



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1280P-NWWCE

## استفاده از پساب در صنعت: مطالعه مروری

مسعود تابش<sup>۱</sup>، سلما ارجمندی<sup>۲</sup>

۱- استاد و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، دانشکده مهندسی عمران، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

Salma.arjmandi@ut.ac.ir

### خلاصه

محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، بحران فزاینده آب را به دنبال داشته است. بهترین راهکار برای مقابله با این بحران، ایجاد و توسعه الگوی جدید برای مدیریت صحیح منابع آب می‌باشد. یکی از این راهکارها، بهره‌گیری از پساب به‌عنوان منبع غیرمتعارف است. این رویکرد علاوه بر کاهش برداشت از منابع متعارف، کمک شایانی به دفع صحیح فاضلاب می‌کند و تهدید آلودگی را به فرصت بهره‌مندی از منبع جدید تبدیل می‌نماید. امروزه با پیشرفت تکنولوژی‌های تصفیه، می‌توان از پساب در مصارف مختلفی اعم از کشاورزی، صنعت، شهری، مصارف تفریحی و نیز تغذیه آبخوان استفاده کرد. در این میان استفاده از پساب در مصارف صنعتی در اولویت قرار دارد. در سال‌های اخیر تجارب موفق بازیافت آب در جهان وجود داشته است. در ایران نیز پروژه‌های استفاده از پساب در صنعت در حال مطالعه و اجرا می‌باشد از جمله می‌توان طرح‌های استفاده از پساب در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان، نیروگاه اصفهان، نیروگاه شهید مفتح همدان و پالایشگاه تهران را نام برد. هدف از این مطالعه، مروری بر مطالعات و تجربیات جهانی در باب بازیافت آب و استفاده از فاضلاب تصفیه شده در بخش‌های مختلف صنعت است.

**کلمات کلیدی: پساب، بازیافت پساب، صنعت، آب خنک‌کننده، مدیریت پایدار**

### ۱. مقدمه

بیش از ۹۷ درصد آب موجود در جهان شور است. از ۳ درصد باقی‌مانده دو سوم آن به حالت جامد در قطب‌ها و تنها یک درصد از آب جهانی به‌صورت مایع شیرین موجود است. ۹۸ درصد از این آب شیرین به‌صورت آب زیرزمینی و فقط ۲ درصد آن به‌صورت منابع سطحی است [۱]. آب نیز مانند انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود بلکه پایسته است و تنها در چرخه تحول از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌شود. امروزه به دلیل تغییر نحوه زندگی مردم و توسعه شهرنشینی تغییراتی در این چرخه حاصل شده است. از جمله می‌توان استخراج بیش از حد از منابع سطحی و زیرزمینی برای مصارف متنوع و همچنین بازگشت فاضلاب‌های شهری و صنعتی به محیط‌زیست را نام برد [۲].

کمبود منابع آب متعارف که شامل منابع سطحی و زیرزمینی است، توسعه پایدار را در جهان مورد تهدید قرار داده است. هدف متخصصان از توسعه و مدیریت پایدار منابع آب، تأمین قابل‌اطمینان و صحیح نیازهای آبی نسل‌های حال و آینده می‌باشد. امروزه در کشورهای پیشرفته نوع مصرف با کیفیت آب متناسب است. بدین معنا، آب آشامیدنی که نیازمند کیفیتی بالا است از منابع با کیفیت بالا تأمین می‌شود اما برای دیگر مصارف اعم از کشاورزی، صنعتی و مصارف شهری از منابعی با کیفیت پایین‌تر استفاده می‌کنند [۳]. فاضلاب تصفیه شده شهری می‌تواند یک منبع قابل‌اطمینان برای تأمین آب جهت استفاده در مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری باشد [۴]. رابطه‌ی مستقیمی بین استفاده از پساب و مدیریت پایدار منابع طبیعی آب موجود است. این راهکار ضمن حفظ منابع طبیعی آب، راه‌حلی مناسب جهت دفع فاضلاب می‌باشد و مزایای زیست‌محیطی فراوانی را به همراه دارد.

