



مهندسی آب و فاضلاب

[www.abfaeng.ir](http://www.abfaeng.ir)

جلوتر از دیگران حرکت کنید

اطلاعات آموزشی

اطلاعات فنی و مهندسی

اخبار روز آب و فاضلاب

اخبار استخدامی کارفرمایان



[T.me/mohandesifazelab](https://t.me/mohandesifazelab)



[Instagram.com/abfaeng](https://www.instagram.com/abfaeng)

## ۲-۳-۵- شناورسازی<sup>۱</sup>

شناورسازی از عملیات واحدی است که برای جداسازی ذرات جامد یا مایع از یک فاز مایع به کار می رود. مواد قابل شناوری (به طور عمده روغن های غیر امولسیون و مواد آلی) معمولاً در طراحی تجهیزات تصفیه مقدماتی در صنعت نسبت به مواد قابل ته نشینی از اهمیت بیشتری برخوردار می باشند. بدین منظور در بیشتر پالایشگاه ها، واحدهای شیمیایی و سایر کارگاه های صنعتی از تجهیزات جداسازی آب - روغن به جای تانک های ته نشینی اولیه استفاده می شود.

مزیت اصلی شناورسازی بر ته نشینی این است که با این روش ذراتی را که بسیار کوچک و یا سبک اند و به آرامی ته نشین می شوند را می توان به طور کامل تر و در زمان کوتاهتر حذف کرد. به محض شناور شدن ذرات در سطح، می توان آنها را از طریق کف روبی جمع آوری کرد. در ادامه روش های مختلف شناورسازی با تأکید بر روش DAF مورد بررسی قرار می گیرند.

## ۲-۳-۵-۱- سیستم های روغن - آب

قبل از آنکه سیستم و یا دستگاهی جهت جداسازی روغن از آب یا پساب انتخاب شود لازم است تا نوع پساب روغنی که باید مورد تصفیه قرار گیرد مشخص شود.

در این قسمت کلمه روغن در شکل کلی به فاز غیر آبی اطلاق و آب به فاز مایع اطلاق می شود. بعد از مدت زمان کافی تماس بین آب و روغن، روغن با حضور در فاز آبی به صورت های مختلف می تواند سبب آلودگی آب شود. این اشکال مختلف روغن عبارتند از: روغن آزاد، روغن به شکل امولسیون، روغن محلول، امولسیون های پایدار شیمیایی و ذرات معلق احاطه شده توسط روغن.

## الف - روغن آزاد<sup>۲</sup>

هنگامیکه مخلوطی از آب و روغن برای مدت زمان کوتاهی به صورت ساکن قرار گیرد، در صورتیکه دانسیته روغن کمتر از آب باشد، روغن به صورت لایه ای در سطح فاز آبی شکل می گیرد. لایه ای که بر روی سطح فاز مایع جمع می شود دارای خصوصیت فیزیکی و شیمیایی منبع آن (روغن) می باشد. مگر اینکه در اثر

<sup>1</sup> Flotation

<sup>2</sup> Free Oil

تغییر و یا واکنش مواد شیمیایی موجود در فاز آبی و محیط اطراف به این شکل درآمده باشند. این تغییرات و یا واکنش ها ممکن است به دلیل یکی و یا تمامی مکانیزم های زیر باشد :

تبخیر ترکیبات فرار، اکسیداسیون اتمسفریک و فعالیت میکروب ها .

عمده ترین توانایی سیستم CPI در حذف روغن آزاد می باشد .

### ب – روغن پراکنده ( امولسیون)<sup>1</sup>

گاهی بخاطر شدت اختلاط، قطرات روغن در فاز آبی پراکنده می شوند که این مسئله ارتباط با میزان حجم آن و سایر فاکتورها دارد. اندازه ذرات روغن پراکنده در امولسیون بسیار مهم می باشد. با توجه به شدت اختلاط ممکن است پراکنندگی اولیه یا ثانویه در فاز مایع صورت گیرد.

پراکنندگی اولیه به دلیل وجود قطرات ماکروسکوپی روغن که قطر آنها بین  $10000-1000$  A می باشد شکل می گیرد. این قطرات را می توان با استفاده از حرارت و یا استفاده از مواد شیمیایی ناپایدار نمود و با تبدیل آنها به قطعات بزرگتر و ایجاد سکون به مدت حدود ۲۴ ساعت ، اقدام به جداسازی نمود. پراکنندگی اولیه می تواند به علت استفاده از پمپ های دیافراگمی و همچنین پمپ های سانتریفوژ با سرعت کم شکل گیرد.

پراکنندگی از نوع دوم ( ثانویه ) به دلیل وجود قطرات میکروسکوپی روغن با قطر بین  $600-50$  A شکل می گیرد. این نوع پراکنندگی با ایجاد شرایط سکون به مدت طولانی و یا حتی استفاده از حرارت از بین نرفته و پایدار باقی می ماند. توربولانس و اغتشاشات شدید جریان سبب شکل گیری این نوع پراکنندگی می شود .

### ج – امولسیون های پایدار شیمیایی

حضور سورفاکتانت ها جهت تشکیل امولسیون های پایدار شیمیایی مناسب می باشد . این ذرات دارای اندازه مشابه با پراکنندگی ذرات از نوع اول و دوم می باشد. در این قسمت ذرات دارای پایداری بیشتری نسبت به حالت های قبل هستند . زیرا حضور ترکیب سوم در فاز روغن و یا فاز آبی سبب این افزایش پایداری می شود. این عامل و ترکیب سوم تحت عنوان سورفاکتانت (عامل فعال سطحی یا دترجنت، صابون و امولسیون کننده ها) می باشد. غلظت ناچیزی از این مواد می توانند روغن را به شکل امولسیون های پایدار در آورند .

---

<sup>1</sup> Dispersed Oil (Emulsion)

## د- روغن محلول

مطالعات مختلف نشان داده است که با حضور مواد آلی محلول (DOM) در فاز آبی، میزان حلالیت روغن افزایش می یابد مخصوصاً ذراتی که بخش عمده آنها هیدروکربن های آلیفاتیک باشند. قطرات محلول روغن معمولاً کوچکتر از ۰/۵ میکرون هستند.

## و- ذرات معلق احاطه شده توسط روغن<sup>۱</sup>

جامدات معلق موجود در فاز آبی ممکن است بوسیله روغن احاطه شوند. این ذرات دارای منابع، دانسیته و اندازه های مختلفی هستند. این ذرات می توانند ذرات رس، سیلیس، فلزات سنگین و غیره باشند.

## ۲-۳-۵-۲- روش های مختلف شناورسازی

### الف- شناورسازی ثقلی ( جداکننده های ثقلی)<sup>۲</sup>

جداکننده های ثقلی معمولاً برای زدودن و حذف روغن، گریس و نفت به صورت آزاد و غیر امولسیون به کار می روند. از نظر تئوری فرآیند جداسازی در جداکننده های ثقلی به وسیله قانون استوکس در غیاب جریان توربولانسی و جریان های گردشی پیش بینی می شود. بنابراین در عمل راندمان جداکننده ثقلی بستگی به طراحی دقیق هیدرولیک جداکننده و زمان ماند پساب دارد. جداکننده های ثقلی به دو دسته API<sup>۳</sup> و CPI<sup>۴</sup> تقسیم بندی می شوند.

### • جدا کننده API

سیستم API در واقع یک جداکننده روغن از آب می باشد که تحت استانداردهای API طراحی شده باشد. این سیستم به طور وسیعی در تصفیه خانه ها و بسیاری از واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. برای طراحی مخازن دایره ای و مستطیلی استانداردهایی وجود دارد ولی در عمل واحدهای مستطیل شکل سازگاری بیشتری داشته و به میزان وسیعتری به کار می روند. اغلب واحدها بنا به دلایل متعددی به طور محافظه کارانه طراحی می شوند.

<sup>1</sup> Oil-Coated Suspended Solids

<sup>2</sup> Gravity Separators

<sup>3</sup> American Petroleum Institute

<sup>4</sup> Corrugated Plate Interceptors

در این واحدها علاوه بر حذف روغن و چربی، ذرات جامدی نظیر پیچ و مهره، ورقه های پلاستیکی، قطعات بزرگ فلزی و غیره که غالباً در فاضلابروها ملاحظه می شوند به وسیله جداکننده ها حذف می شوند. در نتیجه در این نوع جداکننده ها به لجن روب های قویتری نیاز است. طراحی انواع مختلف جداکننده های آب - روغن بر اساس اختلاف دانسیته استوار می باشد. قابلیت و توانایی جداکننده در بهبود بخشیدن به عملکرد جداسازی روغن از پساب تابع عوامل متعددی است که عبارتند از:

- نوع و حالت روغن و چربی در جریان پساب
- خواص جریان خاص
- طراحی و اندازه واحد
- زمان ماند پساب

رابطه اصلی حذف روغن در اینگونه واحدها همانند واحدهای ته نشینی بوده و به قرار زیر می باشد:

$$V_r = \frac{g}{18} \cdot \frac{\rho_w - \rho_0}{\mu} d^2$$

که در این فرمول:

$V_r$ : سرعت صعود (برحسب cm/sec)

$\rho_w$ : دانسیته آب

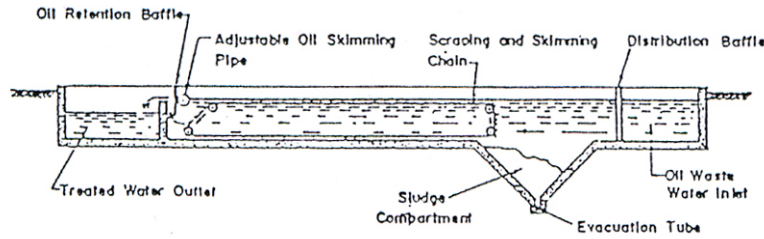
$\rho_0$ : دانسیته روغن

$\mu$ : ویسکوزیته دینامیکی یا مطلق آب

$d$ : قطر ذرات (برحسب سانتیمتر)

$g$ : ثابت ثقل ( $981 \text{ cm/sec}^2$ )

