



گواهی نامه

پژوهشگران ارجمند؛

جناب آقای / سرکار خانم

پویا کهنسال مکوندی، مجید رهنما، رسول معمار دستجردی

بدینوسیله گواهی و تأیید می گردد، مقاله جنابعالی تحت عنوان

بررسی تغییرات افت فشار در انتقال نیوماتیک فاز رقیق افقی محصول شکر

توسط داوران منتخب کمیته علمی کنفرانس سراسری تحقیق در علوم کشاورزی

، منابع طبیعی و محیط زیست مورد پذیرش قرار گرفته و به صورت شفاهی ارائه

گردیده است.

امید است همواره با خلق خدمات و ارائه پژوهش های ارزشمند خود در مسیر اعتلای

ایران عزیز موفق و مؤید باشید.

دبیر اجرایی

دکتر مریم مصلی نژاد

دبیر علمی

دکتر مهدی مفتاح هاشمی





بررسی تغییرات افت فشار در انتقال نیوماتیک فاز رقیق افقی محصول شکر

پویا کهنسال مکوندی^{۱*}، مجید رهنما^۲، رسول معمار دستجردی^۳

۱- پویا کهنسال مکوندی، کارشناسی ارشد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، Pouyamak@gmail.com

۲- دکتر مجید رهنما، استادیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، rahnamam2002@yahoo.com

۳- دکتر رسول معمار دستجردی، استادیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، rasoul.memar@gmail.com

چکیده

هدف از این مطالعه طراحی، ساخت و آزمایش اولیه‌ی دستگاه انتقال نیوماتیک فاز رقیق افقی برای شکر می‌باشد. بدین منظور، ابتدا برخی از خواص فیزیکی ذرات شکر، مورد نیاز در طراحی دستگاه محاسبه و تعیین شد. مهمترین بخش در طراحی یک سیستم انتقال نیوماتیک محاسبه‌ی مجموع افت فشارهای آن است. افت فشار کل با جمع نمودن سهم دو بخش هوا و مواد با استفاده از معادلات تجربی بدست آمد. سپس به ترتیب با انتخاب یک دمنده‌ی سانتریفیوژ مناسب، ساخت تغذیه کننده مارپیچی و مکانیزم انتقال قدرت آن، ایجاد ایستگاه اندازه‌گیری افت فشار، ترکیب اجزا و ساخت شاسی، ساخت نقاله تکمیل گردید. سرعت ته‌نشینی ذرات شکر در عمل ۱۲/۲۳ متر بر ثانیه بدست آمد که بیشتر از مقدار پیش بینی شده (۹/۱۸ متر بر ثانیه) توسط رابطه‌ی تئوری بود. با تغییر سرعت هوای ورودی دمنده در ۵ سطح، نرخ جریان جرمی ذرات شکر در ۳ سطح و طول لوله‌ی انتقال در ۳ سطح، افت فشار اندازه‌گیری گردید. جهت سنجش تغییرات در خواص کیفی فیزیکی شکر، پس از انتقال توسط دستگاه، اثرات فاکتورهای طول، دبی جرمی شکر و سرعت انتقال در سطوح ذکر شده بر دو خاصیت قطر میانگین ذرات و ضریب پراکندگی آن‌ها بررسی گردید.

واژه‌های کلیدی: انتقال نیوماتیک، شکر، افت فشار، فاز رقیق، خواص کیفی

۱- مقدمه

انتقال مواد در صنایع مختلف جهت جابجایی مواد پودری و گرانوله در رژیم‌های مختلف به صورت فاز رقیق (کم فشار) یا غلیظ (پرفشار)، صورت می‌گیرد. رژیم‌های جریان با سرعت ظاهری گاز و نسبت جرمی مواد به هوا تعیین می‌شود. در انتقال نیوماتیک فاز رقیق پارامترهای زیادی شامل سرعت ظاهری گاز، قطر لوله، ابعاد کانال، اندازه‌ی ذره، توزیع اندازه، شکل ذره، نسبت جرمی مواد به هوا و زبری دیواره بر روی ویژگی‌های انتقال تاثیر گذارند. متعاقب این پیچیدگی‌ها، سیستم‌های انتقال نیوماتیک اصولاً بر اساس روابط تجربی که در تحقیقات آزمایشی بدست می‌آید، طراحی می‌شوند [۱۸]. انتقال نیوماتیک بصورت رقیق نقش مهمی در انتقال مواد گرانوله از جمله شکر ایفا می‌کند، بخصوص اگر استفاده از روش انتقال متراکم ایده‌ال نباشد، مانند زمانی که خطوط انتقال نسبتاً کوتاه یا مواد چسبنده هستند [۶]. انتقال رقیق فاز مکشی جهت انتقال مواد سمی استفاده می‌شود و چندان موثر نیست ولی فاز رقیق فشاری قابلیت خوبی برای کاربردهای معمولی در سرعت بالا دارد [۴]. نقاله‌ی نیوماتیک یک دستگاه چند منظوره است. این وسیله می‌تواند برای پر کردن و تخلیه‌ی مخازن در کامیون‌ها یا در ماشین‌های تمیز کننده‌ی محصولات کشاورزی دانه‌ایی و کارنده‌ها بکار برده شود. این نقاله توان بالایی نیاز دارد و صدای



