دانشکده مهندسی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی
گرایش صنایع غذایی

عنوان:

مدلسازی دینامیکی تبخیرکننده فیلم ریزان

استاد راهنما :
آقای دکتر محمدعلی فنایی

استاد مشاور :
آقای مهندس هادی زهره ای

نگارش :
فاطمه مدحت بجنورد

بهار۸۸

به نام خداوند بخشنده و مهربان

تقدیم به

همسرم به پاس محبت فراوان

و

پدر و مادرم به پاس زحمات فراوان

سپاسگزاری

پژوهشی که پیش رو دارید به عنوان پایان نامه دوره کارشناسی ارشد اینجانب در رشته مهندسی شیمی گرایش صنایع غذایی ارائه شده است. در اینجا لازم می دانم از زحمات بی دریغ و راهنمایی های استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد علی فنایی شیخ الاسلامی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از استاد مشاور این پروژه جناب آقای مهندس هادی زهره ای به دلیل راهنمایی های ارزنده ایشان سپاسگزاری و تشکر می نمایم.

فاطمه مدحت بجنورد

بهار ۸۸

چکیده

در این تحقیق دو مدلسازی دینامیکی لامپ و توزیع شده در مکان برای یک واحد صنعتی تبخیر کننده فیلم ریزان انجام شده است. این واحد برای تغلیظ شیر استفاده می شود و شامل چهار تبخیر کننده فیلم ریزان است که به صورت متوالی قرار گرفته اند و جهت جریان در آنها به صورت خوراک پیشرو است. معادلات موازنه جرم و انرژی برای فیلم ریزان داخل تبخیر کننده ها به دو صورت لامپ و پارامترهای توزیع شده در مکان برقرار شده است. برای بررسی تغییرات فشار در تبخیر کننده ها موازنه جرم بر روی فاز بخار انجام شده تا دینامیک فشار هر تبخیر کننده و در نتیجه دمای آن معین گردد. اثرات سایر قسمت های واحد توسط معادلات مربوط در مدلسازی اعمال گشته است.

توسط دو مدلسازی فوق، پاسخ های دینامیکی فرایند به تغییر در ورودی ها ی مختلف بررسی شده است. همچنین عملکرد دو مدل در پیش بینی رفتار دینامیکی فرایند در مقایسه با داده های صنعتی ارائه شده است.

هر دو مدل از نظر کیفی پاسخ های قابل توجیهی به تغییرات ورودی ها نشان می دهند. در مدلسازی توزیع شده در مکان با توجه به نوع معادلات، می توان تغییرات متغیرهای محاسبه شده را در بعد مکان مشاهده و ارزیابی نمود. این خاصیت می تواند برای بررسی پدیده های رخ داده در طول لوله های تبخیر کننده مفید واقع شود. در مقایسه با داده های واحد صنعتی نیز رفتار دینامیکی دو مدل از نظر کیفی با فرایند واقعی مطابقت دارد، اما همانطور که انتظار می رود مدلسازی توزیع شده در پیش بینی برخی پارامترها پاسخ ها ی بهتری ارائه می دهد. در بررسی رفتار دینامیکی واحد صنعتی با شبیه سازی های انجام شده ۶ متغیر از واحد قابل اندازه گیری با زمان هستند. این متغیرها شامل دمای سمت بخار هر چهار مرحله، شدت جریان جرمی شیر تغلیظ یافته خروجی و دانسیته شیر تغلیظ یافته خروجی می باشند. برای مقایسه دینامیک این متغیرها و نتایج حاصل از مدلسازی و با توجه به محدودیت های واحد

صنعتی، دو تغییر پله ای در میزان دبی ورودی و فشار بخار ورودی به واحد اعمال شده است. مدلسازی توزیع شده در مکان در پیشبینی رفتار دینامیکی دمای سمت بخار هر مرحله در مقایسه با مدلسازی لامپ نتایج بهتری ارائه می کند اما برای متغیرهای دبی شیر خروجی و دانسیته شیر خروجی دو مدل رفتار دینامیکی تقریبا یکسانی ارائه می کنند.

