

## Determination of Heavy Metals in the Effluent Plating Units of Isfahan Province

## بررسی آلودگی ناشی از پسابهای حاوی فلزات سنگین واحدها و کارگاههای آبکاری استان اصفهان

عباس فرازمنده<sup>۱</sup> حمیدرضا ارومیه<sup>۲</sup> حمیدرضا تشیعی<sup>۳</sup>

Abbas Farazmand<sup>1</sup>, Hamid Reza Orumieh<sup>2</sup>  
Hamid Reza Tashayouie<sup>3</sup>

(دریافت ۸۳/۱۰/۲۷ پذیرش ۸۴/۹/۱)

### چکیده

### Abstract

There are more than tens of plating plants in Isfahan province. These units are operated as small and private or as a part of major plant. To determine pollution in return flow of these units, all of these plating units in Isfahan were monitored and sampled. In this research, 52 plating units were identified and investigated. The results show that 44.23% of units are located in urban areas, 28.8% in country-side, 15.4% in industrial zones and 11.5% in industrial towns. Among identified plating units, more than half of them (55.8%) were near industrial areas. The studied units mainly used Nickel and Cadmium as main materials. The effluents discharged into septic wells, surface water, descent reservoirs and municipal networks in the rate of 78.3, 10.9, 6.5 and 4.3 percent respectively. In some units, there were few unusable septic wells due to overflowing with metal sediment. The overflow rate of discharge of plating process in studied units varied from 0.5 to 5.0m<sup>3</sup>/d depending upon type of plating process. The average discharge in these units was found 1.3 m/day. The concentration of zinc ion was in the range of 3.84 to 49.92 mg/l. The average concentration of nickel, chromium and copper were 3.85±2.2, 24.43±7.3, 14.51±15.2 and 14.22±10 mg/l respectively. The average concentration of cyanide was 0.012 mg/l. In this study, strategies for reducing discharge of these units and its pollutants and also appropriate sewage treatment to eliminate cyanide, zinc, chromium and copper are suggested.

**Keywords:** Heavy Metal, Plating Units, Pollution,

*Environmental Pollution.*

بیش از دهها واحد آبکاری در استان اصفهان وجود دارد که این واحدها یا به صورت مستقل - به شکل کارگاههای کوچک و خصوصی - و یا به عنوان بخشی از کارخانههای بزرگتر فعالیت دارند. به منظور بررسی آلودگی ناشی از این پسابها، ۵۲ واحد آبکاری شناسایی و مورد مطالعه و بازدید قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، ۴۴/۲۳ درصد واحدهای آبکاری در مناطق شهری، ۲۸/۸ درصد در مناطق حاشیه شهری، ۱۵/۴ درصد در مناطق صنعتی و ۱۱/۵ درصد در شهرکهای صنعتی مستقر می‌باشند. بیش از نیمی از واحدهای مورد بررسی (۵۵/۸ درصد) با مناطق مسکونی مجاورت داشت. واحدهای آبکاری مورد مطالعه عمدتاً از نوع آبکاری نیکل و کروم است. از نظر چگونگی تخلیه فاضلاب، ۷۸/۳ درصد کارگاههای آبکاری فاضلاب صنعتی خود را در چاههای جذبی، ۱۰/۹ درصد در آبهای سطحی، ۶/۵ درصد - پس از جمع‌آوری در مخازن - در مناطق بیابانی و ۴/۳ درصد در شبکه فاضلاب شهری تخلیه می‌نمایند. در برخی از واحدهای آبکاری وجود چند چاه جذبی غیرقابل استفاده به دلیل ملو شدن از لجن رسوبات فلزی مشاهده گردید. میزان پساب حاصل از فرآیند آبکاری در واحدهای مورد مطالعه از ۰/۵ تا ۵ مترمکعب در روز بر حسب نوع فرآیند آبکاری و قطعات آبکاری شده، متغیر است. میانگین پساب تولیدی این واحدها ۱/۳ مترمکعب در روز است. غلظت یون‌های فلز روی موجود در پساب در محدوده ۰/۰۸۶ تا ۴/۸۹ میلی‌گرم در لیتر و غلظت یون‌های نیکل در محدوده ۳/۸۴ تا ۶/۹۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. میانگین غلظت فلزات سمی روی، نیکل، کروم و مس موجود در این پسابها به ترتیب ۲/۲ ± ۳/۸۵، ۷/۳ ± ۲۴/۴۳، ۱۵/۲ ± ۱۴/۵۱، ۱۰ ± ۱۴/۲۲ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. غلظت سیانور موجود در پساب ۰/۰۱۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. در این مقاله راهکارهای کاهش حجم پساب و آلاینده‌های آن و نیز چگونگی تصفیه فاضلاب واحدهای آبکاری برای حذف سیانور، روی، کروم، نیکل و مس ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، واحدهای آبکاری، آلودگی محیط زیست.