بیشتری نسبت به سایر نقاله‌ها ایجاد می‌کند [۱۳]. آزمایش‌های انتقال نیوماتیک افقی دانه‌های برنج، برنج آسیاب شده و سویا نشان داد که گرادیان افت فشار نهایی تابعی از سرعت هوا، نسبت جرمی مواد به هوا، قطر ذره و قطر لوله است و برآورد افت فشار کلی در خط انتقال نیز با جمع نمودن سهم هر دو بخش جداگانه هوا و مواد با استفاده از معادلات تجربی بدست می‌آید [۱۴]. طراحی سیستم انتقال فاز رقیق شامل انتخاب اندازه‌ی لوله‌ها و سرعت گاز جهت مطمئن شدن از جریان رقیق، محاسبه-ی افت فشار خط لوله و انتخاب تجهیزات مناسب (پمپ، موزع، لوله انتقال و ...) برای حرکت دادن گاز و جداسازی مواد از گاز در انتهای سیستم می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خواص فیزیکی شکر

شناخت خواص فیزیکی شکر تاثیر بسزایی در طراحی صحیح و کارآمد نقاله‌ی نیوماتیک این فرآورده دارد. خواص مورد نیاز در طراحی نقاله شامل قطر میانگین، چگالی ظاهری و حقیقی، درصد تخلخل، زاویه استقرار^۱ می‌باشد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

۲-۲- تعیین حداقل سرعت هوای ورودی

در انتقال نیوماتیک فاز رقیق افقی یا عمودی (با نسبت تراکم مواد به هوای کمتر از ۱۵)، مطلوب است که عملیات انتقال در پایین‌ترین سرعت ممکن انجام گیرد تا افت فشار به حداقل برسد و سائیدگی و هزینه‌های اجرایی کاهش یابد. به دلیل نا-معین بودن روابط جهت پیشگویی سرعت ته‌نشینی، کمینه‌ی سرعت گاز در عمل با ضریب اطمینان ۱/۵ و بیشتر انتخاب می‌شود [۱]. روابط زیادی برای پیشگویی سرعت ته‌نشینی در منابع مختلف وجود دارد. رابطه ریک (رابطه ۱) بر اساس یک روش نیمه تجربی به صورت زیر ارائه شده است [۱۵]:

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

$$\alpha = 1440d_p + 1.96 \quad \beta = 1100d_p + 2.5 \quad (2)$$

در روابط فوق V_{salt} سرعت ظاهری گاز در هنگام ته‌نشینی (m/s)، d_p قطر میانگین ذرات شکر (m)، M_s دبی جرمی (kg/s)، D قطر لوله (m)، ρ_a چگالی هوا (kg/m³) است.

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 زانوئی‌ها (ΔP_B) می‌شود [۱۰]:

$$\Delta P_{transport} = \Delta P_L + \Delta P_A + (\Delta P_z + \Delta P_G)_{Horizontal} + \Delta P_B \quad (3)$$

۲-۳-۱- افت فشار هوا (ΔP_L)

این افت فشار ناشی از جریان هوا به تنهایی در طول لوله‌ی انتقال می‌باشد. معادله افت فشار هوا برابر است با [۱۰]:

¹ - Angle of repose



$$\Delta P_L = \lambda_L \frac{\rho_a}{2} V_a^2 \frac{\Delta L}{D} \quad (4)$$

که در آن، λ_L ضریب مقاومت هوا، V_a سرعت هوا (m/s)، L طول لوله‌ی انتقال (m) است. ضریب مقاومت هوا (λ_L) بستگی به جریان گاز دارد و تابعی از عدد رینولدز (Re) است و می‌توان آن را به کمک معادله‌ی بلازیوس بدست آورد [۷]:

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

۲-۳-۲-۲ افت فشار شتاب مواد (ΔP_A)

مواد بطور سریع در سرعت انتقال حداقل، شتاب می‌گیرند. این افت تنها در نقطه ورودی مواد در یک سیستم مکشی یا فشاری اتفاق می‌افتد. این افت فشار از رابطه (۶) بدست می‌آید [۱۰]:

$$\Delta P_A = r V_a \rho_a V_p \quad (6)$$

که در آن، V_p سرعت ذرات (m/s)، r نسبت جرمی هوا به مواد است. نسبت جرمی هوا به مواد برابر است با [۱۰]:

$$r = \frac{M_s}{M_a} = \frac{M_s}{\rho A V_a} \quad (7)$$

که در آن، A سطح مقطع لوله (m^2)، M_s دبی جرمی ذرات در حین انتقال (kg/s)، M_a دبی جرمی ذرات در حین انتقال (kg/s) است.

