به نام خدا

دستور کار

تبخیر کننده تک مرحله ای

تدوین:

شرکت صنایع داتیس انرژی

۱۳۹۳

Datis Energy

فهرست مطالب

۱-هدف..... ٤

۲- مقدمه..... ٥

۳- تقسیم بندی تئوری های موجود مربوط به خشک کردن..... ۷

۳-۱- روش عملکرد یا به عبارتی ناپیوسته و مداوم 7

۳-۱-۱- خشک کردن به صورت ناپیوسته ۷

۳-۱-۲- خشک کردن بصورت مداوم..... ۷

۳-۲- روش اعمال حرارت لازم برای تبخیررطوبت..... ۸

۳-۲-۱- خشک کن مستقیم..... ۸

۳-۲-۲- خشک کن های غیر مستقیم..... ۸

۳-۳- طبیعت ماده خشک شونده..... ۸

۴- انواع خشک کن ها..... ۹

٤-۱- خشک کن برای جامدات و خمیرها (Drying for solids and pulp)..... ۹

٤-۱-۱- خشک کن سینی دار (Tray dryer)..... ۹

٤-۱-۲- خشک کن برجی (tower Dryer)..... ۱۰

٤-۱-۳- خشک کن غربالی- نقاله ای (Dry sieve - a conveyor)..... ۱۲

٤-۱-٤- خشک کن چرخان (Dry spinning)..... ۱۳

٤-۱-٥- خشک کن نقاله پیچی ۱۴

٤-۱-٦- خشک کن آنی (Instant Drying)..... ۱٥

٤-۱-۷- خشک کن سیال - بستر (Fluid dryer - bed) ۱٥

Datis Energy

٤-٢- خشک کن برای محلول ها و دوغاب ها (Dryer for solution and slurry).....١٧

٤-٢-١- خشک کن استوانه ای (Cylindrical dryer).....١٧

٤-٢-٢- خشک کن فیلم ثابت (Dry film fixed).....١٨

٤-٢-٣- خشک کن افشانه ای (spray dryer).....٢٠

٥- منحنی خشک کردن.....٢٢

٦- رطوبت و اقسام آن.....٢٢

٧- محاسبات خشک کن ها.....٢٤

٨- قطعات مورد استفاده در دستگاه.....٢٥

٩- شرح دستگاه.....٢٦

١٠- روش انجام آزمایش.....٢٦

١١- نتایج وخواسته ها.....٢٨

١٢- منابع خطا.....٢٨

Datis Energy

۱- هدف

به طور کلی ، خشک کردن جامد یعنی حذف مقدار نسبتاً کمی آب یا مایع دیگر از آن ماده جامد برای کاهش دادن محتوی مایع باقی مانده تا یک مقدار پایین قابل قبول. خشک کردن معمولاً مرحله نهایی مجموعه ای از عملیات است، و محصول خشک کن اغلب برای بسته نهایی آماده است.

خشک کردن از مباحث عمده مهندسی شیمی است که در زمینه های گوناگون و با روشهای متنوعی انجام می گیرد.محصولاتی که در فرایند های مختلف نیاز به خشک شدن دارند بسیارگوناگون هستند، مثل پلیمرها، محصولات غذایی، مواد دارویی، معدنی ، محصولات کشاورزی ، زباله ها، گلها، کاتالیستها، مواد رنگی و بسیاری از ترکیبات آلی یا غیر آلی.

دلایل و اهداف فرآیند خشک کردن را می توان به صورت زیر خلاصه کرد

۱) نگهداری موادی که در مجاورت رطوبت فاسد می گردند برای مدتهای طولانی.
۲) کم کردن وزن جهت حمل و نقل.
۳) کم کردن وزن یا حجم جهت نیازهای بسته بندی . بسیاری از مواد غذایی و شوینده ها جهت مصرف خشک می شوند.
٤) ایجاد یک شکل همسان یا خاص بر ای فرایندهایی که بعدا انجام خواهند گردید؛ مثل انواع سرامیکهایی که باافزودنیهای خاص مخلوط شده وبه صورت کره هایی هم اندازه ودارای ترکیب همگون جهت پرس کردن خشک می گردند.
٥) جداسازی حلال واستفاده مجدد ازآن بااستفاده ازجمع آوری بخارات حلالی که ازجسم جامد جداشده اند.
٦) جداکردن یک ترکیب سمی یا مضرمایع ازجامد.

Datis Energy

۲- مقدمه

عبارت خشک کردن معمولا به خارج کردن رطوبت از یک جسم اطلاق می گردد.البته باید این بحث به صورت کامل گفته شود و تصحیح گردد. برای مثال ، یک جامد مرطوب مثل چوب و پارچه را می توان با تبخیر رطوبت به وسیله جریان گاز یا حتی بدون وجود گاز،که حامل بخار است ، خشک کرد .ولی همین جداسازی به روش مکانیکی مثل فشردن یا سانتریفوژ را نمی توان خشک کردن به حساب آورد .

یک محلول را می توان با پخش آن به صورت ذرات ریز در گاز داغ و خشک ، خشک و مایع آنرا تبخیر کرد . ولی تبخیر یک محلول با جوشاندن آن در محیطی که فاقد گاز حامل رطوبت است ، جزء عملیات خشک کردن محسوب نمی گردد.

رطوبت موجود در یک محلول مایع یا جامد مرطوب فشار بخاری اعمال می کند که به طبیعت رطوبت ، جسم جامد و درجه حرارت بستگی دارد . بنابر این اگر یک جامد مرطوب در معرض یک جریان تازه گاز، که حاوی بخار با فشار جزیی P است قرار بگیرد، جسم تا جایی رطوبت خودرا با تبحیر از دست می دهد و یا رطوبت می گیرد که فشار بخار رطوبت جسم به P برسد .بعد از آن گاز و جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم در آن حالت رطوبت تعادلی می گویند .

تنهاراه برسی وضیعت خشک شدن یک جسم خاص یک آزمایش تجربی است. هرترکیب خاص ازخودرفتاری خاص نشان می دهدوشرایط خارجی که به خاطر ماهیت خود جسم روی فرایندتاثیرگذارند شامل دوگروه اصلی هستند:

1-شرایط ثابت

الف)خواص ماده

Datis Energy

ب)روشهای خوراک دهی ،گرم کردن،بهمزدن جامدات ،عبورموادجامدازخشک کن

پ)نحوه خروج بخارات حاصل ازظرف

ت)جنس دستگاه خشک کن وعایقبندی ان

ث)فشارعملیاتی (معمولااتمسفریک)

2-شرایط متغیریاانتخابی

الف)دمای گرم کردن ،دمای خوراک ومحصولات وبخارات

ب)رطوبت خوراک،محصولات وبخارات

پ)دبی خوراک ،محصولات وبخارات

ت)زمان تماس

ث)عملیات اماده سازی خوراک

ج)خنک سازی محصول

عملیات خشک کردن

عملیات خشک کردن را می توان بر حسب اینکه عملکرد به صورت مداوم یا ناپیوسته باشد دسته بندی کرد.این عبارات از نقطه نظر ماده ایست که باید خشک گردد.بنابر این عملیاتی که در آن خشک کردن ناپیوسته اطلاق می گردد در حقیقت یک فرآیند نیمه پیوسته است که در آن مقدار ماده ای که باید خشک گردد در مسیر جریان مداومی از هوا قرار می گیرد تا رطوبت تبخیر گردد.

در عملیات مداوم ، ماده خشک شونده هم مانند جریان گاز به طور مداوم از دستگاه عبور می کند .اکثر عملیات ها بر اساس تماس مداوم گاز و جسم خشک شونده اند و معمولا روشهای مرحله ای به کار نمی

Datis Energy

روند. دستگاههای استفاده شده در عملیات خشک کردن را می توان بر اساس نوع دستگاه و چگونگی فرآیند خشک کردن تقسیم بندی کرد.

