فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: خشک کردن انجمادی
دوره ۵ / شماره ۲ / تابستان ۱۴۰۰/ ص ۱۴ - ۱

خشک کردن انجمادی

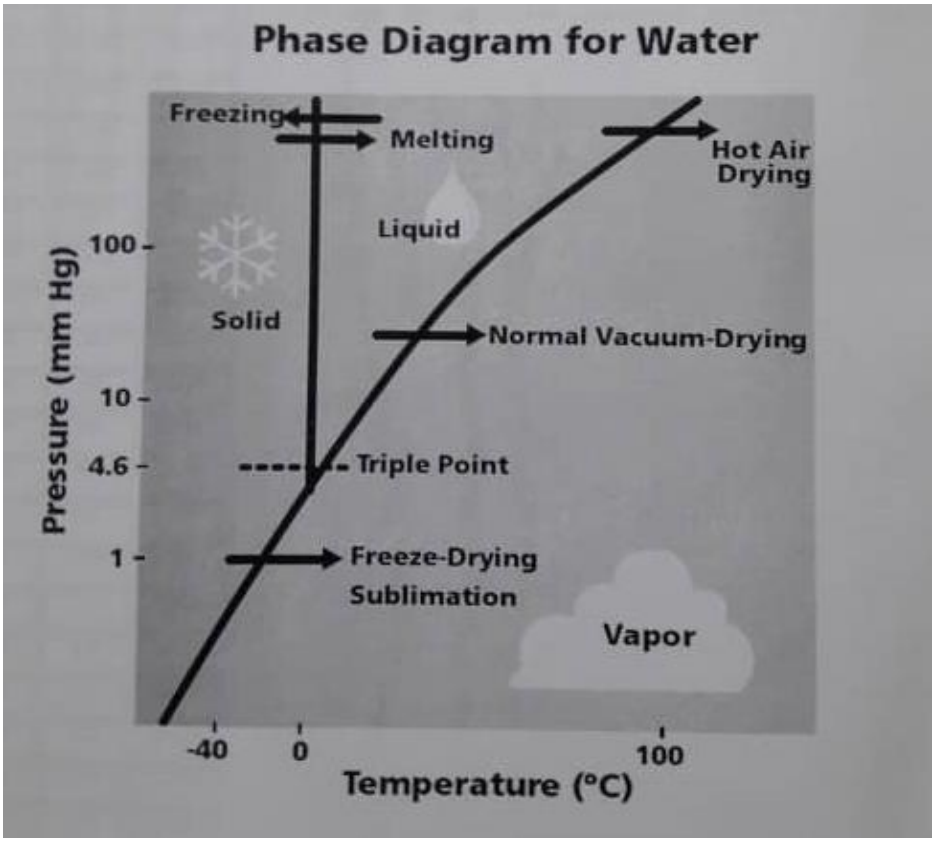
اصغر قادری ۱- اله بخش کرمزهی ۲- محمد شاهوزهی ۲- مصطفی هراتی ۲
۱- استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایرانشهر۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی برق دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

مقدمه

به خارج کردن آب و دیگر حلال ها از ماده منجمد شده به وسیله تصعید را خشک کردن انجمادی گویند.Freeze drying در واقع تصعید یخ در دما و فشار پایین می باشد ، که بدون هیچ گونه ذوب شدن یخ همراه است . نام دانش فنی این Lyophilzation می باشد .

با استفاده از نمودار فازی آب که در شکل زیر نشان داده شده است ، فرایند تصعید یخ در فشار کمتر از 4.6 Torr اتفاق می افتد



لیستی از حلال های پر کاربرد در Freeze drying به همراه دمای تصعید در فشار های مختلف

Compound name	1mm	10mm	40mm	100mm	760mm	760mm	m.p.
Acetonitrile	-47	-16.3	7.7	27	62	81	-41
methanol	-44	-16.2	5	21.2	49.9	54.7	-97.8
Lsopropyl(2 propanol)	-26.1	2.4	23.8	39.5	67.8	82.5	-85.8
Water	-16	11.2	34	51	83	100	0
Acetic acid	-17.2	17.5	43	53	99	118	16.7
Benzyl alcohol	58	92.6	119.8	141.7	183	204.7	-15.3
Ethanol	-31.3	-2.3	19	34.9	63.5	78.4	-112
Tert-butyl alcohol	-20.4	5.5	24.5	39.8	68	82.9	25.3

فشار بخار آب به عنوان پر کاربرد ترین حلال در Freeze drying :

ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

Temp(c)	mTorr	mB
0	4579	6.104
-4	3280	4.372
-8	2326	3.097
-12	1632	2.172
-16	1132	1.506
-20	930	1.032
-24	526	0.6985
-28	351	0.4669
-32	231	0.3079
-36	150	0.2020
-40	96.6	0.1238
-44	60.9	0.0809
-48	37.8	0.0502
-52	23.0	0.0300
-56	13.8	0.0183
-60	8.0	0.0107
-64	4.6	0.0061
-68	2.6	0.0034
-72	1.4	0.0018

دو عامل مهم در تعیین فاز مواد وجود دارد : دما و فشار اتمسفریک .
برای یک ماده برای قرار گرفتن در یک فاز مشخص دما و فشار می بایستی در یک محدوده مشخص قرار گیرند که بدون داشتن این شرایط داشتن آن فاز غیر ممکن است .

۲- تاریخچه :

Freeze drying در عصر باستان در پروی کنونی استفاده می شده است ، به این نحوه که آن ها مواد غذائی خود را در کوهستان های سرد و بلند ذخیره می کردند و به علت سرمای زیاد محصولات منجمد می شوند و به علت ارتفاع زیاد کوهستان به مرور این رطوبت تصعید می شوند .Freeze drying در عصر حاضر در جنگ جهانی دوم برای حمل پلاسمای خون و پنی سیلین گسترش یافت و از سال ۱۹۶۰ به طور اقتصادی در صنایع غذائی گسترش یافت .