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

برای استفاده از فاضلاب تصفیه شده، تعیین نوع مصرف و پس از آن ویژگی‌ها و الزامات مصرف کنندگان ضروری است. استفاده از پساب

تصفیه شده برای مصارف مختلفی امکان‌پذیر است که می‌توان آن را به پنج گروه اصلی زیر تقسیم کرد [۵]

### الف: مصارف شهری

مصارف شهری از پتانسیل بالایی برای استفاده از پساب برخوردارند. این رویکرد نقش مهمی در کاهش مصرف آب با کیفیت بالا و کنترل عوارض زیست‌محیطی دارد [۵]. از جمله مهم‌ترین مصارف شهری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۶].

- آبیاری فضای سبز و پارک‌های عمومی، شستشوی خیابان‌ها، زمین‌های ورزشی، حیاط‌های مدرسه؛
- زیباسازی شهرها با آب‌نماها، آبشارها، حوضچه‌ها و موارد مشابه؛
- مصارف ساخت و ساز شامل کنترل گرد و غبار، بتن‌سازی، آماده‌سازی مصالح، شستشوی محوطه؛
- شستشوی محوطه ساختمان‌های اداری و برج‌های مسکونی، آب‌فلاش تانک‌ها.

### ب: مصارف کشاورزی

بخش کشاورزی یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب در سطح دنیا است [۵]. بیش از ۷۰٪ از برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی صرف کشاورزی در جهان می‌شود. تنها به منظور دفع فاضلاب قرن‌ها در شهرهای برلین، لندن، میلان و پاریس از آن در کشاورزی استفاده می‌شد [۴]. اما در سال‌های اخیر بازیافت فاضلاب مورد توجه فراوان قرار گرفته است. ۲۶٪ از محصولات کشاورزی پاکستان [۷] و ۸۰٪ از محصولات کشاورزی هانوی با فاضلاب آبیاری می‌شود. همچنین آبیاری حدود ۲۶۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی مکزیک با پساب انجام می‌شود. در بیشتر این موارد کشاورزان از فاضلاب تصفیه نشده استفاده می‌کنند که سلامت کشاورز و مصرف‌کنندگان را به خطر می‌اندازد. در بیرشوا، ۲۰٪ از منابع تأمین آب کشاورزی با برنامه‌ای تدوین شده به وسیله پساب صورت می‌گیرد. در بعضی از کشورهای اروپایی پیشرفته درجه تصفیه فاضلاب شهری و خصوصیات پساب فاکتور مهمی در چگونگی طراحی و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از پساب در آبیاری محصولات خوراکی و غیر خوراکی می‌باشد [۸].

درجه کیفیت پساب تابع ماهیت آلاینده‌های فاضلاب و درجه تصفیه آن است. داده‌های کیفیت پساب که به طور معمول در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اندازه‌گیری می‌شود شامل BOD، COD، جامدات کل و جامدات محلول کل است. در حالی که برای استفاده از پساب در کشاورزی باید میزان مواد شیمیایی موجود در پساب که می‌تواند در کیفیت محصول، میزان رشد گیاه و آسیب‌رسانی به خاک موثر واقع شود، اندازه‌گیری شود [۸].

### پ: مصارف محیط‌زیست و تفرج

مصارف محیط‌زیست و تفرج از جمله پتانسیل‌های موجود برای استفاده از فاضلاب تصفیه شده است. مهم‌ترین این استفاده‌ها عبارتند از: الف) تغذیه تالاب‌های طبیعی و مصنوعی (ب) تغذیه برکه‌های طبیعی یا منظرسازی (ج) افزایش آب جریان‌های سطحی [۵]. هر گونه پروژه بازیافت در زمینه توسعه محیطی و تفریحی، تابع تقاضای آب و هزینه تمام شده آب نسبت به کیفیت مطلوب مورد نظر می‌باشد. برای مثال در پروژه‌هایی که افراد کمتر در معرض تماس با پساب و عوارض ناشی از آن می‌باشند، باید تصفیه ثانویه و گندزدایی به حدی که میانگین کلیفرم آن از ۲/۲ در ۱۰۰ میلی‌لیتر بیشتر نباشد را طی کند. همچنین برای استفاده از پساب در پروژه‌هایی با تماس نامحدود، آب تصفیه شده باید علاوه بر برخورداری شرایط استفاده محدود، فرآیندهای لخته‌شدن و فیلتراسیون را نیز طی کند [۶].

