

## بسم الله الرحمن الرحيم

### طرح درس

#### درس: تصفیه فاضلاب

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| نام درس          | تصفیه فاضلاب             |
| استاد مربوطه     | دکتر امین محمدپور        |
| رشته تحصیلی      | مهندسی بهداشت محیط       |
| مقطع             | کارشناسی                 |
| گروه آموزشی      | مهندسی بهداشت محیط       |
| محل برگزاری کلاس | دانشکده پرستاری          |
| تعداد واحد       | ۳ واحد نظری              |
| تعداد جلسات      | ۱۷ جلسه                  |
| بستر آموزش       | حضور / مجازی (اسکای روم) |

### فلسفه درس

درس تصفیه فاضلاب یکی از دروس تخصصی و کلیدی رشته مهندسی بهداشت محیط است که به بررسی اصول، فرآیندها و طراحی سیستم‌های تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی می‌پردازد. هدف اصلی این درس، تربیت دانشجویانی است که با درک عمیق از خصوصیات فاضلاب، مکانیسم‌های تصفیه و ملاحظات زیست‌محیطی، توانایی طراحی و بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها را کسب کنند. رویکرد آموزشی این درس مبتنی بر پداگوژی فعال و دانش‌محور است و از روش‌های متنوع مانند حل مسئله، یادگیری گروهی، پروژه‌های عملی و بحث‌های کلاسی بهره می‌برد. آموزش مجازی در بستر اسکای روم برگزار می‌شود.

جلسه ۱: مقدمه، مفاهیم پایه و فلسفه درس

|              |                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱                                                     |
| عنوان جلسه   | مقدمه، مفاهیم پایه و فلسفه درس                        |
| هدف کلی      | آشنایی با مفاهیم پایه فاضلاب، اهمیت تصفیه و فلسفه درس |
| روش تدریس    | سخنرانی، پرسش و پاسخ، طوفان فکری                      |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                            |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>فاضلاب را تعریف کند و انواع آن را نام ببرد.</li> <li>دلایل ضرورت تصفیه فاضلاب را از دیدگاه بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی تشریح کند.</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- جایگاه درس را در برنامه آموزشی مهندسی بهداشت محیط تبیین کند.
- اصطلاحات کلیدی درس (پساب، لجن، تصفیه، بازیافت) را تعریف کند.

حیطه مهارتی:

- چرخه تولید تا تصفیه فاضلاب را به صورت شماتیک ترسیم کند.

محتوا و رئوس مطالب:

- فلسفه درس: چرا تصفیه فاضلاب؟ (بهداشت عمومی، حفاظت منابع آب، توسعه پایدار)
- تعریف فاضلاب و تفاوت آن با پساب و زهاب.
- تاریخچه تصفیه فاضلاب در جهان و ایران.
- آشنایی با بیماری‌های منتقله از طریق آب و فاضلاب (وبا، حصه، هپاتیت A، اسهال‌های عفونی).
- معرفی سرفصل‌ها، منابع و روش ارزشیابی.
- رویکرد پداگوژی محور و روش‌های یادگیری فعال در این درس.

|                |                                                                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | طوفان فکری با موضوع «فاضلاب چیست و چرا تصفیه می‌کنیم؟» و بحث گروهی درباره پیامدهای تخلیه فاضلاب تصفیه‌نشده. |
| تکلیف          | تحقیق کوتاه درباره یک حادثه آلودگی آب ناشی از فاضلاب در ایران و ارائه گزارش یک صفحه‌ای.                     |
| ارزشیابی       | پرسش شفاهی، مشارکت در بحث.                                                                                  |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۱; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۱                                                           |

## جلسه ۲: انواع فاضلاب و ویژگی‌های کیفی آن

|              |                                                                |
|--------------|----------------------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۲                                                              |
| عنوان جلسه   | انواع فاضلاب و ویژگی‌های کیفی آن                               |
| هدف کلی      | آشنایی با انواع فاضلاب تولیدی در جامعه و مقایسه ویژگی‌های آنها |
| روش تدریس    | سخنرانی، مقایسه‌ای، کار گروهی                                  |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                                     |

اهداف اختصاصی:

حیطه شناختی:

- انواع فاضلاب (خانگی، صنعتی، کشاورزی، سطحی، بیمارستانی) را نام ببرد.
- منابع تولید و ترکیب کیفی هر نوع فاضلاب را تشریح کند.
- تفاوت‌های کمی و کیفی انواع فاضلاب را مقایسه کند.

