

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده ی فنی مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان نامه جهت دریافت درجه ی کارشناسی ارشد

بررسی تاثیر پارامترهای هیدرودینامیکی بروی بازیابی ذرات

درشت زغال در فلوتاسیون

استاد راهنما: دکتر عزت ا... مظفری

استاد مشاور: دکتر علی اکبر رحمانی

نگارنده: آرش دشتی

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم

## چکیده

پارامترهای هیدرودینامیکی تاثیر بسزایی در کارایی سلول های فلوتاسیون دارند. در این بررسی نقش تعدادی از پارامترهای کلیدی هیدرودینامیکی بروی فلوتاسیون ذرات درشت مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه ی زغال با  $d_{80}$  معادل ۸۶۰ میکرون تهیه شد. سرعت گردش همزن، فاصله ی همزن از کف، غلظت کف ساز، نوع کف ساز و درصد جامد پالپ پارامترهای انتخاب شده بودند. نتایج آزمایشها نشان می دهد که افزایش سرعت گردش همزن تا ۷۰۰ دور بر دقیقه باعث افزایش بازیابی ذرات درشت می شود ولی از ۷۰۰ دور بر دقیقه به بعد افزایش سرعت گردش همزن با افزایش اغتشاش داخل محیط و کاهش پایداری فاز کف باعث افزایش احتمال جدایش شده و بازیابی ذرات درشت کاهش یافت. همچنین مشاهده شد با تغییر فاصله ی همزن از کف و نزدیک تر شدن آن به فاز کف تاثیر اغتشاش ایجاد شده در سلول در اثر گردش همزن بروی فاز کف افزایش می یابد و با افزایش ناپایداری فاز کف باعث کاهش بازیابی ذرات درشت می شود. مشاهدات انجام شده نشان داد که افزایش غلظت کف ساز با کاهش اندازه ی حباب ها و افزایش پایداری فاز کف بازیابی ذرات درشت را افزایش داد. افزایش درصد جامد پالپ نیز با افزایش ویسکوزیته ی سیال و محدود کردن حرکت مجموعه ی حباب- ذره و افزایش پایداری آن باعث افزایش بازیابی ذرات درشت شد. همچنین برای طبقه بندی پارامترهای انتخاب شده از نظر اهمیت و همچنین بررسی وجود تاثیر متقابل بین پارامترها از یک طرح فاکتوریلی بخشی ۱۶ آزمایشی استفاده شد. نتایج این آزمایشها نشان می دهد که فاصله ی همزن از کف مهمترین پارامتر می باشد و سرعت گردش همزن، نوع کف ساز، غلظت کف ساز و درصد جامد پالپ در رده های بعدی قرار می گیرند. همچنین آنالیزهای ANOVA نشان می دهد که با درجه ی اطمینان ۹۵٪ تاثیر متقابل بین پارامترها بی معنی می باشد و این بدین معنی است که می توان از تاثیر متقابل بین پارامترها صرف نظر کرد.

باشکر از زحمات بی دریغ استاد عزیزم آقای دکتر عزت ... منظمی که مراد به

پایان رساندن این پایان نامه کجک کردند.

فهرست مطالب:

فهرست جداول:	۸
فهرست تصاویر:	۹
۱- کلیات	۱۲
۱-۱ مقدمه	۱۲
۲-۱: مقدمه ای بر هیدرودینامیک در فلوتاسیون	۱۵
۱-۲-۱: آشنایی	۱۵
۱-۲-۲: اعداد بدون بعد	۱۶
۱-۲-۳: تجزیه و تحلیل هیدرودینامیک ماشین های فلوتاسیون	۱۹
۱-۳-۱: فلوتاسیون ذرات درشت و تاثیر پارامترهای هیدرودینامیکی بروی آن	۲۲
۱-۳-۱: مقدمه	۲۲
۱-۳-۲: مدل های ارایه شده برای جدایش ذره از حباب و بررسی تاثیر پارامترهای هیدرودینامیکی در این مدل ها	۲۴
۱-۳-۳: کارهای آزمایشگاهی انجام شده بروی فلوتاسیون ذرات درشت و تاثیر هیدرودینامیک بروی آن	۳۰
۲- نمونه گیری و روند انجام آزمایشها	۴۰
۱-۲: نمونه گیری	۴۰
۲-۲: نمونه سازی و توزیع دانه بندی نمونه ها	۴۰
۲-۳: پارامتر های تعیین شده و علت تعیین آنها	۴۱
۲-۴: طراحی آزمایشها	۴۳

