

معرفی سامانه‌ای کارا برای تصفیه
بساب پالایشگاه‌های نفت

علاوه بر مشکلات زیست محیطی مربوط به آلودگی هوا دارای مشکلات زیست محیطی آب و خاک می باشند.

یکی از واحدهای موجود در همهی پایايشگاه ها، واحد تصفيه پساب است که متأسفانه به علت عدم سودآوری، این واحدها کمتر مورد توجه و سرمایه گذاری قرار می گیرند و در هنگام تغییرات اساسی و افزایش ظرفیت های واحدهای مختلف در پایايشگاه ها از جهت بهینه سازی و بالا بردن کیفیت پساب تصفيه شده مورد بررسی فنی قرار نمی گیرد. از معیارهای اصلی در طراحی واحدهای تصفيه پساب پایايشگاه ها، نوع استفاده از پساب تصفيه شده می باشد. آب تصفيه شده در پایايشگاه های کشور در سه مورد استفاده از آب تصفيه شده در برج های خنک کننده، ارسال آب تصفيه شده به آب دریا یا آب رودخانه و استفاده از آب تصفيه شده در آبیاری و کشاورزی استفاده می شود.

مراحل کلی تصفيه ی پساب صنعتی پایايشگاه ها برای دفع پساب پایايشگاهی در آب های سطحی یا استفاده از آن به عنوان آب جبرانی برج های خنک کننده و یا مصرف در آبیاری و کشاورزی باید کیفیت آن را به استانداردهای محیط زیست مربوطه رسانده شود. در نتیجه، سیستم تصفيه ی پساب پایايشگاه لازم است که شامل سه مرحله ی کلی تصفيه ی مقدماتی، تصفيه ی بیولوژیکی و تصفيه ی پیشرفته باشد. در تصفيه ی مقدماتی با استفاده از روش های شیمیایی و فیزیکی، طی عبور پساب از واحدهای مختلف، مواد جامد درشت و قابل ته نشینی، مواد نفتی و روغنی و بطور کلی کلیه مواد قابل حذف توسط این روش ها حذف می شوند. همچنین در این مرحله پساب از نظر پی اچ و بار آلی ورودی یکنواخت می گردد. اجزای این مرحله شامل آشغالگیر، آشغال خردکن، جداکننده ثقلی، متعادل ساز، خنثی ساز و شناورساز می باشد. در مرحله بعد، برای کاهش جز آلی مواد معلق و محلول از سیستم های تصفيه ی بیولوژیکی استفاده می شود. در این سیستم ها با استفاده از میکروارگانیسم ها میزان مواد آلی محلول کاهش می یابد. نهایتاً با استفاده از سیستم های تصفيه ی پیشرفته آلودگی هایی از قبیل رنگ ها، مواد شیمیایی غیر قابل تصفيه توسط

واحد تصفيه پساب صنعتی در پایايشگاه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با عملکرد صحیح این واحدها می توان ضمن رعایت مقررات زیست محیطی، در مصرف آب نیز صرفه جویی نمود. در این تحقیق به منظور معرفی یک سیستم جامع و بهینه جهت تصفيه پساب پایايشگاهی، از واحدهای تصفيه پساب پایايشگاه های کشور بازدید صورت گرفت تا ضمن آشنایی با مشکلات واحدها از نقاط قوت آن ها نیز به منظور ارایه پیشنهاد به سایر مراکز آگاهی حاصل گردد. سیستم کلی پیشنهادی در این تحقیق قابل کاربرد برای تمامی پایايشگاه های نفت می باشد و طراحی دقیق اجزا باید با توجه به شرایط پساب و سیاست های مسئولین واحد صورت پذیرد.

کلمات کلیدی:

تصفیه پساب پایايشگاهی، تصفیه ی مقدماتی، تصفیه ی بیولوژیکی، تصفیه ی پیشرفته.

