

طراحی، ساخت و ارزیابی نقاله نیوماتیکی دانه کلزا در فاز رقیق (۲۰۸)

عبداله ایمان مهر^۱، برات قبادیان^۲

چکیده

طراحی و ساخت یک نقاله نیوماتیکی افقی دانه کلزا با دبی جرمی ۹۰ کیلوگرم در ساعت در لوله‌ای به قطر داخلی ۵۸ میلی متر انجام شد. برای این منظور ابتدا برخی خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دانه‌های کلزا مورد نیاز در طراحی دستگاه اندازه‌گیری گردید. مهمترین بخش در طراحی نقاله نیوماتیک محاسبه افت فشار سیستم است که شامل دو بخش: افت فشار هوا و افت فشار مواد می‌باشد. پس از محاسبه حداکثر افت فشار سیستم، به ترتیب با انتخاب یک دمنده سانتریفوژ مناسب، ساخت تغذیه کننده دورانی و مکانیزم انتقال قدرت آن، ایجاد ایستگاه اندازه‌گیری افت فشار، ترکیب اجزاء و ساخت شاسی، ساخت نقاله تکمیل گردید. سرعت ته‌نشینی دانه‌ها در عمل ۱۱/۴۷ متر بر ثانیه بدست آمد که بیشتر از مقدار پیش بینی شده توسط رابطه تئوری بود. در آزمایشها با تغییر سرعت ورودی هوای دمنده در ۵ سطح (۱۳/۰۳، ۱۴/۱۱، ۱۴/۸۳، ۱۵/۱۸ و ۱۵/۲۹ متر بر ثانیه)، نرخ جریان جرمی دانه‌ها در ۳ سطح (۵۰، ۷۰ و ۹۰ کیلوگرم بر ساعت) و طول لوله انتقال در دو سطح (۲ و ۴ متر)، افت فشار افقی سیستم با کمک لوله پیتو و مانومتر مورب اندازه‌گیری گردید. بدین ترتیب تأثیر پارامترهای فوق بررسی و مدل رگرسیونی از افت فشار افقی سیستم بر حسب پارامترهای متغیر ارائه شد.

کلید واژه: نقاله نیوماتیکی، دانه کلزا، افت فشار، طراحی و ساخت

^۱ - استادیار مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه اراک، پست الکترونیک: a-imanmehr@araku.ac.ir

^۲ - دانشیار مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۱- مقده

انتقال نیوماتیکی بطور گسترده‌ای در زمینه‌های صنعتی جهت جابجایی پودرها در فرآیند تولید و در رژیم‌های انتقالی مختلف، بسته به کاربردشان بصورت فاز رقیق و غلیظ صورت می‌گیرد. رژیم جریان با سرعت ظاهری گاز و نسبت جرمی مواد تعیین می‌شود. در انتقال نیوماتیکی فاز رقیق، پارامترهای زیادی شامل سرعت ظاهری گاز، قطر لوله، ابعاد کانال، اندازه ذره، توزیع اندازه، شکل ذره، نسبت جرمی ماده و سختی دیواره بر روی ویژگیهای انتقال تأثیر گذارند. متعاقب این پیچیدگیها، سیستمهای انتقال نیوماتیک اصولاً بر اساس روابط تجربی (مانند رژیم انتقالی و افت فشار) که در طول تحقیقات آزمایشی بدست می‌آید، طراحی می‌شوند [۱۲]. محدوده وسیعی از محصولات را می‌توان بصورت نیوماتیکی انتقال داد و انتخاب سیستم‌های انتقال به مهارت کاربر و میزان تجربه او بستگی دارد. از میان فازهای انتقال، فاز رقیق مکشی جهت انتقال مواد، چندان مؤثر نیست ولی فاز رقیق فشاری، قابلیت خوبی برای کاربردهای معمولی در سرعت بالا دارد [۴]. انتقال نیوماتیکی بصورت رقیق نقش مهمی در انتقال مواد دانه‌ای ایفاء می‌کند، بخصوص اگر استفاده از روش انتقال متراکم ایده‌آل نباشد مانند هنگامیکه خطوط انتقال نسبتاً کوتاه است یا ماده چسبنده است [۳]. در تعیین افتهای فشار در جریان دو فاز انتقال نیوماتیکی، اطلاعات آزمایشی زیادی برای پوشش گسترده هر یک از پارامترهای مربوطه جهت رسیدن به یک نتیجه عمومی لازم است. رفتار اصطکاکی جریان و افت‌های فشار جریان دو فاز معمولاً بر پایه برخی روشهای پیشگویی، آنالیز می‌شود و سپس توسط نتایج آزمایشی، صحت و سقم آن بررسی می‌گردد [۱].

