

مروری بر صنعت آلومینیوم و مصرف انرژی در آن

متین خالقی، دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، M_khaleghi@sbu.ac.ir

سامان قاسمیان، استاد ناظر

◀ مقدمه:

آلومینیوم فلزی چند منظوره با کاربردهای گسترده است، از صنایع هوافضا و خودروسازی تا کالاهای مصرفی و بسته‌بندی. در این مقاله ضمن اشاره به فرآیند اصلی تولید آلومینیوم، به بررسی این صنعت از نقطه نظر مصرف انرژی، مقایسه تولیدکنندگان مطرح آن در جهان و پتانسیل موجود در کشور برای افزایش بهره‌وری تولید این فلز پر کاربرد و انرژی بر پرداخته می‌شود.

◀ روش تولید:

آلومینیوم اولین بار به صورت ناخالص توسط هانس کریستین اورستد تولید شد. نهایتاً امروزه تولید صنعتی آلومینیوم بر اساس پتنت‌های ثبت شده توسط چارلز مارتین هال در ایالات متحده آمریکا در ژوئیه 1886 و پل لوئیس توسن هرول در فرانسه در آوریل 1886 است. هر دو اصول مشابهی را برای تولید آلومینیوم توسعه دادند، بدین صورت که در این فرآیند با مصرف انرژی خیلی بالا، برای تولید فلز آلومینیوم، محلولی از آلومینا در مخلوط مذاب کریولیت (Na_3AlF_6) و کلسیم فلئوئورید (در دمای ۹۵۰ تا ۹۸۰ درجه سلسیوس) الکترولیز می‌شود. فلز آلومینیوم مذاب در کف مخزن انباشه شده و از آنجا تخلیه می‌شود. این فلز مذاب برای فرآوری بیشتر در آینده معمولاً در قالب‌های بزرگی ریخته می‌شود که به آن شمشال آلومینیوم می‌گویند. بعد ها کارل یوزف بایر فرآیندی را پیشنهاد داد که کاهش چشم‌گیری در مصرف انرژی و هزینه تولید آلومینیوم داشت و امروزه ضمن بعضی تغییرات، مورد استفاده‌ترین فرآیند در صنعت آلومینیوم است.

◀ صنعت آلومینیوم، پنجمین مصرف‌کننده بزرگ انرژی در جهان:

صنعت آلومینیوم یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی است و به نقل از IEA مطابق جدول 1 در پنجمین رده قرار داشته و حدود 2٪ از کل انرژی اولیه جهان در صنعت آلومینیوم مصرف می‌شود. به‌طور میانگین به ازای تولید هر تن آلومینیوم حدود 14MWh انرژی الکتریکی نیاز است که همین موضوع سبب شده هزینه‌های انرژی بخش قابل توجهی از هزینه‌های تولید کل این صنعت را تشکیل دهد.

جدول 1- پنج مصرف‌کننده بزرگ انرژی در جهان و سهم هریک از میزان مصرف انرژی

ردیف	صنعت	سهم از کل مصرف انرژی در جهان (%)
1	تولید و پالایش نفت و گاز	15
2	تولید فولاد و آهن	7
3	تولید مواد شیمیایی	5
4	تولید سیمان	3
5	تولید آلومینیوم	2

◀ 4 تولید کننده اصلی آلومینیوم در جهان

در سال 2021 حدود 68 میلیون تن آلومینیوم در جهان تولید شده است که سهم عمده‌ای از این تولید بر عهده چند کشور پیشرو در این صنعت بوده است. وضعیت چهار کشور اول به اختصار به شرح ذیل است:

1- چین

چین با تولید 40 میلیون تن آلومینیوم در سال 2022، بزرگترین تولید کننده اولیه آلومینیوم در جهان است. یکی از دلایل تولید این حجم از آلومینیوم، نیاز بالای این کشور به این فلز برای وسایل نقلیه، ساختمان و ساخت و ساز، الکترونیک و کالاهای مصرفی است. این کشور همچنین آلومینیوم را به شکل های نیمه ساخته بواسطه پتانسیل بالای حمل و نقل صادر می کند. برق مورد نیاز برای تولید آلومینیوم در چین عمدتاً از طریق سوخت زغال سنگ تأمین می شود.

2- هند

در جایگاه دوم هند به عنوان یکی دیگر از بزرگترین تولیدکنندگان آلومینیوم واقع در آسیا، 4 میلیون تن آلومینیوم اولیه در سال 2022 تولید کرد. تولید کالاهای مصرفی، حمل و نقل و بخش های ساختمانی تقاضای بالایی برای آلومینیوم ایجاد می کنند. بخش عمده برق مورد نیاز برای تولید اولیه آلومینیوم هند با سوخت زغال سنگ تأمین می شود.

3- روسیه

روسیه با تولید 3.7 میلیون تن آلومینیوم در سال 2022 (عمدتاً با استفاده از برق آبی) سومین کشور بزرگ تولید آلومینیوم اولیه است. RUSAL، مستقر در مسکو، دومین شرکت تولید کننده آلومینیوم اولیه در خارج از چین است.