مقدمه:

پساب های صنعتی که در اثر فعالیت های صنعتی و یا از منابع صنعتی و در طول مراحل مختلف تولید بوجود می آیند، بعضاً خطرناک ترین نوع پساب را تشکیل می دهند؛ زیرا در پساب مراکز صنعتی امکان وجود مواد و ترکیبات شیمیایی سمی بیشتر است. از این جهت باز یافت پساب های صنعتی تصفيه شده، در کشورهایی که دچار کم آبی هستند اهمیت خاصی پیدا نموده و این مطلب در حال حاضر در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است. پایايشگاه های ایران که از مراکز مصرف کننده آب می باشند، معمولاً در مجاورت شهرهای بزرگ و بعضاً در داخل شهرها قرار دارند. این واحدهای صنعتی،

برج های خنک کننده می باشد. اما در تعدادی از پالایشگاه ها به علت اینکه کیفیت آب تصفیه شده برای برج خنک کننده مناسب نمی باشد، از آن در این مورد استفاده نمی شود و تنها در تابستان ها که پالایشگاه با کاهش آب مواجه می باشد، مجبور به استفاده آب تصفیه شده واحد پساب، در سیستم آب تزریقی به برج های خنک کننده می شود.

۴- عدم کارکرد صحیح واحدها :

یکی از مشکلات عمده در سیستم تصفیه پساب پالایشگاه ها، نقص های فراوان در دستگاه های فرایندی (پمپ های لجن، اسید، باز و ...)، دستگاه های ابزار دقیق (پی اچ متر و ...) غیر اصولی کارکردن واحدها و اجزای می باشد که از جمله آن ها می توان به مواردی از قبیل ظرفیت پایین API ها جهت تصفیه پساب صنعتی در هنگام بارندگی و عدم بازگشت لجن به حوض هوادهی اشاره نمود.

۵- عدم وجود سیستم تصفیه لجن :

در تعدادی از پالایشگاه ها هیچگونه سیستم تصفیه، خشک کردن، هضم و یا تثبیت لجن برای لجن های نفتی وجود ندارد. همچنین به دلیل عدم وجود سیستم تغلیظ و خشک کردن، لجن بیولوژیکی حاصل از هاضم بیولوژیکی که می تواند کود کشاورزی بسیار مناسبی باشد، هدر می رود.

راه حل های پیشنهادی

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در زمینه سیستم های موفق در تصفیه پساب پالایشگاهی در ایران و جهان و آشنایی با مشکلات سیستم های تصفیه پساب، پیشنهادت زیر جهت بهبود سیستم تصفیه پساب پالایشگاه های نفت ارائه می شود.

الف - بررسی و بازنگری سیستم جمع آوری پساب صنعتی:

طراحی سیستم جمع آوری پساب پالایشگاه های قدیمی مربوط به زمان راه اندازی آن ها می باشد و با اعمال تغییراتی که در واحدها انجام شده، احتیاج به بازنگری مجدد دارد. برای اینکه بتوان مشکل مربوط به نشت فورفورال و یا افزایش H₂S در پساب را رفع نمود، می بایست کانال هایی که پساب مربوطه را به واحد تصفیه پساب منتقل می نمایند، مجزا باشند. به این ترتیب می توان در هنگام نشت فورفورال و یا افزایش میزان H₂S در پساب نفتی، کانال مربوطه به این دو راه به API های جدید جهت جداسازی روغن از آنها فرستاد تا از آنجا مستقیماً به برکه تبخیر فرستاده شود که بدین صورت از اتلاف حجم زیادی آب جلوگیری می شود. همچنین یکی از دلایل بالا بودن سختی و TDS (۲) پساب انجام زیر آب مبدل های خنک کننده در واحدهای عملیاتی به کانال های پساب نفتی می باشد. با شناسایی این مکان ها می توان کانال پساب مربوطه را به API جدید اتصال داد.

ب - مطالعه بر روی شبکه کانال های جمع آوری آب های سطحی

و آب باران:

با وجود کمبود آب، استفاده از آب باران و آب سطحی در سیستم آب برج های

سیستم بیولوژیکی و بسیاری از املاح از جمله فسفات ها و ازت ها که باعث بروز مشکلات زیادی می شوند، حذف می گردند تا کیفیت پساب به استانداردهای تعیین شده رسانده شود.

