



شبیه‌سازی نرم‌افزاری عملکرد مدار خردایش تر واحد نیمه‌صنعتی فرآوری

تیتانیوم کهنوج

رضا دهقان^{۱*}، امیر آرش رفیعی^۲، مهدی نصرآبادی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی دانشگاه تهران ایران، مهندسین مشاور کان‌آذین

۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشگاه شبروک کانادا، مهندسین مشاور کان‌آذین

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس ایران، مهندسین مشاور کان‌آذین

E-mail: mehdi_nassrabadi@yahoo.com, Amirarashr@yahoo.com

چکیده

مدارهای خردایش دارای جایگاه مهمی در واحدهای فرآوری مواد معدنی هستند دلیل این امر مصرف انرژی بالا، هزینه‌های قابل توجه و اهمیت رساندن مواد معدنی به ابعاد درجه آزادی می‌باشد. در واحد نیمه‌صنعتی فرآوری تیتانیوم کهنوج نیز یکی از بخش‌های مهم فلوشیت به مدار خردایش اختصاص یافته است. این موارد شامل آسیای میله‌ای و سرندهای ترومل^۱ می‌باشد.

در مطالعات اخیر سعی شد تا مدار خردایش تر واحد نیمه‌صنعتی کهنوج در ابتدا از نظر موازنه جرم^۲ شبیه‌سازی^۳ نرم‌افزاری شده و سپس با استفاده از نتایج نمونه‌برداری ظرفیت مؤثر هر یک از تجهیزات تعیین گردد. در نهایت پس از شناخت نقاط قوت و ضعف مدار و تغییرات عملکرد آن متناسب با افزایش ظرفیت تغییراتی در مدار حاصل شد تا علاوه بر افزایش ظرفیت خوراک‌دهی از ۸ به ۱۳ تن بر ساعت، شاخص‌های کارایی تجهیزات از محدوده بهینه خود خارج نشود. خوشبختانه تغییرات اعمال شده مؤثر واقع شد و در حال حاضر مدار خردایش تر واحد نیمه‌صنعتی کهنوج پس از افزایش ظرفیت، در محدوده کارایی مطلوبی فعال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، خردایش، سرد، موازنه جرم، شاخص‌های کارایی^۴، واحد نیمه‌صنعتی

کهنوج

* تهران، خیابان شریعتی، ابتدای خیابان سمیه، پلاک ۲۰، تلفن: ۷-۷۶۴۷۱۲۱

^۱ Trommel Screen

^۲ Mass Balance

^۳ Simulation

^۴ Efficiency Criteria



کلیات

واحد نیمه‌صنعتی فرآوری تیتانیوم کهنوج به عنوان اولین واحد تولید ایلمنیت کشور در استان کرمان واقع شده است. با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی کانسنگ ایلمنیت فرآیند فرآوری آن شامل مراحل کلی خردایش، جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی و جدایش الکتریکی می‌باشد. مرحله خردایش نیز به دو بخش خردایش خشک و تر قابل تفکیک می‌باشد. مطالعات اخیر در بخش خردایش تر متمرکز بوده است و هدف از آن تحلیل عملکرد مدار و تعیین ظرفیت بهینه هر یک از تجهیزات بوده است. همچنین ظرفیت خوراک ورودی واحد نیمه‌صنعتی کهنوج قبل از مطالعه ۸ تن بر ساعت بود و مقرر شده بود تا به ۱۳ تن بر ساعت افزایش یابد. در این راستا در ابتدا بر اساس فلوشیت مدار خردایش تر روش‌های مختلفی به منظور موازنه جرم بکار گرفته شد. پس از انتخاب بهترین روش مناسب موازنه جرم که مشتمل بر اصول پایه موازنه جرم، محاسبات کارائی و اعتبار سنجی داده‌ها بود. حداقل نقاط لازم برای نمونه‌برداری تعیین گردید. سپس پنج مرحله نمونه‌برداری در پنج ظرفیت مختلف بین ۸ تا ۱۴ تن بر ساعت انجام گرفت. در ادامه نتایج از سه دیدگاه شاخص‌های کارائی، موازنه جرم و دانه‌بندی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل ظرفیت مؤثر هر یک از تجهیزات تعیین گردید و قابلیت افزایش ظرفیت کل مدار ارزیابی شد [۱].

مدار خردایش تر واحد نیمه‌صنعتی کهنوج شامل آسیای میله‌ای و سه سرند ترومل در ابعاد جدایش مختلف می‌باشد. سرندهای ترومل نوعی از دستگاه‌های دانه‌بندی هستند که در صنایع فرآوری مواد معدنی متداول نیستند. مکانیزم عملکرد آنها بر مبنای استفاده از نیروی گریز از مرکز استوار می‌باشد. کاربرد اصلی این تجهیزات در صنایع بازیافت و غیر معدنی می‌باشد. در طراحی واحد نیمه‌صنعتی کهنوج این نوع سرندها در نظر گرفته نشده بود. اما در عمل به دلیل عدم تناسب سرند ارتعاشی طراحی شده و شرایط عملیاتی خاص از سرندهای ترومل به عنوان راه‌حل کوتاه‌مدت استفاده شده است. اما با توجه به کاربرد نتایج واحد نیمه‌صنعتی برای طراحی واحد صنعتی، لازم بود که عملکرد واقعی این سرندها در عمل مورد ارزیابی قرار گیرد. بنابراین یکی از اهداف اصلی مطالعات اخیر بررسی قابلیت کاربرد چنین سرندهایی در تغلیظ تیتانیوم بوده است [۱].

