler) و متشکل از ورق‌های موازی تقسیم‌بندی کرد.

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. معمولاً دانه‌گیر برای جداسازی دانه‌های با قطر بزرگتر از ۰/۲۱ میلی‌متر طراحی می‌شود و این طراحی باید به گونه‌ای باشد که تنها دانه‌های با چگالی ۱/۵ تا ۲/۷ از فاضلاب جدا شود و ته‌نشینی مواد آلی (مواد با چگالی تقریبی ۱/۰۲) در آن صورت نگیرد. در طراحی دانه‌گیر سعی می‌شود همواره سرعت در حدود ۰/۳ m/s نگه داشته شود. طول کانال تابعی از عمق لازم بر اساس سرعت ته‌نشینی است و معمولاً در نظر گرفتن طول اضافه به مقدار حداقل ۵۰ درصد طول نظری، برای جبران تلاطم جریان فاضلاب در ورودی و خروجی مطلوب 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 از آن صرف نظر و یا برابر با شیب کف کانال در نظر گرفته می‌شود. افت در سازه‌های ورودی و خروجی بسته به شکل آنها محاسبه می‌شود.

## ۹- ته‌نشینی

هدف از قرار دادن واحد ته‌نشینی (اولیه و ثانویه) حذف ذرات معلق و ذرات قابل ته‌نشینی است. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب حوض‌های



شکل ۶- ناحیه بندی حوض ته‌نشینی [3]

## ۱۰- سایر واحدها

در بسیاری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب علاوه بر تصفیه فیزیکی، از واحدهای تصفیه زیستی نیز برای تصفیه بیشتر فاضلاب استفاده

حوض ته‌نشینی از سازه ورودی، قسمت میانی و سازه خروجی تشکیل شده است. قسمت‌های مختلف حوض ته‌نشینی در شکل (۶) نشان داده شده است.

## ب - صافی‌های چکه‌ای

صافی چکه‌ای 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. از آنجا که با هر بار عبور فاضلاب از بستر صافی چکه‌ای، فقط قسمتی از آلودگی‌های آن حذف می‌شود، لذا برای تأمین بازده بیشتر، مقداری از فاضلاب خروجی از بستر را برگشت داده و با فاضلاب ورودی مخلوط می‌کنند. به لحاظ هیدرولیکی، هر صافی چکه‌ای از سه قسمت تشکیل شده است:

- ۱- سیستم توزیع جریان،
- ۲- بستر صافی
- ۳- سیستم جمع‌آوری تحتانی تشکیل شده است.

## ج - صفحات زیستی چرخان

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 به صورت آماده (Package) مورد استفاده قرار می‌گیرند و محاسبه افت ارتفاع و سایر مشخصات هیدرولیکی معمولاً توسط سازندگان این تجهیزات ارائه می‌شود.

## ۱-۲- ته‌نشینی ثانویه

تحت تأثیر 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 (زال‌ساز نهایی) استفاده می‌شود. طراحی هیدرولیکی حوض زال‌ساز ثانویه مشابه با حوض ته‌نشینی اولیه است.

## ۱-۳- استخرهای تثبیت

این روش تصفیه به استخر یا مجموعه استخرهایی اطلاق می‌شود که تنها با اقامت فاضلاب در آنها عمل تصفیه از طریق زیستی انجام می‌پذیرد. اگر چه استفاده از استخرهای تثبیت سابقه طولانی دارد ولی در گذشته چندان توجهی به آن نمی‌شد و ضوابط و مبانی علمی

می‌شود. به علاوه واحد گندزدایی 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 فیلتراسیون و ریزصافی‌ها کاربرد دارند.

## ۱-۱- تصفیه زیستی

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 شود. در تصفیه زیستی فاضلاب، برحسب نوع و نحوه استقرار میکروارگانیسم‌ها در واحدهای تصفیه، روش‌های مختلفی 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 مقاله است. معمول‌ترین روش‌های زیستی در تصفیه فاضلاب شهری عبارتند از:

- ۱- فرآیند لجن فعال
- ۲- فرآیند صافی چکه‌ای
- ۳- فرآیند صفحات بیولوژیکی چرخان
- ۴- فرآیند استخرهای 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.

## الف - واحد لجن فعال

یکی از معمول‌ترین 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 نیتروژن اضافه کردن واحدهای بی‌هوازی و آنوکسیک (Anoxic) قبل از حوض هوادهی است.

درصد جامدات موجود در لجن بالاست (بیشتر از ۱ درصد) برای محاسبات هیدرولیکی این مسئله را در نظر گرفت.