حیطه مهارتی:

- جدول مقایسه‌ای انواع فاضلاب را تهیه کند.

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• فاضلاب خانگی: سرانه تولید، ترکیب، نوسانات دبی.</li> <li>• فاضلاب صنعتی: انواع صنایع، آلاینده‌های شاخص (فلزات سنگین، ترکیبات آلی، اسیدها و بازها).</li> <li>• فاضلاب کشاورزی: زه‌آب، سموم، کودها، نیتрат.</li> <li>• فاضلاب سطحی (رواناب): ترکیب، منابع آلودگی غیرنقطه‌ای.</li> <li>• فاضلاب بیمارستانی: ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی خاص.</li> <li>• تأثیر نوع فاضلاب بر انتخاب فرآیند تصفیه.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                                                      |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | کار گروهی: تهیه جدول مقایسه‌ای انواع فاضلاب از نظر BOD، COD، TSS و آلاینده‌های شاخص. |
| تکلیف          | تهیه جدول مقایسه‌ای کامل انواع فاضلاب.                                               |
| ارزشیابی       | ارزیابی جدول، پرسش شفاهی.                                                            |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۲; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۲                                    |

### جلسه ۳: خصوصیات فیزیکی فاضلاب شهری

|              |                                                          |
|--------------|----------------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۳                                                        |
| عنوان جلسه   | خصوصیات فیزیکی فاضلاب شهری                               |
| هدف کلی      | آشنایی با پارامترهای فیزیکی فاضلاب و اهمیت آنها در طراحی |
| روش تدریس    | سخنرانی، حل مثال عددی                                    |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                               |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• پارامترهای فیزیکی فاضلاب (دما، رنگ، بو، کدورت، مواد جامد، رسانایی) را نام ببرد.</li> <li>• مقادیر معمول هر پارامتر را در فاضلاب شهری بیان کند.</li> <li>• اثر هر پارامتر را بر فرآیندهای تصفیه توضیح دهد.</li> <li>• روش‌های اندازه‌گیری هر پارامتر را شرح دهد.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• محاسبات VSS، TSS و FSS را انجام دهد.</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• دما: منابع، اثر بر فعالیت میکروبی و فرآیندهای بیولوژیکی.</li> <li>• رنگ: انواع، علل، اهمیت بهداشتی و زیبایی‌شناختی.</li> <li>• بو: ترکیبات بودار (<math>H_2S</math>، مرکاپتان‌ها)، منابع، روش‌های کنترل.</li> <li>• کدورت: تعریف، واحد NTU، اهمیت.</li> <li>• مواد جامد: TS، TSS، VSS، FSS، TDS.</li> <li>• رسانایی الکتریکی و ارتباط آن با TDS.</li> <li>• چگالی و وزن مخصوص فاضلاب.</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                          |
|----------------|----------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | حل مثال عددی برای محاسبه VSS، TSS و FSS در نمونه فاضلاب. |
| تکلیف          | حل ۳ مسئله عددی مربوط به مواد جامد.                      |
| ارزشیابی       | ارزیابی حل تمرین، پرسش شفاهی.                            |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۳؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۲        |

#### جلسه ۴: خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب شهری

|              |                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۴                                               |
| عنوان جلسه   | خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب شهری         |
| هدف کلی      | آشنایی با پارامترهای شیمیایی و بیولوژیکی فاضلاب |
| روش تدریس    | سخنرانی، حل مسئله، ترسیم منحنی BOD              |
| رسانه آموزشی | وایتبرد، پروژکتور، اسلاید                       |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>پارامترهای شیمیایی فاضلاب (pH، BOD، COD، TOC، نیتروژن، فسفر) را نام ببرد.</li> <li>پارامترهای بیولوژیکی (کلیفرم، E.coli، پاتوژن‌ها) را بشناسد.</li> <li>منحنی BOD را ترسیم و تفسیر کند.</li> <li>تفاوت BOD و COD را توضیح دهد.</li> <li>روش‌های اندازه‌گیری BOD، COD و کلیفرم را شرح دهد.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>منحنی BOD را ترسیم کند.</li> <li>محاسبات BOD<sub>5</sub> و BOD<sub>ultimate</sub> را انجام دهد.</li> </ul> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>pH، قلیائیت و اسیدیت.</li> <li>BOD: تعریف، مراحل، منحنی، محاسبات، محدودیت‌ها.</li> <li>COD: تعریف، واکنش، تفاوت با BOD، نسبت BOD/COD.</li> <li>TOD و TOC.</li> <li>نیتروژن: آلی، آمونیاک، نیتريت، نیترات (چرخه نیتروژن).</li> <li>فسفر: آلی، معدنی (ارتو فسفات، پلی فسفات).</li> <li>سولفات، سولفید، کلراید، فلزات سنگین، روغن و گریس.</li> <li>میکروارگانیسم‌های شاخص: کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، E.coli.</li> <li>پاتوژن‌ها: باکتری، ویروس، انگل.</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                                                                |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم منحنی BOD و محاسبه BOD <sub>5</sub> و BOD <sub>ultimate</sub> ; بحث درباره نسبت BOD/COD. |
| تکلیف          | حل ۳ مسئله عددی BOD و COD.                                                                     |