نقاله نیوماتیکی یک دستگاه چند منظوره است. این وسیله می‌تواند برای پر کردن و تخلیه مخازن در کامیونها یا در ماشینهای تمیز کننده دانه، کارنده‌ها و جاهایی که بطور عادی تمیز کردن آن مشکل است، بکار برده شود، با این حال این نقاله توان بالائی نیاز دارد و سطح صدای بیشتری نسبت به سایر نقاله‌ها ایجاد می‌کند [۷]. آزمایشهای انتقال نیوماتیکی افقی دانه‌های برنج، برنج آسیاب شده و سویا نشان داد که گرادیان افت فشار نهایی تابعی از سرعت هوا، نسبت جرم مواد به جرم هوای جابجا شده در واحد زمان، قطر ذره و قطر لوله است. گرادیانهای افت فشار کلی با جمع نمودن سهم هر یک از بخشهای ویژه افت فشار مربوط به هوا و مواد بصورت مجزا صورت گرفت [۱۰]. طراحی سیستم انتقال فاز رقیق شامل انتخاب مناسب اندازه قطر و طول لوله‌ها و تعیین سرعت گاز جهت اطمینان از جریان مواد در فاز رقیق، محاسبه افت فشار خط لوله، و انتخاب تجهیزات مناسب برای به جریان درآوردن گاز و جداسازی مواد از گاز در انتهای سیستم است.

۲- مواد و روشها

۱-۲ خواص فیزیکی و آیرودینامیکی دانه کلزا

دانستن خصوصیات فیزیکی دانه‌های کلزا برای طراحی ادواتی که در انتقال، جابجایی، فرآوری و ذخیره این محصول بکار می‌رود، لازم است. در این مطالعه برخی خواص فیزیکی دانه کلزا شامل، ابعاد محوری، قطر متوسط هندسی، سطح، سطح مقطع، حجم، کرویت و شاخص شکل دانه‌ها در سطح رطوبتی ۶/۴ درصد (بر پایه تر) اندازه‌گیری شد زیرا بر اساس ارتباط بین میزان رطوبت و شکنندگی دانه‌ها پیشنهاد می‌شود که محتوی رطوبتی ۸-۶ درصد جهت انتقال مطمئن دانه‌های کلزا انتخاب شود [۱۱].

مهمترین خواص آیرودینامیکی که در طراحی یک سیستم نیوماتیکی لازم است سرعت حد و ضریب کشش مواد می‌باشد [۵]. این دو مقدار به خواص سیال (سرعت، ویسکوزیته و چگالی) و خصوصیات فیزیکی دانه‌ها (جرم، ابعاد، شکل و چگالی) بستگی دارند. برای طراحی خواص آیرودینامیکی دانه‌های کلزا (واریته لیکورد) اندازه‌گیری شد که نتایج این اندازه‌گیریها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: خواص فیزیکی دانه های کلزا (واریته لیکورد)

واحد	اندازه	خواص فیزیکی
Kg	۰/۰۰۴۳	جرم هزار دانه
Kg/m ³	۵۸۳	چگالی حجمی (آزاد)
Kg/m ³	۱۱۲۱	چگالی دانه
mm	۱/۹۹۷	قطر هندسی دانه
mm	۱/۹۳	قطر معادل دانه
mm ²	۳/۱۳۲	سطح مقطع دانه
mm ²	۱۲/۵۲	سطح دانه
mm ³	۳/۷۸۷	حجم دانه
%	۹۳	ضریب کروییت
%	۹۱	شاخص شکل

