

# بهترین راهنمای جامع و کامل هوای تنفسی در غواصی



کمپرسورهای هوای فشرده غواصی یکی از اجزای حیاتی در تجهیزات غواصی هستند که برای تأمین هوای تنفسی به غواصان در زیر آب استفاده می‌شوند. این دستگاه‌های پیچیده قادرند هوای محیط را فشرده کرده و آن را به شکل هوای فشرده برای استفاده در سیلندرهاى غواصی تبدیل کنند. با این حال، کیفیت هوای فشرده تولید شده توسط کمپرسورهای غواصی مستقیماً به سلامت و ایمنی غواصان وابسته است. بنابراین، درک منابع آلاینده هوای فشرده و روش‌های تصفیه آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

هوای فشرده که به وسیله کمپرسورهای غواصی تولید می‌شود، باید عاری از آلاینده‌ها باشد تا به عنوان هوای تنفسی سالم و بی‌خطر برای غواصان استفاده شود. اما در فرآیند فشرده‌سازی، هوای محیط ممکن است با انواع آلاینده‌ها ترکیب شود که این موضوع می‌تواند به کیفیت هوای تنفسی آسیب برساند. این آلاینده‌ها شامل ذرات معلق، رطوبت، و مواد شیمیایی مختلف هستند که می‌توانند به شکل‌های گوناگون به هوای فشرده وارد شوند و بر سلامت غواصان تأثیر منفی بگذارند.

یکی از مهم‌ترین مواد آلاینده هوای فشرده، روغن‌های کمپرسور هستند که به‌طور طبیعی در فرآیند فشرده‌سازی تولید می‌شوند. فرمولاسیون روغن‌های کمپرسور نقش بسیار مهمی در کیفیت هوای فشرده دارد و انتخاب روغن مناسب با فرمولاسیون صحیح می‌تواند به میزان زیادی از آلودگی‌های هوای فشرده بکاهد. به همین دلیل، آشنایی با مواد اصلی آلاینده‌های هوای فشرده و نحوه انتخاب و استفاده از فیلترها و میکروفیلترهای مناسب برای تصفیه این آلاینده‌ها، برای هر غواص و تکنسین کمپرسور بسیار ضروری است.

در این مقاله به بررسی منابع آلاینده هوای فشرده و روش‌های تصفیه آن با استفاده از فیلترها و میکروفیلترها خواهیم پرداخت. همچنین به معرفی انواع فیلترهای قابل استفاده در کمپرسورهای غواصی، بررسی انواع روغن‌های کمپرسور و فرمولاسیون‌های مختلف آن‌ها، و نحوه تأثیر این عوامل بر کیفیت هوای تنفسی خواهیم پرداخت. هدف ما این است که با ارائه اطلاعات جامع و دقیق، به شما کمک کنیم تا با دانش کامل‌تری به سراغ انتخاب و نگهداری کمپرسورهای هوای فشرده غواصی بروید و از هوای تنفسی با کیفیت و استاندارد بهره‌مند شوید.

## ۱. هوای تنفسی بد در غواصی: تأثیرات، علل و راه‌های پیشگیری

ورزش غواصی همیشه جذاب و پر از ماجراجویی‌های گوناگون است. غواصی کنکاش در یک محیط بیگانه است و نیاز به حمایت از اساس زندگی و رعایت نکات ایمنی دارد. برخی موارد ایمنی ساده که در این ورزش باعث می‌شود لذت بیشتری از آن کسب کنید نکات زیر است:

۱- هر کس مسئول ایمنی خود در دنیای زیر آب است و باید آموزش مناسب از طریق یک مربی و موسسه معتبر دریافت کند

۲- غواصی ایمن باید با استفاده از تجهیزات با بالاترین کیفیت که مخصوص این رشته ورزشی ساخته شده است انجام شود

۳- اقدام جهت غواصی در محدوده آموزش‌های فرا گرفته شده باشد و به همراه یک راهنمای غواصی باید انجام شود

رعایت موارد بالا باعث لذت بردن مداوم از این ورزش خواهد شد ولی گزینه دیگری هم هست که نادیده گرفته می‌شود و آن هم بررسی محتویات داخل سیلندر غواصی قبل از به زیر آب رفتن است. استفاده از هوای بد و نامتبوع در غواصی یک رخداد غم‌انگیز است و باعث می‌شود غواصی شما خراب شود و حتی شما را دچار بیماری و وسایل و تجهیزات شما را دچار صدمه کند

در حالی که هنوز هم حادثه و بیماری به علت تنفس هوای بد و نامتبوع در غواصی وجود دارد و بسیاری از مراکز غواصی با تمام توان سعی در تولید هوای مطلوب و با کیفیت جهت غواصی دارند شاهد هستیم هوای پر شده درون سیلندر غواصی برخی از مراکز غواصی سالم و مطلوب نمی‌باشد.

سرویس و نگهداری به موقع از کمپرسور تولید هوا، تجزیه و تحلیل هوای خروجی از کمپرسور، ایجاد یک محیط سالم و امن، سرویس‌های دوره‌ای سیلندر غواصی می‌تواند از مهمترین عوامل در تولید هوای مطلوب و با کیفیت جهت غواصی باشد

شما به عنوان یک غواص باید از مراکز معتبر غواصی استفاده کنید و گام های ساده ای جهت بررسی به شما آموزش خواهیم داد تا از کیفیت هوای تنفسی پر شده درون سیلندر غواصی مطلع شوید

### ۱- آزمایش بو کردن

این تست در تشخیص آلاینده ها مانند روغن موجود در سیلندر ، دود و سایر محصولات ناشی از احتراق موثر است . برای انجام این آزمایش ساده شیر سیلندر غواصی را به آرامی باز کنید و بینی خود رو روبروی خروجی هوا قرار دهید و آن را بو کنید . در صورت وجود آلاینده ها هوای سیلندر شما بو خواهد داد و به سادگی شما متوجه آن خواهید شد