۲-۳-۳-۲ افت فشار اصطکاکی مواد

این افت ناشی از برخورد ذرات جامد با یکدیگر و اصطکاک آن‌ها با جداره لوله‌ها است. معادله (۸) برای تخمین این افت بکار برده شد [۷]:

$$\Delta P_z = \frac{\lambda_z (1 - \varepsilon) \rho_p V_p^2 \Delta L}{2D} \quad (8)$$

به منظور تعیین ضریب اصطکاک جامدات (λ_z) در انتقال افقی از رابطه (۹) استفاده می‌شود [۸]:

$$\lambda_z = \frac{0.114 (gD)^{0.5}}{V_p} \quad (9)$$

مقدار تخلخل در هنگام انتقال برابر است با:

$$\varepsilon = 1 - \frac{M_s}{A \rho_p V_p} \quad (10)$$

۲-۳-۴-۲ افت فشار بلند کردن و تعلیق هوا و مواد (ΔP_G و ΔP_{Ga})

در سیستم افقی افت فشار ناشی از معلق نگاه داشتن ذرات برابر است با [۱۹]:

$$\Delta P_G = \rho_p (1 - \varepsilon) g \Delta L \quad (11)$$

افت فشار ثقلی هوا برابر است با [۱۹]:



$$\Delta P_{Ga} = \rho_a \varepsilon g \Delta L$$

(۱۲)

۲-۳-۵- افت فشار زانوئی (ΔP_{bend})

در طراحی سیستم انتقال پیشنهاد می‌شود که در حد امکان از زانوئی کمتری استفاده شود، زیرا با گذر مخلوط هوا و جامد از یک زانوئی، مقداری انرژی به سبب اصطکاک هوا و مواد با جداره زانوئی تلف می‌شود. به سبب این اصطکاک، سرعت مواد کاهش می‌یابد، لذا مقداری انرژی اضافی لازم است تا آن‌ها را به سرعت اولیه برساند که این عمل افت فشار را در خط انتقال افزایش می‌دهد [۵]. از آنجایی که در این تحقیق زانوئی تعبیه شده در سیستم، در انتهای مسیر و در مخزن تخلیه قرار گرفته است، ذرات شکر پس از عبور از زانوئی از مسیر لوله خارج می‌شوند. بنابراین افت فشاری جهت شتاب گیری دوباره مواد وجود نخواهد داشت و تنها افت فشار هوا باید در نظر گرفته شود. افت فشار هوا در هنگام عبور از زانوئی از رابطه (۱۳) بدست می‌آید:

$$\Delta P_{bend} = C_p \frac{V_a^2}{2} \quad (۱۳)$$

که در آن، C_p ضریب افت فشار در زانوئی بر حسب $(Pa.s^2/m^2)$ ، V_a سرعت هوا (m/s) می‌باشد.

۲-۴- پارامترهای فرض شده یا محاسبه شده در طراحی مقاله نیوماتیک شکر

نتایج محاسبات پارامترهای طراحی سیستم افقی انتقال نیوماتیک فاز رقیق برای شکر در جدول (۱) آورده شده است. در نهایت افت فشار کل سیستم با جمع تک تک افت‌های ذکر شده بدست می‌آید (رابطه ۳).

جدول ۱ نتایج محاسبات طراحی سیستم انتقال نیوماتیک شکر

ردیف	پارامتر	نماد	مقدار	واحد
۱	بیشترین قطر ذرات	d_p	۱۷۰۰	μm
۲	قطر میانگین	M_A	۸۰۹/۷۶	μm
۳	قطر لوله	D	۷/۶۲	Cm
۴	زاویه‌ی استقرار	θ	$\theta < 39^\circ$ ۳۵	درجه
۵	چگالی هوا	ρ	۱/۱۰۷	Kg/m^3
۶	سرعت ته‌نشینی	V_{salt}	۹/۱۸	m/s
۷	نسبت جرمی	r	۱۰	ندارد
۸	عدد رینولدز جریان	R_e	1.66×10^4 ۵	ندارد
۹	گرانروی هوا	μ_1	3.72×10^{-5}	Ns/m^2
۱۰	ضریب اصطکاک هوا	λ_L	۰/۰۲۰۴	ندارد
۱۱	ضریب اصطکاک مواد	λ_z	۰/۰۰۴۹	ندارد



