

## طراحی، ساخت و ارزیابی اتمایزر دوار سانتریفیوژ خشک کن پاششی (۴۵۳)

بهزاد بشیری<sup>۱</sup>، غلامرضا چگینی<sup>۲</sup>

### چکیده

خشک کردن پاششی مناسبترین روش برای رطوبت گیری از محصولات غذایی است که در ابتدا دارای رطوبت زیادی بوده و در فاز مایع می باشند. در این روش، مایع توسط وسیله مخصوصی به ذرات و قطرات ریز تبدیل شده و همزمان با هوای داغی که وارد محفظه خشک کن می شود برخورد می نماید. رطوبت ذرات و قطرات سریعاً در محفظه پراکنده و تبخیر شده و محصول خشک به صورت پودر یا به صورت دانه ای به دست می آید. در واقع خشک کردن پاششی یک روش بسیار پرکاربرد جهت خشک کردن محلول ها، محلول های آلی، امولسیون ها، سوسپانسیون ها، خمیرها و... در صنایع غذایی، کشاورزی، شیمیایی، داروسازی، سرامیک و دیگر صنایع می باشد. مسترز حدود چهارصد نوع ماده را که بدین وسیله خشک می شوند را نام برده است. این خشک کن ها متشکل از محفظه خشک کن، اتمایزر، هیتر و جداکننده می باشند. از اتمایزر اغلب به عنوان قلب خشک کردن پاششی یاد می شود. طراحی و ساخت اتمایزر در حال حاضر منحصر به تعداد معدودی شرکت بین المللی می باشد و هنوز در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر تلاش مستمری جهت دستیابی به تکنولوژی ساخت اتمایزر دوار خشک کن پاششی صورت نگرفته است. هدف از این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک نمونه اتمایزر دوار موسوم به اتمایزر دوار چرخ می باشد. این اتمایزر بنا به نوع خشک کنی که مورد نیاز است بین نوع آزمایشگاهی و نیمه صنعتی قرار دارد. ظرفیت نوع آزمایشگاهی تا ۲۵ کیلوگرم در ساعت می باشد و نوع صنعتی نیز تا چند تن بر ساعت ظرفیت دارند. اتمایزر ساخته شده دارای ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم بر ساعت می باشد. یکی از مشکلات بزرگ در ساخت خشک کن های صنعتی، تعمیم نوع آزمایشگاهی به آن می باشد که با نوع نیمه صنعتی این مشکل تا حدودی رفع می گردد. ارزیابی های انجام گرفته حاکی از تشابه رفتار و دقت کاری دستگاه با انواع مشابه خارجی می باشد.

**کلیدواژه:** اتمایزر دوار سانتریفیوژ، خشک کن پاششی، چرخ اتمایزر، توزیع کن مایع

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، پست الکترونیک: [bbashiri@ut.ac.ir](mailto:bbashiri@ut.ac.ir)

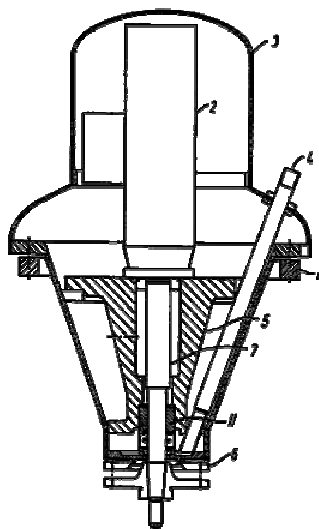
<sup>۲</sup> - استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