ولی برای تشخیص گازهای بی رنگ و بی بو مانند مونوکسید کربن (CO) باید از روش دیگری استفاده کرد تا سریع و آسان آن را تشخیص داد

### ۲- آشکارسازهای مونوکسید کربن

اکنون آشکارسازهای مونوکسید کربن الکترونیکی در دسترس شما قرار دارند . این تکنولوژی باعث راحتی در تجزیه و تحلیل سریعتر و دقیق تر گاز تنفسی شما می شود. آشکارسازهای مونوکسید کربن شما را از وجود این گاز مطلع می کنند . سنسور تغییر رنگ این دستگاه یک ابزار سریع و ارزان برای تشخیص حضور مونوکسید کربن در گاز تنفس شما می باشد ، این سنسورها در دو مدل تولید می شوند نوع اول که با تغییر رنگ فقط نتیجه ساده "خوب یا بد" را به شما اعلام می کنند نوع دوم در این سنسور که کمی پیچیده تر از مدل اولی هست میزان مقدار مونوکسید کربن را هم نمایش می دهد

### ۳- آنالایزر نایتروکس

با محبوبیت رو به رشد غواصی با نایتروکس، پیشرفت های شگفت انگیزی در سال های اخیر جهت نظارت بر تست اکسیژن با استفاده از تکنولوژی برای غواصان به وجود آمده است . تجزیه و تحلیل گاز Nitrox توسط یک آنالایزر که مجهز به یک حسگر شیمیایی است به شما امکان می دهد تا درصد اکسیژن موجود در تانک غواصی خود را تا دقت ۰/۱٪ بررسی کنید . پس از تعیین درصد می توانید فشار جزئی اکسیژن را محاسبه کنید

البته به یاد داشته باشید که تغییر در فشار ، ارتفاع و درجه حرارت محیط اغلب باعث منحرف شدن ابزار محاسباتی می شود و همانطور که می دانید کاربر هر دستگاهی باید همیشه دستورالعمل کارخانه سازنده را برای انجام عملکرد صحیح و ایمن دنبال کند و مسائل مربوط به نگهداری دستگاه را در زمان مناسب انجام دهد

### ۴- آزمایش چربی

این تست در تشخیص آلاینده ها مانند روغن موجود در سیلندر به شما کمک می کند ، برای انجام این آزمایش ساده شیر سیلندر غواصی را به آرامی باز کنید و یک پارچه یا دستمال سفید رنگ را روبروی خروجی هوا قرار دهید و آن را به خروجی بچسبانید و به مدت ۳۰ ثانیه نگه دارید . در صورت وجود آلاینده های روغنی پارچه سفید رنگ شما آن آثار را بر روی خود نمایش خواهد داد

### ۵- مطمئن شوید نشانه های هوای تنفسی بد وجود ندارد

به عنوان یک غواص آموزش دیده و آگاه شما باید بدانید و درک کنید علائم و نشانه های یک هوای تنفسی مطلوب چیست تا بتوانید یک غواصی با کیفیت و لذت بخش انجام دهید . اگر شما هر گونه نگرانی در خصوص هوای تنفسی دارید می توانید با روش های گفته شده هوای تنفسی خود را مورد بررسی قرار دهید

وجود آلاینده در هوای تنفسی شما در هنگام غواصی باعث به وجود آمدن علائمی چون : سردرد، سرگیجه، ضعف، تهوع، استفراغ، درد قفسه سینه و سردرگمی می شود . همچنین مسمومیت با اکسیژن بر اثر فشار نسبی بالا باعث : لرزش ، وز وز گوش، تهوع، تاری دید و تشنج می شود

## ۲. معرفی کمپرسور هوای فشرده غواصی

حرکت یک سیال هیدرولیک در یک سیستم نیازمند پمپ یا کمپرسور است که هر دو این کار را انجام می دهند اما با روش های متفاوت. پمپ ها قابلیت انتقال مایعات و گازها را دارند اما کمپرسورها به طور معمول فقط می توانند گازها را منتقل کنند . در کل به دستگاهی که برای فشرده سازی گازها استفاده می شود کمپرسور گفته می شود . در حقیقت کمپرسورها وسایلی هستند که با صرف انرژی مکانیکی فراوانی سیال را با سرعت به درون خود مکیده و سپس آن را فشرده می سازند

در اثر این عملیات دمای گازی که فشرده می‌شود نیز افزایش می‌یابد. معمولاً گاز پر فشار خروجی از کمپرسورها را از یک سیستم خنک‌کننده عبور می‌دهند تا دمای گاز دوباره به حد معمولی بازگردانین گاز یا فشار ورودی و خروجی می‌تواند انواع و مقادیر مختلف داشته باشد در اهمیت کمپرسورها همین بس که دامنه بکارگیری از آن در شاخه های مختلف صنایع به سرعت در حال توسعه می باشد. به طوری که امروزه حضور آن در صنایع به شدت به چشم می خورد

کمپرسور هوای فشرده غواصی در پر کردن سیلندر های تنفسی برای غواصی به کار می رود و از دانش ساخت بالایی برخوردار بوده و علاوه بر راندمان کاری بسیار مطلوب دارای عمر مفید طولانی می باشند. هوای خروجی پاک، استحکام، انعطاف پذیری با شرایط عملیاتی مختلف، سبک و پستیابی از موارد بسیار مهم کمپرسور هوای فشرده غواصی است

### ۳. هوای فشرده چیست؟ آشنایی با تعریف، کاربردها و مزایای آن در صنایع مختلف

هوای فشرده هوایی است که فشار مشخصی بر آن وارد شده باشد که معمولاً بیشتر از فشار متعارف جو است. این هوا در سیلندر های غواصی قرار گرفته و برای تنفس غواص در زیر آب به کار می رود. سیلندر یک غواص توسط اکسیژن پر نمی شود بلکه هوا به صورت فشرده شده است. هوا شامل ۲۱ درصد اکسیژن و ۷۸ درصد نیتروژن و ۱ درصد مابقی گاز ها می باشد