1- Instructor of Iranian Research Organization for Science and Technology. farazmand2002@yahoo.com  
2- M.Sc., Water and Wastewater Consulting Engineers  
3- Operational Manager of Iranian Water and Wastewater Treatment Plants

۱- عضو هیئت علمی سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران - پژوهشکده بیوتکنولوژی farazmand2002@yahoo.com  
۲- کارشناس ارشد شرکت مهندسی مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب  
۳- مدیر بخش بهره‌برداری - تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب کشور

آلودگیهای ناشی از یونهای فلزات سنگین موجود در پساب واحدهای آبکاری، از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین آلوده‌سازهای محیط زیست می‌باشد که در صورت عدم حذف آنها ضمن ورود به آبهای سطحی و زیرزمینی، موجب تشکیل کمپلکس‌های سمی شده و خطرات بالقوه‌ای را برای انسان و اکوسیستم ایجاد می‌نماید.

مشخص‌ترین منبع ورود آلودگی در پساب مراکز آبکاری، ناشی از لایروبه‌ها در وان‌های شستشو و آبکاری در مراحل مختلف است. میزان آلودگی ناشی از این منبع، به عواملی از قبیل طراحی سیستم، شکل و اندازه قطعات، غلظت محلول آبکاری و غیره بستگی دارد. پساب اصلی، ناشی از سرریز و یا تخلیه و تعویض روزانه آب شستشوی وان‌های مجاور وان اصلی آبکاری است که حاوی محلول رقیقی از سیانور و یون فلزات می‌باشند و معمولاً غلظت آن بین ۱۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از فلز روکش‌کاری است [۱].

آلودگی از راه‌های گوناگونی به فاضلاب منتقل می‌شود که از جمله آنها می‌توان به چکیدن محلولهای آبکاری از روی قطعات در هنگام جا به جایی اشاره کرد. وان‌های شستشو اغلب از یکدیگر فاصله دارند و از شکلهای غیرمعارف دایره‌ای شکل به جای وان‌های چهارگوش استفاده می‌شود. این موضوع موجب می‌گردد محلول یون‌های فلزی از قطعات به سطح زمین چکیده و وارد فاضلاب شوند.

اگرچه حجم فاضلاب در هر یک از کارگاههای آبکاری نسبتاً کم است، ولی به علت وجود فلزات سنگین در آن بسیار سمی است. بنابراین برای حفظ محیط زیست، تمامی این نوع فاضلابها باید تصفیه شود. برای کاهش فاضلاب صنایع آبکاری می‌توان از روشهای اقتصادی و برنامه‌ریزی شده استفاده کرد. کاهش فاضلاب نه تنها مسئله دفع فاضلاب را آسان می‌کند، بلکه هزینه تصفیه را نیز کاهش داده و فرآیند تصفیه را اقتصادی‌تر و مصرف آب را نیز کاهش می‌دهد. نگهداری خوب و کاهش سرریز آبکشی می‌تواند به این مسئله کمک نماید.

کار نامنظم، تعداد تخلیه‌های برنامه‌ریزی نشده را افزایش داده و کارگران را در معرض خطرات بیشتری قرار می‌دهد. در صنعت آبکاری عموماً تخلیه‌های ناگهانی وجود دارد. تانک‌ها، لوله‌ها و پمپ‌ها نشستی دارند. نگهداری و بهره‌برداری منظم، می‌تواند تمامی احتمالات نشستی و تخلیه ناگهانی را کاهش دهد.

در صنایع آبکاری، ۸۲ درصد آب مصرفی برای شستشو و آبکش نمودن قطعات آبکاری شده مصرف می‌شود. عمده‌ترین کاهش مورد انتظار را می‌توان با به کارگیری فنون آبکشی به دست آورد. با این فنون می‌توان هزینه تأسیسات فاضلاب و هزینه مواد

شیمیایی مورد نیاز برای تصفیه فاضلاب تولیدی را کاهش داد. در تصفیه فاضلاب آبکاری، بایستی سه مرحله عملیات تصفیه سیانور، تصفیه شیمیایی کروم (احیای کروم)، و خنثی‌سازی شیمیایی صورت پذیرد. متداول‌ترین روش شیمیایی برای کاهش و یا حذف سیانید از پسابهای صنعتی، اکسیداسیون سیانید در محیط قلیایی با استفاده از گاز کلر و یا ترکیبات کلر نظیر هیپوکلریت سدیم و یا کلسیم (پرکلرین)، پروکسید هیدروژن، ازن و پرمنگنات پتاسیم می‌باشد [۲].

در کنار روشهای مذکور، روشهای دیگری نیز، همچون حذف بیولوژیک و فتوکاتالیتیک نیز گزارش شده است. در این روشها سعی بر آن است که سیانید را به موادی با سمیت کمتر نظیر سیانات و یا مواد غیرسمی دیگر مانند گازهای دی‌اکسیدکربن، آمونیاک، ازت و بخار آب تبدیل کنند [۳]. فرآیند تصفیه شیمیایی کروم بر مبنای احیای کروم شش ظرفیتی به کروم سه ظرفیتی در یک محیط اسیدی، و سپس ترسیب هیدروکسیدی فلزات به کمک شیرآهک و یا سود است. برای احیای کروم موجود در فاضلاب که به رنگ زرد تا سبز وجود دارد، از متابی‌سولفیت سدیم استفاده می‌شود.