### مقدمه:

اتمايزرهای دوار چرخي در اکثر فرآيندهای صنعتی که نیاز به ذراتی با قطر متوسط کوچک دارند مورد استفاده قرار می گیرند. یک نمونه از کاربرد این اتمايزرها، اتمايزه کردن خوراک در خشک کن های پاششی می باشد. مرحله اتمايزه کردن مهمترين مرحله خشک کردن پاششی می باشد. زیرا نوع اتمايزه شدن خوراک و اندازه قطرات بوجود آمده تعیین کننده خواص محصول خشک شده، اندازه محفظه و بطور کلی طرح خشک کن می باشد. در واقع، اتمايزر قلب خشک کن پاششی می باشد [۱]. این اتمايزرها با استفاده از انرژی گریز از مرکز سطح ماده خشک شونده را افزایش می دهند. مایع روی یک سطح دوار تغذیه شده و در اثر دوران، مایع بصورت شعاعی به سمت بیرون پرتاب می شود [۱، ۲ و ۳]. از هم پاشیدگی فیلم مایع سبب شکل گیری جریانی از قطرات می شود. در مقایسه اتمايزرهای مختلف مشخص گردید که در کل اتمايزرهای دوار پاشش یکنواخت تری ایجاد نموده و توانایی تولید محدوده وسیعی از متوسط قطر قطرات را دارا می باشند. در این اتمايزرها می توان اندازه قطرات را به راحتی با تغییر سرعت چرخ کنترل نمود. از نظر کاری، اتمايزرهای دوار چرخي بسیار انعطاف پذیر بوده و توانایی اتمايزه کردن رنج وسیعی از مایعات با خواص فیزیکی متفاوت را دارا می باشند [۱].

### بررسی منابع

اتمايزرهای دوار چرخي از قسمت های مختلفی تشکیل شده اند (شکل ۱). مهمترين قسمت ها عبارتند از ۱- محرک ۲- توزیع کن مایع ۳- چرخ اتمايز کننده [۱ و ۴].

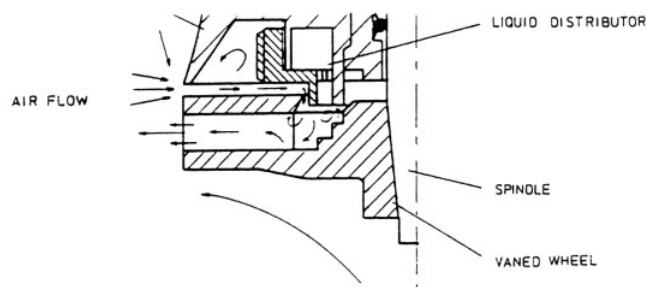


شکل ۱- شمای کلی اتمايزر دوار چرخي [۴]

میزان اتمايزه شدن دوار وابسته به سرعت محیطی، میزان تغذیه، خواص مایع و طرح اتمايزر می باشد. حداکثر انرژی سانتریفیوژی موقعی به مایع می رسد که مایع درست قبل از لحظه پرتاب به سرعت محیطی چرخ یا دیسک رسیده باشد. اگر یک دیسک مسطح را با سرعت بالایی بچرخانیم و مایع را روی سطح آن تغذیه نماییم، لغزش زیادی بین مایع و دیسک ایجاد خواهد شد و سرعت مایع در لبه دیسک بسیار کمتر از سرعت محیطی دیسک خواهد بود. در سرعت های پایین لغزشی رخ نمی دهد، ولی در این حالت انرژی سانتریفیوژی بوجود آمده کم بوده و در صورتی که بخواهیم اتمايزیشن موثری داشته باشیم باید میزان تغذیه را بسیار کم کنیم. به منظور جلوگیری از لغزش، در این حالت از پره های شعاعی استفاده می شود. مایع توسط سطح پره ها محصور شده و در محیط دیسک به حداکثر سرعت می رسند. این سرعت در نتیجه برآیند مولفه های شعاعی و مماسی سرعت مایع در لحظه خروج می باشد. همچنین در اثر افزایش اصطکاک بین مایع و سطح دوار، لغزش کاهش پیدا می کند. این حالت غالباً با تغذیه مایع روی پایین ترین سطح انجام می گیرد. همزمان با پرتاب شدن مایع به سمت بیرون در اثر نیروی گریز از مرکز (سانتریفیوژ)، فیلم مایع به

