

## Monitoring of the wastewater treatment efficiency at the stone quarrying industry (Case study: Mahmoud Abad Industrial Town, Isfahan)

Maedeh Nouri<sup>1</sup>, Mohammad Nemati Varnosfaderany,<sup>\*2</sup> Nourollah Mirghaffari<sup>2</sup>, Alireza Allafchian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

<sup>2</sup> Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

<sup>3</sup> Research Institute for Nanotechnology and Advanced Materials, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 17 December 2024

Revised 16 January 2025

Accepted 13 April 2025

Published online 28 June 2025

#### Keywords:

Stone quarrying industry  
Mahmoud Abad  
Industrial Town  
Wastewater treatment  
Polyacrylamide

### ABSTRACT

**Objective:** To monitor the existing status of wastewater treatment systems of the stone quarrying industry, samples were taken from 29 quarrying units in Mahmoud Abad Industrial town, according to two criteria of producing stone (including marble, granite, travertine, and marble-travertine) and the type of treatment system (including traditional basins, traditional basins supplemented with polyacrylamide, and a modern filter press system utilizing polyacrylamide).

**Methods:** Variables were measured. These variables include total suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), and Ph, and turbidity in the samples taken from raw water, raw wastewater, and refined wastewater was measured.

**Results:** The results showed that sedimentation treatment in these industries could not remove dissolved solid particles and reduce the electrical conductivity of the wastewater. However, filter press systems using polyacrylamide had a purification efficiency of 78% to 98% in removing turbidity. The statistical comparison of the effect of stone type, the effect of treatment type, and the simultaneous effect of these two on the turbidity variables and suspended solid particles of the treated wastewater of stone quarrying factories demonstrated the only significant difference between the average suspended solid particles of the treated wastewater of stone quarrying factories with filter press systems using polyacrylamide ( $52.5 \pm 85.7$  mg/liter) with other two groups. However, in terms of the percentage of removal efficiency of turbidity and suspended solid particles of treated wastewater, no significant difference was observed between the groups.

**Conclusion:** The results showed the superiority of the new filter press system with the use of polyacrylamide in increasing the efficiency of wastewater treatment. However, it seems that the continuous and correct management of the purification system in stone quarrying factories is a more important factor in the efficiency of removing turbidity and suspended solid waste particles, regardless of the type of stone produced or the wastewater treatment system.

\*Corresponding author, E-mail: [nemati@iut.ac.ir](mailto:nemati@iut.ac.ir)

**Cite this article:** Nouri, M., Nemati Varnosfaderany, M., Mirghaffari, N., & Allafchian, A. (2024). Monitoring of the wastewater treatment efficiency at the Quarrying industry (Case study: Mahmoud Abad Industrial Town, Isfahan). *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, <http://doi.org/10.22034/nawee.2025.494536.1123>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/nawee.2025.494536.1123>

Publisher: Gonbad Kavous University.



## پایش راندمان تصفیه پساب در صنعت سنگبری (مطالعه موردی: شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان)

مأنده نوری<sup>۱</sup>، محمد نعمتی ورنوسفادرائی<sup>۲\*</sup>، نوراله میرغفاری<sup>۲</sup>، علیرضا علافچیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup> دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> پژوهشکده نانو فناوری و مواد پیشرفته، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۹/۲۷</p> <p><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۱۰/۲۷</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۰۱/۲۴</p> <p><b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۰۴/۰۷</p>	<p><b>هدف:</b> با هدف تعیین وضعیت سیستم‌های تصفیه و راندمان تصفیه پساب صنعت سنگبری، با توجه به دو معیار نوع سنگ تولیدی (شامل مرمریت، گرانیت، تراورتن و مرمریت - تراورتن) و نوع سیستم تصفیه (شامل حوضچه سنتی، حوضچه سنتی همراه با افزودن پلی‌اکریل‌آمید و سیستم نوین فیلترپرس با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید) نمونه‌برداری از ۲۹ کارخانه سنگبری در شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان انجام شد.</p> <p><b>مواد و روش‌ها:</b> متغیرهایی مانند کل ذرات جامد معلق (TSS)، کل ذرات جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، pH و کدورت در نمونه‌های آب خام، پساب خام و پساب تصفیه شده اندازه‌گیری شد.</p> <p><b>نتایج:</b> نتایج نشان داد سیستم تصفیه به روش ته نشینی در این صنایع قادر به حذف ذرات جامد محلول و کاهش هدایت الکتریکی پساب نیست. ولی سیستم‌های فیلتر پرس با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید راندمان تصفیه ۷۸٪ تا ۹۸٪ در حذف کدورت دارد. مقایسه آماری اثر نوع سنگ، اثر نوع تصفیه و اثر همزمان نوع سنگ و نوع تصفیه بر متغیرهای کدورت و ذرات معلق جامد پساب تصفیه شده کارخانه‌های سنگبری تنها اختلاف معنی‌داری بین میانگین ذرات جامد معلق پساب تصفیه شده کارخانه‌های سنگبری دارای سیستم‌های فیلتر پرس با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید (<math>۸۵/۷ \pm ۵۲/۵</math> میلی‌گرم بر لیتر) با دو گروه دیگر نشان داد. ولی از نظر درصد راندمان حذف کدورت و ذرات جامد معلق پساب تصفیه شده، اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد.</p> <p><b>نتیجه‌گیری:</b> نتایج حاصل بطور کلی برتری سیستم نوین فیلترپرس با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در افزایش راندمان تصفیه پساب سنگبری را نشان داد. ولی به نظر می‌رسد کنترل و نگهداری پیوسته و صحیح سیستم تصفیه در کارخانه‌های سنگبری عامل مهمتری در تامین حداکثر راندمان حذف کدورت و ذرات معلق جامد پساب صرف نظر از نوع سنگ تولیدی یا سیستم تصفیه پساب باشد</p>
<p><b>کلیدواژه‌ها:</b> صنعت سنگبری، شهرک صنعتی محمودآباد، تصفیه پساب، پلی‌اکریل‌آمید</p>	

\* نویسنده مسئول، Email: [nemati@iut.ac.ir](mailto:nemati@iut.ac.ir)

استناد: نوری، مأنده؛ نعمتی ورنوسفادرائی، محمد؛ میرغفاری، نوراله؛ و علافچیان، علیرضا. (۱۴۰۴). پایش راندمان تصفیه پساب در صنعت سنگبری (مطالعه موردی: شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان). *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست*.

<http://doi.org/10.22034/nawee.2025.494536.1123>

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.



## مقدمه

در فرآیند فراوری سنگ‌های ساختمانی و تزئینی در کارخانه‌های سنگبری، تصفیه و بازچرخانی آب مصرفی یکی از مهمترین بخش‌های کارخانه است که موجب صرفه‌جویی مصرف آب و در نتیجه صرفه‌جویی در هزینه‌ها و حفظ محیط‌زیست می‌شود. صنعت سنگبری یکی از صنایع تولیدی مهم در ایران است. فعالیت اصلی آن برش، سایش و پرداخت سنگ تولیدی است، که طی مراحل پرداخت و برش سنگ، مقدار زیادی آب استفاده می‌شود (Fahiminia et al., 2013). کشور ما ایران با تولید سالانه حدود ۱۰ میلیون تن سنگ ساختمانی، چهارمین تولیدکننده عمده سنگ‌های ساختمانی و تزئینی در جهان محسوب می‌شود. میزان تولید معادن سنگ‌های ساختمانی ایران در طول چند سال گذشته بین ۱۰ تا ۱۳ میلیون تن در سال، برآورده شده‌است که این میان حدود ۸/۰٪ تولید جهانی است. همچنین در کشور ایران از هر تن سنگ خام، تقریباً حدود ۱۲ مترمربع سنگ ساختمانی تولید می‌شود؛ درحالی‌که این آمار در کشورهای اروپایی حدود ۱۵ مترمربع است (Ahmadi and Maleki, 2011). تعداد ۷۷۸ واحد سنگبری فعال در استان اصفهان است که فعالیت آن‌ها شامل برش سنگ توام با موزاییک‌سازی، سنگ کوبی، صنایع دستی از سنگ و غیره است که مصرف آب صنعتی و غیر صنعتی آنها روزانه ۳۴۵۲۴۰۱ لیتر برآورد شده است (Salehi et al., 2023). کارخانه‌های فراوری سنگ به عنوان مثال سنگ مرمر، تراورتن، سنگ مرمریت و گرانیت در بسیاری از کشورهای جهان وجود دارد. پساب آن‌ها معمولاً شامل تقریباً ۲ تا ۱۰ درصد وزنی پودر سنگ است.