ندارد	۰/۹۹۹	ϵ	تخلخل در هنگام انتقال	۱ ۲
Kg/m^3	۱۵۸۶/۲	ρ_p	چگالی حقیقی شکر	۱ ۳
Kg/m^3	۰/۶	ρ_b	چگالی ظاهری شکر در هنگام انتقال	۱ ۴
) ($\text{Pa.s}^2/\text{m}^2$)	۰/۳۳	C_p	ضریب افت فشار در زانویی	۱ ۵
Pa	۵۵۵/۶۷	ΔP_L	افت فشار اصطکاکی هوا	۱ ۶
Pa	۲۴۳/۶۴	ΔP_A	افت فشار شتاب ذرات شکر	۱ ۷
Pa	۴۷/۲۴	ΔP_z^*	افت فشار اصطکاکی ذرات شکر	۱ ۸
Pa	۳۵/۸۱	ΔP_G	افت فشار تعلیق ذرات شکر	۱ ۹
Pa	۶۵/۰۶	ΔP_{Ga}	افت فشار ثقلی هوا	۲ ۰
Pa	۱۰۳/۱۲	ΔP_{bend}	افت فشار زانویی	۲ ۱
Pa	۱۵۷ ۱۰۵۰	ΔP_{total}	افت فشار کل محاسبه شده	۲ ۲

۲-۴- ساخت نقاله

کل افت فشار سیستمی به طول ۶ متر با استفاده از یافته‌های جدول برابر است با (رابطه ۳):

$$\Delta P_{transport} = \Delta P_L + \Delta P_A + (\Delta P_z + \Delta P_G)_{Horizontal} + \Delta P_B = 239.42$$

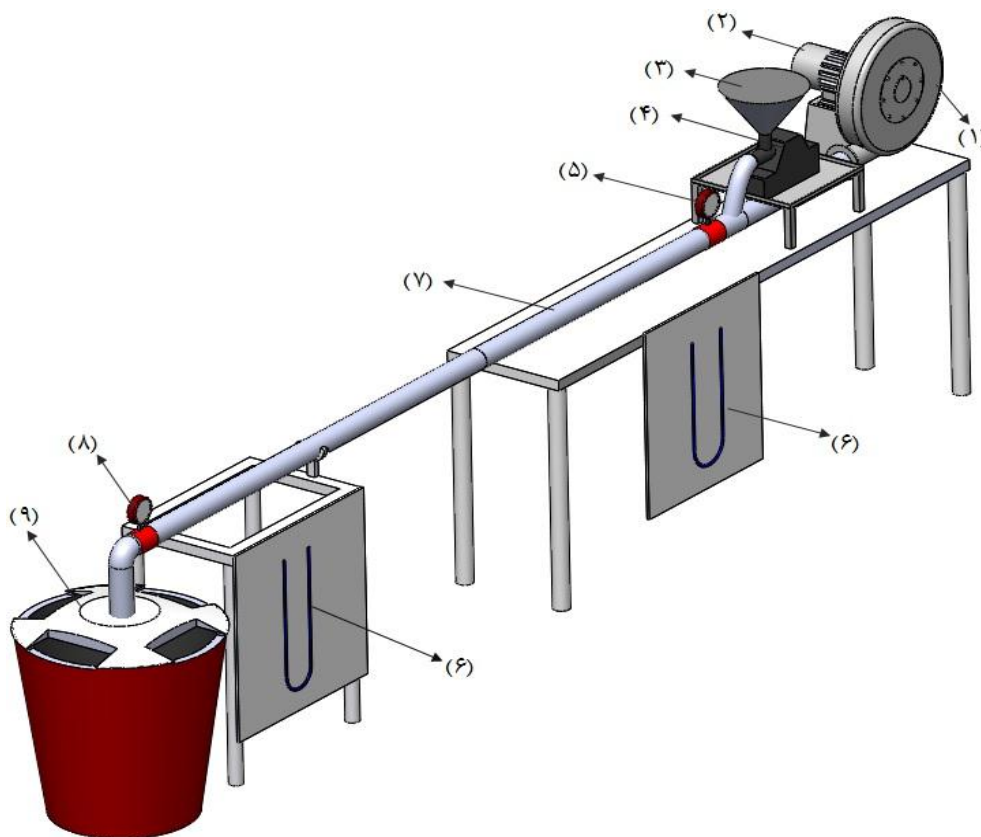
جهت تولید جریان هوا و غلبه بر افت‌های فشار محاسبه شده یک دمنده سانتریفیوژ با تیغه‌های خمیده به سمت عقب انتخاب گردید. بنابراین توان مورد نیاز برای دمنده بر اساس افت فشار کل سیستم (ΔP) و نرخ جریان هوا (Q) از رابطه (۱۴) بدست می‌آید [۱۱]:

$$P = \frac{\Delta P Q}{\eta_B}$$

(۱۴)

که η_B راندمان دمنده ($0.5 < \eta_B < 0.7$) می‌باشد.

