ارائه مدلی برای محاسبه سرمایه‌گذاری اولیه در احداث کارخانه‌های کانه‌آرایی سرب و روی

سید کاظم اورعی
استادیار

سید مرتضی اکبرزاده
کارشناس ارشد

بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه یکی از مهم‌ترین بخش‌های بررسی فنی و اقتصادی یک پروژه است. در این مقاله ابتدا کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی برای شانزده ظرفیت مختلف، طراحی و ماشین‌آلات و تجهیزات لازم برای این ظرفیت‌ها انتخاب شده است. سپس برای محاسبه قیمت تعدادی از ماشین‌آلات، که در کارخانه‌های کانه‌آرایی کانسنگ‌های سرب و روی به‌کار می‌روند، مدلی به شکل $Y=\exp(a + b . Ln(X))$ ارائه شده است که X مؤثرترین پارامتر در انتخاب دستگاه و Y قیمت آن دستگاه می‌باشد. با استفاده از این مدل‌ها و نتایج مرحله طراحی، میزان سرمایه‌گذاری لازم برای تهیه این دستگاه‌ها محاسبه شده که با جمع‌کردن این اعداد با مقادیر مورد نیاز برای نصب و راه‌اندازی ماشین‌آلات، هزینه احداث ساختمان‌های لازم و غیره، جمع میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای شانزده ظرفیت مزبور به‌دست آمده است. در خاتمه، با استفاده از نتایج فوق، مدل مناسبی برای تعیین میزان سرمایه‌گذاری اولیه در احداث کارخانه‌های کانه‌آرایی سرب و روی در ایران در ظرفیت‌های مختلف ارائه شده است. از مدل‌ها و روش‌های ارائه‌شده می‌توان در طراحی و بررسی‌های فنی و اقتصادی معادن سرب و روی استفاده کرد.

کلمات کلیدی

سرمایه‌گذاری ـ کارخانه کانه‌آرایی ـ سرب و روی ـ دستگاه‌های کانه‌آرایی ـ پارامتر مؤثر

Calculation of the Initial Capital Outlay for Lead and Zinc Processing Plants

K. Oraee
Assistant Professor

M. Akbarzadeh
M.Sc

Department of Mining Engineering,
Tarbiat Modares University

Abstract

Calculation of the initial capital is one of the primary requirements in the feasibility study of industrial projects. In this paper a typical processing plant has been designed for the feed capacity of 500 to 8000 tons per day in sixteen different steps. A mathematical model in the form of Y=exp(a+b.Ln(X)) has been devised that calculates the cost of some of the machines used in these different capacity plants. In all these models Y is the capital cost and X is the most important variable in choosing the machinery. The total capital cost of all these different capacity plants have been calculated by adding the construction make, building etc to the results obtained from these models. A mathematical model is then introduced that calculates the total initial capital requirement for sixteen different capacity lead and zinc processing plants. The methods adopted and the models introduced could be used in the design process of such plants and to evaluate the feasibility of such project.

Keyword

Capital Cost, Mineral Processing Plant, Lead & Zinc, Mineral Processing Equipment, Effective Parameter

مقدمه

استحصال فلزات از کانسنگ‌های آنها مستلزم حذف باطله‌های موجود در کانسنگ است که این همان مفهوم کانه‌آرایی می‌باشد. سرب و روی از جمله فلزات پرمصرف در صنایع هستند که ذخایر سرشاری از آنها در ایران شناسایی شده است. انجام فرایندهای کانه‌آرایی بر روی این کانسنگ‌ها باعث کاهش هزینه‌های بعدی استحصال فلز و ازدیاد ارزش افزوده محصول می‌گردد.

روش رایج برای کانه‌آرایی کانسنگ‌های سرب و روی، فلوتاسیون است که در این مقاله نیز مبنای محاسبات می‌باشد. به منظور محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم جهت احداث کارخانه فلوتاسیون سرب و روی، ابتدا باید کارخانه مناسب در ظرفیت‌های مختلف طراحی شود.

طراحی کارخانه و انتخاب ماشین‌آلات مورد نیاز

نخستین مرحله برای محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی در ظرفیت‌های مختلف، تعیین قیمت خرید کلیه ماشین‌آلات است. قیمت ماشین‌آلات بیش از هر چیز به ظرفیت آنها بستگی دارد. بدین منظور ابتدا با در نظرگرفتن شانزده ظرفیت مختلف (۵۰۰ تا ۸۰۰۰ تن در روز) برای کارخانه فلوتاسیون سرب و روی، ماشین‌آلات مناسب انتخاب می‌شوند.

برای انجام محاسبات طراحی، اندیس کار ماده معدنی (میزان انرژی لازم برای خردکردن یک تن ماده معدنی از ابعاد بی‌نهایت تا زیر صد میکرون) ۱۲/۵ کیلو وات ساعت بر تن، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی ماده معدنی بترتیب ۲/۵ و ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و توزیع دانه‌بندی مواد اولیه مطابق جدول ۱ در نظر گرفته می‌شود.

جدول (۱) توزیع دانه‌بندی مواد اولیه

درصد وزنی	ابعاد (میلی‌متر)
۷	+۶۰۰
۱۰	-۶۰۰ +۴۰۰
۱۸	-۴۰۰ +۲۰۰
۲۵	-۲۰۰ +۱۰۰
۲۰	-۱۰۰ +۵۰
۲۰	-۵۰

ماشین‌آلات لازم در یک کارخانه فلوتاسیون سرب و روی عبارتند از: سنگ‌شکن، فیدر، سرند، نوار نقاله، آسیا، هیدروسیکلون، آماده‌ساز، سلول فلوتاسیون، تیکنر، فیلتر و پمپ.

سنگ‌شکن

مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب مسیر سنگ‌شکن عبارتند از:

- قابلیت خردشدن کانه
- حداکثر ابعاد بار اولیه
- ابعاد محصول خردشده
- میزان ساینده‌گی مواد
- ظرفیت

ارائه یک روش واحد که برای هر نوع پروژه سنگ‌شکنی قابل استفاده باشد امکان‌پذیر نمی‌باشد و در هر حالت خاص سنگ‌شکن‌های مناسب با در دست داشتن عومل فوق‌الذکر و اطلاعات موجود در مورد هر یک آنها و کاربردشان انتخاب می‌شوند. برای تخمین قدرت لازم برای سنگ‌شکن‌ها معمولاً از قانون باند (Bond) استفاده می‌شود: $W = ۱۱W_i(\frac{۱}{\sqrt{P}} - \frac{۱}{\sqrt{F}})$

در این فرمول

W = توان لازم برای خردکردن یک تن کانسنگ

W_i = اندیس کار

P = ابعاد محصول

F = ابعاد خوراک

در مورد هر یک از سنگ‌شکن‌های موجود در مسیر، باید مشخص کرد که آن سنگ‌شکن در مسیر باز کار می‌کند یا بسته. دهانه ورودی سنگ‌شکن متناسب با درشت‌ترین قطعات موجود در بار اولیه تعیین می‌شود. این دهانه باید بنحوی انتخاب شود که بزرگ‌ترین قطعات بار ورودی مساوی یا کوچک‌تر از ۸۰ تا ۹۰ درصد آن باشند.

در کارخانه‌های کانه‌آرایی سرب و روی، عملیات سنگ‌شکنی در ظرفیت‌های بالا در سه مرحله انجام می‌شود. در اینجا نیز کارخانه طوری طراحی می‌شود که عملیات سنگ‌شکنی برای تمام ظرفیت‌ها، در سه مرحله انجام شود که مرحله سوم آن بصورت مدار بسته می‌باشد. از آنجا که سنگ‌شکن‌های فکی، نسبت به سنگ‌شکن‌های ژیراتوری، ساده‌تر و ارزان‌تر بوده، هزینه تعمیر و نگهداری آنها نیز کمتر است[۱] و نیز چون امکان ساخت آنها در داخل کشور وجود دارد، برای مرحله اول خردایش، سنگ‌شکن فکی انتخاب می‌شود. d_{80} (اندازه‌ای که هشتاد درصد مواد معدنی، ابعادی کوچک‌تر از آن دارند) بار ورودی به سنگ‌شکن فکی ۳۳۰ میلی‌متر است (جدول ۱). با درنظرگرفتن نسبت خردایش ۳ برای سنگ‌شکن فکی، d_{80} محصول خروجی از این سنگ‌شکن، برابر ۱۱۰ میلی‌متر خواهد شد. بنابراین اندازه دهانه خروجی سنگ‌شکن فکی، ۱۲۵ میلی‌متر درنظر گرفته شده [۱]، یک سرند (شبکه) با دهانه ۱۲۵ میلی‌متر نیز قبل از سنگ‌شکن فکی پیش‌بینی می‌شود.