پیچیده بودن مدل توزیع شده در مکان و زمان بر بودن حل معادلات آن باعث می شود تا زمان شبیه سازی برای مدل توزیع شده در مکان بیشتر از دو برابر زمان لازم برای مدل لامپ با یک سیستم پردازنده شود و بنابراین مدل لامپ در مقایسه زمان شبیه سازی دو مدل برتری خود را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: تبخیرکننده فیلم ریزان، مدلسازی دینامیکی، شبیه سازی، مدل لامپ، مدل توزیع شده

فهرست مطالب

فصل اول- بررسی تبخیرکننده ها و مدلسازی و شبیه سازی آنها

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- واحدهای تبخیر در صنعت ۳
۱-۳-کاربرد واحدهای تبخیر در صنایع غذایی ۴
۱-۴- انواع تبخیرکننده ها ۵
۱-۴-۱- تبخیر کننده های معمولی ۵
۱-۴-۲- تبخیر کننده های خاص ۱۰
۱-۵- مدلسازی و شبیه سازی فرآیند و اهداف آن ۱۴
۱-۶- مراحل مدلسازی و شبیه سازی تحلیلی سیستم ۱۶
۱-۷- پیشینه مدلسازی و شبیه سازی دینامیکی تبخیر کننده ها ۱۶
۱-۸- مقایسه مدلهای تحلیلی و تجربی در بررسی نتایج یک تحقیق ۱۸
۱-۹- مدل پارامترهای توزیع شده برای تبخیر کننده های فیلم ریزان ۲۰
۱-۱۰- مدلسازی و شبیه سازی دینامیکی فرآیند تبخیر درصنایع غذایی ۲۳
۱-۱۰-۱- شبیه سازی واحد تغلیظ شیره نیشکر ۲۴
۱-۱۰-۲- مدلسازی وشبیه سازی واحد تبخیر کننده چند مرحله ای برای تغلیظ آب گوجه فرنگی ۲۷

فصل دوم- مدلسازی و شبیه سازی واحد تبخیر

۲-۱- واحد تبخیر کارخانه پودر شیر مشهد ۳۰
۲-۲- مدلسازی دینامیکی لامپ ۳۲
۲-۲-۱- موازنه انرژی فیلم ریزان ۳۳
۲-۲-۲- موازنه جرم کلی فیلم ریزان ۳۴
۲-۲-۳- موازنه جرم جزئی فیلم ریزان ۳۵
۲-۲-۴- موازنه انرژی فیلم کندانس ۳۵
۲-۲-۵- موازنه جرم کلی فیلم کندانس ۳۶
۲-۲-۶- موازنه انرژی روی دیواره لوله ۳۶
۲-۳- مدلسازی دینامیکی پارامترهای توزیع شده در مکان ۳۸
۲-۳-۱- موازنه انرژی المان دیفرانسیلی فیلم ریزان ۳۸

۲-۳-۲- موازنه جرم کلی المان دیفرانسیلی فیلم ریزان ۳۹
۲-۳-۳- موازنه جرم جزئی المان دیفرانسیلی فیلم ریزان ۳۹
۲-۳-۴- موازنه انرژی المان دیفرانسیلی فیلم کندانس ۴۰
۲-۳-۵- موازنه جرم کلی المان دیفرانسیلی فیلم کندانس ۴۱
۲-۳-۶- موازنه انرژی روی المان در نظر گرفته شده از لوله ۴۲
۲-۴- روابط سایر فرایندها و تجهیزات واحد تبخیر ۴۳
۲-۴- ۱- مدل دینامیک فشار ۴۳
۲-۴-۲- معادله شیر کنترل ورودی ۴۴
۲-۴-۳- معادلات مدلسازی ترموکمپرسور ۴۵
۲-۴-۴- مدلسازی فرایند تبخیر ناگهانی ۴۷
۲-۵- خواص و پارامترهای مورد نیاز شبیه سازی واحد تبخیر ۴۸
۲-۵-۱-معادله آنتوان ۴۸
۲-۵-۲-آنتالپی بخار اشباع ۴۹
۲-۵-۳-افزایش نقطه جوش شیر ۴۹
۲-۵-۴-ظرفیت حرارتی و ضریب هدایت حرارتی شیر ۴۹
۲-۵-۵- دانسیته شیر ۴۹
۲-۵-۶-ویسکوزیته شیر ۵۰
۲-۵-۷-کشش سطحی شیر ۵۱
۲-۵-۸- خواص آب مایع اشباع ۵۱
۲-۵-۹-پارامترهای جریان سیال ۵۱
۲-۵-۱۰- ضرایب انتقال حرارت ۵۳
۲-۶- روش حل معادلات مدلسازی ۵۵
۲-۶-۱- مدلسازی لامپ ۵۵
۲-۶-۲- مدلسازی پارامترهای توزیع شده ۵۵
۲-۷- پاسخ های دینامیکی مدلسازی لامپ ۵۷
۲-۸- پاسخ های دینامیکی مدلسازی پارامترهای توزیع شده ۶۱
نتیجه گیری ۶۶