۳-دلایل استفاده از Freeze drying :

۱- این روش بهترین روش برای حفظ پروتئین ها ، میکروب ها و مواد حساس به دما می باشد .
۲- بالا بردن زمان نگهداری
۳- حساسیت کمتر نسبت به دما و قابلیت نگهداری در دمای اتاق
۴- محصولات بعد از مدتی سفت نمی شوند
۵- کاهش هدر رفتن محصولات (در این روش از بین رفتن و تخریب محصولات در طول فرایند به نسبت کمتر است .)
۶- خشک کردن در طول مواد شکل یکنواختی دارد

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

4- مزایای Freeze drying نسبت به دیگر روش های خشک کردن

۱- Freeze drying وزن را به شدت کاهش می دهد و حمل و نقل محصولات رو آسان تر می کند . حدود ٪ ۹۰ وزنی از محصولات را آب تشکیل می دهد و وزن بعد از Freeze drying حدود ۱۰ مرتبه کاهش می یابد ، به همین دلیل هزینه و حمل و نقل کمتری را دارا می باشد .

۲- چون محصولات متخلخل هستند خیلی از غذاها را که به روش Freeze drying خشک می شوند را می توان دوباره آبدهی کرد چون Freeze drying حجم را کاهش نمی دهد .

۳- در Freeze drying به علت این که فرایند در دمای پایین تر از دمای انجماد کار میکنیم کیفیت محصولات به صورت کامل حفظ می شود ولی در بقیه روش ها به علت وجود دمای بالا میزان زیادی از باکتری ها از بین می رود .

۴- محصولات حاصل از Freeze drying بدون احتیاج به یخچال قابل نگهداری می باشد چون سفت نمی شوند ولی در بقیه روش ها برای حمل و نقل احتیاج به یخچال الزامی است .

۵- در این روش به نسبت بقیه روش ها در پایان کار رطوبت کمتری در داخل مواد وجود دارد .

۵- معایب فرایند Freeze drying

۱- گران بودن تجهیزات: دستگاه های مربوطه حدود ۲ تا ۳ برابر گران تر از دیگر فرایند های خشک کردن می باشد .

۲- زمان گیر بودن فرایند (حدود ۲۴ ساعت بیشتر)

۳- انرژی بر بودن فرایند (حدود ۲ تا ۳ برابر)

۴- پیچیده بودن دستگاه ها و همچنین سخت بودن فرایند نسبت به دیگر روش ها

۶- فرایند پایه ای Freeze drying

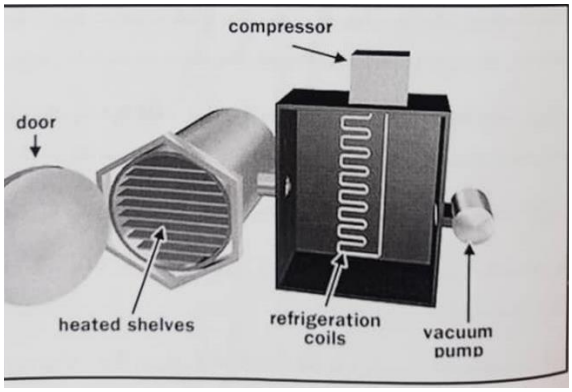
۱-منجمد کردن (Freezing) : این کار برای ایجاد شرایطی برای خشک کردن در دمای پایین انجام می شود .

۲- خلا (Vaccum) : بعد از منجمد شدن محصولات تحت تاثیر خلاء قرار می گیرند که طی این فرایند حلال منجمد شده بدون گذر از فاز مایع به فاز بخار می رود .

۳- گرمادهی (Heating) : این عمل برای تسریع به عمل تصعید انجام می گیرد .

۴- چگالش (Condensation) : یک کندانسور با دمای پایین بخارات حلال را از محفظه خلاء به وسیله تبدیل به جامد خارج می کند .

تجهیزات یک دستگاه Freeze drying را به صورت شماتیکی در شکل زیر مشاهده می کنید :



فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

۷- عوامل موثر بر Freeze drying

۱- اندازه ذرات

۲- مساحت سطح ذرات

۳- ضخامت ذرات

۴- دمای اتکتیک

۵- دمای کندانسور

۶- خلاء

۷- حجم فلاسک انجماد

۸- فشار بخار

دمای اتکتیک مهم ترین فاکتور برای تعیین میزان خشک شدن در یک مرحله است هر چه دمای اتکتیک کمتر باشد فشار بخار نیز کمتر است و هر چه فشار بخار کمتر باشد سرعت خشک شدن افزایش می یابد .

در شکل زیر نمودار تعادل فازی را برای دو ماده A و B که دارای نقطه اتکتیک می باشند نشان داده شده است . نمودار فازی نسبت به غلظت دو ماده A و B و در محور عمودی دما نشان داده شده است .

بنا به تعریف نقطه اتکتیک پایین ترین دمائی است که دو فاز مایع و جامد می توانند با هم در تعادل باشند و برای انجام خشک کردن انجمادی همواره باید در زیر این دما کار کنیم . این دما در شکل با رنگ قرمز نشان داده شده است .

مواردی که دارای شبکه ی ملکولی نامنظم هستند نقطه اتکتیک ندارند برای این گونه مواد باید زیر نقطه بحرانی عمل کرد .

