

قابلیت استفاده از روش‌های انتگراسیون فرآیند در مدیریت مصرف آب و تولید پساب در صنعت

مجید حسین‌زاده*، پژوهشگر پسا دکتری مهندسی محیط زیست - مهندسی آب و فاضلاب - دانشگاه تهران
*پست الکترونیکی: hosseinzadeh_m@ut.ac.ir

چکیده

صنایع فرآیندی نظیر صنایع پتروشیمی، پالایشگاه‌ها، صنایع چوب و کاغذ و ... از صنایع عمده مصرف کننده آب در کشور هستند که فاضلاب‌های صنعتی در فرآیندهای مختلف آنها در حجم وسیع تولید می‌شود. مقررات و استانداردهای مربوط به تخلیه پساب این صنایع به محیط زیست روز به روز شدیدتر شده و برای جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی میزان پساب‌ها، غلظت آلاینده‌های موجود در آنها، می‌بایست توسط فرآیندهای مختلف تصفیه تا حد قابل قبول پایین آورده شود. با استفاده از روش‌های حداقل سازی مصرف آب ضمن کاهش حجم فاضلاب تولید شده، هزینه‌های آب مصرفی و واحدهای تصفیه مورد نیاز نیز کاهش می‌یابد. برای کاهش مصرف آب و تولید پساب در زمینه طراحی مهندسی مطلوب که یکی از استراتژی‌های پیشگیری از آلودگی می‌باشد می‌توان از تکنیک‌های انتگراسیون فرآیند بهره گرفت. هدف اصلی از انتگراسیون فرآیند پیشگیری از آلودگی در مرحله طراحی است. این تکنیک ارتباط فرآیندهای مصرف کننده آب با یکدیگر در یک مجموعه را بررسی کرده و با استفاده مفاهیم انتقال جرم مصرف کلی آب در واحدها را به حداقل می‌رساند.

کلید واژه‌ها: انتگراسیون فرآیند، استفاده مجدد، صنایع فرآیندی

۱- مقدمه

میانگین میزان بارش در کشور ایران در سالیان اخیر به کمتر از ۲۵۰ میلیمتر در سال رسیده است که کمتر از ثلث میزان جهانی می‌باشد. این امر باعث شده اکثر نواحی کشور در زمره مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی گردد. از طرفی با افزایش جمعیت کشور، سرانه آبی به شدت افت کرده و عوامل اقلیمی ایران بخصوص تبخیر زیاد، میزان آب در دسترس را به شدت کاهش داده است. بنابر مراجع معتبر حدود ۹۲ درصد از آب در دسترس در کشور به مصارف مرتبط با کشاورزی رسیده و نزدیک به ۶ درصد صرف مصارف شرب و بهداشتی و حدود ۲ درصد نیز در صنعت مصرف می‌شود. در همه مصارف مذکور، قسمتی از آب استفاده شده، به فاضلابی تبدیل می‌شود که به دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها با توجه فرآیند تولید، خود به عنوان یکی از مخاطرات زیست‌محیطی مطرح است. تصفیه این فاضلاب به عنوان یک راهکار پذیرفته شده برای رساندن غلظت آلاینده به حد استاندارد مطرح است. با توجه به این حجم قابل ملاحظه فاضلاب تولیدی و از طرفی کمبود منابع آب سطحی و کاهش سطح ایستابی چاه‌های آب

کشور، راه حل منطقی توسعه منابع آب در آینده، استفاده مجدد از فاضلابهای تصفیه شده بعنوان یک منبع جدید است. به طور خلاصه موارد مصارف استفاده مجدد از فاضلابهای تصفیه شده شامل موارد ذیل است:

- ❖ استفاده مجدد برای مصارف شهری
- ❖ استفاده مجدد برای مصارف صنعتی
- ❖ استفاده مجدد برای مصارف کشاورزی
- ❖ استفاده مجدد در تغذیه آبهای زیرزمینی
- ❖ استفاده مجدد در مراکز تفریحی آبی

با توجه به اینکه تمرکز این مقاله بیشتر بر روی مدیریت آب در بخش صنعت می‌باشد، در ادامه به بحث انتگراسیون فرآیند برای کمینه‌سازی مصرف آب در صنعت و کاهش میزان فاضلاب با تکیه بر بازیافت و استفاده مجدد در فرآیندهای داخلی پرداخته می‌شود.