۳- تقسیم بندی تئوری های موجود مربوط به خشک کردن

تقسیم بندی زیر برای تئوری های موجود مربوط به خشک کردن و روش های طراحی مناسب است .

۳-۱- روش عملکرد یا به عبارتی ناپیوسته و مداوم

در روش ناپیوسته،یا نیمه پیوسته ، دستگاه مربوطه به صورت یک چرخه و در شرایط ناپایدارعمل می کند.خشک کن های مداوم معمولا در شرایط پایدار کار می کنند.

۳-۱-۱- خشک کردن به صورت ناپیوسته

این روش نسبتاً پر هزینه است و به مواردی همچون عملیات در مقیاس های کوچک،واحد های آزمایشی ، کار تحقیقی و خشک کردن مواد با ارزش که هزینه کلی آنها با افزایش هزینه عملیات خشک کردن تغییر زیادی نمی کند محدود می گردد.

۳-۱-۲- خشک کردن بصورت مداوم

این روش دارای مزایایی است :دستگاه لازم نسبت به مقدار محصول کوچک است ،عملیات به راحتی مطابق روشهای تولید مواد شیمیایی مداوم و بدون نیاز به توقف انجام می گیرد، رطوبت یکنواختی بیشتری دارد و هزینه خشک کردن بر واحد محصول کم است .نوع دستگاه ،مانند خشک کردن به صورت ناپیوسته ، تا حد زیادی به نوع ماده خشک شونده بستگی دارد .گاز و جامد ممکن است جریان های موازی یا معکوس داشته باشند و یا گاز از درون مسیر عبور جامد بگذرد.

Datis Energy

در عملیات آدیاباتیک معکوس داغ ترین گاز با خشک ترین جامد در تماس است .این سریع ترین روش خشک کردن است .مخصوصا در حالی که رطوبت پیوندی وجود دارد.در عملیات آدیاباتیک موازی جامد مرطوب با داغ ترین گاز در تماس است .امکان کنترل رطوبت جامد خروجی در جریان موازی بیشتر است .

۳-۲- روش اعمال حرارت لازم برای تبخیر رطوبت

در خشک کن های مستقیم ،حرارت از طریق تماس با ماده خشک شونده تامین می گردد تا عمل تبخیر صورت بگیرد.در خشک کن های غیر مستقیم ، حرارت مستقل از گاز حامل برای خشک کردن اعمال می گردد.

۳-۲-۱- خشک کن مستقیم

ساختار این خشک کن ها تا حدود زیادی به طبیعت ماده خشک شونده بستگی دارد .خشک کن های سینی دار،که به آنها خشک کن های اطاقکی یا قفسه ای هم گفته می شود ،برای خشک کردن جامداتی به کار می روند که باید روی سینی نگهداری شوند .برای مثال می توان مواد خمیری را نام برد.

از انواع دیگر می توان به خشک کن دو واگنی و خشک کن با جریان سراسری اشاره کرد .که شامل تغیراتی نسبت به سینی دار ساده به منظور ایجاد رطوبتی یکنواخت تر و خشک کردنی بهتر می باشد.

۳-۲-۲- خشک کن های غیر مستقیم

خشک کن های با محفظه خلاء:خشک کن های سینی داری هستند که اتاقک آنها چدنی یا فولادی هستند که با درهای محکم بسته می شوند.و ازین رو در فشارهای زیر اتمسفر می توانند کار کنند.هوایی در آنها دمیده نمی شود و گردشی هم انجام نمی گردد.برای خشک کردن خمیرها یا دوغ آنها به کار میرود. این خشک کن ها از نظر ساخت و کارکرد گران هستند و در نتیجه فقط در مواقع خاص استفاده می شوند.

Datis Energy

خشک کردن انجمادی (خشک کردن تصعیدی):موادی مانند مواد غذایی و دارویی ، که حتی در درجه حرارت های معمولی نیز خشک نمی شوند باید ازین روش خشک شوند.

۳-۳- طبیعت ماده خشک شونده

ماده ممکن است یک جامد سخت مثل چوب یا فیبر ، یک ماده منعطف و نرم مثل پارچه ، یک جامد دانه ای مثل جرمی از کریستال،یک خمیر غلیظ و یا دوغاب رقیق و یا یک محلول باشد .

۴- انواع خشک کن ها

از میان بسیاری از انواع خشک کن های تجاری موجود، فقط تعداد اندکی از انواع مهم آنها را بررسی می کنیم. در گروه اول، خشک کن هایی قرار دارند که جامدات صلب یا دانه ای و خمیرهای نیمه جامد را فراوری می کنند، گروه دوم شامل خشک کن هایی هستند که می توانند خوراک های دوغابی یا مایع را بپذیرند.

٤-۱- خشک کن برای جامدات و خمیرها (Drying for solids and pulp)

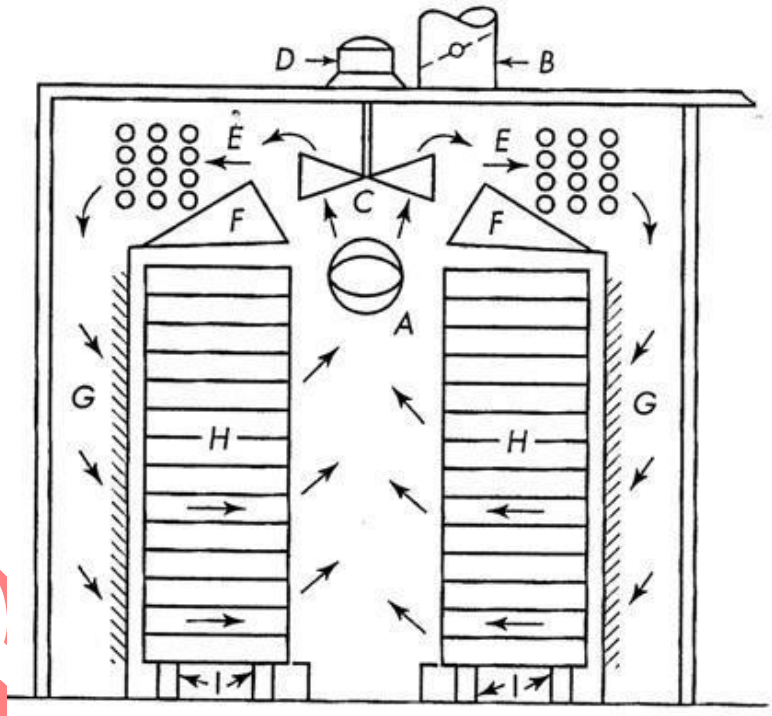
خشک کن هایی که برای جامدات و خمیرها به کار می روند مشتمل اند بر خشک کن های سینی دار و غربالی – نقاله ای، که برای موادی استفاده می شوند که نمی توان آنها را هم زد، خشک کن های برجی، چرخان، نوار نقاله پیچی، سیال – بستر، و خشک کن های آنی که در آنها همزدن مجاز است .

٤-۱-۱- خشک کن سینی دار (Tray dryer)

در شکل ۱ ، یک نوع خشک کن سینی دار ناپیوسته نشان داده شده است. این خشک کن از یک محفظه مستطیلی فلزی تشکیل شده است. محفظه دارای دو واگن است که قفسه های H را نگه می دارند. هر قفسه تعدادی سینی های کم عمق چهارگوش به ضلع mm۷۵۰، و به عمق ۱۵۰ mmدارد. ماده ای که باید خشک شود در این سینی ها قرار می گیرد .