هوا پس از فشرده شدن توسط کمپرسور مخصوص غواصی پاک، سالم و خشک می شود و در آن ناخالصی باقی نمی ماند. زمانی که هوا توسط دستگاه کمپرسور فشرده می شود انتقال هوا از محیط با فشار ۱ بار می باشد و تا فشار ۳۰۰ بار و حتی بالاتر می رسد. افزایش فشار برابر است با افزایش دما بنابراین زمانی که هوا فشرده سازی می شود همزمان گرمای متناسبی به وجود می آید. اگر حجم هوا زمان فشرده سازی نصف شود فشار دو برابر می شود و مقداری از حجم هوا به گرما تبدیل شده و این نشان می دهد که فشار، حجم و دما با هم ارتباط متناسب دارند و با تغییر هر یک دیگری نیز تغییر خواهد کرد

هوا ترکیبی از گازهای بی رنگ، بی بو و بی مزه مثل اکسیژن و نیتروژن، آرگون، دی اکسید کربن می باشد و به صورت طبیعی با ناخالصی هایی مثل گرد و غبار و نمک آلوده می شود. بخار آب نیز یکی دیگر از ناخالصی های موجود در هوا می باشد و این ناخالصی ها نقش موثری در کیفیت هوای فشرده دارند. زمانی که هوا فشرده سازی می شود غلظت ناخالصی ها و بخار آب موجود در آن افزایش می یابد. اگر این ناخالصی ها در سیستم باقی بماند و به درون سیلندر غواصی وارد شود می تواند صدماتی به سیلندر و ریه غواص وارد کند

فیلترهای موجود در سیستم هوای فشرده روغن و گرد و غبار موجود را از بین می برند و خشک کن ها (درایر) بخار آب موجود در هوای فشرده شده را قبل از رسیدن به مرحله استفاده از بین می برند

استاندارد ISO ۸۵۷۳ یک استاندارد بین المللی در مورد کیفیت هوای فشرده می باشد که شامل نه گروه جداگانه می باشد، بخش ۱ نشان دهنده کیفیت مورد نیاز برای هوای فشرده می باشد. بخش های ۲ تا ۹ روش های تست برای محدوده ذرات موجود در هوا را مشخص می کند

مثال: ISO ۸۵۷۳/۱; ۲۰۰۱ CLASS ۲/۲/۲ . این استاندارد کلاس هوا را بر اساس سه رقم نشان می دهد. رقم اول مربوط به ذرات جامد، رقم دوم مربوط به آب و سومین عدد مربوط به روغن می باشد

### ۴. منابع اصلی آلاینده هوای فشرده چیست؟

به طور کلی منابع آلاینده در یک سیستم هوای فشرده را می توان به ۳ بخش تقسیم کرد

#### ۱- کیفیت هوای وارد شده به درون کمپرسور

تاکنون ۱۰ آلاینده اصلی در یک سیستم هوای فشرده یافت شده است که همه آن ها به طور مستقیم به کیفیت هوای اطراف کمپرسور مربوط است. کمپرسورهای هوا به طور مداوم حجم عظیمی از هوای اطراف خود را به همراه آلودگی های آن به درون خود مکش می کنند

#### ۲- نوع و شرایط عملیاتی کمپرسور هوا

خود کمپرسور هوا نیز می تواند منشأ آلاینده باشد. از جمله مهمترین مواردی که باعث آلوده شده هوای فشرده می گردد، می توان به ذرات ریز روغن اشاره کرد که جهت خنک کاری و روان کاری تجهیزات کمپرسور مود استفاده قرار می گیرد.

#### ۳- تجهیزات ذخیره سازی و سیستم های توزیع هوای فشرده

مخازن ذخیره سازی هوای فشرده و سیستم های لوله کشی که وظیفه توزیع هوای فشرده تا محل مصرف را برعهده دارند نیز می توانند خود منشأ آلاینده هوای فشرده باشند. همچنین در این تجهیزات هوای گرم به مرور زمان خنک می گردد و در صورتی که محتوای رطوبت هوای فشرده کنترل نشده باشد، موجب ایجاد کندانس درون خط هوای فشرده و آسیب رساندن به لوله کشی ها و دستگاه های مصرف کننده هوا می گردد

## ۵. شش مورد از مواد اصلی آلاینده هوای فشرده

مواد اصلی آلاینده هوای فشرده را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود :

### ۱- بخار آب و آب‌کندانس شده

بدون اغراق آب را می‌توان منشأ بیشتر آلاینده‌های موجود درون سیستم‌های هوای فشرده معرفی کرد. در اغلب موارد این گونه به نظر می‌رسد که روغن علت اصلی مشکلات موجود درون سیستم تولید هوای فشرده است درحالی که بر خلاف ظاهر قضیه آن چه باعث بروز بسیاری از مشکلات می‌گردد روغن تنها نیست، بلکه مخلوط روغن و آب‌کندانس شده منشأ این مشکلات است

توانایی هوای فشرده شده در نگهداری بخار آب درون خود به طور شدیدی وابسته به دما است. در درجه حرارت‌های بالاتر بخار آب بیشتری درون هوا نگهداری می‌گردد. در طی فرآیند فشرده‌سازی دمای هوا به طور زیادی افزایش می‌یابد که این امر به هوای گرم اجازه می‌دهد تا به راحتی محتوای رطوبت خود را حفظ کند

قبل از خروج هوای فشرده از کمپرسور، درون افتر-کولر این هوا به طور معمول کاهش دما داشته و خنک می‌گردد. این افت دما باعث کاهش توانایی هوا در حفظ محتوای بخار آب می‌گردد و در نتیجه بخشی از بخار آب موجود درون هوای فشرده تولید شده به فاز مایع تغییر شکل داده و کندانس می‌گردد