در مرحله دوم خردایش، سنگ‌شکن مخروطی استاندارد، با محصول ۸۰ درصد زیر ۴۲ میلی‌متر، انتخاب می‌شود که قبل از آن، یک سرند با دهانه ۴۲ میلی‌متر نصب می‌شود.

در مرحله سوم خردایش از سنگ‌شکن مخروطی سرکوتاه استفاده می‌شود که با درنظرگرفتن میزان بار در گردش ۳۷/۵ درصد، با یک سرند ۱۹ میلی‌متری در مدار بسته کار می‌کند.

نتایج انتخاب سنگ‌شکن‌ها، بصورت خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، سنگ‌شکن‌های زیر مورد نیاز است:

- سنگ‌شکن فکی، با دهانه ۱۰۵۰ میلی‌متر و عرض فک ۱۲۰۰ میلی‌متر
- سنگ‌شکن مخروطی استاندارد، با اندازه ۱۶۵۰ میلی‌متر
- سنگ‌شکن مخروطی سر کوتاه، با اندازه ۲۱۰۰ میلی‌متر

زمان کار بخش سنگ‌شکنی، یک شیفت هشت ساعته درنظر گرفته می‌شود که با درنظرگرفتن ضریب دسترسی هفتاد و پنج درصد، معادل شش ساعت کار مداوم می‌باشد.

جدول (۲) مشخصات سنگ‌شکن‌های انتخاب شده.

سنگ‌شکن‌های انتخاب‌شده		مشخصات سنگ‌شکن‌ها بر حسب ظرفیت روزانه (تن)																			
		۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰		۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۶۰	۸۰۰۰
فکی	دهانه (mm)	۷۵۰	۷۵۰	۷۵۰	۷۵۰	۷۵۰	۹۰۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰		۱۴۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰
	عرض فک (mm)	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰		۱۸۰۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰
مخروطی استاندارد	اندازه (mm)	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۶۵۰	۱۶۵۰	۱۶۵۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰		۲۱۰۰	۱۶۵۰ (۱)	۱۶۵۰ (۱)	۱۶۵۰ (۱)
مخروطی سرکوتاه	اندازه (mm)	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۲۷۵	۱۶۵۰	۱۶۵۰	۲۱۰۰	۲۱۰۰	۱۶۵۰ (۱)	۱۶۵۰ (۱)	۱۶۵۰ (۱)		۲۱۰۰ (۱)	۲۱۰۰ (۱)	۲۱۰۰ (۱)	۲۱۰۰ (۱)

(۱): تعداد = ۲ دستگاه

فیدر

برای هدایت خوراک به سنگ‌شکن فکی از فیدر لرزان استفاده می‌شود. نکته مهم در انتخاب فیدر این است که عرض فیدر باید برابر عرض فک سنگ‌شکن باشد. آنگاه با توجه به ظرفیت، سطح مورد نیاز فیدر به‌دست می‌آید و فیدر مناسب انتخاب می‌شود. نتایج انتخاب فیدرها در جدول ۳ ارائه شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، فیدر

زیر مورد نیاز است:

ـ عرض فیدر: ۱/۲ متر

ـ طول فیدر: ۳/۵ متر

جدول (۳) مشخصات فیدرهای انتخاب شده.

مشخصات فیدر	مشخصات فیدرها بر حسب ظرفیت روزانه (تن)																	
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	۹۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰۰
عرض (متر)	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۸	۱/۸	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۲/۱
طول (متر)	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۵	۲/۲۵	۳	۲/۷۵	۳/۲۵	۳/۵	۳/۳۵	۳/۵	۴	۳/۷۵	۴/۲۵	۴	۴/۲۵	۴/۳۵	۴/۳۵	۴/۵

سرند

برای محاسبه ظرفیت واحد سرند از فرمول تجربی مولار (Mular) بصورت زیر استفاده می‌شود:

$$C = ۸/۱ \times a^{۰/۵۷}$$

که در آن

C = ظرفیت سرند برای واحد سطح ($t/h/m^2$)

a = دهانه سرند (mm)

این فرمول تجربی برای شرایط زیر قابل قبول است:

ـ میزان مواد بزرگ‌تر از دهانه سرند در بار اولیه معادل ۲۵٪ باشد.

ـ میزان مواد با ابعاد کوچک‌تر از نصف دهانه سرند معادل ۴۰٪ باشد.

ـ جرم مخصوص ظاهری ماده مورد نظر معادل kg/m^3 ۱۶۰۰ باشد.

ـ درصد دهانه سرند معادل ۵۰٪ باشد.

ـ ماده مورد نظر خشک و بدون چسبندگی باشد.

ـ چشمه‌های سرند مربع شکل باشد.

ـ شکل ذرات نزدیک به مکعب باشد.

ـ سرند یک طبقه باشد.

ـ بازدهی ماکزیمم مورد نظر ۹۰٪ باشد.

بدیهی است که در مورد بیشتر مواد، شرایط فوق صدق نمی‌کند و لذا برای محاسبه سطح سرند باید در هر مورد ضریب تصحیحی پیش‌بینی نمود.

با توجه به میزان بار ورودی به هر سنگ‌شکن، سطح مورد نیاز سرندی که دهانه آن برابر d_{80} محصول سنگ‌شکن مورد نظر باشد، محاسبه می‌گردد و آنگاه سرندهای مناسب انتخاب می‌شوند.

نتایج انتخاب سرندها، بصورت خلاصه در جدول ۴ درج شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، سرندهای زیر مورد نیاز است:

ـ سرند (شبکه) ۱۲۵ میلی‌متر، با سطح ۵/۰۴ متر مربع

ـ سرند ۴۲ میلی‌متر، با سطح ۱۲/۶ متر مربع

ـ سرند ۱۹ میلی‌متر، ۲ دستگاه، با سطح ۸/۶۴ متر مربع

جدول (٤) سطح مورد نیاز سرندها بر حسب متر مربع.

سرندها	سطح سرندها (متر مربع) بر حسب ظرفیت روزانه (تن)																	
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۸۰۰۰	۸۵۰۰	۹۰۰۰
سرند (شبکه) ۱۲۵ میلی‌متر	۱/۰۸	۱/۶۲	۲/۱۶	۲/۷	۳/۲۴	۳/۶	۴/۳۲	۵/۰۴	۵/۴	۶/۳	۶/۴۸	۷/۲	۷/۵۶	۸/۶۴	۸/۸۲	۱۰/۰۸	۱۱/۳۴	۱۲/۶
سرند ۴۲ میلی‌متر	۱/۶۲	۳/۲۴	۵/۰۴	۶/۳	۸/۶۴	۱۰/۰۸	۱۰/۱۸ .	۱۲/۶	۱۴/۴	۸/۶۴ (۱)	۸/۶۴ (۱)	۱۰/۰۸ (۱)	۱۰/۰۸ (۱)	۱۰/۱۸ (۱)	۱۱/۵۲ (۱)	۱۲/۶ (۱)	۱۲/۶ (۱)	۱۲/۶ (۱)
سرند ۱۹ میلی‌متر	۲/۱۶	۴/۳۲	۶/۴	۸/۶۴	۱۰/۸	۱۲/۶	۷/۵۶ (۱)	۸/۶۴ (۱)	۱۰/۰۸ (۱)	۱۰/۰۸ (۱)	۱۱/۵۲ (۱)	۱۲/۶ (۱)	۱۴/۴ (۱)	۱۰/۰۸ (۲)	۱۰/۸ (۲)	۱۰/۰۸ (۲)	۱۱/۵۲ (۲)	۱۲/۶ (۲)

(۱): تعداد = ۲ دستگاه (۲): تعداد = ۳ دستگاه

نوار نقاله

بـا درنظرگرفتـن مسـیرهای انـتقال، ابعاد درشت‌ترین ذرات مواد و ظرفیت هر مسیر (برحسب تن بر ساعت)، عرض مناسب نوارهای مورد نیاز انتخاب می‌شود.