۴۴	۵-۲: انجام آزمایشهای فلوتاسیون
۴۴	۲-۵-۱ آماده سازی
۴۵	۲-۵-۲: کف گیری :
۴۷	۳- نتایج و بحث
۴۷	۳-۱: بررسی تاثیر سرعت گردش همزن
۵۰	۳-۲: بررسی تاثیر فاصله ی همزن از کف
۵۳	۳-۳: بررسی تاثیر غلظت کف ساز
۵۶	۳-۴: بررسی تاثیر درصد درصد جامد پالپ
۵۸	۳-۵: بررسی نتایج آزمایشهای فاکتوریلی بخشی
۶۳	نتیجه گیری:
۶۴	منابع :

## فهرست جداول:

- جدول ۱-۱: اعداد بدون بعد مورد استفاده در مکانیک..... ۱۷
- جدول ۱-۲: داده های جریان هوا برای ماشین های فلوتاسیون ومکو..... ۱۸
- جدول ۱-۳: پارامتر های کارائی هیدرولیکی سلول فلوتاسیون..... ۱۹
- جدول ۱-۴: مقدار ثابت A برای سلول های مختلف..... ۲۹
- جدول ۱-۲: توزیع دانه بندی نمونه های معرف..... ۴۰
- جدول ۲-۲: طراحی آزمایشهای تک پارامتری..... ۴۳
- جدول ۲-۳: طرح فاکتوریلی بخشی..... ۴۴
- جدول ۱-۳: نتایج آنالیز سرندي کنسانتره ها..... ۴۷
- جدول ۲-۳: نتایج آنالیز سرندي کنسانتره ها برای آزمایشهای فاصله از کف..... ۵۰
- جدول ۳-۳: نتایج آنالیز سرندي کنسانتره ها برای آزمایشهای غلظت کف..... ۵۳
- جدول ۴-۳: نتایج آنالیز سرندي کنسانتره ها برای آزمایشهای درصد جامد..... ۵۶
- جدول ۵-۳: طرح فاکتوریلی بخشی..... ۵۸
- جدول ۶-۳: نتایج آزمایشهای فاکتوریلی برای پارامترهای اصلی..... ۵۹
- جدول ۷-۳: نتایج آزمایشهای فاکتوریلی برای تاثیر های متقابل..... ۶۰
- جدول ۸-۳: مقادیر P-value برای تاثیر های متقابل..... ۶۱



## فهرست تصاویر:

- شکل ۱-۱: اصول کلی فلوتاسیون..... ۱۲
- شکل ۲-۱: تغییرات بازیابی فلوتاسیون به صورت تابعی از اندازه..... ۱۳
- شکل ۳-۱: تطابق بازیابی با عدد رینولدز..... ۲۱
- شکل ۴-۱: تغییرات بازیابی فلوتاسیون به صورت تابعی از ابعاد ذرات..... ۲۲
- شکل ۵-۱: مدل ذره در فصل مشترک گاز- سیال..... ۲۶
- شکل ۶-۱: مدل مجموعه ی حباب-ذره..... ۲۶
- شکل ۷-۱: شرایط دینامیکی انجام آزمایشها..... ۳۱
- شکل ۸-۱: بازیابی فلوتاسیون برای ذرات درشت کوارتز و ذرات کروی شیشه ای کلاس B به صورت تابعی از عدد رینولدز همزن..... ۳۲
- شکل ۹-۱: بازیابی فلوتاسیون برای ذرات درشت کوارتز و ذرات کروی شیشه ای کلاس B به صورت تابعی از عدد فرود همزن..... ۳۲
- شکل ۱۰-۱: بازیابی فلوتاسیون برای ذرات ذرات کروی شیشه ای کلاس A و B به صورت تابعی از عدد فرود همزن..... ۳۴
- شکل ۱۱-۱: بازیابی فلوتاسیون برای ذرات ذرات کروی شیشه ای کلاس A و B به صورت تابعی از عدد توان همزن..... ۳۵
- شکل ۱۲-۱: تاثیر غلظت کف ساز MIBC بروی بازیابی..... ۳۶
- شکل ۱۳-۱: تاثیر غلظت کف ساز روغن کاج بروی بازیابی ذرات درشت..... ۳۷
- شکل ۱۴-۱: دستگاه مورد استفاده برای بررسی ..... ۳۸
- شکل ۱۵-۱: نیروی لازم برای جدایش برای ذرات کوارتز (۶۰۰-۸۵۰ میکرون) در آب (a) و مخلوط ۵۰٪ آب- گلیسیرول..... ۳۸

