نشریه علم و فناوری در مهندسی مکانیک

سال ۱۴۰۲ / دوره پاییز و زمستان /شماره ۲ /صفحه ۴۹-۵۶

DOI: 10.22034/STME.2024.462509.1063

بررسی شرایط تاثیرگذار بر عملکرد اسکرو کانوایر با هدف اصلاح یا بازطراحی مکانیزم آن در مجتمع مس شهربابک

مهدی آخوندی زاده[1*]، میثم آتش افروز[2]، کامران فتحی پور[3]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

۳- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

چکیده

در پژوهش پیش رو، مشکلات عملکردی اسکروفیدر-کانوایر مجتمع مس شهربابک بررسی شده است. در این راستا، طراحی سیستم، براساس کدهای طراحی، مطالعه شده و درستی طراحی اسکرو، متناظر با شرایط کارکرد، ارزیابی شده است. نمودارهای تغییر سرعت اسکرو، نرخ انتقال بار و نرخ تخلیه دوزین بین در زمان‌ها و شرایط کاری مختلف از اتاق کنترل دریافت و به دقت ارزیابی شده است. داده‌های تجربی مشخص کرد که نرخ انتقال اسکرو، در شرایط مختلف، مقادیری دارد که با رابطه تئوری که در مراجع برای محاسبه آن ارائه شده است همخوانی ندارد. بنابراین، از داده‌برداری در شرایط مختلف، برای اصلاح ضریب معادله تئوری کمک گرفته شد تا بتوان محاسبات تئوری را به مقادیر واقعی نزدیک کرد. با ضرایب اصلاحی محاسبه شده، امکان بررسی ظرفیت طرح قبلی اسکرو و طرح جدید، در شرایط مختلف فراهم شد و بر این اساس، ظرفیت بیشینه اسکرو محاسبه شد. بازطراحی اسکرو براساس شرایط مواد و نرخ مورد تقاضا انجام شده است.

کلمات کلیدی

طراحی نقاله‌ها، اسکرو کانوایر، اسکرو فیدر، جریان مواد دانه‌ای، شیب اسکرو.

Study the influencing parameters on performance of screw conveyor in order to redesign it in ShahreBabak copper complex

Mehdi Akhondizadeh[1*], Meysam Atashafrooz[1], Kamran Fathipour[1]

1- Mechanical Engineering Department, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran

Abstract

In the present work, the performance of a case study screw conveyor in Shahrebabak copper complex has been studied. The design of screw based on the standard design codes, especially CEMA code, has been investigated to determine the design problems. The variation graphs of the screw speed, material rate and the upper bin discharge have been recorded to use in evaluations. Data collection revealed that the screw conveying rate of material did not match with the evaluations which given by the standard codes for the conveying capacity of screw. The data were used to derive a correction factor between the operational data and theoretical relations of conveying capacity. By the obtained correction factor, the relation for evaluation of the case screw capacity was derived and by with, the maximum screw capacity was determined. Redesign of screw, according to the material conditions and required capacity (of about 72 t/h) has been performed.

Keywords

Conveyor design, Screw conveyor, Screw feeder, Material handling, Screw slope.

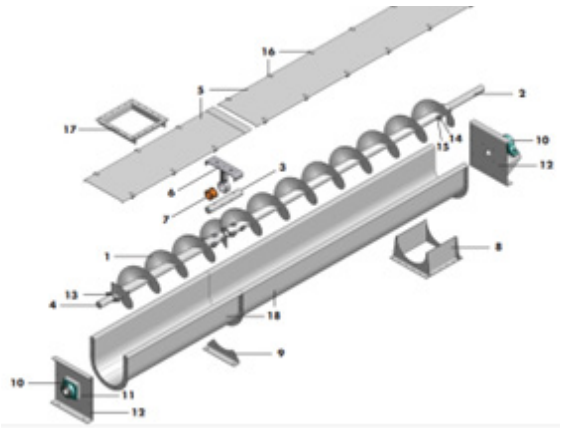
مهدی آخوندی زاده، m.akhondizadeh@sirjantech.ac.ir

