

استانداردسازی عملکرد سرنند ترومل آسیای گلوله‌ای کارخانه فاز دو مجتمع صنعتی و معدنی سراب بیجار

شیرکو شرفی*^۱، کامران مصطفایی^۲، عبید فدائی^۳، عبدالله اجاقی ساریجلو^۴، رامین خسروی^۵

۱- کارشناس ارشد تولید کارخانه فرآوری سنگ آهن سراب بیجار sh.sharafi.kmpc@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی معدن دانشگاه کردستان k.mostafaei@gmail.com

۳- مدیر تعمیر و نگهداری ماشین آلات صنعتی و معدنی سراب بیجار obaid.fadaei@gmail.ac.ir

۴- سرپرست فرآوری کارخانه فاز یک و فاز دو سنگ آهن سراب بیجار sh.sharafi.kmpc@gmail.com

۵- جانشین سرپرست عملیات مجتمع سنگ آهن سراب بیجار sh.sharafi.kmpc@gmail.com

خلاصه

در خط تولید کارخانه کنسانتره فاز دو مجتمع صنعتی و معدنی سراب، محصول خردایش اولیه با دانه بندی ۷ میلی متر به آسیای گلوله‌ای شماره یک ($۳/۶ \times ۶/۴$ متر) خواک‌دهی می‌شود. یک سرنند گردان ($۱/۷ \times ۱/۵$ متر) در انتهای آسیای گلوله‌ای جهت طبقه بندی ذرات خرد شده درون آسیا قرار دارد که روزه‌های صفحات آن ۶ میلی متر است. ذرات عبوری از سرنند جهت طبقه بندی، جدایش، سولفورزدایی و آبگیری به ترتیب به هیدروسیکلون، جداکننده‌های مغناطیسی، فلوتاسیون و فیلتر دیسکی خوراک‌دهی می‌شوند. ذرات مانده روی سرنند از طریق یک مجرا به بیرون آسیا منتقل می‌شوند و از آن جا مستقیم به بیرون کارخانه جهت خوراک‌دهی مجدد ارسال می‌گردند. در این مقاله با استفاده از پایش و بازرسی فرآیند مهم ترین دلایل افزایش مقدار ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرنند ترومل مشخص شد. در این سرنند مهم ترین دلیل افزایش ذرات ریز زیر ۶ میلی متر بر روی سرنند، ارتفاع کم مارپیچ‌های درون سرنند و عدم شستشوی ذرات ریز چسبیده به ذرات درشت شناسایی شد. با افزایش ارتفاع مارپیچ‌ها از ۷۰ میلی متر به ۱۴۰ میلی متر و اضافه کردن یک گام مارپیچ در سطح سرنند به دلیل افزایش زمان ماند و افزایش برخورد ذره به سطح سرنند، مقدار ذرات به اشتباه تقسیم شده $۶۲/۶۸$ درصد کاهش یافت. سپس با اضافه کردن دوش شستشو در سطح سرنند به دلیل شستشوی کامل ذرات درشت، مقدار ذرات زیر ۶ میلی متر روی سرنند به $۹۳/۷۴$ درصد نسبت به قبل از تغییرات کاهش یافت.