نـتایج انـتخاب نوارها، بصورت خلاصه در جدول ۵ درج شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، نوارهای زیر مورد نیاز است:

- نوار بونکر اولیه به سنگ‌شکن فکی، ۲۵ متر با عرض ۱۳۵ سانتی‌متر
- نوار زیر سنگ‌شکن فکی، ۲۳ متر با عرض ۱۳۵ سانتی‌متر
- نوار زیر سنگ‌شکن مخروطی استاندارد، ۱۶ متر با عرض ۱۲۰ سانتی‌متر
- نوار سرند ۱۹ میلی‌متر به سنگ‌شکن مخروطی سرکوتاه، ۱۰ متر با عرض ۷۵ سانتی‌متر
- نوار زیر سنگ‌شکن مخروطی سرکوتاه ، ۱۰ متر با عرض ۷۵ سانتی‌متر
- نوار سرند ۱۹ میلی‌متر به بونکر آسیا ، ۴۰ متر با عرض ۷۵ سانتی‌متر
- نوار روی بونکرهای آسیا، ۱۱ متر با عرض ۷۵ سانتی‌متر
- نوار حمل مواد به آسیا، ۱۵ متر با عرض ۷۵ سانتی‌متر

جدول (۵) مشخصات نوارهای انتخاب‌شده.

موقعیت نوارها		مشخصات نوارهای انتخاب‌شده بر حسب ظرفیت روزانه (تن بر ساعت)															
		۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۸۰۰۰
بونکر اولیه به فکی	عرض (cm)	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۸۰
	طول (m)	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
زیر فکی	عرض (cm)	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۸۰
	طول (m)	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۵	۱۸	۱۸	۱۸	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
زیر مخروطی استاندارد	عرض (cm)	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۲۰	۱۲۰	۱۳۵	۱۳۵	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۸۰
	طول (m)	۱۳	۱۴	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶	۱۵	۱۶
سرند ۱۹ به مخروطی سرکوتاه	عرض (cm)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
	طول (m)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مخروطی سرکوتاه به سرند ۱۹	عرض (cm)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
	طول (m)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
سرند ۱۹ به بونکر آسیا	عرض (cm)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵
	طول (m)	۲۸	۳۱	۳۷	۴۰	۳۷	۳۷	۴۰	۴۰	۳۷	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
بالای بونکر آسیا	عرض (cm)	-	-	-	-	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۰۵
	طول (m)	-	-	-	-	۹/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۲۰	۲۰	۲۱	۲۲	۳۰	۳۱/۵	۳۱/۵	۳۳
بونکر به آسیا	عرض (cm)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
	طول (m)	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۵	۱۴	۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	۱۵	۱۵	۱۴	۱۵	۱۵	۱۵

آسیا

آسیاهای مورد نیاز در ظرفیت‌های مختلف بر مبنای این فرض‌ها انتخاب می‌شوند:

- اندیس کار ماده معدنی: ۱۲/۵ کیلو وات ساعت بر تن
- وزن مخصوص ماده معدنی: ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب
- ابعاد خوراک ورودی به مرحله آسیا: ۱۵ میلی‌متر (d_{80})
- ابعاد محصول مورد نیاز: ۷۵ میکرون (d_{80})
- روش آسیا کردن: تر

بـا توجـه بـه موارد فوق، عملیات آسیاکردن، در دو مرحله، ابتدا توسط آسیای میله‌ای و سپس با استفاده از آسیای گلوله‌ای انجـام مـی‌شـود. ابعاد محصول آسیای گلوله‌ای باید کوچک‌تر از ۷۵ میکرون باشد. بدین منظور این آسیا با هیدروسیکلون‌های ۲۵۰ میلـی‌مـتری در مدار بسته کار می‌کند. همچنین فرض می‌شود درجه آزادی بخش قابل توجهی از کانی‌های سرب و روی،

کمتر از ۷۵ میکرون باشد. این بخش از مواد باید تا ابعاد ریزتری خرد شوند. به همین منظور کنسانتره مرحله اسکونجر و باطله مرحله اول کلینر فلوتاسیون سرب، جهت خردایش تا ابعاد ۵۳ میکرون به آسیای گلوله‌ای خردایش مجدد سرب فرستاده می‌شود. کنسانتره مرحله اسکونجر و باطله مرحله اول کلینر فلوتاسیون روی نیز به منظور خردشدن تا ابعاد ۴۰ میکرون به آسیای گلوله‌ای خردایش مجدد روی پمپ می‌شود. هر یک از آسیاهای خردایش مجدد، با تعدادی هیدروسیکلون ۱۵۰ میلی‌متری در مدار بسته قرار می‌گیرند. سرریز هیدروسیکلون‌ها به مرحله رافر فلوتاسیون (سرب یا روی) و ته‌ریز به آسیا برگردانده می‌شود.

نتایج طراحی آسیاها در جدول ۶ آورده شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز آسیاهای زیر مورد نیاز است:

- آسیای میله‌ای، با قطر ۳/۱۵ متر
- آسیای گلوله‌ای، با قطر ۵/۲۵ متر
- آسیای خردایش مجدد سرب، با قطر ۲/۲۵ متر
- آسیای خردایش مجدد روی، با قطر ۳/۴۵ متر

جدول (٦) قطر آسیاهای انتخاب‌شده بر حسب متر.

نوع آسیا	قطر آسیا (متر) بر حسب ظرفیت روزانه (تن)														
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰	۷۵	۸۰۰
آسیای میله‌ای	۱/۶۵	۱/۹۵	۲/۴	۲/۷	۲/۷	۲/۸۵	۳/۱۵	۳/۳	۳/۴۵	۳/۶	۳/۶	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵
آسیای گلوله‌ای	۲/۸۵	۳/۴۵	۳/۹	۴/۳۵	۴/۶۵	۴/۹۵	۵/۳۵	۵/۵۵	۵/۷	۵/۸۵	۴/۹۵ (۱)	۵/۱ (۱)	۵/۲۵ (۱)	۵/۲۵ (۱)
آسیای مجدد سرب	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۶۵	۱/۶۵	۱/۹۵	۱/۹۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۴	۲/۵۵	۲/۵۵	۲/۵۵
آسیای مجدد روی	۱/۹۵	۲/۲۵	۳/۵۵	۲/۸۵	۳	۳/۱۵	۳/۴۵	۳/۶	۳/۷۵	۳/۹	۴/۰۵	۴/۰۵	۴/۲	۴/۳۵

(۱): تعداد = ۲ دستگاه

هیدروسیکلون

همان‌گونه که اشاره شد برای طبقه‌بندی ابعادی محصول آسیاهای گلوله‌ای، از هیدروسیکلون استفاده می‌شود. مبنای روش انتخاب هیدروسیکلون بر هیدروسیکلونی استوار است که بین ابعاد هندسی آن شامل قطر، سطح مقطع دهانه ورودی، دهانه سرریز، دهانه ته‌ریز و ارتفاع هیدروسیکلون نسبت‌های مشخصی برقرار باشد. چنین هیدروسیکلونی «هیدروسیکلون استاندارد» نامیده می‌شود. پارامتر مبنای هیدروسیکلون، قطر آن در بخش استوانه‌ای است. در تعیین اندازه و تعداد هیدروسیکلون مورد نیاز برای کاربردی مشخص، باید به دو پارامتر اصلی توجه کرد. یکی از این پارامترها حد جدایش و دیگری دبی حجمی بار اولیه‌ای است که باید طبقه‌بندی شود.

شرایط مبنا برای کار هیدروسیکلون استاندارد بشرح زیر است:

- بار اولیه
  - ذرات جامد، کروی شکل، جرم مخصوص $2650\ kg/m^3$
  - سیال همراه، آب در ۲۰ درجه سانتی‌گراد
- غلظت حجمی بار اولیه کمتر از ۱٪
- افت فشار ۶۶ Kpa

در طرح مسیرهای خردایش (آسیاکردن)، هدف تهیه محصولی (سرریز) است که دارای توزیع دانه‌بندی مشخصی باشد. این دانه‌بندی معمولاً بصورت درصد عبورکرده از دهانه‌ای خاص(بر حسب میکرون) بیان می‌شود. با در دست داشتن d_{50} می‌توان قطر هیدروسیکلون را با استفاده از معادله زیر به‌دست آورد:

$$D = 0/204(d_{50})^{1/675}$$

که در آن D قطر هیدروسیکلون بر حسب میلی‌متر است.

d_{50} به‌دست‌آمده، برای هیدروسیکلون استاندارد صادق است. برای هیدروسیکلون‌های غیر استاندارد و یا در شرایطی متفاوت با شرایط مبنا، باید از d_{50} (حد افزایش اصلاح‌شده) استفاده کرد که مقدار آن از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$d_{5_c} = d_{50}.F_1.F_2.F_3$$

که در آن F_1 و F_2 و F_3 ضرایب تصحیح هستند.