پس از خنثی‌سازی سیانور (اکسیداسیون سیانور) و کروم (احیای کروم) با استفاده از مواد خنثی‌ساز سود و یا آهک و تنظیم pH از ۷/۵ تا ۸، عملیات تصفیه کامل می‌شود. محلول خنثی شده می‌تواند به صورت ثقلی ته‌نشین شود. رسوبات هیدروکسیدی فلزات نیز به همراه سولفات کلسیم ته‌نشین می‌گردد.

در تصفیه شیمیایی، مهم‌ترین عامل تصفیه فلزات سنگین، ماده رسوب‌دهنده است. عوامل متعددی بر روی انتخاب نوع ماده رسوب‌دهنده مؤثر است. محصولات واکنش، سرعت واکنش، سرعت ته‌نشینی محصولات، مقدار مورد نیاز، حجم رسوبات یا لجن، سهولت استفاده و اثرات جانبی ماده رسوب‌دهنده از جمله عواملی هستند که در انتخاب ماده رسوب‌دهنده می‌توانند مؤثر باشند [۴]. امروزه رسوبات حاصل از فرآیند تصفیه که حاوی هیدروکسیدهای فلزات سنگین می‌باشند بازیافت و در صنعت مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند [۵].

## ۲- مواد و روشها

بر اساس یک برنامه زمان‌بندی شده، اقدامات زیر برای این تحقیق انجام شد: شناسایی واحدهای آبکاری موجود در استان اصفهان، تعیین موقعیت واحدها و کارگاههای آبکاری، تعیین مشخصات کمی فاضلاب، بررسی وضعیت تخلیه فاضلاب صنعتی، تعیین خصوصیات کیفی پساب صنعتی، تعیین نوع خط آبکاری، تعیین تعداد و مقدار قطعات آبکاری شده و مدت زمان فعالیت کارگاهها.

۲۸/۸ درصد در مناطق حاشیه شهری، ۱۵/۴ درصد در مناطق صنعتی و ۱۱/۵ درصد در شهرکهای صنعتی مستقر می‌باشند (شکل ۱). از میان این واحدها، ۵۵/۸۶ درصد واحدها با مناطق مسکونی مجاورت دارند.

شکل ۲ موقعیت استقرار واحدهای آبکاری را فقط در محدوده شهر اصفهان نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، اکثر واحدها و کارگاههای آبکاری در سه منطقه در شهر اصفهان قرار گرفته‌اند که عبارت‌اند از: منطقه خیابان امام خمینی، منطقه خیابان کهندژ و منطقه خیابان هفتون. سایر واحدهای آبکاری به صورت پراکنده در مناطق مرکزی و حاشیه‌ای شهر قرار گرفته‌اند. علاوه بر کارگاههای موجود در ناحیه شهری، کارگاههای دیگری نیز در سایر مناطق استان، نظیر شهرکهای صنعتی وجود دارد.

### ۳-۲- بررسی و تعیین فرآیند آبکاری در واحدهای مختلف

خطوط آبکاری موجود در واحدهای آبکاری عبارت‌اند از: آبکاری کروم تزئینی، نیکل، مس، کروم سخت، گالوانیزه اسیدی، گالوانیزه سیانوری، طلا، برنز، نقره، گالوانیزه گرم، قلع و آندازینگ<sup>۲</sup> آلومینیم. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، ۶۱/۵ درصد واحدهای آبکاری دارای خط نیکل و ۵۵/۸ درصد دارای خط آبکاری کروم تزئینی می‌باشند. ۴۶/۱ درصد واحدها دارای فرآیند آبکاری گالوانیزه (۲۵ درصد آبکاری گالوانیزه سیانوری و ۱۹/۲ درصد گالوانیزه اسیدی و ۱/۹ درصد گالوانیزه گرم) هستند.

دو خط آبکاری نیکل - کروم و گالوانیزه را می‌توان پایه اصلی و فعالیت عمده کارگاهها و واحدهای آبکاری برشمرد. برخی از کارگاههای بزرگ نیز واجد هر دو نوع خط آبکاری می‌باشند.