واحد نیمه‌صنعتی کهنوج

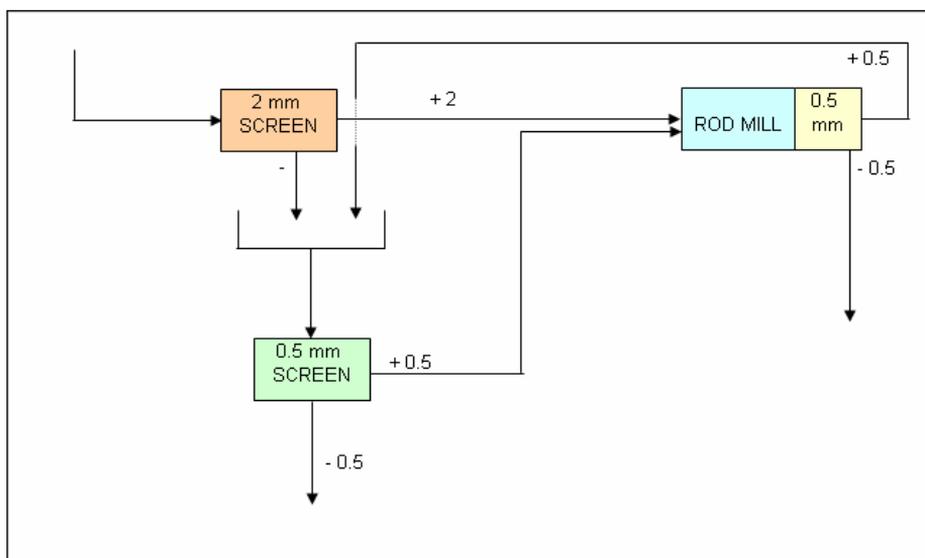
واحد نیمه صنعتی کهنوج واقع در استان کرمان و در ۲۵ کیلومتری جاده کهنوج- بندر عباس قرار دارد. هدف این واحد تولید کنسانتره ایلمنیت به عنوان محصول اصلی و تولید کنسانتره تیتانومینیت به عنوان محصول جانبی می‌باشد. در این واحد خوراک ورودی بعد از خردایش به ابعاد ۵۰۰ میکرون رسیده و وارد مرحله پریارسازی می‌گردد. در این مرحله روش‌های ثقلی، مغناطیسی و الکتریکی جهت تهیه کنسانتره ایلمنیت و تیتانومینیت استفاده شده و اسپیرالها، جداکننده‌های مغناطیسی شدت کم و شدت زیاد و



جداکننده‌های الکتریکی به کار گرفته می‌شوند. مدار خردایش به عنوان بخش ابتدایی این واحد نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد این واحد و بخش‌های بعد دارد [۱].

ساختار موازنه جرم

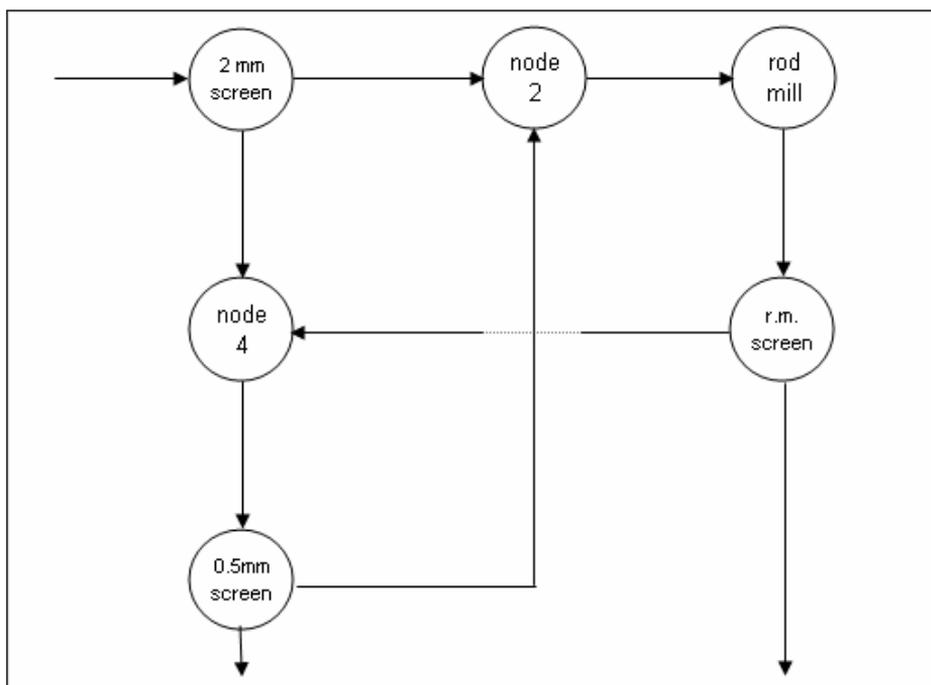
مدار خردایش تر واحد نیمه صنعتی کهنوج از یک آسیای میله‌ای، سه سرند ترومل و تجهیزات انتقال پالپ تشکیل شده است. هدف از طراحی این مدار خردایش کانسنگ تا ابعاد ۵۰۰ میکرون می‌باشد. ابعاد مورد نظر بر اساس مطالعات کانی‌شناسی فرآیند به عنوان ابعاد درجه آزادی کانی با ارزش تعیین شده است. در شکل ۱ فلوشیت واحد خردایش تر ارائه شده است. سرندهای ترومل در دو حد جدایش ۲ و ۰/۵ میلیمتر استفاده شده است و در نهایت محصول دانه‌ریز آنها به عنوان محصول نهایی واحد خردایش تر در نظر گرفته می‌شود. به منظور تعیین موازنه جرم مدار خردایش تر واحد نیمه‌صنعتی کهنوج از سه روش مختلف استفاده شد و در نهایت یکی از آنها به عنوان بهترین روش در نظر گرفته شد در این بخش اطلاعاتی پیرامون روش‌های مورد استفاده ارائه می‌گردد.