قطر هیدروسیکلون‌های مرتبط با آسیای گلوله‌ای اصلی ۲۵۰ میلی‌متر و قطر هیدروسیکلون‌های مرتبط با آسیاهای خردایش مجدد ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. جدول ۷ تعداد هیدروسیکلون‌های مرتبط با هر یک از آسیاها را با درنظرگرفتن ۲۰ درصد هیدروسیکلون اضافی نشان می‌دهد. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، هیدروسیکلون‌های زیر مورد نیاز است:

- هیدروسیکلون ۲۵۰ میلی‌متری: ۱۴ دستگاه
- هیدروسیکلون ۱۵۰ میلی‌متری برای آسیای خردایش مجدد سرب: ۹ دستگاه
- هیدروسیکلون ۱۵۰ میلی‌متری برای آسیای خردایش مجدد روی: ۲۰ دستگاه

جدول (۷) قطر هیدروسیکلون‌های انتخاب‌شده بر حسب میلی‌متر.

قطر هیدروسیکلون (میلی‌متر)	تعداد هیدروسیکلون‌ها بر حسب ظرفیت روزانه (تن)															
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰	۷۰۰۰	۵۰۰	۸۰۰۰
۲۵۰ میلی‌متر (آسیای اصلی)	۳	۴	۵	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۴	۱۵	۱۷	۱۸	۲۰	۲۲	۲۳	۲۴	۲۷
۱۵۰ میلی‌متر (آسیای سرب)	۲	۳	۴	۵	۶	۶	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۵۰ میلی‌متر (آسیای روی)	۳	۵	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۷	۲۰	۲۲	۲۴	۲۷	۲۹	۳۲	۳۴	۳۶	۳۹

آماده‌ساز

بیشتر معرف‌های شیمیایی برای تأثیرگذاری بر سطح کانی‌ها و انجام واکنش‌های لازم، نیازمند زمان (زمان ماند یا زمان آماده سازی) هستند. این شرایط معمولاً در آماده‌سازها فراهم می‌شود. مهم‌ترین عامل در انتخاب تانک‌های آماده‌ساز حجم آنهاست که به دبی پالپ و زمان ماند بستگی دارد: $V = Q . t$.

V: حجم تانک بر حسب متر مکعب

T: زمان ماند پالپ در تانک (زمان مورد نیاز بر حسب دقیقه)

Q: دبی پالپ بر حسب متر مکعب بر دقیقه

با درنظرگرفتن پالپی با ۲۵ درصد وزنی جامد و زمان ماند ۱۰ دقیقه، آماده‌سازهای مناسب انتخاب می‌شوند. نتایج انتخاب تانک‌های آماده‌ساز در جدول ۸ ارائه شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، ۶ دستگاه تانک آماده‌ساز (۳ دستگاه برای خط سرب و ۳ دستگاه برای خط روی) با حجم ۳۰ متر مکعب مورد نیاز است.

جدول (۸) مشخصات تانک‌های انتخاب‌شده.

مشخصات آماده‌سازها	مشخصات تانک‌های آماده‌ساز بر حسب ظرفیت روزانه (تن)															
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۸۰۰۰
حجم (مترمکعب)	۵/۷	۱۱	۱۹/۱	۱۱	۱۹/۱	۱۹/۱	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۴۵	۴۵	۳۰	۴۵	۴۵	۴۵
تعداد	۴	۴	۴	۸	۶	۸	۶	۶	۸	۸	۶	۶	۱۰	۸	۸	۸

سلول فلوتاسیون

طراحی بخش فلوتاسیون، با فرض انجام فلوتاسیون تفریقی کانی‌های سرب و روی صورت می‌گیرد. بدین معنی که ابتدا کانی سرب فلوته می‌شود و آنگاه باطله عملیات فلوتاسیون سرب به خط فلوتاسیون روی می‌رود. هر خط فلوتاسیون شامل سلول‌های رافر (اولیه)، اسکونجر (رمق‌گیر) و سه مرحله کلینر (شستشو) می‌باشد. کنسانتره رافر به کلینر اول، کنسانتره کلینر اول به کلینر دوم و کنسانتره کلینر دوم به کلینر سوم می‌رود. باطله کلینر سوم به کلینر دوم، باطله کلینر دوم به کلینر اول و

باطلـه کلیـنر اول به همراه کنسانتره اسکونجر به آسیای خردایش مجدد پمپ می‌شود. همچنین باطله اسکونجر سرب، خوراک خـط فلوتاسـیون روی و باطله اسکونجر روی، باطله نهایی کارخانه محسوب می‌شود. قبل از عملیات فلوتاسیون سرب، به منظور حذف مواد رسی و کربناته، یک مرحله شیل‌گیری نیز پیش‌بینی می‌شود.

تعداد و حجم سلول‌های قسمت‌های مختلف فلوتاسیون به این موارد بستگی دارد:

- دبی پالپ ورودی
- زمان ماند مواد
- حجم استاندارد سلول‌ها
- صرفه اقتصادی حجم بیشتر (و تعداد کمتر)، نسبت به تعداد بیشتر (و حجم کمتر) سلول‌ها

بـر مبـنای نتایج حاصل از طراحی کارخانه کانه‌آرایی ۳۰۰۰ تنی سرب و روی کوشک [۲] زمان ماند برای رافر و اسکونجر سرب هر کدام ۵/۵ دقیقه، کلینرهای سرب هر کدام ۳/۵ دقیقه، رافر و اسکونجر روی هر کدام ۳/۵ دقیقه و کلینرهای روی هر کدام ۲/۴۵ دقیقه، در نظر گرفته می‌شود.

نتایج انتخاب سلول‌های فلوتاسیون، در جدول ۹ خلاصه شده است. بعنوان مثال برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، سلولهای فلوتاسیون زیر مورد نیاز است:

- سلول‌های شیل‌گیری، ۱۰ دستگاه، با حجم ۴/۵ متر مکعب
- سلول‌های رافر و اسکنجر سرب و روی، ۳۰ دستگاه، با حجم ۹ متر مکعب
- سلول‌های کلینر سرب، ۲۱ دستگاه، با حجم ۱/۴ متر مکعب

سلول‌های کلینر روی، ۱۲ دستگاه، با حجم ۴/۵ متر مکعب

جدول (۹) حجم (متر مکعب) و تعداد سلول‌های بخش‌های مختلف فلوتاسیون

بخش‌های فلوتاسیون		حجم (متر مکعب) و تعداد سلول‌ها بر حسب ظرفیت روزانه (تن)															
		۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۵۰۰۰
شیل‌گیری	حجم	۱/۴	۲	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۴/۵	۴/۵	۶	۶	۶	۶	۷/۵	۷/۵	۷/۵
	تعداد	۴	۶	۵	۷	۹	۱۰	۹	۱۰	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۲
رافر و اسکونجر سرب و روی	حجم	۲	۳/۳	۴/۵	۶	۶	۶	۶	۹	۹	۹	۹	۱۱	۱۴	۱۴	۱۶	۱۶
	تعداد	۱۹	۲۲	۲۲	۲۲	۲۶	۳۰	۳۷	۳۰	۳۰	۳۴	۳۸	۳۴	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
کلینرهای سرب	حجم	۰/۲۱	۰/۶	۰/۶	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۲	۲/۸	۲/۸	۳/۳	۳/۳	۴/۵	۴/۵
	تعداد	۱۸	۱۲	۱۸	۱۱	۱۴	۱۵	۱۸	۲۱	۱۸	۱۸	۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴
کلینرهای روی	حجم	۰/۶	۱/۴	۲	۲/۸	۲/۸	۳/۳	۴/۵	۴/۵	۶	۶	۶	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
	تعداد	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۵	۱۵