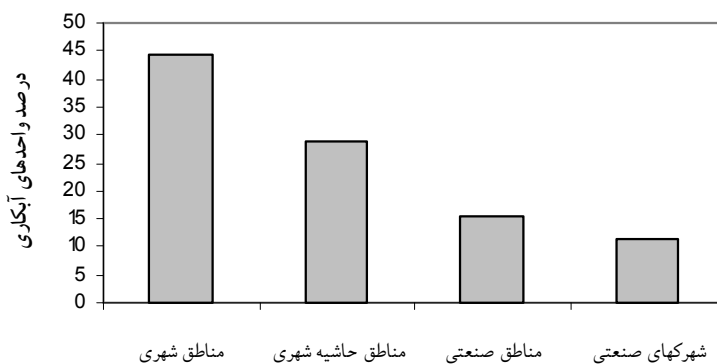
تعداد واحدهای مورد بررسی، ۵۲ واحد آبکاری است که پس از بررسی موقعیت مکانی و محل استقرار آنها، برای تعیین مشخصات کمی و کیفی که تابع نوع خط آبکاری آن واحد می‌باشد، انواع فرآیندهای آبکاری مورد استفاده در هر واحد و همچنین تعداد و حجم هر یک از وان‌های آبکاری مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای تعیین مشخصات کمی و کیفی فاضلاب این واحدها اطلاعات دقیقی از میزان آب مصرفی و میزان فاضلاب تولیدی روزانه واحدها جمع‌آوری شد. در بررسیهای صورت‌گرفته، وضعیت تخلیه پسابهای تصفیه نشده به شکلهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی خصوصیات کیفی پساب صنعتی، نمونه‌برداری از مخازن ذخیره پساب و یا چاههای جذبی که حاوی چندین مترمکعب پساب یکنواخت شده بود، صورت پذیرفت. نمونه‌بردارها از پاییز ۱۳۸۱ به مدت پنج ماه انجام شد و نمونه‌های تهیه شده از نظر غلظت کروم، نیکل، مس و روی و پارامترهایی نظیر pH آزمایش گردید. مدت زمان فعالیت هر کارگاه، که از پارامترهای مهم در تعیین میزان آلودگی است، نیز مورد بررسی قرار گرفت.

برای تعیین غلظت فلزات سنگین کروم، روی، نیکل و مس از روش جذب اتمی<sup>۱</sup> استفاده شد. سیانور موجود در پساب با استفاده از روش اسپکتروفتومتری (مدل DR2010) تعیین شد.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- موقعیت استقرار واحدهای آبکاری

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، واحدهای آبکاری به صورت پراکنده در مناطق شهری، شهرکهای صنعتی، مناطق صنعتی و در حاشیه شهرها وجود دارند. بر اساس نتایج به دست آمده ۴۴/۲۳ درصد واحدهای آبکاری در مناطق شهری،



شکل ۱ - موقعیت استقرار واحدها و کارگاههای آبکاری استان اصفهان

<sup>2</sup> Anodizing

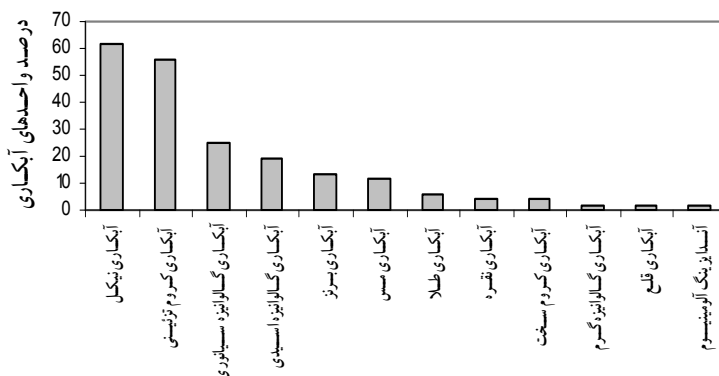
<sup>1</sup> Atomic Absorption

وان‌های آبکاری مورد استفاده در هر فرآیند متفاوت است. برای آبکاری نیکل اکثر کارگاهها از وان آبکاری نیکل با حجم ۲/۵ مترمکعب استفاده می‌نمایند. حجم وان کروم ۰/۱ تا ۲ مترمکعب است. وان‌های گالوانیزه ۲ تا ۴ مترمکعب می‌باشد. علاوه بر استفاده از وان‌های گالوانیزه ثابت، از وان‌های گردون نیز برای آبکاری قطعات ریز در بسیاری از کارگاهها استفاده می‌شود. اکثر کارگاههای آبکاری دارای وان گردون گالوانیزه با حجم ۲۵۰ لیتر می‌باشند که تعداد آن یک یا سه عدد است. حجم وان‌های آبکاری مس سیانوری در محدوده ۰/۱ تا ۲ مترمکعب است. حجم سایر وان‌های آبکاری شامل آبکاری برنز، طلا و نقره بسیار کم و در محدوده ۰/۱ تا ۱ مترمکعب است.

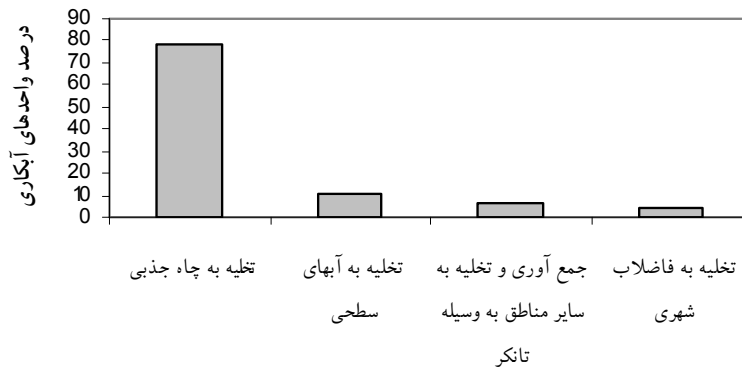
کارگاههای آبکاری معمولاً از سایر فرآیندهای آبکاری در کنار فعالیت اصلی استفاده می‌نمایند. از این میان می‌توان به آبکاری برنز و مس اشاره کرد که به ترتیب ۱۳/۵ و ۱۱/۵ درصد کارگاههای آبکاری واجد آن می‌باشند. ۵/۸ درصد واحدهای آبکاری دارای خط آبکاری طلا و ۳/۸ درصد واحد خط آبکاری نقره هستند. سایر فرآیندهای آبکاری شامل آبکاری کروم سخت، گالوانیزه گرم غوطه‌وری روی، قلع و آندایزینگ به ترتیب به میزان ۳/۸، ۱/۹، ۱/۹ و ۱/۹ درصد در کارگاهها و واحدهای آبکاری وجود دارد. با توجه به فرآیندهای آبکاری موجود در هر یک از کارگاهها، می‌توان عناصر آلاینده موجود در پساب را پیش‌بینی نمود. حجم



