

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقررات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب علیرضا صادقلو دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده‌ی فنی مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۸۹۴۴۴۵۳۱۱۱ که در تاریخ ۹۱/۱۰/۲۴ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان " تحلیل ترمودینامیکی سیستم تبرید جذب سطحی " دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

(۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.

(۲) مسؤلیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.

(۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.

(۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقررات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.

(۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.

(۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: علیرضا صادقلو

امضا

تاریخ ۹۱/۱۰/۲۴



پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

تحلیل ترمودینامیکی سیستم تبرید جذب سطحی

استاد راهنما:

دکتر مرتضی یاری

استاد مشاور:

دکتر بهروز میرزایی ضیاپور

ارائه دهنده:

علیرضا صادقلو

آذرماه ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر ، مادر

و

خانواده مهربانم

تشکر و قدردانی

حال که به عنایت خداوند متعال این پژوهش به انجام رسیده است، در این جا لازم می‌دانم که از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مرتضی یاری که راهنمایی‌های بی‌بدیل ایشان در طول سالیان، همواره ره‌گشا و پشتیبان اینجانب بوده است تشکر نمایم. همچنین از پدر و مادر عزیزم که با نگرشی ورای تصور، شرایط و محدودیت‌های اینجانب را در تمامی سالیان تحصیلم درک نموده و همواره بهترین شرایط را برای بنده ایجاد نموده‌اند، کمال تشکر را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: صادقلو	نام: علیرضا
عنوان پایان نامه: تحلیل ترمودینامیکی سیستم تبرید جذب سطحی	
استاد راهنما: دکتر مرتضی یاری استاد مشاور: دکتر بهروز میرزایی ضیاپور	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک
گرایش: تبدیل انرژی	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ دفاع: ۹۱/۱۰/۲۴
تعداد صفحات: ۸۷	
<p>چکیده: با توجه به اشتیاق جامعه امروز جهت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، استفاده از تکنولوژی‌های که قابلیت بهره برداری از این انرژی‌های تجدیدپذیر را به عنوان منبع گرمایی دارند، همچنان یکی از چالش‌های مهم روز به شمار می‌روند. با وجود افزایش قیمت حامل‌های انرژی، سیستم‌های تراکم بخار متداول با مبردهای کلرو فلور کربن‌ها و یا HCFC ها همچنان از نظر زیست محیطی دارای کاستی‌های بسیاری می‌باشند. با توجه به کارایی مناسب سیستم‌های تبرید و تهویه جذب سطحی و قابلیت‌هایی که در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر دما پایین به ارمغان آورده‌اند، در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و بحث روز محققین دانشگاهی و صنعتی واقع شده‌اند. استفاده از سیستم‌های جذب سطحی با منبع گرمایی دما پایین همچون انرژی خورشیدی و یا مقادیر عظیم گرمای هدر رفت موجود در صنایع مزایای بسیاری داشته و می‌تواند چالش‌های ناشی از تقلیل لایه ازن و نگرانی جهانی از گرم شدن کره زمین را مرتفع سازد. اما واقعیتی که مانع از رقابتی شدن سیستم‌های تبرید جذب سطحی در بازار شده است؛ ظرفیت سرمایش و ضریب عملکرد پایین این سیستم‌ها می‌باشد. در این پایان‌نامه سعی داریم عوامل موثر در بهبود عملکرد سیستم‌های جذب سطحی را شناسایی کنیم. بر این اساس، با استفاده از دو نوع جاذب متفاوت، سیستم تبرید جذب سطحی را مورد ارزیابی قرار داده‌ایم. نخست از جاذب سیلیکاژل (نوع RD)، برای سنجش میزان اعتبار مدل ریاضی بکار برده شده در تحلیل ترمودینامیکی سیستم تبرید جذب سطحی استفاده نموده و سپس عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی را با جاذب Zeolite13X/CaCl₂ مورد بررسی قرار می‌دهیم. نتایج ارزیابی نه تنها افزایش ضریب عملکرد سیستم جذب سطحی را نمایان می‌کند، بلکه نشان می‌دهد که ظرفیت سرمایشی سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب Zeolite 13X/CaCl₂ در مقایسه با سیستم‌های جذب سطحی با جاذب‌های اصلاح شده، حداقل ۳۴/۹۶ درصد افزایش می‌یابد.</p>	
<p>کلید واژه‌ها: سیستم تبرید جذب سطحی، بهبود ظرفیت سرمایش، بهبود ضریب عملکرد، انرژی تجدید پذیر، سیلیکاژل، Zeolite 13X</p>	