منابع مصرف آب و موارد استفاده از پساب تصفیه شده در پالایشگاه های نفت

بعضی از پالایشگاه ها از آب شهری به عنوان آب مصرفی در سیستم آب پالایشگاه استفاده می کنند و این در حالی است که حجم زیادی از آب خنک کننده در پالایشگاه ها (بجز در پالایشگاه هایی که برج خنک کننده ندارند) در برج های خنک کننده تبخیر می شود. تنها تعدادی از پالایشگاه ها مجدداً آب تصفیه شده در فرایند (سیستم آب خنک کننده) استفاده می کنند. برای آنکه بتوان از پساب تصفیه شده در سیستم آب خنک کننده پالایشگاه (برگشت به برج های خنک کننده) استفاده کرد، باید کیفیت آن در حدی باشد که پارامترهای طراحی مربوط به آب فرایندی در برج های خنک کننده رعایت شود. بدیهی است با سرمایه گذاری و بهینه سازی واحدهای تصفیه پساب بتوان کیفیت آب تصفیه شده را به حدی رساند که بتوان در برج های خنک کننده استفاده نمود. نقص در سیستم تصفیه پساب یا سیستم جمع آوری پساب بعضاً باعث می شود حجم زیادی از آب تصفیه نشده به برکه های تبخیر فرستاده شود. غالباً این نواقص با انجام بررسی های فنی قابل رفع است. [۱].

مشکلات سیستم تصفیه ی پساب پالایشگاه های کشور

با بررسی که از سیستم های تصفیه پساب در پالایشگاه های کشور صورت گرفت، می توان مشکلات کلی این سیستم ها را در موارد زیر برشمرد: [۱].

۱- ارسال حجم بالا از پساب به برکه های تبخیر :

به دلایل مختلف در واحدها، گاهی موادی مانند فورفورال وارد پساب شده و یا مقدار H₂S در پساب نفتی بالا می رود که در این حالت برای جلوگیری از ایجاد شوک در سیستم بیولوژیکی و مرگ میکروارگانیسم ها، کل پساب نفتی پس از جداکننده ثقیل (API) (۱) مستقیماً به برکه تبخیر فرستاده می شود که در نتیجه مقدار زیادی از پساب بدون تصفیه هدر می رود.

۲- عدم وجود سیستم مناسب برای جمع آوری آب باران:

در تعدادی از پالایشگاه ها به دلیل برخی مشکلات عملیاتی، وقتی واحدی غیرعادی کار کند، مایعات موجود در آن به کانال روباز تخلیه می شود. به همین دلیل در کانال های جمع آوری آب باران همیشه مواد روغنی وجود دارد. همچنین سختی و پی اچ این آب به دلیل گذر از قسمت های آلوده به آهک (خصوصاً در واحد آب-برق-بخار)، بالا می باشد. در بعضی پالایشگاه ها در کانال انتهایی آب باران مقدار زیادی روغن روی آب تجمع کرده است که بدون هیچگونه تصفیه ای وارد رودخانه می شود.

۳- عدم ارسال آب تصفیه شده به سیستم آب برج های خنک کننده:

یکی از اهداف اصلی تصفیه پساب صنعتی پالایشگاه، استفاده در سیستم آب

صحيح لجن بيولوژيكي را دفن يا به مصرف كشاورزي رسانده مي بايست آبيگيري شود. لذا ابتدا بايد توسط يك تغليظ كننده (معمولاً سيستمي مشابه كلاريفاير دارد) آبيگيري شده و آنگاه به يك فيلتر پرس فرستاده شود. پس از آبيگيري توسط فيلتر پرس، كيك لجن حاصل مناسب براي دفن يا استفاده به عنوان كود كشاورزي مي باشد. مزيت فيلتر پرس، اشغال فضاي كمتر و سرعت عملياتي بالاتر مي باشد.

و- رعايت اصول راهبري:

با توجه به اينكه تعدادي از مشكلات مربوط به عدم راهبري صحيح واحدها مي باشد، لذا توجه به نكات طراحي از جمله ميزان مواد افزودني در هر قسمت، انجام به موقع آزمايشات مربوطه، كنترل و تنظيم پارامترهاي عملياتي، كمك شاياني در بهبود سيستم مي كند.