Datis Energy

هوای گرم توسط فن C و موتور D با سرعت ۲ تا ۵ m/s بین سینی ها به گردش در می آید و از روی گرمکن های E می گذرد. دیوارک های G هوا را روی دسته سینی ها به طور یکنواخت توزیع می کنند. مقداری هوای مرطوب دائماً از طریق مجرای خروجی B تهویه و هوای تازه جبرانی از طریق ورودی A وارد قفسه ها می شود .قفسه ها روی چرخ های واگن I نصب شده اند، به طوری که در انتهای سیکل خشک شدن می توان واگن ها را از محفظه خارج و به ایستگاه انبار سینی منتقل کرد.



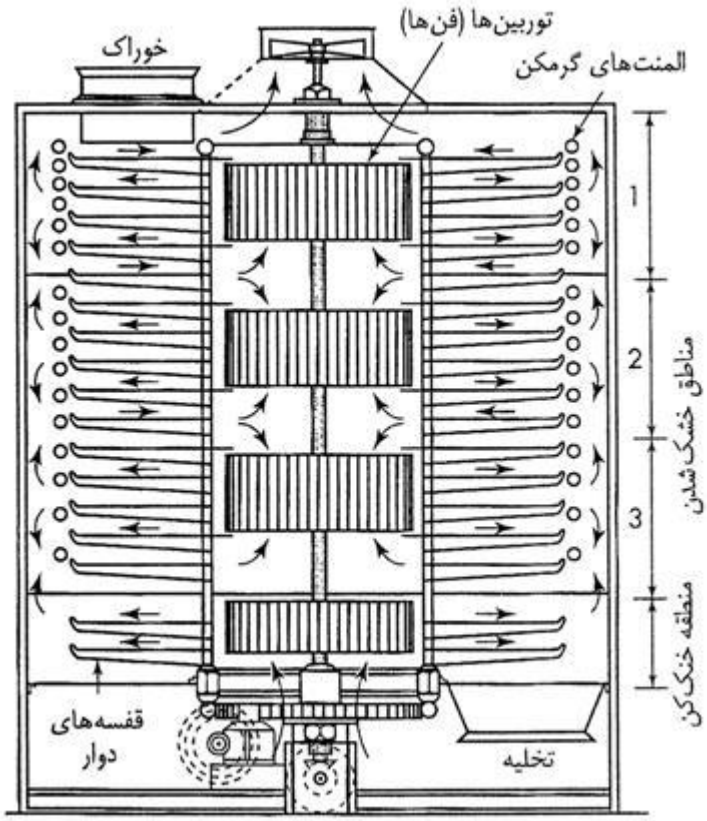
شکل ۱ – خشک کن سینی دار

٤-١-٢- خشک کن برجی (tower Dryer)

خشک کن های برجی دارای مجموعه ای از سینی های دایره ای است که روی شفت مرکزی چرخانی یکی بالای دیگری قرار گرفته است. خوراک جامد روی بالاترین سینی و در معرض بخار آب یا هوا (یا گاز) داغی

که از سینی عبور می کند قرار می گیرد. سپس، جامد تراشیده و به سینی بعدی منتقل می شود. به همین ترتیب در خشک کن حرکت می کند، و به صورت محصول خشک از پایین برج تخلیه می شود. جریان جامدات و گاز می توانند همسو یا ناهمسو باشند.

خشک کن توربو که در شکل ۲ نشان داده شده است یک خشک کن برجی است که گاز گرم در آن بازگردش می کند. فن های توربینی هوا یا گاز را بین بعضی از سینی ها به طرف خارج، روی المنت های گرمکن، و بین سایر سینی ها به طرف داخل به گردش در می آورند. دو سینی پایین خشک کن نشان داده شده در شکل ۲، بخش سرد کننده جامدات خشک را تشکیل می دهند. هوای پیش گرم شده معمولاً از پایین برج وارد و از بالا خارج می شود، و جریان ناهمسویی را می دهد. خشک کردن در قسمتی از خشک کن توربو از طریق گرش عرضی، مانند خشک کن سینی دار، و در قسمت دیگر از طریق بارش ذرات در گاز داغ (هنگام حرکت آنها از یک سینی تا سینی دیگر) انجام می شود.



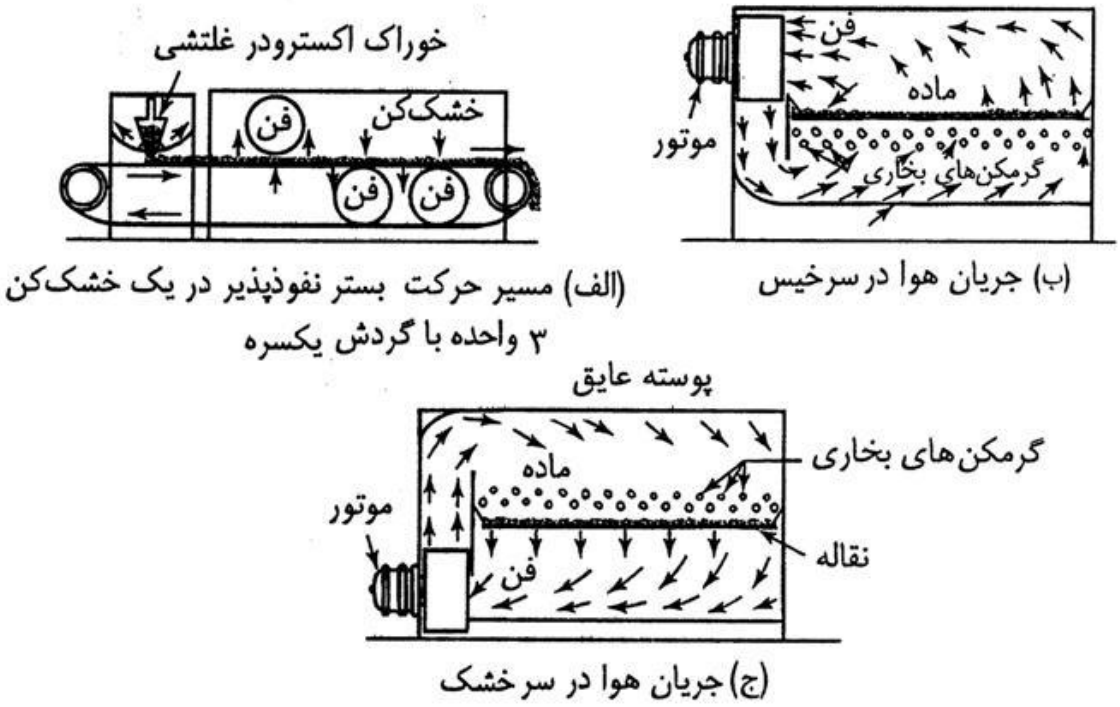
شکل ۲ – خشک کن های توربو

٤-١-٣- خشک کن غربالی – نقاله ای (Dry sieve - a conveyor)

در شکل ۳، یک نوع خشک کن غربالی – نقاله ای نشان داده شده است. لایه ای به ضخامت ۲۵ تا ۱۵۰ mmکه می خواهد خشک شود روی غربالی فازی قرار می گیرد و از تونل طویل خشک کن عبور می کند. تونل از قسمت های جداگانه، هر کدام دارای فن و گرمکن هوا، تشکیل شده است. در ورودی خشک کن، هوا معمولاً رو به بالا از میان غربال و جامدات حرکت می کند.

در نزدیکی تخلیه، جایی که ماده خشک است و ممکن است پودر شود، هوا از میان غربال به طرف پایین حرکت می کند.دمای هوا و رطوبت در قسمت های مختلف را متفاوت می گیرند، تا شرایط بهینه ای برای خشک شدن در هر نقطه حاصل شود.