فهرست مطالب

شماره‌ی صفحه

عنوان

۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- کلیات.....
۳	۲-۱- خواص فیزیکی جاذب و ماده جذب شونده.....
۴	۳-۱- جاذب.....
۵	۴-۱- جذب سطحی.....
۶	۱-۴-۱- جذب سطحی فیزیکی.....
۷	۲-۴-۱- جذب سطحی شیمیایی.....
۷	۳-۴-۱- پارامترهای موثر در فرآیند جذب سطحی.....
۸	۴-۴-۱- ایزوترم جذب سطحی.....
۱۰	۵-۴-۱- سنتیک جذب سطحی.....
۱۰	۵-۱- سیکل تبرید جذب سطحی.....
۱۰	۱-۵-۱- سیستم تبرید جذب سطحی با فرآیندهای پیش گرم و پیش سرد.....
۱۳	۱-۱-۵-۱- عملکرد چیلر جذب سطحی دو محفظه‌ای.....
۱۵	۲-۱-۵-۱- سیستم تبرید جذب سطحی دو حالتی.....
۲۱	۳-۱-۵-۱- سیستم تبرید جذب سطحی مرکب.....
۲۳	۲-۵-۱- سیستم تبرید جذب سطحی با بازیافت گرم و جرم.....
۲۶	۶-۱- ساختار پایان‌نامه.....

۲۷	فصل دوم: مروری بر منابع
۲۸	۱-۲- مقدمه.....
۲۸	۲-۲- سیستم تبرید جذب سطحی.....
۲۸	۱-۲-۲- سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای.....
۳۱	۲-۲-۲- سیستم تبرید جذب سطحی با بازیافت جرم و گرما.....

۳۳	فصل سوم: شبیه سازی سیکل تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای
۳۴	۱-۳- مقدمه.....
۳۴	۲-۳- توصیف چیلر جذب سطحی.....
۳۵	۳-۳- مدل سازی ریاضی.....

۳۶	۱-۳-۳- ایزوترم‌های جذب سطحی.....
۳۶	۱-۱-۳-۳- ایزوترم زوج کاری سیلیکاژل (نوع RD) - آب.....
۳۸	۲-۱-۳-۳- ایزوترم زوج کاری زئولیت 13X/CaCl ₂ - آب.....
۳۸	۴-۳-۳- نرخ جذب سطحی.....
۳۹	۵-۳-۳- تعادل انرژی المان‌های جذب سطحی و جداسازی مبرد از جاذب.....
۴۰	۶-۳-۳- تعادل انرژی کندانسور.....
۴۱	۷-۳-۳- تعادل انرژی اوپراتور.....
۴۲	۸-۳-۳- تعادل جرم.....
۴۳	۹-۳-۳- عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای.....
۴۴	۱۰-۳-۳- شبیه‌سازی سیستم.....
۴۷	۴-۳- بحث و نتیجه‌گیری.....
۵۰	۲-۴-۳- تاثیر زمان سیکل بر روی عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای.....
۵۳	۳-۴-۳- تاثیر شرایط کاری بر روی ضریب عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای.....
۵۵	۴-۴-۳- تاثیر شرایط کاری بر روی ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای.....
۵۵	۵-۴-۳- تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی ضریب عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی.....
۵۸	۶-۴-۳- تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی.....
	۷-۴-۳- تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی دمای خروجی آب سرد تامین کننده بار سرمایشی سیستم تبرید جذب سطحی.....
۵۸	تبرید جذب سطحی.....