- شکل ۳-۱: بازیابی ذرات درشت به صورت تابعی از سرعت گردش همزن..... ۴۸
- شکل ۳-۲: بازیابی ذرات درشت به صورت تابعی از فاصله همزن از کف..... ۵۲
- شکل ۳-۳: تغییر الگوی چرخش ذرات با تغییر فاصله ی همزن از کف..... ۵۲
- شکل ۳-۴: بازیابی ذرات درشت به صورت تابعی از غلظت کف ساز..... ۵۴
- شکل ۳-۵: بازیابی ذرات درشت به صورت تابعی از درصد جامد پالپ..... ۵۷
- شکل ۳-۶: آنالیز ANOVA برای بررسی معنا دار بودن تاثیر متقابل سرعت گردش همزن و فاصله ی همزن از کف..... ۶۲

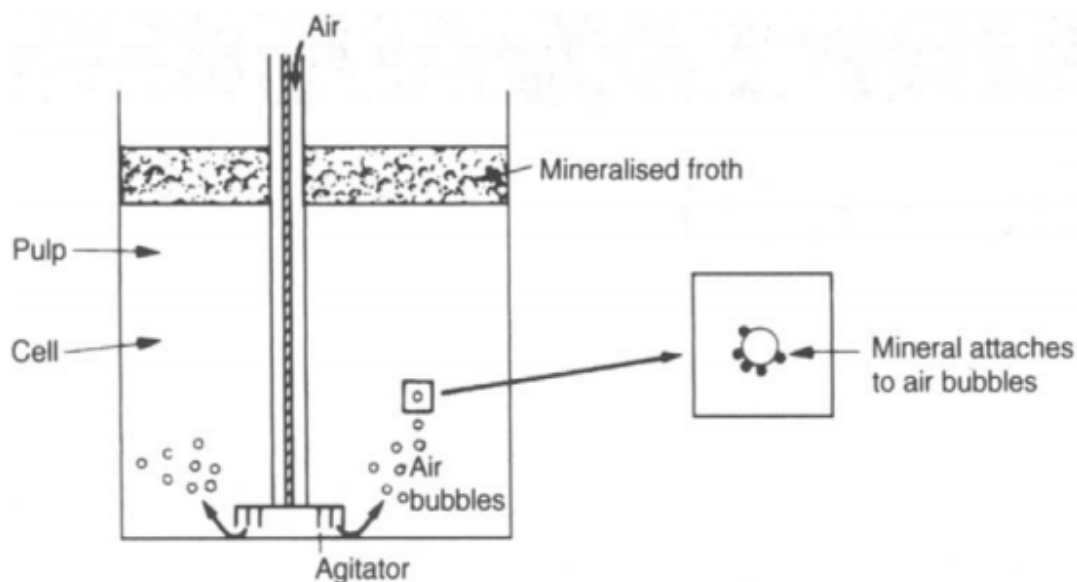
فصل اول:

کلیات

## ۱- کلیات

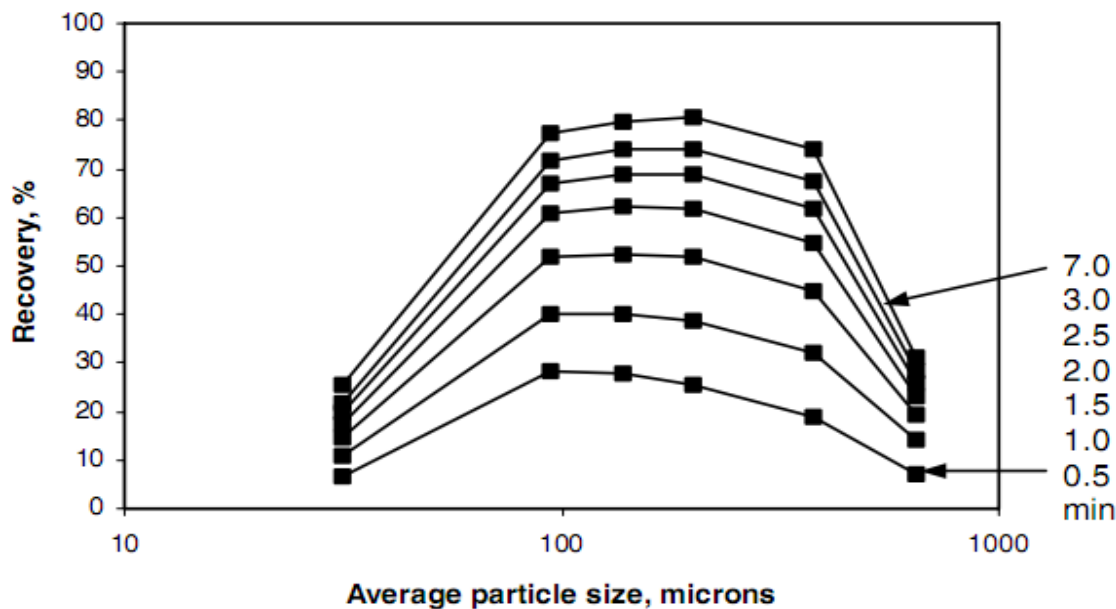
### ۱-۱ مقدمه

بدون شک فلوتاسیون مهمترین تکنیک فراوری مواد معدنی می باشد و کاربرد آن روز به روز در حال افزایش است و هر روز تناژ بالاتری از مواد معدنی به وسیله ی این روش فراوری می شوند . فلوتاسیون یک فرآیند فیزیکی - شیمیایی است که با استفاده از تفاوت در خصوصیات سطحی کانی با ارزش و گانگ ، آنها را از هم جدا می کند. این تفاوت ها در خصوصیات سطحی بعد از آماده سازی پالپ به وسیله عوامل شیمیایی مختلف از قبیل کلکتور ها، کف ساز ها، فعال کننده ها و بازداشت کننده آشکار می شود و برای اینکه فلوتاسیون ذرات مورد نظر اتفاق بیفتد ، حباب های هوا باید خود را به سطح کانی (های) مورد نظر متصل کنند و ذرات را به سطح آب منتقل کنند [1]. شکل ۱-۱ اصول کلی فلوتاسیون را در سلول های مکانیکی نشان می دهد. همزن سلول اغتشاش کافی را جهت برخورد ذرات و حباب ها را که به اتصال ذرات با ارزش به حباب های هوا و انتقال آنها به فاز کف را منجر می شود ، ایجاد می کند.



شکل ۱-۱ : اصول کلی فلوتاسیون [1]

در هر سلول مکانیکی همانند شکل ۱-۱ با توجه به عواملی از قبیل ابعاد حباب های تولید شده ، میزان اغتشاش موجود در محیط در اثر گردش همزن ، میزان پایداری فاز کف ، ویسکوزیته ی محیط و بسیاری از پارامترهای دیگر، حداکثر ابعادی برای ذرات وجود دارد که ذرات بزرگتر از آن نمی توانند فلوته شوند[2]. این حد بالایی برای کانی های سولفیدی ۴۲۰ میکرون می باشد و به همان نسبت برای کانی های سبکتر مثل زغال سنگ این حد بالایی درشت تر می شود[2]. شکل ۱-۲ نشان دهنده ی تغییرات بازیابی فلوتاسیون به صورت تابعی از اندازه ی ذرات برای نمونه ای از زغال می باشد. همان طور که در این شکل دیده می شود بازیابی ذرات از ۲۰۰ میکرون به بعد شروع به کاهش می کند.