در تمامی کمپرسورهای غواصی افتر-کولر دارای یک شیر خروجی است تا آب‌کندانس شده را از کمپرسور خارج کند. آب‌کندانس شده به طور معمول شیری رنگ است

هوا پس از خروج از افتر-کولر نیز اشباع از بخار آب است و هرگونه کاهش بیشتر دما موجب کندانس شدن بخش بیشتری از بخار آب موجود درون هوای فشرده می‌گردد. این بخش از بخار آب موجود در هوای فشرده توسط فیلترها از خط تولید هوای فشرده حذف می‌گردد کندانس شدن در مراحل مختلفی درون سیستم تولید هوای فشرده رخ می‌دهد به طور مثال در تمامی تجهیزاتی که در آن کاهش دما داشته باشیم از جمله: مخازن ذخیره‌سازی هوا، سیستم لوله کشی و... شاهد کندانس شدن بخار آب خواهیم بود آب‌کندانس شده و ذرات معلق آب، باعث بروز خوردگی درون مخازن ذخیره‌سازی هوا و سیستم توزیع و لوله‌کشی می‌گردد و به تجهیزات و دستگاه‌های مصرف کننده هوا آسیب می‌رساند

بطور کلی آلاینده‌های آب باعث کاهش کیفیت هوای فشرده و صدمه زدن به تجهیزات و افزایش هزینه‌های نگهداری وسایل و تجهیزات می‌گردد. پس برای دستیابی به یک سیستم کارآمد و پربازده لازم است تا به نحوی آب از سیستم حذف گردد، در مناطقی که دارای هوای شرجی و رطوبت بالا هستند محلی که کمپرسور در آن کار می‌کنند باید دارای سیستم خنک کننده مانند کولر گازی باشد تا بتواند رطوبت بیشتری از هوای ورودی به کمپرسور حذف کند

### ۲- ذرات آلاینده اتمسفریک

هوای اتمسفریک استفاده شده در محیط به طور معمول شامل ۱۴۰ میلیون ذرات آلاینده به ازای هر متر مکعب از هوای مکش شده به درون کمپرسور می‌باشد. ۸۰ درصد از این ذرات آلاینده دارای اندازه کوچکتر از ۲ میکرون می‌باشند و به عبارتی دیگر کوچکتر از آن هستند که توسط فیلتر داخلی کمپرسور جذب گردند. بنابراین مستقیماً به درون سیستم هوای فشرده وارد می‌گردند

### ۳- میکروارگانیسم‌ها

باکتری‌ها و ویروس‌ها نیز به همراه هوای پیرامونی به درون سیستم هوای فشرده مکش می‌شوند. هوای گرم و مرطوب درون کمپرسور یک محیط ایده‌آل را برای رشد و تکثیر در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار می‌دهد. هوای محیط به طور معمول حاوی حدود ۳۸۰۰ میکروارگانیسم به ازای هر متر مکعب از هوای مکش شده به درون کمپرسور می‌باشد

### ۴- بخارات روغن

هوای اتمسفریک همچنین حاوی روغن به فرم هیدروکربن‌های نسوخته می‌باشد که به همراه هوا به درون کمپرسور مکش می‌شود. غلظت متداول بخارات روغن بین ۰/۵ تا ۰/۵ میلی‌گرم به ازای هر متر مکعب هوای اتمسفریک متغیر است. از آنجائی که این بخارات روغن درون سیستم هوای فشرده خنک شده و کندانس می‌گردد، می‌تواند به مانند روغن مایع باعث بروز مشکلات و خرابی‌های درون سیستم هوای فشرده گردد

### ۵- روغن مایع و ذرات روغن

در بسیاری از کمپرسورهای هوا، در مراحل فشرده‌سازی از روغن به منظور آب‌بندی، روانکاری و خنک‌کاری استفاده می‌گردد. در طی فرآیند فشرده‌سازی هوا، روغن روانکاری به صورت مایع به درون سیستم هوای فشرده اضافه می‌گردد. این روغن در طی فرآیند فشرده‌سازی هوا با آب مخلوط شده و تشکیل یک ماده بسیار اسیدی را می‌دهد که در نهایت می‌تواند منجر به آسیب‌رساندن به تجهیزات ذخیره‌سازی و توزیع هوای فشرده، تجهیزات پایین دستی مانند شیر سیلندر و فشار شکن مرحله اول رگلاتور شود

### ۶- زنگ و خوردگی‌های درون لوله

این مواد آلاینده در سیستم‌های هوای فشرده‌ای که فاقد تجهیزات تصفیه هوای کافی هستند و یا سیستم‌های که قبل از نصب تجهیزات فرآوری هوای فشرده چند وقتی را با هوای مرطوب کار کرده اند، به وفور یافت می‌شود. با گذشت زمان این مواد آلاینده می‌توانند با انسداد خطوط توزیع هوای فشرده باعث آسیب‌رساندن به تجهیزات و همچنین باعث کاهش کیفیت هوای فشرده خروجی گردند

## ۶. فیلتر و میکروفیلتر چیست؟ و انواع آن کدام است؟

مهمترین آلاینده سیستم های هوای فشرده یعنی آب توسط دراپرها، تیریدی و یا جذبی و همچنین افتر - کولر حذف می گردد. اما سایر مواد آلاینده کماکان در هوا حضور دارند که بایستی به نحوی از سیستم هوای فشرده حذف گردند. یکی از بهترین روش ها برای حذف سایر مواد آلاینده از جمله: ذرات روغن، ذرات گرد و غبار، میکرو ارگانیسم ها و همچنین آلاینده های ناشی از خوردگی و زنگ زدگی تجهیزات، استفاده از فیلترها و میکروفیلترهاست

به طور کلی فیلترهای که می تواند در یک کمپرسور های غواصی استفاده شود به شرح زیر است

