

بررسی تاثیر پارامترهای جریان دوفازی بر تعیین قطر بهینه لوله‌های انتقال باطله جامد- مایع

اسماعیل لکزیان*

دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

نجمه دباغ زاده

دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

فرهاد رئوف شیبانی

مدیر بخش سد و نیروگاه، شرکت مشاور طوس آب، مشهد، ایران

چکیده

در برخی از معادن مس، آهن و روی از لوله جهت انتقال باطله جامد-مایع استفاده شده است. بهینه بودن قطر لوله‌ها به جهت صرفه‌جویی در انرژی و کاهش هزینه‌ها حائز اهمیت می‌باشد. با به دست آوردن تمامی هزینه‌ها و حداقل کردن هزینه کل می‌توان قطر بهینه را به دست آورد. نمودارهای تاثیر پارامترهای مهم نظیر: چگالی جامد، اندازه ذره‌های جامد، درصد حجمی جامد و لزجت بر قطر لوله باطله جامد- مایع ارائه شده است. همچنین؛ قطر بهینه در معدن مس سونگون بررسی شده که نتایج این تحقیق با نمونه ساخته شده انطباق خوبی دارد. **واژه‌های کلیدی:** قطر بهینه، پارامترهای تاثیرگذار، انتقال باطله جامد- مایع.

Investigation of the Effect of Two-phase Flow Parameters on Determining Solid-liquid Slurry Transport Pipes Optimal Diameter

E. lakzian

Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

N. Dabaghzade

Department of Mechanical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

F. Raouf Sheibani

Dam and power plant department, Toossab Consulting Engineers Company, Mashhad, Iran

Abstract

In some copper, iron and zinc mines, the pipelines are used to transport the solid-liquid mixtures. In this case, the pipeline diameter is important in order to reduce energy consumption and costs. Therefore, the optimal diameter must be determined to minimize the sum of the aforementioned costs. Therefore, diagrams of the influence of significant parameters for slurry solid-liquid pipe diameter e.g. density of solid, size of solid particles, volumetric fraction of solid and dynamic viscosity have been represented. So, the optimal diameter of Sungun copper mine has been investigated, and the results are in good agreement with those obtained from the manufactured model.

Keywords: Optimal diameter, effective parameters, transportation of solid-liquid mixtures.

پارامترهای تاثیرگذار و بررسی اثرات آنها، قطر بهینه برای خطوط انتقال باطله جامد- مایع معدن مس سونگون تعیین شده است.

۱- مقدمه

هزینه‌های کلی خطوط انتقال باطله جامد- مایع شامل؛ هزینه‌های تولید لوله، تعمیر لوله و توان مصرفی پمپ (هزینه جاری) می‌باشند. آلبرتسون و همکاران [۱] هزینه لوله‌ها و پمپ‌ها به عنوان هزینه اولیه، هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری به عنوان هزینه اضافی لوله در نظر گرفتند. فرانزینی و همکاران [۲] دریافتند که کل هزینه‌های سالیانه لوله‌های انتقال سیال، ترکیب خطی از تابع توان، بر اساس قطر لوله هستند.

سوام و فیلیون و همکاران [۳،۴] شیوه‌های بهینه‌سازی و طراحی را برای لوله‌های انتقال باطله جامد- مایع در نظر گرفتند. پاندی و همکاران [۵] تاثیر خوردگی را با اندازه‌گیری ضخامت و تخمین طول عمر لوله‌ها در نظر گرفتند. آسیم و همکاران [۶] هزینه‌های انرژی پمپاژ و تولید و تعمیر لوله‌ها را در نظر گرفتند. همچنین هزینه‌های تعمیر و قدرت پمپاژ باید به صورت تابعی از زمان در نظر گرفته شود. در تحقیق حاضر اثر پارامترهای زیر بررسی شده است: اندازه ذره‌های جامد، جنس (چگالی) جامد، درصد حجمی (جرمی) جامد، طول شکست، لزجت، راندمان پمپ و مشتق هزینه‌های موجود. با استفاده از این پارامترها هزینه کلی خطوط انتقال باطله محاسبه و پس از مشتق‌گیری قطر بهینه حاصل شده است که منجر به صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه‌ها می‌شود. همچنین با تعیین دقیق