معرفي سيستم بهينه جهت تصفيه پساب پالايشگاهي

در تصفيه پساب صنعتي مي توان به بيان دو اصل مهم اشاره كرد: اول، جلوگيري (در حد امكان) از ايجاد ضايعات و آلودگي و جدا سازي كانال بر حسب نوع آلودگي ها و دوم، تصفيه مقدماتي آلودگي در محل واحد توليد. طبق تحقيقات صورت گرفته، براي اينكه بتوان پساب پالايشگاهي بصورت اصولي تصفيه شود و ضايعات باقيمانده هم تحت فرايند صحيح قرار گيرند، سيستم تصفيه پساب پالايشگاهي تنها بايد شامل مراحل تصفيه ي مقدماتي، بيولوژيكي باشد بلكه با توجه به اينكه پساب تصفيه شده در پالايشگاهها قرار است به يكي از مصارف، آب جبراني برج هاي خنك كننده و يا كشاورزي و آبياري برسد بايد بعضي از عمليات تصفيه ي پيشرفته روي آن صورت پذيرد. تصفيه لجن نيز لازم مي باشد. اجزا اين مراحل چندانگانه در ادامه آمده است:

- **آشغال گير:** به منظور حذف و جداسازي مواد شناور در پساب كه داراي قطر بيش از ۰/۵ تا ۱ سانتيمتر هستند، لازم است از آشغال گير استفاده شود. بهترين نوع آشغال گير براي پالايشگاهها، نوع ميله اي است.

- **سيستم API:** با توجه به اينكه پساب پالايشگاهها محتوي مقادير بالايي از مواد روغني است، لذا جهت جداسازي اين مواد لازم است از حوض API استفاده شود. در همه ي پالايشگاههاي كشور API وجود دارد. اما طبق تحقيقات جديد سيستم (۲)CPI به API برتري دارد و سيستم CPI جهت جاگزيني يا براي طراحي جديد پيشنهاد مي شود.

- **حوضچه متعادل سازي و خنثي سازي:** با توجه به اينكه بار ورودی و پی اچ پساب های پالایشگاهی بسیار متغیر می باشند، لذا لازم است برای جلوگیری از وارد شدن شوک به سیستم تصفیه ی بیولوژیکی، عملیات خنثی سازی و یکنواخت سازی روی پساب صورت گیرد. بدین منظور از اسید سولفوریک و سود کاستیک جهت خنثی سازی استفاده می شود. همانطور که اشاره شد، برای یکنواخت سازی توصیه می شود که علاوه بر تعبیه ی بقل در حوض، از هوادهی

خنك كننده پالايشگاه امر مطلوبی می باشد. با در نظر گرفتن اين هدف می بايست مطالعه دقيقی روي شبكه كانال های جمع آوری آب های سطحی و آب باران صورت پذيرد و در صورت نياز تعميراتی و تغييراتی انجام شود تا به هدف مورد نظر دست پيدا كرد.

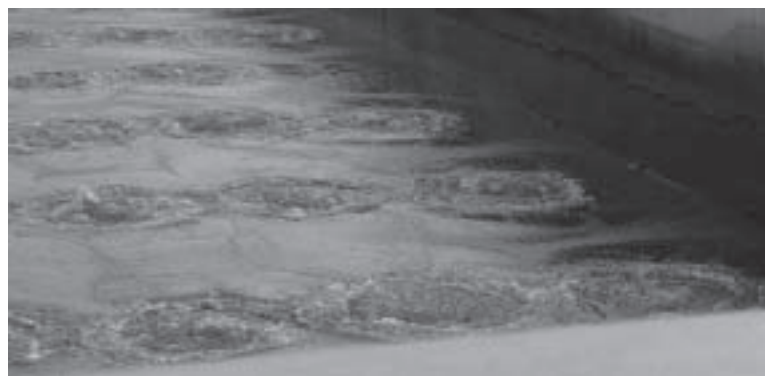
كانال های روباز، مخصوص جمع آوری آب های سطحی و آب باران هستند كه می بايست تا حد امكان عاری از مواد نفتی باشد. چنانچه كانال های روباز پالايشگاه مورد بررسی قرار گيرد، مكان هایی كه احتمال وارد شدن مواد نفتی از آن ناحیه به كانال وجود دارد، را می توان مسدود نمود. همين طور مكان هایی از كانال كه به علت سرباز بودن آن، باعث شده تا كارگران واحدها، ضايعات نفتی و به طور كلي مواد آلوده كننده را وارد كانال نمايند، شناسایی و سرپوشيده شود. پس از اجرائی اين تمهيدات با نمونه برداری و آزمايش آب اين كانال ها می توان ديگر اقدامات مورد نياز جهت استفاده از اين آب در سيستم آب برج های خنك كننده را شناخت.