این رابطه برای همه جداکننده های ثقلی روغن از آب به کار می رود. همانند ته نشینی بر مبنای قانون استوکس استوار بوده و برای اعداد رینولدز کمتر از یک صادق است. همچنین باید توجه داشت که این فرمول فقط برای روغن آزاد می تواند بکار رود و برای روغن های امولسیون قابل استفاده نمی باشد. جداکننده های نوع API و CPI برای حذف و کاهش روغن های امولسیون طراحی نمی شوند بلکه فقط برای روغن های آزاد مورد استفاده قرار می گیرند. اندازه استاندارد قطر ذرات روغن برای حذف روغن ۱۵۰ میکرون می باشد. در شکل (۲-۳۲) مقطع یک واحد جداکننده API نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۲) : جداکننده API

### • جداکننده CPI

جداکننده های CPI که گاهی به نام TPI<sup>۱</sup> نیز خوانده می شوند به طور گسترده ای جایگزین جداکننده های API و مخازن ته نشینی اولیه شده اند. این واحدها فقط نیاز به ۱۵ تا ۲۰ درصد از فضای مورد نیاز یک جداکننده API داشته و بطور چشمگیری هزینه ساخت و نگهداری را کاهش می دهند. واحدهای CPI از مجموعه ای از صفحات موجدار تشکیل می شوند که با زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه در داخل مخزن قرار گرفته اند. اگر صفحات با زاویه ۶۰ درجه قرار بگیرند، ذرات جامد به سهولت از روی صفحات به سمت پایین لیز خورده و در کف مخزن جمع آوری می شوند.

از مهمترین مزایای یک جداکننده CPI نسبت به API می توان به موارد زیر اشاره نمود :

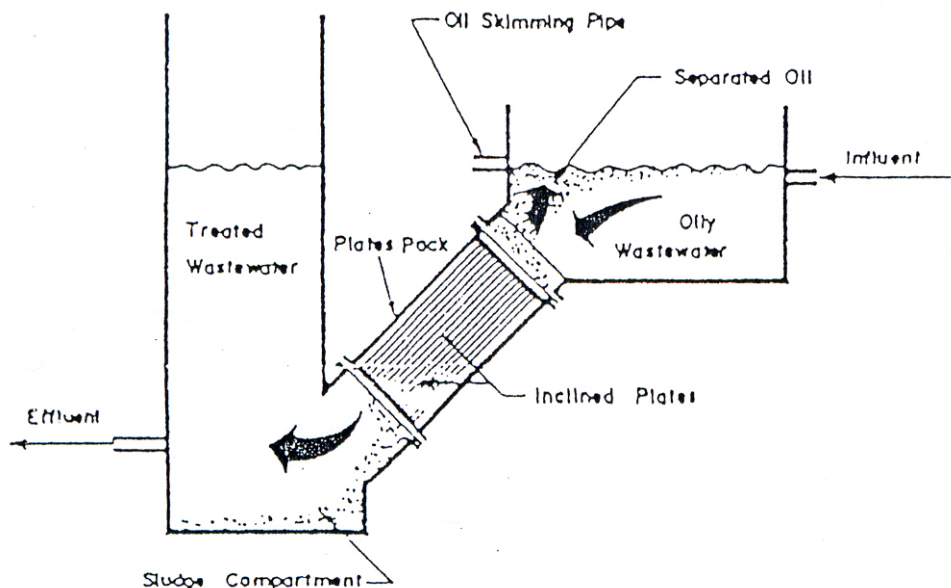
- بالابردن راندمان جداسازی مواد روغنی و لجن از پساب
- ایجاد جریان آرام<sup>۲</sup> بین صفحات
- کاهش قابل توجه فاصله و مسافتی که ذرات روغن باید طی کنند تا به سطح برسند (حداکثر ۱ اینچ)
- تحت تأثیر قرار نگرفتن توزیع جریان در داخل جداکننده به وسیله وزش باد
- تخلیه آسان لجن و مواد ته نشین شده در جداکننده
- کاهش چشمگیر هزینه ساخت جداکننده به خصوص در مواردی که نیاز به مواد مقاوم در برابر اسید باشد.

<sup>۱</sup> Tilted Plate Interceptors

<sup>۲</sup> Lamiar

- این واحدها به آسانی قابل محافظت بوده و نیازی به هیچگونه قطعه متحرک واقع در زیر آب و قابل تعمیر ندارند.

واحدهای CPI بطور گسترده ای در بسیاری از صنایع برای جداسازی آب و روغن به کار می روند اما در پالایشگاه ها با استقبال کمتری روبرو شده اند . به این دلیل که این واحدها قادر به پذیرش و تحمل شوک های حاصل از افزایش ناگهانی بار آلی و جریان های با حجم زیاد به خوبی جداکننده های API نیستند. جداکننده های CPI نسبت به جریان های پساب عبوری و بار روغن دارای محدودیت هایی می باشند که باعث کاهش راندمان عملکرد واحدها می شوند. مقدار جریان گذرنده از واحدهای CPI با مساحت صفحات و حجم واحد متناسب می باشد و مخازن CPI معمولاً شامل ۱۲ تا ۴۸ صفحه موجدار بوده که به صورت موازی در داخل محفظه نصب می شوند. فاصله صفحات از یکدیگر بین ۰/۷۵ تا ۱/۵ اینچ می باشد. جنس صفحات بسته به مشخصات فیزیکی و شیمیایی پساب ممکن است فلزی و یا پلاستیکی باشند و معمولاً با توجه به pH پساب از مواد پوشش دهنده مقاوم در برابر خوردگی استفاده می شود. در شکل (۲-۳۳) مقطع یک جداکننده CPI نشان داده شده است .



شکل (۲-۳۳) : مقطع یک جداکننده CPI با جریان رو به پایین

## ب - شناورسازی با هوا<sup>1</sup>

در این روش جداسازی از طریق وارد کردن حباب های ریز گاز (معمولاً هوا) به داخل فاز مایع صورت می پذیرد . حباب های هوا به ذرات جامد می چسبند و نیروی شناوری مجموعه ذره و حباب های گاز به قدری زیاد است که سبب صعود ذره به سطح می شود، بدین ترتیب می توان ذراتی را که چگالی آنها از مایع بیشتر است را نیز به صعود به سطح واداشت. صعود ذرات با چگالی کمتر از مایع (مانند روغن محلول در آب ) را نیز می توان با این عمل تسهیل کرد.

از حباب های گاز یا هوا به منظور جداسازی ذرات معدنی و نیز در تصفیه پساب های حاوی روغن به طور گسترده ای استفاده شده است . به طور کلی فرآیند شناورسازی از چهار مرحله اساسی تشکیل می شود:

۱. تولید حباب در پساب روغنی
۲. برخورد بین حباب های گاز و قطرات روغن شناور در آب
۳. چسبیدن ذرات روغن به حباب های گاز
۴. صعود مجموعه هوا - روغن به سطح آب یعنی جائیکه روغن(و نیز ذرات جامد معلق همراه آن) جمع آوری می شوند.

### • تئوری شناورسازی

اساس جداسازی در عمل شناوری اختلاف بین دانسیته مجموعه حباب ها ، ذرات روغن و ذرات ریز جامد متصل به آن و دانسیته آب می باشد. از آنجائیکه این مجموعه دارای دانسیته کمتری نسبت به بستری است که در آن غوطه ورنند، به سطح آب صعود می کند.

جداسازی ذرات به وسیله شناورسازی از همان قوانین ته نشینی ولی در جهت معکوس پیروی می کند. روابط حاکم بر شناورسازی با هوا ، همانند کلیه روش های جداسازی ثقلی از قانون استوکس پیروی می کنند(حداقل در جریان آرام).

$$V_t = \frac{gD^2(\rho_a - \rho_0)}{18\mu}$$

---

<sup>1</sup> Air Flotation



در این رابطه  $V_t$  سرعت نهایی صعود توده انباشته (توده شامل حباب های هوا، ذرات جامد معلق و روغن می باشد)،  $\rho_a$  و  $D$  نیز به ترتیب دانسیته و قطر موثر توده انباشته می باشند. افزایش سرعت صعود توده روغن و یا مواد جامد به دلیل کاهش دانسیته موثر آنها می باشد که این عمل توسط اتصال حباب های هوا بر سطح ذرات و یا داخل شدن آنها به داخل لخته ها صورت می گیرد. فرآیند فوق طی مراحل زیر انجام می پذیرد:

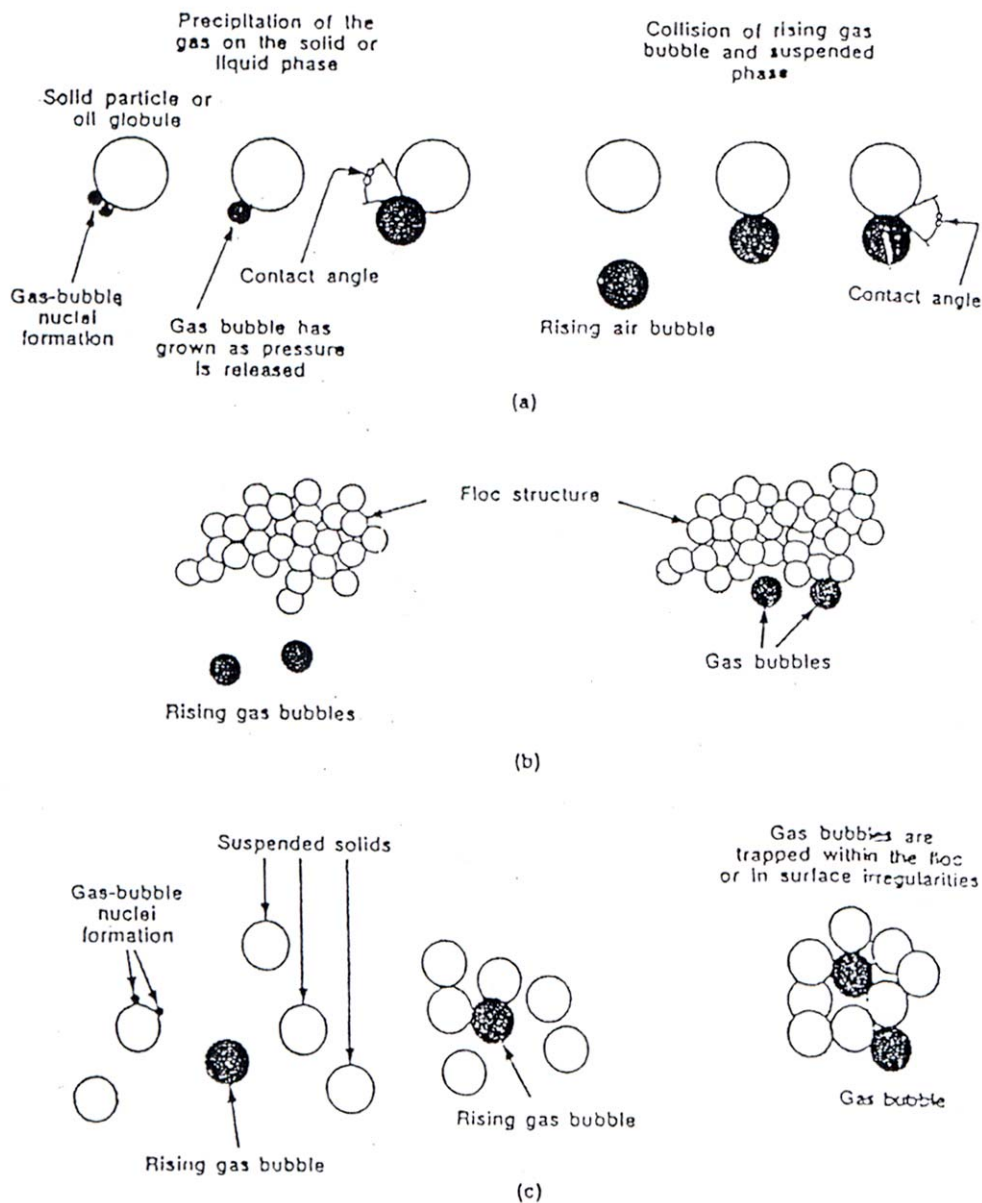
۱. بوجود آوردن حباب های هوا در داخل پساب
۲. برخورد بین حباب های هوا و ذرات جامد یا ذرات روغن
۳. اتصال حباب های ریز به سطح مواد معلق و یا ذرات روغن و چربی
۴. برخورد ذرات روغن حباب دار با یکدیگر و تشکیل توده ای از آنها
۵. بدام انداختن حباب های بیشتر گاز در داخل توده ها
۶. حرکت صعودی به طرف بالا

شکل (۲-۳۴) انواع مکانیسم های تشکیل ، الحاق قطرات ریز و حباب ها را در شناورسازی با هوای محلول نشان می دهد .

زمان ماند یکی از متغیرهای خیلی مهم در سیستم های شناورسازی با هوا محسوب می شود. زمان ماند اساساً بستگی به سرعت صعود حباب های هوا در محلول دارد و سرعت صعود با استفاده از قانون استوکس قابل محاسبه است . در جدول (۲-۱۰) سرعت صعود حباب ها به صورت تابعی از اندازه آنها ارائه شده است .

جدول (۲-۱۰) : سرعت صعود حباب ها به عنوان تابعی از اندازه آنها

سرعت صعود قائم و روبه بالا		قطر حباب
(cm/s)	(ft/min)	
۱	۲	۰/۲
۱۵	۳۰	۱
۲۵	۵۰	۱۰
۵۵	۱۱۰	۵۰



(a) چسبیدن حباب های گاز به فاز جامد یا فاز مایع معلق

(b) محصور شدن حباب های گاز در ساختمان توده ای شکل به دنبال بالا رفتن حباب های گاز

(c) جذب سطحی و سپس جذب عمقی حباب های گاز در یک ساختمان لخته ای در زمان تشکیل توده

شکل (۲-۳۴) : سه روش شناورسازی با هوای مخلوط

Ramirez خاطر نشان می سازد که سرعت حقیقی صعود حباب هایی که بزرگتر از ۱۵۰ میکرومتر می باشند به طور قابل ملاحظه ای سریعتر از آن چیزی است که توسط قانون استوکس پیش بینی می شود و این به دلیل آن است که این حباب ها شکل بیضوی به خود گرفته و در نتیجه مقاومت کمتری نسبت به

جریان و مقدار پیش بینی شده از رابطه تئوری از خود نشان می دهند. وی همچنین اظهار می دارد هنگامیکه فشار بیشتر باشد اندازه میکرو حباب ها بزرگتر خواهند شد.

### • حلالیت گاز

در شناورسازی با هوای محلول ابتدا هوا تحت فشار در پساب حل شده و سپس با آزاد کردن پساب تحت فشار به فشار اتمسفری حباب ها تشکیل و آزاد می شوند. مقدار هوایی که در پساب حل می شود عموماً از قانون هنری پیروی می کند:

$$P = Hc$$

که در این رابطه :

P: فشار جزئی گاز

C: غلظت گاز حل شده در محلول

H: ثابت هنری می باشند.

بنابراین مقدار گاز حل شده در محلول و متعاقب آن مقدار گاز آزاد شده در اثر کاهش فشار، هردو با فشار هوای اولیه نسبت مستقیم دارند.

حلالیت گازها همچنین تابع درجه حرارت و غلظت نمک های محلول می باشد. به عنوان مثال حلالیت هوا در آب مقطر در اثر افزایش درجه حرارت از صفر تا ۳۰ درجه سانتی گراد، ۴۵ درصد کاهش می یابد. همچنین حلالیت اکسیژن در اثر افزایش شوری آب از صفر تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، ۱۹ درصد کاهش می یابد. متداول ترین گاز مورد استفاده در سیستم های شناور سازی هوا می باشد. در جدول (۲-۱۱) حلالیت گازهای نیتروژن، اکسیژن و هوا در فشار اتمسفریک (سطح دریا) ارائه شده است.

جدول (۲-۱۱): حلالیت گازهای مختلف در فشار اتمسفریک (mg/l)

درجه حرارت (°C)	هوا	اکسیژن	نیتروژن
۰	۲۸/۳	۱۰	۱۸
۱۰	۲۳	۸	۱۵
۲۰	۱۸/۸	۶/۵	۱۲/۳
۳۰	۱۶	۵/۵	۱۰/۵
۴۰	۱۴/۱	۴/۹	۹/۲
۵۰	۱۳	۴/۵	۸/۵

پس از اشباع شدن پساب از گاز، پساب از شیر فشار شکن گذشته و وارد حوض شناورسازی می گردد. مقدار هوایی که به طور تئوری در هنگام کاهش فشار و رسیدن به فشار اتمسفری از محلول خارج می شود با معادله زیر نشان داده شده است :

$$S = S_g \left( \frac{fP}{14.7} - 1 \right)$$

که در آن :

S: مقدار گاز آزاد شده در فشار اتمسفری (میلیگرم در لیتر)

$S_g$ : حلالیت گاز در فشار اتمسفری (میلیگرم در لیتر)

P: فشار مطلق سیستم (PSIa)

f: بازده سیستم فشرده سازی

بازده سیستم فشرده سازی بستگی به اختلاط و زمان ماند دارد و در سیستم های معمولی مقدار آن ۴۰ الی ۶۰ درصد و معمولاً از عدد ۵۰ در صد استفاده می شود.

در عمل به وسیله طراحی های موسوم مخزن های تحت فشار به میزان فشار ۵۰ درصد می توان رسید اما اگر از مخلوط کننده مکانیکی و یا آکنه ها استفاده شود میزان اشباع سازی را می توان تا ۹۰ درصد افزایش داد .

#### • مکانیسم فرآیند احاطه شدن ذرات توسط حباب ها

سرعت بالا آمدن حباب (u) توسط قانون استوکس چنین تعیین می شود :

$$u = \frac{X_b^2 \rho_f g}{18\mu}$$

که در آن :

$X_b$ : قطر حباب

$\rho_f$ : چگالی مایع

$\mu$ : ویسکوزیته مایع

g : شتاب ثقل

مکانیسم فرآیند مورد نظر شامل مراحل جداسدن ذرات ، ته نشینی ثقلی و انتشار براونی ذرات می باشد. اگر راندمان کل مجموعه برای یک حباب  $\eta_t$  باشد، که طبق تعریف برابر است با نسبت میزان برخوردهای ذره به حباب تقسیم بر میزان نزدیک شدن ذره به حباب ، دراینصورت  $\eta_t$  شامل مجموعه تک تک راندمان های مکانیسم خواهد بود. بنابراین :

$$\eta_t = \eta_d + \eta_g + \eta_i$$

که در این رابطه اندیس های  $d$  ،  $g$  و  $i$  به ترتیب معرف انتشار، نیروی ثقل و جدا شدن ذرات می باشند . روابط هر یک از این راندمان ها به تنهایی (برای فیلترهای با بستر عمیق ) به صورت زیر نوشته می شوند:

$$\eta_d = 0.9 \left( \frac{KT}{\mu X_b X_p u} \right)^{2/3}$$

$$\eta_g = (\rho_s - \rho_f) X_p^2 \frac{g}{18\mu u}$$

$$\eta_i = \frac{3}{2} \left( \frac{X_p}{X_b} \right)^2$$

که در این معادلات :

$K$  : ثابت بولتسمن (J/K)

$\rho_s$  : چگالی ذره

$X_p$  : قطر ذره

$K$  : ثابت قانون هنری (kPa/mg/l)

$T$  : دمای مطلق بر حسب کلوین

با در نظر گرفتن این روابط برای ذره حباب و جایگزین نمودن سرعت صعود حباب ( $u$ ) طبق رابطه استوکس، به معادلات زیر برای  $\eta_d$  و  $\eta_g$  خواهیم رسید :

$$\eta_d = 6.18 \left( \frac{KT}{g\rho_f X_p} \right)^{2/3} \left( \frac{1}{X_b} \right)^2$$

$$\eta_g = \left( \frac{X_p}{X_b} \right)^2 \frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f}$$

ملاحظه می شود که راندمان برخورد یک حباب به عواملی نظیر: اندازه حباب و ذره ، چگالی مایع و ذره و درجه حرارت بستگی دارد. Malley, Edzwald و Lu این ارتباط را مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان می دهد که بازده برای ذرات حدود  $1 \mu m$  دارای مینیمی است که به اندازه حباب بستگی ندارد. در اندازه های کوچکتر از  $1 \mu m$ ، انتشار به عنوان مکانیسم غالب بوده و در اندازه های بزرگتر مساله جدا شدن ذرات از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد .

با تعمیم دادن این مدل برای مجموعه ذرات و حباب های موجود در مخزن شناورسازی، پارامتر جدیدی به نام راندمان پیوستگی ( $\eta_a$ ) تعریف می شود که معرف نسبت برخوردهای مناسب و موفق حباب - ذره ، تراکم حجمی حباب ( $\phi$ ) و تراکم عددی ذرات (N) می باشد. مجموعه این عوامل معادله زیر را برای میزان حذف ذرات به ما می دهد :

$$\frac{dN}{dH} = -\left(\frac{3\eta_a\eta_t\phi N}{2X_b}\right)$$

اگر شرایط مرزی این معادله را برای عمق مخزن (H) در نظر بگیریم، بطوریکه  $N = N_0$  در سطح مایع ( $H=0$ ) تا  $N=N$  در کف مخزن ( $H=H$ ) باشد در اینصورت معادله کلی حذف ذرات چنین به دست می آید:

$$N = N_0 \exp\left\{-\frac{3\eta_a\eta_t\phi H}{2X_b}\right\}$$

و راندمان کلی حذف ذرات ( $\eta$ ) برابر خواهد بود با :

$$\eta = 1 - \frac{N}{N_0} = 1 - \exp\left\{-\frac{3\eta_a\eta_t\phi H}{2X_b}\right\}$$

ملاحظه می شود که افزایش این راندمان به عوامل زیر بستگی دارد :

- افزایش راندمان احاطه شده یک حباب
- افزایش راندمان پیوستگی
- افزایش تراکم حجمی حباب ها
- افزایش عمق مخزن
- کاهش اندازه حباب

## • تراکم حجمی و اندازه حباب ها

این پارامترها به وسیله طراحی میزان هوا، سیستم اشباع کننده آب و انتشار آن و نیز به وسیله میزان برگشت جریان تعیین می شوند. اشباع کننده مایع می تواند یک برج آکنده<sup>۱</sup>، برج افشان<sup>۲</sup> و یا یک سیستم تزریق کننده<sup>۳</sup> باشد. مزیت اصلی اشباع کردن جریان پساب تصفیه شده برگشتی این است که سیستم های مختلف و پیچیده اشباع کننده مایع بدون هیچگونه نگرانی از مسدود شدن توسط ذرات جامد، می توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

به هر صورت در جزئیات تمام طراحی ها بایستی حفاظت از اشباع کننده های پیچیده در مقابل ذرات اضافی جامد در نظر گرفته شود. طراحی سیستم دیفیوژها تعیین کننده حداقل اندازه حباب ها می باشد. در بیشتر سیستم های کاربردی و معمول، حداقل اندازه حباب ها حدود  $40 \mu m$  است. ملاحظه شده است که حباب های ریز (معمولاً با قطر کوچکتر از  $100 \mu m$ ) بیشترین تاثیر را در جداسازی ذرات معلق دارند.

استیونسون<sup>۴</sup> اظهار می کند که حداقل فشار برای تولید رضایتبخش حباب در حدود  $400$  کیلو پاسکال می باشد، به طوریکه حدود  $90$  درصد اشباع در این فشار انجام می پذیرد. مسئله حائز اهمیت جلوگیری از آزاد شدن هوا از داخل مایع اشباع شده در درون لوله های منتهی به نقاط تزریق و توزیع گسترده آب اشباع شده به داخل تانک شناورسازی به منظور تولید حباب های ریز، به حداقل رساندن تمایل حباب ها برای به هم چسبیدن و از طرف دیگر به حداقل رساندن جریان اغتشاشی که می تواند سبب شکسته شدن فلوک ها گردد، می باشد.

تراکم حجمی حباب ها ( $\phi$ ) از تقسیم غلظت بر چگالی هوای اشباع بدست می آید. مقادیر نمونه ( $\phi$ ) برای درجه حرارت های صفر و  $25$  درجه سانتی گراد به ترتیب  $1/29$  و  $1/17$  بر حسب  $g/L$  می باشند. برای برگشت جریان برابر  $8\%$  در فشار  $70 P_{sig}$  و حباب هایی به قطر  $40 \mu m$ ، تراکم حجمی حباب ها معادل  $4600$  ppm و تعداد حباب ها در هر میلی لیتر برابر  $10^5 \times 1/4$  ارائه شده است. همچنین اظهار شده است که برای کاربردهای ویژه نظیر تصفیه آب جلبک دار به کمک سیستم DAF، این مقدار معادل یک حباب به ازاء هر ذره آلاینده می باشد.

<sup>1</sup> Packed Tower

<sup>2</sup> Spray Tower

<sup>3</sup> Ejector

<sup>4</sup> Stevenson

تحقیقات مختلفی توسط محققین جهت اندازه گیری سایز حباب ها در دنیا انجام گرفته است . اندازه حباب هایی که توسط Vrablik در سیستم شناورسازی با هوای محلول ارائه شده تقریباً در محدوده ۴۵ تا ۱۱۵ میکرومتر و با قطر متوسط ۷۵ الی ۸۵ میکرومتر در فشارهای اشباع ۲۰ و ۵۰ پاوند بر اینچ مربع می باشند. Vrablik همچنین خاطر نشان می سازد که اندازه بزرگترین حبابی که در جریان ویسکوز(آرام) به سطح آب صعود می نماید برابر  $130 \mu m$  می باشد.

تعداد و سایز حباب های هوایی که در یک حجم مشخصی از آب تشکیل می شود هم تابع سیستم فیزیکی و هم مقدار مواد شیمیایی موجود در پساب است. غلظت مواد شیمیایی، کشش سطحی و غلظت نمک های محلول پارامترهای بسیار مهمی محسوب می شوند. Katz گزارش کرده است که با کاهش کشش سطحی حباب های ریزتری و به تعداد بیشتری تشکیل می گردند. Ramirez اندازه حباب های منتشر شده در سه روش الکترولیز، Dispersed Air و DAF را اندازه گیری و با هم مقایسه نموده است . اطلاعات مربوط به اندازه حباب ها در جدول (۲-۱۲) نشان داده شده است .

جدول (۲-۱۲) : مقایسه اندازه حباب های تولید شده از سه فرآیند مختلف شناورسازی

فرآیند تولید			پارامتر
Dissolved Air	Dispersed Air	Electrolytic	
۷۵	۱۷۰	۱۰۰	قطر متوسط حباب ( $\mu m$ )
۰/۱	۱/۵	/۵	سرعت صعود حباب (cm/s)
$3/6 \times 10^6$	$0/2 \times 10^6$	$10^6$	تعداد حباب ها در هر $cm^3$
۸۰۰	۲۹۳	۴۵۴	سطح حباب ها ( $cm^2/cm^3$ )

#### • نسبت هوا به جامدات

پارامتر حاکم بر سرعت صعود توده حاوی ذرات و هوا در سیستم های DAF ، نسبت هوا به جامدات است که به صورت جرم هوای آزاد شده از محلول در هنگام کاهش فشار بر واحد جرم جامدات پساب تعریف می شود. در سیستم هایی که حاوی روغن هستند واژه جامدات می تواند به وسیله واژه روغن و چربی و یا مجموع جامدات معلق و روغن و چربی جایگزین شود. بعقیده Eckenfelder مهمترین پارامتر در طراحی سیستم های شناورسازی با هوا نسبت هوا به جامدات است و در یک طراحی خوب باید این نسبت بهینه شود. اگر کمتر از میزان بهینه هوا در این سیستم بکار برده شود بازدهی حذف روغن و چربی (یا ذرات جامد معلق) کاهش می یابد و چنانچه مقدار بیشتری هوا مصرف شود انرژی در فشرده سازی اضافه هدر می رود.



نسبت هوا به مجموع جامدات و روغن به آسانی برای سیستم های شناورسازی با هوای محلول با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{A}{S} = \frac{C_s}{X_f}(fP - 1)$$

که در این رابطه :

$$\frac{\text{هوا (میلیگرم)}}{\text{روغن + جامدات (میلیگرم)}} = \frac{A}{S}$$

$C_s$ : حلالیت هوا در فشار یک اتمسفر و دمای کارکرد (میلیگرم در لیتر)

$X_f$ : غلظت مواد جامد معلق + غلظت روغن در خوراک ورودی (میلیگرم در لیتر)

$P$ : فشار کارکرد (اتمسفر)

$f$ : بازده عمل فشرده سازی (مقدار واقعی هوایی که در اثر عمل فشرده سازی در پساب حل شده است

معمولاً  $f = 0.5$ )

$= 1$  هوای باقیمانده در محلول در فشار اتمسفری

در سیستم های فشرده سازی با جریان برگشتی، به دلیل اینکه تمام هوا به جریان برگشتی اضافه شده و

آلودگی های معلق در جریان پساب خام می باشند، رابطه باید به صورت زیر بیان شود:

$$\frac{A}{S} = \frac{RC_s}{QX_f}(fP - 1)$$

که در آن :

$R$ : دبی جریان برگشتی (گالن بر دقیقه )

$Q$ : شدت جریان پساب خام (گالن بر دقیقه ) می باشد .

نمونه هایی از کاربرد  $A/S$  در جدول (۲-۱۳) ارائه شده است .