شکل ۱-۲: تغییرات بازیابی فلوتاسیون به صورت تابعی از اندازه ی ذرات [2]

چرایی کاهش بازیابی ذرات با افزایش ابعاد آنها را می توان در زیر فرآیند های مربوط به بر هم کنش حباب و ذره، که همان برخورد<sup>۱</sup>، اتصال<sup>۲</sup> و جدایش<sup>۳</sup> ذرات می باشد، جستجو کرد. فلوتاسیون تابعی از احتمال جمع آوری ذرات توسط حباب ها می باشد[4]:

$$P_{coll} = P_C P_A (1 - P_D) \quad 1-1$$

1 . Collision  
2 . Attachment  
3 . Detachment

$P_D$  و  $P_A$ ،  $P_C$  به ترتیب احتمال برخورد، اتصال و جدایش حباب از ذره می باشند. احتمال برخورد تابع شرایط هیدرودینامیکی سلول فلوتاسیون می باشد. احتمالات اتصال و جدایش نیز تابع ترکیبی از شرایط هیدرودینامیکی و شیمی سطح حباب و ذره می باشند. از آن جایی که شیمی سطح به وسیله ی ابعاد ذرات تحت تاثیر قرار نمی گیرد، احتمال اتصال بیشتر تابعی از شرایط هیدرودینامیکی است و با افزایش ابعاد ذرات بیشتر می شود [5]. از این رو میتوان گفت احتمال جدایش مهمترین فاکتور محدود کننده ی فلوتاسیون ذرات درشت می باشد [5,6,7]. جدا از نیروی وزن ذرات درشت مهمترین نیرویی که باعث جدایش ذرات از حباب ها می شود نیروی اینرسی ذره در اثر اغتشاش موجود در محیط می باشد [8]. میزان اغتشاش موجود در محیط نیز تابعی از شرایط هیدرودینامیکی سلول فلوتاسیون می باشد. همچنین میزان پایداری فاز کف که تاثیر بسزایی در میزان بازیابی ذرات درشت دارد [6] نیز تابعی از عوامل هیدرودینامیکی از قبیل نوع و غلظت کف ساز و سرعت گردش همزن می باشد.

هدف از انجام این پایان نامه بررسی تاثیر پارامترهای هیدرودینامیکی بروی بازیابی ذرات درشت زغال در فلوتاسیون می باشد. در آزمایشهای انجام شده در این بررسی تاثیر تغییر تعدادی از پارامترهای کلیدی هیدرودینامیکی بروی بازیابی ذرات درشت زغال مورد مطالعه قرار گرفته است. سرعت گردش همزن، فاصله همزن از کف، درصد جامد پالپ، غلظت کف ساز و نوع آن پارامترهایی هستند که مورد مطالعه قرار گرفته اند.

## ۱-۲: مقدمه ای بر هیدرودینامیک در فلوتاسیون

### ۱-۲-۱: آشنایی

ماشین هایی که به منظور فلوتاسیون کانی ها مورد استفاده قرار می گیرند به سه دسته تقسیم می شوند [9]:

- سلول هایی که سیستم همزن به صورت مکانیکی است ، خود هوا ده می باشند و روتور آنها نزدیک بالای سلول می باشد.
- سلول هایی که سیستم همزن به صورت مکانیکی است ، از خارج هوادهی می شوند و روتور آنها نزدیک کف تانک می باشد.
- ستون های بدون همزن و دارای سیستم هوا دهی خارجی

ماشین های خود هوا ده تنها به وسیله ی شرکت بیکر پروسس تحت نام تجاری ومکو تولید می شوند. ماشین هایی که از خارج هوا دهی می شوند نیز توسط شرکت های مختلفی ساخته می شوند که معروف ترین آنها شرکت اتو کمپو می باشد [9].

اصولا هر ماشین فلوتاسیون چهار وظیفه ی اصلی دارد [9]:

۱. ایجاد اتصال مناسب بین حباب ها و ذرات
۲. ایجاد فصل مشترکی پایدار بین پالپ و کف
۳. تعلیق مناسب ذرات جامد در گلاب
۴. ایجاد ظرفیت مناسب کف گیری

در طراحی هر ماشین سه وظیفه ی اول تابع مشخصات و شرایط هیدرودینامیکی ماشین می باشد [9].