#### ۱۰-۵- واحد گندزدایی

قبل از وارد نمودن پساب تصفیه‌خانه فاضلاب به منابع طبیعی و یا استفاده مجدد از آن، لازم است میکروارگانسیم‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب از بین برود. گندزدایی را می‌توان به روش‌های مختلفی انجام داد. اگرچه روش متداول در ایران با استفاده از کلر انجام می‌گیرد. 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 شود:

الف - اختلاط به وسیله تجهیزات مکانیکی

ب - اختلاط به وسیله در نظرگیری صفحات مانع ترتیبی

ج - اختلاط به وسیله پرش هیدرولیکی پس از سرریز، دریچه و یا پارشال فلوم

پس از واحد اختلاط مواد گندزدا، حوض‌های تماس قرار دارند. هدف از به کارگیری حوض‌های تماس فراهم آوردن تماس مناسب برای تأثیر مواد گندزدا و از بین بردن عوامل بیماری‌زا است. طبق استاندارد ۳-۱۲۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی 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 استفاده می‌شود. 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 [3].

#### ۱۰-۶- صاف‌سازی پساب یا فیلتراسیون

فیلتراسیون از قدیمی‌ترین 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 تصفیه خانه‌های فاضلاب است، ولی در برخی

مشخصی برای طراحی آنها وجود نداشت. در دو سه دهه اخیر که لزوم جلوگیری از آلودگی آب‌ها از طریق تصفیه فاضلاب، در تمام کشورها بطور جدی مطرح شده است، استخرهای تثبیت به علت سادگی عملیات اجرایی، مورد توجه خاص قرار گرفته‌اند. در ایران، روش استخرهای تثبیت برای شهرهایی که از شرایط آب و هوایی مناسب برخوردار بوده و زمین کافی برای ایجاد تصفیه‌خانه فاضلاب در اختیار دارند، می‌تواند از گزینه‌های مناسب باشد مشروط به آنکه کادر فنی متخصص برای بهره‌برداری این سیستم‌ها تربیت شوند.

هر استخر تثبیت از سازه ورودی، خروجی و حجم میانی، تشکیل شده است. بر اساس تجربیات به دست آمده مناسب‌ترین شکل برای استخرهای تثبیت، مستطیل است که نسبت به سایر اشکال نظیر مربع و دایره مناسب‌تر است. معمولاً نسبت طول به عرض استخر بین ۲ به ۱ تا ۳ به ۱ تغییر می‌کند. برای ورود جریان به استخر معمولاً تقسیم جریان ورودی و استفاده از ورودی‌های چندگانه که از چند نقطه، جریان را به داخل استخر وارد می‌کنند، مناسب‌تر است. 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.

افت ارتفاع در استخرهای تثبیت شامل قسمت‌های افت ارتفاع در سازه ورودی، افت ارتفاع در سازه خروجی و افت ارتفاع در حجم میانی است. 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 طول زیاد استخر می‌توان به ازای هر ۱۰۰m از طول مسیر جریان در استخر، ارتفاعی معادل ۵cm را برای افت ارتفاع منظور کرد. محاسبه افت ارتفاع در سازه ورودی مشابه با سایر واحدها است. خروجی استخر معمولاً به صورت سرریز است.

#### ۱۰-۴- تصفیه و آماده‌سازی لجن برای دفع

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، علاوه بر واحدهایی که عمل تصفیه فاضلاب را انجام می‌دهند واحدهایی نیز برای پردازش و تصفیه لجن و آماده‌سازی آن برای دفع به محیط وجود دارد. بسیاری از این واحدها نظیر سانتریفوژهای تغلیظ لجن یا سامانه‌های آبگیری به صورت آماده ساخته و عرضه می‌شوند. در طراحی دیگر واحدها نظیر مخازن تغلیظ، هاضم‌های لجن و یا بسترهای لجن خشک کن، باید در مواردی که

در ابتدای بهره‌برداری از تصفیه‌خانه می‌شود. استفاده از یک مدول در مرحله اول راه‌اندازی و افزایش تدریجی ظرفیت تصفیه‌خانه بر حسب نیاز و همزمان با افزایش بده فاضلاب ورودی از فوائد استفاده از این روش می‌باشد. با توجه به اینکه در اغلب موارد بده ورودی به تصفیه‌خانه در ابتدای دوران بهره‌برداری به دلایلی 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 بهره‌برداری می‌شود. همچنین، چنانچه فرآیند انتخابی برای تصفیه در مدول اول دارای نواقصی باشد (هم از نظر طراحی و هم از نظر اجرایی) می‌توان در مراحل ساخت بعدی، تا حدودی آن را تصحیح کرد. در این روش فرآیند تصفیه را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که در مراحل مختلف ظرفیت آن افزایش یابد. در مرحله اول تمام فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه را بصورت مقدماتی تصفیه و پس از گذردایی به آب‌های پذیرنده یا محل‌های دیگر دفع می‌کنند (البته ممکن است در این شرایط استانداردهای تخلیه پساب کاملاً رعایت نشود). 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 کلر زنی به آب‌های پذیرنده یا محل‌های دیگر دفع می‌شود.