۲- تئوری

در این تحقیق فرضیه‌های زیر در نظر گرفته شده است [۶]:

- ۱- افت هد ناشی از اتصال‌ها در لوله‌ها نادیده گرفته شده است.
- ۲- رژیم جریان غیرهمگن^۱ در نظر گرفته شده است.
- ۳- سرعت جریان به اندازه عدد ثابت $V_C = 0.12 \text{ m/s}$ بیشتر از سرعت ته‌نشینی است $(V = V_d + V_C)$.
- ۴- نرخ رشد زبری در سطح لوله در تمام سال‌های بهره‌برداری از لوله ثابت فرض شده است.
- ۵- پارامترهای وابسته به زمان به طور میانگین در هر ۵ سال یک بار ثابت در نظر گرفته شده است.

۲-۱- مدل انرژی پمپ^۲

معادله داریسی- ویسباخ^۱ برای سیال به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود [۷]:

^۱ heterogeneous

^۲ pumpine energy model

$$\eta_w \eta_m = ER \eta_s \eta_m = \eta \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) نشان دهنده راندمان کل، η_m راندمان موتور، η_s راندمان پمپ برای جامد، η_w راندمان پمپ برای آب و ER نسبت راندمان می‌باشد.

۲-۲- هزینه مدل

انرژی پمپ به صورت از رابطه (۱۱) تعیین می‌شود:

$$pt_T = \frac{\rho_L g \sum_{i=1}^{t_T} \Delta h_{s,i} \Delta t}{\eta} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) انرژی پمپ و Δt فاصله‌های زمانی ۵ ساله می‌باشد. هزینه انرژی پمپ از رابطه (۱۲) تعیین می‌شود:

$$C_{power} = \frac{\rho_L g \sum_{i=1}^{t_T} C_{1,i} \Delta h_{s,i} \Delta t}{\eta} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) C_I هزینه سالانه مصرف انرژی بر واحد توان استفاده شده به وسیله پمپ ($\$/w$) می‌باشد. هزینه تولید لوله از رابطه (۱۳) تعیین می‌شود:

$$C_{manuf} = \frac{C_2 \pi D t \gamma_p}{Q} \quad (13)$$

در رابطه (۱۳) C_2 هزینه لوله بر واحد وزن ماده (جنس) لوله ($\$/N$)، t ضخامت لوله (m) و γ_p وزن مخصوص برای جنس لوله (N/m^3) می‌باشد. هزینه تولید لوله را، از رابطه (۱۴) نیز می‌توان محاسبه کرد:

$$C_{manuf} = \frac{C_c C_2 \pi D^2 \gamma_p}{Q} = \frac{4 C_c C_2 \gamma_p}{V} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴) C_c ضریبی برای نرخ فشار می‌باشد. هزینه تعمیر لوله از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$C_{repair} = \frac{C_{break}}{Q} \sum_{i=1}^{t_T} N(t_i) \quad (15)$$

در رابطه (۱۵) C_{break} هزینه شکست لوله و $N(t)$ نرخ شکست می‌باشد. C_{break} وابسته به طول شکست می‌باشد. طول شکست به طولی گفته می‌شود که احتمال تخریب لوله وجود دارد، مقدار ($m/break$) به طور معمول در مراجع برای طول شکست استفاده می‌شود [۴]. نرخ شکست از رابطه (۱۶) تعیین می‌شود:

$$N(t_i) = N(t_1) e^{\phi(t_i - t_1)} \quad (16)$$

در رابطه (۱۶) t_1 زمان تعویض، $N(t_1)$ نرخ شکست اولیه، ϕ نرخ رشد شکست می‌باشد. مقدار نرخ شکست اولیه معمولاً ($break/km/year$) ۰/۰۴ و نرخ رشد شکست ($1/year$) ۰/۰۷ فرض می‌شود [۴].