پس از مشخص شدن توان مورد نیاز (۲۳۹/۴۲ وات) برای راه اندازی سیستم، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۳، یک دمنده با توان اسمی ۷۰۰ وات انتخاب گردید. مقدار فشار تولیدی توسط فن سانتریفیوژ انتخاب شده، بوسیله لوله پیتوت که در دهانه‌ی خروجی دمنده تعبیه شده بود اندازه‌گیری شد. با مقایسه افت فشار محاسبه شده در طراحی سیستم و فشار تولیدی توسط دمنده نتیجه‌گیری می‌شود که دمنده‌ی انتخابی قابلیت استفاده برای رفع نیاز سیستم را داراست. تغییر سرعت هوای خروجی از دمنده توسط دریچه‌ی هوای ورودی تعبیه شده بر روی آن انجام شد و سرعت هوای خروجی توسط فشارسنج ساخته شده طبق اصول لوله‌ی پیتوت اندازه‌گیری گردید. پس از ترکیب اجزا در نهایت سیستمی مطابق شکل (۱) بدست آمد.



شکل ۱: طرحواره‌ی دستگاه انتقال نیوماتیک فاز رقیق افقی شکر، (۱) دمنده، (۲) الکتروموتور، (۳) مخزن تغذیه، (۴) موزع، (۵) فشارسنج شماره ۱، (۶) مانومترها، (۷) لوله‌ی انتقال، (۸) فشارسنج شماره ۲، (۹) مخزن تخلیه

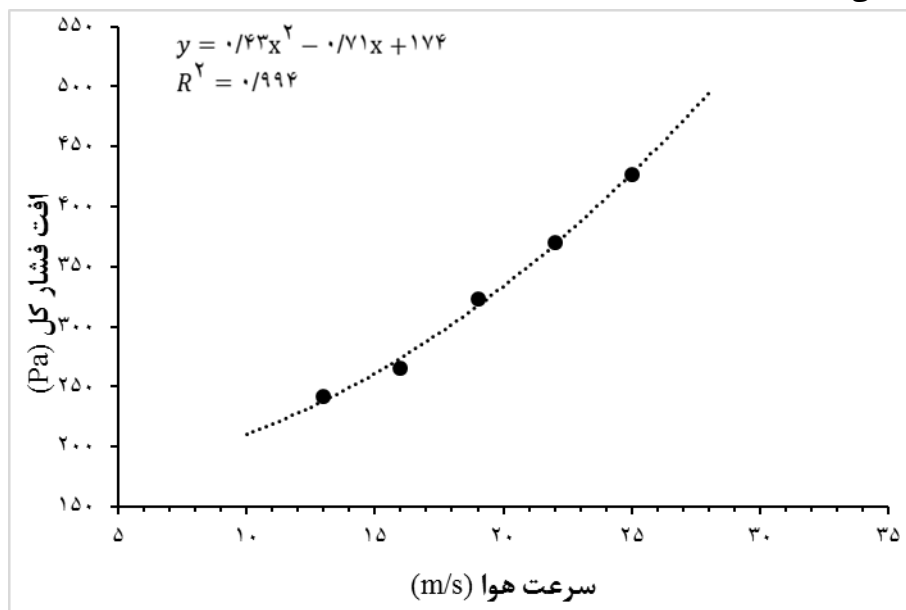
۳- نتایج و بحث

آنالیز واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تاثیر طول انتقال، دبی جرمی ذرات شکر و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل آن‌ها و اثر متقابل سه گانه فاکتورها، بر افت فشار هوا و شکر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

۳-۱- اثر سرعت هوای ورودی بر افت فشار هوا و شکر

با رسم نمودار سرعت هوا در مقابل افت فشار (شکل ۲) مشخص شد که با افزایش $92/3$ درصد سرعت هوای ورودی از 13 به 25 متر بر ثانیه، افت فشار هوا $76/3$ درصد افزایش یافته است. با افزایش سرعت هوای ورودی، برخورد دانه‌ها با یکدیگر و با

دیواره‌ی لوله بیشتر می‌شود، بنابراین مقاومت اصطکاکی و افت فشار افزایش می‌یابد [۹]. سانتوس^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۱ با ساخت نقاله نیوماتیک فاز رقیق برای ماده‌ی پلی استایرن^۲ (یونولیت)، نشان دادند که با افزایش سرعت هوای ورودی افت فشار بشدت افزایش پیدا می‌کند [۱۶].