شکل ۱- فلوشیت مدار خردایش تر واحد نیمه‌صنعتی تیتانیوم کهنوج [۱]

الف - اصول موازنه جرم

در این روش از اصول موازنه جرم و محاسبات کلاسیک آن استفاده شد. در شکل ۲ ساختار موازنه جرم مدار خردایش تر ارائه شده است. براین اساس ۱۰ جریان مختلف قابل تفکیک می‌باشد. براساس روابط موجود حداقل تعداد نمونه لازم در شرایط اخیر ۷ نمونه می‌باشد. بنابراین ۷ نقطه از مدار که دارای قابلیت نمونه‌برداری بیشتری بود، نمونه‌برداری گردید و در نهایت پس از تشکیل ماتریس موازنه جرم محاسبات انجام شد. با توجه به شکل ۲ مشخص است که مدار خردایش تر واحد نیمه صنعتی کهنوج از گره‌های مختلفی تشکیل شده است که معادلات موازنه جرم برای هر یک از آنها به صورت جداگانه در نظر گرفته شده است. [۲]



شکل ۲- شبکه گره‌ای موازنه جرم مدار خردایش [۱]



ب - موازنه جرم و کارایی جدایش سرنند

در این روش از محاسبات پایه موازنه جرم در کنار نتایج محاسبات شاخص کارایی جدایش سرنند استفاده شد. به طوریکه شاخص کارایی جدایش سرنند نشان دهنده عملکرد واقعی سرنند می‌باشد. این شاخص حاصل ضرب شاخص کارایی جدایش ذرات بزرگتر در چشمه سرنند (E_1) شاخص کارایی جدایش ذرات کوچکتر از چشمه سرنند (E_2) می‌باشد [۱].

به عبارت دیگر E_1 نشان دهنده این واقعیت است که چند درصد از ذرات درشت‌تر از چشمه سرنند در خوارک سرنند، در محصول روی سرنندی باقی مانده‌اند و یا بالعکس E_2 نشان‌دهنده این است که چند درصد از ذرات کوچکتر از چشمه سرنند از چشمه سرنند در خوارک به محصول زیرسرنند منتقل شده‌اند. به طور معمول شاخص E_1 نزدیک به ۱۰۰ درصد می‌باشد و تنها در شرایطی که سرنند سوراخ شود، امکان کاهش آن فراهم می‌شود. اما برای کاهش ضریب E_2 دلایل مختلفی مانند کورشدگی چشمه‌های سرنند، عدم تناسب دبی خوارک‌دهی، مساحت سطح سرنند پیش‌بینی می‌شود. مقادیر شاخص‌های کارایی جدایش سرنند از روابط زیر قابل محاسبه است [۱]:

$$E_1 = (O_o/F_f) = (o(f-u))/(f(o-u)) \quad (1)$$

$$E_2 = (U(1-u))/(F(1-f)) = ((1-u)(o-f))/((1-f)(v-u)) \quad (2)$$

$$E = E_1 * E_2 = (o(f-u)(1-u)(o-f))/(f(o-u)^2(1-f)) \quad (3)$$

در روابط فوق U, O, F به ترتیب دبی وزنی جامد جریان‌های خوارک، روی سرنندی و زیرسرنندی و o, f, u به ترتیب درصد تجمعی ذرات بزرگتر از ابعاد دلخواه می‌باشد [۳]. با توجه به توضیحات فوق برای دو سرنند ۲ و ۵/۵ میلیمتر مقادیر شاخص کارایی جدایش محاسبه و سایر بخش‌ها براساس اصول موازنه جرم محاسبه گردید [۱].

ج - موازنه جرم و اعتبارسنجی داده‌ها

در این مرحله ساختار موازنه جرم و کارایی جدایش مانند مرحله قبل بود. اما عدم امکان نمونه‌گیری از خوارک سرنند ۵/۵ میلیمتر بعد از آسیا موجب شد تا معادلات موازنه جرم دیگری براساس نتایج دانه‌بندی جریان‌های $F_{\delta}, O_R, U_{\tau}$ در نظر گرفته شود. معادلات مورد استفاده به شرح زیر می‌باشد:

$$F_{\delta} = O_R + U_{\tau} \quad (4)$$

$$F_{\delta} * f_i = O_R * o_i + U_{\tau} * u_i \quad (5)$$



با توجه به اینکه مقدار U_r از گره مربوط به سرند ۲ میلیمتر قابل محاسبه است، معادلات دیگر به شرح زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$O_R = (U_r(u_i - f_i)) / (f_i - o_i) \quad (۶)$$