۱-مقدمه

امروزه، اسکرو کانوایرها در صنایع متعدد از جمله صنایع معدنی، کشاورزی، پزشکی و تولید، برای انتقال مواد دانه‌ای و فله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. براساس اینکه پارامترهای متعددی بر عملکرد آنها در انتقال مواد تاثیر گذار است مطالعات متعدی در این حوزه در حال انجام است. روش‌های تحقیق در این زمینه، شامل مطالعات تئوری مبتنی بر روابط مکانیکی و هندسی، شبیه سازی المان گسسته، که روشی برای محاسبه سینماتیک جریان ذرات است، برای بررسی نحوه حرکت مواد و مطالعه سینماتیک حرکت مواد و تحقیقات بر پایه آزمایش می‌باشد. ژیائوژیا و همکاران [۱] حرکت فاز جامد-گاز را در یک اسکرو کانوایر عمودی مطالعه کردن تا تابع توزیع سرعت ذرات محیطی در راستای شعاع مشخص گردد. لیکینگ و همکاران [۲] تاثیر زاویه خم پره‌ها را بر عملکرد اسکرو کانوایر در یک معدن ذغال سنگ به کمک شبیه سازی المان محدود مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش زاویه خم پره تا یک میزان مشخص موجب افزایش نرخ انتقال و فراتر از آن مقدار باعث کاهش ظرفیت انتقال می‌شود. اوون و کلیری [۳] با استفاده از شبیه سازی المان گسسته تاثیر پارامترهای تاثیرگذار مثل سرعت دورانی اسکرو، زاویه، قطر اسکرو، گام و قطر پایپ را بر عملکرد اسکرو مورد مطالعه قرار دادند. یانکین [۴] مطالعه جامع عملکرد اسکرو کانوایرها در قالب مطالعات تئوری و مقایسه و اعتبار سنجی با کار آزمایشگاهی را در رساله دکتری خود انجام داد. در کنار منابع ذکر شده، استاندارد ANSI/CEMA [۵] ابزار قدرتمندی در طراحی و انتخاب اسکرو کانوایر و فیدرها در اختیار طراحان قرار داده است. همه شرایط عملکردی و قطعات مورد نیاز برای اسکرو کانوایرها براساس شرایط و نوع بار مورد انتقال، از این استاندارد قابل استخراج است. در کار حاضر، نتایج بررسی عملکرد یک اسکرو کانوایر، که براساس تقاضای مجتمع مس شهربابک، برای رفع مشکلات آن انجام شده است، ارائه می‌شود. نتایج داده برداری تجربی، برای تشخیص وضعیت فعلی، در متن تشریح شده است. علاوه بر نتایج داده برداری، از استاندارد ANSI/CEMA در محاسبه پارامترهای عملکردی استفاده شده است. ضرایب معادله محاسبه نرخ انتقال اسکرو، با انطباق نتایج تجربی و محاسبات تئوری، استخراج شده است. از ضرایب استخراج شده، برای بازطراحی اسکرو استفاده شده است.

۲-معرفی اسکروکانوایر

اسکروفیدرها و کانوایرها، از فرآیند جابجایی مثبت مواد در تماس با حلزونی، برای تغذیه و یا انتقال مواد استفاده می‌کنند. اصل کارکرد این تجهیزات به این صورت است که، در اثر یک دور دوران حلزون، چون مواد تقریبا نمی‌چرخند ولی حلزون می‌چرخد، مواد برای انطباق موقعیت در تماس خود با حلزون، مجبور هستند در امتداد محور دوران جابجا شوند و این فرآیند جابجایی مثبت گفته می‌شود. اجزای اصلی اغلب این تجهیزات، در شکل ۱ نشان داده شده و در جدول ۱ معرفی شده‌اند.



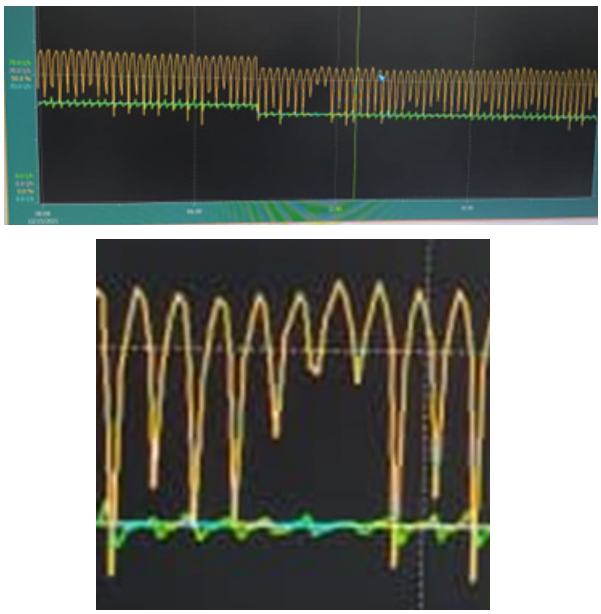
شکل ۱- شماتیک اجزای اصلی اسکرو کانوایرها[۵]

جدول ۱- اعضای اسکرو کانوایر متناظر با شکل ۱

۱ اسکرو	۱۰ بیرینگ انتهایی
۲ شفت	۱۱ آب بند
۳ کوپلینگ	۱۲ صفحات انتهایی
۴ شفت انتها	۱۳ بوش
۵ درپوش	۱۴ پیچ کوپلینگ
۶ نشیمنگاه بیرینگ	سایر اجزا