Datis Energy



شکل ۳ – خشک کن غربالی – نقاله ای با گردش یکسره

خشک کن های غربالی – نقاله ای با انواع جامدات به طور پیوسته و با کنش بسیار ملایم کار می کنند، قیمت آنها معقول و مصرف بخار آب در آنها کم است، و معمولاً برای هر کیلوگرم آبی که باید تبخیر شود ۲kg بخار آب مصرف می شود .هوا می تواند در هر قسمت به طور جداگانه بازگردش و از آن خارج شود، یا این که از قسمتی به قسمت دیگر به طور ناهمسو با جریان جامد عبور می کند. در مواردی که شرایط خشک شدن باید با کاهش رطوبت جامد تغییر کند، از این نوع خشک کن ها استفاده می شود.

٤-١-٤- خشک کن چرخان (Dry spinning)

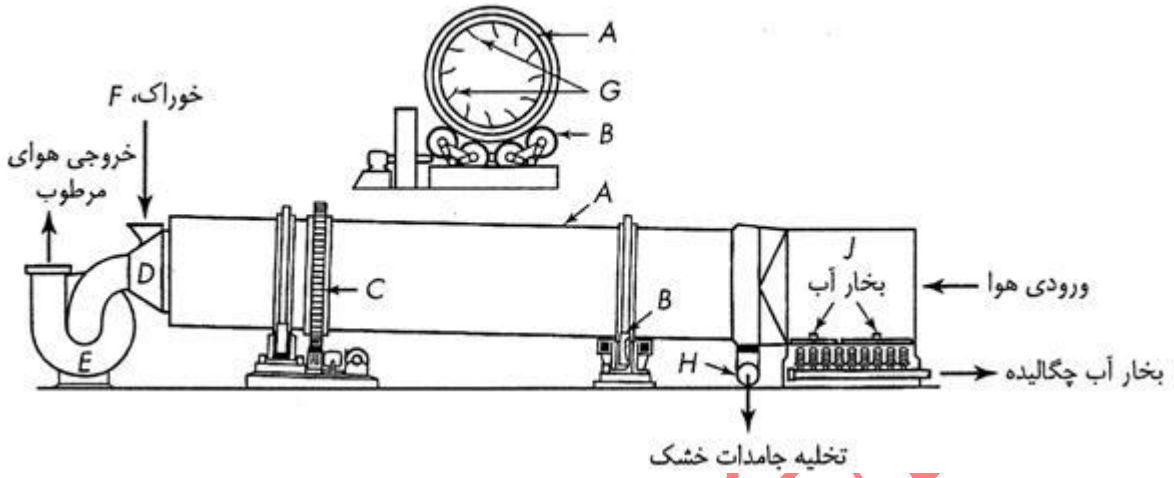
خشک کن چرخان از یک پوسته استوانه ای چرخان افقی ، یا کمی مایل به طرف خروجی، تشکیل شده است. خوراک خیس از یک سر استوانه وارد و مواد خشک از سر دیگر تخلیه می شوند. با چرخش پوسته،

پلکان های داخلی جامدات را بالا می برتد و آنها را از داخل پوسته به پایین مـی ریزنـد. خشـک کـن هـای چرخان از طریق تماس مستقیم گاز با جامدات را بالا می برند وآنها را از داخل پوسته به پـایین مـی ریزنـد. خشک کن های چرخان از طریق تماس مستقیم گاز با جامدات، با عبور گاز داغ در یک ژاکت بیرونی، یـا بـا چگالش بخار آب در مجموعه ای از لوله های طولی که روی سطح داخلی پوسته نصب شـده انـد، گـرم مـی شوند و نوع اخیر را خشک کن چرخان لوله ای بخاری می گویند. در یک خشک کن چرخان مستقیم- غیـر مستقیم، گاز داغ ابتدا از ژاکت و سپس از پوسته عبور می کند، و در آنجا با جامدات تماس می گیرد .

در شکل ٤، یک خشک کن چرخان آدیاباتیک با جریان ناهمسو که با هوا گـرم مـی شـود نشـان داده شـده است. پوسته چرخان فلزی A بر روی دو مجموعه غلتک های B قرار دارد و توسط چرخ دنده و پنیـون C حرکت می کند. هود D در سر فوقانی قرار دارد، و از طریق فن E به دودکش و ناودانی F متصل است؛ ایـن ناودانی مواد خیس را از قیف تغذیه وارد می کند. پلکان G ، که ماده ای را که باید خشک شود بالا می برند و آن را در جریان هوای گرم فرو می ریزند، به داخل پوسته جوش شده اند.

محصولات خشک در انتهای پایینی به داخل نقاله پیچی H تخلیه می شوند. درست در جلوی نقالـه پیچـی مجموعه ای از لوله های پره دار که با بخار آب گرم می شوند قرار دارد که هوا را پیش گـرم مـی کنـد. هـوا توسط یک فن در خشک کن حرکت می کند، و در صورت لزوم ، به داخل گرمکن هوا تخلیـه مـی شـود تـا تمام سیستم تحت فشار مثبت باشد. در روش دیگر، فن را می توان مطابق شـکل در دودکـش قـرار داد، بـه طوری که هوا را از خشک کن بکشد وسیستم را تحت خلأ جزئی قرار دهد. این عمل وقتی مطلوب است که ماده گرایش به پودر شدن داشته باشد. این نوع خشک کن های چرخان برای نمک، شکر، و تمام انواع مـواد دانه ای بلوری که باید تمیز باشند و نباید مستقیماً در معرض گازهای بسیار گرم دودکش قرار گیرند به کـار می روند.

Datis Energy



شکل ۴- خشک کن چرخان با جریان ناهمسو که با هوا گرم می شود A :، پوسته خشک کن؛ B ، غلتک های نکه دارنده پوسته؛C ، دنده محرک؛D ، هود تخلیه هوا؛E ، فن تخلیه؛F ، ناودانی خوراک؛G ، پلکان های بالابر؛H ، تخلیه محصول؛J ، گرمکن هوا.

٤-١-٥- خشک کن نقاله پیچی

خشک کن نقاله پیچی یک دستگاه پیوسته با گرمای غیر مستقیم است، و اساساً متشکل است از یک نقاله پیچی افقی (یا نقاله پره دار)، که در پوسته استوانه ای ژاکت داری قرار دارد. خوراک جامد از یک سر به طور آهسته وارد منطقه گرم، و از سر دیگر تخلیه می شود. بخار در لوله هایی که در سقف پوسته قرار دارند حرکت می کند .

کاربرد خشک کن های نقاله پیچی برای جامداتی است که ریزتر و چسبنده تر از آن هستند که بتوان آنها را در خشک کن های چرخان فراوری کرد. این خشک کن ها کاملاً محصورند و امکان بازیابی بخارهای حلال در آنها، بدون رقیق سازی با هوا (یا با مقدار کمی رقیق سازی)، وجود دارد.

Datis Ene.

با تجهیز این خشک کن ها به خوراک رسان مناسب، از آنها می توان در خلأ متوسط بهره برداری کرد، و لذا برای جداسازی و بازیابی پیوسته حلال های فرار از جامداتی که به حلال خیس شده اند، مانند ذرت حاصل از فروشویی، مناسب اند. به این دلیل، آنها را گاهی حلال زدا می گویند.