کلمات کلیدی: سرنند ترومل، مارپیچ، دوش شستشو، سنگ آهن، سراب

۱. مقدمه

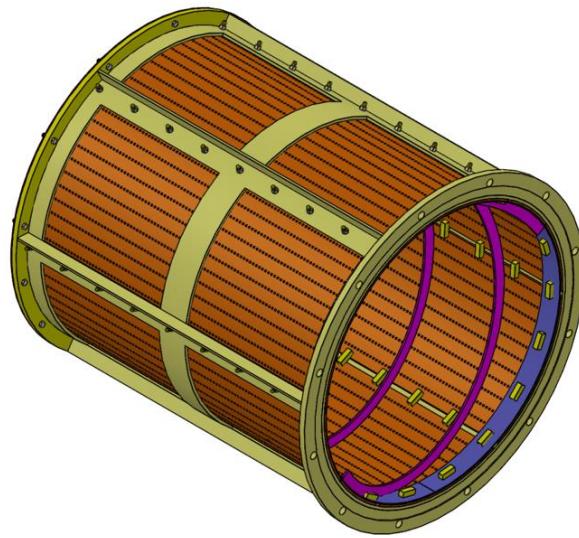
سرندهای گردان یا ترومل از یک سطح سرندهای استوانه‌ای تشکیل شده‌اند که در انتهای مسیر تخلیه آسیا نصب می‌شوند. این سرندهای یکی از انواع سرندهای متحرک به حساب می‌آید و دارای هندسه‌ای استوانه‌ای شکلی است که معمولاً درون آن، مارپیچ‌های (بافل‌هایی) قرار دارند. سرندهای گردان به صورت افقی با شیب ملایمی نصب می‌شوند [۶ و ۷]. دوران سرندها سبب می‌شود که ذرات با شیب ملایمی در جهت طولی لغزیده و به آسانی به طرف جلو جریان یابند. مسیر واقعی ذرات روی سطح سرندها، حلزونی است [۵]. بار اولیه به سرندها از یک سوی استوانه وارد شده، و در اثر حرکت دورانی و شیب ملایم سرندها بر روی کل سطح سرندها توزیع می‌شوند و به سمت انتهای دیگر استوانه جریان می‌یابند [۱ و ۳]. ذراتی که دارای ابعادی کوچک‌تر از چشمه‌های سرندها هستند از آن‌ها عبور کرده و ذراتی که ابعاد آن‌ها بزرگ‌تر از چشمه‌های سرندها هستند از انتهای دیگر استوانه خارج شده و مانده روی سرندها را تشکیل می‌دهند [۸].

در سال ۱۳۹۸، شبیه‌سازی نحوه حرکت ذرات و طبقه‌بندی مواد در سرندها با استفاده از روش اجزای گسسته توسط زارع انجام شد بر اساس نتایج آن، یک سرندها ترومل آزمایشگاهی در مجتمع مس میدوک شهر بابک طراحی و ساخته شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و روش آزمایشگاهی نشان داد که نحوه نصب و قرارگیری بافل‌ها روی صفحات سرندها، تاثیر مستقیمی بر کارایی سرندها دارد. در همین راستا، طرح‌های عملیاتی مختلفی از نحوه قرارگیری بافل‌ها بر روی صفحات سرندها که قابلیت پیاده‌سازی در مقیاس اصلی را داشته باشد، بررسی شد. نتایج نشان داد که انتخاب صحیح گام و ارتفاع بافل‌ها به میزان قابل توجهی بر عملکرد و کارایی سرندها تاثیر گذار است. به طوری که کاهش گام بافل‌های ترومل منجر به افزایش زمان ماند و برخورد بیشتر ذرات با صفحات سرندها و در واقع افزایش احتمال عبور ذرات کوچک‌تر از روزنه‌های سرندها می‌شود. در نتیجه، این پارامتر منجر به افزایش میزان عبوری مواد از سرندها و کاهش مانده روی سرندها می‌شود. همچنین، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که ارتفاع بافل تاثیر بارزی بر ظرفیت سرندها دارد و منجر به عبور نکردن ذرات از روی بافل‌ها و افزایش تماس ذرات با صفحات سرندها و افزایش ظرفیت سرندها می‌شود [۴].

۱-۱ معرفی سرندها ترومل آسیای گلوله‌ای شماره یک فاز دو

محصول واحد سنگ‌شکن پس از رسیدن به ابعاد ریزتر از ۷ میلی‌متر به آسیای گلوله‌ای ($۶/۴ \times ۳/۶$ متر) خوراک‌دهی می‌شود. یک سرندها گردان یا ترومل در انتهای آسیای گلوله‌ای جهت طبقه‌بندی ذرات خرد شده درون آسیا قرار دارد. ذرات عبوری از سرندها جهت طبقه‌بندی، جدایش، سولفورزدایی و آبگیری به ترتیب به هیدروسیکلون، جداکننده‌های مغناطیسی، سلول‌های فلوتاسیون و فیلتر دیسکی خوراک‌دهی می‌شوند. اما ذرات به اشتباه تقسیم شده و ذرات مانده روی سرندها به بیرون کارخانه منتقل می‌شود.