۳-بیان مساله

در جلسات حضوری با افراد فنی مرتبط با موضوع، مشخص شد، اسکروکانوایر که توسط طراح، Autotech، ظرفیت نامی ۷۲ تن بر ساعت برای آن ادعا شده است، امکان افزایش ظرفیت بیش از ۵۰ تن بر ساعت را نداشته و لذا، طرح اولیه تغییر کرده است. ظاهراً، در طرح جدید، مشکل ظرفیت برطرف شده و اسکرو قابلیت افزایش ظرفیت را دارد. مشکل طرح جدید این است که، هنگام تغییر ظرفیت اسکرو، که با تغییر سرعت آن انجام می‌شود، تثبیت ظرفیت با تاخیر حاصل می‌شود. یعنی مثلا وقتی از اپراتور، فرمان تغییر ظرفیت از ۴۵ تن بر ساعت به ۵۵ تن بر ساعت صادر می‌شود، مدت زمانی طول می‌کشد تا ظرفیت تثبیت شود. همچنین، وابستگی این نوسانات ظرفیت، به میزان پرشدگی مخزن بالادست اسکرو (دوزین بین) نیز افزایش یافته است. نمونه‌ای از تغییرات سرعت و تغییر تناژ در مدت ۲۴ ساعت در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل، تغییرات مکرر تناژ و سرعت قابل مشاهده است. برای وضوح بیشتر، بخشی از نمودار، بزرگنمایی شده است.



شکل۲. تغییرات تناژ و سرعت در مدت ۲۴ ساعت

مقادیر متناظر با نمودار شکل ۲، در جدول ۲ داده شده است. فرکانس تغییرات سرعت و تناژ، در این بازه زمانی، حدود ۳ سیکل تغییرات در هر ساعت است. یعنی هم سرعت و هم تناژ انتقالی، سه بار در یک ساعت، به مقدار بیشینه و کمینه رسیده است.

جدول ۲- مقادیر متناظر با تغییرات سرعت و تناژ شکل ۲

پارامتر	سرعت (دور در دقیقه)	تناژ (تن بر ساعت)
کمترین	۲۹/۷	۴۷/۲
بیشترین	۶۰	۵۸/۳
متوسط	۵۰/۸	۵۱/۶

مقادیر پارامترهای هندسی اسکرو، در جدول ۳ آورده شده است. پارامترهای ابعادی، در این جدول، بر حسب میلی‌متر هستند.

ملاحظه می‌شود که، تغییرات طرح جدید، نسبت به طرح اولیه، شامل کاهش قطر لوله و افزایش گام تغذیه بوده است که هردو، منجر به افزایش ظرفیت اسکرو خواهد شد. اما ظاهراً این افزایش ظرفیت، اسکرو را از کنترل پذیری خارج کرده است. این موضوع، در کار حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۳- پارامترهای طراحی طرح اولیه و طرح جدید

پارامتر	طرح اولیه	طرح جدید
قطر اسکرو	۵۳۰	۵۳۰
قطر لوله	۳۳۵	۲۵۰
تعداد راه	۲	۲
گام تغذیه	۲۲۰	۳۵۰
گام انتقال	۲۵۰	۲۵۰
طول تغذیه	۷۵۰	۷۵۰
طول انتقال	۴۵۰۰	۴۵۰۰
توان موتور	۷۵ کیلووات	۷۵

۴-محاسبات ظرفیت اسکرو

ظرفیت اسکرو کانوایر برحسب پارامترهای عملکردی آن با رابطه زیر محاسبه می‌شود: [۵]

$$C = \frac{0.4712n\left(D_s^2 - D_P^2\right)PK}{1728} \qquad (۱)$$

که در آن، C ظرفیت انتقال اسکرو بر حسب فوت مکعب بر ساعت، n سرعت دوران اسکرو (دور در دقیقه)، P گام اسکرو بر حسب اینچ، K درصد پرشدگی، D_s قطر اسکرو و D_p قطر لوله، هر دو بر حسب اینچ، هستند. معادله (۱) رابطه معتبری برای محاسبه ظرفیت اسکرو کانوایر است [۸-۶]. معادله (۱) بر حسب تن بر ساعت، با لحاظ کردن یک ضریب اصلاحی، بصورت زیر است:

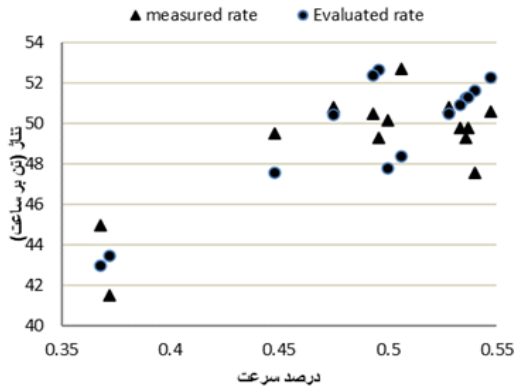
$$Q(t/h)=\frac{PKC_r\rho n\left(Ds^2-Dp^2\right)}{117} \qquad (۲)$$