ج - هوادهی در حوضچه متعادل ساز:

جهت اختلاط در حوض متعادل ساز از بفل يا بفل و همزن يا بفل و هواده، (شكل يك) استفاده می شود. هوادهی به حوض متعادل ساز دارای مزایای زیادی می باشد كه از جمله آن حذف H₂S است. لذا پيشنهاد می شود جهت حذف H₂S در بركه متعادل ساز و اختلاط بهتر، هوادهی صورت پذيرد [۲ و ۳].

د- تزريق لجن نفتی به هاضم بيولوژيكي:

استفاده از ميكروب های نفت خوار در صنايع بالادستی و پايين دستی صنعت نفت بسيار گسترده شده است. هم اكنون در تصفيه لجن نفتی از اين روش استفاده می كنند. در اين روش پس از عادت دادن ميكروارگانيزم های سيستم لجن فعال به هضم مواد نفتی، می توان لجن نفتی را با دبی تعيين شده به هاضم بيولوژيكي انتقال داد.



شكل ۱ - نمايي از سيستم هوادهی در حوضچه متعادل ساز

ه - نصب تغليظ كننده و فيلتر پرس برای لجن بيولوژيكي:

چنانچه پيشنهاد فوق با موفقيت اجرا شود، لجن نفتی توليدی به لجن بيولوژيكي كه كود بسيار مناسبی می باشد، تبديل می شود. برای آنكه بتوان به صورت

به پساب نیز استفاده گردد [۳].

- **حوضچه انعقاد و شناورسازی (DAF):** به منظور حذف چربی و روغن موجود در پساب و همچنین تغلیظ لجن از واحد DAF استفاده می‌شود. در اکثر پالایشگاه‌ها از ماده‌ی منعقد کننده‌ی کلروفریک صورت گرفته توسط پژوهشگاه صنعت نفت، از آنجا که میزان تزریق این ماده بالا بوده و لجن‌های معدنی با حجم زیاد تولید می‌کند، توصیه می‌شود با توجه به ماهیت لجن تولیدی در پالایشگاه از پلی‌الکترولیت‌های آلی استفاده گردد. میزان افزودن این مواد به کمک آزمایش جار (۵) تعیین می‌گردد [۲].