۱- فیلتر جاذب CO<sub>2</sub>

۲- فیلتر غبار گیر

۳- فیلتر جاذب مواد ( شامل کربن اکتیو ، مولکولارسیو )

۴- برج جدا کننده نهائی

۴- فیلتر جاذب عالی (سیلیکا ژل ، اکتیو آلومینیوم ، کربن اکتیو ، مولکولارسیو)

### فیلتر جاذب CO<sub>2</sub>

این فیلتر از تجهیزات ویژه برای تصفیه هوا در هر سیستم تولید هوای فشرده محسوب می گردد. این فیلترها با استفاده از تکنیک فیلتراسیون شیمیایی برای حذف دی اکسید کربن طراحی شده اند و هوای ورودی به کمپرسور غواصی را از دی اکسید کربن پاک می کنند . استفاده از کمپرسور غواصی در محیط ها و فضاهای شهری و صنعتی امری ضرورت لزوم استفاده از این فیلتر را افزایش می دهد

### فیلتر غبارگیر

فیلتر غبارگیر یا داست فیلتر به منظور حذف ذرات جامد از جریان هوا مورد استفاده قرار می گیرد. این فیلتر با استفاده از تکنیک فیلتراسیون مکانیکی، ذرات جامد و گرد و غبار را تا میزان ۹۹٪ از جریان ورودی به درون کمپرسور هوای فشرده جدا می کند. برای حذف ۱۰۰٪ ذرات جامد از جریان هوا بایستی از فیلترهای غشایی استفاده نمود

### فیلتر جاذب مواد ( شامل کربن اکتیو ، مولکولارسیو )

بخار روغن در واقع همان روغن مایع است که به فرم گازی شکل درآمده است و به راحتی همراه با جریان هوای فشرده از فیلترها عبور می کند. موثرترین روش برای جداسازی بخارات روغن از سیستم هوای فشرده استفاده از فیلترهای جاذب مواد است .

در این فیلتر ها هوای فشرده از میان بستری از مواد جاذب کربن اکتیو عبور داده می شود و بخارات روغن جذب این مواد جاذب گشته و در نتیجه در خروجی هوای عاری از روغن خواهیم داشت

بخار آب در جریان فشرده سازی هوای فشرده به وجود می آید و ممکن است بعد از افتر کولر هم درون هوای فشرده وجود داشته باشد برای حذف بخار آب از ماده مولکولارسیو درون فیلتر های جاذب مواد در کنار کربن اکتیو استفاده می شود تا بخار آب را جذب کند

### برج جدا کننده نهائی

این برج همانند فیلتر جاذب مواد است و عملکرد مشابهی دارد ولی در یک سایز بزرگتر و قدرت پالایش بیشتر ، استفاده از برج جدا کننده نهائی محافظت کامل در برابر آلودگی های بخارات روغن و آب را تضمین می کند

### فیلتر جاذب عالی

این فیلتر به طور معمول در آخرین قسمت تولید هوای فشرده و خروجی کمپرسور به درون سیلندر غواصی استفاده می شود و یک فیلتر با عناصر ترکیبی از مواد جاذب است که باعث می شود اطمینان بیشتری برای شما در خصوص تولید هوای پاک ایجاد کند. این فیلتر به صورت پرتابل بوده و می توانید آن را با خود حمل کنید و در هر مکانی که نسبت به تولید هوای پاک توسط کمپرسور غواصی شکی دارید از آن برای اطمینان و ایمنی بیشتری استفاده کنید ، سیلیکا ژل ، اکتیو آلومینا ، کربن اکتیو ، مولکولارسیو از مواد اصلی جاذب این فیلتر هستند

## ۷. مواد جاذب در فیلتر هوای فشرده

لغت جذب سطحی در سال ۱۸۸۱ میلادی توسط هاینریش کایسر، فیزیکدان آلمانی ابداع شد ، جذب سطحی به معنای جذب فیزیکی مولکول ها، اتم ها و یون ها از فاز گاز یا مایع توسط سطح جاذب جامد می باشد . در این فرآیند ذرات جذب شده تشکیل یک فیلم بر روی سطح جاذب جامد می دهند که این عمل باعث شده فرآیند جذب سطحی از فرآیند جذب شیمیایی که در آن از یک حلال شیمیایی به عنوان جاذب استفاده می شود، متمایز گردد

از مزایای جذب سطحی نسبت به جذب شیمیایی می توان به قابل احیاء بودن، انتخاب پذیری بالای جاذب ها، آلودگی محیط زیستی کمتر و جذب ذرات توسط یک سطح ویژه در یک بستر اشاره نمود . این در حالی است که در فرآیند جذب شیمیایی جاذب قابلیت احیاء شدن و

انتخاب پذیری نداشته و در نتیجه تمام حجم حلال استفاده شده درگیر فرآیند جذب می شود. همچنین فرآیند دفع فقط در سیستم های جذب سطحی امکان پذیر است ،

از مهم ترین و اصلی ترین کاربردهای این محصولات می توان به موارد زیر اشاره کرد :  
جذب رطوبت و آبدایی از جریان های گازی و هوای فشرده  
حذف مونوکسیدکربن، هیدروکربن ها، آمونیاک و متانول از جریان های گازی و هوای فشرده  
جذب بخارات روغن  
حذف دی اکسیدکربن و هیدروژن سولفید از جریان گازهای ترش  
حذف مرکاپتان و هیدروژن سولفید از جریان های هیدروکربن مایع مانند LPG و بوتان  
جداسازی اکسیژن از هوا در دستگاه های نیتروژن ساز  
تولید اکسیژن در واحدهای PSA