جدول (۲-۱۳) : مقادیر A/S بکار رفته در سیستم های مختلف تصفیه فاضلاب صنعتی

Author	Air/solids ratio	Wastewater system	Influent suspended solids concentration (mg/l)
Beisinger et al.	0.026	Poultry processing	900
	0.020	Poultry processing	1300
	0.020	Beef packing	2000
	0.007	Beef packing	5000
	0.07	Soybean oil	200
	0.7	Refinery	50
Steiner	0.02—0.12	Refinery	50 (oil)*
Reed and Woodward	0.12*	Poultry processing	43—273
Abo-El Ela and Nawar	0.008*	Soap factory	1100 (oil)
Zimmerman and Jacquez	0.006	Poultry processing	250 (SS) 4000 (O & G)
McIntyre	0.02	Parts manufacturing	—
Moursy and El-Ela	0.001	Refinery	56
Average	0.09 (or 0.04 if one very high value is not included)		

## ۲-۳-۵-۳-۲- انواع شناورسازی با هوا

### ۲-۳-۵-۳-۲-۱- شناورسازی با ایجاد خلاء<sup>۱</sup>

در این روش ابتدا محلول سوسپانسیون در شرایط فشار اتمسفری با هوا اشباع می شود. اشباع نمودن فاضلاب در این سیستم به دو صورت انجام می گیرد:

۱- مستقیماً در یک مخزن هوادهی

۲- وارد نمودن هوا به قسمت مکش یک پمپ فاضلاب

سپس پس از اشباع شده به مخزن انبساط منتقل و در همین زمان فشار به کمتر از حالت اتمسفری کاهش می یابد. ایجاد خلاء نسبی موجب می شود که در این مخزن هوای حل شده سریعاً از محلول فوق اشباع خارج شده و تولید حباب های ریز می کند. حباب ها و ذرات جامد چسبیده به آنها به سمت سطح بالا آمده و لایه کف را تشکیل می دهند که با کف روبی حذف می شود. دانه ها و سایر جامدات که در کف ته نشین می شوند برای دفع به یک چاهک لجن مرکزی هدایت می شوند. به طور کلی مجموعه واحدهای لازم برای سیستم شناورسازی تحت خلاء عبارتند از :

<sup>1</sup> Vacuum Flation

- تانک هوادهی که فاضلاب در آن از هوا اشباع می شود.
- پمپ های خلاء
- پمپ های انتقال لجن از کف

## ۲-۳-۵-۳-۲- شناورسازی توسط جریان الکتریکی<sup>۱</sup>

این تکنولوژی روش دیگری از شناور سازی است که موجب ایجاد حباب های کوچک گاز ناشی از الکترولیز آب و تجزیه آن به اکسیژن و هیدروژن می شود. هنگامیکه جریان پساب خروجی در میان دو الکتروود قرار می گیرد به علت برقراری جریان الکتریکی بین الکتروودها ( معمولاً با ولتاژ پایین) یک میدان الکتریکی بین آند و کاتد تشکیل می شود. بدون افزودن مواد شیمیایی، یک کواگولاسیون مقدماتی بین مواد معلق رخ داده و ذرات مثبت و منفی تشکیل لخته هایی را می دهند. بعلاوه به مجرد الکترولیز آب هیدروژن و اکسیژن تحت شرایط تحریک الکتریکی به صورت حباب های ریز و یکنواخت آزاد شده و به طور عمودی صعود نموده و تولید یک اثر پوششی می نمایند. حباب های حاصله به همراه مواد جامد معلق و ذرات روغن در سطح پساب جمع شده و به روش مکانیکی جمع آوری می شوند.

در لایه انتشار آند، اکسیژن آزاد اتمی به وجود می آید که به وسیله جریان کنوکسیون (همرفت) به داخل سوسپانسیون حمل شده و فوراً با مواد آلی و معدنی سوسپانسیون ترکیب و آنها را اکسیده می کند. به همین ترتیب نیز حباب های هیدروژن باعث احیاء برخی از آلودگی ها در محلول می شود. پارامترهای عمده موثر در روش شناورسازی الکتریکی عبارتند از: pH، نوع الکتروولیت (NaCl, HCl, NaOH)، دانسیته جریان و زمان ماند.

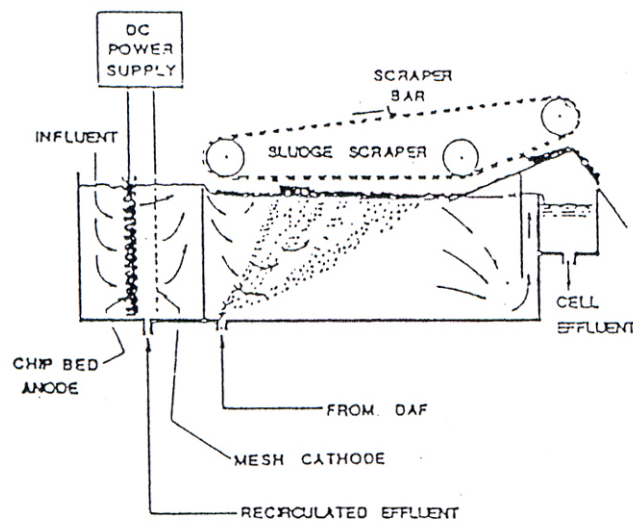
مهمترین مزایای این روش به قرار زیر می باشند:

۱. الکتروودها می توانند به گونه ای قرار بگیرند که پوشش خوبی بر روی سطح تانک فراهم سازند و در نتیجه اختلاط یکنواختی بین جریان خروجی و حباب های گاز به دست آید.
۲. این روش تعداد زیادی حباب ریز با حداقل توربولانس ایجاد می کند.
۳. گرادیان میدان الکتریکی بین الکتروود و جامد لخته شده می تواند کنترل شود.
۴. تولید گاز و زمان ماند به آسانی قابل کنترل می باشند.

---

<sup>1</sup> Electroflotation

مزیت دیگر این سیستم ها آن است که هیچگونه توربولانسی به سبب آزاد شدن ناگهانی فشار وجود ندارد و بنابراین برشی در لخته های شکننده دیده نمی شود. مزیت دیگر این فرآیند بر سایر متدها این است که بازده تولید حباب ها مستقل از درجه حرارت پساب است. به حداقل رساندن خرابی الکترودها کلید موفقیت راهبری اقتصادی و پیوسته این سیستم ها می باشد. الکترودها هر چند وقت به چند وقت با عوض کردن جهت جریان تمیز می شوند. در مورد الکترودهایی که انجام این عمل برای آنها امکان پذیر نیست ماده شیمیایی ویژه ای به پساب قبل از تصفیه اضافه می شود تا از رسوب کردن کربنات ها بر روی الکترودها جلوگیری شود. شناورسازی به کمک جریان الکتریکی در تصفیه فاضلاب ها و پساب ها به دلیل هزینه بالای نگهداری و بهای توان مصرفی مقرون به صرفه نیست. کاربرد دیگر این روش در پیش تصفیه پساب ورودی قبل از مرحله شناورسازی با هوای محلول (DAF) می باشد. نمونه ای از این کاربرد در شکل (۲-۳۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۵): نمای شماتیک سلول الکترولیتی همراه با سیستم DAF

## ۲-۳-۵-۳-۳- شناورسازی با هوای محلول<sup>۱</sup>

واحد شناور سازی با هوای محلول معمولاً در تصفیه خانه ها و کارخانجات بعد از یک واحد CPI و یا API قرار می گیرد و به وسیله مواد شیمیایی (معمولاً پلیمرها یا مواد منعقد کننده و یا هردو) و شناورسازی، روغن های امولسیون را می زداید.

یک سیستم DAF به طور معمول دارای قسمت های زیر است :

پمپ فشار، سیستم تزریق هوا، مخزن اشباع سازی، رگولاتور فشار (شیر فشار شکن) ، مخزن شناورسازی (دارای پخش کننده جریان ورودی) و سیستم افزایش مواد شیمیایی .

### الف - روش های مختلف اشباع سازی

در سیستم DAF جهت اشباع سازی پساب از هوا آن را تحت فشار قرار می دهند . تحت فشار قرار دادن پساب به سه روش صورت می گیرد :

#### ۱. تحت فشار قرار دادن کل جریان :

در این سیستم تمام پساب خام ورودی تحت فشار قرار گرفته و از هوا اشباع می شود. در این طرز عمل نسبت به دو روش دیگر بیشترین مقدار هوا حل می شود و نتیجه آن بیشترین احتمال اتصال مناسب بین ذرات و حباب های هواست. اما در اثر این عمل به دلیل نیاز به سیستم های اشباع سازی بزرگتر احتمال شکستن لخته ها، در اثر عملکرد پمپ و همچنین هنگام کاهش فشار بیشتر می شود.