$$F_{\Delta} = O_R + U_r \quad (۷)$$

سایر جریان‌های مدار خردایش‌تر نیز با استفاده از محاسبات موازنه جرم و کرائی قابل محاسبه خواهند بود. اما همانطور که مشخص است امکان محاسبه رابطه بالا برای ابعاد مختلف دانه‌بندی وجود دارد. بنابراین در ابتدا با بررسی منابع توزیع دانه‌بندی جریان‌های F_{Δ}, O_R, U_r محدوده‌های ابعادی مشترک مشخص گردید، سپس برای کلیه داده‌های موجود در محدوده ابعادی مشترک محاسبات انجام گرفت. بدیهی است بر اساس هر سری از داده‌ها مقادیر متفاوتی برای جریان‌های مورد نظر حاصل شد. در این مرحله اعتبارسنجی داده‌ها انجام شد و داده‌هایی که اختلاف قابل توجه داشتند و به عبارت دیگر از نظر آماری قابل حذف می‌باشند، در محاسبه مقدار میانگین جریان‌ها در نظر گرفته نشدند. به عبارت دیگر فقط داده‌های معنی‌دار در محاسبه میانگین جریان‌ها به کار گرفته شدند. در نهایت مقدار میانگین محاسبه شده به عنوان مقادیر موازنه جرم جریان‌های فوق در نظر گرفته شده است. با استفاده از روش اعتبارسنجی داده‌های خارج از محدوده اعتبار حذف شده و مقدار میانگین با دقت مطلوب حاصل شد [۱].

سه روش موازنه جرم ارائه شده از نظر کاربرد مقایسه قرار گرفت. در روش اول بیشترین اتکا بر محاسبات تئوری موازنه جرم مشاهده می‌گردید و بالطبع کمترین تأثیرپذیری را از داده‌های واقعی حاصل از نمونه‌برداری داشت. متأسفانه به دلیل شرایط سخت نمونه‌برداری و تعداد کم داده‌های واقعی مؤثر، نتایج حاصل از این روش دارای اختلاف قابل توجهی با واقعیت بود. روش دوم در عمل امکان اجرا نیافت زیرا امکان نمونه‌برداری از ورودی سرند ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا به عنوان یک نقطه کلیدی در عمل میسر نگردید. بنابراین در عمل محاسبات آن نیازمند فرض کردن برخی شاخص‌ها بود که به منظور عدم دخالت خطای سیستماتیک این روش علی‌رغم قابلیت‌های مطلوب آن، به دلیل مشکلات عملیاتی در نظر گرفته نشد. در نهایت در روش سوم به عنوان مبنای محاسبات موازنه جرم مدار خردایش‌تر واحد نیمه‌صنعتی کهنوج در نظر گرفته شد که در جدول ۱ نحوه محاسبه هر یک از جریان‌ها ارائه شده است [۱].



جدول ۱- نحوه محاسبه هر یک از جریان‌های مدار خردایش تر [۱]

نحوه محاسبه	توضیحات	جریان	گره	
معادل با ظرفیت خوراک اولیه	خوراک سرند ۲ میلیمتر	F_2	سرند ۲ میلیمتر	
	محصول زیرسرندی ۲ میلیمتر	U_2		
	محصول روسرندی ۲ میلیمتر	O_2		
$E_{2-2mm} * F_2$	خوراک سرند ۰/۵ میلیمتر	$F_{.5}$	سرند ۰/۵ میلیمتر	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر		$U_{.5}$
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر		$O_{.5}$
$F_2 - U_2$	خوراک سرند ۰/۵ میلیمتر	F_R	سرند ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا		U_R
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا		O_R
$O_R + U_{.5}$	محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر	$F_{.5}$	سرند ۰/۵ میلیمتر	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر		$U_{.5}$
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر		$O_{.5}$
$F_{.5} - U_{.5}$	محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا	F_R	سرند ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا		U_R
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا		O_R
$O_2 + O_{.5}$	محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر	$F_{.5}$	سرند ۰/۵ میلیمتر	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر		$U_{.5}$
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر		$O_{.5}$
$F_2 - U_{.5}$	محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا	F_R	سرند ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا		U_R
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا		O_R
$(U_2 - (u-f)) / (f-o)$	محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر	$F_{.5}$	سرند ۰/۵ میلیمتر	
		محصول زیرسرندی ۰/۵ میلیمتر		$U_{.5}$
		محصول روسرندی ۰/۵ میلیمتر		$O_{.5}$

نتایج

الف- شاخص‌های کارایی جدایش ، ضریب نقص سرندی و نسبت (U/F)