سطح دیسک فشرده می شود. از هر دو نوع (دیسک و چرخ پره دار) در دبی بالا استفاده می شود ولی از طرح پره ار (اتمیزرهای چرخی) بیشتر در مواردی استفاده می شود که پاشش ریزتری نیاز باشد. مکانیسم اتمیزه شدن در اتمیزرهای چرخی شبیه دیسکهای مسطح بدون پره می باشد. افرادی مثل مارشال<sup>۱</sup>، کورابایاشی<sup>۲</sup>، اشمیت<sup>۳</sup>، والزل<sup>۴</sup> و میسلاتی<sup>۵</sup> مکانیسم اتمیزیشن در چرخها را با جزئیات کامل تشریح نموده اند [۵]. در سرعتهای پایین و میزان تغذیه کم، نیروهای ویسکوز و کشش سطحی غالب شده و قطره مستقیماً شکل می گیرد. در محدوده سرعت متوسط، گسستگی در رشته های مایع توسط نیروی گریز از مرکز (سانتریفیوژ)، از لبه پره به سمت بیرون گسترش یافته و توسط نیروی گرانش هم کمی به طرف پایین منحرف می گردد. در شرایط صنعتی یعنی در حالتی که میزان خوراک دهی و سرعت محیطی چرخ زیاد می باشد، گسستگی مایع درست در لبه چرخ، تحت اثر اصطکاک بین هوا و مایع، همزمان با ظهور فیلم نازک مایع از پره، اتفاق می افتد. اگرچه در این مکانیسم پاششی از ذرات کوچک را می توان ایجاد نمود ولی تمایلی به ایجاد پاشش یکنواخت وجود ندارد. با افزایش ویسکوزیته و کشش سطحی مایع، یکنواختی پاشش افزایش می یابد اما متوسط قطر ذرات (قطرات) کمی افزایش پیدا می کند [۶].

یکی از اثرات مخرب دوران چرخ، خلاء ایست که در مرکز چرخ ایجاد می گردد (شکل ۱) [۱ و ۳]. خلاء ایجاد شده جریان هوایی ایجاد می نماید که بصورت شعاعی و از طریق فاصله خالی بین چرخ و بدنه اتمیزر وارد می شود تا به حفره مرکز چرخ رسیده و از آنجا جهتش عوض شده و بصورت جریانی شعاعی از درگاه ها خارج می گردد. این جریان هوا در خشک کن پاششی بصورت ورود هوای داغ به درون چرخ اتمیزر بوده و سبب خشک شدن جزئی خوراک درون چرخ می گردد. این امر سبب اختلال در کار خشک کن شده و همچنین هوادهی محصول، منجر به افزایش تخلخل محصول و کاهش چگالی حجمی آن می گردد. ذرات خشک شده ای که درون یا روی چرخ ته نشین گردیده اند، بیش از حد خشک شده و می توانند منبعی برای آلودگی محصول بوده و عامل بالقوه آتش و انفجار باشند [۷]. در نهایت جریان هوای پمپاژ شونده، که مومنتوم شعاعی بزرگی پیدا کرده، می تواند به مقدار قابل توجهی الگوی جریان خشک کن را در دستگاه های پایلوت (تا قطر ۲ متر) برهم زند [۸].



شکل ۲- مسیر جریان هوای ایجاد شده توسط خلاء درون چرخ

### الف) تعیین اندازه متوسط قطره:

برای پیش بینی قطر متوسط قطرات (متوسط قطر ساتر) پاشیده شده از پاشنده دوار از نوع چرخی، فریزر<sup>۶</sup> رابطه ۶ را بر اساس متوسط حجمی سطحی ارائه کرده است [۲]:

$$SMD = 0.483 \omega_{rps}^{-0.6} \rho_L^{-0.5} \left[ \frac{\dot{m}_L \alpha_L}{d} \right]^{0.2} \left[ \frac{\sigma}{nh} \right]^{0.1} \quad (۶)$$

مارشال و هرینگ<sup>۷</sup> رابطه زیر را بر اساس متوسط حجمی پیشنهاد کرده اند:

<sup>۱</sup> Marshal  
<sup>۲</sup> Kurabayashi  
<sup>۳</sup> Schmidt  
<sup>۴</sup> Walzel  
<sup>۵</sup> Misellati  
<sup>۶</sup> Frazer  
<sup>۷</sup> Herring



$$SMD = \frac{3.3 \cdot 10^{-9} \text{ Km}_L^{0.24}}{(\omega_{rps} d)^{0.83} (nh)^{0.12}} \quad (7)$$