هزینه کلی بر واحد طول لوله بر واحد حجم باطله جامد- مایع در سال‌های بهره‌برداری لوله در رابطه (۱۷) نشان داده می‌شود.

$$C_{total} = C_{power} + C_{manuf} + C_{repair} \quad (17)$$

۲-۳- قطر بهینه خطوط لوله

برای به دست آوردن قطر بهینه طبق رابطه (۱۸) از هزینه‌ها بر اساس قطر مشتق گرفته شده و مساوی با صفر قرار داده شده است.

$$\frac{dC_{total}}{dD} = 0 \quad (18)$$

³ ER

$$h_f = \frac{f l v^2}{2gD} \quad (1)$$

که در آن f ضریب اصطکاک، l طول لوله (m)، v سرعت سیال در لوله (m/s)، g شتاب گرانش (m/s^2) و D قطر لوله (m) می‌باشد.

برای باطله جامد- مایع با اندازه متفاوت در ذره‌های جامد، از معادله اصلاح شده دورند^۱ استفاده شده که در رابطه (۲) مطرح می‌شود [۸].

$$\Delta h_s = \Delta h_f + 2k(\phi_i^{-1.5}) C_v \Delta h_f \quad (2)$$

در این رابطه Δh_f افت هد بر واحد طول لوله به علت جریان مایع، k تابع اصلاح در معادله دورند، ϕ_i نرخ رشد شکست ($m/year$)، C_v درصد حجمی جامد در باطله می‌باشد.

رابطه (۳) سرعت ته‌نشینی را نشان می‌دهد [۶].

$$V_d = 1.87 \left(\frac{d}{D}\right)^{1/6} (2gD \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L})^{0.5} \quad (3)$$

در رابطه (۳) ρ_L چگالی مایع (kg/m^3)، ρ_s چگالی جامد (kg/m^3) و d قطر ذره‌های جامد توزیع شده (μm) می‌باشد.

مقدار C_v می‌تواند توسط دبی جرمی خروجی جامد (kg/s)، رابطه (۴) محاسبه شود. نرخ جریان حجمی مایع (m^3/s) در رابطه (۵) نمایش داده شده است.

$$m_s = \frac{\pi D^2 V C_v \rho_s}{4} \quad (4)$$

$$Q_L = \left(\frac{\pi D^2 V}{4}\right) (1 - C_v) \quad (5)$$

با فرض نبودن لغزش نرخ جریان حجمی کل (m^3/s) به صورت رابطه (۶) مطرح می‌شود:

$$Q = \frac{m_s}{\rho_s} + Q_L \quad (6)$$

با داشتن سرعت ته‌نشینی و چگالی نیز می‌توان ضریب پسا (C_D) را از رابطه (۷) دست آورد.

$$C_D = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{16} Re\right) \quad (7)$$

در رابطه (۷) Re نشان دهنده عدد رینولدز باطله جامد- مایع می‌باشد. رابطه (۸) عدد رینولدز باطله جامد- مایع در حال حرکت را نشان می‌دهد.

$$Re = \frac{\rho_s V_o d}{\mu} \quad (8)$$

در رابطه (۸) μ لزجت ($Pa.s$) و V_o سرعت ته‌نشینی (m/s) می‌باشد. سرعت ته‌نشینی^۲ در رابطه (۹) بیان شده است.

$$0.1 < Re < 10$$

$$M = \left[\frac{3.6\mu}{(g(\rho_s - \rho_L)^{0.28}) \rho_L^{0.27}} \right]^{0.82} \quad (9)$$

$$\begin{cases} d < M & V_o = \frac{g(\rho_s - \rho_L)d^2}{18\mu} \\ d > M & V_o = \frac{0.2(g \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_L})^{0.72} d^{1.18}}{\left(\frac{\mu}{\rho_L}\right)^{0.45}} \end{cases}$$

راندمان کل در رابطه (۱۰) مطرح شده است [۹-۱۰]. اثر ذره‌های جامد بر راندمان پمپ به صورت نسبت راندمان^۴ در نظر گرفته می‌شود.