|          |                                                   |
|----------|---------------------------------------------------|
| ارزشیابی | ارزیابی حل تمرین، پرسش شفاهی.                     |
| منبع     | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۳؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۲ |

## جلسه ۵: طبقه‌بندی واحدهای تصفیه فاضلاب

|              |                                                  |
|--------------|--------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۵                                                |
| عنوان جلسه   | طبقه‌بندی واحدهای تصفیه فاضلاب                   |
| هدف کلی      | آشنایی با طبقه‌بندی و توالی واحدهای تصفیه فاضلاب |
| روش تدریس    | سخنرانی، نمودار درختی، کار گروهی                 |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                       |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>روش‌های طبقه‌بندی واحدهای تصفیه را نام ببرد.</li> <li>تفاوت واحدهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را تشریح کند.</li> <li>توالی مناسب واحدها را بر پایه نوع فاضلاب تعیین کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>فلوچارت تصفیه‌خانه را برای یک شهر فرضی ترسیم کند.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>طبقه‌بندی بر اساس ماهیت فرآیند: فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی.</li> <li>طبقه‌بندی بر اساس مرحله تصفیه: مقدماتی، اولیه، ثانویه، پیشرفته (ثالثیه).</li> <li>طبقه‌بندی بر اساس نوع فرآیند بیولوژیکی: هوازی، بی‌هوازی، اختیاری.</li> <li>توالی معمول واحدها در تصفیه‌خانه شهری.</li> <li>معیارهای انتخاب فرآیند: کیفیت پساب خروجی، هزینه، زمین، انرژی، لجن تولیدی.</li> <li>ترسیم فلوچارت کلی تصفیه‌خانه.</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                                                  |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | کار گروهی: ترسیم فلوچارت تصفیه‌خانه برای یک شهر فرضی با ذکر دلیل انتخاب هر واحد. |
| تکلیف          | ترسیم فلوچارت یک تصفیه‌خانه شهری با توضیح هر واحد.                               |
| ارزشیابی       | ارزیابی فلوچارت، پرسش شفاهی.                                                     |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۴; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۳                                |

## جلسه ۶: واحد آشغالگیر و طراحی آن

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۶                                       |
| عنوان جلسه   | واحد آشغالگیر و طراحی آن                |
| هدف کلی      | آشنایی با واحد آشغالگیر و اصول طراحی آن |
| روش تدریس    | سخنرانی، حل مسئله گروهی                 |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید              |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهمیت کاربرد آشغالگیر را در تصفیه فاضلاب توضیح دهد.</li> <li>• انواع آشغالگیر (دستی، مکانیکی، ریز، درشت) را نام ببرد.</li> <li>• پارامترهای طراحی آشغالگیر را بشناسد.</li> <li>• یک نمونه آشغالگیر را طراحی کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• محاسبات افت فشار و ابعاد آشغالگیر را انجام دهد.</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• جایگاه آشغالگیر در ابتدای تصفیه‌خانه و اهداف آن.</li> <li>• انواع آشغالگیر: دستی، مکانیکی، ریز (Fine Screen)، درشت (Coarse Screen).</li> <li>• پارامترهای طراحی: سرعت جریان (۰.۳-۰.۶ m/s)، فاصله میله‌ها، زاویه شیب، افت فشار (Head Loss).</li> <li>• روش‌های تمیزکاری: دستی، مکانیکی، خودکار.</li> <li>• ملاحظات بهره‌برداری و دفع آشغال.</li> <li>• حل مثال کامل طراحی آشغالگیر.</li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | حل مثال طراحی آشغالگیر به‌صورت گروهی و ارائه نتایج. |
| تکلیف          | طراحی کامل یک آشغالگیر برای دبی مشخص.               |
| ارزشیابی       | ارزیابی محاسبات طراحی، پرسش شفاهی.                  |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۵; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۵   |