سرندها ترومل آسیای گلوله‌ای شماره یک فاز دو از یک سطح سرندهای استوانه‌ای تشکیل شده است. طول و قطر این سرندها به ترتیب ۱۷۰۰ میلی‌متر و ۱۵۰۰ میلی‌متر هستند. روزنه‌های صفحات سرندها ۶ میلی‌متر است. همچنین در درون این سرندها بافل‌های نصب شده‌اند که مجموع آن‌ها در امتداد یکدیگر، یک مارپیچ در قسمت درونی این سرندها تشکیل می‌دهند. ارتفاع این بافل‌ها ۷۰ میلی‌متر است که وظیفه انتقال خوراک به سمت دهانه خروجی سرندها را بر عهده دارند.



شکل ۱: شمای کلی از سرنند ترومل (گردان) آسیای گلوله‌ای شماره یک فاز دو سنگ آهن سراب

۲- روش تحقیق

برای بررسی کارایی طبقه‌بندی ذرات در سرنند ترومل آسیای گلوله‌ای شماره یک فاز دو به طور منظم پایش‌های روزانه در قالب بازرسی فرآیند به صورت منظم انجام شد. بازرسی فرآیند بر مبنای مشاهده وضعیت کنونی مدار، نمونه‌گیری، تعیین ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرنند ترومل، بررسی عدم تطابق وضعیت موجود با استانداردهای راهبری، بررسی کارهای گذشته و استفاده از تجربه کارکنان و در نهایت تحلیل اطلاعات و ارائه راهکاری عملی انجام شد.

۲-۱- تعیین میزان ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرنند ترومل

ذرات عبوری از سرنند ترومل به هیدروسیکلون منتقل می‌شوند. مواد ماده روی سرنند ترومل از طریق کانال خروجی متصل به سرنند به بیرون سرنند منتقل می‌شود و سپس از آنجا به بیرون کارخانه منتقل می‌گردد.

نمونه‌گیری از کانال انتقال ذرات کوچکتر از ۶ میلی‌متری جهت تعیین میزان ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرنند ترومل انجام شد. پس از نمونه‌گیری از کانال انتقال ذرات کوچکتر از ۶ میلی‌متر، نمونه‌ها فیلتر و خشک شدند و میزان ذرات به اشتباه تقسیم شده در ۳ مرحله بدست آمد.

الف: قبل از اصلاحات (سرنند ترومل و دوش شستشو)

ب: بعد از اصلاح سرنند ترومل (افزایش ارتفاع مارپیچ‌ها، اضافه کردن یک عدد مارپیچ و نصب حلقه فشار شکن)