³ Darcy- weisbach

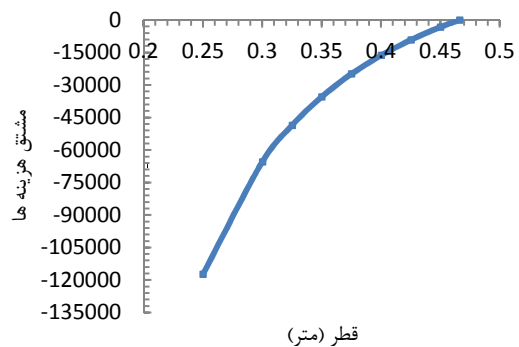
¹ Durand

² Settling

۳- بحث و بررسی نتایج

۳-۱- تعیین قطر بهینه برای معدن مس سونگون

قطر بهینه با استفاده از مشتق هزینه‌ها تعیین می‌شود. در صورت نزدیک شدن مشتق هزینه‌ها به صفر، قطر نیز به قطر بهینه نزدیک می‌شود. اطلاعات مورد نیاز برای طراحی قطر بهینه خطوط انتقال باطله معدن مس سونگون در جدول ۱ ذکر شده است. ابتدا با توجه به پارامترهای تاثیرگذار مشخص شده و با بررسی این پارامترها در نهایت قطر بهینه به دست آمده است که انطباق خوبی با نمونه ساخته شده دارد. جهت خرید تجهیزات در کشور انگلستان محاسبه‌های مربوط به هزینه بر اساس پوند انجام شده است. با توجه به نمودار مشتق هزینه‌ها در شکل ۱ قطر بهینه خط انتقال حدود ۴۶۶ میلی متر به دست می‌آید.



شکل ۱- مشتق هزینه‌ها بر اساس قطر، نقطه تلاقی با محور حقیقی نشان دهنده قطر بهینه

جدول ۱- اطلاعات طراحی معدن مس سونگون

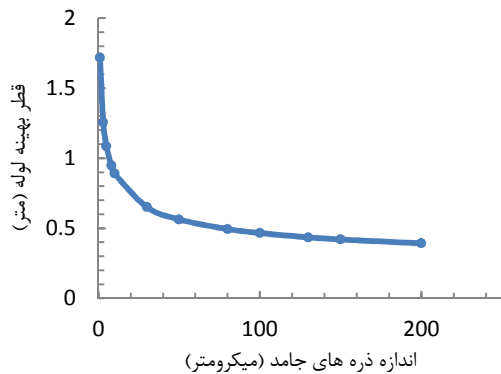
پارامتر	مقدار
d	0.100 mm
μ	0.008 pa/s
ρ_L	1000 kg/m ³
ρ_s	2750 kg/m ³
V	2.290 m/s
V_C	0.200 m/s
C_w	50 %
C_c	0.033
C_2	0.100 £/N
$C_{1,1}$	2.680 £
Q	0.334 m ³ /s
S	2.820
ε	0.00609 mm
γ_p	78480 N/m ³
Lb	9 m
ER	0.950
EW	0.025 m/year
η_{bv}	0.600
η_m	0.900
η	0.513
$N(t_1)$	0.040 break/km/year
φ	0.07 1/year

۳-۲- پارامترهای تاثیر گذار بر قطر بهینه

۳-۲-۱- اندازه ذره‌های جامد

اندازه ذره‌های جامد یکی از موثرترین پارامترها برای تعیین قطر بهینه می‌باشد. اندازه ذره‌های جامد در بازه ۱-۲۰۰ میکرومتر بررسی شده است. با افزایش اندازه