که در آن ρ چگالی توده مواد بر حسب تن بر متر مکعب، n سرعت دوران اسکرو بر حسب دور در دقیقه و C_r ضریب اصلاحی است. ظرفیت انتقال اسکرو، یا همان تناژ، در شرایط مختلف از اتاق کنترل دریافت شده و همچنین، با معادله (۲) نیز محاسبه شده است و نتایج، در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول، همچنین، ضریب اصلاحی لازم برای نزدیک شدن مقادیر محاسبه شده با داده‌های واقعی نیز داده شده است. در این جدول، سرعت بصورت درصد سرعت نامی، ۱۴۶۰ دور در دقیقه، بیان شده است.

جدول ۴- مقادیر تناژ و سرعت اسکرو، و ضریب اصلاحی C_r

ردیف	ظرفیت انتقال (تن بر ساعت)	درصد سرعت	C_r
۱	۵۵	۶۶	۰/۳۹
۲	۵۸	۷۴	۰/۳۶
۳	۴۸/۶	۴۵/۳	۰/۵
۴	۵۲	۴۴	۰/۵۵
۵	۴۹/۹	۵۵/۴	۰/۴۲
۶	۴۹/۱	۵۲	۰/۴۴
۷	۵۶/۳	۳۵/۳	۰/۷۵
۸	۵۰/۳	۷۷/۷	۰/۳
۹	۴۹	۵۰/۶	۰/۴۵
۱۰	۴۸/۶	۴۵/۳	۰/۵
۱۱	۵۰/۲	۵۵/۳	۰/۴۲
۱۲	۵۶/۲	۳۳/۳	۰/۷۹

ملاحظه می‌شود که تقریبا در تمامی موارد، برای آنکه رابطه تئوری محاسبه نرخ تغذیه و مقادیر اندازه گیری شده، به هم نزدیک شود، نیاز به لحاظ کردن ضریب کوچکتر از ۱ بعنوان ضریب اصلاحی، است. برای اعتبارسنجی این ضرایب اصلاحی، داده‌های مربوط به تناژ و سرعت، در زمانی دیگر، ثبت می‌شود و با رابطه محاسباتی نیز محاسبه می‌گردد. مقایسه این مقادیر اندازه گیری شده و محاسباتی با ضریب C_r=۰.۴۵، برای تناژ بالای ۵۰ تن بر ساعت و C_r=۰.۵ برای نرخ کمتر از ۵۰ تن بر ساعت، در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مقایسه تناژ اندازه‌گیری و محاسبه شده، با لحاظ کردن ضریب اصلاحی

علاوه بر اندازه‌گیری‌های انجام شده از عملکرد اسکرو، مرور تحقیقات محققان و نتایج آزمایشگاهی شرکت‌های سازنده نشان می‌دهد که عواملی در ضریب اصلاحی تاثیرگذار هستند. طبق استاندارد ANSI/CEMA، عوامل زیر بر ضریب اصلاحی تاثیرگذار هستند:

- نسبت گام به قطر اسکرو
- شکل پره‌های اسکرو
- نیاز به استفاده از اسکرو جهت اختلاط مواد در طول مسیر

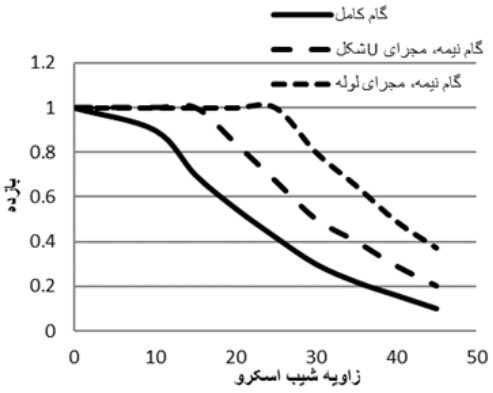
برای نسبت گام به قطر، پیشنهاد شده است که استانداردهای خاصی رعایت شود. نسبت‌های استاندارد شامل ۰/۵، ۲/۳ ، ۱ و ۱/۵ هستند. برای اسکرو طرح جدید، که این نسبت حدود ۲/۳ است، تاثیر این نسبت در ضریب اصلاحی، حدود ۰/۶۶ می‌باشد.

شکل پره‌های اسکرو کار حاضر، استاندارد است. این فاکتور برای این اسکرو بی‌تاثیر است و اثر آن، با ضریب ۱ لحاظ می‌شود. نیاز به اختلاط مواد، در اسکرو حاضر، مطرح نیست و این فاکتور نیز بی‌تاثیر است.