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و کارهای آتی

۶۱	
۶۲	۱-۴- نتیجه‌گیری.....
۶۳	۲-۴- کارهای آتی.....

مراجع

۶۴

پیوست‌ها

۶۸

۶۹..... پیوست الف: واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

فهرست شکل‌ها

شماره‌ی صفحه

عنوان

- شکل (۱-۱) طرح کلی سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای..... ۱۲
- شکل (۲-۱) طرح کلی سیستم تبرید جذب سطحی دو حالتی در حالت عملیاتی احیاء کننده شش محفظه‌ای
[۹]..... ۱۷
- شکل (۳-۱) سیستم تبرید جذب سطحی دو حالتی در استراتژی احیاء مرحله‌ای در حالت A [۹]..... ۱۹
- شکل (۴-۱) سیستم تبرید جذب سطحی دو حالتی در استراتژی احیاء مرحله‌ای در حالت B [۹]..... ۲۱
- شکل (۵-۱) سیستم تبرید جذب سطحی مرکب [۱۰]..... ۲۲
- شکل (۶-۱) ساختار چیلر جذب سطحی با بازیافت گرما و جرم [۱۱]..... ۲۴
- شکل (۷-۱) ساختار پایان‌نامه..... ۲۶
- شکل (۱-۳) مدل شبیه‌سازی شده برای سیکل تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای..... ۴۶
- شکل (۲-۳) پروفیل دمایی خروجی سیال‌های منتقل کننده حرارت برای داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی
شده سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای سلیکاژل - آب..... ۴۸
- شکل (۳-۳) پروفیل دمایی قسمت‌های مختلف سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای سلیکاژل - آب..... ۴۸
- شکل (۴-۳) پروفیل دمایی خروجی سیال‌های منتقل کننده حرارت سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای
Zeolite 13X/CaCl₂ - آب..... ۴۹
- شکل (۵-۳) پروفیل دمایی قسمت‌های مختلف سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای Zeolite
13X/CaCl₂ - آب..... ۴۹
- شکل (۶-۳) تغییرات ضریب عملکرد و ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای با زوج
کاری سلیکاژل (نوع RD) - آب نسبت به زمان سیکل..... ۵۲
- شکل (۷-۳) تغییرات ضریب عملکرد و ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی دو محفظه‌ای با زوج
کاری Zeolite 13X/CaCl₂ - آب نسبت به زمان سیکل..... ۵۲
- شکل (۸-۳) تاثیر تغییرات شرایط کاری بر روی ضریب عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب
سلیکاژل..... ۵۴
- شکل (۹-۳) تاثیر تغییرات شرایط کاری بر روی ضریب عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب
Zeolite 13X/CaCl₂..... ۵۴

- شکل (۳-۱۰) تاثیر تغییرات شرایط کاری بر روی ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب سیلیکاژل. ۵۶.....
- شکل (۳-۱۱) تاثیر تغییرات شرایط کاری بر روی ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب Zeolite 13X/CaCl₂. ۵۶.....
- شکل (۳-۱۲) تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی ضریب عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب سیلیکاژل. ۵۷.....
- شکل (۳-۱۳) تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی ضریب عملکرد سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب Zeolite 13X/CaCl₂. ۵۷.....
- شکل (۳-۱۴) تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب سیلیکاژل. ۵۹.....
- شکل (۳-۱۵) تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی ظرفیت سرمایش سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب Zeolite 13X/CaCl₂. ۵۹.....
- شکل (۳-۱۶) تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی دمای خروجی آب سرد تامین کننده بار سرمایشی سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب سیلیکاژل. ۶۰.....
- شکل (۳-۱۷) تاثیر تغییرات دبی جریان بر روی دمای خروجی آب سرد تامین کننده بار سرمایشی سیستم تبرید جذب سطحی با جاذب Zeolite 13X/CaCl₂. ۶۰.....

