

# برآورد اقتصادی استفاده مجدد از لجن کارخانجات آنودایزینگ آلومینیوم

سید مصطفی خضری (استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی)  
ناصر محرم نژاد (استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی)  
مریم ارطایفه (کارشناس ارشد اقتصاد محیط زیست دانشکده محیط زیست و انرژی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی)

## چکیده

سالانه حدود ۷۸۰ میلیون ریال سود نصیب صاحبان این صنایع خواهد گردید. همچنین مشخص شد کاربرد لجن آنودایزینگ به عنوان انعقاد دهنده در تصفیه فاضلاب‌های شهری سالانه حدود ۸۲۰ میلیون ریال سود نصیب واحدهای تصفیه فاضلاب خواهد کرد.

**کلمات کلیدی:** آنودایزینگ آلومینیوم، لجن، آجر دیرگاز، منعقدکننده، برآورد اقتصادی.

کارخانه های آبکاری آنودایزینگ آلومینیوم در انتهای فرآیند تصفیه پساب، حجم متناهی لجن تولید می کنند که اگر به طرق متداول دفع نشود، مشکلات محیط زیستی بسیاری به وجود می آورد و از هزینه های تحمیلی محسوب می گردد. هدف از انجام این تحقیق برآورد اقتصادی استفاده مجدد از کیک لجن واحدهای آنودایزینگ آلومینیوم می باشد به طوری که باعث جلوگیری از رها سازی آن در محیط و کاهش آلوده سازی منابع آب، خاک و در نتیجه حفاظت محیط زیست شود، همچنین فروش محصولات بازیابی شده، صرفه های اقتصادی مناسبی را نصیب این کارخانجات نماید.

برای انجام این تحقیق، ابتدا اطلاعات مورد نیاز جهت انجام تحلیل هزینه - منفعت گردآوری شد. سپس برای انجام مطالعه موردی، کارخانه آنودایزینگ آبسکون انتخاب گردید و حجم پساب تولیدی کارخانه و میزان کیک لجن حاصل از تصفیه پساب مشخص شد. از سوی دیگر با بررسی ترکیبات شیمیایی موجود در کیک لجن، دو کاربرد عمده شامل تولید آجر دیرگاز و ماده منعقدکننده برای این لجن شناسایی گردید. بعد از انجام تحلیل اقتصادی و با توجه به قیمت این محصولات، مشخص گردید در صورت استفاده از لجن آنودایزینگ به عنوان ماده اولیه در تهیه آجر نسوز

maryam.artayefeh@yahoo.com  
moharamnejad@gmail.com  
Dr.Khezri : 021- 44809827

## مقدمه

با توجه به هزینه روزافزون مواد شیمیایی در بسیاری از کارخانجات، بازیابی مواد مصرف نشده و یا قابل مصرف به عنوان یک اصل اقتصادی پذیرفته شده است. حتی اگر این مواد در همان کارخانه قابل مصرف نباشند، پس از تخلیص یا تغلیظ، می‌توان آنها را به صنعت دیگری واگذار نمود.

یکی از مهم ترین مسائل اقتصادی در اکثر قریب به اتفاق کارخانه‌های آنودایزینگ پروفیل آلومینیوم، وجود لجن با حجم بالا می‌باشد که یکی از هزینه‌های تحمیلی محسوب می‌گردد. در صورتی که بتوان با ارایه روشی لجن حاصل را تبدیل به مواد قابل بازیابی نمود، علاوه بر حذف هزینه انتقال لجن از کارخانه به محل‌های بایر و مناسب که خود هزینه‌ای بسیار زیاد است، فروش مواد بازیابی شده از لجن نیز می‌تواند سود مناسبی را برای کارخانه حاصل نماید. اصولاً لجن تصفیه پساب آنودایزینگ دارای غلظت‌های بالایی از یون آلومینیوم است که می‌تواند به عنوان یک منبع مفید از مواد منعقد کننده باشد که به حذف فسفر در واحد تصفیه پساب شهری کمک کند [۱].

همچنین به دلیل داشتن درصد بالایی از سیلیس و اکسید آلومینیوم و ترکیبات دیگری مثل تری اکسید گوگرد و اکسید کلسیم در تهیه مصالح ساختمانی نظیر تولید پوکه معدنی (به علت شباهت فرمول لجن به ورمیکولیت ماده معدنی پوکه)، آجر، آجر نسوز، مصالح ساختمانی و صنایع رنگسازی و... قابل کاربرد است [۲].