در این بخش چهار عامل مورد بررسی قرار گرفته است. در درجه اول تغییرات شاخص کارایی جدایش کلی سرندها نسبت به ظرفیت خوراک‌دهی واحد نیمه صنعتی و در درجه دوم تغییرات شاخص اخیر نسبت به بار ورودی سرند مورد نظر. هدف از مطرح نمودن مورد دوم بررسی عملکرد سرندها از دیدگاه شاخص کارایی جدایش ، نسبت به بار ورودی آنها در ظرفیت‌های مختلف خوراک‌دهی واحد نیمه صنعتی کهنوج بوده است. عامل سوم شاخص نقص سرندی^۱ است که پارامتر مهمی در دستگاه‌های جداکننده ابعادی می باشد. این شاخص تا حد زیادی نشان دهنده عملکرد واقعی یک سرند می باشد. روش محاسبه آن ترسیمی بوده و بر اساس توزیع دانه بندی تجمعی خوراک، سرریز و ته‌ریز دستگاه جداکننده قابل محاسبه است. البته ذکر این نکته لازم است که تغییرات این شاخص به صورت خطی نمی باشد، به عبارت دیگر دو برابر شدن آن نشان دهنده دو برابر شدن افت عملکرد سرند نخواهد بود. مورد چهارم نسبت (U/F) است این شاخص نشان دهنده نسبت درصد وزنی محصول زیر سرندی به خوراک ورودی سرند می باشد. این شاخص به صورت ترکیبی با سایر شاخص‌های مورد بحث دارای اهمیت می باشد در جدول‌های (۲، ۳ و ۴) نتایج

^۱ -Imperfection Index



شاخص‌های کارائی، ضریب نقص سرندی و نسبت (U/F) در سرندهای مختلف و برای ظرفیت‌های متفاوت خوراک دهی واحد نیمه صنعتی ارائه شده است [۱].

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های مدار خردایش برای سرند ۲ میلیمتر در ظرفیت‌های مختلف [۱]

ظرفیت مدار (تن بر ساعت)	ضریب نقص	E(%)	E_1 (%)	E_2 (%)	U/F(%)
۸/۳	۰.۶۰	۳۰.۶۱	۱۰۰.۰۰	۳۰.۶۱	۱۶.۰۴
۱۰	۰.۱۴	۳۵.۸۲	۱۰۰.۰۰	۳۵.۸۲	۱۸.۵۷
۱۲	۰.۷۱	۴۳.۸۳	۱۰۰.۰۰	۴۳.۸۳	۲۲.۴۷
۱۴	۰.۴۲	۶۹.۵۸	۱۰۰.۰۰	۶۹.۵۸	۳۳.۳۳

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مدار خردایش برای سرند ۰/۵ میلیمتر در ظرفیت‌های مختلف [۱]

ظرفیت مدار (تن بر ساعت)	ضریب نقص	E(%)	E_1 (%)	E_2 (%)	U/F(%)
۸/۳	۰.۴۷	۷۱.۲۲	۹۲.۸۴	۷۶.۷۱	۵۹.۸۹
۱۰	۰.۳۹	۶۷.۶۹	۹۸.۴۰	۶۸.۷۹	۵۹.۲۷
۱۲	۰.۵۴	۳۰.۶۵	۹۹.۷۲	۳۰.۷۴	۲۱.۷۲
۱۴	۱.۰۷	۲.۷۵	۹۹.۹۸	۲.۷۵	۱.۸۲

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های مدار خردایش برای سرند متصل به آسیا در ظرفیت‌های مختلف [۱]

ظرفیت مدار (تن بر ساعت)	ضریب نقص	E(%)	E_1 (%)	E_2 (%)	U/F(%)
۸/۳	۰.۱۶	۷۹.۶۸	۹۸.۴۶	۸۰.۹۲	۷۴.۹۸
۱۰	۱.۱۷	۲۸.۶۲	۹۹.۷۵	۲۸.۶۹	۴۰.۰۵
۱۲	۰.۱۵	۸۴.۲۰	۹۸.۲۶	۸۵.۶۹	۷۹.۷۳
۱۴	۰.۴۶	۵۷.۴۳	۹۶.۶۶	۵۹.۴۱	۶۴.۲۳



نتایج در جدول (۲) نشان می‌دهد که در سرند ۲ میلیمتر روند صعودی در تغییرات شاخص کارایی جدایش وجود دارد. بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد که در سرند ۰/۵ میلیمتر شاهد عملکرد متفاوتی هستیم. بطوریکه در ظرفیت ۸/۳ تن بر ساعت شاهد بیشترین مقدار کارایی جدایش هستیم. این شاخص در ظرفیت ۱۴ تن بر ساعت تا حدود ۲ درصد کاهش می‌یابد بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که کارایی جدایش در سرند متصل به آسیا از ظرفیت ۸/۳ تا ۱۲ تن بر ساعت دارای یک روند تقریباً ثابت و تا حد کمی صعودی بین ۷۹-۸۴ درصد بوده است. اما در ظرفیت‌های بیشتر از ۱۲ تن شاهد نزولی شدن این روند هستیم، بطوریکه تا حدود ۵۷ درصد در ظرفیت ۱۴ تن بر ساعت کاهش یافته است. بررسی شاخص کارایی جدایش ذرات بزرگتر از حد جدایش (E_1) نشان دهنده عملکرد مطلوب سرندها از نظر جدا نمودن ابعادی ذرات بزرگتر از حد جدایش سرندها است و بررسی شاخص کارایی جدایش ذرات کوچکتر از حد جدایش (E_2) در سرندهای مدار خردایش تر نشان دهنده نوسانات زیادی می‌باشد. این شاخص در عمل نشان دهنده عملکرد سرند برای ذراتی است که از نظر دانه بندی کوچکتر از حد جدایش هستند. اما بخشی از آنها به دلایل مختلف امکان جدایش ابعادی را نیافته و به جای محصول زیرسرندهی به جریان روی سرندهی منتقل می‌گردند. این امر دارای دلایل زیادی مانند حجم زیاد دبی، کور شدن چشمه‌های سرنده، سرعت بیش از حد دوران سرند و موقعیت ورود خوراک به داخل سرند می‌باشد [۱].