فهرست جدول‌ها

عنوان	شماره‌ی صفحه
جدول (۱-۱) طرح بهره برداری از منبع گرمایی در چیلر جذب سطحی دو حالته در حالت عملیاتی احیاء کننده شش محفظه‌ای.....	۱۸
جدول (۱-۳) مربوط به پارامترهای استفاده شده در معادله‌های (۳-۳) و (۴-۳) و (۵-۳) [۶ و ۲۸].....	۳۸
جدول (۲-۳) مقادیر اتخاذ شده در شبیه سازی سیکل [۶ و ۲۸].....	۴۴
جدول (۳-۳) شرایط کاری استاندارد برای چیلر جذب سطحی دو محفظه‌ای [۶].....	۴۵
جدول (۴-۳) مقایسه بین جاذب $\text{Zeolite 13X/CaCl}_2$ و تعدادی جاذب بهبود یافته.....	۵۱

فهرست علائم

واحد	نمادها	پارامتر
m^2	A	مساحت
–	A_{0-3}	ثابت معادله (۳-۳)
–	B_{0-3}	ثابت معادله (۴-۳)
–	C_{0-3}	ثابت معادله (۵-۳)
–	COP	ضریب عملکرد
$Kj/Kg.K$	c_p	ظرفیت گرمایی مخصوص
m^2/s	D_s	ضریب نفوذپذیری سطح
m^2/s	D_{so}	پیش فاکتور
$Kj/Kmol$	E_a	انرژی فعال سازی
Kj/Kg	h	آنتالپی
$1/s$	$K_s a_v$	ضریب انتقال جرم
Kg	M	جرم
Kg/s	\dot{m}	دبی جرم
–	$1/n$	شدت جذب
Pa	P_s	فشار اشباع
Kj/Kg	Q_{is}	گرمای جذب سطحی
Kw	Q	بار یا توان
$Kj/Kmol \cdot K$	R	ثابت جهانی گاز
m	R_p	شعاع ذره جاذب
Kw/Kg	SCP	ظرفیت سرمایشی مخصوص
K	T	دما
s	t_{cycle}	زمان سیکل
$Kw/m^2 \cdot K$	U	ضریب کلی انتقال گرما
Kg/Kg	x_{eq}	مقدار جذب سطحی در شرایط تعادل
Kg/Kg	x_{max}	بیشینه ظرفیت جذب سطحی
Kg/Kg	x	ظرفیت جذب سطحی

مفهوم	زیرنویس
ادزبر	<i>A</i>
آلومینیوم	<i>Al</i>
مس	<i>Cu</i>
لوله مبدل حرارتی	<i>khex</i>
پره مبدل حرارتی	<i>fhex</i>
آب	<i>W</i>
فرآیند جذب سطحی یا جداسازی	<i>i</i>
سیال تامین شده از منبع گرما یا برج خنک کننده	<i>j</i>
سیال خروجی	<i>out</i>
سیال ورودی	<i>in</i>
کندانسور	<i>con</i>
اوپراتور	<i>eva</i>
اوپراتور	<i>ev</i>
کندانسور	<i>cond</i>
آب سرد تامین کننده بار سرمایشی	<i>chilled</i>
آب سرد تامین شده از برج خنک کننده	<i>cooling</i>
آب گرم	<i>hot</i>
فرآیند جداسازی مبرد از جاذب	<i>des</i>
فرآیند جذب سطحی	<i>ads</i>
محفظه	<i>bed</i>