سرعت حد یک دانه تنها را می توان با برابر گرفتن نیروهای کششی و شناوری با نیروی ثقلی تخمین زد. بنابراین سرعت حد در جریان کاملاً آشفته برابر است با [۶]:

$$v_t = 1.74 \left(\frac{d_p (\rho_p - \rho) g}{\rho} \right)^{0.5} \quad (1)$$

v_t = سرعت حد (m/s)

d_p = قطر متوسط بذر (m)

ρ_p = چگالی دانه (kg/m³)

g = شتاب ثقل (m/s²)

بدلیل اینکه در انتقال نیوماتیکی با جریان کاملاً آشفته روبرو هستیم ($2 \cdot 10^5 < Re_p < 500$) بنابراین ضریب کشش دانه ها برابر با ۰/۴۴ است [۶].

Re_p : عدد رینولدز دانه

۲-۲ تعیین سرعت هوای ورودی

در انتقال نیوماتیکی فاز رقیق افقی یا عمودی (با نسبت تراکم مواد به هوای کمتر از ۱۵)، مطلوب آن است که عملیات انتقال در پائین ترین سرعت ممکن انجام گیرد تا افت فشار به حداقل برسد و سائیدگی و هزینه های اجرائی کاهش یابد. در نظر داشته باشید بدلیل نامعین بودن روابط جهت پیشگویی سرعت ته نشینی، باید سرعت گاز را در عمل ۵۰٪ بیشتر پیشنهاد نمود. روابط زیادی برای پیشگویی سرعت ته نشینی در منابع مختلف وجود دارد. رابطه ریک بر اساس یک روش نیمه تجربی بصورت زیر ارائه شده است [۹]:

$$v_{salt} = \left[\frac{4M_s 10^\alpha g^{\frac{\beta}{2}} D^{\left(\frac{\beta-2}{2}\right)}}{\pi \rho} \right]^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (2)$$

v_{salt} = سرعت ته نشینی (m/s)

M_s = مقدار جرم ماده در حین انتقال (kg/s)

D = قطر داخلی لوله (m)

$$1440d_p + 1.96 = \alpha$$

$$1100d_p + 2.5 = \beta$$

۲-۳ افت فشار انتقال افقی

افت فشار انتقال شامل مجموع افت فشار مورد نیاز برای هوا به تنهایی (Δp_L)، افت فشار شتاب مواد (Δp_A)، افت فشار اصطکاک و برخورد مواد (Δp_z^*)، افت فشار ناشی از بلند نمودن و تعلیق مواد (Δp_G) و افت فشار زانوئی ها (Δp_B) می شود [۶]:

$$\begin{aligned} \Delta p_{transport} &= \Delta p_L + \Delta p_A + \Delta p_z^* + \Delta p_G + \Delta p_B \\ &= \Delta p_L + \Delta p_A + \Delta p_{z(horizontal)} + \Delta p_B \end{aligned} \quad (3)$$

۲-۳-۱ افت فشار هوا

افت فشار در لوله یا افت فشار خط فقط ناشی از جریان هوا در لوله های انتقال می باشد. معادله افت فشار هوا برابر است با [۶]:

$$\Delta p_L = \lambda_L \frac{\rho}{2} v_a^2 \frac{L}{D} \quad (4)$$

Δp_A = افت فشار هوا (pa)

λ_L = ضریب مقاومت هوا

v_a = سرعت هوا (m/s)

L = طول انتقال (m)

ضریب مقاومت هوا (λ_L) بستگی به جریان گاز دارد و تابعی از عدد رینولدز است و می توان آنرا بکمک معادله بلازیوس بدست آورد [۶]:

$$\lambda_L = 0.316 / (\text{Re})^{0.25} \quad (5)$$

Re = عدد رینولدز

۲-۳-۲ افت فشار شتاب مواد

مواد جامد باید تا آنجا که ممکن است سریعاً در سرعت انتقال حداقل، شتاب بگیرند. این افت تنها در یک نقطه ورودی مواد در یک سیستم مکشی یا فشاری اتفاق می افتد. این افت فشار از رابطه (۹) بدست می آید [۸]:

$$\Delta p_A = r v_a \rho v_s \quad (۶)$$

r = نسبت جرمی دانه ها به هوا

$$v_s = \text{سرعت متوسط ذره (m/s)}$$

نسبت جرمی مواد به هوا برابر است با:

$$r = \frac{M_s}{M_a} = \frac{M_s}{\rho A v_a} \quad (۷)$$

$$A = \text{سطح مقطع لوله (m}^2\text{)}$$

$$M_s = \text{مقدار جرم ماده در حین انتقال (kg/s)}$$

$$M_a = \text{مقدار جرم هوا در حین انتقال (kg/s)}$$

۲-۳-۳ افت فشار اصطکاکی مواد

این افت ناشی از برخورد ذرات جامد با یکدیگر و اصطکاک آنها با جداره لوله ها است. رابطه (۱۱) را برای تخمین این افت می توان بکار برد [۶]:

$$\Delta p_z^* = \frac{\lambda_z^* \rho_p (1 - \varepsilon) v_s^2 L}{2D} \quad (۸)$$

$$\Delta p_z^* = \text{افت فشار اصطکاکی مواد (pa)}$$

$$\lambda_z^* = \text{ضریب اصطکاکی مواد}$$

$$\varepsilon = \text{تخلخل مواد در حال انتقال}$$

بمنظور تعیین ضریب اصطکاک جامدات در انتقال افقی از رابطه (۱۲) استفاده می شود [۶]:

$$\lambda_z^* = 0.114 (gD)^{0.5} / v_s \quad (۹)$$

مقدار تخلخل برابر است با:

$$\varepsilon = 1 - \frac{M_s}{A \rho_p v_s} \quad (۱۰)$$

که ρ_s چگالی ظاهری مواد در حین انتقال است و از رابطه (۱۴) حاصل می شود [۶]:

$$\rho_s = (1 - \varepsilon) \rho_p \quad (۱۱)$$

۲-۳-۴ افت فشار بلند کردن و تعلیق مواد

در سیستم انتقال افقی، افت فشار ناشی از معلق داشتن ذرات برابر است با [۶]:

$$\Delta p_G / \Delta L = \rho_s g \frac{v_L}{v_a} \quad (۱۲)$$

افت فشار ثقلی هوا برابر است با:

$$\Delta p_{Ga} / \Delta L = \rho_a \varepsilon g \quad (13)$$

۲-۳-۵ افت فشار زانوئی

زانوئی ها افت فشار را در خط انتقال افزایش می دهند و نیز نقاطی هستند که در آنها بیشترین فرسایش و ساییدگی دانه رخ می دهد. افت فشار زانوئی از رابطه (۱۷) بدست می آید [۶]:

$$\frac{\Delta p_B}{(\Delta p_z)_{bend}} = 210 \left(\frac{2R_B}{D} \right)^{-1.15} \quad (14)$$

که R_B شعاع زانوئی است. $(\Delta p_z)_{bend}$ افت فشار بخش مواد زانوئی است که با بدست آوردن طول معادل زانوئی و داشتن افت فشار مواد جامد، تعیین می شود.

۲-۴ ساخت نقاله

قلب این نقاله نیوماتیکی، وسیله ای است که وظیفه تولید جریان هوا و غلبه بر افت های فشاری را بر عهده دارد. توان مکانیکی دمنده از حاصلضرب گشتاور و سرعت زاویه ای پروانه بدست می آید. در این دمنده، توانی که سیال از ماشین می گیرد بصورت $\gamma Q H$ بیان می شود. H معرف انرژی واحد وزن سیال و γQ معرف وزن سیال عبوری در واحد زمان است. حاصلضرب آنها معرف انرژی سیال در واحد زمان (توان) می باشد. با صرف نظر کردن از تلفات، توان مکانیکی مصرفی پمپ با توان تولیدی آن برابر است. لذا می توان نوشت [۲]:

$$P = T' \omega = Q \gamma H \quad (15)$$

$$P = \text{توان} \text{ (N.m/s)}$$

$$T' = \text{گشتاور} \text{ (N.m)}$$

$$\omega = \text{سرعت زاویه پروانه دمنده (rps)}$$

$$Q = \text{دبی حجمی دمنده (m}^3/\text{s)}$$

$$\gamma = \text{وزن واحد حجم هوا (N/m}^3\text{)}$$

$$H = \text{ارتفاع معادل فشار دمنده (m)}$$

معادله انرژی را بین ورودی و خروجی پروانه دمنده می توان از رابطه (۱۹) نوشت:

$$H + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (16)$$

جدول (۲) نتایج محاسبات طراحی را نشان می دهد.