٤-١-٦- خشک کن آنی (Instant Drying)

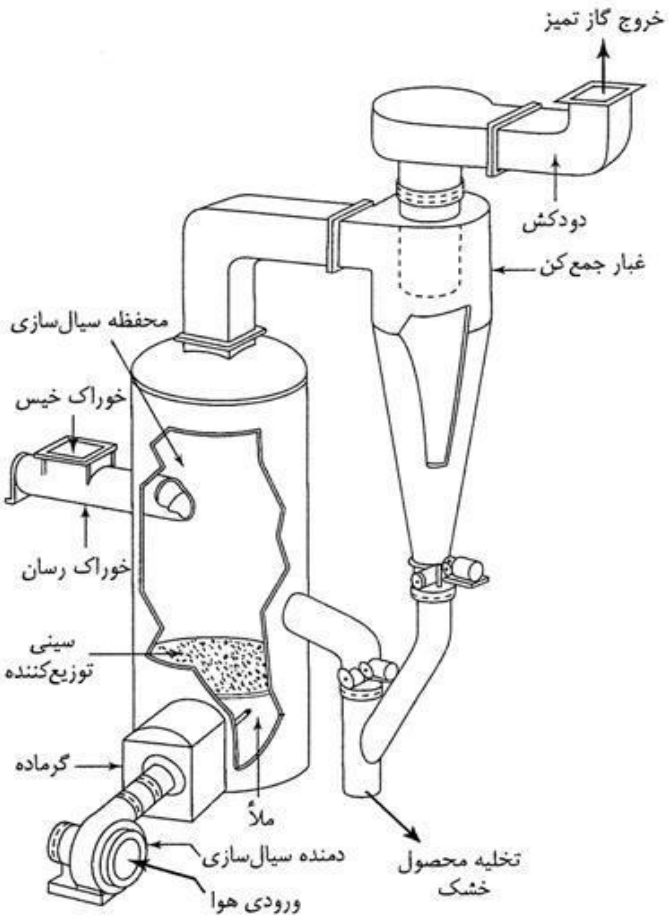
در یک خشک کن آنی، پودر جامد خیس برای چند ثانیه از جریان گاز داغ عبور می کند. خشک شدن در ضمن این عبور صورت می گیرد. آهنگ انتقال گرما از گاز به ذرات جامد معلق خیلی زیاد و خشک شدن سریع است، به طوری که تبخیر تمام رطوبت جامد بیش از ٣ تا ٤ ثانیه بیشتر طول نمی کشد. دمای گاز زیاد است- اغلب در حدود ٦٥٠ درجه سانتی گراد در ورودی- اما زمان تماس به قدری کوتاه است که دمای جامد ضمن خشک شدن به ندرت بیشتر از ٥٠ سانتی گراد می شود. لذا، خشک کن آنی را برای مواد حساس به گرما باید به کاربرد.(این مواد در سایر خشک کن ها در محیط گرمایی بسیار خنک تری باید به طور غیرمستقیم خشک شوند). گاهی در خشک کردن آنی از یک پودرکن استفاده می شود تا خشک کردن و خردکردن با هم انجام شود.

٤-١-٧- خشک کن سیال - بستر (Fluid dryer - bed)

خشک کن هایی که جامدات در آنها توسط گاز خشک کن سیالی می شوند در موارد گوناگون به کار می روند. ذرات توسط هوا یا گاز در یک واحد، با بستر جوشان، سیالی می شوند .اختلاط و انتقال گرما خیای سریع انجام می شود. خوراک خیس از بالای بستر وارد و محصول خشک از بغل ، در نزدیک پایین دستگاه، خارج می شوند. در خشک کن نشان داده شده در شکل ٥، یک توزیع تصادفی برای زمان های ماندگاری وجود دارد؛ زمان متوسطی که ذره ای در خشک کن می ماند، وقتی که فقط مایع سطحی تبخیر می شود، معمولاً ٣٠ تا ١٢٠ ثانیه است و اگر پخش داخلی وجود داشته باشد، 15تا ٣٠ min است.

Datis Energy

ذرات کوچک اساساً تا دمای حباب خشک خروجی گاز سیال ساز گرم می شوند؛ لذا، مواد حساس به گرما را در یک محیط تعلیقی نسبتاً سرد باید خشک کرد. با وجود این، گاز ورودی می تواند داغ باشد، برای این که به قدری سریع مخلوط می شود که دما در واقع یکنواخت است، و در تمام بستر برابر با دمای گاز خروجی است. اگر ذرات ریز در خوراک باشند یا از شکسته شدن ذرات در بستر سیالی به وجود آیند، مقدار زیادی از جامدات ممکن است همراه گاز خارج شوند و برای بازیابی ذرات ریز احتیاج به سیکلون و صافی های کیسه ای است.



شکل ۵ – خشک کن پیوسته با سیال - بستر

بعضی از خشک کن های سیال - بستر مستطیلی دارای محفظه های سیالی جداگانه هستند که در آنها جامدات از ورودی تا خروجی زنجیروار حرکت می کنند. آنها را خشک کن با جریان پیستونی می گویند؛ زمان ماندگاری در این خشک کن ها برای تمام ذرات تقریباً یکسان است.

شرایط خشک شدن را از محفظه ای تا محفظه دیگر می توان تغییر داد، و اغلب آخرین محفظه با گاز سرد سیالی می شود تا جامدات قبل از تخلیه خنک شوند.

خشک کن ها از نوع نشان داده شده در شکل ٥ می توانند به صورت ناپیوسته نیز کار کنند. جامدات خیس در مخزن سوراخ داری که به ته محفظه سیال سازی متصل است سیالی شده و سپس گرم و خشک و تخلیه می شوند. در بسیاری از فرآیند ها ، این دستگاه ها به جای خشک کن های سینی دار را گرفته اند.

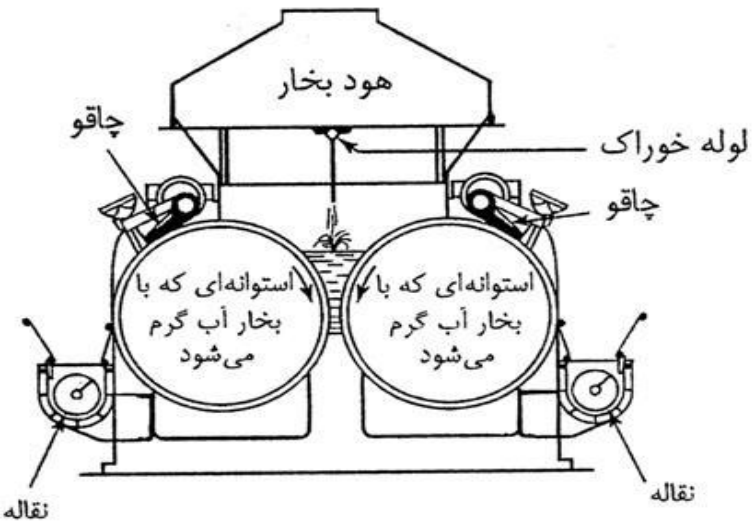
٤-٢- خشک کن برای محلول ها و دوغاب ها (Dryer for solution and slurry)

بعضی از خشک کن ها محلول ها و دوغاب ها را با وسایل گرمکن کاملاً تبخیر و خشک می کنند .نمونه ها متداول عبارتند از خشک کن های افشانه ای، خشک کن های فیلم نازک، و خشک کن های استوانه ای.

٤-٢-١- خشک کن استوانه ای (Cylindrical dryer)

خشک کن استوانه ای متشکل است از یک (یا تعداد بیشتری) غلتک گرم فلزی، که در خارج آنها لایه نازکی از مایع تبخیر می شود و مواد خشک می شوند. جامد خشک شده هنگام چرخش غلتک ها از آن جدا می شود.

در شکل ٦ ، یک خشک کن استوانه ای نوعی (خشک کن دو غلتکی با تغذیه در مرکز) نشان داده شده است. مایع از یک مخزن یا لوله متخلخلی وارد حوضچه ای می شود که در فضای بالا و بین دو غلتک قرار دارد .حوضچه در آنجا توسط صفحات ساکن انتهایی محدود شده است. انتقال گرما به مایع، به قدری در فضای بین دو غلتک غلیظ شده است، با رسانش روی می دهد .مایع تغلیظ شده به صورت لایه ویسکوزی که باقی مانده سطوح غلتک ها را پوشانده است از ته حوضچه خارج می شود.