فصل سوم- مقایسه نتایج مدلسازی با داده های واحد صنعتی

۳-۱- ارزیابی مدل های لامپ و پارامترهای توزیع شده در پیش بینی رفتار سیستم تبخیرکننده ی چند مرحله ای ۶۸

۳-۱-۱- شرایط سیستم صنعتی ۶۸

۳-۱-۲- مقایسه رفتار سیستم تبخیرکننده چند مرحله ای و نتایج حاصل از شبیه سازی ۷۳

۳-۲- مقایسه زمان انجام شبیه سازی در دو مدل ۷۸

نتایج و پیشنهادات ۷۹

فهرست منابع ۸۱

پیوست ها

برنامه محاسبه خواص آب ۸۵

برنامه محاسبه کشش سطحی شیر ۸۶

برنامه حالت پایای مدلسازی لامپ ۸۷

برنامه معاد لات شبیه سازی لامپ ۱۰۴

برنامه حل معاد لات و رسم شکل شبیه سازی لامپ ۱۲۳

برنامه حالت پایای شبیه سازی پارامترهای توزیع شده ۱۲۶

برنامه معادلات شبیه سازی پارامترهای توزیع شده ۱۴۰

برنامه حل معادلات و رسم شکل شبیه سازی پارامترهای توزیع شده ۱۶۴

فلوچارت برنامه مدلسازی توزیع شده ۱۶۹

فلوچارت برنامه مدلسازی لامپ ۱۷۲

علائم

A_i : سطح داخلی لوله (m^2)

BPE : افزایش نقطه جوش $(\circ c)$

C_{Pm} : ظرفیت حرارتی شیر $(J/g.K)$

c_{pl} : ظرفیت حرارتی مایع در رابطه ضریب انتقال حرارت $(J/kg.\circ c)$

c_i : جزء جرمی جامد شیر ورودی (kg/kg)

c_o : جزء جرمی جامد شیر خروجی (kg/kg)

c_{av} : جزء جرمی متوسط جامد موجود در شیر در طول لوله (kg/kg)

C_V : ضریب شیر

d_i : قطر داخلی لوله (m)

d_o : قطر خارجی لوله (m)

d_l : میانگین لگاریتمی قطر داخلی و خارجی (m)

E_L : انرژی کل فیلم ریزان مایع در طول لوله (J)

E_{CL} : انرژی کلی فیلم کندانس خارج لوله (J)

E : انرژی درونی المان فیلم ریزان (J)

E_C : انرژی المان فیلم کندانس (J)

fs : جزء جرمی چربی در شیر (kg/kg)

nfs : جزء جرمی جامد غیر چرب در شیر (kg/kg)

f_{if} : دبی شیر ورودی به قسمت توزیع کننده تبخیر کننده (kg/s)

f_{of} : دبی شیر خرجی از توزیع کننده مایع (kg/s)

G_{Li} : شدت جریان جرمی ورودی به لوله (kg/s)

G_{Lo} : شدت جریان جرمی خروجی از لوله (kg/s)

G_{av} :شدت جریان جرمی متوسط (kg/s)

G_{CLi} : شدت جریان جرمی کندانس ورودی (kg/s)

G_{CLo} : شدت جریان جرمی کندانس خروجی (kg/s)

G : شدت جریان جرمی درون المان (kg/s)

G_C : شدت جریان کندانس (kg/s)

G_{cav} : شدت جریان جرمی متوسط فیلم کندانس در طول لوله (kg/s)

g : شتاب جاذبه ۸۱/۹ (m/s^2)

H_{if}: آنتالپی شیر ورودی به توزیع کننده (J)

H_{of} : آنتالپی شیر خروجی ازتوزیع کننده (J)