تیکنر

بـه منظور آبگیری محصولات بخش‌های مختلف فلوتاسیون، چهار دستگاه تیکنر (تیکنر کنسانتره سرب، تیکنر میانی، تیکنر کنسانتره روی و تیکنر باطله) درنظرگرفته می‌شود. مهم‌ترین پارامتر انتخاب تیکنر، سطح مورد نیاز برای ته‌نشینی است. یکی از فرمول‌های ارائه‌شده برای پیداکردن سطح مورد نیاز تیکنر رابطه کو و کلیونجر(Co and Cliverger) است:

$$A = \frac{(F - D)W}{RS}$$

A: سطح تیکنر

F: نسبت وزنی مایع به جامد در خوراک ورودی به تیکنر

D: نسبت وزنی مایع به جامد در ته‌ریز تیکنر

W: دبی جامد ورودی به تیکنر بر حسب تن بر ساعت

S: وزن مخصوص پالپ بر حسب کیلوگرم بر لیتر

R: سرعت ته‌نشینی بر حسب متر بر ساعت

برای پیداکردن سرعت ته‌نشینی (R)، باید از آزمایش ته‌نشست استفاده کرد. در اینجا چون امکان انجام آزمایش وجود نداشته است از روش مقایسه استفاده شده و سطح مورد نیاز برای ته‌نشینی یک تن از هر یک از محصولات بصورت فرضی در نظر گرفته شده است:

- کنسانتره سرب: ۱۶ متر مربع
- باطله سرب: ۸ متر مربع
- کنسانتره روی: ۱۲ متر مربع
- باطله نهایی: ۶ متر مربع

نتایج انتخاب تیکنرها، در جدول ۱۰ ارائه شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، تیکنرهای زیر مورد نیاز است:

- تیکنر کنسانتره سرب، با قطر ۱۰ متر
- تیکنر میانی، با قطر ۴۱ متر
- تیکنر کنسانتره روی، با قطر ۱۷ متر
- تیکنر باطله، با قطر ۳۴ متر

جدول (۱۰) قطر تیکنرهای مورد نیاز بر حسب متر.

نوع تیکنر	قطر تیکنرها (متر) بر حسب ظرفیت روزانه (تن)																
	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۸۰۰۰
تیکنر سرب	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۴	۱۴
تیکنر میانی	۱۵	۲۱	۲۵	۲۹	۳۳	۳۶	۳۸	۴۱	۴۳	۴۶	۴۸	۵۰	۵۲	۵۴	۵۶	۵۸	
تیکنر روی	۶	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	
تیکنر باطله	۱۲	۱۷	۲۱	۲۴	۲۷	۲۹	۳۱	۳۴	۳۶	۳۷	۳۹	۴۱	۴۳	۴۴	۴۶	۴۷	

فیلتر

برای آبگیری نهایی هر یک از کنسانتره‌ها از فیلتر استوانه‌ای استفاده می‌شود. با درنظرگرفتن وزن کنسانتره‌های تولیدی (میزان جامد) و زمان کار دو شیفت (شانزده ساعت) در روز برای فیلترها، سطح مؤثر مورد نیاز فیلترها بدست می‌آید[۳].

نتایج انتخاب فیلترها، در جدول ۱۱ ارائه شده است. بعنوان مثال، برای یک کارخانه با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز، فیلترهای زیر مورد نیاز است:

- فیلتر کنسانتره سرب، با سطح ۱۸ متر مربع
- فیلتر کنسانتره روی، ۲ دستگاه، با سطح ۵۲ متر مربع

جدول (۱۱) سطح فیلترهای سرب و روی بر حسب متر مربع.

نوع فیلتر	سطح فیلتر (متر مربع) بر اساس ظرفیت روزانه (تن)																
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۸۰۰۰
فیلتر سرب	۳/۴	۴/۵	۶/۸	۱۰	۱۴	۱۴	۱۷	۱۸	۲۳	۲۳	۲۳	۲۷	۲۷	۲۹	۳۲	۳۴
فیلتر روی	۱۴	۲۷	۴۰	۵۲	۶۱	۷۵	۴۶*	۵۳*	۵۵*	۶۱*	۶۸*	۷۵*	۵۵**	۵۷**	۶۱**	۶۸**

*: تعداد = ۲ دستگاه **: تعداد = ۳ دستگاه

پمپ

در آخرین مرحله طراحی، با محاسبه میزان جریان آب یا پالپ در هر مسیر و با استفاده از اطلاعات شرکت‌های سازنده [۴]، پمپ‌های مناسب انتخاب می‌شوند. تعداد پمپ‌ها برای هر ظرفیت ۲۳ دستگاه و ارتفاع مورد نیاز پمپاژ ۳۵-۵ متر است. برای ۱۶ ظرفیت مورد نظر ۳۶۸ دستگاه پمپ انتخاب می‌شود که قدرت الکتروموتور آنها حداقل ۰/۷۵ و حد اکثر ۳۵۵ کیلووات می‌باشد.

محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه

میزان سرمایه‌گذاری اولیه از جمع‌کردن سرمایه مورد نیاز برای خرید ماشین‌آلات، نصب و راه‌اندازی آنها، احداث ساختمان‌ها و تأسیسات لازم و غیره به‌دست می‌آید.

قیمت خرید ماشین‌آلات

به منظور محاسبه قیمت خرید ماشین‌آلات (غیر از پمپ‌ها که با استفاده از کاتالوگ مربوط تعیین می‌شود)، با استفاده از اطلاعات موجود [۵] و پس از مشورت با سازنده [۶]، به وسیله نرم‌افزار Table Curve -که خروجی آن برازش توابع متعدد و مختلف بر روی نقاطی با مختصات معین می‌باشد ـ مدلی ارائه شده است که برای دستگاه‌های مورد استفاده در کارخانه‌های فلوتاسیون سرب و روی، فرمول عمومی این مدل، بصورت زیر می‌باشد:

$$Y = \exp (a + b . Ln (x))$$

در این مدل، X یکی از مؤثرترین پارامترها در انتخاب دستگاه، a و b اعداد ثابت و Y قیمت آن دستگاه (بر حسب میلیون ریال) می‌باشد. در جدول ۱۲ پارامتر X و مقادیر a و b برای ماشین‌آلات مورد نظر ارائه شده است. بعنوان مثال، قیمت خرید یک دستگاه آسیای میله‌ای با قطر ۳ متر برابر است با:

$Y = \exp (۵/۲۱۵۲ + ۲/۱۰۰۷ Ln (۳)) = ۱۸۵۰$ میلیون ریال

جدول (۱۲) پارامتر X و مقادیر a و b در مدل $Y = \exp (a + b . Ln (x))$ برای محاسبه قیمت دستگاه‌های کانه‌آرایی*

نام دستگاه	X	A	b
فیدر لرزان	سطح فیدر (متر مربع)	۵/۲۲۰۲	۰/۴۳۱۶
سرند لرزان	سطح سرند (متر مربع)	۲/۷۰۷۶	۰/۶۴۸۵
سنگ‌شکن فکی	مساحت دهانه ورودی (متر مربع)	۶/۵۳۲۳	۱/۱۴۵۰
سنگ‌شکن مخروطی	قطر تخلیه (متر)	۵/۹۹۹۰	۱/۷۳۲۹
نوار نقاله**	عرض نوار (سانتی‌متر)	-۵/۲۳۴۹	۱/۵۳۷۰
آسیای میله‌ای	قطر (متر)	۵/۲۱۵۲	۲/۱۰۰۷
آسیای گلوله‌ای	قطر (متر)	۵/۰۸۵۳	۲/۱۲۰۱
هیدروسیکلون	قطر (میلی‌متر)	-۱/۹۳۳۹	۰/۷۶۴۱
آماده‌ساز	حجم (متر مکعب)	۲/۸۱۳۱	۰/۶۰۲۶
سلول فلوتاسیون	حجم (متر مکعب)	۳/۳۴۵۶	۰/۵۸۴۹
تیکنر	قطر (متر)	۳/۸۴۳۱	۰/۸۲۶۱
فیلتر استوانه‌ای	سطح فیلتراسیون (متر مربع)	۵/۰۳۹۴	۰/۴۲۷۹

*: کلیه لوازم و تجهیزات جانبی دستگاه‌ها در محاسبه قیمت ملحوظ شده است.