جدول ۲: نتایج محاسبات روابط ریاضی مربوط به طراحی مقاله نیوماتیکی

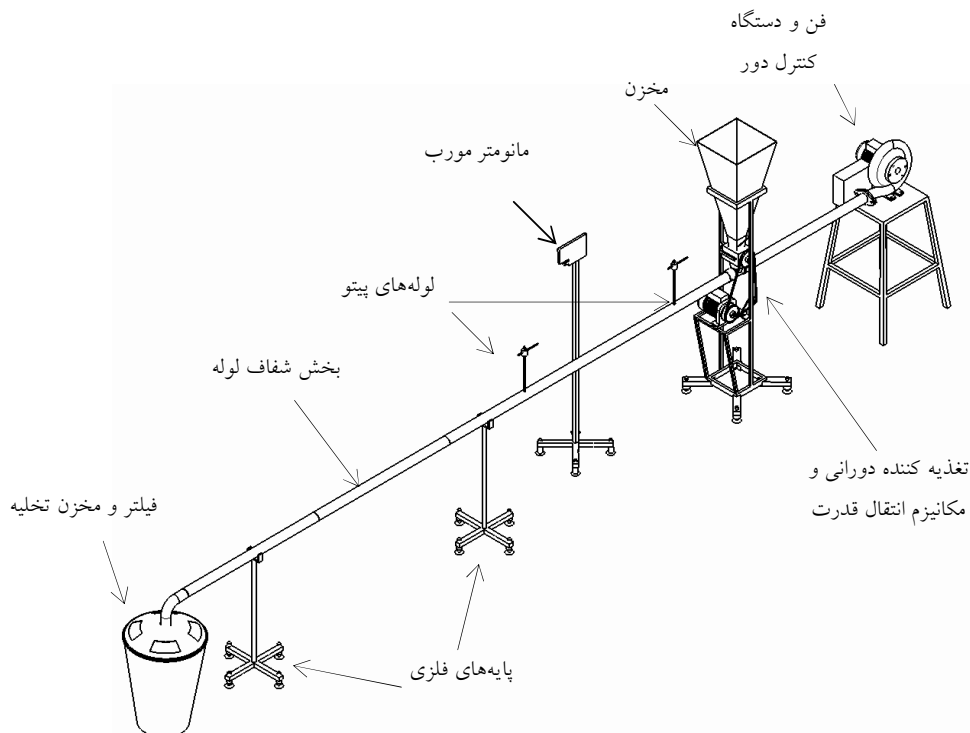
ردیف	پارامتر	نماد	مقدار	احد
۱	چگالی هوا	ρ	۱/۰۴۶	Kg/m ³
۲	ویسکوزیته هوا	α_1	۱/۷۶*۱۰ ^{-۵}	Ns/m ²
۳	سرعت حد	v_t	۷/۷۷	m/s
۴	نیروی کشش	F_D	۳/۹۳۹*۱۰ ^{-۵}	N
۵	سرعت ته نشینی	v_{salt}	۷/۸۲	m/s
۶	افت فشار اصطکاکی هوا	Δp_L	۲۵۹/۹۲	pa
۷	نسبت جرمی	r	۰/۵۸	---
۸	افت فشار شتاب مواد	Δp_A	۹۷/۷	pa
۹	ضریب اصطکاک مواد	λ_z^*	۰/۰۰۸۲۷	----
۱۰	تخلخل	ε	۰/۹۹۹	----
۱۱	چگالی ظاهری مواد	ρ_s	۱/۱۲۱	Kg/m ³
۱۲	افت فشار اصطکاکی مواد	Δp_z^*	۵۱/۷۲	pa
۱۳	افت فشار تعلیق مواد	Δp_G	۳۳/۰۶	pa
۱۴	افت فشار ثقلی هوا	Δp_{Ga}	۶۱/۵	pa
۱۵	افت فشار زانوئی ۹۰ درجه	Δp_B	۹۵/۵	pa
۱۶	توان مصرفی دمنده	P	۱۱۸/۸۵	Watt
۱۷	اختلاف فشار دمنده	Δp	۷۱۸/۹	pa