#### جلسه ۷: واحد دانه‌گیر و طراحی آن

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۷                                       |
| عنوان جلسه   | واحد دانه‌گیر و طراحی آن                |
| هدف کلی      | آشنایی با واحد دانه‌گیر و اصول طراحی آن |
| روش تدریس    | سخنرانی، حل مسئله گروهی                 |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید              |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهمیت کاربرد دانه‌گیر را توضیح دهد.</li> <li>• انواع دانه‌گیر (مستطیلی افقی، هوادهی، گردابی) را نام ببرد.</li> <li>• پارامترهای طراحی دانه‌گیر را بشناسد.</li> <li>• دانه‌گیر مستطیلی و هوادهی را طراحی کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• محاسبات حجم، زمان ماند و سرعت ته‌نشینی را انجام دهد.</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهمیت حذف دانه و شن از فاضلاب و اثر آن بر تجهیزات.</li> <li>• انواع دانه‌گیر: مستطیلی افقی (Horizontal Flow)، هوادهی (Aerated)، گردابی (Vortex).</li> <li>• پارامترهای طراحی: سرعت ته‌نشینی (۰.۰۲-۰.۰۳ m/s)، زمان ماند (۴۵-۹۰ ثانیه)، ابعاد.</li> <li>• محاسبات طراحی دانه‌گیر مستطیلی.</li> <li>• محاسبات طراحی دانه‌گیر هوادهی.</li> <li>• ملاحظات بهره‌برداری و دفع دانه.</li> <li>• حل مثال کامل.</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | حل مثال طراحی دانه‌گیر مستطیلی و هوادهی به صورت گروهی. |
| تکلیف          | طراحی کامل دانه‌گیر مستطیلی و هوادهی.                  |
| ارزشیابی       | ارزیابی محاسبات، پرسش شفاهی.                           |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۵; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۵      |

#### جلسه ۸: متعادل سازی و ته‌نشینی اولیه

|              |                                             |
|--------------|---------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۸                                           |
| عنوان جلسه   | متعادل سازی و ته‌نشینی اولیه                |
| هدف کلی      | آشنایی با واحد متعادل سازی و ته‌نشینی اولیه |
| روش تدریس    | سخنرانی، حل مسئله، کار گروهی                |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                  |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهمیت متعادل سازی دبی و کیفیت را توضیح دهد.</li> <li>• حوضچه متعادل سازی را طراحی کند.</li> <li>• اهمیت ته‌نشینی اولیه را توضیح دهد.</li> <li>• انواع حوضچه ته‌نشینی اولیه را مقایسه کند.</li> <li>• پارامترهای طراحی ته‌نشینی اولیه را بشناسد و طراحی کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• محاسبات بار سطحی و زمان ماند را انجام دهد.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• متعادل سازی: اهداف (تعدیل دبی و بار آلی)، انواع (جریان مستقیم، جریان جانبی).</li> <li>• پارامترهای طراحی متعادل سازی: حجم، زمان ماند، هوادهی.</li> <li>• ته‌نشینی اولیه: اهداف (حذف TSS، کاهش بار آلی).</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- انواع حوضچه ته‌نشینی: مستطیلی، دایره‌ای.
- پارامترهای طراحی: بار سطحی ( $30-50 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ )، زمان ماند (۱.۵-۲.۵ ساعت)، عمق (۳-۴.۵ m).
- حل مثال کامل برای هر دو واحد.

|                |                                                                 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | حل مثال طراحی حوضچه متعادل سازی و ته‌نشینی اولیه به صورت گروهی. |
| تکلیف          | طراحی کامل حوضچه متعادل سازی و ته‌نشینی اولیه.                  |
| ارزشیابی       | ارزیابی محاسبات، پرسش شفاهی.                                    |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۶; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۵-۶             |