H_W : آنتالپی بخار (J)

h_{in} : ضریب انتقال حرارت در فیلم ریزان درون لوله $(\frac{W}{m^2.\circ c})$

h_c : ضریب انتقال حرارت کندانس خارج از لوله $(\frac{W}{m^2.\circ c})$

h^+ :ضریب انتقال حرارت بدون بعد

Ka : عدد بدون بعد کاپیزا $(\frac{\sigma}{\rho(\upsilon^4 g)^{1/3}})$

k_w : ضریب هدایت حرارتی دیواره $(W/m.\circ c)$

k_m :ضریب هدایت حرارتی شیر $(W/m.K)$

k_l :ضریب هدایت حرارتی مایع در رابطه ضریب انتقال حرارت $(W/m.\circ c)$

L : طول لوله (m)

L_V : گرمای نهان تبخیر آب (J/kg)

L_C : گرمای نهان کندانس شدن بخار (J/kg)

M_L :جرم مایع درون فیلم ریزان در طول لوله (kg)

M_{CL} : جرم کلی فیلم کندانس خارج لوله (kg)

M : جرم مایع در المان در نظر گرفته شده (kg)

M_C : جرم المان کندانس (kg)

M_g : جرم گاز (kg)

M_m : جرم مولکولی آب $(kg/Kmol)$

M_1 تا M_3 : عدد ماخ در قسمت های مختلف ترموکمپرسور

Nt : ضخامت بدون بعد فیلم مایع $(\frac{\delta}{(\upsilon^2/g)^{\frac{1}{3}}})$

Pr : عدد بدون بعد پرانتدل $(\frac{c_p\mu}{k})$

p : فشار (Pa)

p_t : فشار برحسب تور در رابطه آنتوان $(torr)$

p_{si} : فشار بخار ورودی به شیر کنترل (Pa)

p_{so} : فشار بخار خروجی از شیر کنترل (Pa)

Q_{Li} : نرخ گرمای ورودی به کل فیلم ریزان داخل لوله (J/S)

Q_{LW} : نرخ گرمایی که در کل فیلم ریزان داخل لوله صرف تبخیر شده است (J/S)

Q_{Lo} : نرخ گرمای خروجی از کل فیلم کندانس خارج لوله (J/S)

Q_w : نرخ گرمای انتقال یافته از دیواره لوله (J/S)

Q_t : نرخ گرمای کلی انتقال یافته در طول لوله (J/S)

Q : نرخ گرمایی که وارد المان فیلم ریزان شیر شده است (J/S)

Q_W : نرخ گرمایی که صرف تبخیر در المان شده است (J/S)

Q_C : نرخ گرمایی که از فیلم کندانس انتقال می یابد (J/S)

Re : عدد بدن بعد رینولدز $(\frac{4\Gamma}{\mu})$

r_o : شعاع داخلی لوله (m)

r_i :شعاع خارجی لوله (m)

T_C : دمای کندانس $(\circ c)$

T_f : دمای فیلم ریزان درون لوله $(\circ c)$

T_{wi} : دمای دیواره داخلی المان $(\circ c)$

T : دمای فیلم ریزان شیر در المان $(\circ c)$

T_{wo} : دمای دیواره خارجی لوله در المان $(\circ c)$

T_S : دمای بخار اشباع $(\circ c)$

Tc : دما بر حسب درجه سانتیگراد در روابط محاسبه خواص

Tk: دما بر حسب کلوین در روابط محاسبه خواص

t : زمان (s)

U_i :ضریب انتقال حرارت کلی برحسب سطح داخلی $(\frac{W}{m^2.\circ c})$

V_{ZC} : سرعت فیلم کندانس در المان $(\frac{m}{s})$

V_Z : سرعت فیلم مایع ریزان شیر در المان $(\frac{m}{s})$

V : حجم فضای بسته شامل لوله های تبخیرکننده و پوسته تبخیرکننده بعدی و لوله های اتصالی (m^3)