که در این رابطه ثابت  $K$  برای محفظه های صنعتی با ظرفیت متوسط برابر با  $9/4 \times 10^5$  می باشد. رابطه ۷ برای مایعاتی با مشخصات نزدیک به آب و دبی جرمی پایین ( $0/1-25 \text{ Kg/hr}$ ) مناسب می باشد در حالیکه جهت پیش بینی قطر قطرات حاصل از مایعات ویسکوز یا شدت جرمی بالا ( $4-400 \text{ Kg/hr}$ ) رابطه ۱ مناسب تر است. فریدمن<sup>۱</sup> و همکاران رابطه زیر را ارائه نموده اند [۹]:

$$SMD = 0.44d \left[ \frac{\dot{m}_L}{\rho_L \omega_{rps} d^2} \right]^{0.6} \left[ \frac{\alpha_L}{\dot{m}_L} \right]^{0.2} \left[ \frac{\sigma \rho_L nh}{\dot{m}_L^2} \right]^{0.1} \quad (8)$$

اسکات<sup>۲</sup> و همکاران رابطه زیر را پیشنهاد کردند [۱۰]:

$$SMD = 5240 \left[ \frac{\dot{m}_L \alpha_L}{wn} \right]^{0.171} [\pi d \omega_{rps}]^{-0.539} \alpha_L^{-0.017} \quad (9)$$

و در نهایت اوایما و اندو<sup>۳</sup> رابطه زیر را برای مایعاتی با ویسکوزیته کمتر و دبی جرمی بالا بر اساس متوسط حجمی ارائه کرده اند [۱۱]:

$$DVS = \frac{1.87Q^{0.2}}{Nd^{0.3}} \quad (10)$$

### ج- تعیین دبی هوای پمپاژی

همانطور که ذکر شد یکی از اثرات منفی دوران با سرعت بسیار بالا، بوجود آمدن خلاء در مرکز چرخ می باشد. اختلاف فشار کل بین چرخ و محیط اتمایزر  $\Delta p_I$  که سبب مکیده شدن هوا به درون مرکز چرخ می شود را می توان با اندازه گیری فشار در مرکز چرخ  $p_w$  و فشار محفظه  $p_{ch}$  بدست آورد:

$$\Delta p_I = p_{ch} - p_w \quad (11)$$

$p_{ch}$  موقعی که چرخ ساکن و  $p_w$  در حالتیکه چرخ در حال دوران باشد اندازه گیری می شوند. تا انتها، فرآیند پمپاژ هوا بعنوان یک فرآیند تراکم آدیاباتیکی در نظر گرفته می شد، از اینرو دبی جریان هوای پمپ شده  $Q$  با استفاده از  $W_p$ ،  $p_{ch}$  و  $P_w$  تخمین زده می شود [۳].

$$W_p = Q_a p_1 \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{p_{ch}}{p_w} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right] \quad (12)$$

$$\gamma = C_p / C_v = 1.4$$

### مواد و روش ها

<sup>1</sup> Freidman

<sup>2</sup> Scot

Oyama & <sup>3</sup> Endou

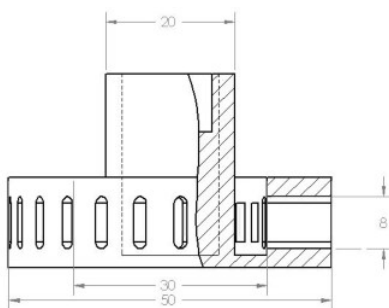
## الف- طراحی و ساخت دستگاه

برای دستیابی به یکنواختی بهینه اندازه ذرات در میزان تغذیه مشخص، ایجاد و حفظ شش شرط زیر ضروری می باشد [۱]:

- چرخش بدون ارتعاش چرخ
  - نیروی سانتریفیوژی بزرگ در مقایسه با نیروی گرانش (یعنی سرعت محیطی بالا)
  - سطح صاف پره
  - نرخ تغذیه یکنواخت
  - خیس شدن کامل سطح پره
  - توزیع یکنواخت مایع تغذیه شونده در چرخ پره دار
- در رابطه با مورد اول بالانس بودن چرخ و الکتروموتور ضروری است. برای دستیابی به نیروی گریز از مرکز بزرگ در اتمایزر آزمایشگاهی بدلیل اینکه نمی توان قطر چرخ را از حد خاصی بیشتر گرفت (محدودیت فضا)، نیاز به سرعت دورانی بسیار زیادی می باشد.