فصل اول: مقدمه

۱-۱- کلیات

افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، که منجر به تقلیل لایه ازن می‌گردد و همچنین قیمت بالای انرژی‌های فسیلی و نگرانی که در رابطه با گرم شدن کره زمین وجود دارد، ضرورت استفاده از سیستم‌هایی با منابع انرژی تجدیدپذیر و مبردهای دوستدار محیط زیست را روز به روز آشکارتر می‌سازد. در دهه‌های اخیر تکنولوژی‌های متنوعی برای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توسعه پیدا کرده‌اند. یکی از این تکنولوژی‌ها، سیستم‌های تبرید و تهویه جذب سطحی^۱ می‌باشد. که هم از تکنولوژی جذب سطحی^۲ و هم جداسازی مبرد از جاذب^۳ برای ایجاد ظرفیت سرمایی^۴ مورد نیاز استفاده می‌کنند. از منابع گرمایی مورد استفاده در سیستم‌های جذب سطحی می‌توان به مقادیر عظیم گرمای هدر رفت^۵ تولید شده در صنایع و منابع انرژی کم هزینه‌ای^۶ همچون انرژی خورشیدی، اشاره نمود.

سیستم‌های تبرید جذب سطحی در مقایسه با سیستم‌های متداول تبرید تراکمی بخار^۷، کمترین انرژی الکتریکی را مصرف می‌کنند و در صورت بهره برداری از منابع انرژی کم هزینه به عنوان منابع گرمایی، (انرژی خورشید و یا گرمای هدر رفت) توانایی ذخیره انرژی را دارا می‌باشند. کنترل ساده و عدم ارتعاش سیستم‌های جذب سطحی از دیگر مزایای این سیستم‌ها به شمار می‌رود. به علاوه هزینه نگهداری مربوط به سیستم‌های جذب سطحی، نسبت به سیستم‌های تبرید تراکمی بخار پایین می‌باشد. مطالعه‌ی مقایسه‌ای بین سیستم‌های تبرید جذبی مایع^۸ و جذب سطحی نشان می‌دهد. سیستم جذب سطحی می‌تواند در محدوده وسیعی از دمای منبع گرمایی بین ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر کار کند. همچنین برخلاف تبرید جذبی، سیستم تبرید جذب سطحی در رابطه با

^۱ ADC – Adsorption Cooling System

^۲ Adsorption process

^۳ Desorption process

^۴ Cooling capacity

^۵ Waste heat

^۶ Low grade thermal energy

^۷ Vapor compression cooling system

^۸ LABC – Liquid Absorption Cooling System

تقطیر^۱، همانند سیستم تبرید جذبی آمونیاک-آب) پدیده خوردگی و تبلور^۲ (سیستم تبرید جذبی با زوج کاری^۳ لیتیم برماید-آب) با هیچگونه مشکلی روبرو نمی‌شود. در سیستم‌های جذبی، جاذب^۴ (محلول) در فاز مایع قرار دارد. اما در سیستم‌های جذب سطحی، جاذب‌ها به شکل جامد می‌باشند. سیستم‌های جذبی برای انجام فرآیند جداسازی و یا فرآیند جذب، (بین ماده جذب شونده و جاذب) به وسایلی نظیر پمپ برای انتقال زوج کاری نیاز دارند اما سیستم‌های جذب سطحی برای انجام واکنش و انتقال به قسمت‌های مختلف سیکل نیاز به هیچگونه وسیله الکترومکانیکی ندارند. بلکه انتقال مبرد سیستم‌های جذب سطحی فقط به گرادیان دما وابسته می‌باشند. همین امر باعث کاهش هزینه اولیه و انرژی الکتریکی مصرفی سیستم‌های جذب سطحی شده است. بعلاوه می‌توان از سیستم تبرید جذب سطحی برخلاف سیستم تبرید جذبی مایع، در لوکوموتیوها، اتوبوس‌ها، قایق‌ها و فضاپیماها استفاده نمود.