در نهایت، ملاحظات اقتصادی و پیروی از مقررات کاهش آلودگی نقش اساسی در هر نوع اتخاذ تصمیم برای بازیافت فرآورده‌های فرعی را ایفا می‌کند.

محل انتخاب شده جهت انجام این تحقیق، کارخانه تولید پروفیل آلومینیوم آبسکون می‌باشد که در فاصله ۶ کیلومتری شهر آمل واقع شده است. این کارخانه در سال ۱۳۷۲ با ظرفیت تولید ۲۵ هزار تن پروفیل در سال راه اندازی شد. در حال حاضر ظرفیت تولید واحد آنودایزینگ این کارخانه حدود ۱۰ تن در روز به ازای سه شیفت کاری می‌باشد [۳].

## روش تحقیق

روش تحقیق علمی - کاربردی مبتنی بر روش تحلیل هزینه - منفعت بوده و روش گردآوری اطلاعات آن به صورت اطلاعات کتابخانه‌ای، اسنادی، اینترنتی، بازدید میدانی و مراجعه به کارشناسان بوده است. برای انجام مطالعات میدانی با همکاری مسئولین کارخانه مذکور محصولات مورد نظر با استفاده از لجن آنودایزینگ ساخته شد که از نظر مشخصات مورد نیاز به خوبی با نمونه‌های مشابه مطابقت داشت. به این ترتیب بعد از آزمون روش‌ها براساس قیمت واقعی مواد اولیه و محصول، هزینه ساخت محصولات جدید از لجن کارخانه

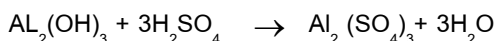
برآورد شد و از طرف دیگر با قیمت محصولات قبلی که از مواد اولیه گران تولید می‌شدند، مقایسه گردید.

## مبانی نظری

لجن تولید شده در واحد آنودایزینگ، حاوی عناصر و ترکیبات بسیار زیادی است به طوری که حدود ۶۰ درصد آن سیلیس و درصد بالایی، اکسید آلومینیوم است و ترکیبات دیگری مثل تری اکسید گوگرد و اکسید کلسیم نیز به مقدار قابل توجهی در آن یافت می‌شود [۴]. لذا به همین دلیل استفاده مجدد از این لجن در تهیه مصالح ساختمانی نظیر تولید پوکه معدنی (به علت شباهت فرمول لجن به ورمیکولیت ماده معدنی پوکه) مصالح ساختمانی و صنایع رنگ سازی و علاوه بر منافع مالی و اقتصادی برای صاحبان صنایع، اثرات مخرب محیط زیستی را نیز کاهش می‌دهد.

**یکی از کاربردهای فعلی لجن این پساب به شرح زیر است:**

هیدروکسید آلومینیوم موجود در لجن با اسید سولفوریک ترکیب می‌شود که تولید سولفات آلومینیوم (آلوم) می‌کند



که این آلوم در تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی نقش منعقد کننده دارد و برای جداسازی مواد معلق موجود در آب به کار می‌رود.

سولفات آلومینیوم در این شرکت به دو صورت تولید می‌شود:

۱- زاج سفید

۲- پودر گرانول که می‌تواند به شکل مایع هم باشد [۴]

در این سیستم آب بازیافت می‌شود و لجن دوباره وارد راکتور می‌شود که قیمت فروش این محصولات نسبت به حالت خالص پایین تر است.

اکنون طرح‌های جداسازی عناصر با ارزش موجود در لجن مانند خود آلومینیوم در دست تهیه است که نیاز به سرمایه‌گذاری وسیع و زیادی دارد، ولی در آینده، مهم و با ارزش خواهند بود، زیرا باعث صرفه‌جویی زیاد در هزینه‌ها و جلوگیری از هدر رفت آلومینیوم خواهد شد.

## برآورد اقتصادی استفاده از لجن آنودایزینگ در تهیه

## مصالح ساختمانی دیرگداز

استفاده از لجن آنودایزینگ به عنوان مصالح ساختمانی دیرگداز دارای مزایای اقتصادی می‌باشد. آجرهای تولید شده به وسیله لجن آنودایزینگ، نسبت به آجرهای نسوز معمولی بسیار سبک تر هستند و این مسئله در حمل و نقل و هزینه و انرژی بسیار موثر خواهد بود. ترکیب این لجن و خاک به میزان

اما اگر کارخانه در کنار تولید پروفیل آلومینیوم به تولید محصولات جنبی نظیر آجر نسوز بپردازد. علاوه بر اینکه از آلودگی‌های ناشی از لجن آلودایزینگ خلاص خواهد شد، منبع کسب درآمد تازه‌ای هم پیدا خواهد کرد. این لجن به دلیل دارا بودن آلومینا و سیلیس دارای خاصیت نسوزندگی است و استفاده از آن در تهیه مصالح نسوز که قیمت بالایی در بازار دارند، بسیار مقرون به صرفه است.