## الف-۱ - طراحی چرخ اتمایزر

ابعاد چرخ اتمایزر در واقع نقطه شروع طراحی کلی اتمایزر می باشد. این ابعاد براساس نوع مایع، قطر متوسط ساتر مورد انتظار جهت داشتن پودری با اندازه و شکل دلخواه، سرعت دورانی قابل حصول و شعاع پرتاب قطرات تعیین می گردد. در واقع اندازه این چرخ تعیین کننده شعاع محفظه خشک کن پاششی می باشد. چرخ اتمایزر پره دار به ظاهر دارای طرح ساده ای می باشد ولی در ساخت آن باید نهایت دقت صورت گیرد. چرخ اتمایزرهای دوار نیمه صنعتی معمولاً دارای قطری بین ۳ تا ۷ سانتیمتر می باشند. براساس اهداف این مقاله و با استفاده از رابطه ۱۰ بمنظور داشتن توزیع اندازه، سرعت و شعاع پرتاب قطره مورد نظر، قطر ۵ سانتیمتر و ارتفاع کاری پره ۰/۸ سانتیمتر انتخاب شد. جنس چرخ اتمایزر نیز یکی دیگر از فاکتورهای مهم در طراحی می باشد. بدلیل کار با مواد غذایی، موارد بهداشتی باید مد نظر قرار گیرد بنابراین بهتر است که از استیل استفاده شود [۱۳]. همچنین تا حد امکان چرخ باید سبک باشد تا توان مصرفی آن کمتر شود [۱۲]. در صورت استفاده از دیگر فلزات باید آن فلز توانایی تحمل تنشهای وارده را داشته باشد. در این تحقیق با بررسی های صورت گرفته، از آلومینیوم آلیاژی ۷۰۷۵ استفاده شد که بسیار خوش تراش بوده و استحکام مورد نظر را دارا می باشد. به منظور مقایسه با دو طرح چرخ دیگر مساحت کلی درگاه های خروجی چرخ  $380 \text{ mm}^2$  انتخاب گردید که با در نظر گرفتن ابعاد کلی دارای تعداد ۲۵ درگاه می باشد. در شکل ۳ ابعاد و طرح چرخ آورده شده است.



شکل ۳- ابعاد چرخ اتمایزر

### الف-۲- طراحی محرک:

بصورت تئوری توان مصرفی کل چرخ پره دار با رابطه ۱ بدست می آید [۵]:

$$P_K = 3.8 \cdot 10^{-10} M_L \cdot N^2 (2d^2 - d_d^2) \quad (13)$$

تغییرات توان با نرخ تغذیه و قطر چرخ در سرعت ثابت با رابطه ۱۴ بیان می شود:

$$P_R = K \left( \frac{M_L}{M_R} \right) \left( \frac{d}{d_R} \right)^2 \quad (14)$$

توان کل مورد نیاز ( $P_K$ ) اتمایزر را با رابطه ۳ نیز می توان نشان داد:

$$P_K = P_R + P_I \quad (15)$$

که در این رابطه،  $P_I$  افت بی باری اتمایزر می باشد.

توان مورد نیاز در سرعت هایی غیر از سرعت مبنا با استفاده از رابطه ۲ به صورت زیر خواهد بود:

$$P_2 = P_R \left( \frac{N}{N_R} \right)^2 \quad (16)$$

استافورد<sup>۱</sup> و همکاران افت بی باری  $P_I$  را شامل موارد زیر دانسته اند [۳]:

- افت اصطکاکی در موتور و مسیر انتقال توان (چرخنده ها و یاتاقان ها)،  $W_f$
- توان مورد نیاز جهت برش هوا در محیط چرخ،  $W_s$
- توان مصرفی جهت پمپاژ هوا از طریق درگاه های شعاعی،  $W_p$

$W_f$  را می توان با دوران اتمایزر بدون چرخ و اندازه گیری توان مصرفی، اندازه گیری نمود.  $W_s$  را می توان با دوران اتمایزر همراه چرخ که درگاه های آن بسته است اندازه گیری نمود. با کم کردن  $W_f$  از توان اندازه گیری شده،  $W_s$  محاسبه می شود.  $W_p$  با دوران اتمایزر با چرخ و درگاه های باز محاسبه می گردد. با کم نمودن مجموع ( $W_f + W_s$ ) از توان اندازه گیری شده،  $W_p$  محاسبه می گردد.