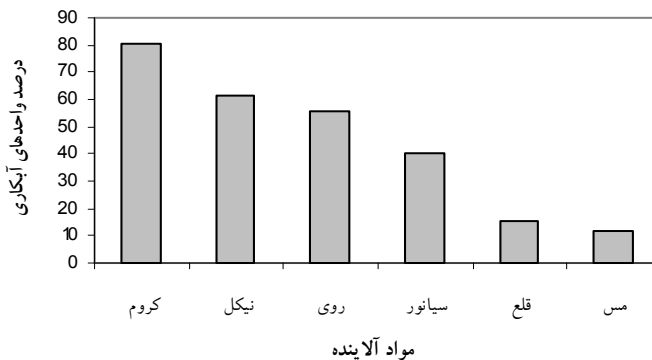
شکل ۲- موقعیت استقرار واحدها و کارگاههای آبکاری شهر اصفهان و مناطق اطراف آن (نقاط درج شده در نقشه بیانگر مجموعه‌ای از واحدهای آبکاری است)



شکل ۳- انواع فرآیندهای آبکاری موجود در کارگاهها و واحدهای آبکاری استان اصفهان



شکل ۴- وضعیت تخلیه فاضلاب صنعتی تصفیه نشده به محیط زیست در کارگاه های آبکاری استان اصفهان



شکل ۵- انواع مواد آلاینده موجود در پساب صنعتی واحدها و کارگاه های آبکاری

رسوبات می شود.

میزان فاضلاب تولیدی هر یک از واحدها و کارگاه های آبکاری بر حسب نوع فعالیت، نوع فرآیندهای آبکاری مورد استفاده، حجم وان های آبکاری و مساحت سالن تولید، متغیر است. کمترین مقدار پساب تولیدی ۵/۰ مترمکعب در روز برای ده عدد از واحدهای آبکاری و بیشترین مقدار، مربوط به دو واحد آبکاری به میزان ۴ و ۵ مترمکعب در روز بود.

با توجه به نوع فرآیند آبکاری مورد استفاده در هر کارگاه، می توان مواد آلاینده موجود در پساب را تعیین نمود. پسابهای صنعتی، ناشی از شستشوی قطعات آبکاری شده می باشد. به دنبال هر وان آبکاری چندین وان شستشو قرار دارد و مواد آلاینده باقیمانده بر روی سطح فلزات پس از آبکشی وارد پساب می شوند.

شکل ۵ نشان می دهد که ۸۰/۸ درصد پساب صنعتی واحدها و کارگاه های آبکاری مورد بررسی در این تحقیق، حاوی کروم می باشند. نیکل نیز در ۶۱/۵ درصد پساب واحدها وجود دارد. قلع و مس در پساب واحدهای کمتری وجود دارد و به ترتیب به میزان ۱۵/۴ و ۱۱/۵ درصد می باشد.

کروم به شکل کروم شش ظرفیتی در اکثر پسابهای صنعتی کارگاه های آبکاری وجود دارد و این به دلیل استفاده از ترکیبات کروم در واحدهای آبکاری روی (گالوانیزه) است. مصرف کروم در

### ۳-۳- تعیین مشخصات کمی و کیفی فاضلاب واحدهای آبکاری

بر اساس بررسیهای به عمل آمده، ۷۸/۳ درصد کارگاه های آبکاری، فاضلاب صنعتی خود را در چاه های جذبی، ۱۰/۹ درصد به آبهای سطحی، ۶/۵ درصد، پس از جمع آوری در مخازن ذخیره در مناطق بیابانی تخلیه می کنند و ۴/۳ درصد نیز در شبکه فاضلاب شهری تخلیه می شوند (شکل ۴).

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیشترین میزان تخلیه، از نوع تخلیه در چاه های جذبی است. به علاوه، تخلیه در کانالها و چشمه های فاقد آب نیز در واقع به نوعی تخلیه به درون زمین محسوب می شود و فاضلاب در محلهای تخلیه در داخل خاک نفوذ می نماید. نکته قابل توجه در کارگاه های آبکاری، وجود چندین فقره چاه جذبی مرتبط به هم، برای افزایش گنجایش دفع فاضلاب است. اکثر چاه های جذبی بازدید شده، لبریز از فاضلاب صنعتی بوده و نمونه برداری از آن به راحتی امکان پذیر بود. در برخی از واحدهای آبکاری، چندین فقره چاه غیرقابل استفاده - به دلیل پر بودن از رسوبات فلزی - وجود داشت.