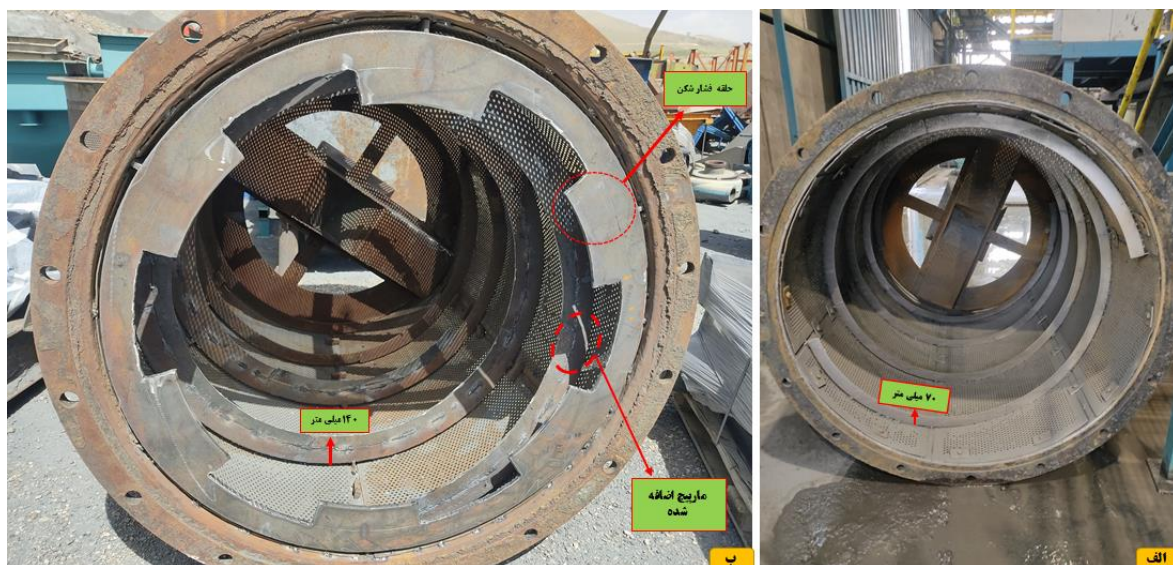
ج: بعد از اصلاح سرنند و نصب دوش شستشو

۳. ارائه یافته‌ها و نتایج

۳-۱- اصلاح سرنند ترومل با اضافه کردن ارتفاع و تعداد مارپیچ

یکی از مهم ترین پارامترهای موثر در کارایی سرنند ترومل ارتفاع ماریچ است. در آسیای گلوله ای شماره یک فاز دو از ماریچ هایی با ارتفاع کم استفاده می شود که موجب عبور پالپ از روی آن ها و عدم تماس ذرات کوچکتر از ۶ میلی متر با سطح سرنند ترومل می شود. طی پایش های صورت گرفته مشخص گردید که ارتفاع ماریچ ها در این سرنند ۷۰ میلی متر می باشد (شکل ۳- الف). در همین راستا در تعمیرات سالانه جهت افزایش زمان مانده مواد در سرنند، پیشنهاد گردید که ارتفاع بافل ها به ۱۴۰ میلی متر افزایش و همچنین طول گام بین ماریچ ها با اضافه کردن یک ماریچ کاهش یابد. به طوری که کاهش گام بافل های ترومل منجر به افزایش زمان ماند و برخورد بیشتر ذرات با صفحات سرنند و کاهش مانده روی سرنند می شود. همچنین با افزایش ارتفاع ماریچ ظرفیت سرنند افزایش پیدا کرده و منجر به عبور نکردن ذرات از روی ماریچ ها و افزایش تماس ذرات با صفحات سرنند و افزایش ظرفیت سرنند ترومل می شود. به عبارت دیگر مشخص شد که با استفاده از یک ماریچ ترومل با گام کوچک تر (به طوری که چرخش های بیشتری در طول ترومل وجود داشته باشد) ماریچ ها بیشتر شبیه یک سد برای پالپ عمل می کنند. این امر باعث افزایش زمان ماند پالپ در داخل سرنند ترومل برای طبقه بندی و کاهش کشیدگی عمودی پالپ و گلوله ها می شود (شکل ۳- ب).

بازرسی فرآیند نشان داد که یکی از دلایل اصلی افزایش حجم ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرنند ترومل آسیای یک، بالا بودن سرعت پالپ خروجی از آسیا می باشد به طوری که پالپ تا نصف سرنند پرتاب می شود. برای کاهش سرعت پالپ و استفاده از سطح حداکثری سرنند، با قرار دادن حلقه فشار شکن در مقابل پالپ خروجی آسیا، از پرتاب شدن و ریختن مواد بیرون آسیا جلوگیری شد. به عبارت دیگر با نصب حلقه فشار شکن در ورودی سرنند، زمان ماند پالپ در سرنند افزایش پیدا کرد (شکل ۳- ب).