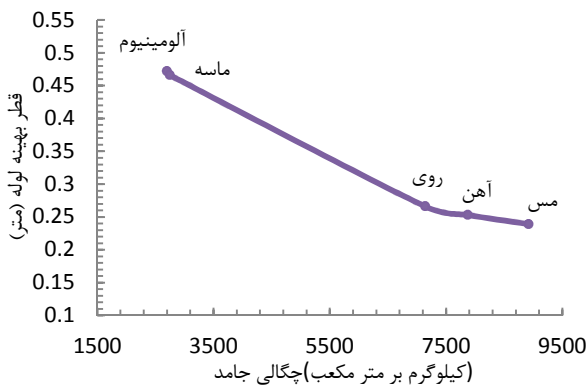
ذره‌های جامد بر طبق رابطه (۹) و در نتیجه طبق شکل ۲ قطر بهینه نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۲- تاثیر اندازه ذره‌های جامد بر قطر بهینه، در محدوده اندازه ذره‌های ۱-۲۰۰ میکرومتر

۳-۲-۲- چگالی جامد

چگالی جامد نیز در انتخاب قطر بهینه موثر می‌باشد. چنانچه روی، آهن و مس که با داشتن چگالی بیشتر نسبت به آلومینیوم^۱ و ماسه باعث افزایش سرعت ته نشینی و عدد رینولدز و نیز کاهش دبی جرمی و ضریب پسا می‌شوند و در نتیجه قطر بهینه را کاهش می‌دهند (شکل ۳).



شکل ۳- تاثیر چگالی جامد بر قطر بهینه خطوط انتقال باطله جامد- مایع

۳-۲-۳- درصد حجمی باطله

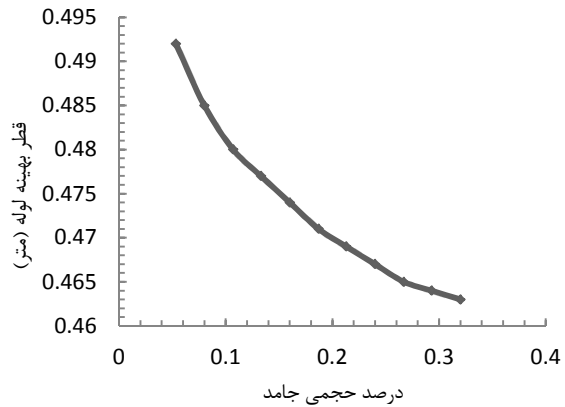
درصد حجمی باطله بر انتخاب قطر بهینه تاثیر می‌گذارد. محدوده در صد حجمی به گونه ای تغییر داده شده، که در صد جرمی بین ۶۰-۱۰٪ قرار گیرد. با افزایش درصد حجمی (جرمی) باطله قطر بهینه کاهش می‌یابد (شکل ۴). با انتخاب در صد حجمی مناسب، قطری بهینه برای لوله انتخاب می‌شود اما در زمان بهره برداری ممکن است این در صد حجمی تغییر کند، در نتیجه قطر انتخابی برای این حالت بهینه نمی‌باشد و تلفات انرژی را در پی خواهد داشت.

^۱ Aluminium

مایع می‌توان در مصرف انرژی صرفه جویی کرد و پمپ‌هایی با توان و هزینه‌های اولیه و جاری کمتری به کار برد.