محققان، تاثیر فاکتورهای دیگری را در ضریب اصلاحی، از طریق آزمایش و شبیه‌سازی، مشاهده کرده‌اند. این فاکتورها عبارتند از: شیب، سرعت دورانی و زاویه انحنای پره اسکرو در نمودارهایی که در ادامه ارائه می‌شود، زاویه پره مقادیر مثبت و منفی دارد. زاویه مثبت به معنای انحنای خلاف جهت حرکت مواد است.

براساس منحنی‌هایی که در شکل ۴ نشان داده شده است، شیب اسکرو بین ۱۰ تا ۲۰ درجه باعث کاهش ظرفیت انتقال بین ۱۰ تا ۴۰ درصد می‌شود. برای این محدوده شیب، گام ۲/۳ توصیه می‌گردد [۹].

دو تحقیق دیگر، اثر شیب اسکرو، زاویه انحنای پره و سرعت اسکرو بر نرخ انتقال را مورد بررسی قرار دادند. درواقع، سرعت اسکرو قطعا بر نرخ انتقال تاثیرگذار است اما استاندارد ANSI/ CEMA این تاثیر را خطی می‌داند. از نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۴ تا ۶ می توان این ارتباط را بررسی کرد که آیا نتایج تحقیقات هم این ارتباط خطی را تایید می‌کنند یا خیر.



شکل ۴- تغییرات بازده اسکرو نسبت به زاویه شیب اسکرو [۹]

بررسی نمودارها نشان داد که براساس داده‌های مرجع [۲] تغییر نرخ با ضریب ۰/۸۵ به تغییر سرعت مرتبط است و براساس داده‌های مرجع [۳] تغییر نرخ با ضریب ۱ به تغییر سرعت مرتبط است. یعنی در حالت اول، در شرایط ثابت سایر پارامترها، اگر سرعت x برابر شود نرخ تغذیه ۰.۸۵x برابر می‌شود و در حالت دوم، در شرایط ثابت سایر پارامترها، با x برابر شدن سرعت، نرخ نیز x برابر می‌شود. همچنین مشاهداتی نشان داده است که یک اسکرو استاندارد با شیب ۱۵ درجه ظرفیت حدود ۷۵٪ ظرفیت حالت افقی خود را خواهد داشت و با شیب حدود ۲۵ درجه حدود ۵۰٪ ظرفیت خود را از دست خواهد داد [۱۰].

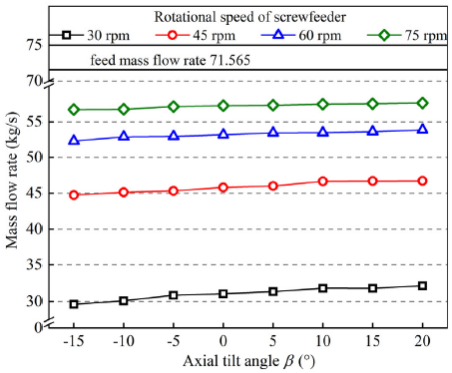
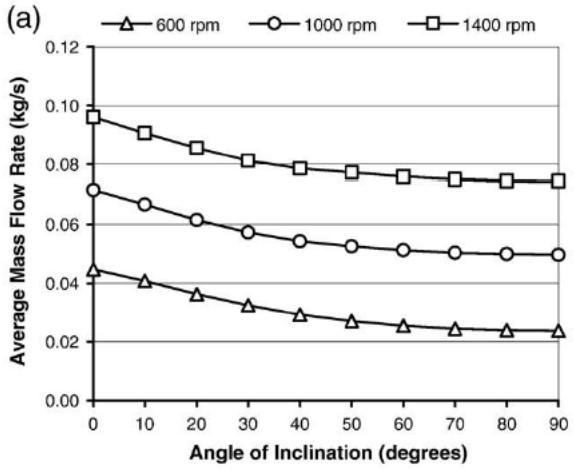


Fig. 12. The mass flow rate versus axial tilt angle.

شکل ۵- تاثیر زاویه پره و سرعت اسکرو بر نرخ انتقال مواد[۲]



شکل ۶- تاثیر شیب اسکرو و سرعت اسکرو بر نرخ انتقال مواد [۳]

نتیجه‌گیری کلی راجع به مقدار ضرایب اصلاحی مورد استفاده در معادله محاسبه نرخ:

- نقش نسبت گام به قطر در ضریب اصلاحی با ضریب ۰/۶۶ لحاظ می‌شود.