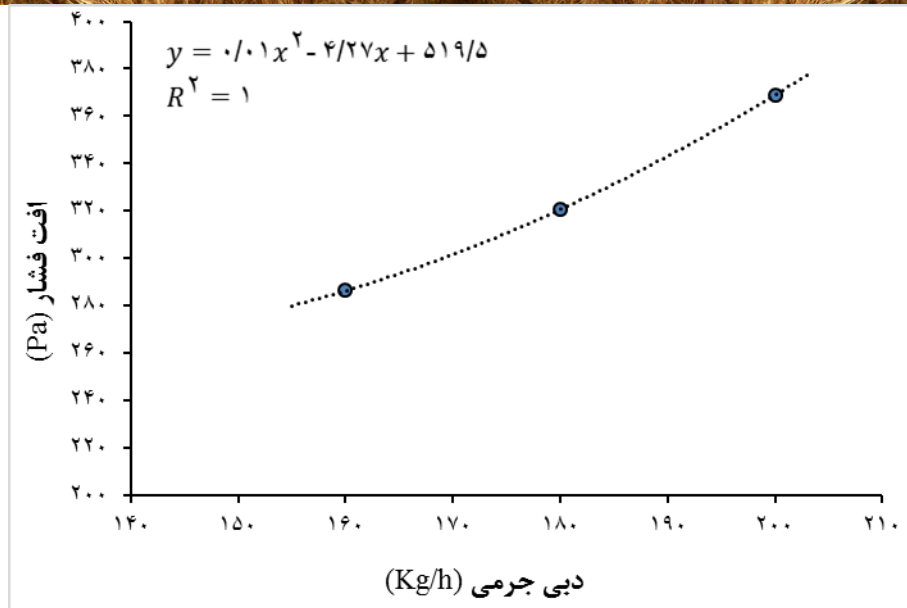
شکل ۱ نمودار تغییرات افت فشار هوا و شکر در سطوح مختلف سرعت هوای ورود

۳-۲- اثر دبی جرمی بر افت فشار هوا و شکر

با افزایش ۲۵ درصدی دبی جرمی شکر از ۱۶۰ به ۲۰۰ کیلوگرم بر ساعت، افت فشار هوا و شکر ۲۸/۸۸ درصد افزایش یافته است (شکل ۳). مطابق شکل با افزایش دبی جرمی، غلظت شکر در حال حرکت افزایش می‌یابد، در نتیجه برخورد ذرات با یکدیگر و سطح لوله بیشتر و مقاومت اصطکاکی و افت فشار افزایش می‌یابد. همچنین بدلیل افزایش تمرکز ذرات در واحد حجم، افت فشار استاتیکی ناشی از جابه‌جایی دانه‌ها نیز افزایش یافته و بنابراین فشار استاتیک بیشتری برای انتقال دانه‌ها مورد نیاز می‌باشد. ایمان‌مهر در سال ۱۳۸۷ پس از انتقال دانه‌های کلزا در سیستم انتقال فاز رقیق افقی گزارش کرد که با افزایش ۸۰ درصدی دبی جرمی افت فشار ۱۴/۲۲ درصد افزایش می‌کند [۱].