شکل ۳: شمای کلی سرنند ترومل آسیای یک فاز دو الف- قبل از اصلاحات ب- بعد از اصلاحات (افزایش ارتفاع و تعداد ماریچ ها و نصب حلقه فشار شکن)

۳-۲- نصب دوش شستشو در سرند ترومل

مواد معدنی ورودی به آسیاهای سرریز شونده پس از خردایش در خروجی توسط سرند ترومل طبقه بندی می شوند به این صورت که مواد ریزتر از اندازه‌ی روزنه‌ی سرند وارد مخازن هیدروسیکلون شده و موادی که اندازه‌ی آن‌ها بزرگتر از اندازه روزنه سرند باشد به عنوان بار برگشتی (روی سرنده‌ی آسیا عبور می کنند).



شکل ۴: نمای کلی از دوش شستشو در سرند ترومل

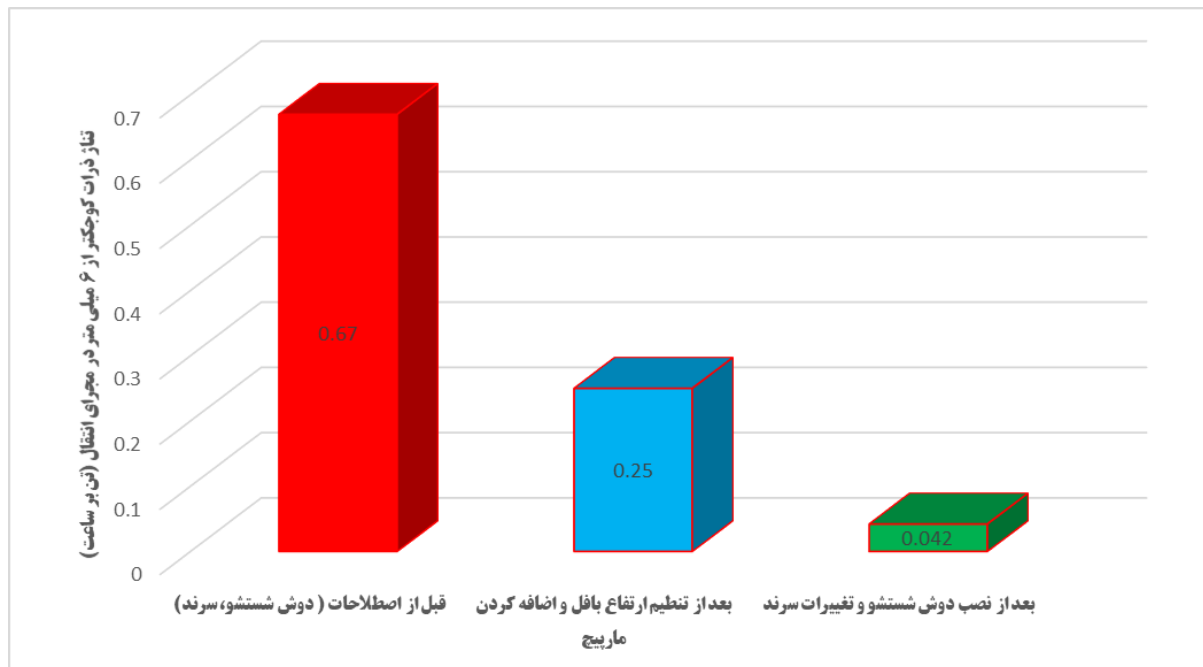
طی پایش‌های صورت گرفته مشخص شد که بعد از اصلاحات انجام شده بر روی سرنده، هنوز مقدار زیادی ذرات کوچکتر از ۶ میلی متر به عنوان مانده روی سرنده از آسیا خارج می شوند. مشخص شد هنگام عبور پالپ از سرنده ترومل، ذرات ریزی که باید از روزنه‌های سرنده عبور کنند و به مخازن هیدروسیکلون راه پیدا کنند به ذرات درشت چسبند و همراه آن‌ها به عنوان دورریز سرنده به بیرون منتقل می شدند و نتیجه آن هدر روی ذرات ریز بود. برای رفع این مشکل پیشنهاد شد که از سرنده‌ها برای شستشوی ذرات ریز چسبیده به ذرات درشت استفاده شود (شکل ۴). بعد از نصب دوش شستشو مشخص گردید که مقدار ذرات به اشتباه تقسیم شده از ۲۵۰ کیلوگرم بر ساعت به ۴۲ کیلوگرم بر ساعت کاهش یافته است. (شکل ۵).