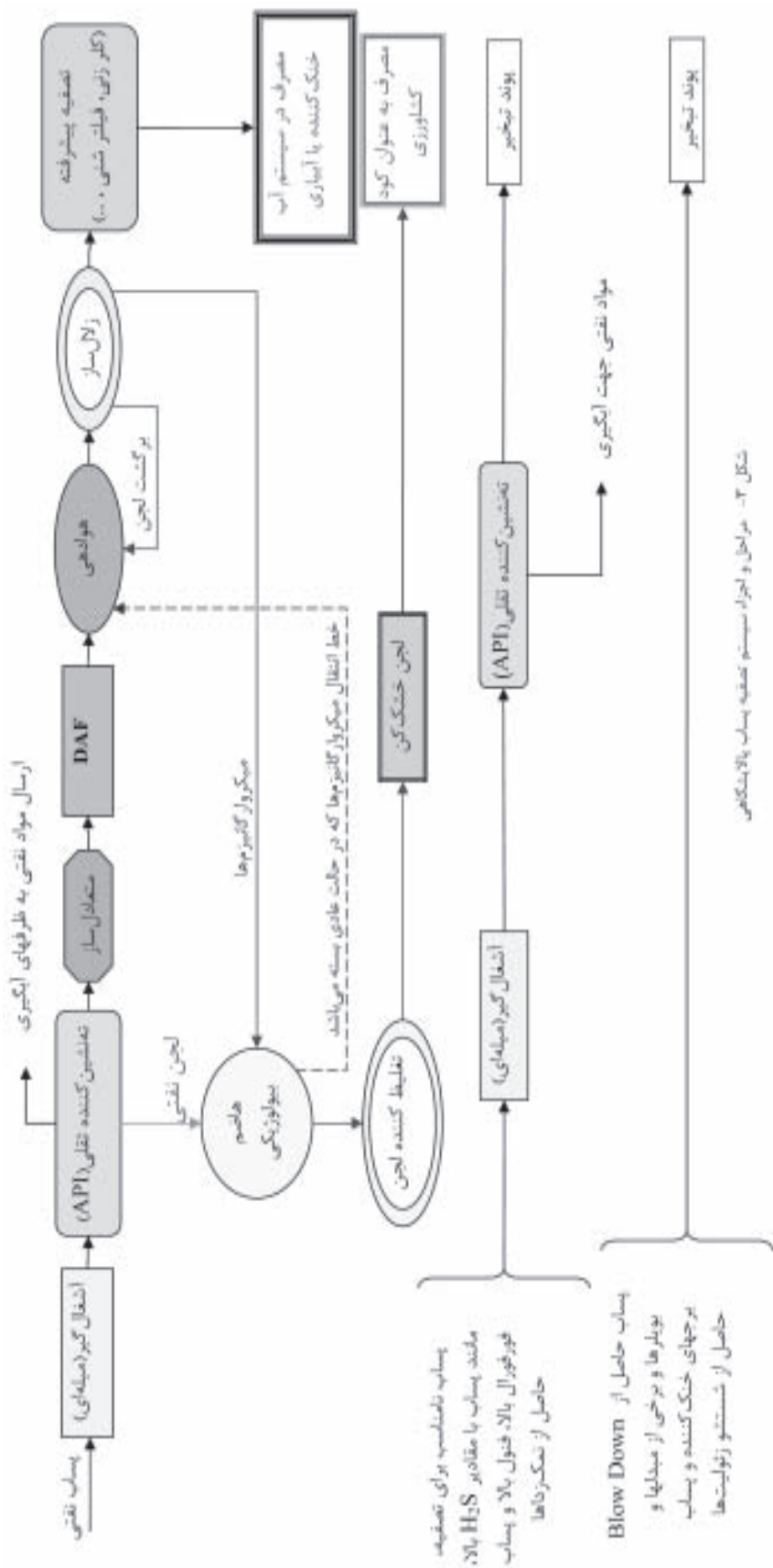


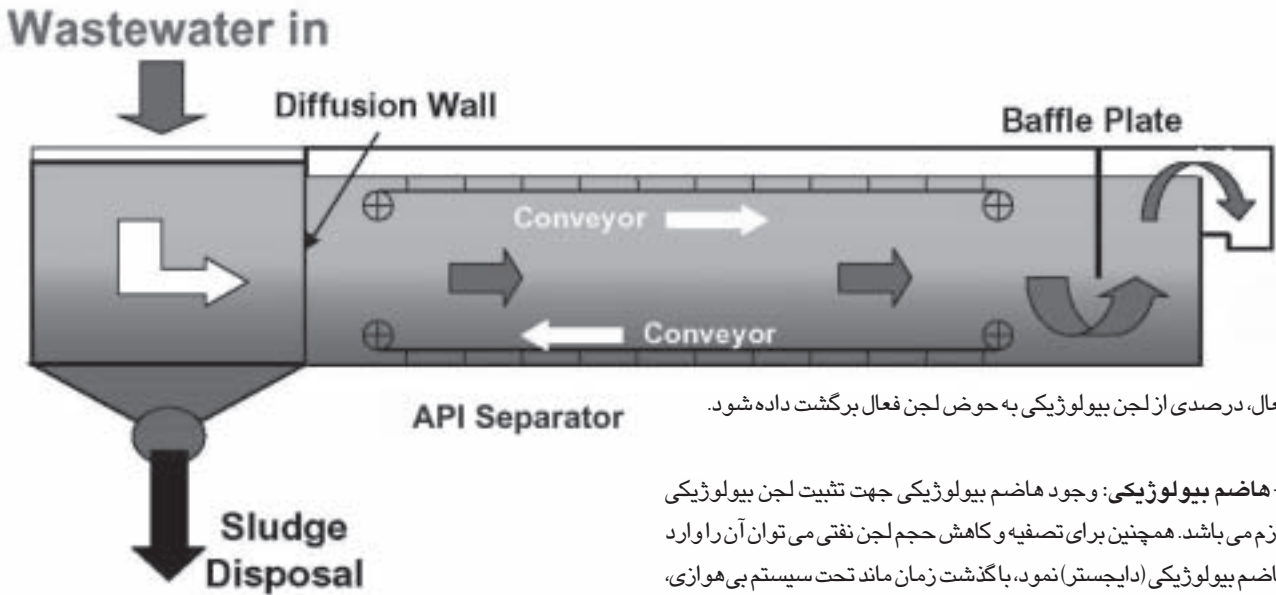
شکل ۳ - میزان و افزودن سیستم تصفیه پساب پالایشگاهی