### ت: تغذیه آب‌های زیرزمینی

به دلایل جغرافیایی، کمبود منابع سطحی، عدم تطابق زمانی بارش با نیازهای آبی، برداشت آب‌های زیرزمینی بیش از حد افزایش یافته است، به طوری که افت سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشت‌های کشور مشکلات عدیده‌ای را به وجود آورده است. به همین جهت استفاده از پساب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی راهکار مناسبی است [۵]. در عین حال این راهکار چالش‌های تکنیکی و چالش‌های سلامتی منحصر به خود را دارد. از فاکتورهای اساسی کیفیت فاضلاب در تغذیه آب‌های زیرزمینی عبارتند از: خواص میکروبیولوژیکی، فلزات سنگین، مواد جامد معدنی کل، تجمع مواد ارگانیک زیان‌آور. ضرورت و میزان پیش تصفیه فاضلاب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی به برنامه مصرف از آن منبع بستگی دارد [۹].

### ث: بازیافت در صنعت

مصارف صنعتی یکی از کاربردهای اصلی آب می‌باشد و در دهه‌های گذشته رشد سریعی داشته است. استفاده از پساب با کیفیت مناسب می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی به جای آب خام بوده و یکی از کاربردهای بالقوه پساب محسوب می‌شود. در این مقاله سعی شده است ابتدا با بیان مقدماتی در مورد مصارف مختلف پساب به خصوص صنعت به‌عنوان یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب خام در کشور، بخش‌های مختلف مصرف‌کنندگان پساب شناسایی شود. در ادامه به مرور مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از پساب در صنایع و شناسایی نیازهای آبی بخش‌های



## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کوز

مختلف صنعت و بیان تجربیات متخصصین در این حوزه پرداخته شده است. سپس در یک مطالعه موردی، نیازهای کیفی مورد نیاز مجتمع فولاد مبارکه اصفهان برای آب مورد نیاز خنک کننده‌ها بررسی شده است. در حال حاضر با توجه به تحقیقات اندک در این زمینه و کمبود استانداردهای لازم برای استفاده ایمن از پساب‌های شهری در صنعت و از طرفی نیاز آبی شدید و روزافزون بخش صنعت، پتانسیل بسیار زیادی برای تحقیقات وسیع تر در این زمینه وجود دارد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### باز یافت در صنعت:

استفاده از آب در تمام صنایع امری رایج بوده و بدون حضور این ماده حیاتی، انجام فعالیت‌های صنعتی غیر ممکن خواهد بود. مقدار مصرف آب با توجه به فرآیند تولید و سطح فن آوری‌های مورد استفاده در هر واحد صنعتی متفاوت می‌باشد. در برخی از زیربخش‌های آن از جمله صنایع فولاد، پتروشیمی و نیروگاه‌ها مصرف آب به مقدار بسیار قابل توجهی بالا است.

باز یافت پساب در صنعت از اوایل ۱۹۹۰ به دلایل مشابه ذکر شده که شامل کمبود آب، افزایش جمعیت و قوانین مربوط به حفاظت از آب و محیط زیست می‌باشد، به بهره برداری رسید [۶]. در برنامه تخصیص آب کشور، صنعت در آخرین رده و بعد از مصارف آشامیدنی و کشاورزی است. مضافاً اشتغالزایی بهره وری آب در صنعت چندین برابر بخش کشاورزی است. پس باید به سمت بازیابی و استفاده از پساب در این بخش حرکت کرد. طبق گزارشات متخصصان سازمان آب و فاضلاب کشور، با توجه به شرایط موجود تصفیه خانه‌های فاضلاب، کاربرد پساب با هدف بیابان زدایی، مصارف صنعتی و توسعه فضای سبز پیرامون شهرها به‌عنوان اولویت نخست توصیه می‌شود.

به دلیل نیاز به آب با کیفیت ویژه در برخی صنایع در مقایسه با سایر مصارف، استفاده از پساب‌ها با محدودیت‌های کیفی مانند سختی، غلظت کل جامدات محلول و مواد معلق مواجه است. عامل مهم دیگر در این زمینه هزینه انتقال پساب به صنایع می‌باشد [۱۰]. اما امروزه با پیشرفت تکنولوژی تصفیه آب و فاضلاب امکان استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین در صنعت پدید آمده است. این پیشرفت‌ها صنایع را در کنترل بهتر رسوبات، خوردگی‌ها و مشکلات بیولوژیکی در سیستم‌های خنک‌سازی توانا ساخته است [۳]. مصارف صنعتی به سه گروه اصلی تقسیم می‌شود.