هر ماشین فلوتاسیون وظیفه ی پنجمی نیز دارد و آن نیز تامین زمان ماند کافی را برای بازیابی ذرات با ارزش تامیناست. زمان ماند علاوه بر علاوه بر ظرفیت ماشین و نرخ باردهی ، به مشخصات و شرایط هیدرودینامیکی ماشین بستگی دارد [9].

همان طور که دیده می شود تجزیه و تحلیل پارامتر های هیدرودینامیکی ، نقش بسیار مهمی را در طراحی ماشین های فلوتاسیون ایفا می کند. از این رو در این قسمت به طور مختصر پارامترهای هیدرودینامیکی را مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد. آنالیز هیدرودینامیکی یک کاربرد خاص از یک فن و تکنیک ، که به آنالیز ابعادی معروف است، می باشد. پس از سالها تلاش ، آنالیز ابعادی بدین دلیل

توسعه پیدا کرد تا امکان طراحی ماشین های تمام مقیاس و یا دستگاههایی که بر مبنای تستها و آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های بسیار کوچک کار می کنند فراهم گردد. زولکارنیک در سال ۱۹۹۱ تاریخچه ای مختصر و توصیفی بسیار مناسب از این روشها ارائه می دهد. از میان کاربرد های بسیار فراوان آنالیز ابعادی ، آنهایی که بیش از همه برای مهندسين فرآوری آشنا هستند ، احتمالا اعداد بدون بعد می باشند ، که در حل مشکلات خاص مهندسی بکار می روند. این قبیل اعداد می توانند شامل عدد رینولدز ، عدد فرود ، عدد ماخ و غیره باشند. زولکارنیک به ۲۴ مورد از این اعداد اشاره می کند [9].

### ۱-۲-۲: اعداد بدون بعد

در مکانیک سیالات اعداد بدون بعد کاربرد وسیع و بسیار گسترده ای دارند. به عنوان مثال عدد رینولدز که با  $R$  یا  $N_{Re}$  نشان داده می شود به صورت زیر تعریف می گردد [10]:

$$N_{Re} = \rho V L / \mu \quad ۲-۱$$

در رابطه ی بالا ،  $\rho$  وزن مخصوص سیال ،  $V$  سرعت خطی سیال ،  $L$  طول مفروض ( که اغلب قطر لوله میباشد و  $\mu$  لزجت یا ویسکوزیته ی سیال می باشد. چنانچه واحد هایی که برای اجزای متغیر این رابطه بیان میگردند با یکدیگر سازگار باشند، آنگاه عدد رینولدز بدون بعد خواهد بود. عدد رینولدز به منظور تعیین و تشخیص میزان اغتشاش یک سیستم سیال بیان میگردد و بزرگتر شدن این عدد حاکی از آن است که مقدار اغتشاش در سیستم افزایش یافته است. عدد رینولدز همچنین به منظور بررسی مشکلات ناشی از آنالیز های بزرگ مقیاس نمایی بکار میرود. اگر بخواهیم نتایج حاصل از یک آزمایش کوچک مقیاس را در مقیاس بزرگتر<sup>۴</sup> بکاربریم می توانیم از قاعده تشابه دینامیکی<sup>۵</sup> استفاده کنیم. مثلا با استفاده از معادله  $N_{Re}$  می توان با توجه به یکسان بودن ویسکوزیته و وزن مخصوص سیال سرعت حرکت ذرات بزرگ را با سرعت حرکت ذرات کوچک تشابه دینامیکی کرد

<sup>۴</sup> Scale up

<sup>۵</sup> dynamic similarity



جدول ۱-۱: اعداد بدون بعد مورد استفاده در مکانیک [10]