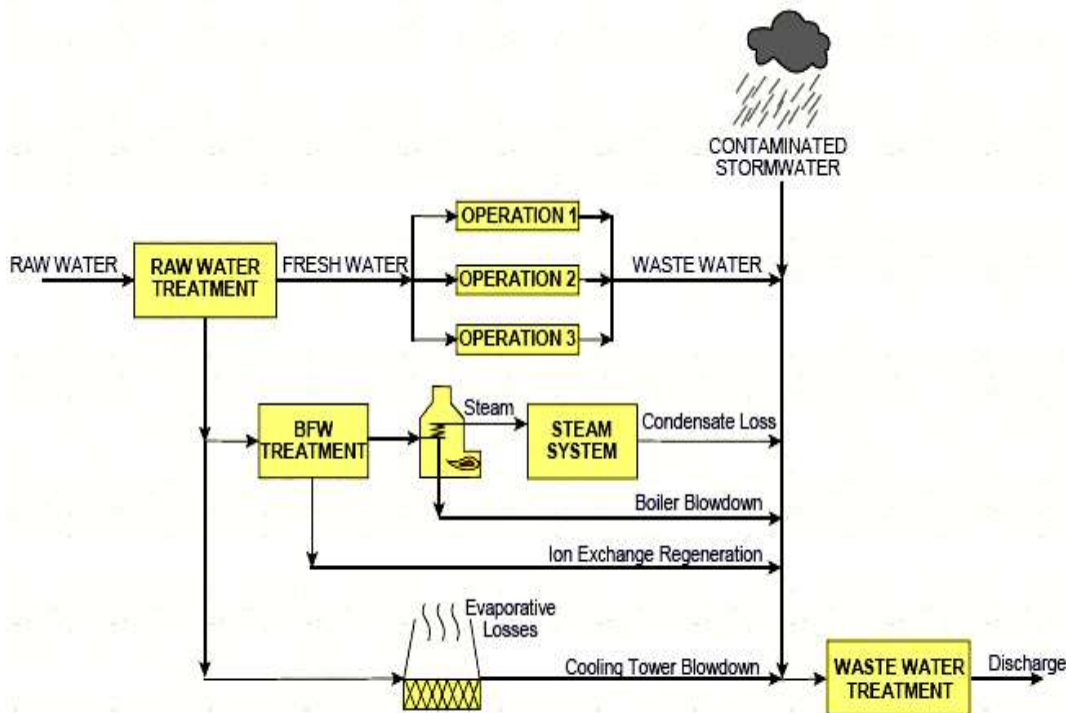
۲- مصرف آب و تولید پساب در صنایع کشور

صنایع فرآیندی از جمله صنایع شیمیایی، پتروشیمی، نفت و پالایشگاه‌ها، صنایع دارویی چوب و کاغذ، معادن و فلزات، نیروگاه‌های بخار و برخی از صنایع غذایی با درآمد سالانه بسیار بالا بخش عمده‌ای از اقتصاد کشور را به خود اختصاص می‌دهند. در این صنایع آب در فرآیندهای مختلف و به صورت‌های گوناگون به مصرف رسیده و به پساب تبدیل می‌شود. به عنوان مثال در مواردی مانند عملیات انتقال جرم، عملیات شستشو، انتقال حرارت با تماس مستقیم واژکتورهای بخار، پساب ایجاد می‌شود. همچنین سیستم‌های تأسیساتی مانند بویلر و برج خنک‌کن، پساب تولید می‌کنند. متداول‌ترین سیستم مصرف‌کننده آب در فرآیندهای صنعتی در شکل زیر نشان داده شده است که شامل پساب فرآیندی، تلفات کندانسور^۱، دور ریز آب برجهای خنک‌کننده و بویلرها^۲ و پساب تولیدی از شستشو و یا آب باران می‌باشد و مصارف جانبی از قبیل آب اشامیدنی، شستشو و ... نیز که بخشی از آب مصرفی را تشکیل می‌دهند، در شکل ۱ نمایش داده نشده است [۱].