#### جلسه ۹: فرآیند لجن فعال و طراحی آن

|              |                                           |
|--------------|-------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۹                                         |
| عنوان جلسه   | فرآیند لجن فعال و طراحی آن                |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیند لجن فعال و اصول طراحی آن |
| روش تدریس    | سخنرانی، حل مسئله، نمایش انیمیشن          |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید، انیمیشن       |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهمیت لجن فعال را به عنوان فرآیند بیولوژیکی توضیح دهد.</li> <li>• اجزای فرآیند لجن فعال را نام ببرد.</li> <li>• میکروبیولوژی لجن فعال را بداند.</li> <li>• پارامترهای طراحی (SRT، HRT، F/M، MLSS) را بشناسد.</li> <li>• مشکلات بهره‌برداری (تورم لجن، کف) و راه‌حل‌ها را توضیح دهد.</li> <li>• یک فرآیند لجن فعال را طراحی کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• محاسبات SRT، HRT، F/M و MLSS را انجام دهد.</li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• اصول و تاریخچه لجن فعال.</li> <li>• میکروبیولوژی: باکتری‌ها، پروتوزوا، قارچ‌ها، نقش هر گروه.</li> <li>• اجزای فرآیند: مخزن هوادهی، ته‌نشینی ثانویه، برگشت لجن (RAS)، دفع لجن مازاد (WAS).</li> <li>• انواع فرآیند: متعارف، مخلوط کامل، پلاگ، هوادهی ممتد.</li> <li>• پارامترهای طراحی: SRT (۵-۱۵ روز)، HRT (۴-۸ ساعت)، RSS، MLSS (۲۰۰۰-۴۰۰۰ mg/L)، F/M (<math>0.2-0.4 \text{ d}^{-1}</math>)، بار آلی، بار هیدرولیکی.</li> <li>• مشکلات بهره‌برداری: تورم لجن (Bulking)، کف (Foaming)، شوک آلی.</li> <li>• حل مثال کامل طراحی.</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                                       |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | حل مثال طراحی لجن فعال به صورت گروهی و بحث درباره مشکلات بهره‌برداری. |
| تکلیف          | طراحی فرآیند لجن فعال برای فاضلاب شهری با دبی مشخص.                   |
| ارزشیابی       | ارزیابی محاسبات، پرسش شفاهی.                                          |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۷؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۷                     |

#### جلسه ۱۰: راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR)

|              |                                           |
|--------------|-------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱۰                                        |
| عنوان جلسه   | راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR)           |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیند SBR و مقایسه با لجن فعال |
| روش تدریس    | سخنرانی، مقایسه‌ای، نمایش انیمیشن چرخه    |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید، انیمیشن       |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• تفاوت SBR با لجن فعال متعارف را توضیح دهد.</li> <li>• مراحل چرخه SBR را نام ببرد.</li> <li>• مزایا و معایب SBR را بیان کند.</li> <li>• پارامترهای طراحی SBR را بشناسد.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• چرخه SBR را ترسیم کند.</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• تعریف و اصول SBR.</li> <li>• مراحل چرخه: پر شدن (Fill)، واکنش (React)، ته‌نشینی (Settle)، تخلیه (Draw)، بیکاری (Idle).</li> <li>• مزایا: انعطاف‌پذیری، کنترل فرآیند، حذف نوترینت، نیاز به فضای کم.</li> <li>• معایب: نیاز به کنترل دقیق، تجهیزات بیشتر.</li> <li>• پارامترهای طراحی: حجم راکتور، زمان چرخه، تعداد چرخه در روز، SRT.</li> <li>• کاربردها و مقایسه با فرآیندهای پیوسته.</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم چرخه SBR و محاسبه حجم راکتور.               |
| تکلیف          | طراحی یک راکتور SBR برای دبی مشخص.                |
| ارزشیابی       | ارزیابی محاسبات، پرسش شفاهی.                      |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۸؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۷ |