### ۱.۲. سامانه‌های خنک‌کننده

سامانه‌های خنک‌کننده یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان پساب در صنایع می‌باشند. پیشرفت سیستم‌های تصفیه و خنک‌کننده معضلات استفاده از پساب در این بخش اعم از خوردگی و مشکلات زیستی مانند افزایش رشد جلبک‌ها را روز به روز کنترل می‌کند و در نتیجه سامانه‌های خنک‌کننده، قابلیت استفاده از پساب با کیفیت کم را می‌یابند [۱۱].

### ۱.۱.۲. نیازهای کیفی آب خنک‌کننده

در اکثر صنایع خنک‌سازی آب بزرگترین سهم در مصرف آب را دارند. نیازهای کیفی آب خنک‌کننده صنعتی به سه عامل اصلی در سیستم‌های خنک‌کننده چرخشی وابسته است: ۱. خوردگی، ۲. مسائل بیولوژیکی (زیستی)، ۳. رسوب گذاری [۱۲]. آلاینده‌های موجود در آب خام و پساب عامل به وجود آمدن این مشکلات می‌باشند، اما غلظت این آلاینده‌ها در پساب بیشتر از آب خام است.

کارخانه‌های فولاد در ایران در کنار منابع آب ساخته شده‌اند. اما این منابع روز به روز کاهش پیدا کرده است. در حال حاضر تأمین آب یکی از محدودیت‌های این بخش است. مجتمع فولاد مبارکه اصفهان که یکی از پایه‌های مهم اقتصادی کشور است، با راه اندازی سیستم تصفیه فاضلاب و گردش آب در این مجتمع سعی بر پیشرفت روند نزولی در مصرف آب داشته است. این در حالی است که در گام جدید سیاست گذاری‌ها، تصمیم بر آن است که برای تأمین آب مجتمع فولاد از پساب‌های شهرهای اطراف استفاده شود.

در صنعت فولاد مبارکه اصفهان کیفیت مورد نیاز آب برای سیستم خنک‌کننده که بعد از عملیات تصفیه و اضافه کردن مواد شیمیایی در واحد تصفیه خانه آب صنعتی، با عنوان آب صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد در جداول ۱ و ۲ ارائه می‌شود. جدول ۱ نیازهای کیفی آب خنک‌کننده

صنعت فولاد مبارکه در شرایط پرآبی و جدول ۲ این نیازها در شرایط کم آبی (زمانی که شرط  $TH > 300 \text{ ppm as CaCO}_3$  برقرار گردد) را نشان می دهد.

جدول ۱- نیازهای کیفیتی آب خنک کننده صنعت فولاد مبارکه در مواقع پرآبی

ردیف	پارامتر	مقدار مشخص شده	واحد
۱	جامدات کل معلق (TSS)	$5 \geq$	ppm
۲	جامدات کل محلول (TDS)	$300 \geq$	ppm
۳	سختی کل	$200 \geq$	ppm
۴	قلیابیت کل (متیل اورانژ)	۵۰-۷۰	ppm
۵	کلراید	$90 \geq$	ppm
۶	سولفات	$120 \geq$	ppm
۷	pH	۸.۲-۸.۷	-

همان گونه که ملاحظه می شود در شرایط کم آبی بسیاری از فاکتورها چشم پوشی می شود و ریسک وارده به سیستم ناگزیر پذیرفته می شود.

جدول ۲- نیازهای کیفیتی آب خنک کننده صنعت فولاد مبارکه در مواقع کم آبی

ردیف	پارامتر	مقدار مشخص شده	واحد
۱	سختی کل	$230 \geq$	ppm
۲	قلیابیت کل (متیل اورانژ)	۴۰-۱۱۰	ppm
۳	pH	۸.۲-۸.۷	-

سیستم تصفیه موجود در صنایع، در حال حاضر برای رساندن آب خام به کیفیت آب صنعتی است. حال آنکه پساب خروجی از تصفیه خانه های شهری دارای کیفیت متفاوت نسبت به آب خام است. استفاده از پساب می تواند خطرات و ریسک های متعددی در پی داشته باشد. به دلیل وجود آلاینده های متفاوت در فاضلاب و امکان اختلال در سیستم تصفیه فاضلاب و در عین حال امکان عدم انتخاب فرآیندهای تصفیه مناسب احتمال شکست در دست یابی به آب با کیفیت و کمیت مناسب وجود دارد. لذا برای شناخت خطرات سیستم و میزان خسارت های محتمل و نیز ارائه راه کاری مناسب برای مقابله با این خطرات می بایست تحلیل ریسک استفاده از پساب در صنعت بررسی شود، که در مقاله بعدی به آن پرداخته و نتایج آنالیز کمی آن بیان می شود. ریسک ها و خطرات موجود در سیستم خنک کننده شامل موارد زیر است:

### ۰.۱.۱.۰.۲ خوردگی

استفاده از پساب به عنوان آب جبرانی در سیستم های خنک کننده چرخشی، بر غلظت جامدات محلول در سیستم تبادل حرارتی اثر می گذارد [۱۲]. تجاوز از حد مطلوب این غلظت موجب خوردگی می شود. برای تعیین ریسک ها و جلوگیری از وقوع آن در استفاده از پساب به عنوان آب خنک کننده صنعتی باید پارامترهای تاثیر گذار شناسایی شده و میزان تاثیر گذاری هر یک با استفاده از نظرات کارشناسان نمره دهی شود. ملاحظات لازم شامل موارد زیر است [۳]:

الف: محاسبه غلظت های مواد تشکیل دهنده آب مورد نیاز سیستم خنک کننده

ب: شناسایی آلیاژهای به کار رفته در سیستم خنک کننده

ج: شرایط عملیات اعم از دمای هوا، رطوبت و دمای جریان آب

به عنوان مثال آمونیاک عامل اصلی خوردگی در سیستم های متشکل از آلیاژ مس می باشد [۶].

### ۰.۲.۱.۱.۰.۲ مسائل بیولوژیکی

در صورتی که اقدامات تصفیه پیشرفته قبل از ورود پساب به سیستم خنک کننده به درستی انجام شود، پساب از میزان بسیار کمی میکروارگانیزم برخوردار است. اما وجود مواد مغزی اعم از نیتروژن و فسفات که در رشد میکروبیولوژیکی شرکت می کنند عامل به وجود آمدن میکروارگانیزمها (باکتری ها، جلبک ها) است. رشد مواد بیولوژیکی، بیوفیلم ها که در سطوح چسبیده و گرفتگی نازل ها، مبدل های حرارتی و پرشدن غشای برج های خنک کننده است را به وجود می آورد. همچنین به واسطه اسید تولیدی عامل خوردگی نیز می باشند [۱۱]. وجود یک برنامه کنترل بیولوژیکی مناسب و دقیق قبل از استفاده از پساب در سیستم خنک کننده از اهمیت خاصی برخوردار است.

### ۳.۱.۱.۲. رسوب گذاری

رسوب گذاری در سیستم های خنک کننده چرخشی باعث گرفتگی و کاهش بازده تبادل گرمایی می شود. اصلی ترین اجزای تشکیل دهنده رسوب گذاری در پساب شامل کلسیم، منیزیم، سولفات، عناصر قلیایی، فسفات، سیلیس و فلورید است. ترکیب این عناصر رسوباتی اعم از فسفات کلسیم ( بسیار رایج) اکسید سیلیس (تقریباً رایج)، سولفات کلسیم (تقریباً رایج)، کلسیم کرنات (بسیار کم) است. در سیستم های استفاده از پساب به عنوان آب خنک کننده باید با استفاده از مراحل تصفیه شیمیایی و تنظیم چرخه غلظت، محدوده مجاز پارامترهای ذکر شده رعایت شود.

در اکثر صنایع، واحد تصفیه صنعتی موجود می باشد. هدف از این سیستم ها رساندن کیفیت پساب خروجی صنعتی به حد مجاز تخلیه در محیط زیست می باشد. چندی است در صنایع بزرگ اعم از فولاد مبارکه اصفهان سیستم های تصفیه تجهیز و گردش آب در مجموعه راه اندازی شده است. در نتیجه آن، آب ورودی به جای یکبار استفاده در عملیات چون خنک کاری، بارها چرخه را طی کند و در نهایت برای آبیاری فضای سبز اطراف مجتمع استفاده شود. در برنامه استفاده از پساب در فولاد مبارکه، پساب شهری به سمت تصفیه خانه های موجود و در حال ساخت هدایت و بعد از مراحل تصفیه تکمیلی شامل تصفیه بیولوژیکی و RO وارد صنعت خواهد شد. در این مرحله علاوه بر خطرات ذکر شده، ریسک های دیگری شامل موارد زیر موجود است.