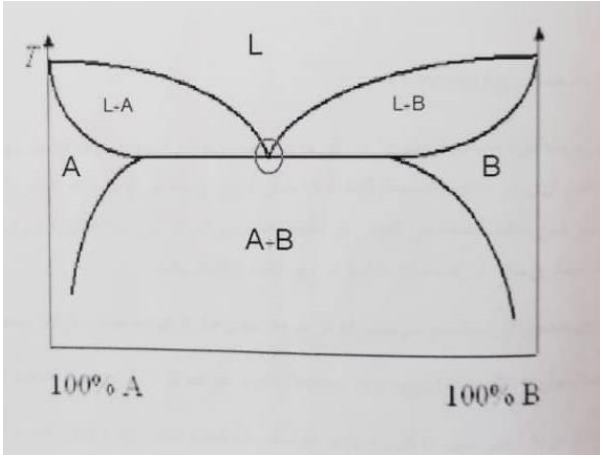
مساحت سطح ذرات با سرعت خشک شدن نسبت مستقیم دارد و با ضخامت ذرات نسبت عکس دارد .

سرعت تبخیر بهینه در ضخامت های ۲/۱ و ۴/۳ اینچ حاصل می شود .

حجم فلاسک انجماد می بایستی ۲ تا ۳ برابر بیشتر از میزان حجم ماده منجمد شونده در هر مرحله باشد .

دمای کنداسور باید ۱۵ _ ۱۰ درجه سانتیگراد کمتر از دمای اتکتیک ماده منجمد شونده باشد .

توجه به این نکته که مواد قندی دارای سرعت خشک شدن پایین تری نسبت به بقیه مواد هستند ضروری است .



۸- فرایند صنعتی Freeze drying

۱-Freezing

۲- Primary drying

۳-Secondary drying

حال به شرح هر کدام از مراحل فوق می پردازیم .

۸-۱- انجماد (Freezing)

در این مرحله مواد منجمد می شوند . در این مرحله عموما مواد را به داخل یک فلاسک چرخان قرار می دهند و آن را در داخل یک حمام گذاشته که به آن فریزر پوسته ای گویند ، که با نیتروژن مایع ، متانول و یا یخ خشک منجمد می شوند . در مقیاس های بزرگتر از سرد ساز استفاده می شود . در این مرحله مهم ترین نکته این است که مخلوط در زیر نقطه اتکتیک باشد .
این عمل متضمن این موضوع می باشد که در مرحله بعدی قبل از فرایند ذوب ، فرایند تصعید اتفاق بیفد .
کریستال های بزرگ یخ برای Freeze drying مفید تر خواهند بود . برای ایجاد قطعات بزرگ یخ باید منجمد کردن به آرامی صورت گیرد و یا در طول مرحله انجماد دما را بالا و پایین کنیم به این عمل ملتهب کردن گویند . معمولا دمای انجماد در بازه ۵۰ _تا ۸۰ درجه سانتیگراد می باشد . فاز منجمد در طول فرایند می بایستی در شرایط بحرانی می باشد ، در غیر این صورت امکان فاسد شدن محصولات می باشد .

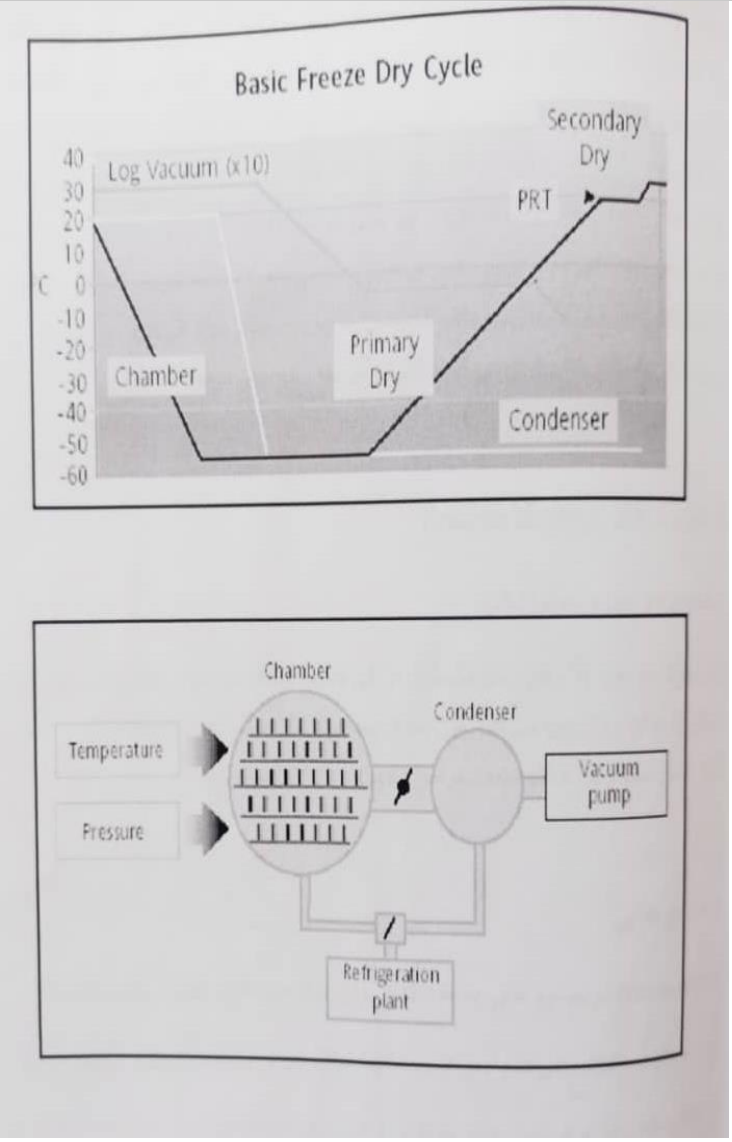
۸-۲- خشک کردن اولیه (Primary drying)