¹ - Santos

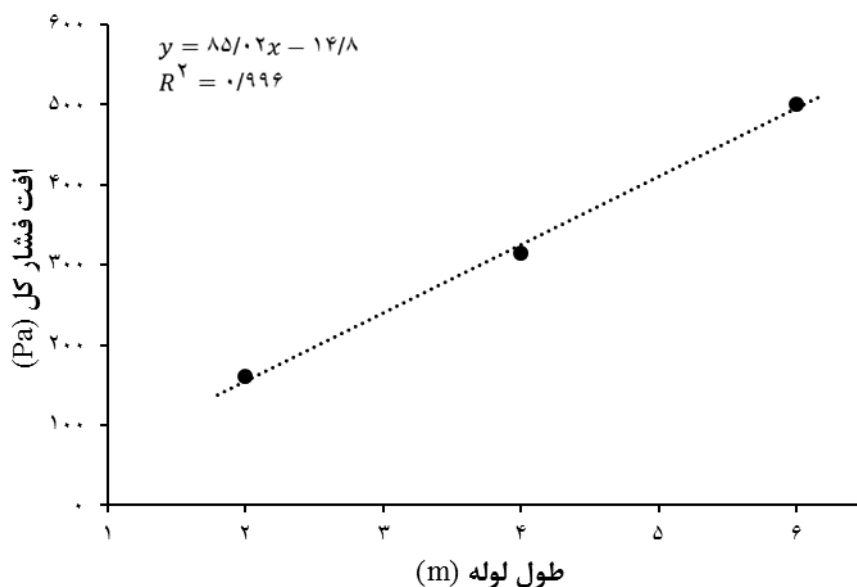
² - Polystyrene



شکل ۲ نمودار تغییرات افت فشار هوا و شکر در سطوح مختلف دبی جرمی

۳-۳- اثر طول لوله بر افت فشار هوا و شکر

بر اساس شکل (۴) میان افت فشار و طول لوله رابطه‌ی خطی برقرار است. با افزایش طول لوله، سطح تماس مخلوط هوا و دانه‌ها با سطح لوله بیشتر شده، در نتیجه افت فشار اصطکاکی افزایش یافته است. همچنین از آنجا که دانه باید در طول بیشتری جابه‌جا شود، افت فشار استاتیکی نیز بیشتر می‌شود [۱۵ و ۱۲].



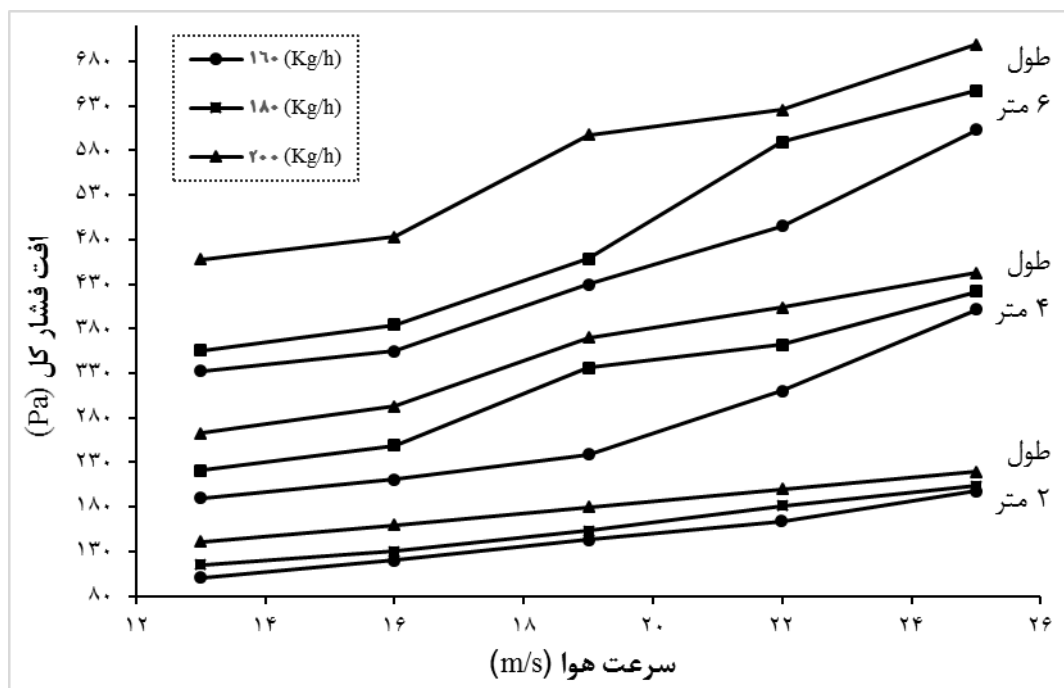
شکل ۳ نمودار تغییرات افت فشار هوا و شکر در سطوح مختلف طول لوله

۳-۴- اثر متقابل طول لوله، دبی جرمی و سرعت هوا بر افت فشار هوا و شکر

اثر متقابل طول، سرعت هوای ورودی و دبی جرمی بر میانگین‌های افت فشار هوا و شکر در شکل (۵) نشان داده شده است. در تمامی طول‌های انتقال، با افزایش سرعت هوای ورودی و به تبع آن افزایش سرعت حرکت ذرات شکر در هر دبی



جرمی، افت فشار اصطکاکی ناشی از برخورد ذرات به دیواره و هوا با دیواره‌ی لوله در هر سطح طول و دبی جرمی، افزایش یافته است. همچنین با افزایش دبی جرمی در هر سرعت، افت فشار کل افزایش یافته است. مطابق شکل (۵) بین میانگین‌های افت فشار در دبی جرمی ۱۶۰ و ۱۸۰ کیلوگرم بر ساعت در طول ۲ متر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد که علت احتمالی آن این است که در کمترین طول انتقال، تاثیر دبی جرمی بر افت فشار کم است و با افزایش طول، این تاثیر افزایش پیدا می‌کند. در سایر حالت‌ها اختلاف بین میانگین‌های افت فشار ناشی از اثر دبی جرمی، در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. بر اساس شکل (۵) با افزایش طول در هر دبی جرمی و سرعت افت فشار به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. ایمان‌مهر در سال ۱۳۸۷ و فتحی در سال ۱۳۸۹ پس از ساخت دستگاه انتقال نیوماتیک، به ترتیب برای کلزا و محصولات کشاورزی دانه‌ای نشان دادند که اثر متقابل طول لوله، دبی جرمی و سرعت هوا بر افت فشار معنی‌دار است [۱ و ۲].