4- کانادا:

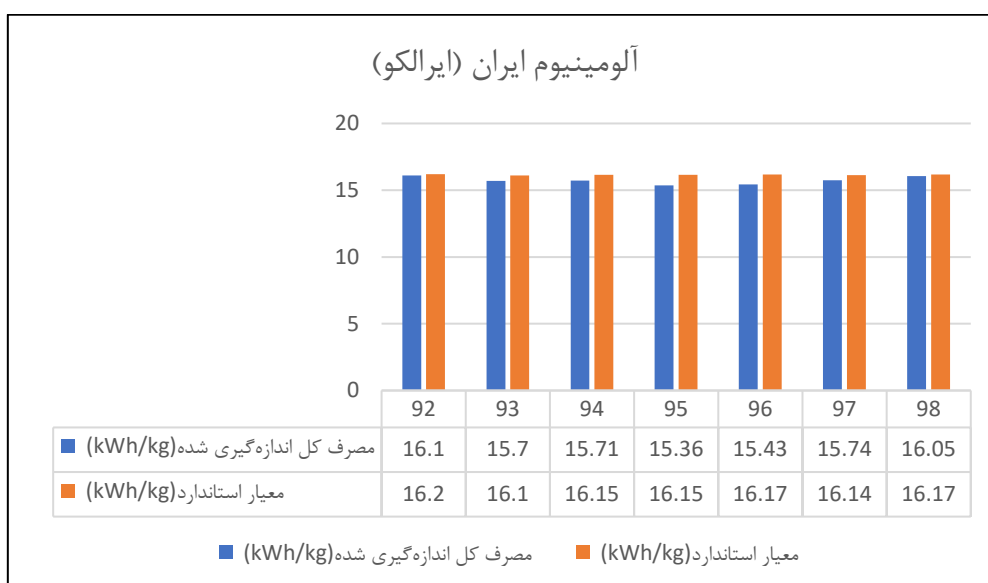
کانادا 3 میلیون تن آلومینیوم در سال 2022 تولید کرد. این کشور دارای 10 کارخانه ذوب اولیه آلومینیوم در سراسر کشور است که همگی در استان های کبک و بریتیش کلمبیا واقع شده اند.

◀ وضعیت تولید آلومینیوم در ایران

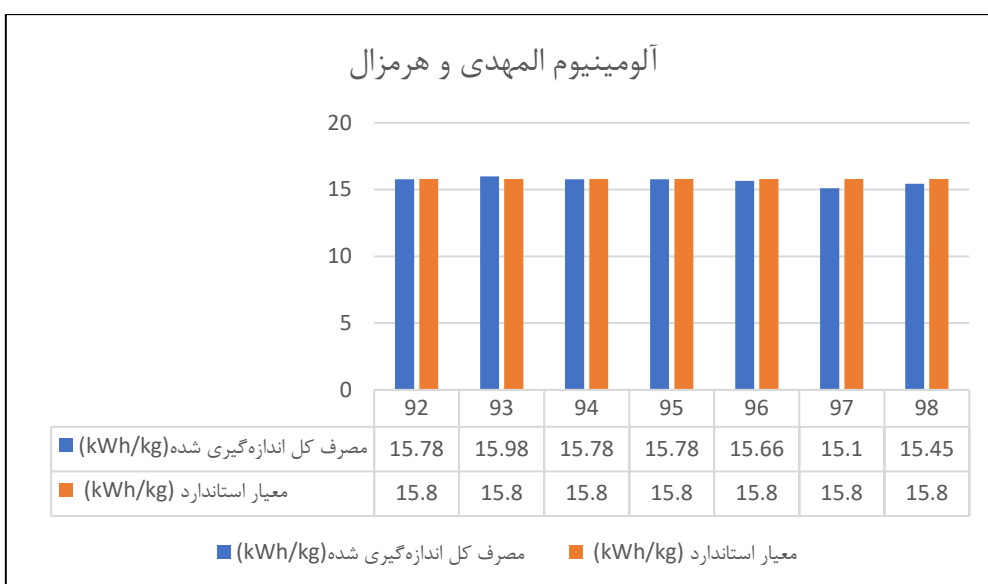
ظرفیت تولید آلومینیوم در ایران سالیانه ۷۰۰ هزار تن است. ایران در سه سال گذشته با بهره برداری از واحدهای جدید جایگاه خود را از بیست و یکم جهان به چهاردهم ارتقا داده است. البته خبرگذاری تهران تایمز جایگاه هجدهم دنیا را به ایران اختصاص داده است. همچنین ایران قصد دارد تا سال 1404 به تولید سالانه 1.5 میلیون تن شمش آلومینیوم برسد.