در طول این مرحله فشار تا حد میلی بار کاهش می یابد . میزان حرارت لازم برای تصعید با توجه به پیوند های ملکولی محاسبه می شود که به آن گرمای نهان تصعید گویند . در این مرحله حدود ٪۹۵ از حلال آب موجود در ماده تصعید می شود . این مرحله به آرامی صورت می گیرد و مدت زمان زیادی را دارا می باشد زیرا گرمای اضافه شده در این مرحله با توجه به ساختار ماده می تواند بالا و پایین شود . تصعید از سطح بیرونی آغاز شده و به سمت داخل پیش می رود و با ضخیم شدن لایه خشک شده سرعت خشک شدن کاهش می یابد . در این مرحله فشار به وسیله ی ایجاد یک خلاء جزئی کنترل می شود . نکته مهم در مورد این مرحله این است که در این محدوده فشار دما به وسیله هدایت و تشعشع تامین می شود و اثرات جا به جابه جانی ناچیز است در این مرحله خلاء باعث می شود که خشک شدن سرعت مناسبی داشته باشد . در این مرحله برای جلوگیری از کار اضافه از پمپ خلاء از یک کندانسور استفاده می شود تا بخار ات آب را دوباره جامد کند و دمای این کندانسور ۵۰ _ درجه سانتیگراد می باشد .
روش های حرارت دهی به انواع گوناگون مواد به قرار زیر است: الف) مواد دانه ای شکل در سطح نازکی روی یک سینی پخش می شود و گرما به طریق تشعشع از بالای آن تامین می شود و یا به وسیله ی هدایت از طریق سینی ها تامین می گردد. استفاده از ظرف سیاه بهترین نتیجه را می دهد . ب) مایعات را در یک سینی کم عمق و یا یک کاسه ی چرخنده در خلال انجماد قرار میگیرد تا مایع منجمد را در اطراف دیواره پخش کند . این دو روش سطح تصعید را افزایش می دهد ولی اگر ظرف ها کوچک باشند (مثل سرنگ) ممکن است چرخاندن ظرف ها در حین خشک کردن لزومی نداشته باشد . گرما ممکن است از طریق دیواره های ظرف به مواد منتقل شود . عوامل حرارت دهی می توانند مقاومت الکتریکی و یا لوله های آب گرم باشد .ج) جامدات: در این حالت انتقال حرارت به وسیله ی هدایت از سینی ها و حتی گاهی از طریق یک سرپوش انجام گیرد تماس بهتر را می توان با به کار بردن یک نیروی فشاری در بین سینی و سرپوش عملی نمود .

۸-۳- خشک کردن ثانویه (Secondary drying)

در این مرحله هدف خشک کردن ملکول های آبی است که در ابن مرحله انجماد جذب شده اند و ملکول های که از خشک کردن اولیه در درون ماده باقی مانده اند . در این مرحله نسبت به مرحله خشک کردن اولیه افزایش می یابد و ممکن است تا بالای ۰ درجه سانتیگراد نیز برسد ، تا تمام بر همکنش ها بین مولکول های آب و ماده منجمد از بین برود . در این مرحله فشار خیلی کم است ، تا فرایند خشک شدن سرعت یابد (تا حدود میکرو بار) . بعد از این مرحله Freeze drying تمام می شود و محصولات تا مرحله بسته بندی تحت تاثیر یک گاز خنثی مانند نیتروژن قرار می گیرند . بعد از اتمام در درون ماده حدود ۱_۴ ٪ رطوبت باقی می ماند که مقدار کمی است . در شکل زیر منحنی خشک کردن را مشاهده می کنید :

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



در بیشتر دستگاه ها در ابتدا مواد را در داخل محفظه و روی سینی ها قرار می دهند وقتی که محفظه بسته شد فرایند آغاز می شود در ابتدا کمپر سور دما را در درون محفظه کاهش می دهد تا مواد منجمد شوند سپس پمپ خلاء شروع به کار می کند و فشار داخل محفظه را تا حد میلی بار کاهش می دهد ، واحد گرم کننده مقدار کمی حرارت را در درون سینی ها القاء می کند که باعث تغییر فاز یخ می شود ، بخارات حلال به سمت خارج محفظه جریان می یابد و در مرحله بعد بخارات وارد کویل منجود کننده می شوند و سپس منجمد می شوند این فرایند برای مدتی ادامه می یابد تا مواد به تدریج خشک شوند . این فرایند طولانی است زیرا گرمادهی زیاد باعث تغییر خواص و ساختار مواد می شود . سپس مواد در تحت تاثیر یک گاز خنثی قرار می گیرند تا وارد مرحله ی بسته بندی شوند .

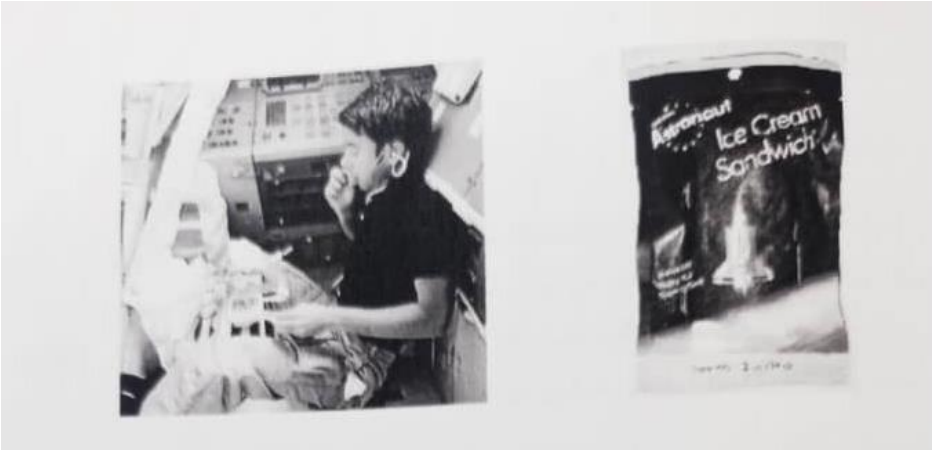
۹- کاربردهای Freeze drying

۱- صنایع دارویی و بیولوژیکی:

در این روش به علت بالا رفتن زمان نگهداری در این صنایع استفاده می شود و اکثر واکسن ها و مواد تزریقی را به این روش تهیه می کنند چون بعد از بسته بندی در حباب شیشه ای حمل و نقل و نگهداری آن ها آسانتر است و در هنگام استفاده خواص واقعی خود را دارا می باشند .

۲- صنایع غذایی :

Freeze drying در صنایع غذایی به علت کاهش وزن مواد مواد غذایی بدون از بین بردن رنگ مزه ، بو کاربرد های فراوانی دارد . در تامین غذای فضانوردان از این روش استفاده می شود ، اخیرا در صنایع نظامی نیز در تامین غذای سربازان از این روش استفاده می شود . امروزه مواد غذایی را که با این روش تهیه می شوند در بین مردم با نام بستنی خشک شده (freeze-oried ice cream) معروف می باشد . از دیگر محصولات پر کاربرد ساخته شده به این روش قهوه فوری می باشد .



۳- صنایع تخصصی :

در صنایع جداسازی بیولوژیکی Freeze drying به عنوان یک مرحله خالص سازی مورد استفاده قرار می گیرد . که با یک بازده بالا حلال را از مواد جدا می کند و قادر است موادی را با وزن ملکولی بسیار پایین که فیلتر ها قادر به جدا سازی آن ها نمی باشند از محلول خارج کند و همچنین برای تعلیق مواد نیز بسیار مفید است .

۴- کاربرد های دیگر :

امروزه در پر کردن پوست حیوانات برای موزه ها از این روش استفاده می شود .

در زمینه سفالگری پیشرفته برای تولید پودر قابل انعطاف ، نرم از Freeze drying استفاده می شود .

10 - طراحی محفظه خشک کن :

۱-مقیاس پایلوت:

در ازمایش گاه های صنایع غذایی در مواردی که مقدار بسیار کمی از محصول مورد نیاز باشد ، از یک خشک کن تصعیدی قابل حمل استفاده می شود . این خشک کن ، خود شامل سرد کننده ، حرارت دهنده و پمپ خلاء می باشد . ظرفیت این گونه خشک کن ها به طور نمونه برای ۲ تا ۲۰ کیلو گرم از محصول منجمد شده یا ۶ تا ۳۶ فوت مربع ، طراحی می شود .

۲- افزایش مقیاس :

عامل هایی که بر اندازه خشک کن تصعیدی اثر می گذارد ، عبارت است از اندازه گیری اتاقک و ظرفیت کندانسور ، پمپ خلاء و سطح صفحه ها می باشد . برای جبران افزایش ظرفیت مواد غذایی باید سطح خشک کن افزایش می یابد . پمپ خلاء و کندانسور نیز مناسب با این افزایش سطح ، افزایش داده شود . در این حالت ، ضخامت لایه ی محصول به بالای ضخامت بهینه ی لازم برای خشک کردن افزایش داده نخواهد شد ، این ضخامت بهینه ی آزمایشات مقیاس پایلوت تعیین می شود .

11- معادله های طراحی خشک کن

گرمای تصعید آب ۱۲۲۰Btu / lb می باشد . این میزان حرارت باید به داخل ماده ی غذایی هدایت شود و یخ تصعید شده باید از میان لایه ی مواد خشک شده انتقال جرم و حرارت بلافاصله انجام گیرد .

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

معادله های طراحی برای پیش بینی انرژی مورد نیاز در مدت زمان لازم برای خشک کردن ، به وسیله گین کوپلیس ارایه شده است .

شار حرارتی که به وسیله ی جا به جایی و هدایت به سطح تصعید شونده انتقال می یابد عبارت اند از :

$$q = h(T_e - T_c) = \frac{k}{l_2 - l_1}(T_s - T_f)$$

که در آن:

$q = (w \text{ or } l/s)$ شار حرارتی

$h = (w/m^2)$ ضریب انتقال حرارت خارجی ، برحسب

$T_e = (°C)$ دمای خارجی گاز ، برحسب

$T_s = (°C)$ دمای سطحی جامد خشک، برحسب

$k = (w/m°C)$ ضریب هدایت حرارتی جامد خشک، برحسب

$l_2 - l_1 = (m)$ ضحامت لایه خشک ، برحسب

$T_f =$ دمای جبهه ی تصعید

شار بخار آب از جبهه تصعید از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$N_s = \frac{D^f}{RT(l_2 - l_1)}(p_{fw} - p_{rw}) = k_g(p_{sw} - p_{ew})$$

که در آن:

$N_s = (kgmol/m^2s)$ شار بخار آب، برحسب

$D^f = (m^2/s)$ میانگین ضریب نفوذ موثر در لایه ی خشک، برحسب

$R =$ ثابت جهانی گازها

$T = (°C)$ میانگین دما در لایه ی خشک بر حسب

$l_2 - l_1 = (m)$ ضخامت لایه ی خشک ، بر حسب

$p_{ew} = (atm)$ فشار جزئی بخار آب در بخش توده ی فاز گاز خارجی ، برحسب

$p_{fw} = (atm)$ فشار جزئی بخار آب در تعادل با جبهه ی یخ تصعید شونده ، برحسب

$p_{sw} = (atm)$ فشار جزئی بخار آب در سطح ، برحسب

$k_g =$ ضریب انتقال جرم بیرونی برحسب $(kgmol/s.m^2.atm)$

از مرتب کردن این معادله ها خواهیم داشت:

$$q = \frac{T_e - T_f}{\frac{1}{h} + \frac{(l_2 - l_1)}{k}}$$

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

$$N_s = \frac{p_{fw} - p_{ew}}{(\frac{1}{k_g}) + RT\left[\frac{l_2 - l_1}{D^f}\right]}$$

h , k_g ثابت هایی هستند که توسط سرعت گاز و مشخصات خشک کن تعیین مـی شـود. p_{ew}, T_e توسـط شـرایط عملیـاتی خارجی تعیین می شود.

