

## تعریف بازده جریان (Current Efficiency)

در هر فرایند الکترولیتی افت هایی وجود دارد که باعث می شوند محصول، کمتر از مقدار تئوری محاسبه شده توسط قانون فارادی باشد (وزنی از یک جسم که بعلت عبور جریان، در اثر الکترولیز تجزیه می شود (رسوب می کند، حل می شود، متصاعد می گردد و ...) با مقدار الکتریسته ای که از الکترولیت عبور می کند، متناسب می باشد). برای محاسبه این افتها یا اندازه گیری راندمان الکتروشیمیایی، مفهوم بازده یا راندمان جریان بصورت نسبت بین مقدار تولید اندازه گیری شده و مقدار تولید تئوری، بدست می آید:

$$\%CE = \frac{\text{مقدار تولید واقعی}}{\text{مقدار تولید نظری}} \times 100$$

$$\%CE = \frac{M_{AL}}{m_{AL}} \times 100$$

جرم نظری آلومینیوم تولید شده را می توان به روش زیر محاسبه کرد.

$$M_{AL} = 8.0538(F) \times I(KA) \times t(day) \times CE(\%)$$

$$M_{AL} = \text{جرم آلومینیوم تولید شده بر حسب کیلو گرم}$$

$$8.0538 = \text{ضریب ثابت فارادی}$$

$$I = \text{جریان الکتریکی بر حسب کیلو آمپر}$$

$$t = \text{زمان بر حسب روز}$$

$$CE = \text{راندمان آمپری بر حسب درصد}$$

در سلولهای صنعتی راندمان جریان در محدوده 85% تا 96% قرار دارد.

به عنوان مثال، برای دیگ D20 که در 230KA کار می کند، تولید نظری روزانه هر دیگ، عبارت خواهد

بود :

$$M_{AL} = 8.0538(F) \times I(KA) \times t(day) \times CE(\%)$$

$$M_{AL} = 8.0538(F) \times 230(KA) \times 1(day) \times 100(\%) = 1852.4KgAL$$

$$1852.4KgAL = \text{تولید روزانه هر دیگ با راندمان 100 درصد}$$

می دانیم که بازده جریان (CE) در دیگ D20، 95.5% است، بنابراین تولید واقعی روزانه را می توان با معادله زیر محاسبه کرد.

$$M_{AL} = 8.0538(F) \times I(KA) \times t(day) \times CE(\%)$$

$$M_{AL} = 8.0538(F) \times 230(KA) \times 1(day) \times \frac{95.5}{100}(\%) = 1769KgAL/Pot/day$$

$\Delta M_{AL}$  = که برابر است با 83 کیلو گرم به ازای هر دیگ در روز ، اختلاف بین بهروری واقعی (صنعتی) و نظری فناوری دیگ D20 در آمپراژ 230 کیلو آمپر و بازده جریان 95.5% است.

عوامل موثر بر تولید که معمولاً باعث کاهش راندمان جریان در فرایندهای صنعتی می شوند، عبارتند از :

عوامل موثر در کاهش راندمان جریان فرایندهای صنعتی			ردیف
جریان نشتی	5	واکنش برگشتی	1
آند افکت	6	نا خالصی در مواد اولیه	2
افت های فیزیکی	7	هدایت الکترونیکی	3
تبخیر و اکسیداسیون الکترولیت	8	اتصال کوتاه	4

دلیل اصلی کاهش راندمان جریان، واکنش برگشتی زیر است :



دو دلیل عمده بهبود راندمان در سالهای اخیر ، بهبود شیمی الکترولیت و کنترل فرایند است . هر چه دمای الکترولیت پایین تر باشد راندمان جریان بالا تری خواهیم داشت. زیرا باعث، کاهش حلالیت فلز و نفوذپذیری آن شده و کشش سطحی و دانسیته را افزایش می دهد. ولی دمای پایین، اثر نامطلوبی روی خواص فیزیکی و شیمیایی مانند قابلیت انحلال آلومینا و هدایت الکتریکی داشته و احتیاج به کنترل شدید دارد. لذا پایین آوردن نقطه ذوب الکترولیت و افزایش راندمان یکی از اهداف اصلی در صنعت آلومینیوم بوده که نقش موثری را در کاهش مصرف انرژی ایفاء می کند. کاهش نقطه ذوب الکترولیت و به تبع آن کاهش دمای عملیاتی دیگ به منظور افزایش راندمان جریان ارتباط مستقیم با تغییرات مطلوب در ترکیب الکترولیت دارد. یکی از راه های کاهش دمای عملیاتی دیگ افزودن نمکهای فلوریدی نظیر ALF3 به کریولیت می باشد.