**: قیمت محاسبه شده برای یک متر طول نوار خواهد بود.

نصب و راه‌اندازی

هزینه نصب و راه‌اندازی ماشین‌آلات، معمولاً ۲۰ درصد قیمت کل ماشین‌آلات درنظر گرفته می‌شود. در این مقاله نیز برای تمام ظرفیت‌ها همین میزان منظور می‌گردد.

احداث ساختمان‌ها و تأسیسات

ساختمان‌ها و تأسیسات مورد نیاز برای هر کارخانه عبارتند از: ساختمان کارخانه فلوتاسیون، ساختماهای اداری و بونکرهای قبل از مراحل سنگ‌شکنی و آسیا.

مساحت ساختمان کارخانه فلوتاسیون با درنظرگرفتن فضای تقریبی مورد نیاز هر یک از ماشین‌آلات، فضای دسترسی و غیره محاسبه می‌شود. برای محاسبه مساحت ساختمان‌های اداری نیز مواردی از قبیل فضاهای مورد نیاز برای واحدهای

مختلف اداری، سالن غذاخوری، سرویس‌های بهداشتی و غیره مورد نظر می‌باشد. همچنین به منظور ذخیره مواد معدنی قبل از مراحل سنگ‌شکنی و آسیا، بونکرهایی با ظرفیت خوراک یک روز کارخانه درنظر گرفته می‌شود.

محاسبه هزینه احداث ساختمان کارخانه و اداری بر اساس مساحت و برای بونکرها بر اساس حجم بتن مسلح مورد نیاز انجام می‌شود.

هزینه‌های متفرقه

با توجه به اینکه هزینه تهیه برخی ماشین‌آلات متفرقه و تجهیزات عمومی محاسبه نشده است، مبلغی معادل ۱۵ درصد قیمت خرید ماشین‌آلات اصلی کارخانه بعنوان هزینه‌های متفرقه منظور می‌گردد.

هزینه‌های پیش‌بینی نشده

معمولاً در هر پروژه‌ای مبلغی بعنوان هزینه‌های پیش‌بینی نشده درنظر گرفته می‌شود. در این مقاله نیز برای ظرفیت‌های مختلف کارخانه مبلغی معادل ۱۰ درصد قیمت خرید ماشین‌آلات برای این منظور محاسبه می‌شود.

سرمایه در گردش

هر کارخانه‌ای برای شروع تولید و پرداخت هزینه‌های جاری در چند ماه اول پس از راه‌اندازی نیاز به مقداری نقدینگی دارد که سرمایه در گردش نامیده می‌شود. بنابراین با توجه به میزان مواد مصرفی و سایر هزینه‌های جاری، برای هر کارخانه مبلغی متناسب با ظرفیت آن کارخانه بعنوان سرمایه در گردش درنظر گرفته می‌شود.

کلیه محاسبات فوق انجام شده و خلاصه آنها در جدول ۱۳ آمده است. در براورد قیمت‌ها، در هر مورد، حداقل از دو منبع مستقل استفاده شده است.

جدول (۱۳) موارد مختلف سرمایه‌گذاری برای شانزده ظرفیت مورد نظر بر حسب میلیون ریال.

انواع هزینه‌ها	مبالغ سرمایه‌گذاری برای ظرفیت‌های مختلف (میلیون ریال)															
	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۷۰۰۰	۷۵۰۰	۸۰۰۰
خرید ماشین‌آلات	۹۴۳۹	۱۲۱۷۸	۱۴۸۷۸	۱۷۴۵۳	۱۹۷۶۶	۲۱۹۶۹	۲۵۷۰۸	۲۷۰۷۲	۳۰۱۳۵	۳۲۱۸۰	۳۳۸۹۹	۳۸۲۳۵	۴۰۵۶۸	۴۳۲۸۰	۴۵۳۲۴	۴۵۹۹۳
خرید گلوله و میله	۴۱۸	۷۰۷	۹۸۵	۱۳۴۹	۱۶۳۹	۱۹۶۳	۲۱۱۶	۲۴۴۲	۲۷۷۷	۲۹۹۸	۳۲۸۶	۳۸۹۴	۳۸۹۴	۴۲۹۴	۴۵۹۱	۴۶۹۳
نصب و راه‌اندازی	۱۸۸۸	۲۴۳۶	۲۹۷۶	۳۴۹۱	۳۹۵۳	۴۳۹۴	۵۱۴۲	۵۴۱۴	۶۰۲۷	۶۴۳۶	۶۷۸۰	۷۶۴۷	۸۱۱۴	۸۶۵۶	۹۰۶۵	۹۱۹۹
ساختمان کارخانه	۱۲۳	۱۵۸	۱۹۳	۲۲۸	۲۴۵	۲۶۳	۳۱۵	۳۳۳	۳۶۸	۳۸۵	۴۰۳	۴۳۸	۴۷۳	۴۹۰	۵۰۸	۵۲۵
ساختمان اداری	۵۱۰	۵۵۳	۵۹۵	۶۳۸	۶۸۰	۶۸۰	۷۲۳	۷۶۵	۸۵۰	۹۳۵	۱۰۲۰	۱۰۲۰	۱۱۰۵	۱۱۹۰	۱۱۹۰	۱۲۷۵
بونکرها	۹۴	۱۳۸	۱۷۲	۲۱۸	۳۴۰	۳۴۴	۴۱۶	۴۳۶	۵۱۶	۵۸۸	۶۲۴	۶۵۴	۷۸۴	۸۳۲	۸۳۲	۸۷۲
متفرقه	۱۴۱۶	۱۸۲۷	۲۲۳۲	۲۶۱۸	۲۹۶۵	۳۲۹۵	۳۸۵۶	۴۰۶۱	۴۵۲۰	۴۸۲۷	۵۰۸۵	۵۷۳۵	۶۰۸۵	۶۴۹۲	۶۷۹۹	۶۸۹۹
پیش‌بینی نشده	۹۴۴	۱۲۱۸	۱۴۸۸	۱۷۴۵	۱۹۷۷	۲۱۹۷	۲۵۷۱	۲۷۰۷	۳۰۱۴	۳۲۱۸	۳۳۹۰	۳۸۲۴	۴۰۵۷	۴۳۲۸	۴۵۳۲	۴۵۹۹
سرمایه در گردش	۱۷۰۰	۳۳۵۰	۵۰۰۰	۶۷۰۰	۸۳۵۰	۱۰۰۰۰	۱۱۷۰۰	۱۳۳۵۰	۱۵۰۰۰	۱۶۷۰۰	۱۸۳۵۰	۲۰۰۰۰	۲۱۷۰۰	۲۳۳۵۰	۲۵۰۰۰	۲۶۷۰۰
جمع	۱۶۵۳۲	۲۲۵۶۵	۲۸۵۱۹	۳۴۴۴۰	۳۹۹۱۵	۴۵۱۰۵	۵۲۵۴۷	۵۶۵۸۰	۶۳۲۰۷	۶۸۲۶۷	۷۲۸۳۷	۸۱۴۴۷	۸۶۷۸۰	۹۲۹۱۲	۹۷۸۴۱	۱۰۰۷۵۵

ارائه مدل محاسبه میزان سرمایه‌گذاری

با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده و محاسبات انجام‌شده، رابطه زیر برای محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه کارخانه‌های فلوتاسیون سرب و روی به‌دست می‌آید:

$$Y = ۱۱۲۱۰ + ۱۱/۵\ X$$

که در آن

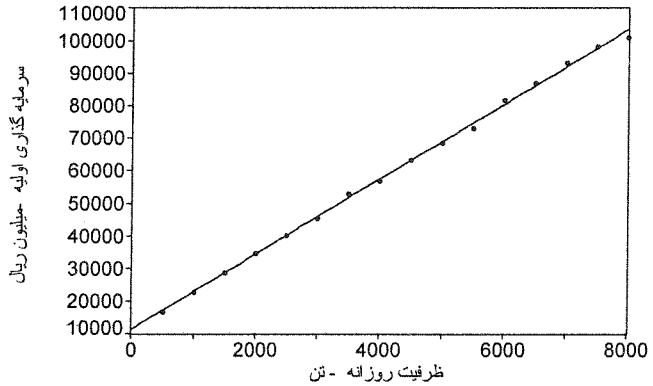
Y: میزان سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز (میلیون ریال)

X: ظرفیت روزانه (تن)

مدل به‌دست‌آمده بآسانی میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم برای احداث کارخانه‌های کانه‌آرایی سرب و روی را محاسبه می‌کند. بعنوان مثال، میزان سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز برای احداث یک کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی با ظرفیت ۴۰۰۰ تن در روز برابر است با:

$$Y = ۱۱۲۱۰ + (۱۱/۵ \times ۴۰۰۰) = ۵۷،۲۱۰ \times ۱۰^{۶} \text{ (ریال)}$$

شکل ۱ نمودار مربوط به اعداد مختلف مدل را نشان می‌دهد.