در این روش، طراحی و ساخت ساختمانی واحدهای تصفیه‌خانه بر مبنای بده طرح انجام می‌شود ولی در مرحله اول بهره‌برداری 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 می‌گیرد. در مرحله دوم بهره‌برداری با نصب تجهیزات الکترومکانیکی امکان تصفیه زیستی و افزایش ظرفیت فراهم می‌شود.

## ۱۲- پروفیل هیدرولیکی

بررسی هیدرولیک جریان در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عمدتاً بخاطر این

موارد به منظور استفاده مجدد پساب در صنعت، از آن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز استفاده می‌شود. لازم به ذکر است این واحد در پروفیل هیدرولیکی کمتر وارد می‌شود. افت ارتفاع در صافی نسبت به سایر واحدها بیشتر بوده و لازم است مقدار این افت ارتفاع در حالت صافی تمیز و صافی گرفته محاسبه شود.

## ۱۱- 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 سلیقه و تجربه طراح و بر اساس موقعیت خاص تصفیه‌خانه مورد نظر، انجام می‌شود. نکات مهم زیادی وجود دارد که در انتخاب محل و جانمایی واحدها باید به آن توجه نمود که از این جمله می‌توان به توپوگرافی، کاربری و ارزش زمین، جنس خاک و شرایط پی، راه‌های دسترسی، منابع تولید کننده بو، منابع تولید کننده صدا، آسانی تملیک و خرید زمین اشاره کرد. توپوگرافی محل یکی از متغیرهای مهم در انتخاب محل و جانمایی واحدهای مختلف یک تصفیه‌خانه است، 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 موقعیت‌هایی برای ایجاد شیب لازم به حداقل ممکن می‌رسد. به علاوه، یکی از مزیت‌های تصفیه‌خانه‌هایی که در زمین‌های شیب‌دار ساخته می‌شوند، سهولت انتقال لجن به ماشین‌های لجن کش بدون نیاز به عملیات تلمبه زنی است.

در جانمایی واحدهای تصفیه‌خانه می‌بایست ضمن رعایت نیازهای اجرایی و بهره‌برداری آسان از نظر تناسب فاصله‌ها، کاهش هزینه‌های اجرایی (از جمله حذف لوله‌کشی‌های اضافی، استفاده از دیوارهای مشترک)، از نظر منظره و زیبایی ظاهری نیز جذابیت داشته باشد. یکی از روش‌های طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، طراحی مدولار یا مرحله‌ای است. استفاده از تصفیه‌خانه‌های مدولار علاوه بر این که موجب کاهش هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری می‌شود، کاهش حجم نیروی کاری و تجهیزات مورد نیاز و نیز جلوگیری از استهلاک بی‌مورد قسمتی از تجهیزات را به همراه دارد. همچنین تقسیم تصفیه‌خانه به چند مدول و ساخت مرحله‌ای باعث بازده بهتر تصفیه

۳- بیشترین افت ارتفاع در شرایط بده حداکثر لحظه‌ای، هنگامی که واحدهای بزرگ تصفیه‌خانه خارج از سرویس باشند، رخ می‌دهد. مقادیر تقریبی افت ارتفاع کل در واحدهای اصلی تصفیه‌خانه فاضلاب در جدول (۳) بیان شده است.

۴- 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 می‌بایست برابر  $0.16 \text{ m/s}$  باشد. در حین عبور حداقل بده به دلیل انتقال جامدات آلی، سرعت می‌بایست حداقل  $0.3 \text{ m/s}$  باشد.

۵- در طراحی کانال‌های تصفیه‌خانه فاضلاب، مبنای طراحی می‌بایست بر اساس بده حداکثر لحظه‌ای و شرایط جریان بکنواخت انجام گیرد. مگر در حالت‌هایی که جریان در بیشتر طول مسیر متغیر باشد.

برای ترسیم پروفیل 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 با تراز سطح آب، اختیاری باشد. با مشخص شدن این نقطه می‌توان با حرکت به سمت پایین‌دست یا بالادست و محاسبه افت ارتفاع در هر قسمت به صورت عقب رو یا جلورو تراز سطح آب در هر نقطه را محاسبه و پروفیل سطح آب را رسم نمود.