با استفاده از الکترولیتهایی که بین 10 تا 12 درصد آلومینیوم فلوراید اضافه دارند . کنترل فرایند بهتر شده و راندمان جریان بالای 95 بدست می آید.

### تخمین مقدار افت بازده جریان در یک دیگ هال – هرولت

3-5%	واکنش برگشتی بین فلز و CO2
1% >	دیگر واکنشهای با فلز (با اکسیژن، کربن، ترکیبات الکترولیت با تبخیر و ...)
2% >	هدایت الکترونیکی، اتصالات کوتاه، مسیرهای جریان موازی
2% >	سیکل اکسیداسیون – احیاء ناخالصیهای $\frac{AL^+}{AL^{3+}}$
1% >	دیگر تلفات ، هنگام تخلیه فلز و موارد دیگر

**مقدار آلومینیومی که بصورت تئوری در فرایند هال – هرولت از عبور جریان در ساعت تولید می شود، توسط رابطه زیر بدست می آید :**

$$m_{AL} = \frac{I}{F} \times \frac{M}{n} \times t$$

$m_{AL}$  = مقدار فلز تولید تئوری بر حسب کیلو گرم است

$I$  = شدت جریان بر حسب کیلو آمپر ( $I=175$ )

$F$  = ثابت فارادی ( $F=96500$ ) بر حسب (Coulomb/Equivalent)

$$M = \text{جرم مولکولی آلومینیوم (} M=27 \text{)}$$

$$n = \text{تعداد الکترون های شرکت شده در واکنش احیاء آلومینیوم (} n=3 \text{)}$$

$$t = \text{زمان بر حسب ثانیه}$$

اگر جریان بمقدار 1KA از سل الکترولیز آلومینیوم عبور کند مقدار آلومینیومی که بصورت تئوری در 24 ساعت تولید می شود بصورت زیر محاسبه می شود:

$$m_{AL} = \frac{1}{96500} \times \frac{27}{3} \times 24 \times 3600 = 8.053 \text{ kg AL}$$

$$M_{AL} = 8.053(F) \times I(KA) \times t(\text{days}) \times CE(\%)$$

فرمول میزان آلومینیوم تولیدی بر حسب راندمان در روز

راندمان جریان طی 24 ساعت تولید از رابطه زیر بدست می آید:

$$CE\% = \frac{M_{AL}}{8.053 \times I} \times 100$$

$M_{AL}$  مقدار اندازه گیری شده آلومینیوم تولیدی بر حسب کیلو گرم در 24 ساعت است .

$I$  = جریان بر حسب کیلو آمپر

با جریان یک کیلو آمپر در 24 ساعت ، 8.05 کیلو گرم آلومینیوم با راندمان 100% تولید می شود اگر جریان 175KA باشد مقدار فلز تولید شده با راندمان 100% در 24 ساعت 1410 کیلو گرم آلومینیوم می شود.

$$M_{AL} = 8.053(F) \times I(KA) \times t(\text{days}) \times CE(\%)$$

$$M_{AL} = 8.053(F) \times 175(KA) \times 1(\text{days}) \times 100(\%) = 1410 \text{ KgAL/day}$$

در صورتی که با راندمان 90% با جریان یک کیلو آمپر در 24 ساعت، 7.24 کیلو گرم آلومینیوم تولید می شود اگر جریان 175KA باشد مقدار فلز تولید شده با راندمان 90 درصد 1268 کیلو گرم می شود.

$$M_{AL} = 8.053(F) \times 175(KA) \times 1(\text{days}) \times 90(\%) = 1268 \text{ KgAL/day}$$

اگر راندمان 91 درصد باشد 1283 کیلو گرم آلومینیوم در 24 ساعت با جریان 175 کیلو آمپر تولید می شود  
بازای هر یک درصد افزایش راندمان در هر دیگ خط یک بمدت 24 ساعت 14 کیلو گرم آلومینیوم بیشتر تولید می  
شود.

بازای هر یک درصد افزایش راندمان در هر دیگ خط دو بمدت 24 ساعت 18 کیلو گرم آلومینیوم بیشتر تولید می  
شود.