از جمله مضرات پساب سنگبری می‌توان به مواردی مثل آلودگی محیطی حاصل از تخلیه پساب به محیط‌زیست، اضافه شدن پودرهای سنگ در حجم زیاد آب باران و نشست آن در اراضی پایین‌دست و کاهش کیفیت خاک‌های اراضی پایین‌دست اشاره کرد. تخلیه فاضلاب ناشی از صنایع سنگبری در مناطقی که منابع آب آشامیدنی وجود دارد می‌تواند مشکلات سلامتی را ایجاد کند. در کارخانه‌های سنگبری در حین برش و پرداخت سنگ مقدار زیادی پساب تولید می‌شود. این پساب یک سو سپانسیون پایدار با ذرات بسیار ریز است. برای مثال از یک بلوک ۱۰ تا ۲۰ تنی مرمریت تقریباً ۳۰-۴۰٪ پودر سنگ تولید می‌شود. ذرات بزرگتر پساب تو سط نیروی گرانش ته‌نشین می‌شود؛ درحالی‌که ذرات کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر با آب حرکت می‌کند. همچنین وجود ذرات معلق به‌ویژه ذرات بزرگتر از ۵۰ میکرومتر ممکن است باعث مشکلات پرداخت سنگ و گرفتگی لوله‌های دستگاه در حین پردازش شود (Nourouzi et al., 2010). یکی از فعالیت‌های هزینه‌بر واحدهای سنگبری، جداسازی و تصفیه فاضلاب و خشک کردن لجن است. امروزه تولید روزافزون سنگ در صنعت سنگبری باعث افزایش تولید ضایعات به مقدار تقریباً ۲۵-۴۰٪ شده‌است و در نتیجه مشکل بار آلودگی زیاد پساب این صنایع، نحوه تصفیه آن را با مشکلات زیاد روبه‌رو می‌کند. امروزه پس از تصفیه و شفاف‌سازی در واحد تصفیه پساب کارخانه که به‌طور کلی از طریق روش لخته‌سازی در مخازن ته‌نشینی و سپس گرفتن آب اضافی لجن با دستگاه فیلترپرس تشکیل می‌شود، پساب با کدورت کم مجدد استفاده می‌شود که این کار باعث ایجاد مشکلاتی در صیقل کاری در حین فرایند پردازش سنگ شده، حتی منجر به افزایش گرفتگی لوله‌های جریان آب می‌شود (Zarei Mahmudabadi et al., 2018). برای تصفیه چنین پسابی در گذشته از منعقدکننده‌هایی مانند کلرید آلومینیوم<sup>۱</sup> و کلرید آهن<sup>۲</sup> که به‌طور سنتی رایج‌ترین منعقدکننده‌های مورد استفاده هستند، استفاده می‌شد. ولی امروزه بیشتر از عوامل لخته‌سازمانند پلیمر اکریل‌امید<sup>۳</sup> از نوع کاتیونی، آنیونی و خنثی استفاده می‌شود. فرایند انعقاد با افزودن الکترولیت‌های معدنی چند ظرفیتی و فرایند لخته‌سازی با افزودن الکترولیت‌های آلی مانند پلیمرها عمدتاً انجام می‌شود. دو هدف اصلی این دو فرایند، ته‌نشین کردن ذرات معلق و حذف کدورت از آب و پساب است. فرایند انعقادسازی گسترده‌ترین، متداول‌ترین و نیز روشی ساده در تصفیه آب و فاضلاب است که می‌توان از آن برای جداسازی ذرات جامد استفاده کرد تا پساب با ذرات کمتر به سیستم بازگردانده شود (Zarei Mahmudabadi et al., 2018).

<sup>1</sup> Suspension

<sup>2</sup> Aluminum chloride

<sup>3</sup> Iron Chloride

<sup>4</sup> Acrylamide

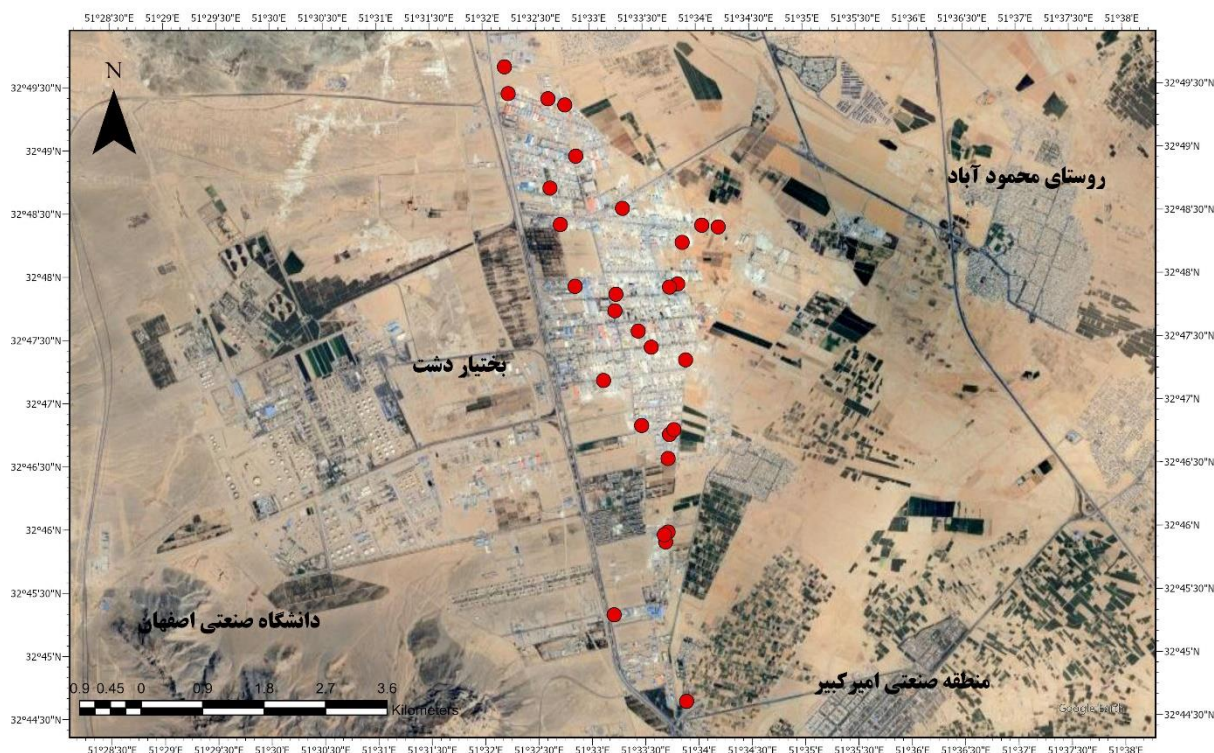
با توجه به کدورت باقی مانده پساب خروجی می توان نتیجه گرفت این سیستم کارایی لازم برای حذف کامل کدورت را ندارد و فرایند انعقاد و لخته سازی فاقد درصد حذف مطلوب کدورت است (Ersoy, 2009). روش سنتی رایج در کارخانه های سنگبری استفاده از حوضچه های بتنی برای افزایش ته نشینی است. این حوضچه ها علاوه بر اینکه فضای زیادی را به خود اختصاص می دهند، باعث هدررفت و تبخیر زیاد آب می شود. ضمن آنکه ممکن است بخشی از آلاینده های موجود در لجن باقیمانده در زمان نگهداری در محیط باز برای خشک شدن به آب زیرزمینی نشست کند یا از طریق فرسایش بادی به صورت گردوغبار وارد هوای محیط شود. در تصفیه به روش مدرن از بخش های بازچرخانی و تصفیه آب به همراه دستگاه فیلترپرس استفاده می شود که اصطلاحاً به سیستم فیلترپرس معروف است. روش مدرن علاوه بر اینکه به حوضچه های زیاد برای تصفیه نیاز ندارد، باعث کاهش اتلاف آب و کاهش احتمال انتشار آلودگی ها و آسیب های محیط زیستی به منابع آب و خاک می شود؛ چراکه پسماند رطوبت گیری شده توسط دستگاه فیلتر پرس به صورت روزانه به محل های نگهداری پسماند خارج از شهرک صنعتی حمل می شود.

تاکنون مطالعه ای در زمینه پایش میدانی وضعیت تصفیه پساب صنایع سنگبری کشور گزارش نشده و کمتر به مقایسه راندمان تصفیه پساب روش های مختلف تصفیه پساب در این صنعت پرداخته شده است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف پایش وضعیت موجود تصفیه پساب صنعت سنگبری در تعدادی از کارخانجات موجود در شهرک صنعتی محمودآباد به اجرا درآمد. پژوهش حاضر اولین مطالعه در زمینه پایش میدانی وضعیت موجود تصفیه پساب در شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان است که با هدف مقایسه راندمان تصفیه پساب با توجه به نوع سنگ تولیدی و سیستم تصفیه پساب صورت می گیرد.

## مواد و روش ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان یکی از قطب های بزرگ صنعتی کشور شناخته می شود. این استان دارای برترین و بیشترین معادن سنگ و کارخانه های سنگبری است. یکی از شهرک های معروف صنعتی استان، شهرک محمودآباد است که موقعیت جغرافیایی آن در شمال شهر اصفهان و در ۵ کیلومتر بزرگراه اصفهان-تهران واقع شده است (شکل ۱). محمودآباد به دلیل وجود کارخانه های سنگبری و صنایع مربوط به صنعت سنگ به قطب سنگ کشور تبدیل شده است که کارگاه های کوچک و بزرگ مرتبط با این صنعت در آن مشغول به فعالیت هستند. در سال های اخیر بیشترین نوع سنگ تولیدی در محمودآباد به ترتیب از انواع مرمریت و تراورتن است؛ در حالی که در یکی دو دهه قبل سنگ تراورتن و گرانیب بیشترین تولید را داشته اند (Isfahan province stone quarrying industry guild, 2021).



شکل ۱ - محدوده مورد مطالعه (موقعیت ۲۹ کارخانه سنگبری نمونه برداری شده با دایر قرمز مشخص شده است)

### نمونه برداری

بررسی های اولیه نشان داد بیشترین میزان سنگ تولیدی در کاخانه های سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان در سال های اخیر به ترتیب از نوع مرمریت، تراورتن و گرانیت است و هر کارخانه بیشتر به تولید و فرآوری یک نوع سنگ ساختمانی می پردازد. البته برخی کارخانه های بزرگ تولید همزمان دو نوع مرمریت و تراورتن را داشتند. از هر چهار گروه کارخانه از نظر نوع سنگ تولیدی نمونه برداری برای مقایسه انجام شد.