بر اساس مطالعات طرح جامع آب کشور میزان آب مورد نیاز و فاضلاب تولیدی در سال ۱۴۰۰ مطابق جدول ۱ است [۲]. چنانچه مشاهده می‌شود آب مورد نیاز صنعت در سال ۱۴۰۰ برابر با ۲۱۰۱ میلیون مترمکعب و میزان پساب تولیدی معادل ۱۰۸۸ میلیون مترمکعب خواهد بود. این حجم بالای تولید پساب، در صورت تصفیه می‌تواند به عنوان یک منبع جدید آبی مطرح باشد. از طرفی اصولاً تصفیه کل پساب در انتهای فرآیندهای صنعتی و قبل از تخلیه به آبهای سطحی از نظر علمی و اقتصادی روش بهینه‌ای نمی‌باشد. زیرا حجم پساب بسیار زیاد بوده و به تبع برای تصفیه آن و رسیدن به استانداردهای زیست محیطی تخلیه پساب می‌بایست هزینه زیادی پرداخت گردد. اگر بتوان کمیت این پساب‌ها را در سرچشمه و منبع آن حداقل کرد، با این کار نه تنها هزینه‌های تصفیه پساب بلکه هزینه‌های مصرف آب تازه نیز کاهش می‌یابد.

¹ Condensate losses

² Cooling Tower & Boiler Blowdown



شکل ۱: متداول‌ترین سیستم مصرف‌کننده آب در صنعت [۱]

جدول ۱: برآورد میزان برداشت آب و تولید پساب در سال ۱۴۰۰ [۲]

۱۴۰۰		۱۳۹۵		۱۳۹۰		سال مورد نظر	رشته صنعتی
میلیون متر مکعب	میلیون متر مکعب	میلیون متر مکعب	میلیون متر مکعب	میلیون متر مکعب	میلیون متر مکعب		
پساب تولیدی	آب برداشتی	پساب تولیدی	آب برداشتی	پساب تولیدی	آب برداشتی		
۳۹۰/۷	۶۰۰/۲	۳۰۶/۲	۴۸۰/۲	۲۳۹/۹	۳۶۸/۴		صنایع غذایی، آشامیدنی و دخانیات
۱۵۷/۶	۲۹۳/۴	۱۲۳/۵	۲۲۹/۹	۹۶/۷	۱۸۰/۱		صنایع نساجی، پوشاک و چرم
۷/۶	۹/۳	۶	۷/۳	۴/۷	۵/۷		صنایع چوب و خدمات چوبی
۴/۴	۱۱/۲	۳/۵	۸/۸	۲/۷	۶/۹		صنایع کاغذ، مقوا و چاپ
۱۸۰	۴۲۷/۸	۱۴۱	۳۳۵/۲	۱۱۰/۴	۲۶۲/۶		صنایع شیمیایی
۱۹۳/۹	۴۰۷/۲	۱۵۲	۳/۹	۱۹۰	۲۵۰		صنایع کانی غیر فلزی
۶۳/۷	۱۸۱/۷	۵۰	۱۴۲/۴	۳۹/۱	۱۱۱/۵		صنایع تولید فلزات اساسی
۷۹/۳	۹۸/۸	۶۲/۱	۷۷/۴	۴۸/۷	۶۰/۷		صنایع ماشین‌آلات و تجهیزات
۱۰/۹	۷۱/۴	۸/۶	۵۵/۹	۶/۷	۴۳/۸		نیروگاهها
۱۰۸۸/۳	۲۱۰۰	۸۵۲/۷	۱۶۴۶/۳	۶۶۸/۱	۱۲۸۹/۹		جمع کل

به عبارت دیگر با کاهش حجم پساب این منابع، اتخاذ روش‌های پیشگراانه و کاهش حجم آب تغذیه فرآیندها می‌توان درحین حفظ کیفیت و کمیت محصولات تولیدی، حجم پساب و در نتیجه تجهیزات و سرمایه‌گذاری تصفیه پساب را تا حد چشمگیری کاهش داد.