Datis Energy

شکل ٦- خشک کن دو غلتکی با تغذیه در مرکز

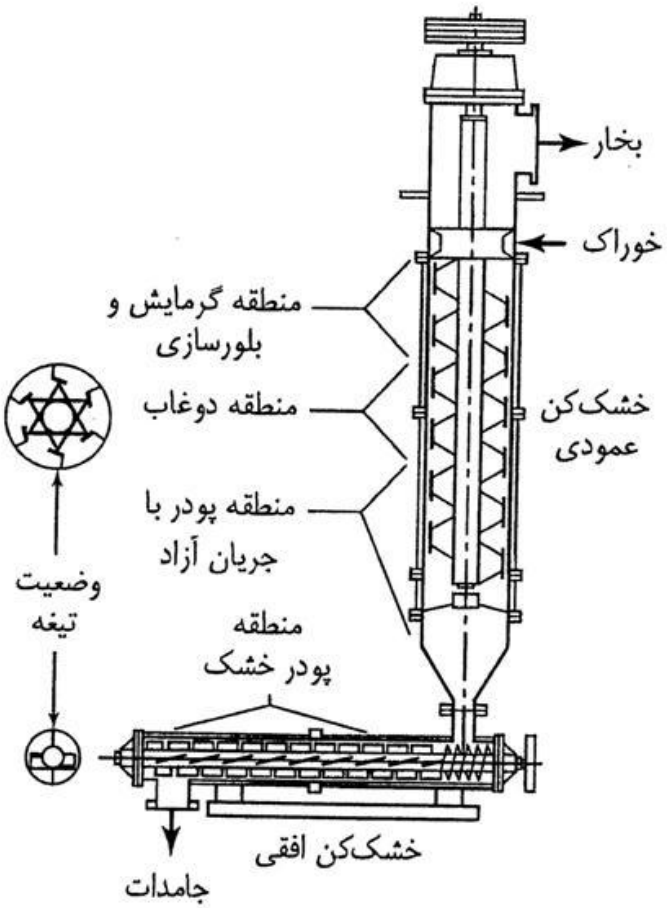
با چرخش غلتک ها، اساساً تمام مایع از جامد تبخیر می شود ولایه نازکی از ماده خشک برجای می ماند وتوسط چاقوهایی به درون نقاله زیرین ریخته می شود. رطوبت تبخیر شده جمع آوری و از طریق کلاهک بخار بالای غلتک ها خارج می شود.

خشک کن های دو غلتکی با محلول های رقیق، محلول های غلیظ متشکل از مواد بسیار انحلال پذیر، و دوغاب های نسبتاً سنگین به خوبی کار می کنند، اما برای محلول های نمکی با انحلال پذیری کم یا برای دوغاب جامدات خورنده ای که ته نشین می شوند و فشار زیادی را بین غلتک ها ایجاد می کنند مناسب نیستند.

٤-٢-٢- خشک کن فیلم ثابت (Dry film fixed)

در بعضی از موارد، خشک کن های فیلم نازک با خشک کن های افشانه ای قابل رقابت اند. این خشک کن ها می تواند با خوراک مایع یا دوغابی کار کنند و محصول خشک و جامد با جریان آزاد را تولید کنند. آنها معمولاً دو بخشی اند؛ بخش اول یک تبخیر کن- خشک کن عمودی همزن دار است. در اینجا بیشتر از مایع از خوراک حذف می شود، و قسمتی از جامد خیس به داخل بخش دوم تخلیه می شود، و در آنجا مقدار مایع باقی مانده در ماده بخش اول تا مقدار مطلوب کاهش می یابد.

Datis Energy



شکل ۷- خشک کن فیلم نازک

بازده گرمایی خشک کن های فیلم نازک زیاد است، و اتلاف کمی برای جامدات وجود دارد، زیرا گاز کمی وارد دستگاه می شود یا اصلاً نیازی به گاز نیست. این خشک کن ها برای جداسازی و بازیابی حلال ها از محصولات جامد مفیدند. آنها نسبتاً گران اند و مساحت انتقال گرمای محدودی دارند. آهنگ خوراک برای خوراک های آبی و حلال در آنها معمولاً بین ۱۰۰ و $200kg/m^2h$ است.

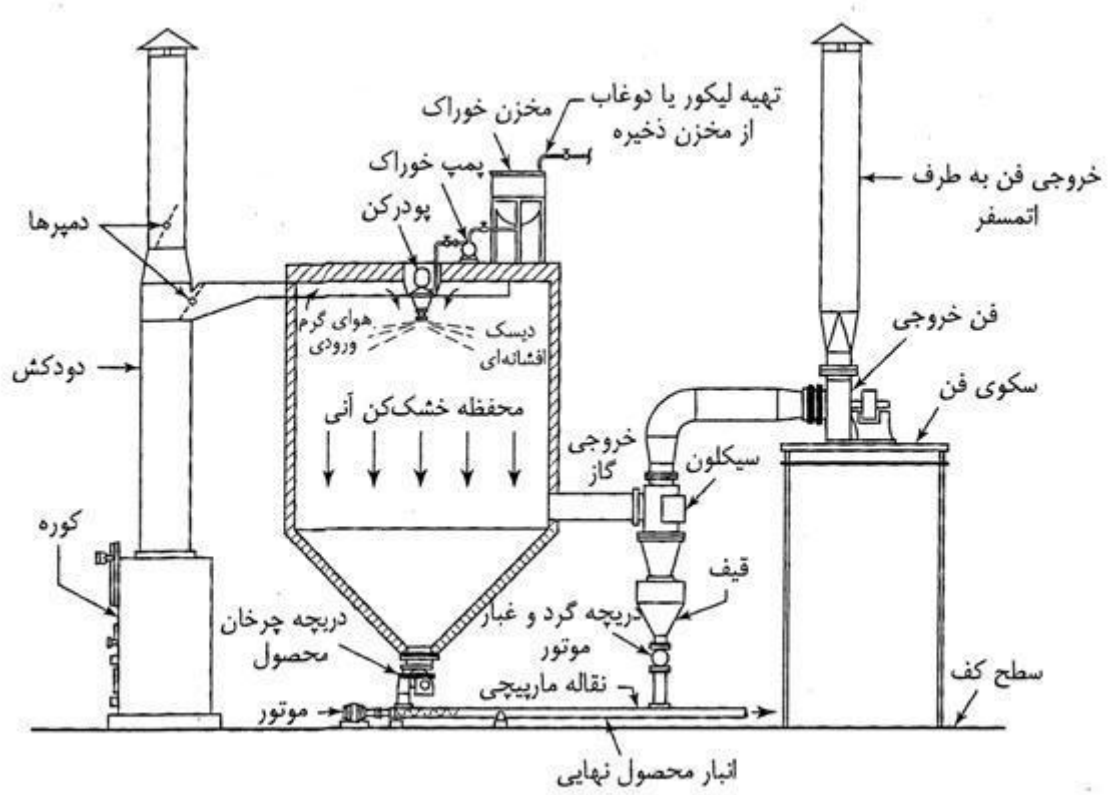
٤-۲-۳- خشک کن افشانه ای (spray dryer)

در خشک کن افشانه ای ، محلول دوغاب یا مایع به صورت قطره های ریز در جریان گـاز داغ پراکنـده مـی شود. رطوبت قطره ها سریعاً تبخیر و ذرات جامد خشک بر جای می مانند. سپس ایـن ذرات از جریـان گـاز جدا می شوند. در یک دستگاه، جریان مایع و گاز می توانند به طور همسو، ناهمسـو، یـا ترکیبـی از ایـن دو باشند.