با توجه به وجود یون های سولفات و فلزات سنگین و نیز تخلیه پسابهای قلیایی، رسوبات هیدروکسیدی فلزات سنگین و سولفات کلسیم باعث بسته شدن روزنه های چاه و سپس پر شدن چاه از

واحدهای آبکاری گالوانیزه برای ایجاد رنگهای مختلف بر روی قطعات است. از این رو پس از انجام آبکاری گالوانیزه، قطعات در محلولهای مختلف کروم (نظیر دی کرومات پتاسیم) فرو برده می شوند. در ۶۱/۵ درصد فاضلاب واحدهای آبکاری، فلز نیکل وجود داشت. در حالی که فلز روی در ۵۵/۸ درصد پساب واحدها وجود دارد. بر اساس بررسیهای به عمل آمده، تعداد کارگاههایی که به فعالیت آبکاری نیکل - کروم بر روی قطعات اشتغال دارند، بیش از کارگاههای آبکاری گالوانیزه است.

تعداد واحدهایی که فعالیت اصلی آنها آبکاری کروم تزئینی است، ۲۹ واحد و تعداد واحدهایی که فعالیت اصلی آنها آبکاری گالوانیزه است، ۲۴ واحد می باشد. بر این اساس ۵۵/۸ درصد واحدها دارای خط آبکاری کروم تزئینی و ۴۶/۱ درصد واحدها دارای خط آبکاری گالوانیزه (سیانوری، اسیدی و گرم غوطه ور) می باشند. در میان واحدهای بررسی شده، تنها هفت واحد (۱۳/۵ درصد) واجد هر دو خط آبکاری نیکل - کروم و گالوانیزه می باشند. با توجه به نتایج فوق، میزان غلظت فلزات سنگین و سیانور موجود در پسابهای واحدها و کارگاههای آبکاری، تعیین گردید.

### ۳-۴- مشخصات کیفی فاضلاب صنعتی واحدهای آبکاری

در جدول ۱، مشخصات کیفی فاضلاب صنعتی واحدهای آبکاری، از نظر غلظت فلزات سنگین و یونهای سیانور، نشان داده

شده است. pH پساب واحدهای آبکاری، در محدوده ۱ تا ۷ است. با این حال pH پساب در اکثر واحدها، در محدوده معادل ۶ تا ۷ می باشد به طوری که ۷۰ درصد واحدها دارای پساب با pH ۶ تا ۷ می باشند. تنها در ۳۰ درصد واحدها، pH در محدوده اسیدی (۱ تا ۲) است. میزان فلزات سنگین موجود در پساب، به جز در مورد کروم، رابطه مستقیم با pH دارد. در pHهای خنثی میزان غلظت فلزات کمتر می باشد. این موضوع به دلیل واکنش فلزات سنگین با یونهای هیدروکسید و تشکیل رسوبات هیدروکسیدی نامحلول است. یونهای کروم به دلیل شش ظرفیتی بودن، نمی توانند با یونهای هیدروکسید واکنش دهند. غلظت یونهای روی در پساب، در محدوده ۰/۰۸۶ تا ۴/۸۹ میلی گرم در لیتر می باشد. غلظت یونهای نیکل در محدوده ۳/۸۴ تا ۴۶/۹۲ میلی گرم در لیتر است. یونهای کروم و مس نیز به ترتیب در محدودههای ۰/۶ تا ۴۸/۳۷ و ۰/۶۷ تا ۲۴/۴ میلی گرم در لیتر است. غلظت سیانور موجود در پساب واحدهای فرآیند آبکاری گالوانیزه سیانوری، ۰/۱۲ تا ۰/۱۲ میلی گرم در لیتر است. میانگین غلظت فلزات سمی روی، نیکل، کروم و مس موجود در پساب به ترتیب  $۳/۸۵ \pm ۲/۲$ ،  $۷/۳ \pm ۲۴/۴۳$ ،  $۱۵/۲ \pm ۱۴/۵۱$ ،  $۱۰ \pm ۱۴/۲۲$  میلی گرم در لیتر است. پسابهای اسیدی حاوی غلظت زیاد فلزات سنگین دارای رنگ قهوه ای تیره می باشند.

جدول ۱- میزان تخلیه یونهای فلزات سنگین و سیانور به چاههای جذبی توسط واحدهای آبکاری استان اصفهان