## مواد جاذب - سیلیکاژل

سیلیکاژل فراگیرترین نوع دسیکانت است که دارای قدرت محافظتی بسیار کارآمد در آب و هواهای متفاوت می باشد. ماده ای است که در جنگ جهانی دوم توسط آلمانی ها به نام "سنگ معجزه گر" شناخته شد. ترکیب اصلی سیلیکاژل دی اکسید سیلیکون است که از اختلاط سیلیکات سدیم و اسید سولفوریک تحت شرایط کنترل شده خاصی تولید می شود. سیلیکاژل ماده ای غیرسمی، بدون بو، بدون مزه و از نظر شیمیایی غیرفعال است که دارای سطح تماس بسیار زیاد و نفوذپذیری بالایی می باشد

مناسب ترین شرایط محیطی برای سیلیکاژل که قادر است بیشترین میزان جذب رطوبت را داشته باشد، درجه حرارت اتاق ( $20-30^{\circ}$ ) و میزان رطوبت بالا (۶۰ تا ۹۰ درصد) است که در چنین شرایطی سیلیکاژل توانایی کاهش رطوبت نسبی محیط را به میزان ۴۰ درصد دارا می باشد ، قدرت جذب سیلیکاژل در اثر آلودگی با گرد و غبار، مواد روغنی یا نفتی کاهش پیدا می کند

سیلیکاژل نارنجی حاوی یک عامل رنگی ترکیبی می باشد که بر خلاف نمک کبالت (عامل رنگی در سیلیکاژل آبی) غیر سمی بوده و از ایجاد آلودگی در محیط زیست جلوگیری می کند. این محصول با تکنیک بی نظیر و قدرت جذب فوق العاده (بالتر از سیلیکاژل آبی) بعنوان محصول جدید سیلیکاژل درخشان و "دوست محیط زیست" معرفی می شود

سیلیکاژل را می توان در صنایع مختلف نظامی، هوانوردی، ساختمان، برق و الکترونیک مخصوصاً صنایع دارویی و غذایی و تنفسی که ارتباط مستقیم و تنگاتنگ با سلامتی انسان دارد، با اطمینان خاطر و به دور از هرگونه نگرانی از نظر سمی بودن آن مورد استفاده قرار داد

سیلیکاژل در زمان اشباع شدن از رطوبت تغییر رنگ می دهد. سیلیکاژل نیز به دو شکل گرانول (نا منظم) و کروی تولید می شود. نوع کروی آن دارای منافذ باریک و عاری از هرگونه غباری می باشد به همین دلیل نسبت به نوع گرانول ارجحیت دارد

## مواد جاذب - اکتیو آلومینا

برای جلوگیری از اثرات نامطلوب ناشی از وجود رطوبت از جمله کندانس شدن و یخ زدن رطوبت ، ایجاد خوردگی و زنگ زدگی و همچنین آلودگی کاتالیست ها لازم است تا رطوبت از جریان هوا و سایر گازها حذف گردد. همچنین در بسیاری از جریان های گازی، علاوه بر رطوبت مواد آلاینده و ناخالصی هایی وجود دارد که موجب بروز مشکلات متعددی در فرآیندهای مربوطه می گردد. از جمله مهمترین مثال های موجود در زمینه استفاده از مواد جاذب در کاربردهای صنعتی می توان به حذف رطوبت از جریان هوا در سیستم های تهویه هوای مطبوع، نم زدایی از گاز طبیعی، خشک کردن هوای فشرده و خالص سازی گاز اشاره نمود

ماده جاذب رطوبت آلومینای فعال یا اصطلاحاً اکتیو آلومینا نقش بسیار برجسته ای را در فرآیند حذف رطوبت از جریان های هوای فشرده و سایر گازها ایفا می نماید. این ماده برای حذف رطوبت از جریان های هوای فشرده و گازهایی که دارای رطوبت نسبی بالایی هستند، بسیار مناسب می باشد. از جمله دلایل استقبال از اکتیو آلومینا در فرآیندهای حذف رطوبت می توان به ارزان قیمت بودن ، مقاومت فیزیکی و شیمیایی بالا، احیاء پذیری مناسب و تخلخل، سطح ویژه و ظرفیت جذب رطوبت بالا اشاره نمود. علاوه بر موارد ذکر شده اکتیو آلومینا از لحاظ شیمیایی یک ماده بی اثر و خنثی است که به ما این اجازه را می دهد که براحتی از آن در فرآیندهای مختلف استفاده کنیم. همچنین مقاومت بسیار بالای اکتیو آلومینا در برابر رسوب توسط پلیمریزاسیون الفین ها سبب شده است که این ماده بطور گسترده ای در صنایع پتروشیمی مورد استفاده قرار گیرد

اکتیو آلومینا از هیدروکسید آلومینیوم ساخته شده است و یک ماده بسیار متخلخل می باشد و با توجه به تخلخل و ظرفیت جذب بالایی که دارد می تواند به عنوان یکی از مواد جاذب رطوبت هوا مورد استفاده قرار بگیرد. اکتیو آلومینا به دلیل داشتن سطح ویژه بالا ( در حدود ۳۴۵ - ۴۱۵ ) مترمربع بر گرم، ظرفیت جذب رطوبت بیشتری نسبت به سیلیکاژل دارد. همچنین از دیگر کاربردهای اکتیو آلومینا می توان به نقش آن به عنوان فیلتر در تصفیه آب آشامیدنی و حذف ناخالصی هایی همچون فلوراید، آرسنیک و سلنیوم اشاره کرد ، این جاذب تا نقطه شبنم ۷۰ - درجه سانتی گراد قابلیت رطوبت زدایی را دارا می باشد

ژئولیت یا غربال مولکولی ( مولکولاریسیو Molecular sieve )