#### ۲. تحت فشار قرار دادن قسمتی از جریان :

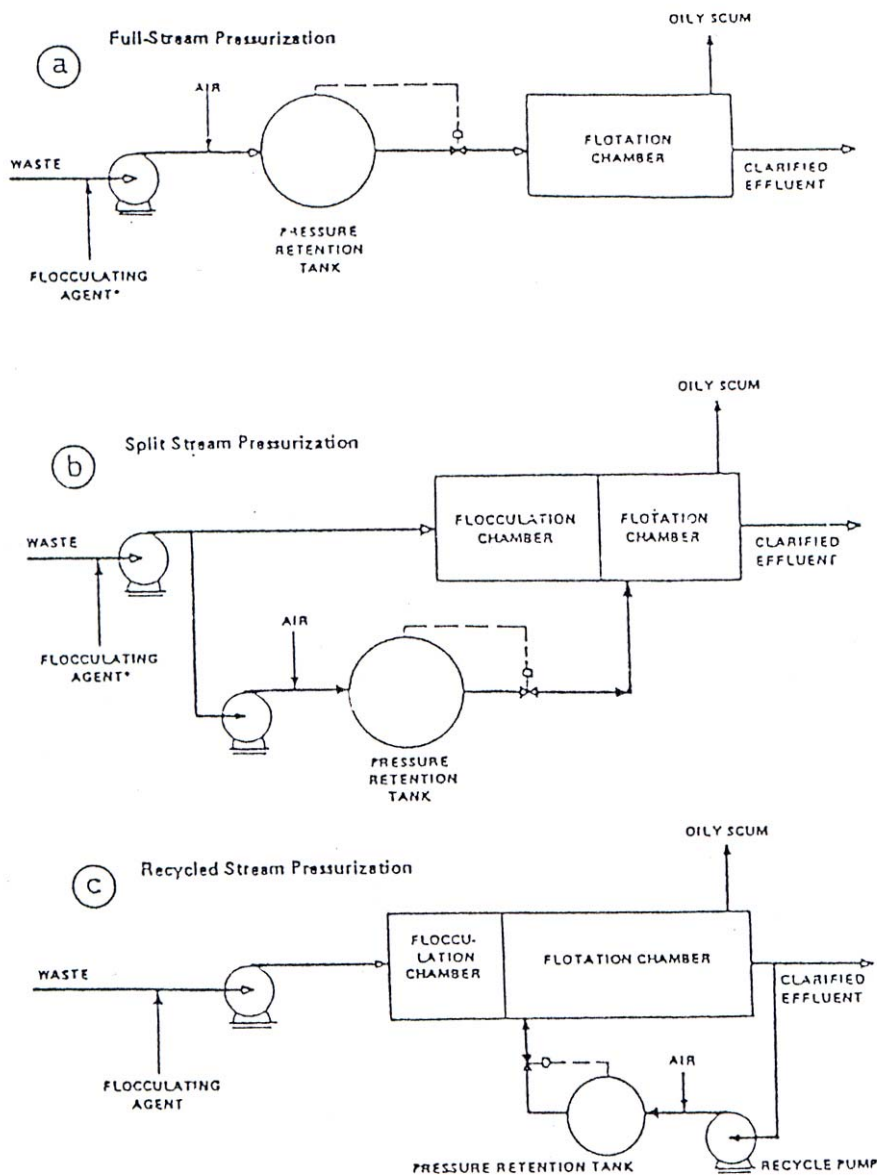
در این سیستم قسمتی از پساب خام ورودی به طرف سیستم تحت فشار منحرف می گردد . از مزایای اصلی این سیستم می توان کاهش دادن بهای پمپاژ، ظرفیت بیشتر سیستم در حمل جریان لخته سازی و کاهش شکستن لخته ها را نام برد. عیب رایج این سیستم و سیستم اول ، قیچی شدن لخته ها و یا امولسیون شدن روغن در هنگامی است که جریان ورودی دچار کاهش فشار می شود. در فشارهای یکسان، مقدار هوای حل شده در این سیستم نسبت به تحت فشار قرار دادن کل جریان به دلیل شدت جریان کمتر پساب کمتر می باشد.

---

<sup>1</sup> Dissolved Air Flotation

### ۳. تحت فشار قرار دادن جریان برگشتی :

در این سیستم ۲۰ تا ۵۰ درصد پساب تصفیه شده به سیستم تحت فشار برگردانده می شود بنابراین از شکسته شدن لخته ها و یا امولسیون مجدد روغن در جریان ورودی اجتناب می شود. اگر نخواهیم که بار هیدرولیکی (بر اساس شدت جریان ورودی) تغییر کند به دلیل اضافه شدن جریان برگشتی به کل جریان مجبور به بکارگیری بستر شناورسازی بزرگتری هستیم. سیستم های فوق در شکل (۲-۳۶) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۶): انواع روش های تحت فشار قرار دادن پساب

هر روش دارای مزایا و معایب مشخصی است که در هر مورد خاص باید ارزیابی شوند. عمومی ترین این مزایا و معایب عبارتند از :

## ۱. تحت فشار قرار دادن کل جریان :

### •مزایا:

- بیشترین میزان حلالیت گاز را در هر فشاری ایجاد می کند. به دلیل تحت فشار قرار دادن کل جریان مقدار گاز بیشتری در پساب نسبت به دو روش دیگر حل می شود.
- در بکارگیری آن در یک تصفیه خانه، نسبت به تحت فشار قرار دادن جریان بازگشتی نیاز به حوض شناورسازی کوچکتری دارد.
- به دلیل افزایش مقدار گاز حل شده حداکثر تعداد حباب ها تشکیل می گردد و احتمال برخورد آنها با ذرات افزایش می یابد.

### •معایب :

- مقدار کل جامدات باید پمپ شود که این امر سبب سایش پمپ و افزایش هزینه راهبری و نگهداری می شود.
- روغن موجود در جریان ورودی در اثر تنش برشی پمپ تغذیه، بیشتر امولسیون شده و مشکلات جداسازی افزایش می یابد.

## ۲. تحت فشار قرار دادن قسمتی از جریان :

### •مزایا:

- نسبت به تحت فشار قرار دادن کل جریان به پمپ کوچکتری نیاز دارد و در واقع هزینه راهبری و نگهداری کاهش می یابد.
- اندازه حوض شناورسازی مشابه روش تحت فشار قرار دادن کل جریان ولی کوچکتر از روش بازگشتی است .

- نسبت به تحت فشار قرار دادن کل جریان کنترل پمپ ساده تر است . پمپ می تواند با جریان ثابت راهبری شود و عمل فلوکولاسیون بر روی قسمتی که تحت فشار نیست انجام شود. از طرفی با افزایش جریان، نسبت هوا به جامد کاهش می یابد و ممکن است در عملیات اثر معکوس ایجاد کند.
- در هنگام استفاده از مواد شیمیایی، عمل انعقاد و لخته سازی می تواند بر روی بخشی از پساب که تحت فشار قرار نگرفته است انجام شود.

#### • معایب :

- در فشار یکسان، در مقایسه با سیستم تحت فشار قرار دادن کل جریان حجم هوای حل شده کمتر است.
- هنوز مقدار معینی از جامدات سایش دهنده در جریان ورودی به پمپ فشار وجود دارند که باید پمپاژ شوند.
- هنوز مقداری روغن در جریان ورودی به پمپ فشار وجود دارد که ممکن است در اثر تنش برشی پمپ تغذیه تشکیل امولسیون دهد.

### ۳. تحت فشار قرار دادن جریان برگشتی :

#### • مزایا:

- نسبت به تحت فشار قرار دادن کل جریان به پمپ کوچکتری نیاز دارد و بنابراین هزینه سرمایه گذاری اولیه و راهبری کاهش می یابد.
- سیستم در مورد جریان های مختلف نیاز به کنترل پمپ ساده تری دارد .
- تشکیل امولسیون در اثر تنش برشی پمپ به حداقل می رسد.
- از آنجائیکه جامدات سایش دهنده بطور وسیعی در حوض شناورسازی قبل از مرحله تحت فشار قرار دادن جدا شده اند جریان ورودی به پمپ فشار فاقد مواد جامد سایش دهنده می باشد.
- لخته های تشکیل شده در سیستم تحت تنش برشی پمپ فشار قرار نمی گیرند.



## • معایب :

- جهت حفظ بار هیدرولیکی (گالن بر دقیقه بر فوت مربع سطح شناور سازی) در مقایسه با تحت فشار قرار دادن کل و قسمتی از جریان نیاز به بزرگتر کردن حوض شناورسازی داریم .
- عیب بالقوه دیگر روش تحت فشار قراردادن جریان برگشتی در تغلیظ لجن فعال به وسیله DAF مشخص شده است .بیشترین درصد حذف جامدات با جریان برگشتی ۲۰ الی ۵۰ درصد کل جریان می باشد. تفسیر این پدیده این است که آشفتگی بیشتر ایجاد شده در اثر افزایش بار هیدرولیکی، افزایش سرعت صعود بوجود آمده به علت رقیق شدن جامدات جریان ورودی را خنثی نموده و مقدار هوا را افزایش می دهد.

یکی از محققین اولیه، Rohlich، در مطالعات خود در سال ۱۹۵۴ در بررسی سیستم های تحت فشار قرار دادن پساب پالایشگاه چنین نتیجه گیری کرد که سیستم تحت فشار قرار دادن جریان برگشتی بهترین روش است و نتیجه گیری او با مرور زمان عوض نشده است .

Boyd و همکارانش دو نوع سیستم تحت فشار قرار دادن جریان کامل و برگشتی را در تصفیه پساب پالایشگاه مقایسه نمودند. این مقایسه میزان حذف روغن ورودی را ۷۲ درصد (در جریان کامل) و ۹۲ درصد (برای یکبار جریان برگشتی) نشان داد .

Degregorio اظهار داشت که ۸۰ الی ۹۰ درصد واحدهای صنعتی از DAF به روش تحت فشار دادن جریان برگشتی استفاده می کنند و اکثر سیستم های DAF به روش برگشتی راهبری می شوند.

## ب - شکل تانک های شناور سازی

تانک های شناورسازی با هوا به دو صورت دایره ای و مستطیلی دیده می شوند.چنین به نظر می رسد که نوع دایره ای دارای محبوبیت بیشتری است .

مزیت های طراحی دایره ای به قرار زیر است :

۱. تانک های دایره ای از نظر ساخت اقتصادی تر می باشند .
۲. در طراحی دایره ای به سرعت کم در میان ناحیه فعال سازی می رسیم .
۳. بازوی کف روب چرخشی نیاز به تعمیرات و روغن کاری کمتری دارد .

۴. با صرف هزینه اضافی ناچیزی می توان پاروی لجن روب کف اضافه نمود.
  ۵. شفت محرکه نصب شده در قسمت بالا و وسط تانک شناورسازی نیاز به چرخ دنده، زنجیر و بلبرینگ در داخل پساب ندارد.
- مزیت های طراحی مستطیلی به قرار زیر است :
۱. در محل هایی که با کمبود جا مواجه هستند سبب ذخیره فضا می شود.
  ۲. استفاده از کف شیبدار در ساخت این تانک ها نیاز به پاروی لجن روب را از بین می برد.
  ۳. ایمنی حوض شناورسازی در برابر مشکلات ناشی از گرفتگی مجراهای ورود و خروج کنترل است .

### ج - تأمین هوا

- اختلاف دیگر تجهیزات DAF مربوط به گوناگونی روش هایی است که توسط آنها هوا در اختیار سیستم قرار می گیرد. این روش ها عبارتند از :
۱. تحت فشار قرار دادن تانک اشباع کننده با هوای تأمین شده توسط خط هوای تحت فشار کارخانه.
  ۲. وارد کردن هوا در گلوی یک ونتوری در هنگام پمپاژ جریان مایع .
  ۳. تزریق هوا به داخل جریان مایع قبل یا بعد از پمپ فشار.