• در مورد تاثیر سرعت بر ضریب اصلاحی، جمع‌بندی قطعی بدست نمی‌آید و بنظر می‌رسد در محدوده سرعت اسکرو مورد بحث، که بیشترین مقدار آن، ۲۶ دور دقیقه است، رابطه خطی بین نرخ انتقال و سرعت اسکرو، به واقعیت نزدیکتر است و ضریبی در معادله لحاظ نمی‌گردد.

• برای تاثیر زوایه شیب ۱۷ درجه‌ای اسکرو، ضریب کاهشی ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

• در مورد زاویه خمیدگی، تاثیر زیادی ذکر نشده است و ضریبی مربوط به آن در نظر گرفته نمی‌شود.

جمع‌بندی تاثیر این عوامل، بر ضریب اصلاحی را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

$$C_r = 0.88 * 0.66 = 0.528 \quad (۳)$$

لازم به ذکر است، که داده‌های واقعی، در خصوص میانگین ضریب اصلاحی، به عدد ۰/۴۵ رسید.

ظرفیت اسکرو جدید، در سرعت حداکثری ۱۰۰٪، براساس ضریب اصلاحی ۰/۴۵ و ۰/۵۲ بین ۹۵ تا ۱۱۰ تن بر ساعت بدست می‌آید که بسیار نزدیک به مشاهدات اپراتورها از اسکرو است.

۵- بازطراحی اسکرو

همان‌گونه که در بخش‌های قبل ذکر شد، اسکرو طرح قبل، ظرفیت مورد تقاضای مجتمع مس شهربابک را تامین نکرده است. اسکرو طرح قبل، با فرض ضریب اصلاحی ۰/۵۶، در حداکثر سرعت، یعنی ۲۶ دور در دقیقه، ظرفیت حدود ۵۰ تن بر ساعت دارد. استاندارد ANSI/CEMA، برای اسکرو ۲۰ اینچ، حداکثر سرعت حدود ۹۴ دور در دقیقه را، برای مواد فعلی، مجاز می‌داند. مشخص نیست که چرا سرعت اسکرو فعلی به ۲۶ دور در دقیقه محدود شده است. شاید ملاحظات مربوط به کاهش نرخ سایش، در این محدودیت سرعت، تاثیرگذار بوده است. با تغییر گیربکس و کاهش نسبت انتقال از ۵۶ فعلی به حدود ۳۸، سرعت ماکزیمم اسکرو به ۳۷ دور در دقیقه افزایش یافته و موجب افزایش نرخ انتقال تا ۷۲ تن بر ساعت خواهد شد. به هر دلیل، این اقدام انجام نشده و تغییر طرح اسکرو در دستور کار قرار گرفته و اسکرو طرح جدید، طراحی شده که نسبت به طرح اولیه، قطر پایپ کاهش و گام افزایش یافته است. یعنی حجم فضای انتقال در یک گام، نسبت به طرح قبل از ۲۳۱۰ به ۵۴۶۸ اینچ مکعب افزایش یافته است.

در اولین قدم طراحی اسکرو، باید شرایطی را در نظر گرفت تا به انتخاب اولیه پارامترها رسید و با سعی و خطا، پارامترها را اصلاح کرده و نزدیکترین مقادیر استاندارد را برای آنها انتخاب کرد.

پارامترهای تعیین کننده در انتخاب اول، شامل گام، قطر اسکرو، قطر لوله و سرعت اسکرو هستند. البته، ضریب اصلاحی C_r نیز وابسته به این پارامترها است ولی یک پارامتر ثانویه به حساب می‌آید و نمی‌توان در انتخاب اول در مورد آن قضاوت خاصی کرد. گام نیز وابسته به قطر است و برای مواد حاضر، که مواد روان به حساب می‌آیند و نیازمند اندکی شیب در اسکرو هستند، این پارامتر نیز محدود به حدود نصف یا دو سوم قطر اسکرو می‌شود. پس اولین انتخاب، قطر اسکرو است. قطر استاندارد اسکرو و ماکزیمم سرعت مجاز برای کارکرد در پرشدگی‌های مختلف، به هم وابسته هستند و در جداول داده شده‌اند. البته، بیشترین سرعت مجاز، به ویژگی‌های مواد نیز بستگی دارد.

داده‌های اولیه:

ظرفیت ۷۲ تن بر ساعت، شیب ۱۷ درجه، طول اسکرو ۴۵/۵ متر، مواد نرمه کوچکتر از ۴۰۰ میکرومتر، درجه روان شدگی بالا

محاسبات طراحی:

برآوردها نشان می‌دهد، مواد حاضر به کد $۱۱۸A_{۴}.۲۵$ بسیار نزدیکتر هستند که در جدول مواد معرفی شده در استاندارد ANSI/CEMA [۵] نیست. (۱۱۸، چگالی پوند بر فوت مکعب، $A_{۴}.$ اندازه ذرات، ۲ روان بودن ذرات و ۵ شاخص سایش مواد است).