بازیافت و استفاده مجدد از آب حاصله، استفاده از این منبع جدید آبی را بخصوص برای مناطق کم آب کاملاً توجیه می‌کند و پساب تصفیه شده بر حسب درجه تصفیه برای مصارف مختلف قابل استفاده خواهد بود.

۳- انتگراسیون فرآیند

اگر هدف از استفاده مجدد از آب، موارد صنعت باشد می‌توان از روش‌های انتگراسیون فرآیند برای کمینه کردن میزان مصرف آب و به دست آوردن الگوی حداکثر بازچرخانی آب در فرآیندهای داخلی و به تبع آن کاهش حجم فاضلاب تولید شده کمک گرفت. در انتگراسیون فرآیند یکپارچگی فرآیندها با هم از نظر مصرف آب و تولید پساب در نظر گرفته می‌شود و هدف آن، ارائه روشهایی برای کاهش اتلاف آب تازه و همچنین کاهش تولید پساب و میزان ناخالصی آن است بدون اینکه اثر زیانباری روی فرآیندها داشته باشد. در انتگراسیون جرمی هدفگذاری برای حداقل کردن مصرف آب و یا تولید پساب، بازسازی طرح موجود برای رسیدن به حداقل دبی پساب جهت تصفیه با توجه به چند رویکرد صورت می‌گیرد. این رویکردها عبارتند از: تغییرات فرایند، استفاده مجدد، احیا-استفاده مجدد و احیا-بازچرخانی.

❖ تغییرات فرآیند

اولین اقدام برای کاهش مصرف آب، ایجاد تغییراتی در فرآیند است به طوریکه تلفات ذاتی آب کاهش یابد. این عمل می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

الف) استفاده از برجهای خنک کن هوایی به جای آبی

ب) استفاده از سیستم کنترل پیشرفته در خروجی برجهای خنک کن آبی

ج) جمع‌آوری آب میعان تولیدی از واحد بخار

د) افزایش راندمان انرژی برای کاهش مصرف بخار و در نتیجه کاهش پساب

ه) بهبود کنترل خروجی بویلر

و) افزایش تعداد مراحل در فرآیندهای استخراج که از آب استفاده می‌کنند

❖ استفاده مجدد

در بسیاری از موارد می‌توان از پساب خروجی یک فرآیند مستقیماً در فرآیندهای دیگر استفاده کرد، مشروط بر اینکه آلودگی پساب اولیه، تأثیر زیانباری در فرآیندهای بعدی نداشته باشد. در این روش، احتمال دارد پساب یک قسمت با پساب عملیات دیگر و یا با آب تازه مخلوط گردد. بدین ترتیب مصرف آب و تولید پساب، کاهش یافته و بار آلودگی پساب افزایش می‌یابد. گاهی ممکن است کاهش حجم پساب و افزایش غلظت آن سبب شود به جای تصفیه پرخرج پساب، بتوان اقدام به بازیافت مواد از درون آن کرد.

❖ احیا - استفاده مجدد

در این روش بار آلودگی پسابی که مستقیماً قابل کاربرد در واحدهای دیگر فرآیند نیست با یک تصفیه جزئی، حذف یا کاهش داده می‌شود به گونه‌ای که بتوان از آن در فرآیندهای دیگر مجدداً استفاده کرد. در این روش، تولید پساب و بار آلودگی جریان کاهش می‌یابد. از عملیاتهای تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی گوناگون جهت تصفیه پساب استفاده می‌شود.