با بررسی نتایج جدول ۲ شاهد کاهش ضریب نقص متناسب با افزایش کارایی جدایش کلی هستیم. این تناسب بطور کامل قابل توجیه است، زیرا در اثر افزایش کارایی جدایش باید از نظر تئوری شاهد کاهش ضریب نقص سرندهی باشیم. همچنین با بررسی نتایج ظرفیتهای ۸/۳ تن، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ تن بر ساعت، مشخص می‌شود که به جز ظرفیت ۱۰ تن بر ساعت، سایر نقاط دارای هماهنگی و تناسب مطلوبی هستند. به طوریکه شاهد کاهش ضریب نقص سرند ۲ میلیمتر با افزایش ظرفیت هستیم (از ۰/۶ به ۰/۴). بررسی نتایج سرند ۰/۵ در جدول ۳ نشان دهنده این واقعیت است که ضریب نقص سرند ۰/۵ میلیمتر متناسب با افزایش ظرفیت، بیشتر شده است. در مورد سرند متصل به آسیا نیز نتایج مشابه موارد اشاره شده در بخش شاخص کارایی جدایش کلی می‌باشد [۱].

نتایج جدول ۲ نشان دهنده افزایش نسبت (U/F) در سرند ۲ میلیمتر از ۱۶ به ۳۳ درصد می‌باشد. این امر نیز متناسب با تغییرات شاخص‌های ضریب نقص سرندهی و کارایی جدایش بوده است. بنابراین این نسبت در سرند ۲ میلیمتر دارای روند صعودی بوده است. بررسی نتایج سرند ۰/۵ میلیمتر نشان می‌دهد که متناسب با کاهش عملکرد سرند، مقادیر شاخص (U/F) نیز کاهش یافته است. به طوریکه از ۳۸ درصد تا ۱/۸ درصد در ظرفیت ۱۴ تن بر ساعت کاهش یافته است بررسی نتایج سرند متصل به آسیا نشان دهنده نوسانات زیادی است و به تنهایی قابل تحلیل نمی‌باشد. اما با در نظر گرفتن تغییرات سایر متغیرها می‌توان مشاهده نمود که نتایج حاصل در بخش‌های قبلی برای سرند متصل به آسیا، در این بخش نیز تکرار می‌شود [۱].



ب- موازنه جرم

نتایج مربوط به موازنه جرم مدار در حالت های مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. در جدول ۶ اطلاعاتی پیرامون درصد وزنی هر یک از جریان ها ارائه شده است. مبنای این محاسبه ظرفیت خوراک ورودی واحد نیمه صنعتی است. به عبارت دیگر درصد وزنی هر یک از جریان ها نسبت به ظرفیت ورودی واحد نیمه صنعتی در جدول ۶ ارائه شده است. در جدول ۷ اطلاعاتی پیرامون تغییرات درصد وزنی جریان های مختلف مدار خردایش تر نسبت به مقادیر پیش بینی شده، انجام شده است [۱].

با توجه به این که واحد نیمه صنعتی کهنوج در زمان انجام مطالعات در محدوده ظرفیت (۷ تا ۱۰) تن بر ساعت فعال بوده است، ظرفیت های ۸ و ۸/۳ تن بر ساعت که در دو مرحله زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند، به عنوان مبنای محاسبات جدول های ۷ و ۸ در نظر گرفته شده اند. به عنوان مثال در جدول ۷ که بر مبنای ظرفیت پایه ۸ تن می باشد، درصد وزنی خوراک سرند ۰/۵ میلی متر در ظرفیت ۱۰ تن بر ساعت، ۱۹۴ درصد نسبت به مقدار پیش بینی شده در ظرفیت ۸ تن بر ساعت (البته با در نظر گرفتن عامل افزایش ظرفیت)، بوده است [۱].

توجه به این نکته لازم است که اگر یک کارخانه قابلیت فعالیت مطلوب در یک محدوده ظرفیت خوراک دهی معین را داشته باشد، نوسانات درصد وزنی هر جریان باید تا حد زیادی تابعی از افزایش یا کاهش ظرفیت باشد. البته نوسانات جزئی هم در عمل به این تغییرات اضافه می گردد. اما در عمل عامل اصلی فاکتور نوسانات ظرفیت خواهد بود. به عبارت دیگر درصد وزنی هر جریان در حالت ثانویه باید تا حد زیادی معادل مقدار اولیه در نسبت نوسانات ظرفیت خوراک دهی مدار باشد. هدف از مطرح نمودن موارد فوق پاسخ به این پرسش است که کدام یک از دستگاه های موجود در مدار خردایش تر دارای انعطاف پذیری بیشتری با افزایش ظرفیت هستند. نتایج این محاسبات در جدول های ۷ و ۸ ارائه شده است [۱].