۱-۲- خواص فیزیکی جاذب و ماده جذب شونده

جذب سطحی برای اولین بار توسط بروناور^۵ [۱] مطرح گردید. بر این اساس زمانی که یک گاز یا بخار در تماس با یک جامد توخالی قرار گیرد بخشی از این گاز یا بخار توسط جاذب جذب می‌شود. چنانچه این فرآیند در حجم ثابت انجام گیرد، فشار افت می‌کند و در صورتی هم که در فشار ثابت انجام گیرد، حجم کاهش می‌یابد. مولکول‌های ناپدید شده در فاز سیال، یا وارد جامد توخالی می‌شوند و یا به سطح خارجی جامد می‌چسبند. به این پدیده به اصطلاح جذب سطحی گفته می‌شود. جامدی که بخار یا گاز را جذب نموده است به عنوان جاذب شناخته می‌شود؛ ماده‌ای هم که در فاز سیال قرار دارد به عنوان مبرد یا ماده جذب شونده در نظر گرفته می‌شود. برای گازی که وارد جاذب می‌گردد دو حالت روی می‌دهد. یا در جامد حل شده و به شکل محلول جامد در می‌آید و یا اینکه با جاذب واکنش داده و به شکل یک مولفه در می‌آید. همینطور برای گازی که در روی سطح جامد به صورت پیوسته باقی می‌ماند نیز امکان دارد

^۱ Distillation

^۲ Crystallization

^۳ Working pair

^۴ Adsorbent

^۵ Brunauer

دو حالت روی دهد. یا با واکنشی ضعیف، بر روی سطح جاذب قرار می‌گیرد (همانند فرآیند چگالش). یا با یک واکنشی قویتر، همانند واکنش شیمیایی به سطح جاذب می‌چسبد.

۳-۱- جاذب

به طور کلی تمامی مواد با تخلخل ریز^۱ به عنوان جاذب محسوب می‌شوند که بر اساس میزان نفوذپذیری^۲، ویژگی‌هایشان مورد مطالعه قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه هر جامد متخلخل، دارای حفره‌هایی با قطرهای مختلف می‌باشد. بنابراین می‌توان ساختار کلی جامدهای متخلخل را از نظر نوع حفرها و قطر مربوط به آنها در سه گروه طبقه بندی نمود.

۱. حفره‌هایی با قطرهای بیش از ۵۰ نانومتر که به ماکرو حفرها^۳ معروفند.
۲. مزو حفره‌ها^۴، حفره‌هایی را شامل می‌شوند که قطرشان بین ۲ تا ۵۰ نانومتر می‌باشند.
۳. حفره‌هایی با قطرهای کمتر از ۲ نانومتر نیز در ردیف حفره‌هایی میکرو^۵ قرار می‌گیرند. در سیستم‌های جذب سطحی، جامدهای متخلخلی^۶ که به عنوان جاذب در صنایع تبرید کاربرد دارند. بر اساس نوع کنترلی که در اندازه حفره‌ها صورت می‌گیرد، در دو گروه طبقه بندی می‌شوند.
۴. جامدهایی که توزیع اندازه حفره و قطر متوسط آنها توسط فرآیندهای صنعتی کنترل می‌شوند. از این نوع جاذب‌ها می‌توان به سیلیکاژل^۷، اکسید آلومینیم^۸ و کربن فعال^۹ اشاره نمود.
۵. گروه دوم جامدهایی را در برمی‌گیرد که سایز میکرو حفره‌های آنها توسط ساختار کریستالیشان مورد کنترل قرار می‌گیرند. همانند زئولیت‌ها^{۱۰}.