شکل ۵ نمودار افت فشار کل در سطوح مختلف سرعت هوا، دبی جرمی و طول لوله

۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه به ترتیب کار عبارتند از:

۱-۵ نتایج حاصل از آزمایش‌های افت فشار

- ۱- آنالیز واریانس داده‌های افت فشار هوا نشان می‌دهد که تاثیر طول انتقال، سرعت هوای ورودی و اثر متقابل آن‌ها بر افت فشار هوا در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار است.
- ۲- با افزایش سرعت هوای ورودی از ۱۳ به ۲۵ متر بر ثانیه، افت فشار هوا ۳/۵ برابر بیشتر شده است.
- ۳- با دو برابر شدن طول لوله، افت فشار هوا ۲/۶ برابر شد.
- ۴- آنالیز واریانس داده‌های بدست آمده نشان می‌دهد که تاثیر طول انتقال، دبی جرمی ذرات و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل آن‌ها بر افت فشار کل در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار است.
- ۵- با افزایش دبی جرمی ذرات از ۱۶۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در ساعت افت فشار کل ۱/۲۸ برابر شد.



۶- نمودار شکل (۵) نشان می‌دهد که شیب خطوط افت فشار در طول ۶ متر به ترتیب بیشتر از ۴ متر و ۲ متر است که ثابت می‌کند با افزایش طول لوله، تاثیر ضریب اصطکاک ذرات شکر (R_z) بیشتر شده است.

منابع

- ۱- ایمان‌مهر، عبدالله، و قبادیان، برات. ۱۳۸۷، طراحی، ساخت و ارزیابی نقاله‌ی نیوماتیکی دانه کلزا در فاز رقیق، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، مشهد، انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- فتحی، سروش. ۱۳۸۹. طراحی و ساخت نقاله‌ی نیوماتیک مخصوص محصولات دانه‌ای پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. صص ۶۸ و ۹۴.
- 3- Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., and Hall, C. W. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. Springer Science & Business Media
- 4- Crane, J. W. and Carleton, W. M. 1957. Predicting pressure drop in pneumatic conveying of grains. *Agricultural engineering*, 37(3), 168-171.
- 5- Crowe, C. T. (1982). Review—numerical models for dilute gas-particle flows. *Journal of Fluids Engineering*, 104(3), 297-303.
- 6- Eskin, D. (2005). Modeling dilute gas-particle flows in horizontal channels with different wall roughness. *Chemical engineering science*, 60(3), 655-663.
- 7- Klinzing, G. E., Rizk, F., Marcus, R., and Leung, L. S. 2011. Pneumatic conveying of solids: a theoretical and practical approach (Vol. 8). Springer Science & Business Media. 216
- 8- Kqnnno, H., and Saito, S. 1969. Pneumatic conveying of solids through straight pipes. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 2(2), 211-217
- 9- Levy, A., and Kalman, C. J. 2001. Handbook of conveying and handling of particulate solids (Vol. 10), Elsevier
- 10- Marcus, R. D. 2012. Pneumatic conveying of solids. Springer Science & Business Media.
- 11- Mills, D. 2003. Pneumatic conveying design guide. Butterworth-Heinemann. 63
- 12- Mills, D., Jones, M. G., & Agarwal, V. K. 2004. Handbook of pneumatic conveying engineering. CRC Press
- 13- Misra, M. K. (1986). Conveyors for bulk handling of seed.
- 14- Raheman, H. I., and Jindal, V. K. 2001(a). Pressure drop gradient and solid friction factor in horizontal pneumatic conveying of agricultural grains. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(5), 649
- 15- Rhodes, M. J. 2008. Introduction to particle technology. John Wiley & Sons.
- 16- Santos, S. M., Tambourgi, E. B., Fernandes, F. A. N., Moraes Júnior, D., and Moraes, M. S. 2011. Dilute-phase pneumatic conveying of polystyrene particles: pressure drop curve and particle distribution over the pipe cross-section. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(1), 81-88.
- 17- Schlichting, H., and Gersten, K. 2003. Boundary-layer theory. Springer Science & Business Media.



- 18- Sommerfeld, M., and Kussin, J. 2004. Wall roughness effects on pneumatic conveying of spherical particles in a narrow horizontal channel. Powder Technology, 142(2), 180-192
- 19- Wen-Ching, Y. (2003). Handbook of fluidization and fluid-particle systems. China Particuology. CRC press.