قطر اسکرو ۱۶ و ۲۰ اینچ، ملاک انتخاب قرار می‌گیرد و در

مورد قابلیت روان شدن مواد، اعداد ۲ و ۳ در نظر گرفته می‌شود و در مورد شاخص سایش اعداد ۵، ۶ و ۷ لحاظ می‌شود.

قطر پایپ پیشنهادی از جداول مربوطه استاندارد ANSI/ CEMA: ۴ یا ۴/۵ اینچ برای هر دو قطر اسکرو ۱۶ و ۲۰ اینچ

قطر شفت: ۳ اینچ

ضخامت اسکرو: ۰/۲۵ یا ۰/۵ اینچ

البته براساس شاخص‌های سایش، ضخامت می‌تواند بیش از این مقدار در نظر گرفته شود. در صورت افزایش ضخامت، باید ملاحظات خیز رعایت شود.

ماکزیمم خیز مجاز: ۰/۱ اینچ

ماکزیمم شیب مجاز: ۰/۱۳۵ درجه

مقادیر جدول ۵ برای محدودیت سرعت اسکرو و ظرفیت متناظر، از استاندارد ANSI/CEMA، به دست می‌آید.

جدول ۵- ظرفیت اسکرو با فرض C_r=۰.۵۲ و پرشدگی ۹۵٪ و قطر پایپ ۴ اینچ

ردیف	کد مواد A...	قطر اسکرو (اینچ)	بیشینه سرعت مجاز (دور بر دقیقه)	ظرفیت متناظر (تن بر ساعت)
۱	۲۵	۱۶	۱۳۰	۱۷۹
۲	۲۵	۲۰	۱۱۰	۳۰۰
۳	۳۵	۱۶	۸۰	۱۱۰
۴	۳۵	۲۰	۷۰	۱۹۰
۵	۲۶	۱۶	۴۵	۶۲
۶	۲۶	۲۰	۴۰	۱۱۰
۷	۳۶	۱۶	۴۵	۶۲
۸	۳۶	۲۰	۴۰	۱۱۰
۹	۲۷	۱۶	۴۵	۶۲
۱۰	۲۷	۲۰	۴۰	۱۱۰

نتیجه اینکه، اسکرو ۱۶ اینچ، تنها در صورتی که مواد از نوع A۳۵ یا ملایم‌تر از آن، به لحاظ شاخص سایش باشند، متناسب با ظرفیت مورد تقاضای بالای ۷۲ تن بر ساعت است و در غیر اینصورت، با توجه به محدودیت‌های ذکر شده برای سرعت، متناسب نیست. اسکرو ۲۰ اینچ، حتی در شرایط مواد با بدترین شاخص سایش یعنی A۲۷ نیز قابلیت کارکرد در سرعت ۴۰ دور در دقیقه را خواهد داشت و بنابراین حتی با ضریب کاهشی ۰/۵۲ ظرفیت حدود ۱۱۰ تن بر ساعت را خواهد داد. طراحی مجدد نشان داد که قطر اسکرو فعلی که حدود ۲۲ اینچ انتخاب شده است به نسبت ۷۲ تن بر ساعت مورد تقاضا، بسیار زیاد است. براساس محدودیت ذکر شده، می‌توان با تغییر گیربکس، سرعت را از ماکزیمم فعلی که حدود ۲۶ دور در دقیقه است تا ۴۰ دور در دقیقه ارتقا داده و با اسکرو با قطر کمتر نیز به ظرفیت مطلوب رسید. علاوه بر این، قطر پایپ پیشنهادی در استاندارد ANSI/ CEMA برای اسکرو ۲۰ اینچ، حدود ۴ یا نهایتا ۴/۵ اینچ است اما قطر پایپ اسکرو فعلی حدود ۱۰ اینچ است. البته با توجه به اینکه اسکرو دو راهه است به‌علت مباحث مربوط به خیز اسکرو باید پایپ و شفت تقویت می شدند ولی مقدار فعلی بنظر زیاد می‌آید.