نبروهای موثر	رابطه برای سلول های فلوتاسیون	رابطه ی استاندارد	رابطه به صورت کمیتهای اصلی	عدد اویلر
اینرسی - نیروی فشار	-----	$\rho V^2 / P$	Ma/PA	عدد اویلر
اینرسی- لزجت	$N D^2 \rho / \mu_p$	$\rho V L / \mu$	Ma/ $\tau A$	عدد رینولدز
اینرسی - نیروی ثقل	$N^2 D / g$	$V^2 / Lg$	Ma/Mg	عدد فرود
اینرسی - الاستیسیته	-----	$\rho V^2 / E$	Ma/EA	عدد کاوچی
اینرسی - کشش سطحی	$N^2 D^3 \rho / \gamma$	$\rho V^2 L / \sigma$	Ma/ $\sigma L$	عدد وبر

در جدول ۱-۱، علائم و حروف به کار رفته بصورت ذیل تعریف می شود:

A : مساحت	a : شتاب
D: قطر همزن یا پره	E: مدول الاستیسیته ی حجمی
g : شتاب ثقل	L : طول
M: جرم	N: سرعت همزن یا پره
P: نیرو	P: فشار
V : سرعت خطی	$\mu$ : لزجت مطلق
$\mu_p$ : ویسکوزیته مطلق پالپ فلوتاسیون	$\gamma$ : کشش سطحی در فصل مشترک هوا - پالپ
$\rho$ : وزن مخصوص	$\sigma$ : کشش سطحی

این گونه آنالیز ها در طراحی و ساخت ماشین های فلوتاسیون به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند. جدول ۱-۲ نشان دهنده ی عدد جریان هوا و عدد ظرفیت هوا (تعریف این اعداد برای ماشین های فلوتاسیون در بخش بعدی خواهد آمد) برای اکثر سایز های ماشین های فلوتاسیون شرکت ومکو می باشد. متوسط مقادیر عدد ظرفیت هوا ۰/۱۴۵ با واریانس ۰/۰۰۰۲ می باشد برای ماشین های فلوتاسیون نیز در شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس های کوچکتر مقدار بهینه ای برای شرایط هیدرودینامیکی سلول بدست می آورند و از آن به عنوان شاخصی برای افزایش مقیاس استفاده می کنند.

جدول ۱-۲: داده های جریان هوا برای ماشین های فلوتاسیون ومکو [9]

Model	Tank Volume, m <sup>3</sup>	Froth Surface, m <sup>3</sup>	Rotor Diam., cm	Rotor Speed, rpm	Rotor Subm., cm	Air Transfer, m <sup>3</sup> /min	Liquid Circ., m <sup>3</sup> /min	Tip Speed, m/sec	Air Capacity Number	Air Flow Number (x 10 <sup>3</sup> )
44	0.57	1.3	3.35	620	13.97	0.95	0.68	7.01	0.15	1.740
56	1.13	2	4.33	450	18.54	1.47	1.61	6.58	0.15	1.825
66	1.7	2.8	5.02	390	22.86	1.84	2.69	6.61	0.14	1.665
76	2.83	2.6	5.76	310	25.40	2.55	4.30	6.03	0.16	2.709
84	4.25	3.4	6.30	310	30.48	3.48	5.83	6.59	0.17	2.561
120	8.50	7.0	8.66	220	30.48	5.95	17.36	6.43	0.15	2.211
144	14.16	10.0	10.24	192	30.48	6.80	27.47	6.64	0.12	1.701
164	28.32	13.0	11.81	185	35.56	10.48	33.98	7.38	0.13	1.820
190	42.48	17.2	13.78	164	38.10	15.86	52.96	7.63	0.14	2.015
225	84.96	23.8	16.93	140	50.80	24.64	95.44	8.00	0.14	2.157
4500	127.44	21.7	16.93	135	50.80	26.90		7.72	0.15	2.669
160	160.01	27.1	17.72	130	50.80	26.90		7.78	0.14	2.046