ژئولیت ها چهارچوبه ای با ساختار کریستالی متخلخل متشکل از آلومینا سیلیکات ها می باشند و در حال حاضر در صنایع نفت گاز و پتروشیمی به عنوان کاتالیست ، جاذب ، جدا کننده و تبادل کننده های یونی کاربرد گسترده دارند . ژئولیت ها به خاطر ساختار های کریستالی متخلخل و خاصیت جذب سطحی به عنوان غربال مولکولی در فرآیند های جداسازی و جذب مورد استفاده قرار می گیرند . خاصیت جذب انتخابی ژئولیت ناشی از ساختار کریستالی آن می باشد که بوسیله کانال ها و حفره هایی با اندازه های مشخص و یکنواخت به یکدیگر متصل شده اند

مولکولی که دارای اندازه و ابعاد مناسب نسبت به اندازه کانال ها و یا منافذ می باشد می تواند وارد شده و جذب سطحی حفره داخلی شود . بنابراین به دلیل داشتن منافذ و کانالهای یکنواخت توانایی جدا سازی و خالص سازی مخلوط جریان گازها را دارند و به آن ها غربالهای مولکولی می گویند . ژئولیت A<sup>۳</sup> از انواع ژئولیت A پتاسیم دار می باشد ، که قطر حفره آن حدود ۳/۱ - ۲/۹ می باشد و برای جداسازی انتخابی مولکولهای نسبتاً کوچک استفاده می شود

مولکولاریسیوها در صنعت هوای فشرده برای نقطه شبنم های تا ۹۰- درجه سانتی گراد و درایرهای هیتر دار دسیکانتی استفاده می شوند

مولکولاریسیو در مدل های A<sup>۳</sup> و A<sup>۴</sup> و A<sup>۵</sup> بسته به نوع مصرف کاربرد دارند این مواد در سایز های ۵/۵ تا ۱/۵ و ۲-۱ و ۳-۵ و ۵-۸ میلی متر کاربرد دارند

کاربرد مولکولاریسیو A<sup>۳</sup>

آب زدایی از مخلوط آب و الکل - رطوبت زدایی از هوا و گازهای طبیعی - رطوبت زدایی از گازهای الفینی ( اتیلن - پروپیلن - بوتیلن )

کاربرد مولکولاریسیو A<sup>۴</sup> و A<sup>۵</sup>

رطوبت زدایی از هوا و گازهای نظیر پروپان - پروپن - بوتان و هیدروکربن های سنگین و جذب گازهای نظیر ۶H<sub>۲</sub>-C<sub>۴</sub>H<sub>۱۰</sub>-C<sub>۲</sub>H<sub>۲</sub>-CO<sub>۲</sub>SO

### مواد جاذب - کربن اکتیو

بسیاری از مواد مایع و گازها دارای مقادیری مواد ناخواسته و ناخالصی هستند. در برخی موارد این ناخالصی ها شامل میکروب ، باکتری ، مواد سمی و آلوده کننده های دیگر می باشند که با وجود درصد بسیار کم ، عملاً شرایط نامطلوبی را ایجاد می کنند ، به طوری که طعم ، بو ، رنگ و خواص دیگر را تغییر می دهند. برای رسیدن به شرایط دلخواه در این گونه مایعات و گازها بایستی ناخالصی ها حذف شوند

یکی از بهترین روش های حذف ناخالصی ها حذف آن ها به شیوه جذب سطحی می باشد. حتی در بسیاری مواقع تنها شیوه موثر نیز می باشد. کربن اکتیو دارای مساحت سطح داخلی بالا، تخلخل و قابلیت جذب گازها و مایعات شیمیائی را دارد

کربن اکتیو یک نوع جاذب قوی با جذب سطحی فوق العاده می باشد و در هیچ حلال شناخته شده ای حل نمی شود و برجسته ترین مشخصه آن حذف انتخابی آلاینده هاست و در برخی موارد برای بازیافت مواد نیز به کار می رود. میزان جذب کربن اکتیو به اندازه ساختار منافذ کربن و توزیع اندازه منافذ و همچنین اندازه و شکل مولکول های آلاینده بستگی دارد

استاندارد جذب برای کربن اکتیو مورد استفاده این است که بتواند تا حدود ۲۰٪ وزنی گاز GB و یا سیانوژن کلراید جذب نماید. اگر کربن اکتیو تازه باشد و در معرض رطوبت قرار نگرفته باشد خواهد توانست تا ۴۰٪ وزنی GB جذب نماید. تعداد زیادی از گازهای سمی را می توان با گذراندن از کربن اکتیو از هوا جدا کرد، این خاصیت برای مواد شیمیائی با وزن مولکولی بالا از قبیل مواد شیمیائی GB مؤثر می باشد

کاربردهای عمده کربن اکتیو در صنایع آب برای از بین بردن رنگ ، بو و مزه غیردلخواه از آب در تصفیه فاضلاب کارخانه ها و در پالایشگاههای گاز، برای شیرین سازی گاز و در پتروشیمی ها و پالایشگاههای نفت ، در خالص سازی داروها و روغن های خوراکی و صنعتی ، صنایع قند ، صنایع دفاع و در تصفیه هوا و گازها بکار می رود. بازیافت حلالها و مواد شیمیائی نیز از کاربردهای عمده کربن اکتیو است

با توجه به تنوع مصرف و تنوع مواد اولیه انواع زیادی با مشخصات خاص کربن اکتیو تولید می شود که هر کدام برای مصارف خاصی ساخته می شوند. ۱. کربن اکتیو پودری ۲. کربن اکتیو گرانولی ۳. کربن اکتیو کروی ۴. کربن تزریق شده ۵. کربن روکش شده با پلیمرها

## ۸. روغن های کمپرسور هوای فشرده

تعمیم الزامات روانکاری کمپرسورها با توجه به اینکه این الزامات وابسته به نوع کمپرسور، خواص گاز فشرده، درجه حرارت و فشار تخلیه می باشد دشوار است. کمپرسورها بر حسب فرآیند متراکم سازی گاز به دو نوع جابجایی مثبت و دینامیکی تقسیم بندی می شوند. کمپرسورهای جابجایی مثبت ابتدا گاز را به دام انداخته، حجم آن را کاهش داده و سپس گاز متراکم شده را تخلیه می کنند در حالی که کمپرسورهای دینامیکی با سرعت بخشیدن به گاز و تبدیل سرعت به فشار افزایش یافته عمل می کنند