V_P : درصد باز بودن شیر

v_{zav} : سرعت متوسط مایع فیلم ریزان درون لوله $(\frac{m}{s})$

v_{zi} :سرعت مایع ورودی به لوله $(\frac{m}{s})$

v_{zo} : سرعت مایع خروجی از لوله $(\frac{m}{s})$

v_{zcav} :سرعت متوسط فیلم کندانس روی لوله $(\frac{m}{s})$

v_{zci} : سرعت فیلم کندانس در ابتدای لوله $(\frac{m}{s})$

v_{zco} : سرعت فیلم کندانس در انتهای لوله $(\frac{m}{s})$

W_L : نرخ آب تبخیر شده از کل فیلم درون لوله $(\frac{kg}{s})$

W_{CL} : نرخ کندانس تولیدی در طول لوله $(\frac{kg}{s})$

W : نرخ میزان بخار تولیدی در المان $(\frac{kg}{s})$

W_C : نرخ کندانس تولیدی در المان $(\frac{kg}{s})$

W_t : نرخ بخار تولیدی کل در لوله های تبخیرکننده $(\frac{kg}{s})$

W_{ct} : نرخ کندانس کل تولیدی در تبخیرکننده $(\frac{kg}{s})$

W_S : دبی جریان بخار زنده ورودی به ترموکمپرسور $(\frac{kg}{s})$

W_V : دبی بخار اشباع تبخیر کننده دوم که به ترمو کمپرسور وارد می شود $(\frac{kg}{s})$

W_F : نرخ بخار تولیدی از فرایند تبخیر ناگهانی $(\frac{kg}{s})$

w : جزء جرمی آب در شیر (kg/kg)

X_S : جزء جرمی جامد موجود در شیر (kg/kg)

x_w :ضخامت دیواره لوله (m)

x_{if} :جزء جرمی شیر ورودی به توزیع کننده (kg/kg)

x_{of} : جزء جرمی شیر خروجی از توزیع کننده (kg/kg)

Δz : طول المان در نظر گرفته شده (m)

α_1 تا α_5 : ضرایب برای متوسط گیری

τ_{cav} : زمان اقامت متوسط فیلم کندانس در طول لوله (s)

τ_{av} : زمان اقامت متوسط فیلم ریزان درون لوله (s)

τ :زمان اقامت فیلم مایع در المان (s)

τ_C : زمان اقامت فیلم کندانس در المان (s)

η_m و η_d و η_n : بازده قسمت های اختلاط و دیفیوزر و نازل در ترموکمپرسور

γ : نسبت ظرفیت های حرارتی بخار، ۳/۱ $(\frac{C_p}{C_v})$

μ_l :ویسکوزیته دینامیک در رابطه انتقال حرارت $(Pa.s)$

μ_m : ویسکوزیته دینامیک شیر (cp)

ρ_m :دانسیته شیر $(\frac{g}{cm^3})$

ρ_l : دانسیته مایع در روابط انتقال حرارت $(\frac{kg}{m^3})$

δ : ضخامت فیلم ریزان

δ^+ : ضخامت بدون بعد فیلم مایع $(\frac{\delta^{\frac{3}{2}} g^{\frac{1}{2}}}{\upsilon})$

ν : ویسکوزیته سینماتیک (m^2/s)

ν_R: ویسکوزیته مرجع $(0.6\times10^{-6}\, m^2/s)$

σ :کشش سطحی $(\frac{N}{m})$

Γ : شدت جریان جرمی بر واحد عرض $(kg/m.s)$

فصل اول

بررسی تبخیر کننده ها و مدلسازی و شبیه سازی آنها

۱-۱- مقدمه

فرایند تبخیر به عنوان عملیات جداسازی حرارتی برای تغلیظ یا جداسازی در محلولهای مایع و مخلوطها مورد استفاده قرار می گیرد. در بیشتر موارد صنعتی ماده ای که تبخیر می شود آب است و گرمای نهان تبخیر آن توسط میعان بخار تهیه و تأمین می گردد. این انرژی اغلب از طریق انتقال حرارت غیرمستقیم توسط یک سطح فلزی به مخلوط مایع مورد نظر انتقال می یابد[۱].

علاوه براین، هدف از تبخیر می تواند جداسازی اجزاء فرار و یا تقطیر باشد. اگرچه امروزه روش های دیگر تغلیظ، نظیر تغلیظ انجمادی[۱] و اسمز معکوس[۲] به کار گرفته می شوند، امّا تبخیر هنوز به دلیل فرایند عملیاتی ساده و دلایل اقتصادی معمولترین روش تغلیظ است[۲].

واحدهای تبخیر برای تغلیظ و جداسازی طیف وسیعی از مواد در صنایع شیمیایی و دارویی، صنایع غذایی و صنایع تولیدات مواد آلی و طبیعی استفاده می شوند. بنابراین درک فرایند انجام شده در انواع تبخیر کننده ها برای طراحی بهینه و کنترل فرایند و در نتیجه تولید محصول مطلوب تر در این صنایع ضروری است.