قطره ها توسط نازل های فشاری، نازل های دوسیالی، یا، در خشک کن هـای بـزرگ، توسـط دیسـک هـای افشانه ای پر سرعت، در محفظه خشک کن استوانه ای تشکیل می شوند. در تمام موارد، بایداز برخورد قطره ها یا ذرات خیس جامد به سطوح جامد قبل از خشک شدن جلوگیری شود. لذا، محفظه هـای خشـک کـن لزوماً بزرگ اند و قطر آنها معمولاً ۲٫۵ تا ۹ متر است.

در خشک کن افشانه ای نشان داده شده در شکل ۸، محفظه به صورت استوانه ای است که پایین آن کمـی مخروطی است. خوراک مایع به پودرکن افشانه ای دیسکی که در سقف محفظه قرار دارد پمپ می شـود. در این خشک کن، دیسک افشانه ای تقریباً به قطر ۳۰۰ mm است و با ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ rpm می چرخـد، و مایع را به صورت قطره های ریز در می آورد. این قطره هـا در جریـانی از گـاز داغ، کـه از نزدیکـی بـالای محفظه وارد می شود، به طور شعاعی پراکنده می شوند .گاز خنک شده توسط فن خروجـی از خـط تخلیـه افقی که در بغل محفظه در پایین بخش استوانه ای قرار دارد کشیده می شود. گاز از یک جدا کن سیکلونی، که در آن ذرات جامد همراه برده شده حذف می شوند، عبور می کنـد. اغلـب ذرات جامـد خشـک در کـف محفظه خشک کن ته نشین می شوند، و از آنجا توسط یک شیر چرخان و نقاله پیچی خارج و با ذرات جامد جمع شده در سیکلون مخلوط می شوند.

Datis Energy



شکل ۸ – خشک کن افشانه ای با جریان همسو

خشک کن های افشانه ای، به عنوان یک دستگاه صرفاً خشک کن، بازده بالایی ندارند. بیشتر گرما معمولاً در گازهای خروجی هدر می رود .آنها حجیم و بسیار بزرگ اند، اغلب به ارتفاع ۲۵ m یا بیشتر ، و همیشه به سادگی کار نمی کنند. چگالی کپه ای جامدات خشک را (خاصیتی که در محصولات بسته بندی شده اهمیت خاصی دارد) اغلب به زحمت می توان ثابت نگه داشت، زیرا چگالی نسبت به تغییرات مقدار جامد موجود در خوراک، دمای گاز ورودی، و سایر متغیرها خیلی حساس است.

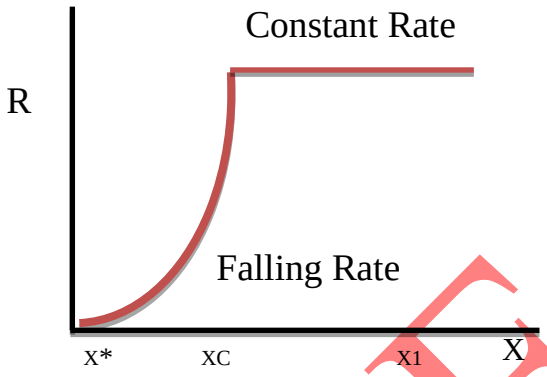
در خشک کردن افشانه ای محلول ها، تبخیر حاصل از سطح قطره ها باعث می شود قبل از این که داخل قطره به حالت اشباع برسد حل شده در سطح رسوب کند. آهنگ پخش حل شده به داخل قطره آهسته تر از جریان آب لز داخل قطره به طرف سطح است، و تمام حل شده در سطح جمع می شود. ذرات خشک نهایی اغلب توخالی اند، و فرآورده حاصل از خشک کن افشانه ای کاملاً متخلخل است.

۵- منحنی خشک کردن

به طور کلی خشک کردن شامل دو مرحله است:

۱- خشک کردن با سرعت ثابت

۲- خشک کردن با سرعت نزولی



تا زمانی که رطوبت در سطح جسم جامد وجود دارد سرعت ثابت است و خشک کردن طبق مکانیزم اول است اما زمانی که لکه های خشک دیده می شود و رطوبت سطحی از بین می رود سرعت خشک کردن ثابت نمی ماند و مطابق مکانیزم دوم خواهد شد.

٦- رطوبت و اقسام آن

در پدیده های خشک کردن با مفهومی به نام رطوبت سرو کار داریم دو مبنای کلی برای تعریف رطوبت وجوددارد:

- مبنای مرطوب (Wet basis) : که عبارت است از کیلوگرم آب به کیلوگرم جامد مرطوب

$$x = \frac{kg\ of}{kg\ of\ w}$$

Datis Energy

- مبنای خشک (Dry basis) : که عبارت است از کیلوگرم آب به کیلوگرم جامد خشک

$$x = \frac{kg\ of}{kg\ of\ d}$$

در محاسبات خشک کردن از مبنای دوم استفاده می شود.

انواع رطوبت که در پدیده های رطوبت مطرح می شوند عبارتند از :

۱) رطوبت ابتدایی(X_1) : رطوبت اولیه خوراک

۲) رطوبت نهایی(X_2) : رطوبت موجود در محصول

۳) رطوبت بحرانی (X_C) : آن رطوبتی که در آن مکانیزم خشک کردن از سرعت ثابت به حالت نزولی تغییر می کند را رطوبت بحرانی می نامند.

٤) رطوبت تعادلی (X^*) : پایین ترین رطوبتی است که با خشک کردن می توان به آن رسید و الزاما برابر صفر نیست چرا که در بعضی از مواد اگر بخواهیم از این میزان هم پایین برویم ماده جامد تجزیه می شود رطوبت نهایی بیش از رطوبت تعادلی است .

٥) رطوبت غیر پیوندی(X_1-X_C) Unbond Moisture: رطوبت های سطحی را گویند و عبارت است از تفاوت رطوبت اولیه و رطوبت بحرانی

٦) رطوبت پیوندی (X_C-X^*)Bond Moisture: رطوبتهای درونی که به جسم چسبیده است و عبارت است از تفاوت رطوبت بحرانی و رطوبت تعادلی

۷) رطوبت آزاد (X_1-X^*) :میزان رطوبتی که میتوان از جسم گرفت و عبارتست از تفاوت رطوبت اولیه و تعادلی

Datis Energy

۷- محاسبات خشک کن ها

سرعت خشک کردن(R) به صورت زیر تعریف می شود

$$R = -\frac{1}{A}\frac{dm}{dt}$$

m_t : جرم جامد مرطوب

A:سطح در معرض خشک شدن

L_S :جرم جامد خشک که در حین خشک شدن مقدار ثابتی است

$$x = \frac{m_t - L_S}{L_S}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{L_S}\frac{dm_t}{dt} \qquad (2)$$

از معادله ۱ و ۲ خواهیم داشت

$$R = -\frac{L_S}{A}\frac{dx}{dt} \qquad (3)$$

از معادله ۳ زمان خشک شدن به صورت زیر محاسبه می شود

$$t = -\frac{L_S}{A}\int_{x_1}^{x_2}$$

ارتباط N با x مطابق منحنی خشک شدن می باشد که دارای سه حالت به فرم زیر است:

۱- برای مرحله سرعت ثابت خشک شدن:

Datis Energy

$$t = \frac{L_S}{AR_C}(X_1$$

۲- برای مرحله سرعت نزولی با معادله خطی :

$$R = ax + b$$

۳- در سیستم هایی که Falling rate به صورت منحنی است:

مکانیزم نفوذ کننده عمل خشک شدن است و برای این سیستم ها قانون دوم فیک صادق است

$$\frac{\partial x}{\partial t} = D\frac{\partial^2 x}{\partial z^2}$$

و زمان خشک شدن عبارت است از:

$$t = \frac{4S^2}{\pi^2 D}Ln$$

۸- قطعات مورد استفاده در دستگاه

- ✓ فن جهت تأمین هوای ورودی
- ✓ سه عدد هیتر جهت گرمایش هوای ورودی
- ✓ محفظه مستطیلی فلزی با ابعاد ($30*30*140\ (cm^3)$)
- ✓ ٤ عدد سینی خشک کن
- ✓ ترمومتر جهت نمایش دمای هوای خروجی از هیتر
- ✓ ورودی به محفظه خشک کن
- ✓ دمای هوای خروجی از سینیهای خشک کن
- ✓ رطوبت سنج هوا قبل از ورودی به سینی ها

Datis Energy

۹- شرح دستگاه

هوا یا گاز از طریق یک منبع گرم کننده هیتر گرم شده واز مجاورت جامدی که قرار است خشک شود عبور می کند . مواد جامد که مرطوب هستند بر روی سینی ها قرار گرفتند. در اثر تماس بین هوا یا گاز گرم رطوبت موجود در جسم به فاز گاز منتقل می شود.