### د - مصرف مواد شیمیایی

- اگر سیستم های شناورسازی با هوا از مواد شیمیایی استفاده می کنند. در همان ابتدای استفاده از سیستم های شناورسازی با هوا اهمیت مواد شیمیایی در شکستن امولسیون ها و تشکیل لخته ها شناخته شد.
- Biesnger و همکارانش بازدهی یک سیستم DAF با جریان برگشتی را در تصفیه پساب کشتارگاه با استفاده از مواد شیمیایی وبدون استفاده از آنها مورد آزمایش قرار دادند. بدون استفاده از مواد شیمیایی ۷۳ درصد از روغن و چربی ورودی (با غلظت اولیه ۳۰۰ میلیگرم در لیتر) کاهش یافت در حالیکه با افزایش ۱۰ میلیگرم در لیتر آلوم درصد حذف به ۸۶ درصد افزایش یافت .

Hart اثر افزایش مواد شیمیایی را در تصفیه پساب نسبتاً رقیق پالایشگاه مورد آزمایش قرار داد. بدون مصرف مواد شیمیایی او درصد حذف روغن را ۶۵ درصد (از ۱۸ به ۶ میلیگرم در لیتر) و با افزایش مواد شیمیایی در صد حذف را ۷۹ درصد (۱۱ به ۲ میلیگرم در لیتر) به دست آورد.

Pearson اثر افزودن مواد شیمیایی معدنی بخصوص آلوم را در حذف روغن مورد آزمایش قرار داده است. استفاده از آلوم به علاوه یک پلی الکترولیت درصد حذف روغن را از ۴۰ به ۹۰ درصد افزایش داد. در مقایسه وزنی یون های آلومینیوم کارایی بیشتری از یون های فریک داشتند و میزان بهینه حذف برای آلوم در غلظت ۳۵ میلیگرم در لیتر و برای کلرور فریک در ۶۰ میلیگرم در لیتر به دست آمد و در مجموع جریان خروجی به دست آمده برای آلوم دارای نصف مقدار روغنی بود که در تصفیه بوسیله فریک در پساب وجود داشت. (۱۰ میلیگرم در لیتر در مقابل ۲۰ میلیگرم در لیتر روغن).

Biesinger و همکارانش با استفاده از ۳۰ میلیگرم در لیتر آلوم و ۰/۵ میلی گرم در لیتر پلی الکترولیت در تصفیه پساب کارخانه روغن سویا توانستند میزان روغن را از مقدار اولیه ۱۱۶۰ میلیگرم در لیتر در پساب ورودی به ۳۶۰ میلیگرم در لیتر کاهش دهند. در این عمل از یک سیستم شناورسازی با هوای محلول و جریان برگشتی استفاده شده است و بازدهی حذف روغن ۶۹ درصد بوده است.

Woodward و همکارانش توانستند با استفاده از ۷۵ میلیگرم در لیتر آلوم، ۷۵ میلیگرم در لیتر سودااش و ۲ میلیگرم در لیتر پلی الکترولیت در تصفیه پساب کارخانه روغن نباتی با استفاده از یک سیستم شناورسازی با هوای محلول و جریان برگشتی، میزان روغن را از مقدار اولیه ۳۱۴۰ میلیگرم در لیتر در پساب ورودی به ۱۸ میلیگرم در لیتر کاهش دهند. بازدهی حذف در این عمل ۹۹ درصد بوده است.

Murakami توانست با استفاده از آلوم و پلی الکترولیت در تصفیه پساب کارخانه روغن خوراکی با استفاده از یک سیستم شناورسازی با هوای محلول، میزان روغن را از مقدار اولیه ۵۱۸۱ میلیگرم در لیتر در پساب ورودی به ۱۵۵ میلیگرم در لیتر کاهش دهد. بازدهی حذف در این عمل ۹۷ درصد بوده است.

Brian و Reed در تصفیه پساب صنایع ساخت ورق آلومینیوم از پلیمرهای تجاری کاتیونی (W-2923) جهت شکستن امولسیونو پلیمر آنیونی (POL-E-X2706) جهت انعقاد ساخت شرکت کالگن و همچنین از پلیمر (KLAR-AID2400) ساخت شرکت گریس دیربون استفاده و آنها را مقایسه نموده است. در این مقایسه او از یک سیستم اضافه کردن مواد شیمیایی و شناورسازی با هوای محلول به دو صورت غیر پیوسته و نیمه پیوسته استفاده نموده و به این نتیجه رسیده است که نتایج در حذف روغن و چربی بطور قابل

ملاحظه ای در استفاده از مواد شیمیایی کمپانی گریس دیربون بهتر است. اما میزان لجن تولیدی ۲ تا ۴ مرتبه بیشتر می باشد.

Turkman و Sengul از پلی الکترولیت کاتیونی K50 و K5065 و همچنین پلی الکترولیت آنیونی A(8687) در تصفیه پساب کارخانه روغن نباتی با استفاده از سیستم شناورسازی استفاده نموده اند و چنین نتیجه گیری کرده اند که پلی الکترولیت آنیونی A(8687) در حذف چربی و روغن موثرتر از پلی مرهای کاتیونی K50 و K5065 می باشد اما با استفاده از پلی مرهای کاتیونی فوق می توان پساب زلال تری به دست آورد. نتایج به دست آمده از پلی مرهای کاتیونی K50 و K5065 مشابه هم بودند.

Chin و همکارانش توانستند با استفاده از آلوم - آهک و پلی الکترولیت در تصفیه پساب کارخانه روغن نباتی توسط یک سیستم شناورسازی با هوای محلول میزان چربی و روغن را ۹۰ درصد کاهش دهند.

### ح - پارامترهای طراحی

پارامترهای مختلف طراحی و محدوده آنها در مراجع مختلفی آمده که خلاصه آنها در جدول (۲-۱۴) ارائه شده است.

جدول (۲-۱۴): مقادیر مختلف توصیه شده در طراحی سیستم های DAF

Air pressure in saturaton tank (lb/in. <sup>۲</sup> )		
Adams et al. <sup>۱</sup>	40—60	
DeRenzo <sup>۱۱</sup>	25—70	
Beychock <sup>۱۹</sup>	35—55	
Retention time (min)	Flotation tank	Pressurization tank
DeRenzo <sup>۱۱</sup>	20—60	0.5—3.0
Beychock <sup>۱۹</sup>	15—20	2
API <sup>۲</sup>	10—40	1—2
Hydraulic loading (gal/min/ft <sup>۲</sup> )		
Adams et al.	1—4	
Beychock <sup>۱۹</sup>	3—0	
API <sup>۲</sup>	2—2.5	
Air requirement (SCF/100 gal)		
Beychock <sup>۱۹</sup>	0.25—5.0	
API <sup>۲</sup>	0.5—1.0	

Note: SCF = standard cubic feet.

به دلیل اینکه فشار پیشنهادی برای سیستم اشباع کننده در مراجع مختلف متفاوت می باشد لازم است تا مقایسه ای بین این فشارها و فشارهای واقعی بکارگرفته شده در صنایع مختلف انجام شود. بررسی ها حاکی از بکاربردن فشار ۴۰ الی ۱۵ پاند بر اینچ مربع در صنایع مختلف و فشار میانگین ۵۶ پاند بر اینچ مربع می باشد. در بررسی های مشابه انجام شده، میزان جریان برگشتی بین ۲۵ تا ۸۵ درصد و بطور متوسط برابر با ۳۷ درصد گزارش شده است .

#### ۲-۳-۵-۴-Induced Air Flotation

شناورسازی به روش IAF سالیان متمادی در صنایع معدن و بهره برداری از سنگ معدن استفاده شده است . اما در تصفیه فاضلاب استفاده از آن در حدود سال ۱۹۷۰ شروع شد . در سال ۱۹۷۱ Bussett ، توسعه تاریخی و تجارب راهبری صنعتی آن را در مورد مدل های اولیه که از همزن مکانیکی (پروانه ای ) استفاده می کردند، تشریح نموده است .

Denger و Winter بیان می دارند که در مقایسه با DAF این سیستم دارای زمان ماند کمتر و مصرف هوای بیشتر می باشد. اختلاف بنیادی میان دو واحد شناورسازی، سیستمی است که توسط آن حباب ها تشکیل می گردند .