الف: ریسک باقی ماندن BOD پس از تصفیه بیولوژیکی در صورتیکه سیستم RO در مراحل تصفیه پساب باشد. زیرا آب ورودی به سیستم RO باید فاقد BOD باشد؛

ب: امکان وجود فلزات سنگین در پساب شهری بسته به منبع پساب و عدم شناسایی کامل آن، زیرا فلزات سنگین برای سیستم های رزینی مشکل ساز است؛

ج: پیامدهای احتمالی ناشی از وجود محصولات جانبی واکنش کلر با مواد آلی موجود در پساب شهری؛  
د: به طور معمول یک سیستم گندزدایی به تنهایی قادر به حذف تمام آلاینده های بیولوژیکی نخواهد بود که با توجه به هزینه بالای سیستم امکان نصب چندین واحد با محدودیت روبه رو خواهد بود.

### ۲.۲. بویلر های صنعتی

آب مورد استفاده بویلرها برای تولید بخار آب و یا تولید آب داغ مورد نیاز است. این آب به دلیل حساسیت بالا باید از کیفیت بالایی برخوردار باشند و نیاز به تصفیه پیشرفته دارد. کیفیت آب جبرانی بویلرها بسته به فشار درون بویلر متفاوت است. به طور معمول هر چه فشار بویلر بالاتر باشد کیفیت مورد نیاز آب نیز بالاتر است. مشکلات استفاده از پساب در بویلرها شامل رسوب، تشکیل لجن، سایش، رشد مواد بیولوژیکی و تشکیل کف است. برای استفاده از آب خام و یا پساب باید میزان سختی آب کاهش پیدا کند. اما در استفاده از پساب علاوه بر سختی، سیلیکات آلومینیوم نیز باید کنترل شود. قلیابیت پساب منجر به تولید کف در دماهای بالا می شود که بویلر را دچار مشکل می کند. همچنین مواد ارگانیک در پساب نیز کف تولید می کند [۱۱]. جدول ۳ پیشنهاد انجمن سازندگان بویلر در آمریکا (ABMA) نیاز کیفی آب بویلر های صنعتی را نشان می دهد [۱۳].

جدول ۳- نیازهای کیفیتی آب بویلر های صنعتی در فشارهای متفاوت ارائه شده توسط سازندگان بویلر در آمریکا

۲۰۰۰-۱۵۰۱	۱۵۰۰-۱۰۰۱	۱۰۰۰-۹۰۱	۹۰۰-۷۵۱	۷۵۰-۶۰۱	۶۰۰-۴۵۱	۴۵۰-۳۰۱	۳۰۰-۰	فشار مخازن بهره‌برداری (PSIG)
۵۰	۱۰۰	۶۲۵-۱۲۵	۷۵۰-۱۵۰	۱۰۰۰-۲۰۰	۲۵۰۰-۵۰۰	۳۰۰۰-۶۰۰	۳۵۰۰-۷۰۰	حداکثر جامدات محلول کل (ppm)
-	-	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	قلیابیت حداکثر (ppm)
-	۱	۱	۲	۳	۸	۱۰	۱۵	حداکثر جامدات کل معلق (ppm)
۸۰	۱۵۰	۱۰۰۰-۲۰۰	۱۲۰۰-۲۰۰	۱۵۰۰-۳۰۰	۳۸۰۰-۸۰۰	۴۶۰۰-۹۰۰	۵۴۰۰-۱۱۰۰	رسانایی الکتریکی حداکثر ( $\mu\text{mho/cm}$ )
۱	۲	۸	۲۰	۳۰	۴۰	۹۰	۱۵۰	سیلیس حداکثر (ppm)

### ۳.۲. فرآیندهای صنعتی

آب در فرآیندهای صنعتی به‌عنوان یک ماده‌ی اولیه به کار می‌رود. کیفیت مورد نیاز در این بخش کاملاً به نوع فرآیند صنعتی بستگی دارد. برخی از فرآیندهای صنعتی نیازمند کیفیتی بسیار بالا هستند [۵]. به‌عنوان مثال صنایع الکترونیک نیازمند آب مقطر برای شستشوی اجزای الکترونیکی است. بنابراین برای امکان‌پذیر بودن استفاده از پساب در فرآیندهای تولید، مصرف‌کنندگان باید خود اقدامات ویژه برای تاسیسات تصفیه پساب را انجام دهند [۱۱].