از نظر نوع نوع سیستم تصفیه سه روش شامل حوضچه سنتی، حوضچه سنتی همراه با افزودن پلی اکریل آمید و سیستم نوین فیلترپرس با کاربرد پلی اکریل آمید در شهرک صنعتی محمودآباد وجود داشت که معیار انتخاب واحدهای نمونه برداری قرار گرفت. روش حوضه سنتی از ۵۰ سال گذشته تا کنون در کارخانه های سنگبری کشور وجود دارد که در آن از حوضچه های بتنی برای افزایش زمان ماند پساب و در نتیجه ته نشینی ذرات معلق استفاده می شود. در تقریباً ۱۰ سال اخیر اکثر کارخانه های سنگبری روی آورده اند به استفاده از اکریل آمید آنیونی به عنوان لخته ساز برای کاهش زمان ماند پساب و افزایش کارایی استخرهای سنتی، که به عنوان یک روش تصفیه در مطالعه حاضر برای نمونه برداری انتخاب شد. در روش سوم که سیستم فیلتر پرس نامیده می شود به منظور تصفیه و باز چرخانی، پساب خام وارد مخزن بتنی می شود و سپس توسط پمپ های مخصوص وارد مخزن ته نشین کننده دوکی شکل می شود. در طی این مسیر پلی اکریل آمید محلول در آب به صورت منظم و خودکار به پساب خام اضافه می گردد که موجب تسریع در ته نشین کردن لجن سنگ می شود. در مخزن دوکی شکل ته نشین کننده آب تمیز از بالا خارج می شود و به مخزنی جدا منتقل می شود تا دوباره به خط تولید پمپاژ شود و از پایین مخزن لجن ته نشین شده از طریق اتصالاتی به منبع جمع آوری لجن منتقل می شود. در این منبع بعد از همگن کردن لجن، توسط پمپ مخصوص به دستگاه فیلترپرس خودکار مجهز به صفحات باز شو و لرزاننده پمپاژ می شود و در آنجا آب موجود در لجن تحت فشار گرفته می شود و لجن خشک شده از بین

صفحات فیلترپرس جدا شده و به محل بارگیری پسماند تخلیه می‌گردد تا توسط ماشین حمل به صورت روزانه به محل انباشت پسماند سنگ منتقل گردد. آب گرفته شده در این بخش نیز دوباره به مخزن اولیه برای پمپاژ به چرخه مصرف هدایت می‌شود. پس از انتخاب واحدهای سنگبری مورد نظر از نظر نوع سنگ و نوع سیستم تصفیه، هماهنگی با مدیریت هر کارخانه انجام شد و در نهایت نمونه برداری از ۲۹ واحد سنگبری انجام شد. از هر واحد سنگبری ۳ نمونه شامل آب خام مصرفی (آب چاه یا آب خریداری شده به صورت تانکر)، پساب خام و پساب تصفیه شده در بطری‌های پلاستیکی در فاصله زمانی ۱۴۰۱/۸/۳۰ تا ۱۴۰۱/۹/۱ به مدت زمان دو روز کاری جمع‌آوری گردید.

#### اندازه‌گیری متغیرهای کیفیت آب خام، پساب خام و پساب تصفیه شده:

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، pH و کدورت نمونه‌های آب خام، پساب خام و پساب تصفیه شده در زمان نمونه برداری در هر کارخانه به ترتیب با دستگاه EC سنچ مدل Jenway ۴۳۱۰، دستگاه pH سنچ مدل Jenway ۳۳۳۰ و دستگاه کدورت سنچ مدل DRT-15CE Lovibond انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری مواد جامد معلق (TSS) هر نمونه ابتدا کاغذ صافی با آب مقطر شست و شو داده شد و در آن در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت قرار داده شد و پس از آن به منظور رفع اثر رطوبت محیط به مدت ۲۰ دقیقه در دسیکاتور قرار داده شد. با ترازوی دیجیتال مقدار وزن اولیه کاغذ صافی اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری ذرات جامد معلق در نمونه‌های مختلف آب خام، پساب خام و پساب تصفیه شده، ۵۰ میلی لیتر نمونه از کاغذهای صافی واتمن ۴۲ میکرون عبور داده شد و مجدد کاغذ صافی در آن با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت قرار گرفت و سپس با ترازو جرم آن اندازه‌گیری شد و سپس از اختلاف جرم نهایی و اولیه، جرم ذرات معلق هر نمونه به دست آمد و به واحد میلی گرم بر لیتر تبدیل گردید.

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TD<sub>5</sub>) هر نمونه نیز مایع عبور کرده از کاغذ صافی ۴۲ میکرون در ظروف فلزی توزین شده جمع‌آوری شد و در آن با دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶ ساعت قرار داده شد و مجدد با ترازوی دیجیتال توزین شد. سپس با اختلاف جرم نهایی و اولیه، جرم ذرات محلول هر نمونه به دست آمد و به واحد میلی گرم بر لیتر تبدیل گردید.

#### آزمون‌های آماری

به منظور مقایسه اثر نوع سنگ، اثر نوع تصفیه و اثر همزمان نوع سنگ و نوع تصفیه بر متغیرهای کیفیت پساب تصفیه شده کارخانه‌های سنگبری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف بررسی شد. به دلیل نرمال نبودن برخی داده‌ها و عدم یکنواختی توزیع واریانس داده‌های داخل گروه‌ها (نوع سنگ، نوع تصفیه و اثر همزمان نوع سنگ و نوع تصفیه)، از آزمون آماری ناپارامتریک کروسکال-والیس<sup>۴</sup> استفاده شد و در ادامه مقایسه گروه‌ها به روش Dunn-Bonferroni در نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین از رگرسیون خطی برای نشان دادن رابطه احتمالی بین میزان کدورت و مواد جامد معلق پساب خام و راندمان حذف این دو متغیر در نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

#### نتایج و بحث

در پایش انجام گرفته از ۲۹ کارخانه سنگبری، بیشترین نوع سنگ تولیدی به ترتیب مربوط به مرمریت با ۱۳ کارخانه، تراورتن با ۹ کارخانه، گرانیت با ۵ کارخانه، ۱ کارخانه مربوط به برش مخلوط تراورتن-مرمریت و ۱ کارخانه مربوط به برش سنگ

<sup>۱</sup>Total suspended solids

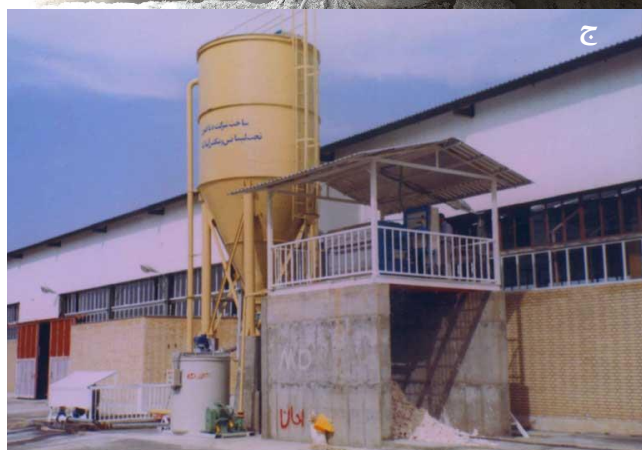
<sup>۲</sup>Total Dissolved Solid

<sup>۳</sup>Kolmogorov-Smirnov

<sup>۴</sup>Kruskal-Wallis

کریستال بود. منبع آب خام هر کارخانه متفاوت بود و بسته به دارابودن چاه آب و آبدهی مناسب از طریق چاه و یا خرید تانکر آب تامین می شد. از نظر نوع سیستم تصفیه (شکل ۲)، در ۴ کارخانه به صورت کاملا سنتی از حوضچه‌های ترسیب استفاده می شد و در ۱۸ کارخانه قبل از ورود پساب به حوضچه‌های ترسیب، پلی‌اکریل‌امید حل شده در آب از طریق یک بشکه دارای همزن برقی به کانال پساب وارد می شد تا با فرآیند لخته سازی مدت زمان ترسیب مواد معلق پساب در حوضچه‌های بتنی کاهش یابد. از ۲۹ کارخانه مورد مطالعه تنها در ۷ کارخانه از سیستم‌های نوین‌تری که اصطلاحاً به آن سیستم تصفیه فیلترپرس گفته می‌شود، استفاده می‌شد.

هدایت الکتریکی آب خام در ۲۹ کارخانه مورد مطالعه در محدوده ۰/۴-۷/۱۶ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر متغیر بود که با توجه به دسته‌بندی آب‌ها از نظر شوری در دسته غیرشور تا نسبتاً شور قرار می‌گیرد. هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده پساب خام و پساب تصفیه‌شده در دامنه ۱۳/۳-۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر و در دسته کم‌شور تا خیلی شور قرار دارند (Rhoades et al., 1992). کدورت پساب خروجی (یا پساب تصفیه شده) با توجه به اعداد میانگین جدول ۴-۱، عمدتاً در محدوده استاندارد (۵۰ NTU) نا ست. کل مواد جامد معلق در پساب خروجی طبق استاندارد محیط زیست ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر باید باشد که طبق اعداد میانگین جدول ۴-۲ در اکثر کارخانه‌ها بیشتر از محدوده استاندارد است. pH پساب تصفیه‌شده نیز طبق استاندارد خروجی پساب صنایع در محدوده ۸/۵-۶ است و طبق اعداد میانگین pH پساب تصفیه شده در محدوده استاندارد قرار دارد (National standard of Iran, 1996).