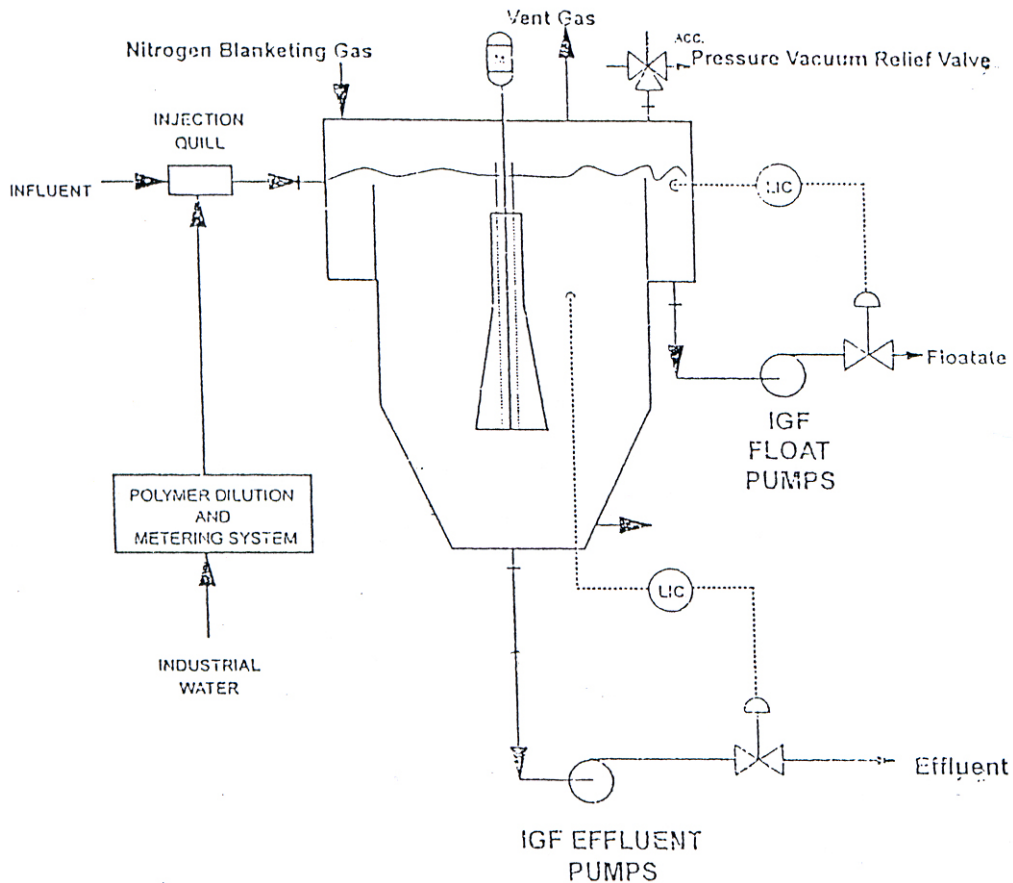
- در سیستم DAF ابتدا هوا در اثر فشار حل شده و سپس به آن اجازه داده می شود تا به صورت حباب های نسبتاً ریز در فشار اتمسفری تشکیل هسته دهد. در سیستم استاندارد IAF پره های همزمان با دور بالا سبب تولید حباب های هوا در داخل سوسپانسیون شده و نسبت به DAF حباب های بزرگتری (حتی تا قطر ۱۰۰۰ میکرومتر) به وجود می آورند. کینتیک شناورسازی با هوا در روش IAF بسیار سریع بوده و نتیجه آن زمان ماند نسبتاً کوتاه (تا ۵ دقیقه یا کمتر) همراه با کاهش ابعاد تجهیزات می باشد.

- واحدهای تصفیه فاضلاب تجارتي که از روش IAF استفاده می کنند عموماً از نظر طراحی چند سلولی هستند بنابراین به آلاینده ها بیش از یک بار فرصت شناوری داده می شود. به عنوان مثال اگر ۴ سلول وجود داشته باشد و بازدهی متوسط حذف هرکدام ۶۰٪ باشد، درصد حذف نهایی ۹۷/۵٪ خواهد شد.

- در سیستم های DAF معمولاً مواد شیمیایی قبل از تجهیزات DAF در داخل مخزنی اضافه شده و با پساب مخلوط می شوند. در سیستم IAF مواد شیمیایی درست قبل از اولین سلول شناوری به پساب اضافه شده و انرژی لازم برای اختلاط با جریان تند در داخل این سلول تأمین می شود.

در گذشته به ندرت از روش IAF استفاده شده است اما محبوبیت آن به دلیل جمع و جور بودن و توانایی استفاده از گازهای برگشتی در شناورسازی رو به افزایش است . با توجه به این مسئله این واحدها جهت جلوگیری از نشت گازهای هیدروکربنی می توانند عایق شوند. از آنجا که در این روش تماس هوا با آب در فشار اتمسفریک صورت می گیرد، حباب های هوا به داخل آب وارد می شوند درحالیکه در روش DAF حباب ها در داخل فاز آب تشکیل می شوند. باید توجه داشت که در این واحدها جهت انعقاد از پلیمر استفاده می شود و معمولاً به منظور افزایش راندمان حذف، دارای چهار واحد شامل همزن تخم مرغی شکل برای شناور سازی می باشند.

مصرف برق در این روش زیاد می باشد ولی فضای بسیار کمتری را نسبت به یک واحد DAF اشغال می کند. شکل (۲-۳۷) روش شناورسازی IAF را نشان می دهد. باید توجه داشت که در این شکل فقط یکی از چهار سلول ذکر شده نمایش داده شده است .



شکل (۲-۳۷) : طرح ساده ای از سیستم IAF

رژیم هیدرولیکی جریان در سیستم های IAF دارای سه ناحیه مشخص زیر می باشد :

۱. ناحیه اختلاط دو فاز گاز و مایع :

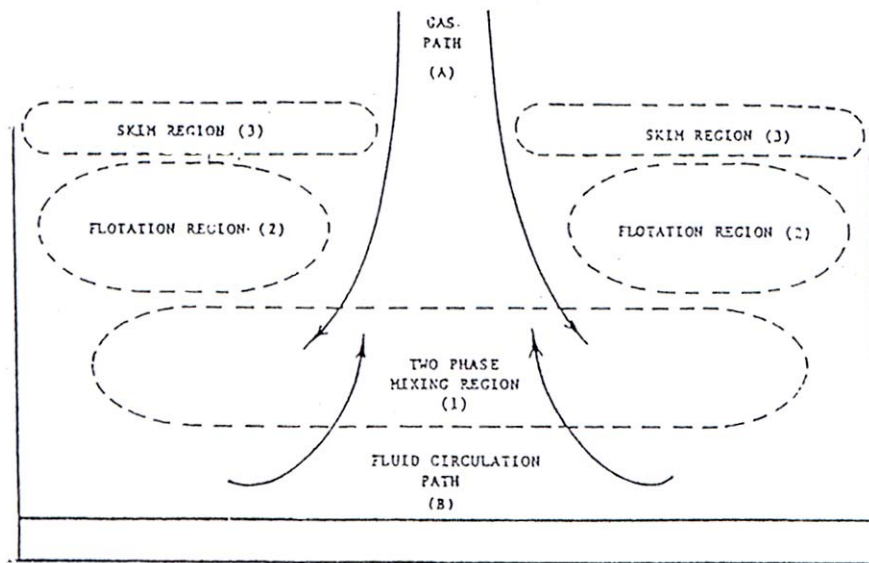
در این ناحیه مایع سیرکوله شده در بخش پایینی مخزن با هوای وارد شده از قسمت بالای مخزن مخلوط می شود.

۲. ناحیه شناور سازی :

این منطقه عموماً در بالای ناحیه اختلاط قرار داشته و از طریق آن حباب های گاز به همراه ذرات آلاینده چسبیده به آن می توانند به سمت بالا صعود نمایند.

۳. ناحیه کف گیری :

در این ناحیه کف مملو از حباب های گاز جمع آوری می گردد. نواحی مورد بحث در رژیم هیدرولیکی این روش در شکل (۲-۳۸) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۸): خصوصیات هیدرولیکی سلول IAF

پارامترهای مهم طراحی در واحدهای IAF عبارتند از: سرعت چرخش و غوطه وری، نوع تزریق کننده<sup>۱</sup> و زمان ماند مایع.

در طراحی های مختلف از یک پمپ واقع در خارج سیستم و یک تزریق کننده داخلی یا خارجی جهت اختلاط هوا با آب استفاده شده است. اینکه ساخت واحدهای هیدرولیکی نسبت به واحدهای تحت فشار آسانتر است برهمگان آشکار می باشد. نکته مهم آنکه قبل از استفاده از واحدهای IAF یا DAF باید آزمایشاتی جهت اندازه گیری بازدهی واحدهای IAF یا DAF<sup>۲</sup> یا IGF<sup>۲</sup> پیشنهادی بر روی پساب انجام شود. در صد حذف روغن برای واحدهای IAF از ۴۸٪ بدون استفاده از مواد شیمیایی تا ۶۳٪ با استفاده از مواد شیمیایی گزارش شده است.

## و - مواد جاذب روغن<sup>۳</sup>

این مواد برای حذف غلظت های پایین روغن آزاد و یا امولسیون بکار می روند و به عنوان یک واحد مستقل و یا جهت تصفیه نهایی جریان خروجی از انواع دیگر جداکننده های آب - روغن استفاده می شوند. مواد

<sup>۱</sup> Educator

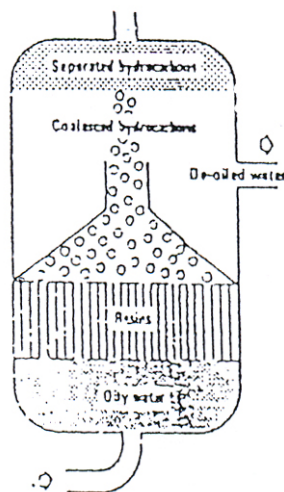
<sup>۲</sup> Induced Gas Flotation

<sup>۳</sup> Coalescers



جاذب روغن صرفاً بسترهایی از مواد اولئوفیلیک (چربی دوست) مانند پوست های گردو، صمغ ها، کاه و نی، پلاستیک های به اشکال قطعه قطعه ، توپی و یا به صورت حلقه ای آکنه و .... می باشند. مواد روغن دوست<sup>۱</sup> قطرات کوچک روغن آزاد را جذب می کنند. این مواد همچنین توانایی جذب گونه هایی از روغن های امولسیون را دارا می باشند. ذرات روغن در روی سطح این مواد با یکدیگر آمیخته شده و تشکیل قطرات بزرگتر را داده و به سطح صعود می کنند. در اینجا نیز باید آزمایشاتی جهت تعیین اثر غشایی این مواد جاذب انجام پذیرد. این امر بدین دلیل است که بعضی از انواع روغن های امولسیونی توسط این مواد جذب نمی شوند.

نمونه ای از برج های جاذب با بستر گرانول در شکل (۲-۳۹) ملاحظه می شود. این برج ها مساحت کمی را اشغال کرده ولی برای تجهیزات جانبی (تنظیم فشار، شستشوی معکوس و ..... ) نیاز به فضای بیشتری دارند.



شکل (۲-۳۹) : برج جاذب روغن با بستر مرکب

<sup>۱</sup> Oleophilic



مهندسی آب و فاضلاب

[www.abfaeng.ir](http://www.abfaeng.ir)

جلوتر از دیگران حرکت کنید

اطلاعات آموزشی

اطلاعات فنی و مهندسی

اخبار روز آب و فاضلاب

اخبار استخدامی کارفرمایان



[T.me/mohandesifazelab](https://t.me/mohandesifazelab)



[Instagram.com/abfaeng](https://www.instagram.com/abfaeng)