قیمت هر کیلوگرم ماده اولیه مورد استفاده در کارخانجات تولید کننده آجرهای دیرگداز شومینه (شاموتی) برابر ۸۰۰ ریال می‌باشد. بنابراین اگر کارخانه آبسکون به جای فروش لجن با قیمت ۱۵۰ ریال از آن برای تولید آجر نسوز در محل کارخانه استفاده کند، سود سالیانه حدود ۷۸۰ میلیون ریال خواهد بود:

$$(ریال) ۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰ = (ریال) ۸۰۰ \times (kg) ۱,۲۰۰,۰۰۰$$

$$(ریال) ۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰ = (ریال) ۱۵۰ \times (kg) ۱,۲۰۰,۰۰۰$$

$$سود حاصل (ریال) ۷۸۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰ - ۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰$$

همچنین اگر کارخانجات تولید آجر نسوز، به جای مواد اولیه رایج مورد استفاده از این لجن استفاده نمایند، چنین سودی را کسب خواهند کرد.

## برآورد اقتصادی استفاده از لجن آلودایزینگ برای تصفیه

### فاضلاب شهری

در فرآیند آلودایزینگ آلومینیوم، یک روش قدیمی پرداخت سطح این فلز، مقدار زیادی پساب (لجن آندی) تولید می‌شود. در کارخانجات صنعتی به طور طبیعی دو نوع فاضلاب به وجود می‌آید [۵]:

محلول‌های غلیظ حاصل از حوضچه‌های شیمیایی و آب‌های شستشو در بیشتر کارخانجات تنها یک تانک ته‌نشینی وجود دارد که تمام پساب‌ها در آن مخلوط می‌شوند و بعد از خنثی‌سازی، منعقد شده و ته‌نشین می‌گردند. محصول نهایی، لجن آلودایزینگ است که ترکیبات موجود در آن متغیر می‌باشند ولی حاوی سه جزء اصلی می‌باشد: هیدروکسید آلومینیوم، اکسی هیدروکسید آلومینیوم و سولفات آلومینیوم. این لجن آندی به دلیل دشواری نسبی مدیریت آن که از طبیعت پیچیده آن ناشی می‌شود، به یکی از مشکلات کارخانجات تبدیل گشته است.

امروزه کاربرد نمک‌های معدنی آلومینیوم در تصفیه پساب مرسوم شده است. انعقاد شیمیایی که در ادامه با یک فرآیند خنثی‌سازی همراه می‌شود، در تصفیه فاضلاب رایج است [۶]. این فرآیند راندمان بالایی در حذف پارامترهای مختلف از جمله: SS, BOD, COD، و میکروارگانیزم‌ها دارد. فرآیند انعقاد و رسوب‌دهی موجب حذف SS با راندمان ۹۰-۸۰، حذف CBO با راندمان ۸۰-۵۰ و حذف میکروارگانیزم‌ها با راندمان ۹۰-۸۰ می‌شود.

۵۰ درصد، می‌تواند در تولید آجرهای شومینه که جزو مصالح دیرگداز هستند به کار رود. این آجرها حرارتی حدود ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کنند. [۲]

هر آجر دیرگداز معمولی دارای وزنی معادل ۳-۴ کیلوگرم می‌باشد و آجر ساخته شده از لجن آلودایزینگ با ترکیب حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد لجن، در ابعاد آجر نسوز حدود ۱/۸ تا ۲ کیلوگرم خواهد بود. به این ترتیب هر کامیون که ظرفیتی معادل ۵ تن آجر را داراست، قادر به حمل تعداد بیش تری آجر خواهد بود.