شکل ۲- انواع سیستم تصفیه پساب در کارخانه‌های سنگبری (الف: حوضچه‌های ترسیب سنتی، ب: بشکه دارای همزن برای افزودن اکریلامید به کانال پساب ورودی به حوضچه ترسیب سنتی، ج: مخزن دوکی شکل در کنار محل بارگیری پسماند آبیگری شده فیلتر پرس، د: دستگاه فیلتر پرس خودکار)

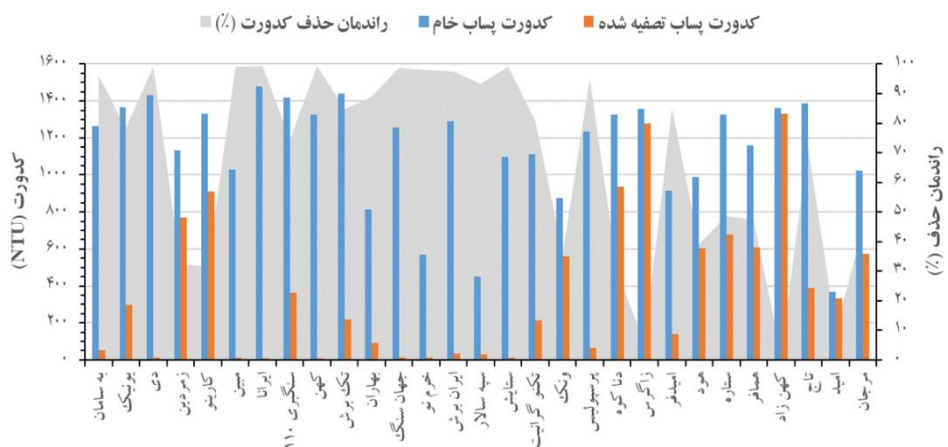
جدول ۱: خلاصه آماری (انحراف معیار  $\pm$  میانگین) متغیرهای کیفیت پساب در ۲۹ کارخانه سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان

pH	TDS (mg/l)	TSS (mg/l)	کدورت (NTU)	EC (ms/cm)	نوع نمونه	تعداد بر اساس نوع سیستم تصفیه			نوع سنگ
						حوضچه سنتی	حوضچه سنتی + پلی اکریلامید	سیستم فیلتر پرس + پلی اکریلامید	
۷/۹۹ $\pm$ ۰/۱۴	۲۸۴۷ $\pm$ ۱۲۳۸/۱۰	۲۵/۶ $\pm$ ۲۰/۵۸	۸/۸۴ $\pm$ ۹/۸۴	۳/۵۵ $\pm$ ۱/۶۱	آب خام	۴	۹	۰	مرمیت
۸/۸۲ $\pm$ ۰/۶۸	۴۰۷۷/۶ $\pm$ ۱۹۷۸/۷۵	۲۷۹۰/۴ $\pm$ ۲۰۳۰/۲	۱۱۹۴/۳ $\pm$ ۳۱۲/۷۷	۶/۳۹ $\pm$ ۲/۹۵	پساب خام				
۸/۸۲ $\pm$ ۰/۶۵	$\pm$ ۲۶۴۰/۶۱	۳۷۰/۹۲ $\pm$ ۸۷۸/۳	۲۳۸/۸۴ $\pm$ ۲۶۹/۱۱	۶/۱۷ $\pm$ ۲/۹۴	پساب تصفیه شده				
۸/۱۲ $\pm$ ۰/۳۱	۴۲۱۵/۳۸	۲۰/۴۲ $\pm$ ۱۴/۴	۹/۸۶ $\pm$ ۵	۳/۲۵ $\pm$ ۱/۵۶	آب خام	۱	۷	۱	تراورتن
	$\pm$ ۱۳۷۲/۶۷								
	۲۴۷۲/۱۲								
۸/۷۹ $\pm$ ۰/۵۶	۳۸۷۵/۷۵ $\pm$ ۹۶۴/۶۹	۳۰۴۲/۴ $\pm$ ۱۹۰۲/۱	۱۱۷۹/۷ $\pm$ ۲۹۹/۵	۵/۴۵ $\pm$ ۱/۸۶	پساب خام				
۸/۶۹ $\pm$ ۰/۶۵	$\pm$ ۲۲۲۷/۷۰	۴۸۶/۴۴ $\pm$ ۵۸۰/۳۸	۵۰۷/۲۶ $\pm$ ۴۳۹/۴۲	۵/۷۴ $\pm$ ۲/۱۹	پساب تصفیه شده				
	۳۸۲۷/۳۳								
۷/۸۶	۱۹۲۹	۲۳	۲/۳۵	۲/۷۶	آب خام	۱	۰	۰	تراورتن-
۸/۷۳	۲۹۰۸	۳۳۸۰	۱۱۱۱	۳/۳	پساب خام				مرمیت
۸/۷۲	۳۳۴۵	۱۶۷	۲۱۵	۳/۳۵	پساب تصفیه شده				
۷/۹۳ $\pm$ ۰/۰۴۶	۳۳۷۱ $\pm$ ۲۰۱۷/۲۶	۳۷ $\pm$ ۳۳/۵	۸/۰۷ $\pm$ ۲/۱۰	۴/۴۷ $\pm$ ۲/۸۶	آب خام	۱	۲	۲	گرانیت
۹/۳۷ $\pm$ ۰/۶۱	۷۰۷۸/۴ $\pm$ ۳۲۱۲/۲۱	۲۴۹۶/۱ $\pm$ ۱۷۷۶/۱	۹۰۵/۴ $\pm$ ۲۱۳/۰۹	۸/۲۹ $\pm$ ۱/۴۹	پساب خام				
۹/۲۶ $\pm$ ۰/۷۰	۶۷۵۹/۴ $\pm$ ۳۳۸۷/۷۷	۳۴۵ $\pm$ ۲۳۴/۹۷	۲۹۸/۳۹ $\pm$ ۳۴۶/۲۷	۸/۰۴ $\pm$ ۴/۰۱	پساب تصفیه شده				
۸/۲۱	۲۴۲۲	۷۵	۱۶/۴	۱/۸۳	آب خام	۰	۰	۱	کریستال
۸/۶۹	۱۲۱۰	۲۹۱۵	۱۳۶۱	۲	پساب خام				
۸/۶۷	۱۱۳۹	۲۲۴۵	۱۳۳۱	۱/۹۸	پساب تصفیه شده				

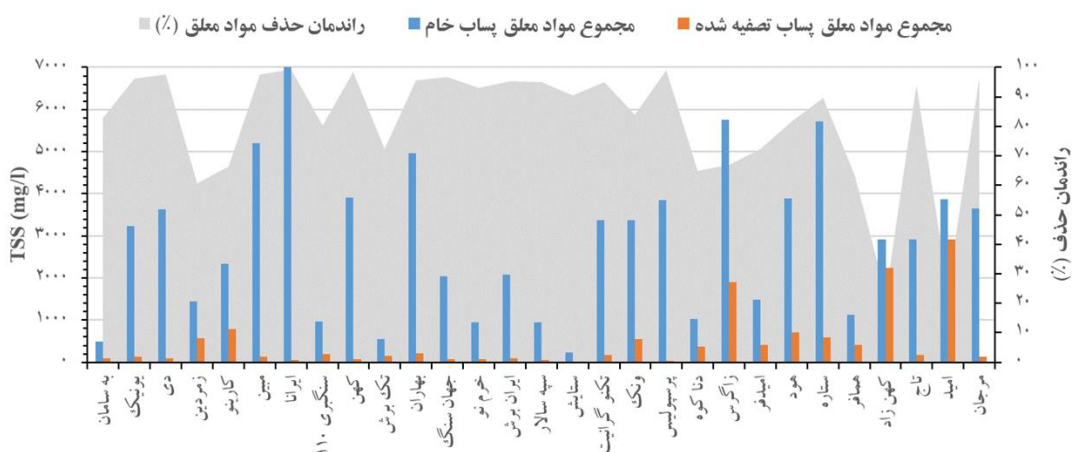
## راندمان تصفیه پساب

در اشکال ۳ تا ۷ مقادیر کدورت، مواد جامد معلق، مواد جامد محلول، هدایت الکتریکی و pH پساب خام و پساب تصفیه شده ۲۹ کارخانه سنگبری به همراه راندمان حذف متغیرهای فوق برای مقایسه ترسیم شده است. با توجه به شکل ۳ دامنه تغییرات کدورت پساب خام ۱۴۸۰-۳۶۸ NTU و دامنه تغییرات کدورت پساب تصفیه شده ۱۳۳۱-۸/۹ NTU بود. به طور کلی ۶۲ درصد کارخانه‌ها راندمان حذف کدورت بیشتر از ۹۰ درصد دارند. با توجه به شکل ۴ دامنه تغییرات مواد معلق پساب خام ۷۰۴۰-۲۳۰ میلی گرم بر لیتر و دامنه تغییرات مواد معلق پساب تصفیه شده ۲۹۱۰-۲۲ میلی گرم بر لیتر بود. طبق محاسبات ۴۸ درصد کارخانه‌ها راندمان حذف مواد معلق بیشتر از ۹۰ درصد دارند. دامنه تغییرات مواد جامد محلول پساب خام ۱۲۴۲۴-۱۱۰ میلی گرم بر لیتر و دامنه تغییرات مواد جامد محلول پساب تصفیه شده ۱۲۰۴۴-۸۸۴ میلی گرم بر لیتر بود. دامنه تغییرات هدایت الکتریکی پساب خام از ۱۳/۳-۲ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر و دامنه تغییرات هدایت الکتریکی پساب تصفیه شده ۱۳/۳-۱/۹ میلی‌زیمنس بر سانتیمتر بود که نشان می‌دهد همه روش‌های ته نشینی استفاده شده در ۲۹ کارخانه مورد بررسی، حتی با استفاده از پلی‌اکریل‌آمید به‌عنوان لخته‌ساز قادر به حذف مواد محلول و کاهش هدایت الکتریکی نیستند. دامنه تغییرات pH پساب خام ۱۰/۵-۸/۲۸ و دامنه تغییرات pH پساب تصفیه شده ۱۰/۵۸-۸/۵ به دست آمد که نشان می‌دهد سیستم تصفیه پساب هیچ‌یک از کارخانه‌های مورد بررسی باعث تغییرات زیاد در میزان این متغیر نشده است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت در کارخانه‌های سنگبری سیستم تصفیه پساب راندمان حذف مناسبی در متغیری مانند مواد جامد محلول ندارد و همچنین این نوع سیستم‌ها اثر یکنواخت بر کاهش یا افزایش متغیرهایی مانند هدایت الکتریکی و pH ندارد ولی باعث حذف مواد معلق و کاهش کدورت پساب می‌شود. در صورتی که در مطالعه آزمایشگاهی صورت گرفته در رابطه با تصفیه پساب کارخانه‌های سنگبری با استفاده از منعقدکننده‌ها نتایج نشان داده است که اگر منعقدکننده‌هایی مانند پلی‌اکریل‌آمید در مقدار بهینه (۰/۵ میلی گرم در لیتر) استفاده شود، کاهش موثری در هدایت الکتریکی و pH نیز حاصل می‌شود؛ چنانکه در مطالعه ایشان راندمان بیش از ۹۰ درصد حذف کدورت در هر سه نوع پساب سنگ گرانیات، مرمریت و تراورتن، راندمان ۹۸/۶ درصد حذف ذرات جامد محلول از پساب سنگ تراورتن و راندمان ۹۸/۵ درصد حذف ذرات جامد معلق از پساب سنگ گرانیات گزارش شده است (Sadeghi Rad, 2021). احتمالاً مقادیر زیاد درصد راندمان حذف متغیرهای ذرات جامد معلق، کدورت، ذرات جامد محلول، هدایت الکتریکی و pH در مطالعه وی که با روش آزمون ظرف در آزمایشگاه صورت گرفته است، می‌تواند نشان‌دهنده اثر مدیریت صحیح در شرایط کاملاً کنترل شده و استفاده از دز مناسب مواد منعقدکننده در افزایش راندمان حذف مواد معلق و محلول از این نوع سیستم‌ها باشد. در مطالعه Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز نتایج تصفیه پساب صنایع کاشی و سرامیک با استفاده از دز بهینه انواع پلی‌اکریل‌آمید در صدهای حذف بیش از ۹۹٪ کدورت و ذرات جامد معلق گزارش شده که ناشی از مدیریت و کنترل صحیح سیستم تصفیه بویژه نوع و مقدار منعقدکننده است. به طور کلی می‌توان گفت احتمالاً مدیریت صحیح سیستم تصفیه و استفاده از دز مناسب مواد منعقد در برخی کارخانه‌های سنگبری انجام نگرفته است.