مقایسه مصرف انرژی و کارایی انرژی در صنعت آلومینیوم

مطابق آخرین گزارش‌ها براساس نمودارهای نشان داده شده در شکل 1 و 2 مقدار انرژی کل مصرف شده در شرکت آلومینیوم ایران (ایرالکو) در بازه سال‌های 92 تا 98 با معیار استاندارد جهان مطابقت داشته است. در شرکت‌های المهدی و هرمزال نیز بجز سال 93 در الباقی سال‌های مورد اشاره، مصرف انرژی به ازای تولید آلومینیوم با استاندارد تطابق داشته است. البته باید توجه داشت که به گفته موسسه بین‌المللی آلومینیوم مقدار میانگین انرژی مصرفی برای تولید هر کیلوگرم آلومینیوم در جهان حدود 14.8 kWh می‌باشد. که در آخرین بازنگری استاندارد مصرف انرژی برای تولید آلومینیوم در ایران این عدد با یک حدود قابل تغییر قرار است ملاک معیار مصرف قرار گیرد.



شکل 1- نمودار مصرف ویژه انرژی واحد آلومینیوم ایرالکو



شکل 2- نمودار مصرف ویژه انرژی واحد آلومینیوم المهدی و هرمزال

برخی راهکارهای عمده برای کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش بهره‌وری تولید آلومینیوم به شرح ذیل می‌باشند:

1- پتانسیل‌های قابل توجهی به منظور کاهش میزان مصرف انرژی در زنجیره تأمین و تولید آلومینیوم وجود دارد. برای مثال در گزارشی که به بررسی صنعت آلومینیوم سوئد پرداخته است، نشان داده شده که در صنعت آلومینیوم این کشور بهره‌گیری از فناوری‌های مقرون به صرفه و همچنین بکارگیری اصول مدیریت انرژی در مجموع می‌تواند 126 تا 185 گیگاوات ساعت در سال در واحدهای تولید و 8 تا 15 گیگاوات ساعت در سال در ریخته‌گری آلومینیوم سوئد صرفه جویی کند. مطابق نتایج ارائه شده در این پژوهش در صورتی که همین نتایج به ایران تعمیم داده شود می‌توان گفت در بهترین حالت امکان صرفه جویی سالانه 15 تا 20 درصد انرژی در شرکت‌های تولید آلومینیوم اولیه وجود دارد. کل میزان تولید آلومینیوم در کشور حدود 700 هزار تن است که در نتیجه می‌توان گفت این میزان صرفه جویی انرژی در ایران معادل با حدود 1750 گیگاوات ساعت انرژی در سال خواهد بود.

2- یکی دیگر از مهم‌ترین و متداول‌ترین راه‌های کاهش مصرف انرژی، تولید آلومینیوم از طریق بازیافت ضایعات آن است که تا 90 درصد انرژی کمتری نیاز دارد. البته تنها کارخانه‌ای که در ایران از این امکان بهره‌مند می‌باشد، کارخانه ایرالکو است که البته تنها 70 هزار تن از آلومینیوم کشور از این طریق تولید می‌شود. درحالی‌که در جهان حدود 75 درصد از آلومینیوم تولید شده از ابتدا تا کنون همواره بین مصرف و تولید در گردش بوده و از چرخه مصرف خارج نگردیده است.

3- یکی دیگر از راه‌های کاهش مصرف انرژی، استفاده از حرارت اتلافی در این صنعت است؛ به‌طوری‌که طبق مطالعه‌ای انجام شده در کانادا به ازای هر تن آلومینیوم تولیدی تا 0.57 مگاوات انرژی از طریق دود داغ خروجی از واحد تولید کننده تخریب انرژی¹ رخ داده است. اگرچه بازیابی انرژی از دود خروجی به علت اختلاف دمای به نسبت پایین دود خروجی با دمای محیط محدود بوده است.

4- استفاده از کلسینرهای بستر سیال نیز یکی دیگر از راهکارهایی است که می‌تواند تا 60 درصد مصرف انرژی را در مرحله فرآوری آلومینیوم و تا 15 درصد در کل فرآیند بایر کاهش دهد. هزینه سرمایه‌گذاری برای بکارگیری این گزینه تقریباً 20 یورو به ازای هر تن ظرفیت تولید آلومینیوم برآورد شده است.

محققان این حوزه معتقدند با وجود تقاضای رو به رشد این صنعت و اختلاف قابل توجه میان حداقل انرژی مورد نیاز برای تولید هر تن آلومینیوم و مقدار انرژی که در حال حاضر برای تولید هر تن آلومینیوم مصرف می‌شود، همچنان پتانسیل قابل توجهی برای مطالعه، بررسی و اعمال فناوری‌های جدید به منظور کاهش مصرف انرژی در صنعت آلومینیوم وجود دارد.

¹ Exergy destruction

◀ نتیجه‌گیری:

صنعت آلومینیوم از اوایل راه‌اندازی خود به شدت تحول یافته است و پیشرفت‌های اخیر در فناوری در حال ایجاد تغییرات قابل توجه در این صنعت هستند. آنچه که به‌نظر می‌رسد در وضعیت فعلی کشور ضروری باشد، کاهش میزان مصرف انرژی و افزایش تولید آلومینیوم از طریق افزایش بهره‌وری از طریق بکارگیری فناوری‌های جدیدتر و جایگزینی منابع انرژی مورد استفاده با منابع انرژی تجدیدپذیر و افزایش سهم بازیافت در سبد آلومینیوم تولیدی کشور است.