کل افت فشار سیستمی بطول ۶ متر با استفاده از یافته‌های جدول (۲) برابر است با:

$$\Delta p_{transport} = \Delta p_L + \Delta p_A + (\Delta p_z^* + \Delta p_G)_{horizontal} + \Delta p_B = 599.4 \approx 600 \text{ pa}$$

با توجه به مزایای دمنده‌های سانتریفیوژ، یک دمنده سانتریفیوژ با تیغه‌های خمیده بسمت عقب انتخاب گردید که توان آن توسط یک گیربکس از طریق یک موتور الکتریکی تامین شد. دور موتور در فرکانس ۵۰ هرتز برابر با ۲۷۱۰ دور در دقیقه می‌باشد

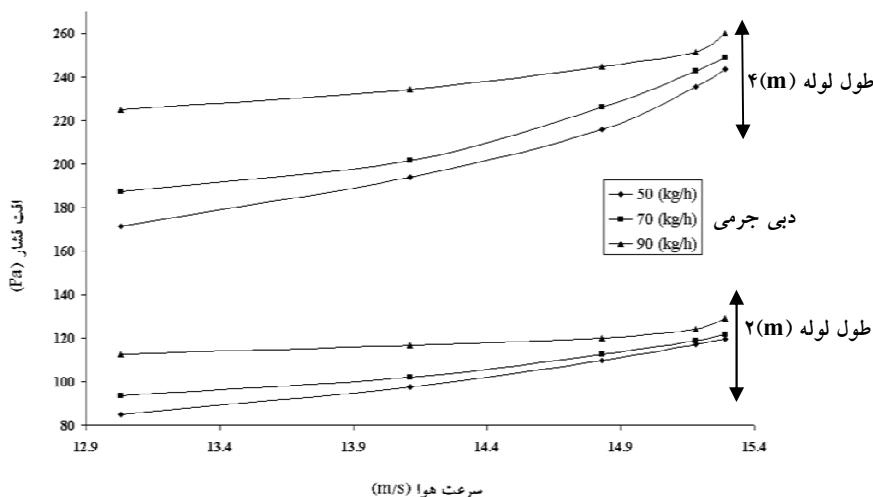
که توسط گیربکسی این دور ۲/۶۴ برابر افزایش و به چرخ پره دمنده انتقال یافت. افت فشار دمنده با در نظر گرفتن راندمان ۶۸ درصد بدست آمد. با مقایسه بین افت فشار بدست آمده برای سیستم (۶۰۰ پاسکال) و افت فشار دمنده (۷۱۸/۹ پاسکال) مطابق جدول (۲)، نتیجه گیری می شود که دمنده انتخابی قابلیت استفاده برای رفع نیاز سیستم را داراست. برای تغییر سرعت هوای ورودی دمنده و بررسی تأثیر آن بر انتقال دانه ها در لوله افقی، از یک اینورتور استفاده شد. توسط این وسیله ضمن تبدیل جریان برق تک فاز به برق ۳ فاز مورد نیاز موتور دمنده، با کاهش یا افزایش فرکانس برق می توان دور دمنده را تغییر داد. برای اندازه گیری فشار از یک مانومتر مورب با محدوده کار صفر تا ۵۰۰ پاسکال استفاده شد. پس از ترکیب اجزاء در نهایت سیستمی مطابق شکل (۱) بدست آمد.



شکل ۱: نمای شماتیک نقاله نیوماتیکی افقی دانه کلزا

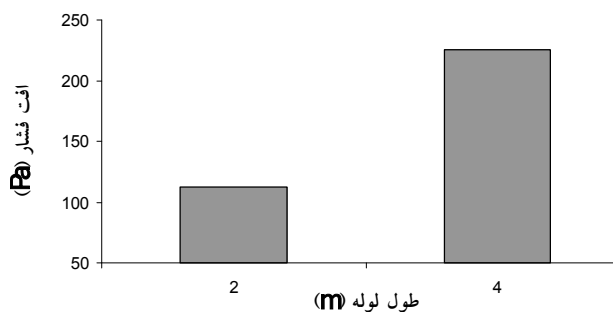
۳- نتایج و بحث

نمودار افت فشار کل در شکل (۲) نشان داده شده است.