#### جلسه ۱۱: بیوراکتور غشایی (MBR)

|            |    |
|------------|----|
| شماره جلسه | ۱۱ |
|------------|----|

|              |                                      |
|--------------|--------------------------------------|
| عنوان جلسه   | بیوراکتور غشایی (MBR)                |
| هدف کلی      | آشنایی با فناوری MBR و اصول طراحی آن |
| روش تدریس    | سخنرانی، نمایش فیلم، پرسش و پاسخ     |
| رسانه آموزشی | وایتبرد، پروژکتور، فیلم آموزشی       |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• فرآیند MBR را توضیح دهد.</li> <li>• انواع MBR (غوطه‌ور، جانبی) را نام ببرد.</li> <li>• انواع غشاهای (MF، UF، NF، RO) را بشناسد.</li> <li>• پارامترهای طراحی MBR را بداند.</li> <li>• مزایا و معایب MBR را بیان کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شماتیک MBR را ترسیم کند.</li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• تعریف و اصول MBR.</li> <li>• انواع MBR: غوطه‌ور (Submerged)، جانبی (Side-stream).</li> <li>• انواع غشاهای: MF (<math>0.1 - 10 \mu m</math>)، UF (<math>0.01 - 0.1 \mu m</math>)، NF، RO.</li> <li>• پارامترهای طراحی: شار غشا، TMP (Transmembrane Pressure)، گرفتگی (Fouling)، شستشو (Backwash).</li> <li>• مزایا: کیفیت بالای پساب، رد پای کم، حذف کامل جامدات.</li> <li>• معایب: هزینه بالا، گرفتگی، مصرف انرژی.</li> <li>• کاربردها و مقایسه با فرآیندهای متعارف.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم شماتیک MBR و بررسی یک مطالعه موردی.         |
| تکلیف          | تحقیق درباره یک تصفیه‌خانه MBR در ایران.          |
| ارزشیابی       | ارزیابی گزارش، پرسش شفاهی.                        |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹)، Ch. ۸؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸)، Ch. ۷ |

جلسه ۱۲: فرآیندهای تلفیقی رشد معلق و چسبیده

|              |                                          |
|--------------|------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱۲                                       |
| عنوان جلسه   | فرآیندهای تلفیقی رشد معلق و چسبیده       |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیندهای تلفیقی و مزایای آنها |
| روش تدریس    | سخنرانی، مقایسه‌ای، کار گروهی            |
| رسانه آموزشی | وایتبرد، پروژکتور، اسلاید                |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهداف فرآیندهای تلفیقی را توضیح دهد.</li> <li>• انواع فرآیندهای تلفیقی (IFAS، MBBR، MBR، MABR) را نام ببرد.</li> <li>• مزایا و معایب هر فرآیند را مقایسه کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شماتیک یک فرآیند تلفیقی را ترسیم کند.</li> </ul> <p>محتوا و رئوس مطالب:</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• مفهوم رشد معلق (Suspended Growth) و رشد چسبیده (Attached Growth).</li> <li>• اهداف ترکیب: افزایش ظرفیت، بهبود نیتریفیکاسیون، کاهش حجم.</li> <li>• IFAS (Integrated Fixed-film Activated Sludge).</li> <li>• MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor).</li> <li>• MABR (Membrane Aerated Biofilm Reactor).</li> <li>• مقایسه فرآیندها از نظر راندمان، هزینه، بهره‌برداری.</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | تهیه جدول مقایسه‌ای فرآیندهای تلفیقی و بحث گروهی. |
| تکلیف          | تهیه جدول مقایسه‌ای کامل.                         |
| ارزشیابی       | ارزیابی جدول، پرسش شفاهی.                         |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۹؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۷ |

#### جلسه ۱۳: فرآیند ترکیبی TF/AS و TF/SC

|              |                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱۳                                                           |
| عنوان جلسه   | فرآیند ترکیبی TF/AS و TF/SC                                  |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیندهای ترکیبی صافی چکنده/لجن فعال و تماس جامدات |
| روش تدریس    | سخنرانی، مقایسه‌ای، کار گروهی                                |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                                   |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• فرآیند TF/AS را توضیح دهد.</li> <li>• فرآیند TF/SC را تشریح کند.</li> <li>• تفاوت TF/AS و TF/SC را بیان کند.</li> <li>• مزایای هر فرآیند را نام ببرد.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شماتیک TF/AS و TF/SC را ترسیم کند.</li> </ul> <p>محتوا و رئوس مطالب:</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- مروری بر صافی چکنده (Trickling Filter) و لجن فعال (Activated Sludge).
- فرآیند ترکیبی TF/AS: صافی چکنده + لجن فعال.
- فرآیند ترکیبی TF/SC: صافی چکنده + تماس جامدات (Solids Contact).
- مکانیسم عملکرد و مزایا: بهبود نیتریفیکاسیون، کاهش حجم، پایداری بیشتر.
- مقایسه TF/AS و TF/SC از نظر راندمان، هزینه، بهره‌برداری.

|                |                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم شماتیک دو فرآیند و تهیه جدول مقایسه‌ای.     |
| تکلیف          | تهیه جدول مقایسه‌ای TF/AS و TF/SC.                |
| ارزشیابی       | ارزیابی جدول، پرسش شفاهی.                         |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۹; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۷ |