شکل ۲ - لجن فرایند ایده‌ال، رنگ قهوه‌ای طلایی دارد.

- **تصفیه‌ی بیولوژیکی:** با توجه به مزایای روش لجن فعال، جهت تصفیه‌ی بیولوژیکی از این روش در تمامی پالایشگاه‌های کشور استفاده می‌شود. به منظور تأمین مواد مغذی مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها بهتر است فسفر از طریق اسید فسفریک و نیتروژن از طریق اوره که دارای توجیه اقتصادی تری نسبت به آمونیاک می‌باشد، با نسبت مناسب با $BOD_5^{(6)}$ سیستم، به حوض هواده‌ی تزریق شود. دمای سیستم لجن فعال باید در حدود ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد و پی‌اچ آن در محدوده‌ی ۷-۸ کنترل شود [۴ و ۱]. شکل دو، نمایی از فرایند تصفیه‌ی بیولوژیکی با استفاده از روش لجن فعال را نشان می‌دهد.

- **زلال‌ساز:** جهت جدا نمودن میکروارگانیسم‌ها از آب تصفیه شده، لازم است سیستم زلال‌ساز بعد از سیستم لجن فعال نصب شود. همچنین می‌بایست بر حسب نوع هواده‌ی در حوض لجن





فعال، درصدی از لجن بیولوژیکی به حوض لجن فعال برگشت داده شود.

- **هاضم بیولوژیکی:** وجود هاضم بیولوژیکی جهت تثبیت لجن بیولوژیکی لازم می باشد. همچنین برای تصفیه و کاهش حجم لجن نفتی می توان آن را وارد هاضم بیولوژیکی (دایجستر) نمود، با گذشت زمان ماند تحت سیستم بی هوازی، مواد آلی باقیمانده تجزیه می شود و در نهایت لجن تثبیت می گردد که از لجن تثبیت شده می توان به عنوان کود استفاده کرد.

- **تصفیه ی پیشرفته:** به منظور از بین بردن میکروارگانیزم های احتمالی خروجی و گندزدایی پساب، پساب کلر زنی می شود. همچنین برای حذف مواد معلق ریز از پساب، باید از فیلترهای شنی استفاده شود.

- **تغلیظ و خشک کردن لجن:** چنانچه پالایشگاه ها بتوانند لجن نفتی را در هاضم بیولوژیکی تزیق کنند، می توانند کل لجن بیولوژیکی تولید شده را آبیگری و سپس خشک نمایند. لجن بیولوژیکی خشک شده با در نظر گرفتن پارامترهای زیست محیطی می تواند به عنوان کود مورد استفاده قرار گیرد. دو روش جهت خشک کردن لجن پیشنهاد می شود که بر حسب شرایط آب و هوایی و نیز شرایط عملیاتی، هر یک می تواند مناسب باشد. روش اول استفاده از فیلتر پرس و روش دوم استفاده از بستر لجن خشک کن می باشد [۵ و ۳].