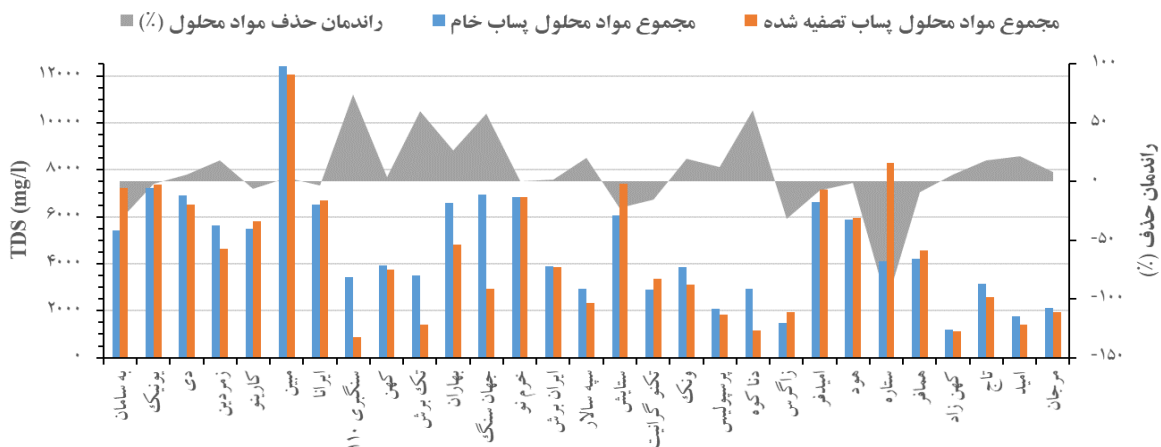
در ادامه مقایسه آماری به منظور مقایسه اثر عوامل احتمالی (شامل نوع سنگ، نوع تصفیه و اثر همزمان نوع سنگ و نوع تصفیه) بر دو متغیر مواد جامد معلق و میزان کدورت پساب تصفیه شده و راندمان حذف آنها در کارخانه‌های سنگبری انجام گرفت (جدول ۲). شایان ذکر است با توجه به نبود تکرار در مورد برخی گروه‌ها (جدول ۱) از نظر نوع سنگ تولیدی (شامل کریستال و تولید همزمان مرمریت و تراورتن) یا اثر همزمان نوع سنگ و نوع تصفیه (تنها یک کارخانه تولید کننده گرانیات در محمودآباد دارای سیستم نوین فیلتر پرس بود) داده‌های حاصل از پایش ۳ کارخانه برای مقایسه آماری در این مرحله کنار گذاشته شد.



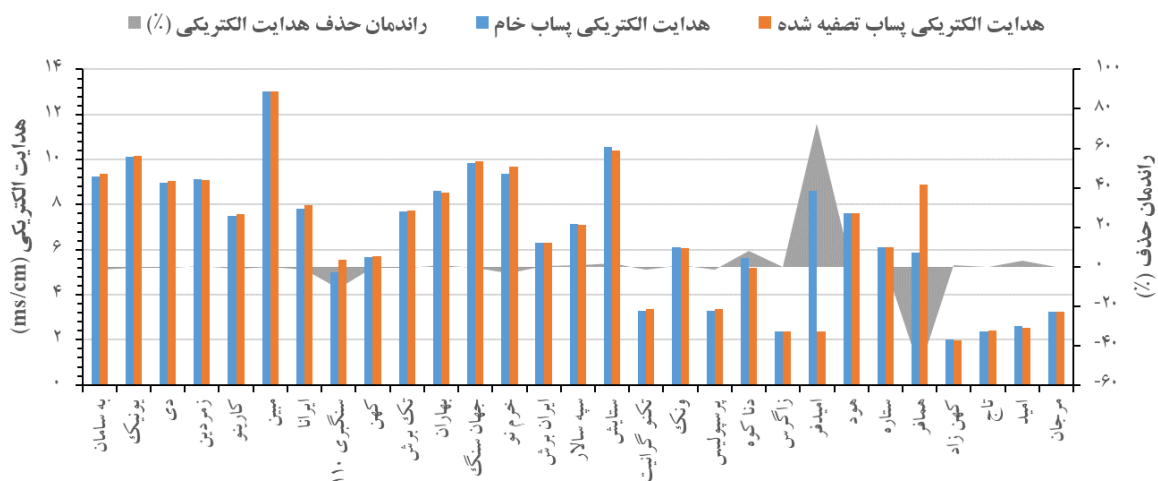
شکل ۳ - مقایسه کدورت پساب خام و پساب تصفیه شده و راندمان کاهش کدورت در ۲۹ کارخانه سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان



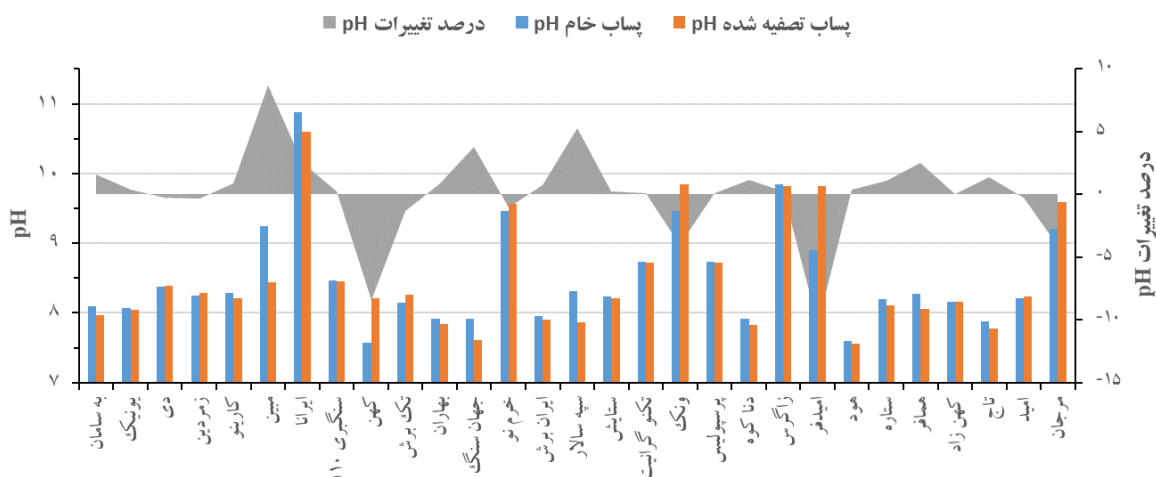
شکل ۴ - مقایسه مواد جامد معلق پساب خام و پساب تصفیه شده و راندمان کاهش مواد معلق در ۲۹ کارخانه سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان



شکل ۵- مقایسه مواد جامد محلول پساب خام و پساب تصفیه شده و راندمان تغییر مواد جامد محلول در ۲۹ کارخانه سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان



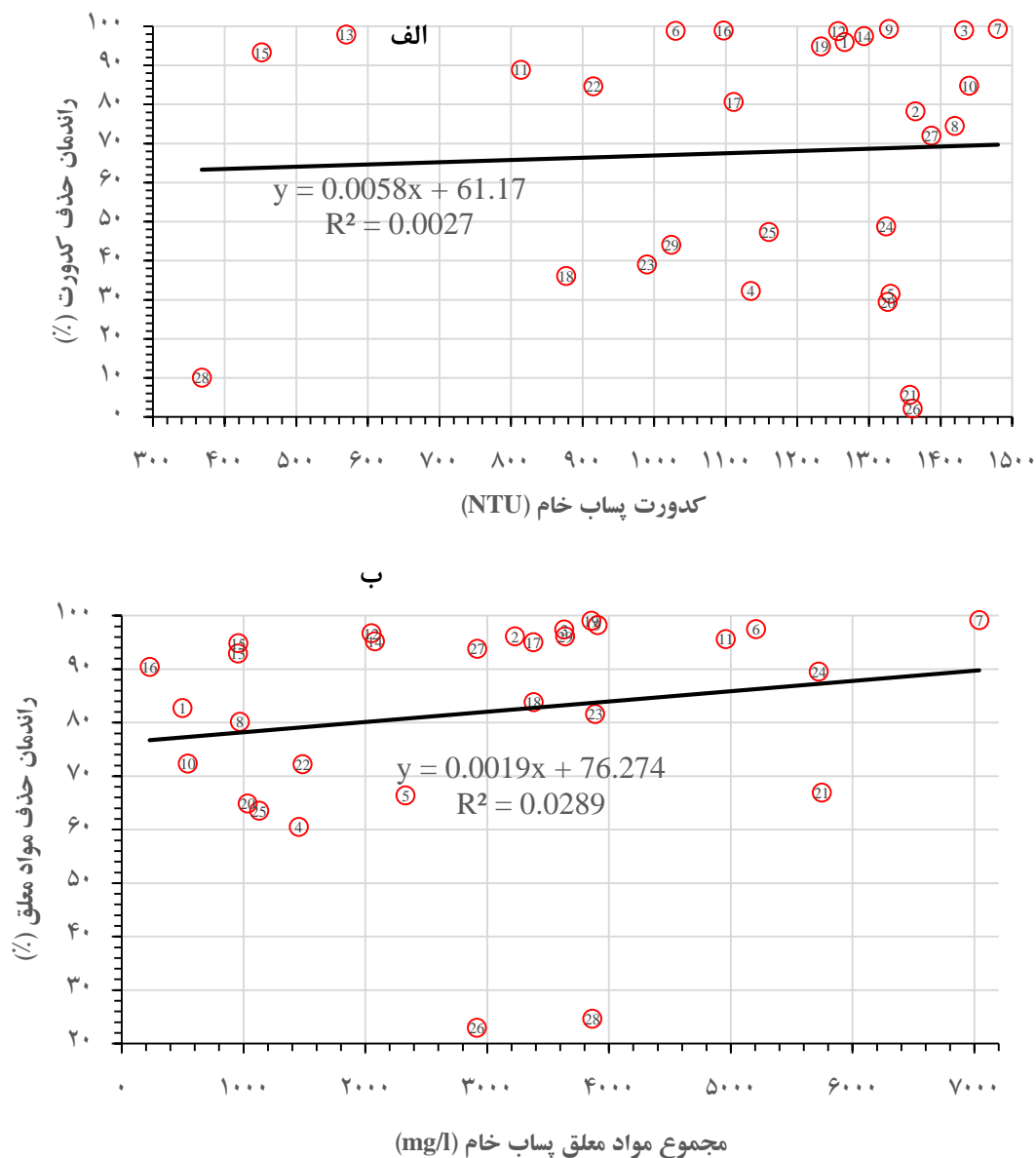
شکل ۶- مقایسه هدایت الکتریکی پساب خام و پساب تصفیه شده و راندمان تغییر هدایت الکتریکی در ۲۹ کارخانه سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان



شکل ۷- مقایسه pH پساب خام و پساب تصفیه شده و راندمان تغییر pH در ۲۹ کارخانه سنگبری شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان

یکی از عواملی که می‌تواند در راندمان تصفیه پساب تاثیر بگذارد، مقادیر ابتدایی متغیرهایی مانند مواد جامد معلق و یا کدورت در پساب خام است؛ چراکه ممکن است یک سیستم تصفیه پساب بتواند راندمان تصفیه بسیار عالی برای مقادیر به نسبت کم متغیرهای فوق در پساب خام حاصل کند، ولی برای مقادیر زیاد آنها یا سخگو نیا شد. به عبارت دیگر با آلودگی ورودی به سیستم تصفیه پساب ممکن است راندمان تصفیه پساب را تحت تاثیر قرار دهد. بدین منظور از رگرسیون خطی بین داده‌های مواد جامد معلق و کدورت پساب خام و راندمان حذف آنها در پساب تصفیه‌شده ۲۹ کارخانه مورد مطالعه استفاده گردید (شکل ۸). مقادیر بسیار کم ضریب همبستگی محاسبه‌شده ( $R^2$ ) برای هر دو معادله خط نشان می‌دهد، الزاما مقادیر زیاد یا کم کدورت و مواد جامد معلق پساب خام باعث افزایش یا کاهش راندمان حذف کدورت و ذرات معلق در سیستم تصفیه پساب نشده است.

شکل‌های ۹ تا ۱۱ نمودارهای مقایسه اثر نوع سنگ، اثر نوع سیستم تصفیه و اثر همزمان نوع سنگ و سیستم تصفیه کارخانه‌های سنگبری را بر دو متغیر کدورت و ذرات جامد معلق و راندمان حذف آنها نشان می‌دهد. گروه‌بندی بر اساس نوع سنگ تولیدی و نوع سیستم تصفیه باعث شده است که به ترتیب کارخانه‌های مختلف با نوع سیستم تصفیه و نوع سنگ تولیدی در یک گروه قرار بگیرند که البته باعث افزایش واریانس داخل گروه‌ها شد. میانگین غلظت مواد جامد معلق (۶/۱۶۰ ± ۷/۴۳۲ میلی گرم بر لیتر) و کدورت (۴/۱۲۶ ± ۸/۴۴۲ NTU) در پساب تصفیه‌شده کارخانه‌های تولیدکننده سنگ تراورتن بیش از کارخانه‌های تولیدکننده مرمیت (به ترتیب ۷/۲۳۶ ± ۹/۳۸۷ میلی گرم بر لیتر و ۷/۲۳۷ ± ۸۰/۷ NTU) و گرانیت (به ترتیب ۱/۱۰۵ ± ۳۴۵ میلی گرم بر لیتر و ۸/۱۵۴ ± ۴/۲۹۸ NTU) به دست آمد، ولی از نظر آماری اختلاف معنی داری بین آنها مشاهده نشد. از نظر درصد راندمان حذف نیز اختلاف معنی داری بین میانگین درصد راندمان حذف مواد جامد معلق و کدورت کارخانه‌های تولیدکننده سنگ تراورتن (به ترتیب ۴/۱ ± ۸۵/۴ درصد و ۵/۹ ± ۶۳/۸ درصد)، مرمیت (به ترتیب ۲/۶ ± ۸۳/۵ درصد و ۸/۸ ± ۷۵/۸ درصد) و گرانیت (به ترتیب ۸/۶ ± ۸۱/۵ درصد و ۹/۱۴ ± ۶۹/۹ درصد) مشاهده نشد (شکل ۹).



شکل ۸- نمودار ارتباط میزان کدورت پساب خام و راندمان حذف کدورت (الف) و میزان مواد جامد معلق پساب خام و راندمان حذف مواد جامد معلق (ب) (کد هر سنگبری از ۱ تا ۲۹ ارائه شده است)

میانگین غلظت مواد جامد معلق  $(۱۹/۱ \pm ۹۱/۷)$  میلی گرم بر لیتر) و کدورت  $(۴۳/۹ \pm ۸۹/۸)$  NTU در پساب تصفیه شده کارخانه‌های دارای سیستم نوین فیلتر پرس با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید بسیار کمتر از کارخانه‌های دارای حوضچه سنتی با افزودن پلی‌اکریل‌آمید (به ترتیب  $۱۷۶/۹ \pm ۴۹۶/۹$  میلی گرم بر لیتر و  $۹۱/۵ \pm ۴۰۰/۵$  NTU) و کارخانه‌های که فقط از حوضچه سنتی استفاده می‌کنند (به ترتیب  $۵۴/۸ \pm ۵۱۷/۷$  میلی گرم بر لیتر و  $۱۶۳/۳ \pm ۴۵۹/۳$  NTU) به دست آمد که تنها از نظر میانگین غلظت مواد جامد معلق اختلاف معنی‌دار آماری بین آنها مشاهده شد. ولی از نظر درصد راندمان

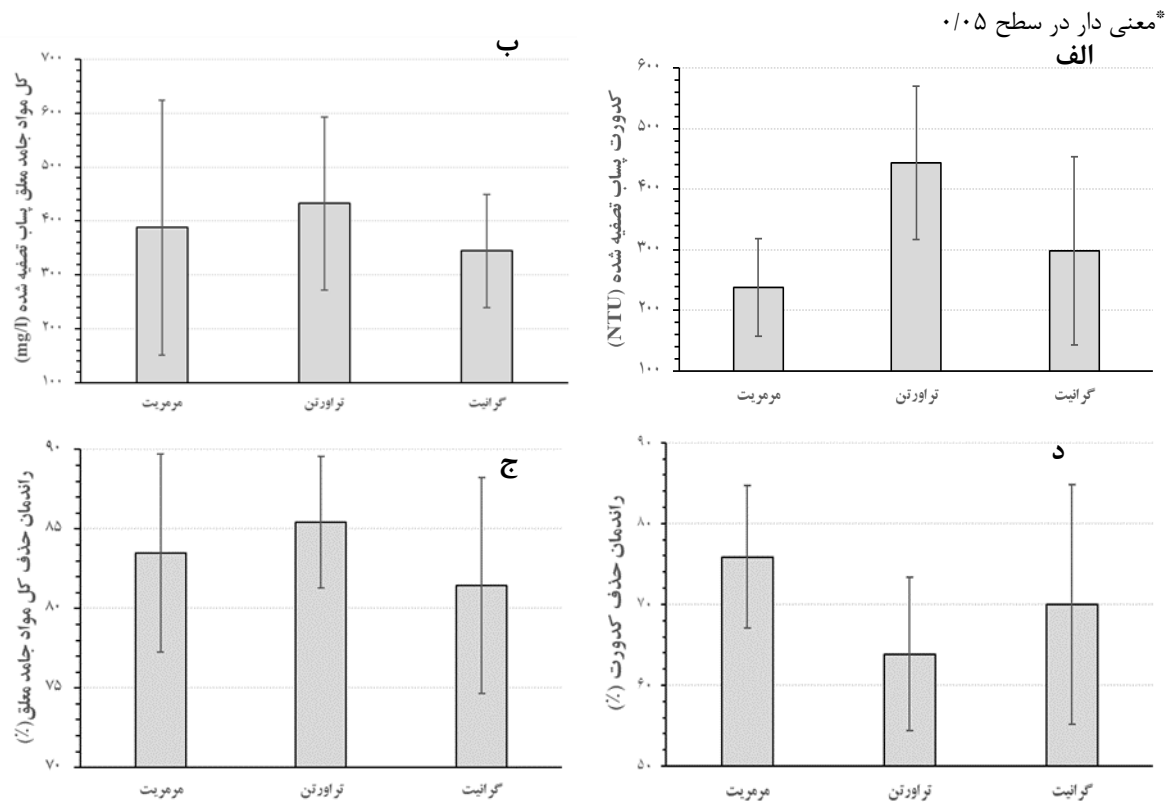
حذف اختلاف معنی‌داری بین میانگین در صد راندمان حذف مواد جامد معلق و کدورت در پساب تصفیه شده کارخانه‌های دارای سیستم نوین فیلتر پرس با کاربرد پلی‌اکریلامید (به ترتیب  $1/9 \pm 93/4$  درصد و  $3/4 \pm 92/1$  درصد)، کارخانه‌های دارای حوضچه سنتی با افزودن پلی‌اکریلامید (به ترتیب  $4/7 \pm 80/5$  درصد و  $7/9 \pm 63/8$  درصد) و کارخانه‌های که فقط از حوضچه سنتی استفاده می‌کنند (به ترتیب  $5/1 \pm 81/9$  درصد و  $14/5 \pm 56/5$  درصد) مشاهده نشد. عدم مشاهده اختلاف آماری معنی‌دار بین گروه‌های مختلف از نظر نوع سیستم تصفیه بیشتر به دلیل زیاد بودن واریانس داخل گروه‌ها است که باعث شده با وجود اختلاف  $1/5$  تا  $5$  برابری در میانگین راندمان حذف و میزان پارامترهای کیفیت پساب تصفیه شده سنگبری (شامل میانگین مواد جامد معلق و کدورت)، اختلاف آماری معنی‌دار (البته به جز در مورد غلظت مواد جامد معلق) بین گروه‌ها مشاهده نشود (شکل ۱۰).