طبق ابعاد و مشخصات چرخ اتمایزر، الکتروموتوری با سرعت دورانی ۲۷۰۰۰ دور در دقیقه و توان اسمی ۷۱۰ وات که پاسخگوی حداکثر توان مصرفی بود، به کار گرفته شد. طرح الکتروموتور بگونه ای بود که دیگر نیازی به طراحی یاتاقان در انتهای پایینی محور عمودی که چرخ به آن متصل می شود نبود.

### الف-۳- طراحی توزیع کننده مایع

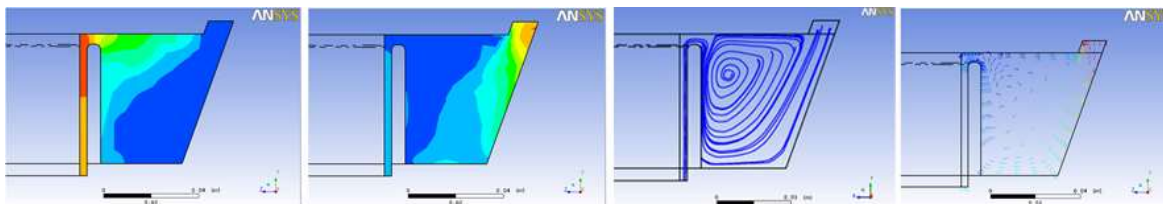
در رابطه با تغذیه یکنواخت مایع به چرخ نیز طراحی توزیع کننده بسیار مهم است. موزع مایع بصورت حلقوی دور محور و نزدیک به چرخ قرار داده می شود. مایع به درون چرخ و تا حد امکان نزدیک به مرکز آن جریان پیدا می کند. موزع غالباً متشکل از

<sup>1</sup> R.A. Stafforda



یک یا چند لوله تغذیه و طرحهایی برای جریان یافتن آرام مایع در کل محیط موزع بوده و تضمین کننده رسیدن مقدار مایع یکنواخت به روی هر پره می باشد. در این توزیع کننده ها معمولا در صورتیکه که ویسکوزیته سیال پایین باشد از یک حالت انبازه حلقوی استفاده می شود تا مایع کاملا یکنواخت به دورن چرخ جریان یابد.

با توجه به اینکه هدف از ساخت این اتمایزر، اتمیزه کردن مایعات نیوتنی با ویسکوزیته پایین بود در تمام آزمایشات از آب به عنوان مایع مورد آزمایش استفاده شد. با استفاده از نرم افزار *Ansys CFX* بهترین ارتفاع انبازه با دو ورودی مایع مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین ارتفاعی که متاثر از جریان ورودی مایع نبود به عنوان ارتفاع بهینه طراحی در نظر گرفته شد. در شکل ۳ کانتور سرعت، خطوط جریان و جریان ادی توزیع کن



شکل ۴- کانتورهای سرعت، خطوط جریان و جریان ادی توزیع کن

در نهایت شکل کلی دستگاه طراحی و ساخته شده به صورت زیر است.



شکل ۵- اتمایزر ساخته شده

### ب- ارزیابی

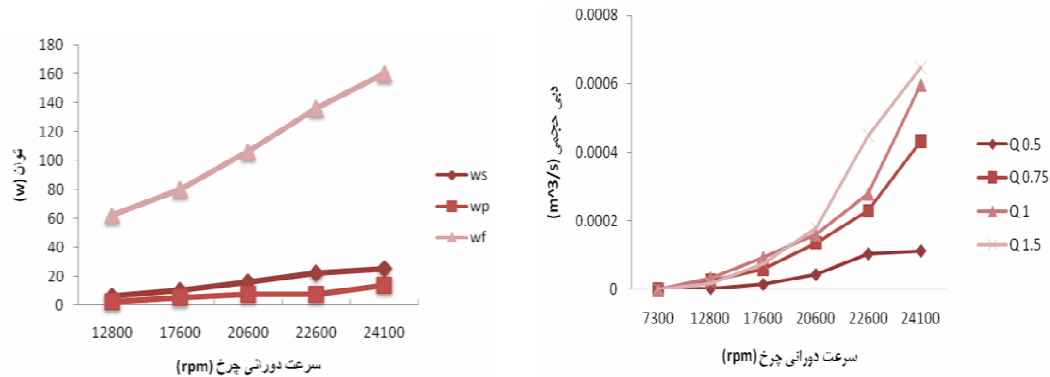
جهت ارزیابی جریان هوای پمپاژی از یک مانومتر دیجیتال<sup>۱</sup> متصل به لوله ورود خوراک و یک پاور آنالایزر<sup>۲</sup> استفاده شد. سرعت اتمایزر با استفاه از اتوترانسفورمر موجود روی محرک الکتریکی آن کنترل می شد. سرعت دورانی اسمی محرک اتمایزر از ۷۰۰۰ تا ۲۷۰۰۰ بود. جهت دقت بیشتر آزمایشات سرعت دورانی بدون توجه به مقادیر ذکر شده، توسط یک دورسنج لیزری (تاکومتر<sup>۳</sup>) اندازه گیری شد. توان الکتریکی مصرفی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل ۶ تغییرات دبی پمپاژ برحسب مترمکعب بر ثانیه در سطوح سرعت و گپ نشان داده شده است. منحنی بطور کلی نشان دهنده افزایش دبی با افزایش سرعت و گپ می باشد. با افزایش گپ میزان تغییرات دبی با شدت بیشتری ادامه می یابد. از دلایل این امر می توان به جریان آزادتر هوا در گپ اشاره نمود زیرا در این حالت به دلیل بزرگتر شدن گپ، لایه مرزی بین هوا و سطح فلز که شامل اصطکاک بین آنها می باشد به میزان بیشتری از بخش آزاد قابل جدایش است.