### ۳. نتیجه‌گیری

با تشدید شرایط نامطلوب منابع آبی کشور، در سال‌های اخیر استفاده از پساب‌های شهری رونق چشمگیری پیدا نموده است. با توجه به خطرات سلامتی شناخته شده و ناشناخته استفاده از پساب‌های شهری در کشاورزی و همچنین توجه اقتصادی-اجتماعی اشتغال‌زایی چندین برابری بخش صنعت نسبت به کشاورزی، توصیه می‌شود اولویت استفاده از پساب در صنعت باشد. در میان کاربردهای صنعتی بخش سامانه‌های خنک‌کننده با توجه به حجم بالای آب مورد نیاز و نیاز کیفیتی پایین‌تر ارجحیت بالاتری نسبت به آب مورد نیاز بویلرها و فرآیند تولید دارد. بدیهی است که سامانه‌های خنک‌کننده بسیار متنوع بوده و هر یک با توجه به صنعت مورد نظر، جنس مواد تشکیل دهنده، شرایط بهره‌برداری قابلیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود را برای استفاده از پساب دارند که باید در مطالعات مورد توجه قرار گیرد. ضمناً تحلیل و مدیریت ریسک استفاده از پساب در صنعت برای پیش‌بینی اقدامات لازم پیش از ساخت تاسیسات انتقال و تصفیه پساب ضروری است که در مقاله بعدی نتایج کمی تحلیل ریسک استفاده از پساب در صنعت به‌عنوان آب خنک‌کننده ارائه می‌شود.

### ۴. مراجع

- [1] H. Bouwer, "Integrated water management: emerging issues and challenges," *Agric. Water Manag.*, vol. 45, no. 3, pp. 217-228, Aug. 2000.
- [2] J. Anderson, "The environmental benefits of water recycling and reuse," *Water Sci. Technol. Water Supply*, vol. 3, no. 4, pp. 1-10, Aug. 2003.

[3] اسلامیان، س. ترکش اصفهانی، ص. (۱۳۸۹)، "ارزیابی جنبه‌های فنی زیست‌محیطی و اجتماعی انتقال پساب تصفیه‌شده‌ی

انسانی به یک واحد صنعتی"، دومین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد، مهندسی مشاور سروآب



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



- [4] T. ASANO and A. LEVINE, "Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future," *Water Sci. Technol.*, vol. 33, no. 10–11, pp. 1–14, 1996.
- [5] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. (۱۳۸۸) " راهنمای مطالعات طرح‌های استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و روستایی". دفتر نظام فنی اجرایی، وزارت نیرو. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. نشریه شماره ۴۳۴
- [6] U. S. E. P. Agency, M. S. Division, S. Division, and N. Risk, "Guidelines for Water Reuse Office of Water," *Development*, no. September, p. 450, 2004.
- [7] J. H. J. Ensink, T. Mahmood, W. van der Hoek, L. Raschid-Sally, and F. P. Amerasinghe, "A nationwide assessment of wastewater use in Pakistan: an obscure activity or a vitally important one?," *Water Policy*, vol. 6, no. 3, pp. 197–206, Jun. 2004.
- [8] F. Pedrero, I. Kalavrouziotis, J. J. Alarcón, P. Koukoulakis, and T. Asano, "Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece," *Agric. Water Manag.*, vol. 97, no. 9, pp. 1233–1241, 2010.
- [9] Jiménez-Cisneros, B., (2014), "Comprehensive Water Quality and Purification", *Earth Systems and Environmental Sciences*, Vol. 3, pp.296-323.
- [10] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. (۱۳۸۷) " راهنمای طبقه‌بندی کیفیت آب خام، پساب‌ها و آب‌های برگشتی برای مصارف صنعتی و تفریحی". دفتر نظام فنی اجرایی، وزارت نیرو. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. نشریه شماره ۴۶۲
- [11] US Environmental Protection Agency, "Guidelines for Water Reuse," *Development*, vol. 26, no. September, p. 252, 2012.
- [12] Rebhun, M. and Engel, G., (1988), "Reuse of wastewater for industrial cooling systems", *Water Pollution Control Federation*, Vol. 60, No. 2, pp.237-241.
- [13] P. Weber, G. Medina-Oliva, C. Simon, and B. Iung, "Overview on Bayesian networks applications for dependability, risk analysis and maintenance areas," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 25, no. 4. pp. 671–682, 2012.