شکل(۱) نمودار میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم بر حسب ظرفیت روزانه.

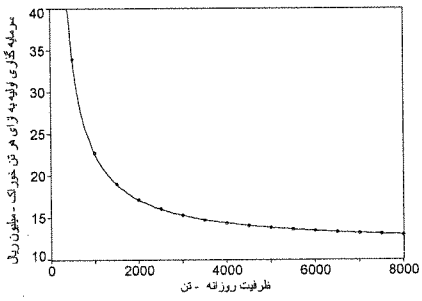
همان‌طور که از این نمودار پیداست، تغییرات میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز اولیه با ظرفیت روزانه کارخانه کانه‌آرایی رابطه خطی دارد. با این وجود، هر چه ظرفیت کارخانه بالاتر باشد، مقدار هزینه شده در ابتدای طرح، بر تن ظرفیت اسمی کمتر می‌شود. یعنی همان‌طور که نمودار شکل ۱ نشان می‌دهد برای احداث کارخانه ۵۰۰ تنی مبلغ ۱۶،۹۶۰ میلیون ریال سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز است، به عبارت دیگر برای احداث کارخانه ۵۰۰ تنی، به ازاء هر تن ظرفیت اسمی کارخانه مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه لازم ۳۳/۹۲ = ۵۰۰ ÷ ۱۶،۹۶۰ میلیون ریال می‌باشد. حال آنکه این میزان برای احداث کارخانه ۱۰۰۰ تنی مبلغ ۲۲/۷۱= ۱،۰۰۰ ÷ ۲۲،۷۱۰ میلیون ریال است. به همین طریق میزان سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز به ازاء هر تن ظرفیت اسمی برای احداث کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی محاسبه شده و نتیجه آن در جدول ۱۴ خلاصه شده که نمودار شکل ۲ نیز این نتیجه را نشان می‌دهد.

جدول(۱٤) میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم به ازاء هر تن ظرفیت اسمی کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی.

ظرفیت روزانه (تن)	میزان سرمایه‌گذاری اولیه (میلیون ریال)	میزان سرمایه‌گذاری اولیه به ازاء هر تن ظرفیت اسمی (میلیون ریال)
۵۰۰	۱۶.۹۶۰	۳۳/۹۲
۱۰۰۰	۲۲.۷۱۰	۲۲/۷۱
۱۵۰۰	۲۸.۴۶۰	۱۸/۹۷
۲۰۰۰	۳۴.۲۱۰	۱۷/۱۱
۲۵۰۰	۳۹.۹۶۰	۱۵/۹۸
۳۰۰۰	۴۵.۷۱۰	۱۵/۲۴
۳۵۰۰	۵۱.۴۶۰	۱۴/۷
۴۰۰۰	۵۷.۲۱۰	۱۴/۳
۴۵۰۰	۶۲.۹۶۰	۱۳/۹۹
۵۰۰۰	۶۸.۷۱۰	۱۳/۷۴
۵۵۰۰	۷۴.۴۶۰	۱۳/۵۴
۶۰۰۰	۸۰.۲۱۰	۱۳/۳۷
۶۵۰۰	۸۵.۹۶۰	۱۳/۲۲
۷۰۰۰	۹۱.۷۱۰	۱۳/۱
۷۵۰۰	۹۷.۴۶۰	۱۲/۹۹
۸۰۰۰	۱۰۳.۲۱۰	۱۲/۹

شکل ۲ نشان می‌دهد که هر چه ظرفیت کارخانه کانه‌آرایی بزرگ‌تر باشد، میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم به ازاء هر تن ظرفیت اسمی کمتر می‌شود.

میزان استهلاک این سرمایه‌گذاری اولیه در حقیقت یک هزینه ثابت است که به قیمت تمام‌شده محصول نهایی اضافه می‌شود. اگر میانگین نرخ استهلاک در این کارخانه ۱۰ درصد فرض شود، بخش مربوط به استهلاک قیمت تمام‌شده برای کارخانه با ظرفیت‌های مختلف، مطابق جدول ۱۵ خواهد بود. بعنوان مثال، برای کارخانه ۱۰۰۰ تنی اگر خوراک ورودی آن ۳۰۰،۰۰۰ تن در سال فرض شود و استهلاک سرمایه آن ۲،۲۷۱ = ۰/۱ × ۲۲،۷۱۰ میلیون ریال باشد، هزینه استهلاک هر تن ظرفیت اسمی معادل ۷،۵۷۰ = ۳۰۰،۰۰۰ ÷ ۱۰^{۶} × ۲،۲۷۱ ریال خواهد بود، یعنی به ازاء هر تن خوراک کارخانه کانه‌آرایی ۱۰۰۰ تنی سرب و روی مبلغ ۷،۵۷۰ ریال هزینه استهلاک صرف خواهد شد.

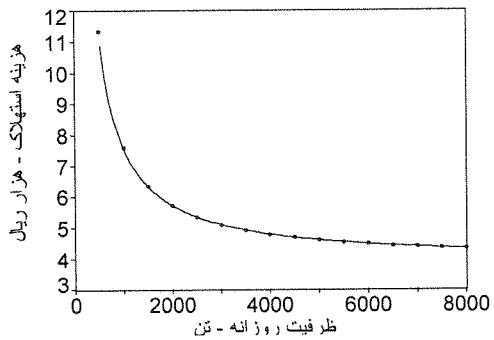


شکل (۲) میزان سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز به ازاء هر تن ظرفیت اسمی در ظرفیت‌های مختلف.

جدول(۱۵) مبلغ هزینه استهلاک هر تن ظرفیت اسمی (خوراک) کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی در ظرفیت‌های مختلف کارخانه.

ظرفیت روزانه (تن)	هزینه استهلاک (میلیون ریال)	هزینه استهلاک به ازاء هر تن خوراک (ریال)
۵۰۰	۱.۶۹۶	۱۱.۳۰۷
۱۰۰۰	۲.۲۷۱	۷.۵۷۰
۱۵۰۰	۲.۸۴۶	۶.۳۲۴
۲۰۰۰	۳.۴۲۱	۵.۷۰۲
۲۵۰۰	۳.۹۹۶	۵.۳۳۸
۳۰۰۰	۴.۵۷۱	۵.۰۷۹
۳۵۰۰	۵.۱۴۶	۴.۹۰۱
۴۰۰۰	۵.۷۲۱	۴.۷۶۸
۴۵۰۰	۶.۲۹۶	۴.۶۶۴
۵۰۰۰	۶.۸۷۱	۴.۵۸۱
۵۵۰۰	۷.۴۴۶	۴.۵۱۳
۶۰۰۰	۸.۰۲۱	۴.۴۵۶
۶۵۰۰	۸.۵۹۶	۴.۴۰۸
۷۰۰۰	۹.۱۷۱	۴.۳۶۷
۷۵۰۰	۹.۷۴۶	۴.۳۳۲
۸۰۰۰	۱۰.۳۲۱	۴.۳۰۰

نمودار شکل ۳ تغییرات هزینه استهلاک هرتن ظرفیت اسمی کارخانه را نسبت به ظرفیت روزانه نشان می‌دهد.