۱۰- روش انجام آزمایش

ابتدا سینی های خالی و نیز سینی های حاوی گندم خشک را به طور جداگانه وزن نموده تا محتوی جامد خشک اولیه را که میزانی همواره ثابت دارد ، به دست آوریم . سپس با افزودن آب به چهار ظرف حاوی گندم خشک آنها مرطوب می سازیم . توجه شود که مرطوب سازی باید به صورت یکنواخت در تمام سطح هر سینی صورت گیرد . سپس سینی ها را در جایگاه خود در درون دستگاه قرار داده ، وزن نمایش داده شده توسط ترازو را به عنوان وزن اولیه ($t = 0$) یادداشت کرده و دستگاه را با توان حرارتی خاصی روشن می کنیم.دبی هوا نیز بر روی مقدار کم (۳۳۰۰ CFM) تنظیم می‌شود.اندازه گیری و تنظیم دبی هوا توسط آنومتر و با قرار دادن آن در قسمت خروجی هوا صورت می‌گیرد.

همزمان با روشن کردن دستگاه زمان سنج نیز آغاز به کار می کند . حال در فواصل زمانی ۵ دقیقه به ۵ دقیقه ، سینی ها را از دستگاه خارج کرده و وزن می‌کنیم. این کار را برای ۴ الی ۱۰ دوره زمانی (۲۰ الی ۵۰ دقیقه) بدون دست زدن به توان حرارتی دستگاه و نیز سرعت عبور هوا در داخل تونل انجام می دهیم. در هر مرحله میزان رطوبت در محتوای آزمایش را به کمک رابطه $X = \frac{m_{water}}{m_{Dry\ Solid}}$ به دست آورده و یادداشت می کنیم . سپس به کمک جدول میزان رطوبت بر حسب زمان را رسم می کنیم .

حال برای دبی های مختلف هوای ورودی آزمایش فوق را تکرار می کنیم.

Datis Energy

جدول ۱- آزمایش خشک کن سینی دار

دبی	زمان min	T_{in}	T_{out}	H_{air}	M_{WT1}	M_{WT2}	M_{WT3}	M_{WT4}	X_{T1}	X_{T2}	X_{T3}	X_{T4}
کم	t = 0											
	t = 5											
	t = 10											
	t = 15											
	t = 20											
متوسط	t = 0											
	t = 5											
	t = 10											
	t = 15											
	t = 20											
زیاد	t = 0											
	t = 5											
	t = 10											
	t = 15											
	t = 20											

برای بدست آوردن سرعت خشک کردن جسم جامد جدول زیر را کامل کنید؛ برای این کار مقدار متوسط رطوبت سینی ها و همچنین مقدار متوسط نرخ خشک شدن سینی ها را در نظر می‌گیریم.با توجه به این توضیحات جدول زیر را تکمیل کرده ونمودار را رسم می‌کنیم.

Datis Energy

جدول ۲- آزمایش خشک کن سینی دار

دبی CFM	سرعت m/s	زمان min	Drying Rate ($g/m^2.s$) Tray 1	Drying Rate ($g/m^2.s$) Tray 2	Drying Rate ($g/m^2.s$) Tray 3	Drying Rate ($g/m^2.s$) Tray 4	Drying Rate ($g/m^2.s$) Average	Moisture Average
دبی کم		t = 0	–	–	–	–	–	
		t = 5						
		t = 10						
		t = 15						
		t = 20						
دبی متوسط		t = 0	-	-	-	-	-	
		t = 5						
		t = 10						
		t = 15						
		t = 20						
دبی زیاد		t = 0	-	-	-	-	-	
		t = 5						
		t = 10						
		t = 15						
		t = 20						

Datis Energy

۱۱- نتایج وخواسته ها

۱-رطوبت ابتدایی جسم جامد را بر مبنای خشک بدست آورید.

۲-رطوبت نهایی جسم جامد را بر مبنای مرطوب بدست آورید.

۳- نمودارهای میزان رطوبت بر حسب زمان و سرعت خشک شدن بر حسب میزان رطوبت را رسم کنید

٤- منحنی توزیع دما را برای هوای دبی های مختلف رسم کنید.

٥- تاثیر سرعت هوا روی سرعت خشک کردن جامد مرطوب را بررسی کنید.

٦-در عملیات خشک کردن اجسام جامد متخلخل آیا ضخامت در زمان خشک کردن آن تأثیر دارد؟ چگونه؟

۱۲- منابع خطا

- یکی از منابع خطا در بدست آوردن جرم جامد خروجی می باشد .چون معمولا مقداری جامد به دیواره ظرف محطول می چسبد و هم چنین مقداری در ورودی به دستگاه در مبدا ورودی به جای می ماند . که در محاسبات جرم خروجی جامد ، محاسبات دچار اشکال می گردد.البته می توان ظرف محصولات به گونه ای باشد که قابلیت جابجایی داشته باشد تا با وزن کردن مقدار خالی آن به وزن مطلوب دست یابیم.
- از دیگر منابع خطا می توان به اندازه گیری غیر دقیق دما در کار اشاره کرد .
- اشتباهات و خطاهای فردی در آزمایش از جمله اشتباه خواندن وزن ها یا آبگیری از محلول مرطوب،تغییر در دمای هوای ورودی به دمنده به دلیل تغییر دمای هوای آزمایشگاه توسط درب ها و هواکش ها که باعث عدم یکنواخت شدن دمای هوای ورودی به دستگاه می شود .

Datis Energy

- باز و بسته کردن درب دستگاه جهت توزین سینی ها از عوامل مهم وتاثیر گذار بر روی راندمان دستگاه و کارکرد آن است.به علت باز گذاشتن در مخزن خشک کن در حین توزین سینی ها رطوبت و دمای داخل مخزن دچار تغییر می‌شود(رطوبت زیاد و دما کم).

باید توجه داشت که در مورد استفاده از نوع خشک کن ها به مورد استفاده از آنها توجه گردد،یعنی اگر با جامدات خمیری کار می کنیم سعی شود از جامد سینی دار استفاده شود و هم چنین اگر با یک دوغاب کار می کنیم از یک خشک کن پاششی استفاده شود.

خشک کن ها بر اساس چگونگی رساندن حرارت به جسم جامد در دو نوع دسته بندی می شوند .خشک کن های مستقیم و غیر مستقیم .در نوع مستقیم جامد مرطوب در تماس با هوای داغ قرار می گیرد .ازاین خشک کن ها می توان به خشک کن سینی دار که برای جامدات خمیری استفاده می شود نام برد.در نوع غیر مستقیم گرما از محیطی خارجی مثل بخار آب در حال میعان از طریق یک سطح رابط فلزی به جامد انتقال می یابد.

Datis Energy