| سیانور             | یونهای فلزات سنگین |                    |                    |                    | وضعیت مواد آلاینده   |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
|                    | Cu                 | Cr                 | Ni                 | Zn                 |  |
| ۰/۰۱۲ ± ۰          | ۱۴/۲۲ ± ۱۰         | ۱۴/۵۱ ± ۱۵/۲       | ۲۴/۴۳ ± ۷/۳        | ۳/۸۵ ± ۲/۲         | میانگین آلایندههای موجود در پساب واحدهای آبکاری  |
| (میلی گرم در لیتر) | (میلی گرم در لیتر) | (میلی گرم در لیتر) | (میلی گرم در لیتر) | (میلی گرم در لیتر) | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب متوسط تخلیه ۱/۳ مترمکعب در روز                                       |
| ۰/۰۱۵۶             | ۱۸/۴۸۶             | ۱۸/۸۳۶             | ۳۱/۷۵۹             | ۵/۰۰۵              | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی بر اساس تعداد کارگاههای بررسی شده  |
| (گرم در روز)       | (گرم در روز)       | (گرم در روز)       | (گرم در روز)       | (گرم در روز)       | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |
| ۰/۴۸۴              | ۰/۱۱۱              | ۰/۵۸۵              | ۱/۰۱۶              | ۰/۱۱۵۱۱۵           | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |
| (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |
| ۱/۴۰۲              | ۰/۳۳۳              | ۱/۷۵۵              | ۳/۰۴۸              | ۰/۳۴۵۳۴۵           | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |
| (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | (کیلوگرم در روز)   | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |
| ۵۲۹/۹۸             | ۱۲۱/۵۴۵            | ۶۴۰/۵۷۵            | ۱۱۲/۵۲             | ۱۲۶/۰۵             | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |
| (گرم در سال)       | (کیلوگرم در سال)   | (کیلوگرم در سال)   | (کیلوگرم در سال)   | (کیلوگرم در سال)   | میانگین آلایندههای تخلیه شده به چاههای جذبی با احتساب سایر واحدهای آبکاری شناسایی نشده (۲ برابر واحدهای موجود شناسایی شده) |

میزان متوسط فاضلاب واحدهای آبکاری استان، ۱/۳ مترمکعب در روز است. مقدار فلزات سنگین و سیانور تخلیه شده به محیط زیست برای هر واحد آبکاری، بر حسب روز و سال در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به تعداد واحدهای آبکاری و نوع فرآیند هر یک، که قبلاً به آن اشاره شد، می توان میزان آلاینده های وارد شده به محیط زیست را تخمین زد. با تخمین تعداد پیش بینی شده واحدهای آبکاری به میزان سه برابر واحدهای شناسایی شده (که آدرس قابل شناسایی نداشتند)، مقدار آلاینده های وارد شده به محیط زیست برای هر یک از فلزات روی، نیکل، کروم و مس به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۳، ۱/۷ و ۰/۳ کیلوگرم در روز و برای سیانور ۱/۴ گرم در روز می باشد. همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است میزان یون های فلزی تخلیه شده برای یک سال به بیش از صد ها کیلوگرم می رسد. با در نظر گرفتن فعالیت چند ساله این واحدها می توان مقدار یون های فلزات سنگین را محاسبه نمود.

### ۳-۵- تعیین مدت زمان فعالیت کارگاههای آبکاری

بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین مدت زمان فعالیت واحدها و کارگاههای آبکاری در استان اصفهان، ۸ سال می باشد. تعداد واحدهای آبکاری قدیمی دو واحد است که ۳۲ سال سابقه فعالیت داشته و جدیدترین واحدهای تأسیس شده با فعالیت یک ساله، هشت واحد می باشند. واحدهای جدید عمده توسط افرادی که قبلاً در کارگاههای بزرگتر سابقه فعالیت دارند، تأسیس شده و اصول راه اندازی و احداث خط آبکاری را به صورت تجربی آموخته اند.

اگر مقایسه ای میان مدت زمان فعالیت کارگاههای آبکاری و میزان پساب تولیدی هر واحد، صورت پذیرد، مشاهده می شود که واحدهای تازه تأسیس، به دلیل محدود بودن تعداد خط آبکاری (که عمده تا فقط یک خط آبکاری نیکل - کروم یا گالوانیزه است) میزان فاضلاب نسبتاً کمتری در مقایسه با واحدهای با سابقه تر تولید می نمایند.

### ۳-۶- وضعیت منابع آب زیرزمینی و میزان اثرگذاری دفع

#### فاضلاب واحدهای آبکاری

نفوذ پسابهای صنعتی به سفره های آب زیرزمینی حائز اهمیت بسیار است. مطالعات زمین شناسی و توپوگرافی دشت اصفهان نشان می دهد که پایدارترین و نفوذناپذیرترین ناحیه دشت اصفهان واقع در مرکز و شرق منطقه بوده و مناطق غربی از مناطق سست و نفوذپذیر تشکیل شده است. از طرفی، عمق چاههای مورد نیاز برای رسیدن به سفره های آب زیرزمینی در مناطق جنوبی بعضاً بیش از نواحی شمال و غرب می باشد [۱]. لذا با توجه به موقعیت جغرافیایی

و تراکم واحدهای آبکاری در نواحی خیابان امام خمینی، کهنده و خرم، احتمال آلوده شدن آبهای زیرزمینی وجود دارد. در یک نمونه، آب چاه مصرفی یکی از واحدهای آبکاری واقع در منطقه غرب شهر اصفهان، میزان غلظت فلزات کروم و نیکل به ترتیب ۶/۹۲ و ۰/۰۹ میلی گرم در لیتر مشاهده گردید.

نزدیک بودن مناطق مسکونی به واحدهای آبکاری، استفاده از آبهای زیرزمینی در مواقع قطع آب به عنوان آب آشامیدنی، استفاده از آبهای زیرزمینی برای کشاورزی و استفاده از آبهای زیرزمینی برای تأمین آب شرب برخی از مناطق شهری (خصوصاً خیابانهای امام خمینی، کهنده و هفتون) از مخاطرات جدی شهر اصفهان محسوب می شود.