<sup>۱</sup> Testo 506

<sup>۲</sup> Lutron DW-6090

<sup>۳</sup> Lutron 801



شکل ۶- توان مصرفی اتمایزر در حالت بی‌باری (سمت چپ) و دبی حجمی محاسبه شده (سمت راست)

### نتیجه گیری کلی

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که سطوح سرعت و گپ بیشترین تاثیر را در دبی هوای ورودی به اتمایزر دارد. با افزایش هر دوی آنها میزان دبی ورودی بیشتر می‌شود. ولی آنچه که بیشتر قابل توجه است روند رشد دبی ورودی با بزرگتر شدن گپ می‌باشد. در منابع متعددی به این قضیه اشاره شده که هر چه فاصله بین چرخ اتمایزر و پوشش بالایی کمتر باشد میزان ورود هوا کاهش یافته و بازده اتمیزه‌شدن مواد و الگوی خشک‌شدن قطرات به خوبی میسر خواهد شد.

### پیشنهادات

از آنجایی که نرم‌افزارهای CFD در حال حاضر بسیار پیشرفته شده‌اند بررسی الگوی جریان درون و بیرون چرخ با استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر ANSYS CFX و FLUENT و با در نظر گرفتن تمام شرایط مرزی گام موثری در طراحی بهینه و افزایش راندمان کلی دستگاه خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه تحقیق در مورد دبی جریان هوای پمپاژی در حین اتمیزه کردن یک مایع بسیار مشکل می‌باشد این راهکار در این مورد نیز بسیار سودمند خواهد بود.

اندازه‌گیری متوسط قطر قطرات به صورت عملی توسط دستگاههایی نظیر دستگاه آنالیز قطره به روش تفرق لیزری (PDPA) بسیار سودمند خواهد بود و امکان مدل‌سازی را فراهم نموده و میزان درستی روابط بیان شده بدین‌منظور را می‌توان بررسی نمود.

### سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌بینم از همکاری صمیمانه جناب آقای دکتر کیانمهر رئیس محترم دانشکده مهندسی کشاورزی، دکتر مساح مدیر گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، خانم مهندس ترکی، آقای مهندس الحاقی و کارمندان محترم تراشکاری و سوله گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران تشکر نمایم.

### منابع:

1. Masters, K. (1991). *Spray Drying Handbook (5th ed.)*. UK: Longman Scientific and Technical.
2. Filkova, A.S. Mujumdar, (1995) *Industrial spray drying systems*, in: A.S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying*, vol. 1, second ed., Marcel Dekker, Inc., New York, , pp. 263–308.
3. Stafford, R., Glass, D., & Leah, R. (1998). *Flowrate quantification of the pumped-air stream from a 63 mm diameter centrifugal wheel atomiser*. 72 (1999)139-151.