^۱ Microporous

^۲ Porosity

^۳ Macropores

^۴ Mesopores

^۵ Micropores

^۶ Porous

^۷ Silica-gel

^۸ Alumina

^۹ Activated Carbon

^{۱۰} Zeolites

سیلیکاژل را می‌توان به عنوان یکی از جاذب‌های متداول جهت استفاده در سیستم‌های جذب سطحی، در دو نوع مختلف طبقه‌بندی نمود که عبارتند از سیلیکاژل با دانه‌های میکرو و سیلیکاژل با دانه‌های ماکرو زمانی که رطوبت بیشتر باشد ظرفیت جذب سطحی سیلیکاژل با دانه‌های ماکرو بیشتر از دانه‌های میکرو می‌باشند اما دانه‌های میکرو در رطوبت‌های پایین ظرفیت جذب سطحی بالاتری دارند. بنابراین سیلیکاژل با دانه‌های ماکرو در سیکل‌های که به صورت مستقیم با فشار اتمسفر در تماس می‌باشند به عنوان رطوبت‌گیر^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد اما سیلیکاژل با دانه‌های میکرو برای سیستم‌های تبرید جذب سطحی با فشارهای پایین‌تر از اتمسفر مناسب‌تر می‌باشند.

۱-۴- جذب سطحی

جذب سطحی فرآیندی است که در آن ماده جذب شونده^۲ (مبرد) بر روی جاذب جامد، جذب می‌گردد. جذب سطحی فرآیند گرمایی است که در نتیجه تغییر فاز بین گاز-مایع حاصل می‌شود. انرژی آزاد شده در طول فرآیند جذب سطحی، گرمای جذب سطحی^۳ نامیده می‌شود. مقدار گرمای جذب سطحی، به طبیعت ماده جذب شونده و جاذب بستگی دارد. با توجه به اینکه پدیده جذب سطحی به برهم‌کنش بین ذرات جذب شونده و جاذب وابسته می‌باشد، این برهم‌کنش امکان دارد به دلیل پیوند شیمیایی، پیوند هیدروژنی، پیوند هیدروفوبیک^۴ و یا نیروی واندروالسی حاصل شود. طبیعت نیروهای جاذبه‌ای که مولکول‌های ماده جذب شونده را در سطح جاذب نگه می‌دارد به صورت دقیق درک نشده است.

تئوری‌های متفاوتی در مورد پدیده جذب سطحی عنوان شده است که یکی از مهمترین تئوری‌ها، تئوری لانگمویر^۵ می‌باشد. بر اساس این تئوری فرض می‌شود، نیروهایی که در اثر جذب سطحی بوجود می‌آیند مشابه نیروهایی است که در نتیجه پیوند مولکولی (نیروی لاندن) ایجاد می‌شوند. بنابراین برهم‌کنش، بین مولکول‌های ماده جذب شونده و سطح جاذب یا در اثر نیروهای بسیار ضعیف (همانند نیروهایی که باعث میعان گاز می‌شوند) و یا بوسیله نیروهای بسیار قوی (مانند پیوند شیمیایی که بین جاذب و ماده جذب

^۱ Desiccant

^۲ Adsorbate

^۳ Isosteric heat

^۴ Hydrophobic bond

^۵ Langmuir's theory

شونده ایجاد می‌شود) صورت می‌پذیرد و لذا بر اساس نوع پیوند بین جاذب و ماده جذب شونده فرآیند جذب سطحی به دو قسمت تقسیم می‌شود.

۱-۴-۱- جذب سطحی فیزیکی

در جذب سطحی فیزیکی مولکول‌های موجود در سیال در اثر حضور دو نوع نیرو بر روی جاذب جذب می‌شوند.

۱. نوع اول این نیروها شامل نیروهای پراکندگی^۱ و دافعه^۲ می‌باشند. که به این نیروها به اصطلاح، نیروهای لاندن و واندروالسی گفته می‌شود.

۲. نوع دوم این نیروها نیروهای الکترواستاتیک^۳ و یا کولنی^۴ می‌باشند، که در اثر حضور دو قطبی‌های الکتریکی و یا بارهای الکتریکی خاص در مولکول‌های سطح جاذب ایجاد می‌گردند.