### ۴- نتیجه گیری

تخلیه پسابهای حاوی فلزات سنگین واحدهای آبکاری به چاههای جذبی از چندین دهه پیش آغاز شده و آلوده شدن محدود آب زیرزمینی در چندین مورد مشاهده گردید. استان اصفهان به دلیل صنعتی بودن، دارای واحدهای آبکاری زیادی در مقایسه با سایر استانها می باشد. پراکندگی این واحدها، عدم داشتن سیستم های تصفیه فاضلاب، عدم آگاهی صاحبان کارگاهها از خطرات زیست محیطی تخلیه پسابهای آبکاری، و نبودن فشار سازمان حفاظت محیط زیست برای احداث سیستم تصفیه موجب شده است تا روزانه به طور متوسط از ۵۲ کارگاه آبکاری بازدید شده، ۶۷/۶ مترمکعب فاضلاب سمی حاوی فلزات سنگین و سیانور به محیط زیست تخلیه شود. میزان یون های فلزی تخلیه شده نیکل، کروم، مس و روی به ترتیب ۰/۱۱۱، ۰/۵۸۵، ۱/۰۱۶ و ۰/۱۵ کیلوگرم در هر روز می باشد. با بررسی های به عمل آمده تخمین زده می شود تعداد واحدهای آبکاری فاقد آدرس مشخص دو برابر میزان فوق باشد. با احتساب این رقم میزان فلزات تخلیه شده به بیش از ۵ کیلوگرم در روز می رسد. کارگاههای آبکاری استان عمده تا در شهر اصفهان و در سه ناحیه خیابان امام خمینی، خیابان کهنده و خیابان هفتون قرار دارند.

فعالیت چند دهه این واحدهای آبکاری و تخلیه پسابهای سمی به چاههای جذبی، موجب شده است تا در سفره های آب زیرزمینی همان منطقه آلودگی منتشر شده و در چند واحد، زرد بودن آب چاه مصرفی کارگاهها که ناشی از وجود کروم شش ظرفیتی می باشد، مشاهده گردد. مقدار کروم در آب چاه مصرفی یکی از واحدها که از آن حتی برای استحمام و شستشوی ظروف غذا استفاده می شد، ۶/۹ میلی گرم در لیتر تعیین شد. اگرچه صاحبان این کارگاهها خود از این آب برای آشامیدن استفاده نمی کنند، اما آیا منازل مسکونی مجاور

یا محدوده نزدیک آن نیز از این موضوع آگاهی دارند؟  
مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که کشورهای پیشرفته در مرحله بازیافت و استفاده مجدد از پسماندهای جامد می‌باشند که حاصل فرآیند تصفیه فلزات در واحدهای آبکاری است. در فرآیند تصفیه تمامی فلزات سنگین به صورت رسوبات هیدروکسیدی ترسیب می‌شود. این رسوبات در مکانهایی که از طرف سازمانهای زیست محیطی اعلام گردیده است، تخلیه می‌شود. با توجه به ارزشمند بودن فلزات و افزایش حجم پسماندها ارزش اقتصادی

بازیافت فلزات مطرح شده و کارخانه‌های بازیافت احداث گردیده است.

در کشور ما متأسفانه هیچ گونه سیستم تصفیه فاضلابی وجود نداشته است تا فلزات سنگین به شکل پسماندهای جامد جمع‌آوری شوند. خوشبختانه طی دو سال اخیر چند واحد آبکاری اقدام به نصب سیستم تصفیه فاضلاب نموده‌اند و پسماندهای خود را با هماهنگی سازمان حفاظت محیط زیست استان اصفهان به منطقه تخلیه نخاله‌های ساختمانی منطقه گردنه زینل انتقال می‌دهند.

## ۵- مراجع

- ۱- خوش‌منش، ا. (۱۳۷۱). "ترکیب فلزات سنگین در پساب تعدادی از واحدهای آبکاری شهر اصفهان و خطرات زیست محیطی آنها" م. آب و فاضلاب، ۸، ۱۵-۱۰.
  - ۲- موثقی، ک. (۱۳۷۹). "بهبودسازی حذف سیانید از پسابهای صنعتی در مقیاس پایلوت." م. آب و فاضلاب، ۲۵، ۴۵-۴۲.
  - ۳- فرازمنند، ع. (۱۳۸۰). "تصفیه پسابهای حاوی فلزات سنگین به روش احیای باکتری‌های سولفات." م. آب و فاضلاب، ۳۷، ۲۳-۱۶.
  - ۴- فردوسی، س. (۱۳۷۲). مدیریت پسماندهای شیمیایی، سازمان بازیافت و تبدیل مواد، تهران.
- 5- Matthew, G., and Kennedy, J. (1999). "Recovery of Heavy Metals from Electroplating Sludge and Stainless Steel Pickle Waste Liquid by Ammonia Leaching Method." *J. Journal of Environmental Sciences*, 11 (3), 4,381.