به عنوان مثال هر کامیون خاور برای جابجایی آجرها، کرایه حملی معادل ۱۰,۰۰۰ ریال به ازای هر کیلومتر دریافت می‌کند. باتوجه به اینکه هر آجر ساخته شده از لجن آلودایزینگ حدود ۲ کیلوگرم سبک‌تر از آجرهای دیرگداز معمولی است و ظرفیت کامیون خاور هم ۵ تن می‌باشد، تعداد آجرهای بیش تری را می‌توان در هر بار جابجایی حمل کرد که این مساله هم باعث صرفه‌جویی در هزینه حمل و هم صرفه‌جویی در مصرف انرژی و زمان می‌شود. بر این اساس، در هر بار جابجایی آجرهای نسوز معمولی نهایتاً تعداد ۱۲۵۰ آجر را می‌توان جابجا کرد. این در حالی است که برای آجرهای ساخته شده از لجن آلودایزینگ این تعداد حدود ۲۵۰۰ آجر خواهد شد. بنابراین با استفاده از اتاقک‌های مخصوص و بزرگ‌تر از اندازه برای کامیون‌ها می‌توان تعداد آجر بیش تری را حمل کرد. به این ترتیب نه تنها لجن که مایه آسیب رساندن به محیط زیست شامل منابع آب، خاک، گیاهان و جانوران و حتی انسان است، از راه‌سازی و دفع در محیط حذف می‌شود و تخریب محیط زیست کاهش می‌یابد، بلکه از سوی دیگر از مصرف بی‌رویه خاک که ماده بسیار باارزشی در تولید و کشاورزی است نیز جلوگیری می‌شود.

همان‌طور که می‌دانیم برای تولید هر یک سانتی‌متر خاک، ۱۰۰۰ سال زمان نیاز است و فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائلی محیط زیستی امروز کشور ما می‌باشد. متأسفانه این عنصر باارزش تعیین قیمت نشده است و برای همین به راحتی تخریب می‌شود، این در حالی است که خاک جزو منابع تجدیدناپذیر طبیعت است. اینجاست که ارزش استفاده از لجن به جای خاک برای تولید آجر نمایان می‌شود. تولید آجر نسوز به دلیل اختلاف قیمت قابل توجه بین لجن و آجر نسوز، صرفه‌های اقتصادی مناسبی به همراه خواهد داشت.

$$آجرهای دیرگداز شومینه (شاموتی) ۷۰۰۰ ریال$$

$$لجن (هر کیلو) ۱۵۰ ریال$$

باتوجه به اینکه در کارخانه تولید پروفیل آلومینیوم آبسکون، حدود ۱۲۰۰ تن در سال لجن تولید می‌شود و قیمت هر کیلو لجن ۱۵۰ ریال است، در حالت عادی این کارخانه می‌تواند حدود ۱۸۰ میلیون ریال در سال درآمد حاصل از فروش لجن داشته باشد:

$$(ریال) ۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰ = (ریال) ۱۵۰ \times (kg) ۱,۲۰۰,۰۰۰$$

بنابراین از این نظر سود خوبی هم برای کارخانه آنودایزینگ به دست می‌آید و بخشی از هزینه‌های تصفیه پساب را پوشش می‌دهد و هم برای تصفیه خانه‌ها مقرون به صرفه می‌باشد.

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به مباحث ارایه شده در تحقیق و بررسی روش های استفاده مجدد از ضایعات در فرآیند کارخانه آنودایزینگ آبسکون، نتایج زیر به دست آمده است: به طور کلی دو روش استفاده از لجن آنودایزینگ برای تصفیه فاضلاب شهری و تولید آجرهای دیرگدازشومینه مورد بررسی قرار گرفتند که هر دو روش در مقایسه با فروش فعلی لجن کارخانه، روش هایی مقرون به صرفه تر هستند. سود حاصل از فروش فعلی لجن کارخانه سالیانه ۱۸۰ میلیون ریال است که اگر این لجن در تصفیه فاضلاب شهری استفاده گردد، سود آن به ۸۲۰ میلیون ریال افزایش می یابد و اگر برای تولید آجرهای دیرگداز استفاده گردد، سود آن حدود ۷۸۰ میلیون ریال بیش تر خواهد شد. خلاصه نتایج بررسی های اقتصادی استفاده مجدد از لجن کارخانه آنودایزینگ آلومینیوم آبسکون که از دو روش مورد اشاره حاصل می گردد در جدول (۲) ارایه شده است.