D^f, k جزء ویژگی های ماده ی غذایی خشک شده می باشد.

$$q = \Delta H_s N_s$$

در این رابطه ΔH_s گرمای نهان تصعید یخ می باشد.p_{fw} به تنهایی توسط T_f(فشار بخار تعادلی یـخ در آن دمـا) تعیـین مـی شود. با جایگزینی و ترکیب معادله های فوق خواهیم داشت.

$$\frac{1}{\frac{\Delta L}{k}}(T_s - T_f) = \Delta H_s \frac{1}{\frac{1}{K_g} + RT(\frac{\Delta l}{D})}(p_{fw} - p_{ew})$$

T_sتوسط حساسیت ماده ی غذایی در حال خشک شدن ، به حرارت محدود می شود. T_r باید پایین تر از دمای ذوب نگـاه داشـته شود. برای حل معادله فوق Δl به صورت $(1-x)(L/2)$ در نظر گرفته شود.

بدین ترتیب سرعت خشک شدن تصعیدی به وسیله N_a ، ربط داده می شود:

$$N_a = (\frac{1}{2})(\frac{1}{M_a V_s})(-\frac{dx}{dt})$$

در این رابطه L ضخامت ماده ی جامد(m) و V_s حجم ماده ی جامد اشغال شده به وسیله ی آب بر حسب کیلوگرم است، در آغـاز $V_s = 1/X_0\rho_s$ که در آن X_0 رطوبت آزاد اولیه می باشد وρ_s چگالی توده ی جسم جامد خشک (kg/m^3) مـی باشـد. بـا انتگرال گیری از رابطه فوق، زمان لازم برای خشک کردن ماده ی غذایی، از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$t = \frac{L^2 \Delta H_s}{4kv_s m_s(T_e - T_f)}(x_1 - x_2 - \frac{x_2^2}{2} + \frac{x_2^2}{2})$$

انتگرال گیری با گرفتن تابع اولیه از t=0، $x_1 = 1$، t=t ،$x_2 = x_1$ فرض شده است که h بسیار بزرگ خواهد شد

12- خشک کن های انجمادی صنعتی

خشک کن های انجمادی از یک محفظه خلاء تشکیل شده است که دارای سینی هایی برای نگهداری محصـولات در طـول خشـک شدن و یک گرم کن برای تامین گرمای نهان تصعید می باشد و یک کویل حرارتی برای انجماد بخارات . این کویل ها بـه گونـه ای طراحی شده اند که یک سطح وسیعی را برای منجمد کردن بخارات فراهم کنند . این موضوع برای تعیین میزان انرژی مصـرفی در Freeze drying بسیار مهم است . زیرا میزان زیادی از انرژی در داخل کندانسور مصرف می شود .

بازده در Freeze drying به صورت زیر زیر تعیین می شود :

$$\text{efficieency} = \frac{\text{temperature of sublimation}}{\text{refrigerant temperature in the condeser}}$$

پمپ خلاء نیز گاز های غیر قابل انجماد را از محیط خارج می کند .

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

خشک کن ها بر اساس طریقه انتقال حرارت به سطح محصولات طبقه بندی می شوند . روش های هدایت و تشعشع کاربردهای اقتصادی زیادی دارند . خشک کردن به روش مایکروویو نیز در حال توسعه می باشد . در فرایند ناپیوسته ، فراورده وارد محفظه خشک کن می شود . دمای گرم کننده حدود ۱۰۰_۱۲۰ درجه سانتیگراد نگه داشته شود . رطوبت در طول ۶ _ ۸ ساعت بتدریج کاهش می یابد . شرایط دقیق خشک شدن با توجه به نوع خراک تعیین می شود . اما دمای سطح خشک کن در حدود ۶۰ درجه سانتیگراد است . در فرایند خشک کردن انجمادی پیوسته ، سینی ها وارد محفظه خلا ء می شوند و سپس خارج می شوند . سینی ها از روی صفحات گرم کننده عبور می کنند و به وسیله یک ریل از درون محفظه خلا ء عبور می کند . زمان اقامت محصولات برای هر نوع خوراکی به طور اختصاصی تعیین می شود .

در زیر تعدادی از خشک کن های انجمادی پر کاربرد را معرفی کرده شرح مختصری در مورد هر کدام داده خواهد شد :

خشک کن های انجمادی سینی دار

معمول ترین نوع خشک کن های انجمادی که اکنون در صنعت استفاده می شود خشک کن های انجمادی سینی دار است . کندانسور مانند ، گرم کننده های سینی ها در همان اتاقک داده می شود و یا این که در اتاقک جداگانه ای که از طریق یک لوله با قطر بزرگ به اتاقک اصلی پیوسته است ، سوار می شوند. اندازه سطح این خشک کن ها از ۱۲۵ تا ۲۲۰ فوت مربع متغیر است . محصول بر روی سینی ها داخل اتاقک خشک کن گسترده می شود . چنانچه به یک خشک کن با ظرفیت بالا نیاز باشد ، چندین خشک کن تصعیدی را می توان با یک گرم کننده ی سینی کندانسور ، سرد کننده و پمپ خلا ء مرکزی به کار انداخت . سیستم باید برای خشک کردن مرحله ای برنامه ریزی شود و به ترتیب ، هر بخش از سیستم تخلیه و بارگیری شود . هر خشک کن باید به طور مجزا به وسیله ی پنل خود خود کنترل شود ، در این صورت ، عملیات نیمه پیوسته خواهد بود .