۵- مراجع

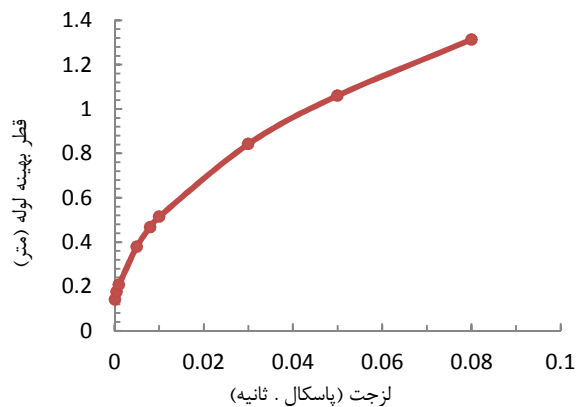
- [1] Albertson ML, Barton JR, Simons DB. Fluid mechanics for engineers. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1960.
 [2] Franzini JB, Finnemore EJ, Daugherty RL. Fluid mechanics with engineering applications. New York, NY: McGraw Hill; 1997.
 [3] Swamee PK. Design of sediment-transporting pipeline. J Hydraul Eng ;121:72e6,1995.
 [4] Filion YR, MacLean HL, Karney BW. Life-cycle energy analysis of a water distribution system. J Infrastruct Syst;10(3),120e30, 2004.
 [5] Pandey MD, Lu D, Komljenovic D. The impact of probabilistic modeling in lifecycle management of nuclear piping systems. J Eng Gas Turbines Power;133(012901):1e9, 2011.
 [6] Asim T, Mishra R, Kollar LE, Pardhan SR. Optimal sizing and life-cycle cost modeling of pipeline transporting multi-sized solid-liquid mixtures. In: international journal of pressure vessel and piping, 113:40e8, 2014
 [7] Streeter VL, Wylie BE. Fluid mechanics. Int. Stud. Ed. New York, NY: McGraw- Hill Book Co., 1983.
 [8] Mishra R. A study on the flow of multi-sized particulate solid-liquid mixtures in horizontal pipelines. PhD thesis. Delhi: Department of Applied Mechanics, Institute of Technology, 1996.
 [9] Gandhi BK, Singh SN, Seshadri V. Performance characteristics of centrifugal slurry pumps. J Fluid Eng, 123:271e80, 2001.
 [10] Mecrow BC, Jack AG. Efficiency trends in electric machines and drives. Energ Pol, 36, 4336e41. 2008.



شکل ۴- تاثیر درصد حجمی بر قطر بهینه خطوط انتقال باطله جامد- مایع

۳-۲-۴- تاثیر لزجت بر قطر بهینه

لزجت باطله عاملی موثر بر انتخاب قطر بهینه می‌باشد. در حالت کلی و با توجه به شکل ۵ افزایش لزجت منجر به افزایش قطر بهینه می‌شود. اثر لزجت در محدوده $0.0001 - 0.08$ Pa.s بررسی شده است.



شکل ۵- تاثیر لزجت بر قطر بهینه خطوط انتقال باطله جامد- مایع

۴- نتیجه گیری

در تعیین قطر بهینه برای لوله‌های انتقال باطله جامد- مایع انتخاب صحیح پارامترهای تاثیر گذار مهمترین و حساس ترین مرحله تحقیق می‌باشد. در این تحقیق با بررسی‌های تمامی پارامترهای تاثیر گذار، روش مناسبی را برای انتخاب قطر بهینه ارائه می‌کند، که منجر به صرفه جویی انرژی و کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

ازجمله پارامترهای مهم برای تعیین قطر بهینه، اندازه ذره‌های جامد، درصد حجمی باطله و چگالی جامد می‌باشد. افزایش این پارامترها منجر به افزایش قطر بهینه می‌شود. همچنین افزایش لزجت باعث افزایش قطر بهینه خطوط انتقال باطله می‌گردد. با آگاهی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار بر قطر بهینه، می‌توان به راحتی قطری مناسب را برای لوله‌ها انتخاب کرد. بنابراین پیشنهاد شده است که برای انتخاب قطر بهینه از روش ارائه شده در این تحقیق استفاده گردد. با انتخاب دقیق قطر بهینه برای لوله‌های انتقال باطله جامد-