#### جلسه ۱۴: برکه‌های تثبیت

|              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱۴                                    |
| عنوان جلسه   | برکه‌های تثبیت                        |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیند تصفیه برکه‌های تثبیت |
| روش تدریس    | سخنرانی، نمایش تصویری، حل مسئله       |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید            |

#### اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• انواع برکه‌های تثبیت را نام ببرد.</li> <li>• فرآیند تثبیت بی‌هوازی، اختیاری و هوازی را تشریح کند.</li> <li>• میکروبیولوژی برکه اختیاری را توضیح دهد.</li> <li>• پارامترهای طراحی برکه‌ها را بشناسد.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شماتیک برکه‌ها را ترسیم کند.</li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• تعریف و اصول برکه تثبیت.</li> <li>• انواع بی‌هوازی (عمق ۲-۵ m)، اختیاری (عمق ۱-۲ m)، هوازی (عمق ۰.۳-۰.۵ m)، هوادهی.</li> <li>• میکروبیولوژی: باکتری‌های بی‌هوازی، جلبک‌ها، باکتری‌های هوازی.</li> <li>• پارامترهای طراحی: بار آلی (BOD)، زمان ماند، عمق، سطح.</li> <li>• مزایا: هزینه کم، بهره‌برداری ساده؛ معایب: نیاز به زمین زیاد، بو، حشرات.</li> <li>• حل مثال طراحی.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم شماتیک برکه‌ها و حل مثال طراحی. |
|----------------|---------------------------------------|

|          |                                                    |
|----------|----------------------------------------------------|
| تکلیف    | طراحی یک برکه تثبیت اختیاری برای یک شهر کوچک.      |
| ارزشیابی | ارزیابی محاسبات، پرسش شفاهی.                       |
| منبع     | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۱۰؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۸ |

#### جلسه ۱۵: فرآیند تصفیه بی‌هوازی و انواع آن

|              |                                             |
|--------------|---------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱۵                                          |
| عنوان جلسه   | فرآیند تصفیه بی‌هوازی و انواع آن            |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیندهای بی‌هوازی و کاربردهای آن |
| روش تدریس    | سخنرانی، مقایسه‌ای، کار گروهی               |
| رسانه آموزشی | وایت‌برد، پروژکتور، اسلاید                  |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• میکروبیولوژی فرآیندهای بی‌هوازی را تشریح کند.</li> <li>• تفاوت فرآیندهای بی‌هوازی و هوازی را بیان کند.</li> <li>• انواع راکتورهای بی‌هوازی را نام ببرد.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• مراحل تخمیر بی‌هوازی را ترسیم کند.</li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• میکروبیولوژی: هیدرولیز، اسیدوژنز، استاتوژنز، متانوژنز.</li> <li>• تفاوت هوازی و بی‌هوازی: پذیرنده الکترون، تولید بیوگاز، بار لجن.</li> <li>• انواع راکتورها: UASB، AF (Anaerobic Filter)، UAFB، CSTR، هضم بی‌هوازی.</li> <li>• مزایا: تولید بیوگاز، بار کم لجن، مصرف انرژی کم.</li> <li>• معایب: زمان راه‌اندازی طولانی، حساسیت به دما.</li> </ul> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم مراحل تخمیر بی‌هوازی و تهیه جدول مقایسه‌ای.  |
| تکلیف          | تهیه جدول مقایسه‌ای هوازی و بی‌هوازی.              |
| ارزشیابی       | ارزیابی جدول، پرسش شفاهی.                          |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۱۰؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۸ |

#### جلسه ۱۶: راکتور بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB)

|            |                                            |
|------------|--------------------------------------------|
| شماره جلسه | ۱۶                                         |
| عنوان جلسه | راکتور بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB) |
| هدف کلی    | آشنایی با راکتور UASB و اصول طراحی آن      |

|              |                                 |
|--------------|---------------------------------|
| روش تدریس    | سخنرانی، نمایش تصویری، حل مسئله |
| رسانه آموزشی | وایت برد، پروژکتور، اسلاید      |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• فرآیند UASB را توضیح دهد.</li> <li>• ساختار راکتور UASB را بشناسد.</li> <li>• پارامترهای طراحی UASB را نام ببرد.</li> <li>• مزایا و معایب UASB را بیان کند.</li> </ul> <p>حیطه مهارتی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شماتیک UASB را ترسیم کند.</li> </ul> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