رابطه تقریبی بین اندازه و انرژی مورد نیاز خشک کن انجمادی سینی دار

سطح سیلی ها(m^2)	گرما(kw)	قدرت(kw)	ظرفیت(lit)	وزن(ton)	مدل
1	0.2	0.2	0.1	0.25	آزمایشگاهی
13	5	4	20	2.5	با تولید کم
150	50	75	500	40	با تولید زیاد

خشک کن های انجمادی تونلی

این فرایند سینی هایی است که از یک طرف وارد به داخل خشک کن ، و از یک طرف بیرون می رود ، کندانسور ، آن توسط یک سیستم سرد کننده ی جنبی آمونیاکی سرد می شوند . کنترل و بارگیری در این نوع با سهولت بیشتری انجام می شود و چنانچه ظرفیت بالا می رود می توان در پی آن جریان را بالا برد. با این حال این سیستم در مورد تغییر از یک محصول به محصول دیگری دچار مشکل می شود .

خشک کننده شتاب دهنده :(Accelerated Freeze driers)

در این دستگاه خوراک در بین دو لایه فلز مشبک قرار داده می شود و تحت تاثیر یک فشار ناچیز ازدو طرف قرار می گیرد . حرارت با سرعت بیشتری (به وسیله شبکه فلزی) در میان خوراک منتقل می شود و بخارات راحت تر از روی سطح مواد می گریزند . این روش باعث کاهش زمان خشک کردن نسب به روش های سینی دار و تونلی می شود .

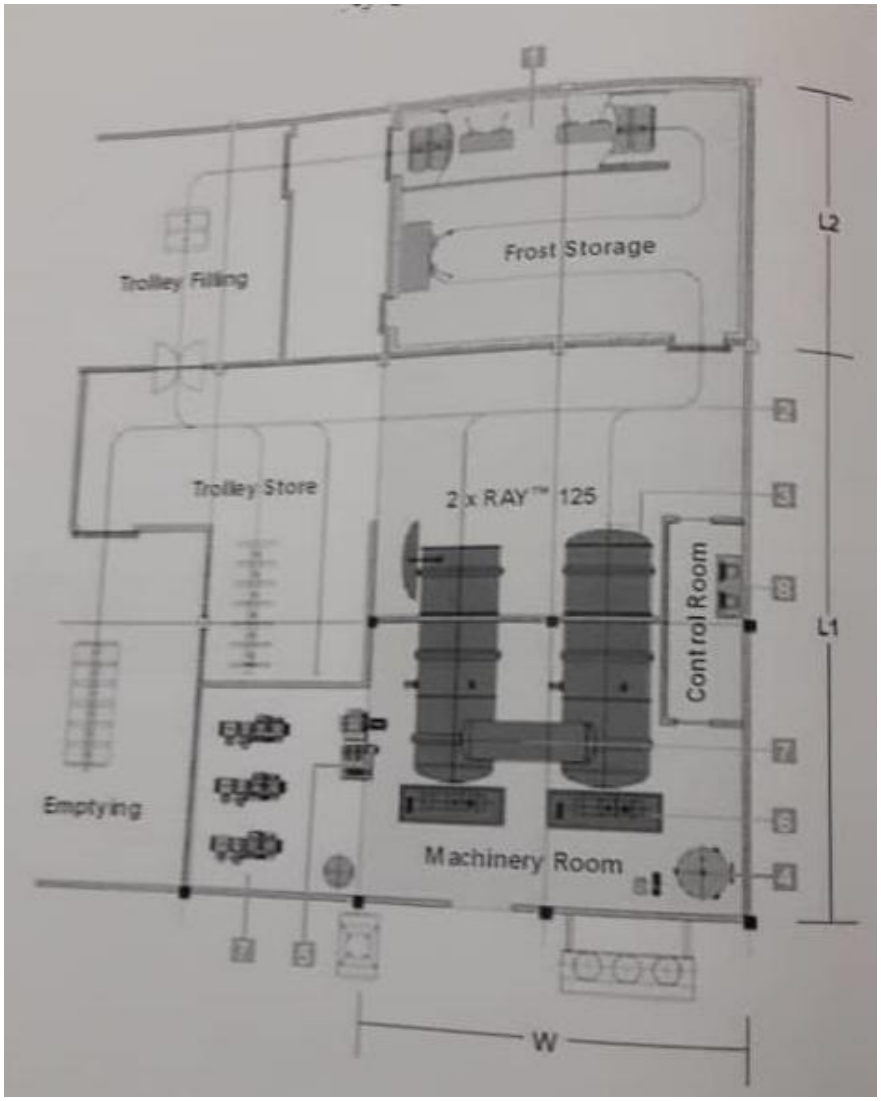
فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

خشک کن های تشعشعی:

تشعشع امواج مادون قرمز از سمت گرم کننده برای گرم کردن لایه های سطحی خوراک ، بر روی سینی های مورد استفاده قرار می گیرد . گرم کردن به این روش خیلی یکنواخت تر از روش هدایت است . در این روش هیچ افت فشاری در طول خشک کردن وجود ندارد ، بنابراین شرایط ثابتی در طول فرایند وجود دارد . سرعت بخار در این روش ۱m/s است . بنابراین احتمال حمل محصولاتی مانند پودر ها بسیار کم است . تماس نزدیک بین خوراک و گرم کن ضروری نمی باشد و به همین دلیل از سینی های صاف استفاده می شود که بسیار ارزان تر اند و تمیز کردن آن ها بسیار ساده تر می باشد .