۶-نتایج

- طرح جدید اسکرو به لحاظ توصیه هایی که برای حداکثر سرعت مجاز اسکرو در کدهای طراحی شده است و با توجه به دور بیشینه موتور (۱۴۶۰ دور در دقیقه) و نسبت گیربکس (۵۵,۶) اجازه کار کردن در سرعت ماکزیمم موتور را دارد. در این حالت سرعت اسکرو ۲۶ دور در دقیقه خواهد بود.
- محاسبه نرخ تغذیه اسکرو و اصلاح ضرایب به کمک داده برداری از عملکرد اسکروی واقعی نشان داد اسکروی جدید در دور بیشینه ۲۶ دور در دقیقه، ظرفیت انتقال بین ۹۵ تا ۱۱۰ تن بر ساعت را دارد.
- در نمودارها مشاهده می شود که تغییر سرعت اسکرو بعنوان مثال حدود ۳۰٪ اتفاق افتاده است. این تغییر سرعت، با لحاظ کردن ضرایب کاهشی که با داده های در محل اعتبار سنجی شده است، باید منجر به تغییر نرخ حدود ۲۳ تن بر ساعت شود. اما این تغییر نرخ در نمودار متناظر مشاهده نمی‌شود. این یک سوال مکانیکی ایجاد میکند که چرا اسکرو پاسخ مکانیکی مناسب به این تغییر سرعت نداده است و نرخ به تناسب افزایش سرعت افزایش پیدا نکرده است.

محاسبات نشان داد که دهانه تغذیه اسکرو همواره پر از مواد است و همین برای تغذیه ۱۰۰ درصدی کفایت می‌کند. در تحقیقات در این زمینه و کدهای طراحی نیز ذکر شده که تغذیه‌های تحت گرانش همیشه پرشدگی دهانه را بصورت کامل دارند. اما در بعضی از زمان‌ها مشاهده شد که سرعت اسکرو از ارتفاع مواد در دوزین بین تبعیت کرده و رفتار تقریبا منظمی با تغییرات آن دارد.

- در محدوده مورد تقاضای نرخ یعنی حدود ۷۲ تن بر ساعت، قطر ۲۰ اینچ برای اسکرو مناسب است و می توان با اندکی کاهش قطر پایپ و افزایش سرعت اسکرو با تغییر گیربکس به نرخ‌های مورد تقاضا رسید
- شیب فعلی ۱۷ درجه اسکرو مناسب است و با توجه به نوسان‌هایی که در بعضی از شرایط در نرخ انتقال مشاهده می‌شود می‌تواند تا ۲۵ درجه نیز افزایش یابد و محدودیتی به لحاظ توان مصرفی براساس موتور گیربکس فعلی وجود ندارد
- طرح فعلی اسکرو به لحاظ ظرفیت انتقال نسبت به نرخ مورد تقاضای ۷۲ تن، بسیار بالاتر است و تا ظرفیت حدود ۱۱۰ تن بر ساعت برای آن تخمین زده می‌شود. البته طراحی فعلی به لحاظ سایش اسکرو باید بسیار مناسب عمل کند.
- برای حالت آماده-به-کار در کنار اسکروی فعلی، برای کمک به انتقال مواد در شرایط نیاز به توقف یا تعمیر اسکرو اصلی، یک اسکرو ۱۶ اینچی سبک تر می‌توان در نظر گرفت که یا در مدت تعمیرات، در ظرفیت پایین‌تر حدود ۵۰ تن از آن کار گرفته شود و یا ظرفیت ۷۲ تن را در سرعت بالاتر از سرعت مجاز از آن گرفت و مقداری افزایش سایش را پذیرفت.
- با توجه به قابلیت روان شدگی بالای مواد حاضر، دو راهه بودن مارپیچ اسکرو همچنان توصیه می‌شود.

۷-مراجع

[1]. Xiaoxia S, Wenjun M, Yuan Y. Design method of a vertical screw conveyor based on Taylor–Couette–Poiseuille stable helical vortex. Advances in mechanical engineering. 2017 Jul;9(7).

[2] Liqing Sun, Xiaodi Zhang, Qingliang Zenga, Kuidong Gaoa, Kao Jiang, Jiawei Zhou, Application of a screw conveyor with axial tilt blades on a shearer drum and investigation of conveying performance based on DEM, Particuology, 2021

[3]. Owen PJ, Cleary PW. Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM). Powder Technology. 2009 Aug 10;193(3):274-88.

[4]. Yu Yongqin. Theoretical modelling and experimental investigation of the performance of screw feeders. Doctoral thesis, Mechanical Engineering Department, University of Wollongong, 1997

[5] Screw Conveyors for Bulk Materials ANSI/ CEMA, Conveyor Equipment Manufacturers Association, Standard No. 350, Fifth Edition, 2019

[6] Asli-Ardeh EA, Mohsenimanesh A. Determination of effective factors on power requirement and conveying capacity of a screw conveyor under three paddy grain varieties. The Scientific World Journal. 2012;2012.

[7] Olanrewaju TO. Design and fabrication of a screw conveyor. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2017 Oct 11;19(3):156-62.

[8] Bolat B, Bogoclu ME. Increasing of screw conveyor capacity. Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology. 2012;16(1):207-10.

[9] Screw conveyor engineering guide, KWS manufacturing, 2015

[10] https://www.kaseconveyors.com /resources / screw-conveyor-engineering-guide/ inclined-screw-conveyors/