محتوا و رئوس مطالب:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• اصول UASB: تشکیل گرانول، بستر لجن.</li> <li>• ساختار: بستر لجن، جداکننده گاز-مایع-جامد (GLS Separator).</li> <li>• پارامترهای طراحی: بار آلی (OLR)، سرعت رو به بالا (Upflow Velocity)، زمان ماند، SRT.</li> <li>• مزایا: تولید بیوگاز، بار کم لجن، فضای کم.</li> <li>• معایب: زمان راه اندازی طولانی، حساسیت به دما و pH.</li> <li>• کاربرد: فاضلاب صنعتی (غذایی، نوشیدنی، کاغذ).</li> <li>• حل مثال طراحی.</li> </ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                |                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم شماتیک UASB و حل مثال طراحی.                 |
| تکلیف          | طراحی UASB برای فاضلاب صنعتی.                      |
| ارزشیابی       | ارزیابی محاسبات، پرسش شفاهی.                       |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۱۰; Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۸ |

جلسه ۱۷: حذف نوترینت (نیتروژن و فسفر) و جمع بندی

|              |                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------|
| شماره جلسه   | ۱۷                                                      |
| عنوان جلسه   | حذف نوترینت (نیتروژن و فسفر) و جمع بندی                 |
| هدف کلی      | آشنایی با فرآیندهای حذف نیتروژن و فسفر و جمع بندی مطالب |
| روش تدریس    | سخنرانی، پرسش و پاسخ، جمع بندی مشارکتی                  |
| رسانه آموزشی | وایت برد، پروژکتور، اسلاید                              |

اهداف اختصاصی:

|                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>حیطه شناختی:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• اهمیت حذف نیتروژن و فسفر را توضیح دهد.</li> <li>• میکروبیولوژی نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون را تشریح کند.</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- روش‌های بیولوژیکی و شیمیایی حذف نوترینت را بشناسد.
- مطالب درس را جمع‌بندی کند.

حیطه مهارتی:

- فرآیند نیتریفیکاسیون/دنیتریفیکاسیون را ترسیم کند.

محتوا و رئوس مطالب:

- اهمیت حذف نیتروژن و فسفر: یوتروفیکاسیون، سلامت انسان، استانداردهای تخلیه.
- نیتریفیکاسیون:  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$  (باکتری‌های Nitrosomonas و Nitrobacter).
- دنیتریفیکاسیون:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$  (باکتری‌های heterotrophic در شرایط آنوکسیک).
- حذف بیولوژیکی فسفر: PAOs (Phosphate Accumulating Organisms).
- روش‌های بیولوژیکی: A/O، A<sup>2</sup>/O، Bardenpho، Phoredox.
- روش‌های شیمیایی: ترسیب با آهن، آلومینیوم، آهک.
- جمع‌بندی کل مطالب درس و رفع اشکالات.

|                |                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------|
| فعالیت دانشجوی | ترسیم فرآیند نیتریفیکاسیون/دنیتریفیکاسیون و جمع‌بندی مشارکتی. |
| تکلیف          | تهیه فلوچارت جامع تمام فرآیندهای تصفیه فاضلاب.                |
| ارزشیابی       | ارزیابی فلوچارت، پرسش شفاهی.                                  |
| منبع           | Qasim (۲۰۰۹), Ch. ۱۱؛ Metcalf & Eddy (۲۰۰۸), Ch. ۷-۸          |

#### روش ارزشیابی

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| آزمون میان‌ترم     | ۵ نمره (پس از جلسه ۸) |
| آزمون پایان‌ترم    | ۱۰ نمره               |
| مشارکت و حضور فعال | ۲ نمره                |
| تکالیف و پروژه‌ها  | ۵ نمره                |
| حداقل نمره قبولی   | ۱۰                    |

#### منابع اصلی درس

- Metcalf & Eddy. (2008). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th ed.). McGraw-Hill
- Qasim, S. R. (2009). Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation (2nd ed.). CRC Press
- Nemerow, N. L. (2006). Handbook of Industrial and Hazardous Waste Treatment. CRC Press
- یزدانبخش، احمدرضا؛ ندافی، کاظم (۱۳۷۸). تصفیه فاضلاب برای کنترل آلودگی آب. انتشارات فردابه
- ابریشم‌چی، و همکاران (۱۳۸۵). مهندسی فاضلاب (ترجمه متکف و رادی). مرکز نشر دانشگاهی.