### فهرست منابع

- Correia, A. 2005. Municipal Wastewater Treatment with Anodizing Solid Waste. Desalination (2005) 185 350-341. www.elsevier.com/locate/desal.
- غفوری، پریسا. ۱۳۸۴، بررسی اثرات زیست محیطی ناشی از لجن واحدهای آنودایزینگ آلومینیوم و ارایه راه کارهای مناسب، پایانامه کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- کارخانه آنودایزینگ آلومینیوم آبسکون، ایران، ۱۳۸۵.
- خضری، مصطفی. ۱۳۸۳. کارگاه آموزشی تصفیه پساب آنودایزینگ در صنعت آلومینیوم، وزارت صنایع و معادن، دفتر امور محیط زیست
- معاونت تحقیقاتی سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۱، استاندارد خروجی فاضلابها، انتشارات دفتر آموزش زیست محیطی.
- شریعت پناهی، م. ۱۳۷۱، اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- توکلی، نادیا. ۱۳۷۷. بررسی تصفیه پذیری پساب واحد آنودایز آلومینیوم، پایانامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

از طریق کارهای آزمایشگاهی اثبات شده [ ۱ ] که لجن آنودایزینگ، دارای قابلیت انعقاد دهندگی مناسبی هست، تا جایی که راندمان کاهش COD و کدورت لجن ۹۰ می‌باشد، تشکیل توده‌ها مشهود است و توده‌ها به راحتی در اثر ته نشینی از فاضلاب جدا می‌شوند.

از طرف دیگر برخلاف روش های تصفیه رایج که از سولفات آلومینیوم استفاده می‌کنند، pH نهایی فاضلاب تصفیه شده با قوانین محیط زیستی مطابقت دارد و دیگر نیازی به مرحله خنثی سازی نمی‌باشد [۷]. بنابراین کاربرد لجن آنودایزینگ به عنوان انعقاد دهنده در تصفیه فاضلاب های شهری، به علت راندمان بالای آن روش مفیدی به نظر می‌رسد. براساس تجربیات به دست آمده ، میزان مصرف لجن آنودایزینگ سه برابر سولفات آلومینیوم مرسوم در فرآیند انعقاد فاضلاب شهری می‌باشد. حال باتوجه به قیمت‌های این مواد می‌توان صرفه اقتصادی حاصل از جایگزینی لجن آنودایزینگ به جای سولفات آلومینیوم را ملاحظه کرد :

جدول ۱. مقایسه قیمت سولفات آلومینیوم و لجن آنودایزینگ

ماده شیمیایی	قیمت هر کیلوگرم (ریال)
سولفات آلومینیوم	۲۵۰۰
جامد خشک (حاوی هیدروکسید آلومینیوم)	۱۵۰

در جدول (۱) مقایسه قیمت سولفات آلومینیوم و لجن آنودایزینگ ارایه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در جدول (۱)، قیمت ۳ کیلوگرم لجن آنودایزینگ ۴۵۰ ریال می‌باشد که در مقایسه با قیمت یک کیلوگرم سولفات آلومینیوم (۲۵۰ ریال) تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. بنابراین جایگزینی این ماده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود.

در کارخانه آبسکون سالیانه حدود ۱۲۰۰ تن لجن آنودایزینگ تولید می‌شود [۳]. خرید لجن آنودایزینگ به عنوان منعقدکننده ، برای تصفیه خانه های فاضلاب شهری مقرون به صرفه است، زیرا قیمت هر کیلوگرم سولفات آلومینیوم ۲۵۰۰ ریال است و باتوجه به اینکه به ازای هریک کیلو سولفات آلومینیوم باید سه کیلوگرم لجن آنودایزینگ مصرف نمایند قیمت سه کیلوگرم لجن آنودایزینگ ۴۵۰ ریال تمام می‌شود و بسیار کم تر از هزینه استفاده از سولفات آلومینیوم تمام می‌شود. سود حاصل به صورت زیر محاسبه می شود:

$$۲۵۰۰ \times (ریال) \times ۱,۲۰۰,۰۰۰ (کیلوگرم) \div ۳ = ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ (ریال)$$

$$۱۵۰ \times (ریال) \times ۱,۲۰۰,۰۰۰ (کیلوگرم) = ۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰ (ریال)$$

$$۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰ - ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۸۲۰,۰۰۰,۰۰۰ (ریال) سود حاصل$$

جدول ۲. خلاصه روشهای استفاده مجدد از ضایعات جامد در کارخانه آبسکون و برآورد اقتصادی آن

روش استفاده	قیمت سالیانه لجن آنودایزینگ (ریال)	قیمت معادل مواد مرسوم مورد استفاده (ریال)	سود ناشی از جایگزینی لجن (ریال)
تصفیه فاضلاب شهری	۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۲۰,۰۰۰,۰۰۰
آجرهای دیرگداز شومینه (شاموتی)	۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۸۰,۰۰۰,۰۰۰