مقایسه میانگین غلظت و راندمان حذف مواد جامد معلق و کدورت پساب تصفیه شده کارخانه‌های سنگبری بر اساس گروه‌بندی همزمان نوع سنگ و نوع سیستم تصفیه نشان داد کمترین غلظت و بیشترین راندمان حذف این دو متغیر کلیدی تصفیه پساب سنگبری در کارخانه‌های تولیدکننده مرمیت (به ترتیب  $21/1 \pm 74/5$  میلی‌گرم بر لیتر و  $68/2 \pm 93/2$  NTU با راندمان حذف  $3/3 \pm 91/5$  درصد و  $4/9 \pm 93/1$  درصد) و تراورتن (به ترتیب  $59/1 \pm 108$  میلی‌گرم بر لیتر و  $92/5 \pm 122/5$  NTU با راندمان حذف  $0/1 \pm 94/9$  درصد و  $6/3 \pm 87/1$  درصد) که از سیستم نوین تصفیه پساب فیلتر پرس با کاربرد پلی‌اکریلامید استفاده می‌کنند، وجود دارد. ولی باز هم اختلاف آماری معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد (شکل ۱۱).

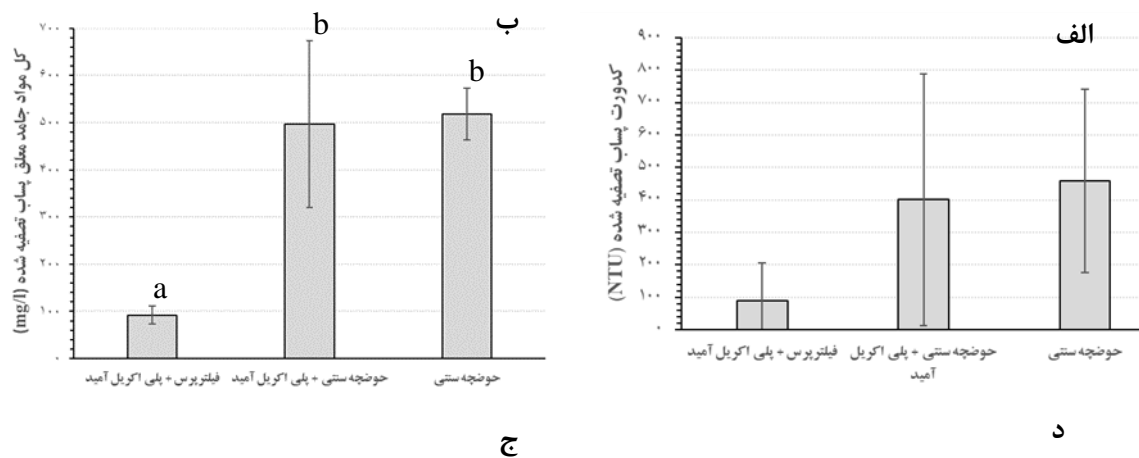
قبل از شروع این مطالعه انتظار می‌رفت که پارامترهای کیفیت پساب تصفیه‌شده کارخانه‌هایی که از سیستم تصفیه مدرن‌تر (شامل سیستم فیلترپرس با کاربرد پلی‌اکریلامید) استفاده می‌کنند، راندمان حذف کدورت و ذرات جامد معلق بیشتری داشته باشند و از نظر آماری بتوان اختلاف معنی‌داری بین آنها با دیگر کارخانه‌ها که از سیستم قدیمی‌تر (شامل حوضچه سنتی) استفاده می‌کنند، یافت. ولی زیاد بودن واریانس بین گروه‌ها باعث شد عمدتاً اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشود. احتمالاً عدم مدیریت صحیح سیستم تصفیه پساب در برخی کارخانه‌های سنگبری مورد مطالعه باعث شده اختلاف بین واریانس‌های داخل گروه‌ها زیاد باشد؛ ولی برتری سیستم تصفیه فیلترپرس با کاربرد پلی‌اکریلامید در مقایسه با سیستم سنتی از نظر راندمان حذف کدورت و ذرات جامد معلق مشهود است.

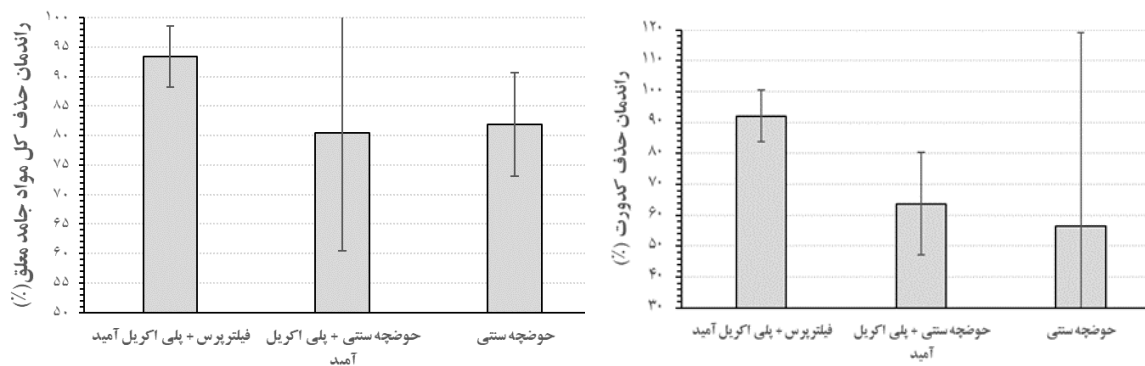
جدول ۲- نتایج حاصل از مقایسه آماری (در سطح  $0/05$ ) میزان و راندمان حذف کدورت و ذرات معلق در تصفیه پساب ۲۶ کارخانه

گروه	متغیر	درجه آزادی	P
اثر نوع سنگ	کدورت پساب تصفیه‌شده	۲	۰/۵۵۱
	راندمان حذف کدورت	۲	۰/۵۲۳
	ذرات معلق پساب تصفیه‌شده	۲	۰/۲۶۸
	راندمان حذف ذرات معلق	۲	۰/۳۲۵
	کدورت پساب تصفیه شده	۲	۰/۲۳۳
	راندمان حذف کدورت	۲	۰/۲۸۵
اثر همزمان نوع سنگ و سیستم تصفیه	ذرات معلق پساب تصفیه‌شده	۲	۰/۰۴۲*
	راندمان حذف ذرات معلق	۲	۰/۴۲۹
	کدورت پساب تصفیه‌شده	۵	۰/۵۹۸
	راندمان حذف کدورت	۵	۰/۶۷۱
	ذرات معلق پساب تصفیه‌شده	۵	۰/۲۰۳
	راندمان حذف ذرات معلق	۵	۰/۷۰۷

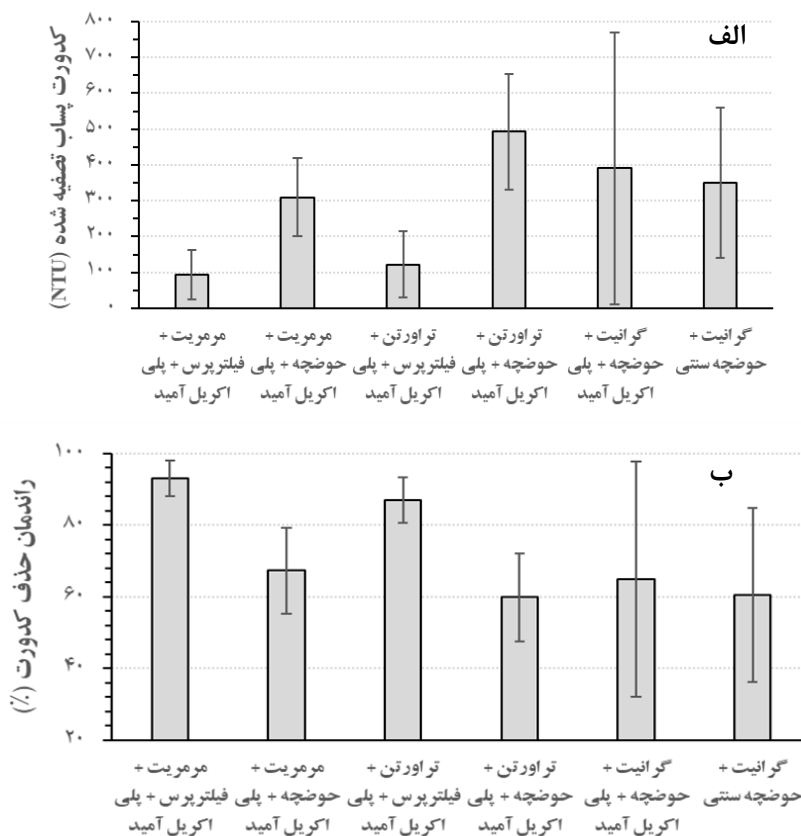


شکل ۹-مقایسه اثر نوع سنگ تولیدی بر میزان و راندمان حذف کدورت (الف، د) و مواد جامد معلق (ب، ج) پساب (خطای معیار ± میانگین) در صنایع سنگ