جدول ۵- نتایج موازنه جرم جریان های مدار خردایش تر در ظرفیت های مختلف خوراک ورودی [۱]

ظرفیت	F_r	U_r	O_r	F_{Δ}	U_{Δ}	O_{Δ}	F_R	U_R	O_R
۸	۸,۰۰	۳,۱۴	۴,۸۶	۳,۶۶	۱,۳۹	۲,۲۷	۷,۱۳	۶,۶۱	۰,۵۲
۸,۳	۸,۳۰	۱,۳۳	۶,۹۷	۳,۴۲	۲,۰۵	۱,۳۷	۸,۳۴	۶,۲۵	۲,۰۹
۱۰	۱۰,۰۰	۱,۸۶	۸,۱۴	۸,۹۲	۵,۲۸	۳,۶۳	۱۱,۷۷	۴,۷۲	۷,۰۶
۱۱,۳	۱۱,۳۰	۵,۲۰	۶,۱۰	۱۴,۷۳	۱۱,۳۰	۳,۴۳	۹,۵۳	۰,۰۰	۹,۵۳
۱۲	۱۲,۰۰	۲,۷۰	۹,۳۰	۵,۴۵	۱,۱۸	۴,۲۶	۱۳,۵۷	۱۰,۸۲	۲,۷۵
۱۴	۱۴,۰۰	۴,۶۷	۹,۳۳	۱۲,۳۴	۰,۲۲	۱۲,۱۱	۲۱,۴۵	۱۳,۷۸	۷,۶۷



جدول ۶- تغییرات درصد وزنی جریان‌های مدار خریدایش تر نسبت به ظرفیت خوراک ورودی [۱]

ظرفیت	F_T	U_T	O_T	$F_{.5}$	$U_{.5}$	$O_{.5}$	F_R	U_R	O_R
۸	۱۰۰,۰۰	۳۹,۲۴	۶۰,۷۶	۴۵,۷۵	۱۷,۴۲	۲۸,۳۴	۸۹,۱۰	۸۲,۵۸	۶,۵۱
۸,۳	۱۰۰,۰۰	۱۶,۰۴	۸۳,۹۶	۴۱,۱۸	۲۴,۶۶	۱۶,۵۲	۱۰۰,۴۷	۷۵,۳۴	۲۵,۱۴
۱۰	۱۰۰,۰۰	۱۸,۵۷	۸۱,۴۳	۸۹,۱۶	۵۲,۸۵	۳۶,۳۲	۱۱۷,۷۵	۴۷,۱۵	۷۰,۵۹
۱۱,۳	۱۰۰,۰۰	۲۲,۴۷	۷۷,۵۳	۴۵,۳۹	۹,۸۶	۳۵,۵۳	۱۱۳,۰۶	۹۰,۱۴	۲۲,۹۲
۱۲	۱۰۰,۰۰	۳۳,۳۳	۶۶,۶۷	۸۸,۱۳	۱,۶۰	۸۶,۵۳	۱۵۳,۲۰	۹۸,۴۰	۵۴,۸۰
۱۴	۱۰۰,۰۰	۴۶,۰۵	۵۳,۹۵	۱۳۰,۳۹	۱۰۰,۰۰	۳۰,۳۹	۸۴,۳۴	۰,۰۰	۸۴,۳۴

جدول ۷- تغییرات درصد وزنی جریان‌های مدار خریدایش تر نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده بر مبنای ظرفیت

۸ تن بر ساعت خوراک ورودی واحد نیمه‌صنعتی [۱]

ظرفیت	F_T	U_T	O_T	$F_{.5}$	$U_{.5}$	$O_{.5}$	F_R	U_R	O_R
۸	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰
۸,۳	۱۰۰,۰۰	۴۰,۸۸	۱۳۸,۱۷	۹۰,۰۱	۱۴۱,۶۲	۵۸,۲۹	۱۱۲,۷۷	۹۱,۲۲	۳۸۵,۸۹
۱۰	۱۰۰,۰۰	۴۷,۳۳	۱۳۴,۰۱	۱۹۴,۸۹	۳۰۳,۴۷	۱۳۸,۱۶	۱۳۲,۱۵	۵۷,۰۹	۱۰۸۳,۶۸
۱۱,۳	۱۰۰,۰۰	۵۷,۲۶	۱۲۷,۶۰	۹۹,۳۱	۵۶,۶۲	۱۲۵,۳۸	۱۲۶,۸۹	۱۰۹,۱۵	۳۵۱,۸۸
۱۲	۱۰۰,۰۰	۸۴,۹۴	۱۰۹,۷۲	۱۹۲,۶۳	۹,۲۰	۳۰۵,۳۵	۱۷۱,۹۴	۱۱۹,۱۵	۸۴۱,۲۵
۱۴	۱۰۰,۰۰	۱۱۷,۳۶	۸۸,۷۹	۲۸۴,۹۸	۵۷۴,۲۲	۱۰۷,۲۳	۹۴,۶۵	۰,۰۰	۱۲۹۴,۶۴

جدول ۸- تغییرات درصد وزنی جریان‌های مدار خریدایش تر نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده بر مبنای ظرفیت

۸/۳ تن بر ساعت خوراک ورودی واحد نیمه‌صنعتی [۱]