❖ احیا - باز چرخانی

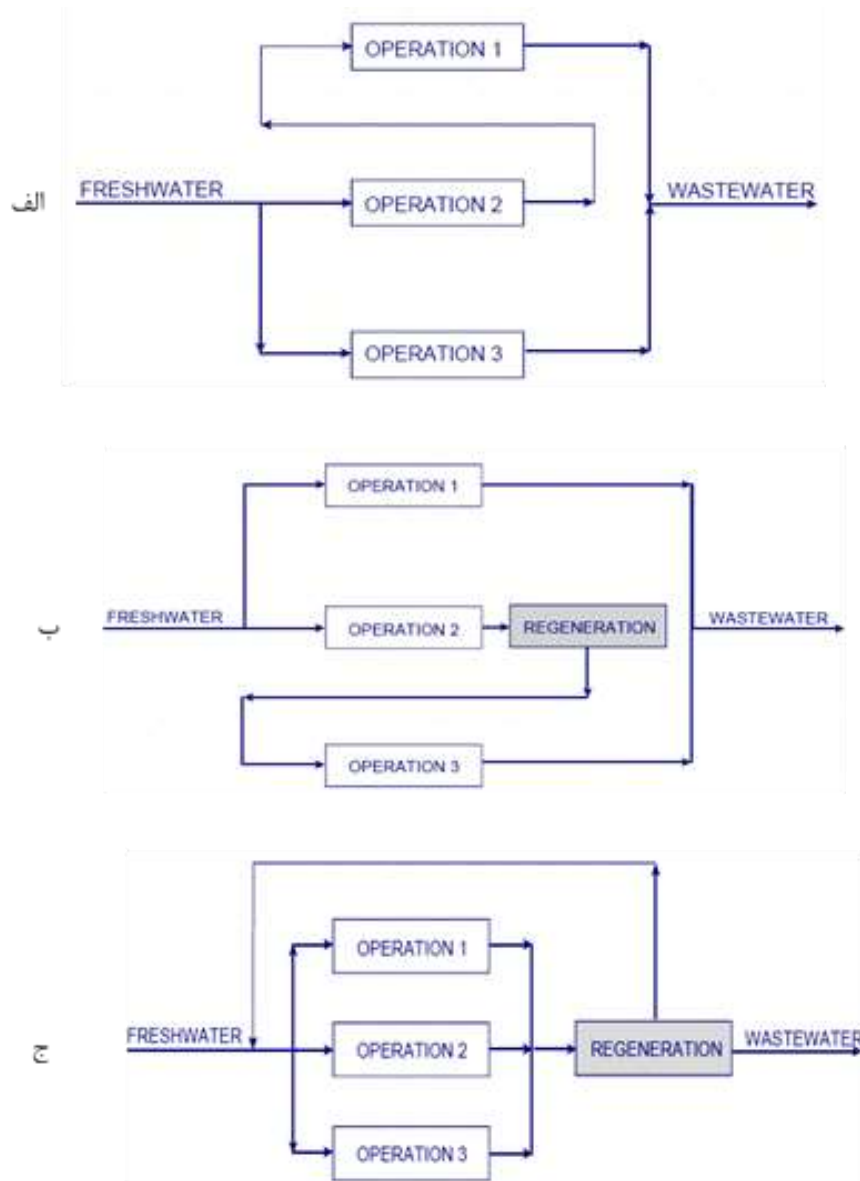
در این روش، پساب، تصفیه کامل شده به آب تازه تبدیل می‌گردد و می‌تواند به کلیه فرآیندهای استفاده کننده از آب باز گردد. به این طریق مصرف آب و تولید پساب و نیز بار آلودگی پساب کاهش می‌یابد. در اینجا لازم است به تفاوت بین احیاء - استفاده مجدد و احیاء - باز چرخانی توجه گردد. در روش احیاء استفاده مجدد آب تصفیه شده نمی‌تواند دوباره وارد فرآیندهایی شود که قبلاً از آنها عبور کرده است ولی در روش احیا - باز چرخانی ورود آب تصفیه شده به کلیه فرآیندهای استفاده کننده از آب مجاز می‌باشد. شکل ۲ نمایش گرافیکی حالت‌های فوق را نشان می‌دهد.