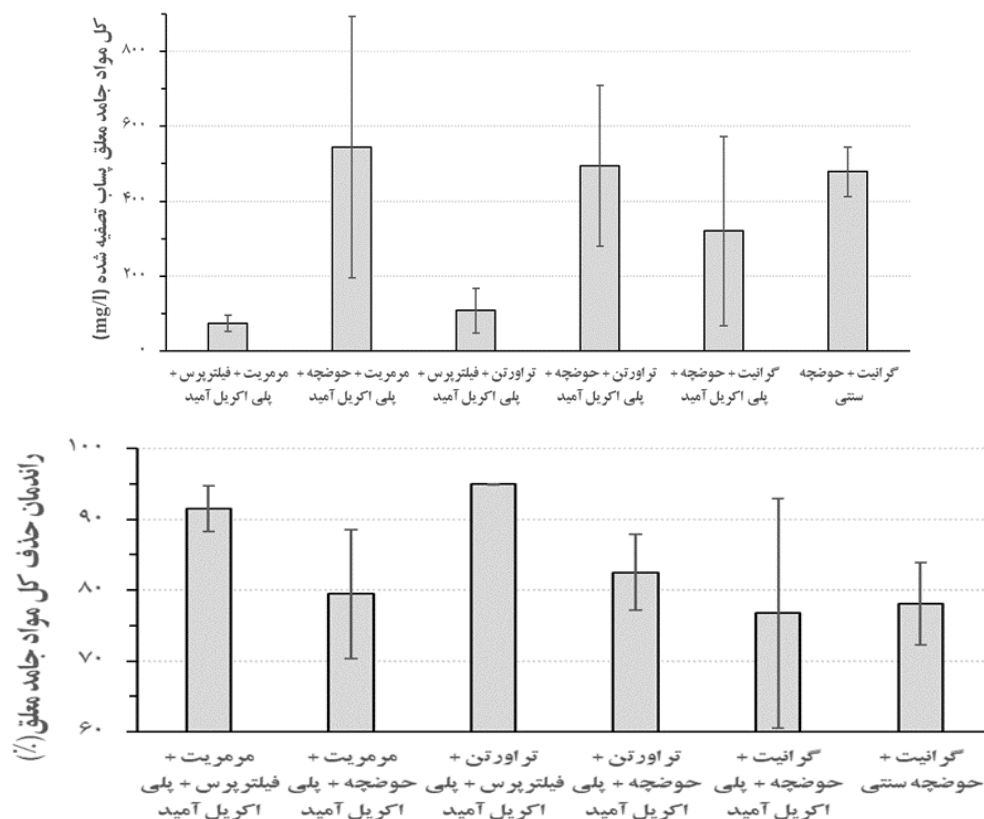




شکل ۱۰- مقایسه اثر نوع تصفیه بر میزان و راندمان حذف کدورت (الف، د) و مواد جامد معلق (ب، ج) پساب (خطای معیار  $\pm$  میانگین) در صنایع سنگ (حروف غیرمشترک لاتین نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار بین گروه‌ها است)



ج



شکل ۱۱- اثر همزمان نوع سنگ و نوع سیستم تصفیه بر میزان و راندمان حذف کدورت (الف، ب) و مواد جامد معلق (ج، د) پساب (خطای معیار  $\pm$  میانگین) در صنایع سنگ

### نتیجه گیری

در این پژوهش پایش و وضعیت موجود تصفیه پساب صنعت سنگبری و مقایسه تصفیه راندمان پساب به صورت میدانی با توجه به تنوع سنگ تولیدی و سیستم تصفیه پساب انجام گرفت. برای مشخصه‌یابی پساب ۲۹ کارخانه سنگبری واقع در شهرک صنعتی محمودآباد، از آب خام، پساب خام و پساب تصفیه شده نمونه برداری انجام گرفت. متغیرهایی مانند کل مواد جامد معلق، کل مواد جامد محلول، کدورت، هدایت الکتریکی و pH اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، ۶۲٪ کارخانه‌ها راندمان بیش از ۹۰٪ در حذف کدورت داشتند و حدود ۵۰٪ کارخانه‌ها راندمان حذف بیش از ۹۰٪ در حذف مواد جامد معلق داشتند. ولی در حذف مواد جامد محلول و تغییر متغیرهایی مانند هدایت الکتریکی و pH پساب سنگبری تاثیر افزایشی یا کاهش‌ی مشخصی نداشتند. به علاوه نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین داده‌های بار آلودگی پساب خام و راندمان حذف آنها در پساب تصفیه شده ۲۹ کارخانه مورد مطالعه نشان داد که مقادیر زیاد یا کم کدورت و مواد جامد معلق پساب خام باعث افزایش یا کاهش راندمان حذف کدورت و ذرات معلق در سیستم تصفیه پساب نشده است.

مقایسه میانگین متغیرهای کدورت و ذرات جامد معلق پساب تصفیه شده و راندمان حذف آنها در سنگبری‌های مورد مطالعه بر مبنای گروه‌بندی‌های مختلف برای شناخت اثر احتمالی نوع سنگ، نوع سیستم تصفیه و اثر همزمان نوع سنگ و سیستم تصفیه، برتری سیستم نوین فیلتر پرس با کاربرد پلی‌اکریل‌آمید در مقابل گروه‌های دیگر (حوضچه سنتی با افزودن

پلی اکریل آمید و حوضچه سنتی) را نشان داد. ولی به دلیل زیاد بودن واریانس داخل گروه‌ها اختلاف آماری معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر میانگین راندمان حذف و میزان پارامترهای کیفیت پساب تصفیه شده سنگبری (البته به‌جز در مورد غلظت مواد جامد معلق)، مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد کنترل و نگهداری پیوسته و صحیح سیستم تصفیه در کارخانه‌های سنگبری عامل مهمتری در تأمین حداکثر راندمان حذف کدورت و ذرات معلق جامد پساب صرف نظر از نوع سنگ تولیدی یا سیستم تصفیه پساب باشد. به‌ویژه آنکه عدم مدیریت صحیح سیستم تصفیه پساب در برخی کارخانه‌های سنگبری مورد مطالعه احتمالاً باعث افزایش واریانس داخل گروه‌ها از نظر اثر همزمان نوع سنگ و نوع سیستم تصفیه شده است که بایستی در مطالعات آتی در نظر گرفته شود.

## منابع

- احمدی، ر. و ملکی، ا. ۱۳۹۰. چشم انداز آینده صنعت سنگ ساختمانی ایران در مقایسه با کشورهای صاحب این صنعت مانند ایتالیا، چین، هند و ترکیه. هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، ۷ آذر ۱۳۹۰، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ص ص. ۸-۱.
- استاندارد ملی ایران ۱۳۷۶. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی. استاندارد شماره: ۱۰۵۳.
- صادقی راد، م. ۱۴۰۱. تصفیه پساب کارخانجات سنگبری با استفاده از فرایند انعقاد سازی. پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش آلودگی‌های محیط‌زیست، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران. ۵۹ ص.
- صالحی، م؛ احمدی بنی، ف. و صالحی، ا. ۱۴۰۲. تحلیل مصرف آب در صنعت سنگ شهر اصفهان. هفدهمین همایش ملی جغرافیا و محیط زیست، ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۲، شیروان، خراسان شمالی، ایران. ۱۲ ص.
- صنف سنگبری استان اصفهان. ۱۴۰۰. مجموعه گزارش‌های کارگاه‌های سنگبری شهرستان محمود آباد. ۲۰ ص.
- Ahmadi, R.A., Maleki, A. 2011. The future perspective of Iran's construction stone industry in comparison with the countries that own this industry such as Italy, China, India and Turkey. The 8th Mining Engineering Student Conference. University of Tehran, Tehran, Iran. p.p. 1-8 (In Persian).
- Ersoy, B. 2009. Effect of pH and polymer charge density on settling rate and turbidity of natural stone suspensions. *International Journal of Mineral Processing* 75(3-4): 207-216.
- Fahiminia, M., Ardani, R., Hashemi, S., Alizadeh, M. 2013. Wastewater treatment of stone cutting industries by coagulation process. *Archives of Hygiene Sciences Journal* 2(1): 16-22.
- Hosseinzadeh, K., Ghayebzadeh, M., Shahi, M., Hosseini, Z. 2019. Polymer induced flocculation for treatment of a tile factory wastewater using polyacrylamide (PAM): Optimization by response surface methodological analysis. *Medbiotech Journal* 3 (02): 70-76.
- Isfahan province stone quarrying industry guild. 2021. A collection of reports of stone-cutting workshops in Mahmoud-Abad industrial town. p.p. 1-20 (In Persian).
- National standard of Iran. 1997. Physical and chemical properties of drinking water. Standard number 1053 (In Persian).
- Nourouzi, M.M., Chuah, T.G., Choong, T.S. 2010. Optimization of flocculation process for cut-stone wastewater: Effect of rapid mix parameters. *Desalination and Water Treatment* 22 (1-3): 127-132.

- Rhoades, J., Kandiah, A., Mashali, A. 1992. The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper 48. FAO, Rome 133.
- Sadeghi Rad, M. 2022. Treatment of stone cutting industries wastewater using coagulation process. Department of Natural Resources. Isfahan University of Technology, Iran. 66 p (In Persian).
- Salehi, M., Ahmadi Bani, F., Salehi, A. 2023. Analysis of water consumption in Isfahan stone industry. The 17th National Conference on Geography and Environment. Shirvan, North Khorasan, Iran. 12p (In Persian)
- Zarei Mahmudabadi, T., Ebrahimi, A.A., Eslami, H., Mokhtari, M., Salmani, M.H., Ghaneian, M.T., Mohamadzadeh, M., Pakdaman, M. 2018. Optimization and economic evaluation of modified coagulation–flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater. *AMB Express* 8 (1): 1-12.