کمپرسورهای جابجایی مثبت برای کاربردهای با فشار بالا مفید می باشند. در این کمپرسورها تنها محدودیت درجه حرارت گاز تخلیه می باشد. کمپرسورهای دینامیکی برای کاربردهای با حجم بالا و فشار پایین مفید می باشند. کمپرسورهای جابجایی مثبت به کمپرسورهای رفت و برگشتی و چرخشی تقسیم بندی می شوند که در کمپرسورهای رفت و برگشتی از یک یا سه پیستون استفاده می شود و نوع چرخشی شامل کمپرسورهای چرخنده پره ای و چرخنده ماریچی می باشد

مکان های اصلی روانکاری

کمپرسورهای رفت و برگشتی : میل-لنگ و یاتاقان های مربوطه، مسیرهای اتصال، پین های اتصال، پیستون ها، سیلندرها، رینگ های پیستون و سوپاپ ها

کمپرسورهای چرخنده ماریچی : محور چرخنده، یاتاقان ها و آب بندهای شفت

کمپرسورهای چرخنده پره ای : یاتاقان ها و شفت

**الزامات بحرانی روانکاری انواع متنوع کمپرسورها شامل موارد زیر است :**

- ۱- مقاومت اکسیداسیونی
- ۲- پایداری حرارتی
- ۳- باقیمانده کربن پایین در دماهای بالا ( مخصوصاً در کمپرسورهای فشار قوی )
- ۴- سازگاری با گاز متراکم شده
- ۵- حفظ گرانبوی ( مقاومت در برابر رقیق شدن با گاز متراکم شده )
- ۶- خواص ضد سایش ( مخصوصاً در کمپرسورهای چرخنده پره ای )
- ۷- جلوگیری از نشت گاز
- ۸- روانکاری عمومی
- ۹- دفع حرارت
- ۱۰- جلوگیری از خوردگی
- ۱۱- سازگار با قطعات کمپرسور
- ۱۲- تمیز بودن و پاک بودن از ذرات خارجی
- ۱۳- تمایل پایین به کف کردن
- ۱۴- اشتعال پذیری پایین

### فرمولاسیون روغن کمپرسور

روان کارهای مورد استفاده در کمپرسورهای رفت و برگشتی فشار قوی باید در دمای بالا پایدار باشند. زیرا دمای تخلیه گاز می تواند تا محدوده ۱۷۵ تا ۲۶۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد

روان کارهای اینگونه کمپرسورهای رفت و برگشتی نایستی در اطراف سوپاپ های داغ باقی مانده کربن زیادی تولید کنند. زیرا خطر آتش سوزی و انفجار افزایش خواهد یافت. در نتیجه در اینگونه کاربردها به طور معمول از روان کارهای با روغن پایه سنتزی دی استرها و پلیول استرها که تمایل کمتری به تشکیل کربن دارند استفاده می شود

با وجود اینکه شرایط لازم برای روغن های کمپرسور به طور قابل توجهی بر حسب تعداد پارامترها تغییر می کند و بخش مهمی از روغن ها شامل سیالات سنتزی می باشد، بیشتر فرمولاسیون های روغن ها هنوز بر اساس انواع افزودنی های روغن های توربین و هیدرولیک می باشد

فرمولاسیون روغن های کمپرسور می تواند بر حسب نوع کمپرسور و نوع گاز متراکم به طور قابل توجهی تغییر کند. برای مثال روغن های معدنی معمولاً برای متراکم کردن گاز طبیعی استفاده نمی شود زیرا گاز طبیعی در روغن معدنی محلول می باشد رقیق شدن روغن کمپرسور



( فرموله شده با روغن پایه معدنی ) با گاز طبیعی ویسکوزیته روغن را تا زیر سطح روان کاری موثر کاهش خواهد داد در این گونه موارد روغن های با پایه پلی گلایکول با خاصیت حلالیت محدود برای گاز طبیعی بسیار مناسب می باشد

روان کارهای با پایه معدنی برای عملکرد نرمال با گازهای واکنش ناپذیر مناسب باشند، انواع روان کارهای بر پایه سنتزی برای عملکرد های سخت، دمای بالا، فشار بالا و برای گازهایی که واکنش پذیر با روغن پایه معدنی هستند استفاده می شود . روان کارهای استری اغلب در کمپرسورهای رفت و برگشتی در عملکردهای سخت به دلیل تمایل کمتر آن ها به تشکیل باقیمانده کربن که منجر به آتش سوزی در این کمپرسورها می شود مورد استفاده قرار می گیرد.

فرمولاسیون روغن های کمپرسور برای عملکرد در شرایط سخت بسیار وابسته به طراحی تجهیزات و ماهیت شیمیایی گاز متراکم می باشد

در رابطه با روان کارهای صنعتی به خصوص روغن کمپرسور توجه به اصالت و کیفیت روغن امری ضروری است و اهمیت فوق العاده ای بر روی عملکرد سیستم هوای فشرده ما خواهد داشت . چرا که در صورت نداشتن استانداردهای مناسب روغن نمی تواند وظایف خود را به خوبی انجام دهد و در نتیجه در اثر اختلال در بحث خنک کاری و روان کاری تجهیزات دوار (از جمله واحد هواساز کمپرسور)، آسیب های جبران ناپذیری به دستگاه وارد می شود که حتی در مواردی قابل تعمیر هم نمی باشد



گردآوری ، تألیف و ترجمه : سعید پروین

مرکز غواصی بین المللی مارینا [www.IranMarina.com](http://www.IranMarina.com)

استفاده از مطالب این مقاله به شرط امانت داری و رعایت اخلاق حرفه ای (درج منبع و نویسنده) آزاد می باشد