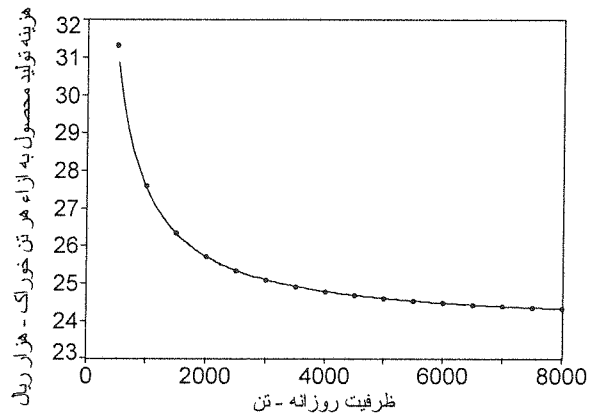


شکل(۳) تغییرات هزینه استهلاک هرتن ظرفیت اسمی کارخانه نسبت به ظرفیت روزانه.

حـال اگـر فـرض شـود که برای تولید محصول، به ازاء هر تن خوراک کارخانه باید مبلغ ۲۰،۰۰۰ ریال نیز بعنوان هزینه‌های دیگـر صـرف شود، قیمت تمام شده به ازاء هر تن خوراک کارخانه در ظرفیت‌های مختلف مطابق جدول ۱۶ می‌باشد که نمودار شکل ۴ نیز این نتیجه را نشان می‌دهد.

جدول(۱٦) قیمت تمام شده محصول کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی به ازاء هر تن خوراک در ظرفیت‌های مختلف.

ظرفیت روزانه (تن)	قیمت تمام شده تولید محصول به ازاء هر تن خوراک (ریال)
۵۰۰	۳۱،۳۰۷
۱۰۰۰	۲۷،۵۷۰
۱۵۰۰	۲۶،۳۲۴
۲۰۰۰	۲۵،۷۰۲
۲۵۰۰	۲۵،۳۲۸
۳۰۰۰	۲۵،۰۷۹
۳۵۰۰	۲۴،۹۰۱
۴۰۰۰	۲۴،۷۶۸
۴۵۰۰	۲۴،۶۶۴
۵۰۰۰	۲۴،۵۸۱
۵۵۰۰	۲۴،۵۱۳
۶۰۰۰	۲۴،۴۵۶
۶۵۰۰	۲۴،۴۰۸
۷۰۰۰	۲۴،۳۶۷
۷۵۰۰	۲۴،۳۳۲
۸۰۰۰	۲۴،۳۰۰



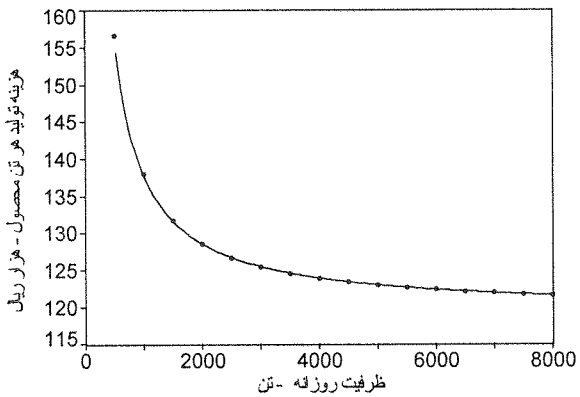
شکل(٤) تغییرات هزینه تولید محصول به ازاء هر تن خوراک نسبت به ظرفیت روزانه.

همچنین اگر فرض شود که وزن محصول نهایی کارخانه(وزن کنسانتره سرب + وزن کنسانتره روی)، ۲۰ درصد وزن خوراک ورودی باشد، میزان هزینه استهلاک هرتن محصول کارخانه برای ظرفیت‌های مختلف محاسبه می‌شود و با در نظر گرفتن مبلغ ۱۰۰،۰۰۰ ریـال بعـنوان سایر هزینه‌ها برای تولید هر تن محصول، قیمت تمام شده برای تولید هر تن محصول به دست می‌آید کـه در جـدول ۱۷ خلاصـه شـده اسـت. بعـنوان مـثال، در یـک کارخانـه ۵۰۰ تنی، قیمت تمام شده تولید یک تن محصول، ۱۵۶،۵۳۵ ریـال می‌باشد. این مبلغ برای کارخانه ۱۰۰۰ تنی به ۱۳۷،۸۵۰ ریال و برای کارخانه ۸۰۰۰ تنی به ۱۲۱،۵۰۰ ریال کاهش می‌یابد.

نمـودار شـکل ۵ تغیـیرات قیمـت تمـام شده محصول تولیدی کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی را نسبت به ظرفیت کارخانه نشان می‌دهد.

جدول(۱۷) هزینه استهلاک و قیمت تمام شده تولید یک تن محصول کارخانه کانه‌آرایی سرب و روی در ظرفیت‌های مختلف.

ظرفیت روزانه (تن)	هزینه استهلاک تولید هر تن محصول (ریال)	قیمت تمام شده تولید هر تن محصول (ریال)
۵۰۰	۵۶،۵۳۵	۱۵۶،۵۳۵
۱۰۰۰	۳۷،۸۵۰	۱۳۷،۸۵۰
۱۵۰۰	۳۱،۶۲۰	۱۳۱،۶۲۰
۲۰۰۰	۲۸،۵۱۰	۱۲۸،۵۱۰
۲۵۰۰	۲۶،۶۴۰	۱۲۶،۶۴۰
۳۰۰۰	۲۵،۳۹۵	۱۲۵،۳۹۵
۳۵۰۰	۲۴،۵۰۵	۱۲۴،۵۰۵
۴۰۰۰	۲۳،۸۴۰	۱۲۳،۸۴۰
۴۵۰۰	۲۳،۳۲۰	۱۲۳،۳۲۰
۵۰۰۰	۲۲،۹۰۵	۱۲۲،۹۰۵
۵۵۰۰	۲۲،۵۶۵	۱۲۲،۵۶۵
۶۰۰۰	۲۲،۲۸۰	۱۲۲،۲۸۰
۶۵۰۰	۲۲،۰۴۰	۱۲۲،۰۴۰
۷۰۰۰	۲۱،۸۳۵	۱۲۱،۸۳۵
۷۵۰۰	۲۱،۶۶۰	۱۲۱،۶۶۰
۸۰۰۰	۲۱،۵۰۰	۱۲۱،۵۰۰



شکل(۵) تغییرات هزینه تولید هر تن محصول نسبت به ظرفیت روزانه.

نتیجه

بـرای بررسـی فنی و اقتصادی هر پروژه‌ای، در درجه اول باید میزان سرمایه‌گذاری اولیه را تعیین کرد. در این مقاله با هدف ارائـه مدلی برای محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم برای احداث کارخانه‌های فلوتاسیون سرب و روی، ابتدا ماشین‌آلالت و تجهـیزات شـانزده ظرفیـت مختلف با فلوشیت یکسان طراحی شده است. آنگاه با محاسبه میزان سرمایه‌گذاری لازم برای خرید ماشـین‌آلات (بـا استفاده از مدل $Y = \exp(a + b.Ln(X))$) احداث ساختمان‌های مورد نیاز و غیره جمع میزان سرمایه‌گذاری اولـیه بـرای هـر ظرفیـت بـه دسـت آمده و منجر به ارائه مدلی بصورت $Y = ۱۱۲۱۰ + ۱۱/۵ (X)$ شده است که در آن Y میزان سرمایه‌گذاری اولیه لازم به ازاء ظرفیت روزانه X می‌باشد.

بـا استفاده از مدل فوق، نشان داده شد که مقدار هزینه لازم به ازاء هر تن ظرفیت اسمی، با افزایش ظرفیت، کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش ظرفیت، مقادیر هزینه استهلاک، هزینه تولید محصول در ازاء هر تن خوراک و در نتیجه هرینه تولید هر تن محصول، به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

مراجع

[۱] نعمت‌الهی، حسین؛ کانه‌آرایی؛ انتشارات دانشگاه تهران؛ چاپ اول؛۱۳۷۱.

[۲] رعیتی، محمود؛ طراحی کارخانه کانه‌آرایی ۳۰۰۰ تنی سرب و روی کوشک؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن؛ ۱۳۷۵.

[3] SVEDALA; DEVER SALA BASIC; Selection Guide For Process Equipment; Edition 1; 1993.

[۴] شرکت پمپیران؛ راهنمای انتخاب پمپ‌های گریز از مرکز.

[5] A. L. Mular; Mining and Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital Cost Estimations; The Canadian Institute of Mining and Metallurgy (CIM); Special Volume 25 (Update of Vol. 18); 1982.

[۶] شرکت مهندسی نقشه ماشین؛ اطلاعات موجود ومحاسبات انجام شده.