**تولید روزانه دیگ های هال - هرولت (به کیلوگرم) در آمپراژ و بازده جریان مختلف**

تولید روزانه فلز (Kg)										بازده جریان (%)
100%	96%	94%	92%	90%	88%	86%	84%	82%	80%	
805	772	756	740	724	708	692	676	660	644	100 (KA)
1006	966	946	926	905	885	865	845	825	805	125 (KA)
1208	1159	1135	1111	1087	1063	1039	1051	991	966	150 (KA)
1409	1352	1324	1296	1268	1240	1212	1184	1155	1127	175 (KA) المهدی
1610	1546	1513	1481	1449	1417	1384	1352	1320	1288	200 (KA) ایرالکو
1852	1778	1741	1704	1667	1630	1593	1559	1519	1482	230 (KA) هرمز آل
2415	2318	2270	2222	2174	2125	2077	2028	1980	1932	300 (KA)
3463	3324	3255	3186	3117	3047	2978	2908	2839	2770	430 (KA) طرح سالکو
4831	4638	4542	4445	4349	4252	4155	4059	3962	3865	600 (KA)

از عمده ترین پیشرفت های فنی، تکنولوژیکی در صنعت تولید آلومینیوم افزایش جریان برق (آمپراژ) و به تبع آن افزایش بازدهی تولیدی (راندمان) اهمیت افزایش آمپراژ به حدی است که عملاً معیار اندازه گیری برای میزان پیشرفتگی و مدرن بودن تکنولوژی های مختلف در این صنعت قرار گرفته است.

## میزان انرژی مصرفی به ازای هر کیلو آلومینیوم تولیدی از رابطه زیر محاسبه می شود

مصرف انرژی برای خط یک:

$$E = \frac{I \times V \times t}{M_{AL}} = \frac{175 \times 4.8 \times 24}{1269.139} = 15.88 \frac{kwh}{AL}$$

مصرف انرژی برای خط دو:

$$E = \frac{I \times V \times t}{M_{AL}} = \frac{230 \times 4.3 \times 24}{1759.6} = 13.48 \frac{kwh}{AL}$$

$E$  = میزان انرژی مصرفی بر حسب کیلو وات ساعت

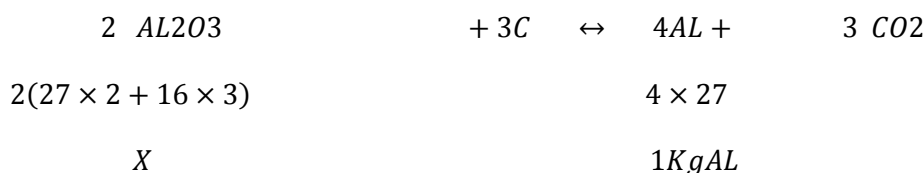
$I$  = شدت جریان بر حسب کیلو آمپر

$V$  = میانگین ولتاژ دیگ های پاتروم

$t$  = زمان بر حسب ساعت

$M_{AL}$  = میانگین فلز تولیدی در 24 ساعت

## میزان مصرف $AL_{2O3}$ به ازای یک کیلو گرم $AL$ تولیدی از لحاظ تئوری طبق واکنش زیر برابراست:

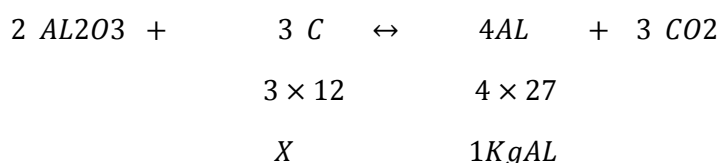


$$X = 1.88Kg AL_{2O3}$$

از لحاظ تئوری برای تولید یک کیلو گرم آلومینیوم، **1.88** کیلو گرم آلومینا مورد نیاز است ولی از لحاظ عملی بین

**2 - 1.92** کیلو گرم آلومینا مصرف می شود. (بستگی به نوع تکنولوژی و سیستم تغذیه دیگ دارد)

## میزان مصرف کربن به ازای یک کیلو گرم آلومینیوم تولیدی از لحاظ تئوری طبق واکنش بالا برابراست:



$$X = 0.333Kg C/1KgAL$$

از لحاظ تئوری برای تولید یک کیلو گرم آلومینیوم، **0.333** کیلو گرم کربن (آند) مورد نیاز است ولی از لحاظ عملی  
بین **0.420 - 0.460** کیلو گرم آند مصرف می شود

مصرف کریولیت به ازای هر تن آلومینیوم تولیدی 10 کیلو گرم می باشد.

مصرف آلومینیوم فلوراید برای سیستم تغذیه نقطه ای بین 16Kg به ازای هر تن آلومینیوم تولیدی می باشد. برای  
سنتر بریک 20Kg به ازای هر تن آلومینیوم تولیدی می باشد