است 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 پایین‌تر قرار گرفته و یا نسبت به واحدهای پایین‌دست چقدر بالاتر می‌باشد. معمولاً افت ارتفاع کل مجاز 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، تلمبه‌زنی 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 تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ارتفاع کل موجود بر اساس تفاوت سطح آب در ورود و خروج تعیین می‌شود. اگر افت ارتفاع مجاز از میزان افت ارتفاع در مسیر تصفیه‌خانه کمتر باشد، در این حالت وقوع جریان به صورت ثقلی در طول تصفیه‌خانه امکان‌پذیر نیست و برای جبران کمبود ارتفاع باید از تلمبه‌زنی استفاده نمود. در تعیین پروفیل هیدرولیکی باید به مسائل زیر توجه نمود [3]:

- ۱- پروفیل هیدرولیکی تصفیه‌خانه باید برای حالت بده حداکثر لحظه‌ای رسم و برای بده متوسط و بده حداقل کنترل شود.
- ۲- پروفیل هیدرولیکی معمولاً برای مسیرهای مهم یا اصلی در تصفیه‌خانه در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳- دامنه تغییرات متعارف افت ارتفاع در واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب شهری [4]

واحد	افت ارتفاع (m)
آشغالگیر	۰/۰۲-۰/۳
دانه‌گیر با سرعت کنترل شده	۱-۲/۵
دانه‌گیر با هوادهی	۰/۵-۱/۲
حوض ته‌نشینی اولیه	۰/۵-۱/۰
حوض هوادهی	۰/۳-۰/۸
صافی چکه‌ای با نرخ کم	۳-۶
صافی چکه‌ای با نرخ بالا (تک مرحله ای)	۲-۵
ته نشینی ثانویه	۰/۵-۱
تأسیسات گندزدایی فاضلاب	۰/۲-۲/۵

خانه برای حالت‌های مختلف بهره‌برداری ترسیم شود. بدیهی است عدم توجه به این مهم باعث اختلال در زمان بهره‌برداری و کاهش راندمان تصفیه خواهد شد. در قسمت‌های مختلف این نوشتار روابط و روش محاسبه پروفیل جریان در تصفیه‌خانه فاضلاب بیان شد.

### ۱۳- نتیجه‌گیری

توجه به هیدرولیک جریان در طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و لازم است در مرحله طراحی با به کارگیری مناسب اصول هیدرولیک، پروفیل جریان در طول تصفیه

### مراجع

- 1- Metcalf and Eddy, Inc, "Wastewater Engineering", McGraw-Hill, 2003.
- 2- Bos, M.C.Ed., "Discharge Measurement Structures", Publication No.161, Hydraulics, 1976.
- ۳- استاندارد وزارت نیرو، (در دست چاپ).  
استاندارد هیدرولیکی طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، دفتر
- 4- Qasim, Syed R, "Wastewater Treatment Plants" Technomic Publishing Company, Inc, 1999.
- 5- Chow, Vente, "Open Channel Hydraulics", McGraw-Hill, 1956.
- 6- Davis.C.V, Sorenson.K.E, "Handbook of Applied Hydraulic", McGraw-Hill, 1984.
- 7- Igor J.Karassik, William C.Krutzsch, Worren H.Fraser, "Pump Handbook", Second Edition, 1976.
- 8- Mark J.Hammer, "Water and Wastewater Technology", 1986.
- 9- Tom D.Reynolds, Poul A.Richards, "Unit Operations and Processes in Environmental Engineering", PWS Publishing Company, 1999.

## دعوت به همکاری عضو هیأت علمی در گروه مهندسی شیمی - دانشگاه تبریز

بدینوسیله از دارندگان مدرک تحصیلی دکترا و دانشجویان دکتری در شرف فارغ‌التحصیلی در رشته مهندسی شیمی (کلیه گرایش‌های مهندسی شیمی) به عنوان عضو هیأت علمی دعوت به همکاری می‌نماید.  
مدارک مورد نیاز:

❖ درخواست کتبی (با ذکر نشانی و تلفن تماس)

❖ تصویر مدرک تحصیلی

❖ خلاصه‌ای از سوابق علمی و پژوهشی

نشانی: تبریز - بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز، گروه مهندسی شیمی، ک.پ. ۱۴۷۶۶-۵۱۶۶۶

تلفن تماس: تلفن تماس: ۰۴۱۱-۳۳۹۳۰۷۶ فکس: ۰۴۱۱-۳۳۴۰۱۹۱ (گروه مهندسی شیمی دانشگاه تبریز)