## ۳-۲-۱: تجزیه و تحلیل هیدرودینامیک ماشین های فلوتاسیون

### اعداد مشخصه

آنالیز هیدرودینامیکی ماشین های فلوتاسیون ابتدا توسط آربیتز ، هریس و یاپ در سال ۱۹۶۴ معرفی گردید. آنالیز ابعادی ماشین های فلوتاسیون استاندارد به تفصیل صورت پذیرفت و نتایج حاصل توسط تستهای انجام شده با دستگاههای طبقه بندی ابعادی آزمایشگاهی و با توجه به روابط معروف توربو ماشین ها مورد بررسی قرار گرفتند تا میزان درستی آنها مشخص شود. روابط توربو ماشین های مذکور عبارتند از [10]:

$$Q \approx N D^3 \quad ۳-۱$$

$$P \approx N^3 D^5 \quad ۴-۱$$

در روابط فوق ،  $Q$  دبی حجمی ،  $N$  سرعت دورانی یا چرخشی روتور ،  $D$  قطر روتور و  $P$  توان مصرفی خالص می باشد که توسط سیمون و کروم در سال ۱۹۷۷ ارائه شده است. آربیتز با استفاده از آنالیز ابعادی ،  $\gamma$  پارامتر کارائی (  $\gamma$  پارامتر موثر بر راندمان ) را به منظور توصیف خصوصیات هیدرولیکی دستگاه فلوتاسیون بیان نمود. این پارامتر ها در جدول ۳-۱ نشان داده شده است که در آنها  $A_c$  سطح مقطع سلول ،  $A_{dt}$  قطر لوله ی طراحی شده ،  $g$  شتاب ثقل ،  $Q_r$  جریان گردابی مایع ،  $Q_a$  نرخ مکش هوا ،  $V_c$  حجم سلول ،  $V_t$  سرعت سر روتور ،  $\rho$  وزن مخصوص مایع یا پالپ میباشد [10].

جدول ۳-۱: پارامتر های کارائی هیدرولیکی سلول فلوتاسیون

پارامتر	تعریف
جریان مخصوص هوا	$Q_a / V_c$
شدت و میزان گردابی بودن	$Q_r / V_c$
سرعت صعود مایع	$Q_r / A_{dt}$
توان مخصوص	$P / V_c$
عدد توان ، $N_p$	$N^3 D^5 \rho P g /$
عدد جریان هوا ، $N_p$	$Q_a / A_c V_t$
عدد ظرفیت هوا ، $C_a$	$Q_a / N D^3$

آنالیز های بعدی انجام شده توسط زولکارنیک در سال ۱۹۷۳ ، اهمیت عدد ظرفیت هوا را در بزرگ مقیاس نمایی ماشین های فلوتاسیون تایید می نماید و راجع به این موضوع که عدد فرود باید به جای عدد توان به کار رود ، بحث می کند. عدد فرود به صورت زیر تعریف می گردد [10]:

$$F_r = N^2 D / g \quad 5-1$$

آنچنانکه در جدول ۱-۳ مشاهده میشود ، ارتباط بین این پارامتر ها و توابع بحرانی ماشین های فلوتاسیون کاملاً روشن و واضح است. شدت گردش ، توان مخصوص ، عدد توان و عدد فرود با تعلیق پالپ ، پایداری فصل مشترک و تماس بین جامد هوا مرتبط می باشد. توان مخصوص را چگالی توان یا شدت توان نیز می نامند. این پارامتر ها با زمان ماند نیز ارتباط دارند ، چرا که بروی تعلیق و مدار کوتاه شدن دستگاه اثر می گذارند. جریان مخصوص هوا ، عدد جریان هوا و عدد ظرفیت هوا با پایداری فصل مشترک و تماس جامد هوا ارتباط دارد. شکل ۱-۳ نتایج حاصل از آزمایشات آزمایشگاهی انجام گرفته توسط ماسینی ، فیلهو و رودریگو را نشان می دهد. تطابق بین راندمان فلوتاسیون با کمیت های هیدرودینامیکی اصلی در آن به تصویر کشیده شده است. این آزمایشها در لوله ی هالیموند و تحت شرایط کاملاً کنترل شده انجام گرفته است که در آنها از ذرات درشت کوارتز و ذرات درشت کروی شیشه ای با دانه بندی یکنواخت استفاده شده است. شایان ذکر است که در واقعیت و در مقیاس صنعتی ، نتایج یکسان با این نتیجه حاصل نمی گردد. با این حال تطابق حاصله آموزنده است و نشان دهنده ی مقادیر حاصل از آزمایشهای بنیادین و پارامتر های هیدرودینامیکی است.