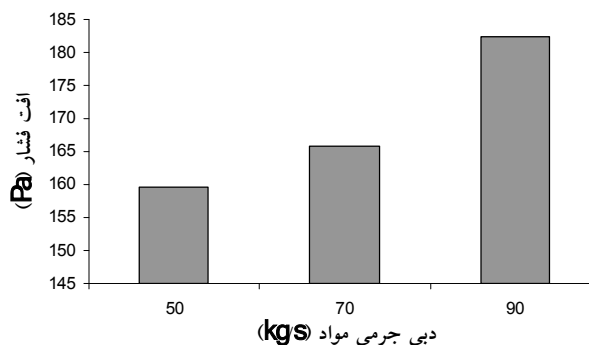
شکل ۲: نمودار افت فشار کل در سطوح مختلف سرعت هوا، دبی جرمی و طول لوله

با تغییر سرعت هوای ورودی دمنده در دبی جرمی ۹۰ کیلوگرم در ساعت، سرعت هوا به حدی کاهش داده شد تا دانه‌ها در آستانه ته‌نشینی قرار گیرد و بدین ترتیب سرعت ته‌نشینی دانه‌ها در عمل ۱۱/۴۷ متر بر ثانیه بدست آمد که در مقایسه با مقدار تئوری بدست آمده (۷/۸۲ متر بر ثانیه)، ۴۶ درصد بیشتر است. در ادامه آزمایشها با تغییر سرعت ورودی هوای دمنده در ۵ سطح (۱۳/۰۳، ۱۴/۱۱، ۱۴/۸۳، ۱۵/۲۹ و ۱۶/۸۳ متر بر ثانیه)، نرخ جریان جرمی دانه‌ها در ۳ سطح (۵۰، ۷۰ و ۹۰ کیلوگرم بر ثانیه) و طول لوله انتقال در دو سطح (۲ و ۴ متر)، میزان افت فشار سیستم توسط لوله پیتو و مانومتر مورب اندازه‌گیری گردید. بر اساس نتایج بدست آمده با دو برابر شدن طول لوله، افت فشار ۲ برابر شده است (شکل ۳) که دلیل آن افزایش سطح تماس هوای در حال جریان و دانه‌ها با سطح بیشتری از جداره لوله و در نتیجه افزایش افت فشار اصطکاکی است.



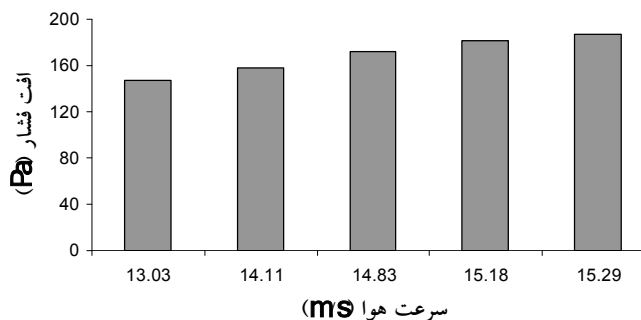
شکل ۳: نمودار تغییرات افت فشار در دو سطح طول لوله انتقال

با افزایش دبی جرمی دانه‌ها بدلیل افزایش برخورد دانه‌ها با یکدیگر و با دیواره لوله از یک طرف و افزایش فشار استاتیکی مورد نیاز برای حمل دانه‌ها از طرف دیگر، افت فشار کل افزایش یافته است. مطابق شکل (۴) با افزایش دبی جرمی از ۵۰ به ۷۰ کیلوگرم در ساعت، افت فشار حدود ۴ درصد و از ۵۰ به ۹۰ کیلوگرم در ساعت افت فشار حدود ۱۴ درصد افزایش یافته است.