در شکل سه، مراحل و اجزا سیستم تصفیه پساب مناسب پیشنهادی برای پالایشگاه های نفت کشور نشان داده شده است. همچنین بهترین استفاده از پساب تصفیه شده، در درجه اول در سیستم آب خنک کننده و درجه دوم در سیستم آبیاری فضای سبز پالایشگاه و بهترین استفاده از لجن های بیولوژیکی به عنوان کود کشاورزی پیشنهاد می شود.

پانوشت :

- ۱- American Petroleum Institute
- ۲- باقیمانده ی تبخیر یا کل املاح که نشان دهنده ی کل املاح محلول اعم از آلی یا معدنی در پساب می باشد. (Total Dissolved Solids)
- ۳- Corrugated Plate Interceptor
- ۴- Dissolved Air Flotation
- ۵- برای انتخاب مناسب ترین مقدار منعقدکننده، از آزمایش جار استفاده می شود.

آزمایش جار، با استفاده از یکسری ظروف شیشه ای هم شکل و هم اندازه که ظرفیت حداقل یک لیتر دارند انجام می شود. در حالت عادی، شش جار همراه با همزن هایی که محتوای هر جار را همزمان و با قدرت یکسان بهم می زنند، استفاده می شود. هر کدام از این شش جار به میزان یک لیتر با آبی که کدورت، pH و قلیابیت آن قبلا تعیین شده پر می شود. یک جار به عنوان کنترل استفاده می شود و به پنج جار باقیمانده مقادیر مختلف کوگولانت در pH های مختلف اضافه می شود تا زمانی که حداقل میزان کدورت باقیمانده بدست آید. بعد از اضافه کردن مواد شیمیایی، آب به مدت یک دقیقه برای اطمینان از پخش کامل مواد شیمیایی، سریعاً مخلوط می شود. برای ۱۵ تا ۲۰ دقیقه دیگر جهت تشکیل لخته ها این کار به آرامی ادامه پیدا می کند. سپس به مدت ۳۰ دقیقه جهت ته نشینی یا زلال شدن، در حالت سکون قرار می گیرد و از آب، نمونه برداری شده و آزمایش کدورت بر روی آن انجام می شود. از نتایج آزمایش برای محاسبه نوع و مقدار کوگولانت لازم در تصفیه خانه استفاده می گردد.

۶- اکسیژن مورد نیاز باکتری ها برای تجزیه ی مواد آلی که اگر تجزیه مواد آلی در طبیعت از طریق اکسیژن بیولوژیکی و توسط میکروارگانیزم ها صورت پذیرد. در این حالت بجای COD از BOD استفاده می شود. (Biochemical Oxygen Demand)
COD: اکسیژن مورد نیاز شیمیایی که مقدار اکسیژن لازم برای اکسیداسیون کامل مواد آلی است که از طریق انجام آزمایش شیمیایی تعیین می گردد. (Chemical Oxygen Demand)

مراجع

- ۱- اطلاعات دریافتی حاصل از بازدید از واحدهای تصفیه پساب پالایشگاه ها.
- ۲- غازی عیدان، "بررسی تأثیر فرایند شناورسازی در بازدهی سیستم تصفیه ی فاضلاب پالایشگاه ها، مجله ی آب و فاضلاب، شماره ی ۶، صفحه ی ۱۸ تا ۲۳.
- ۳- عبدالرحیم پرورش، "کمپوست کردن لجن فاضلاب بدون اضافه کردن عوامل حجیم کننده"، مجله ی آب و فاضلاب، سال ۱۳۷۷، شماره ی ۲۶، صفحه ی ۳۰ تا ۲۹.
- ۴- مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، "چگونه فاضلاب تصفیه می شود؟ لجن فعال"، مجله ی آب و فاضلاب، سال ۱۳۷۶، شماره ی ۲۳، صفحه ی ۴۵ تا ۴۷ و شماره ی ۲۲، صفحه ی ۵۹ تا ۶۴.
- ۵- "بررسی چگونگی دفع لجن بیولوژیکی و نفتی در سیستم پساب پالایشگاه اراک، پروژه ای بین پالایشگاه اراک و پژوهشگاه صنعت نفت.