کنترل فرایند تبخیر در صنایع غذایی، به دلیل تاثیری که بر روی کیفیت محصول و مصرف انرژی دارد، بسیار مهم است و مدلهای تحلیلی ابزاری نیرومند برای توضیح رفتار سیستم و برقراری استراتژیهای کنترلی و مقایسه آنها هستند[۳].

در مجموع مدلسازی و شبیه سازی واحدهای تبخیر به منظور مطالعه اثر شرایط عملیاتی مختلف، بهینه سازی شرایط عملیاتی، بررسی تغییرات در طراحی و برقراری استراتژیهای کنترلی انجام می شود.

کاربرد مدلهای تحلیلی تاثیر زیادی بر روش مدلسازی و پیچیدگی مدل نهایی دارد. ممکن است برای یک هدف معین، مدلی که تمام پدیده های درون سیستم را در نظر بگیرد، لازم نباشد. مدلها برای

---

[۱]-Freezing concentration
[۲]- reverse osmosis

اهداف طراحی و تحلیل مکانیسم سیستم و یا برای توسعه سیستم های کنترلی پیچیده، نیازمند پارامترهای توزیع شده در مکان و معاد لات پاره ای است. اما ممکن است برای برقراری استراتژیهای کنترلی معمولی مدل لامپ کافی باشد و نیازی به پیچیدگی مدلهای توزیع شده در مکان وجود نداشته باشد[۴].

در این مطالعه، توانایی پیش بینی رفتار فرایند تبخیر، در یک واحد تبخیرکننده چند مرحله ای تغلیظ شیر، توسط دو مدل لامپ[۳] با معادلات دیفرانسیلی معمولی و پارامترهای توزیع شده[۴] در مکان با معادلات دیفرانسیلی پاره ای، بررسی شده است تا مقایسه ای بین این دو مدل، که از نظر پیچیدگی متفاوت هستند، انجام شود. تحقیق انجام شده، این امکان را فراهم می کند تا مزایا و معایب دو مدل و در کل خصوصیات آنها برای کاربردهای احتمالی بهتر درک شود.

۱-۲- واحدهای تبخیر در صنعت

یک واحد تبخیر کامل که در صنعت استفاده می شود، ساختار پیچیده ای دارد، زیرا اغلب به صورت چند مرحله ای بکار می رود. هر مرحله ممکن است چند گذر باشد یا سیستم های فشرده سازی دوباره بخار در آن تعبیه شده باشد. جهت جریان بخار و خوراک نیز ممکن است در واحدهای مختلف متفاوت باشد. بخش پیش گرمایش نیز در اغلب واحدهای صنعتی به چشم می خورد که از انرژی میعانات گرم برای پیش گرمایش خوراک سرد استفاده می کند. بنابراین پیچیدگی عملیاتی واحدهای تبخیر ناشی از ساختار واحد، ترتیب قرارگیری مراحل و تاثیر پذیری واحد از عملیات های متنوع جانبی آن است[۵].

در طراحی بهینه واحد تبخیر که شامل انتخاب نوع تبخیر کننده، ترتیب به کارگیری و نوع عملیات در آن می باشد، باید به نکات زیر توجه شود:

---

[۳] -Lumped model
[۴] -Distributed parameter model

- ظرفیت واحد و داده های عملیاتی
- خواص محصول
- تجهیزات جانبی مورد نیاز
- انتخاب مواد مناسب برای ساخت
- هزینه های سرمایه گذاری
- هزینه های عملیاتی
- شرایط محل واحد صنعتی
- سایر شرایط کاری مثل ایمنی، محیط زیست، آلودگی صوتی و ...

امروزه در صنایع غذایی، پرکاربردترین نوع تبخیر کننده، تبخیر کننده فیلم ریزان می باشد که به دلیل کیفیت محصول بهتر، بازده انرژی بالاتر، کنترل فرایند آسان و عملیات انعطاف پذیر بر سایر انواع دیگر ترجیح داده می شود[۱].

۱-۳-کاربرد واحدهای تبخیر در صنایع غذایی

از اهداف اصلی فرایند تبخیر در صنایع غذایی می توان کاهش حجم و وزن محصولات را نام برد که کاهش هزینه های انبار و بسته بندی و توزیع و حمل و نقل را درپی دارد و همچنین افزایش ماندگاری مواد غذایی که به دلیل کاهش فعالیت آب[۵] در ماده غذایی می باشد[۲].

واحدهای تبخیر در تولید انواع مواد لبنی، تغلیظ محلولهای پروتئینی، تغلیظ آب میوه ها و سبزیجات، تولید مواد نشاسته ای، صنایع تولید قند و شکر و عصاره های مواد مختلف کاربرد دارند.