۱۳ - شمای کلی از یک فرایند صنعتی Freeze drying :

در شرکت صنایع غذایی ATLAS از این فرآیند استفاده می شود :



حال به شرح تجهیزات این دستگاه می پردازیم :

۱. تونل انجماد یا مخزن انجماد

۲. انتقال دهنده ریلی

۳. خشک کن تشعشعی

۴. سیستم تامین گرما

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، ص ۱۴-۱
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

۵. سیستم ایجاد خلا ء

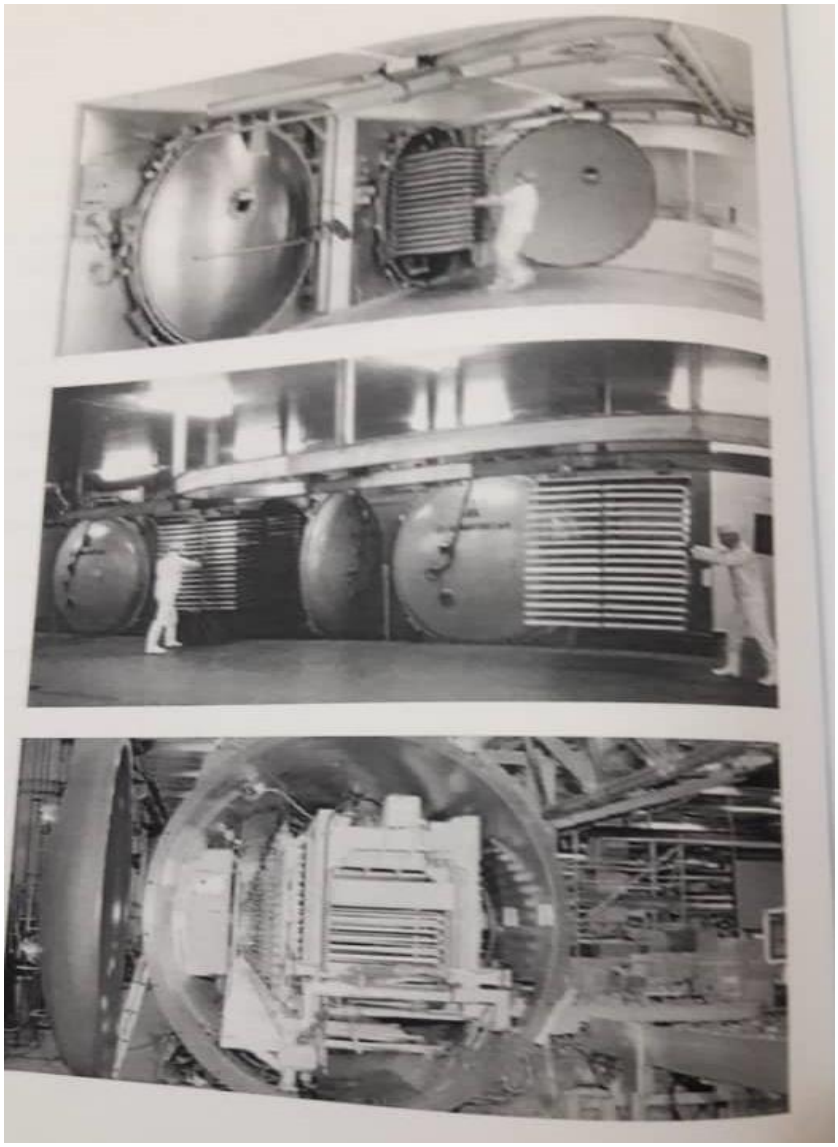
۶. قسمت یخ زدایی

۷. سیستم سرد کننده

۸. اتاق کنترل

ابعاد مورد نیاز دستگاه به قرار زیر است :

Building requirement per cabinet(based on two more units)										
Freeze drying (wxl1)	(m^2)	36	48	60	60	72	96	108	120	132
Freezing + cold storage(wxl2)	(m^2)	N/A	12	24	24	36	48	60	80	96



ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

۱۴- مراجع

1. Harris , E. L. V . and S. Angal (1989). Protein Purification Methods . Oxford Univercity Press . ISBN 0-19-9633003-8
2. Kennedy , John F . and Joaquim M. S . Cabral (1993) . Recovery Processes for Biological Materials . John Wiley & Sons Ltd .
3. http://www.archives.gov/ preservation/ conservation/ drying-methods-01.html
4. ATLAS RAY Plants for the Food and Beverage Industries , Niro A/S . Gladsaxevej 305 . Po Box 45 . DK-2860 Soeborg . Denmark - www.niro.com
5. THE Foxboro A2 automation system lnvensys lnc Fax:1-508-549-2424,1-866-746-6477 Foxboro , MA 02035-2099
6. Journal of Experimental Botany, Vol. 47 , No.303,pp.1469-1473, October 1996

۷. خشک کردن ، اصول ، کاربرد و طراحی. نویسنده سزلا استرامیلو ، تادیوز کودلا ، مترجم : حسن پهلوان زاده ، انتشارات : دانشگاه تربیت مدرس ۱۹۴۵

۸. تکنولوژی فراوری مواد غذایی ، نویسنده : پی ، جی ، فلوز انتشارات فرهنگ جامع ۱۹۹۰

۹. خشک کردن مواد غذایی ، اصول و روش ها . نویسنده : دکتر حمید توکلی پور انتشارات آییژ ۱۳۸۰