4. Svendson, G. (1996). Rotary atomizer and a method of operating it. US005518180A, Niro Holding A/S. Denmark
5. Marshal, W. R, Chem. Eng. Prog, Monograph Series, No. 2, 50 (1954)
6. Liu, Huimin, (1981), Science and engineering of droplets : fundamentals and applications, NOYES PUBLICATIONS Detroit, Michigan
7. Goldberg, J. (1987). Prediction of spray dryer performance. DPhil.Thesis, University of Oxford.
8. Langrish, T., & Fletcher, D. (2006). Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying. Sydney, Australia: Chemical Engineering and Processing 40 345–354.
9. Fridman S. J., et al., chem. Eng. Prog., 48, No, 4, 181. (1952).
10. K.Master, Mothadi, M. f., Brit. Chem, Eng, 12, No. 12, 1890 (1967)
11. Endou, Oyama, Chem. Eng. Prog., Monograph Series, No. 2. 140 (1953)
12. RYLE ,D. J. (1958) .An electrically-driven disk atomizer for high speeds of rotation, journal of scientific instruments. 35 (1958) 237-240
13. K. Mager ,J.G.H. Huttenet al, (2005), Hygienic engineering of fluid bed and spray dryer plants.

روابط هوای پیمازی		علائم اختصاری	
$\Delta p_1$	ویسکوزیته مایع poise	$V_r$	روابط سرعت قطرات سرعت شعاعی
$p_{ch}$	فشار درون چرخ ساکن (pa)	$V_T$	سرعت مماسی
$p_w$	فشار درون چرخ مدور (pa)	$V_{res}$	سرعت رهایی برآیند
$Q_a$	دبی هوای پمپاژی (lit/h)	$\rho_l$	رابطه چگالی (kg/m <sup>3</sup> )
	<b>روابط طراحی محرک</b>	$d$	قطر (m)
$P_K$	توان مصرفی تئوری چرخ پره دار (KW)	$Q$	دبی حجمی (m <sup>3</sup> /h)
$P_R$	توان مورد نیاز در سرعت دوران مینا (KW)	$N$	سرعت دورانی (r.p.m)
$P_I$	افت بی باری (KW)	$\mu$	ویسکوزیته (cp)
$P_2$	توان عملکرد مورد نظر (KW)	$n$	تعداد پرها
$d$	قطر کاری چرخ (m)	$h$	ارتفاع پرها



$d_d$	قطر کلی چرخ (m)	$r$	شعاع پاشنده
$d_R$	قطر مبنای چرخ (m)		
$N_R$	سرعت دورانی مبنای چرخ (rpm)		روابط اندازه متوسط قطرات
$N$	سرعت دورانی کاری چرخ (rpm)		
$M_R$	نرخ تغذیه مبنای K	SMD	متوسط قطر ساتر
$W_f$	افت اصطکاکی در موتور و مسیر انتقال توان	$\omega_{rps}$	دور بر ثانیه
$W_s$	توان مورد نیاز جهت برش هوا در محیط چرخ	$\mu_L$	دبی (g/s)
$W_p$	توان مصرفی جهت پمپاژ هوا از طریق درگاه های شعاعی	$\mu_L$	ویسکوزیته مایع poise
		$\sigma_L$	کشش سطحی مایع (N/m)



## Design, Developing and evaluation of a centrifugal rotary atomizer for spray dryer

B.Bashiri, G.R.Chegini \*

### Abstract

Nowadays, Spray drying is the process of contacting an atomized stream to be dried with a gas stream that is at a higher temperature than the liquid stream. The higher temperature of the gas stream causes evaporation of the liquid from the droplets, forming particles. Spray drying has been used extensively in the food industry for example the manufacture of milk powder and the agricultural industry to produce different granular materials and chemical industry, and etc. masters named 400 materials that they are drying in this way. This type of dryer is composed of drying chamber, atomizer, heater, separator, and etc. The atomizer is often regarded as the heart of the spray drying process. Designing and development of atomizer is in the hand of few international manufacturers and there weren't any serious attempt to discover this technology, in our country. The purpose of this work is designing, developing and evaluation a wheel type rotary atomizer. this atomizers has used in pilot plant. Capacity of this atomizer is 100 kg/h that is very good to scale up to industrial application.

### Keywords

centrifugal rotary atomizer, spray dryer, atomizer wheel, liquid distributer.

---

\* Dept. Agricultural Technical Engineering, Aboureyhan university college, University of Tehran, Tehran, IRAN