۴- پروژه‌های صنعتی انجام شده در این زمینه

استفاده از روش‌های انتگراسیون فرآیند برای کاهش مصرف آب و تولید پساب اول بار توسط شرکت مونسانتو^۳ در سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۵ در کشور ولز با کمک شرکت لینهوف-مارچ^۴ استفاده شد. در آن سالها پساب‌های هفت واحد تولیدی در نیوپورت در یک مکان جمع‌آوری شده و پس از تعدیل pH مخلوط حاصله به رودخانه تخلیه می‌گردید. انجمن محیط زیست انگلستان بعد از مطالعات فراوان اعلام کرد که در دراز مدت COD موجود در این پساب مشکلات فراوانی را برای محیط زیست به وجود خواهد آورد. در نتیجه شرکت مونسانتو بر آن شد تا COD را حدود ۹۰ درصد کاهش دهد. این شرکت با بکارگیری تکنولوژی پینچ‌آبی که یکی از روش‌های انتگراسیون فرآیند است، مصرف آب تازه را ۳۰ درصد کاهش داد و ۱۱/۵ میلیون دلار صرفه‌جویی به علت کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای تجهیزات تصفیه پساب بوجود آمد و نیز یک میلیون دلار سالانه در هزینه‌های عملیاتی و مواد خام صرفه‌جویی شد. در نهایت این پروژه موفق شد تا جایزه محیط‌زیست و ایمنی را در سال ۱۹۹۵ از آن خود کند. بعد از آن این تکنولوژی در بسیاری از کشورهای جهان به طور موفقیت آمیز به کار گرفته شده است. بعنوان نمونه می‌توان از پالایشگاه Esso , Gulf oil Refining، کارخانه الیاف Byer، کارخانه پلیمرسازی unilever، مجتمع ذوب فلزات ISCOR در آفریقای جنوبی و Degussa در آلمان، مجتمع‌های پتروشیمی GEP، Enichem هلند، کارخانه خمیر و کاغذسازی VNP در هلند، کارخانه کمپوت مرکبات در آرژانتین و واحد کلرآلکالی در هند و ... نام برد. متأسفانه در کشور ایران در فاز اجرایی هیچ پروژه‌ای در این زمینه در کشور انجام نشده است و فعالیت‌های انجام شده بیشتر در فاز مطالعاتی و تحقیقاتی در دانشگاه‌های کشور بوده که در نتایج همه آنها استفاده از این تکنیک را در صنعت و در فاز اجرا، قویاً توصیه کرده است.

³ Monsanto

⁴ Linnhoff March



شکل ۲. نمایش گرافیکی روش‌های کاهش مصرف آب و تولید پساب [۱]

(الف) استفاده مجدد ب) احیاء- استفاده مجدد ج) احیاء- بازچرخانی

پس از هدفگذاری و مشخص شدن رویکرد می‌توان با تعریف تابع هدف برابر با به حداقل رساندن میزان آب مصرفی و یا پساب تولیدی به کمک روش‌های گرافیکی مثل تکنولوژی پینچ آبی و یا روش‌های ریاضیاتی نظیر بسط و حل معادلات خطی و غیرخطی و ... طراحی شبکه بین واحدها را انجام داد.

۵- جمع‌بندی

با توجه به محدودیت‌های موجود در زمینه منابع آبی و مقررات زیست محیطی و ظرفیت اکوسیستم برای پذیرش پساب‌های حاصله از فرآیندهای صنعت، لزوم بازنگری به فرآیندهای موجود و حتی بررسی بیشتر از قبل طراحی فرآیندها به روشنی احساس می‌شود. در این مقاله روش انتگراسیون فرآیند به عنوان ابزاری مفید جهت کاهش مصرف آب تازه و تولید پساب و در نتیجه کاهش هزینه‌های مصرف آب تازه و تصفیه پساب در واحدهای صنایع فرآیندی معرفی شد. مزیت این تکنیک در مقایسه با سایر روش‌های دیگر کمینه‌سازی مصرف آب و تولید پساب، پیشگیری از ایجاد آلودگی در مرحله طراحی و کاهش حجم پساب ورودی به واحد تصفیه می‌باشد.

۶- مراجع

[1] Mann, J. G., & Liu, Y. A. (1999). "Industrial water reuse and wastewater minimization". McGraw Hill, New York.

[۲] شرکت مهندسی مشاور جامات، طرح مطالعات برنامه‌سازگاری با اقلیم خشک و نیمه خشک، گزارش بررسی آب‌های غیر متعارف در کشور، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۶).