شکل ۴: نمودار تغییرات افت فشار در سه سطح دبی جرمی دانه ها

با افزایش سرعت هوای ورودی، افت فشار بدلیل افزایش مقاومت اصطکاکی دانه ها، افزایش یافته است (شکل ۵).



شکل ۵: نمودار تغییرات افت فشار در پنج سطح سرعت هوای ورودی

۴- نتیجه گیری و پیشنهادات

با انجام رگرسیون خطی چندگانه از داده های آزمایش، رابطه (۱۷) برای برآورد افت فشار کل، بر حسب فاکتورهای متغیر با اطمینان قابل قبولی در محدوده عدد رینولدز ($44915 \leq Re \leq 52705$) پیشنهاد نمود بدست آمد:

$$\Delta p_{total} = -297 + 57.2(L) + 0.567(M_s) + 17.6(v_a) \quad R^2 = 97.4\% \quad (17)$$

همچنین رابطه (۱۸) برای برآورد افت فشار ناشی از هوای تنها در محدوده عدد رینولدز $44915 \leq Re \leq 52705$ بدست آمد:

$$\Delta p_{air} = -256 + 29.2(L) + 20.6(v_s) \quad R^2 = 98.8\% \quad (18)$$

بدین ترتیب توسط روابط فوق می توان افت فشار سیستم انتقال افقی فاز رقیق مربوط به دانه های کلزا را پیشگویی و بر اساس آن توان و فشار دمنده را با حدود اطمینان قابل قبولی تعیین نمود.

علی رغم اینکه انتقال نیوماتیکی دانه های کشاورزی در ماشینهای نظیر کارنده های نیوماتیک، کمباینها و ماشینهای تمیز کننده صورت می گیرد با این حال در زمینه انتقال نیوماتیکی دانه های روغنی (بویژه کلزا) در فاز رقیق گزارشی ارائه نشده است. ارائه اصول و روش طراحی، ساخت و ارزیابی انتقال نیوماتیکی دانه کلزا بعنوان یک دانه روغنی استراتژیک که می تواند نقش مؤثری در خودکفائی کشور به دانه های روغنی داشته باشد، مورد نظر این تحقیق بوده است که در مقاله حاضر مورد بحث واقع شده است.



۵- مراجع

1. Carpinlioglu, M. O., Ozbelge, T. A. and Oruc, V. 2002. Flow frictional resistance in pneumatic conveying of solid particles through inclined lines. Powder Tech. 125:292-297.
2. Entezari, A. 1999. Fluid Mechanics. 3rd Edition. Norpardazan Publication.
3. Eskin, D. 2005. Modeling dilute gas-particle flows in horizontal channels with different wall roughness. Chemical Eng. Sci. 60:655-663.
4. Huggett, R. 1999. Design for throughput. International Mechanical Eng. Seminar Publication Successful Pneumatic Conveying. Published by Professional Eng. publishing Limited, London, UK.
5. Mohsenin, N. N. 1970. Properties of plant and animal materials. Gordon and Breach, USA.
6. Marcus, R. D., Leung, L. S., Klinzing, G. E., Rizk, F. 1990. Pneumatic Conveying of Solid. Chapman and Hall Pub. London. UK.
7. Misra, M. K. 1997. Conveyors for bulk handling of seed. Extension seed conditioning specialist. Ames, Iowa.
8. Neidigh, S. 2003. Introduction to the theoretical and practical principles of pneumatic conveying. Online: <http://www.Neuro.com>. USA.
9. Rhodes, M. 2001. Pneumatic transport of powders. Education Resource. for Part. Techn. 014Q-Rhodes. Online: <http://www.erpt.org>.
10. Raheman, H & Jindal, V. K. 2001. Pressure drop gradient and solid friction factor in horizontal pneumatic conveying of agricultural garins. Applied Eng. In Agr. Vol. 17(5): 649-656.
11. Salunkhe, D. K., Chavan, J. K., Adsule, R. N. and Kadam, S. S. 1992. World Oilseeds (Chemistry, Technology and Utilization). Published by Van Nostrand Reinhold.NY.
12. Sommerfeld, M. and Kussin, J. 2004. Wall roughness effects on pneumatic conveying of spherical particles in a narrow horizontal channel. Powder Technology. 142:180-192.