---

[۵]- water activity

از نکاتی که معمولا در تبخیر مواد غذایی باید مورد توجه قرار گیرد، حفظ کیفیت محصولات است که عملاً با استفاده از تبخیر در فشار پایین تأمین می گردد.

۱-٤- انواع تبخیر کننده ها

امروزه در کاربردهای متنوع صنعتی، انواع گسترده ای از دستگاه های تبخیر کننده استفاده می شوند که به بررسی تجهیزات متداول آنها در این بخش می پردازیم.

۱-٤-۱- تبخیر کننده های معمولی

تبخیر کننده فیلم ریزان[٦]

ساختار : تبخیر کننده فیلم ریزان یک مبدل پوسته و لوله عمودی است که معمولا به یک جدا کننده بخار مایع که به صورت جانبی قرارگرفته، متصل می باشد.

عملیات: مایع خوراک از بالای لوله های مبدل وارد و در داخل لوله ها توزیع می شود و به سمت پایین به صورت یک فیلم نازک جریان می یابد. پس از عملیات تبخیر در داخل لوله ها، مایع باقی مانده و بخار در قسمت جدا کننده بخار مایع، از هم جدا می شوند. نکته مهم در این تبخیر کننده آن است که کل سطح انتقال حرارت به خصوص در قسمت های پایینی به صورت کافی با مایع خیس شود. در غیر این صورت مناطق خشکی تشکیل خواهد شد که منجر به تولید رسوب می شود.

بو جود آمدن فیلم کافی بر روی سطح را می توان با به بکاربردن لوله های طولانی و یا تقسیم تبخیرکننده به چند جزء یا برگشت دادن محصولات بدست آورد.

خصوصیات ویژه: به دلیل تبخیر آرام و ملایم و اغلب تحت خلاء و زمان اقامت کم در داخل تبخیر کننده، کیفیت محصول بدست آمده بالا است که این خاصیت در تبخیر مواد غذایی بسیار مهم است.

بازده انرژی این نوع تبخیر کننده، زیاد است، زیرا تبخیر کننده فیلم ریزان می تواند به صورت چند

---

[٦]- falling film evaporator

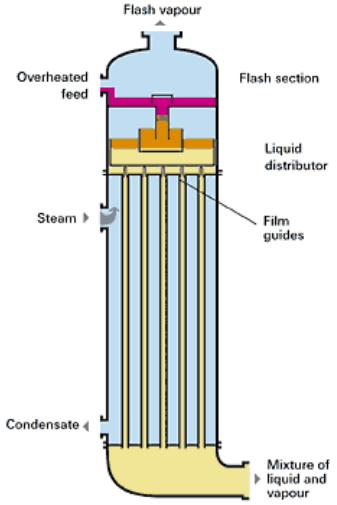
مرحله ای مورد استفاده قرار گیرد و یا سیستم فشرده سازی دوباره بخار درآن تعبیه شود.

کنترل پروسه این نوع تبخیر کننده ساده و آسان است. محتوای مایع درون تبخیر کننده فیلم ریزان کمتر از سایر انواع تبخیر کننده ها می باشد و باعث می شود سیستم به تغییرات در ورودی ها مثل تغییر در انرژی داده شده، میزان خلاء و کیفیت خوراک واکنش سریع تری نشان دهد. این واکنش سریع می تواند به کنترل بهتر و تولید محصول با کیفیت تر کمک کند.

عملیات انعطاف پذیر، سادگی تمیز کردن آن و تغییرات نه چندان پیچیده روی محصول از خصوصیات ویژه این نوع تبخیر کننده است.

زمینه های کاربرد: این نوع تبخیر کننده برای محصولات حساس به حرارت بسیار مناسب می باشد و همچنین برای مایعاتی مناسب است که محتوای جامد کمی دارند و تمایل به تشکیل رسوب آنها کم تا متوسط است.

شکل (۱-۱) نمای کلی یک تبخیر کننده فیلم ریزان را نشان می دهد.



شکل(۱-۱)تبخیر کننده فیلم ریزان

تبخیر کننده جریان اجباری[۷]

ساختار: تبخیر کننده جریان اجباری مبدل پوسته و لوله عمودی و یا افقی و یا مبدل صفحه ای، همراه با

[۷]- forced circulation evaporator