نیروهای پراکندگی همواره بین دو اتم یا دو مولکول موجود می‌باشند. این دو اتم یا دو مولکول می‌تواند دو مولکول ماده جذب شونده، یک مولکول جاذب و یک مولکول جذب شونده، یک مولکول جذب شونده و یک مولکول غیر جذب شونده باشد. در صورتی که سطح جاذب قطبی باشد و مولکول‌های ماده جذب شونده دارای ممان‌های دو قطبی پایدار مانند مولکول‌های آب و یا دارای ممان‌های چهار قطبی پایدار (مولکول‌های نیتروژن) باشند. در این صورت پدیده جذب سطحی بسیار قوی‌تری خواهیم داشت. اما در صورتی که سطح جاذب دارای مولکول قطبی یا ماده جذب شونده دارای ممان‌های قطبی پایدار نباشد، تنها راه بوجود آورنده انتقال جرم و تعادل از طریق نیروهای پراکندگی حاصل خواهد شد. در مجموع پدیده جذب سطحی فیزیکی فرآیند برگشت پذیر است که به دلیل نیروهای ضعیف یا واندروالسی که بین ماده جذب شونده و جاذب وجود دارد، ماده جذب شونده در شبکه کریستالی جاذب نفوذ نمی‌کند بلکه در سطوح متخلخل^۵ ماده جاذب جذب می‌شود.

^۱ Dispersion force

^۲ Repulsion force

^۳ Coulombic force

^۴ Electrostatic force

^۵ Porous

۱-۴-۲- جذب سطحی شیمیایی

در جذب سطحی شیمیایی نیروهایی که بین مولکول‌ها ایجاد می‌شود بسیار قوی‌تر از جذب سطحی فیزیکی است، انرژی هم که در طی این فرآیند آزاد می‌شود در حد یک واکنش شیمیایی می‌باشد. این فرآیندها به صورت برگشت ناپذیر می‌باشند که با تغییر شیمیایی در طی فرآیند جداسازی انجام می‌گیرند. ماده جذب شونده و یا جاذب به حالت اولیه خود باز نمی‌گردند. همانند جداسازی اکسیژن از زغال چوب که با گرفتن انرژی گرمایی به جای اکسیژن دی اکسید کربن آزاد می‌کند. با وجود اینکه سرعت جذب سطحی شیمیایی از جذب سطحی فیزیکی بسیار بیشتر می‌باشد اما بسیاری از فرآیندهای جذب سطحی که در صنعت انجام می‌گیرد به صورت جذب سطحی فیزیکی می‌باشند.

۱-۴-۳- پارامترهای موثر در فرآیند جذب سطحی

اغلب اوقات فرض می‌شود، فرآیند جذب سطحی با افزایش غلظت ماده جذب شونده در سه مرحله بوقوع می‌پیوندد. اولین مرحله، جذب تک لایه مولکولی^۱ بر روی سطح جاذب می‌باشد. امکان دارد این تک لایه بر اساس جذب فیزیکی و یا جذب شیمیایی رخ داده باشد. با افزایش غلظت ماده جذب شونده در فاز سیال تعداد لایه‌های مولکولی بر روی سطح جاذب افزایش می‌یابد که بر طبق جذب فیزیکی، این لایه‌ها روی یکدیگر قرار می‌گیرند. در مرحله سوم جذب سطحی، پدیده مویینگی مایعات اتفاق می‌افتد. یعنی در ابتدا گاز، در حفرها میعان پیدا کرده و سپس توسط خاصیت مویینگی جذب حفرهای باریک در داخل جاذب می‌گردد. این پدیده تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که فشار جزء جذب شونده با فشار بخار آن در داخل کانال‌های جاذب برابر شود. تمامی این سه مرحله خیلی سریع اتفاق می‌افتد. با این وجود یکی از دلایل ضمنی وجود این مکانیسم برای جذب، بالا بودن غلظت ماده جذب شده در سطوح خارجی نسبت به سطوح داخلی می‌باشد.

آنچه در فرآیند جذب سطحی مهم می‌باشد نوع عملیاتی است که بین جاذب و ماده جذب شونده، براساس محدودیت‌های اقتصادی و فرآیندی (خواص شیمیایی و فیزیکی سیال، سختی یا آسانی فرآیند

^۱ Monomolecular layer