ظرفیت	F_T	U_T	O_T	$F_{.5}$	$U_{.5}$	$O_{.5}$	F_R	U_R	O_R
۸,۳	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۰۰
۱۰	۱۰۰,۰۰	۱۱۵,۷۶	۹۶,۹۹	۲۱۶,۵۲	۲۱۴,۲۸	۲۱۹,۸۷	۱۱۷,۱۹	۶۲,۵۹	۲۸۰,۸۳
۱۱,۳	۱۰۰,۰۰	۱۴۰,۰۶	۹۲,۳۵	۱۱۰,۲۳	۳۹,۹۸	۲۱۵,۱۲	۱۱۲,۵۳	۱۱۹,۶۵	۹۱,۱۹
۱۲	۱۰۰,۰۰	۲۰۷,۷۶	۷۹,۴۱	۲۱۴,۰۱	۶,۵۰	۵۲۳,۸۹	۱۵۲,۴۸	۱۳۰,۶۱	۳۱۸,۰۰
۱۴	۱۰۰,۰۰	۲۸۷,۰۵	۶۴,۲۶	۳۱۶,۶۲	۴۰۵,۴۶	۱۸۳,۹۷	۸۳,۹۴	۰,۰۰	۳۳۵,۵۰

بررسی جدول های ۵ و ۶ نشان دهنده عدم توزیع یکنواخت سهم هر یک از جریان ها در ظرفیت های مختلف تولید است. البته در عمل این انتظار وجود ندارد که اگر به عنوان مثال یک جریان خاص در ظرفیت اولیه ۱۰ درصد را به خود اختصاص داده باشد، در سایر موارد نیز این درصد معین ثابت بماند. اما اگر این



تغییرات به گونه ای باشد که دچار نوسانات زیاد شود و با ضریب تغییر ظرفیت ورودی هم تناسب نداشته باشد، باید دلیل اصلی نوسانات را عدم انعطاف پذیری دستگاه مورد نظر با تغییرات ظرفیت در نظر گرفت [۱].

با بررسی نتایج جدول ۶ مشخص گردید که درصد وزنی جریان های ورودی و خروجی سرند ۲ میلیمتر در اثر افزایش ظرفیت دچار نوسانات طبیعی بوده است. به طوری که برای جریان زیر سرند ۲ میلیمتر از ۱۶ تا ۳۹ درصد و برای جریان روی سرندی از ۶۰ تا ۸۳ درصد محاسبه شده است. اما در نقطه مقابل برای سرند ۰/۵ میلیمتر این تغییرات در هر سه جریان بسیار زیاد بوده است. توجه این مسئله این است که سرندهای ۰/۵ میلیمتر و متصل به آسیا در بخش های میانی مدار قرار گرفته و بالطبع نوسانات بیشتری را تحمل می نمایند. اما با مقایسه نتایج دو سرند ۰/۵ میلیمتر و متصل به آسیا، نتایج سرند ۰/۵ میلیمتر دارای نوسانات بیشتری بوده است. لازم به ذکر است که عملکرد نامطلوب سرند ۰/۵ میلیمتر در ظرفیت های بالا پیش از این در بخشهای قبلی نیز مورد اشاره قرار گرفت. بررسی نتایج جدول های ۷ و ۸ و شکل های مرتبط با آن نشان می دهد که سرند های سه گانه به دلیل عملکرد های متفاوتی که در اثر افزایش ظرفیت داشته اند، موجب ایجاد نوسانات بسیار زیادی شده اند [۱].

نتیجه گیری

در مطالعات مدار خردایش تر واحد نیمه صنعتی کهنوج از دیدگاه های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد تجهیزات مختلف این مدار نسبت به تغییرات ظرفیت متفاوت بوده است. به طوری که سرند ۲ میلیمتر گردان نسبت به افزایش ظرفیت دارای انعطاف پذیری بیشتری بوده است. از طرف دیگر حد نهایی ظرفیت خوراک دهی سرند ۰/۵ میلیمتر حدود ۱۰ تن بر ساعت می باشد. در مورد سرند ۰/۵ میلیمتر بعد از آسیا نیز ذکر این نکته لازم است که با وجود بیشتر بودن ظرفیت خوراک دهی مؤثر آن نسبت به سرند ۰/۵ میلیمتر، در ظرفیت های بالا شاهد روند نزولی کارائی هستیم. البته برخی از مشکلات سرند بعد از آسیا به دلیل عدم کارکرد مناسب سرند ۰/۵ میلیمتر بوده و بالطبع در صورت اصلاح عملکرد سرند ۰/۵ میلیمتر بار کمتری وارد سرند بعد از آسیا خواهد شد.

در نهایت با در نظر گرفتن کلیه نتایج و با توجه به این واقعیت که هدف اصلی از انجام مطالعات افزایش ظرفیت مدار خردایش تر بود، تنها راه حل افزایش مدار تعبیه دو سرند ۰/۵ میلیمتر دیگر در نظر گرفته شد. در نتیجه این امر کلیه دستگاه ها در محدوده ظرفیت مؤثر خود فعالیت نموده و کارائی جدایش ابعادی در حد قابل قبولی خواهد بود. این تغییرات در حال حاضر در واحد نیمه صنعتی کهنوج اعمال شده و نتایج حاصل از آن بعد از افزایش ظرفیت مطلوب بوده است.



فهرست منابع

- [۱]- ارزیابی عملکرد بخش خردایش تر واحد نیمه صنعتی تیتانیوم کهنوج (۱۳۸۳) شرکت مهندسی مشاور کان آذین.
- [۲]- بنیسی، صمد، (۱۳۸۰)، "موازنه جرم در سیستم‌های فرآوری مواد، چاپ اول، انتشارات دانشگاه هرمزگان.
- [۳]- نعمت‌اللهی، حسین، (۱۳۸۱)، "کانه‌آرایی"، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.