شکل ۵: وضعیت دور ریز سرنده الف- قبل از نصب دوش شستشو ب- بعد از نصب دوش شستشو

۳-۳- نتایج اعمال تغییرات بر روی سرند ترامل

پس از نمونه‌گیری از مجرای انتقال ذرات کوچک‌تر از ۶ میلی‌متر، نمونه‌ها فیلتر و خشک شدند که نتایج این نمونه‌ها در نمودار شماره یک آمده است و مشخص شد که ذرات به اشتباه تقسیم شده در حالتی که ارتفاع ماریج ۷۰ میلی‌متر افزایش و یک گام ماریج اضافه شده نسبت به حالت قبل ۶۲/۶۸ درصد کاهش پیدا کرده است. همچنین مشخص شد با نصب دوش شستشو بعد از تغییرات سرند نسبت به حالت قبل از تغییرات ۹۳/۷۴ درصد ذرات کوچکتر از ۶ میلی‌متر بر روی سرند کاهش پیدا کرده است.



نمودار ۱: کاهش نرخ جامد ذرات کوچکتر از ۶ میلی‌متر بر روی سرند قبل و بعد از اصلاحات

۴. نتایج و پیشنهادات

طی پایش‌های صورت گرفته مشخص گردید که مهمترین مشکلات بخش سرند ترومل آسیای گلوله‌ای شماره یک فاز دو، کم بودن ارتفاع مارپیچ‌ها و عدم دوش شستشو سرند می‌باشد که باعث عبور پالپ از روی مارپیچ‌ها انتقال و راهیابی ذرات به اشتباه تقسیم شده به دورریز آسیا می‌باشد.

در راستای افزایش کارایی سرند ترومل آسیا گلوله‌ای شماره یک، ابتدا ارتفاع مارپیچ ۷۰ میلی متر افزایش داده شد و سپس برای افزایش زمان ماند در سرند گردان جهت طبقه‌بندی بهتر و کاهش کشیدگی عمودی پالپ، یک مارپیچ دیگر در سطح ترومل اضافه گردید.

برای کنترل فشار پالپ خروجی از آسیا، در ورودی سرند ترومل یک حلقه فشارشکن اضافه گردید با نصب حلقه فشارشکن در مقابل پالپ خروجی آسیا، از پرتاب شدن و ریختن مواد به بیرون از آسیا جلوگیری شد.

بعد از اصلاح سرند ترومل مشخص گردید که هنوز مقدار زیادی ذرات به اشتباه تقسیم شده که به ذرات درشت چسپیده شده بود از سرند ترومل به عنوان دور ریز (برگشتی) از سرند خارج می‌شود سپس برای حل این مشکل پیشنهاد نصب دوش شستشو در سرند اجرایی گردید.

با توجه به افزایش ارتفاع مارپیچ‌ها و اضافه کردن یک ردیف مارپیچ در سرند ترومل و نمونه‌گیری از مجرای انتقال ذرات کوچکتر از ۶ میلی‌متر مشخص شد که این اقدامات در سرند ترومل آسیا گلوله‌ای شماره یک فاز دو بسیار موثر است. به طوری که، مشخص شد ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرند ترومل بعد از تغییرات ۶۲/۶۸ درصد کاهش یافته است.

با اصلاحات انجام شده بر روی سرند و نصب دوش شستشو در سرند ترومل آسیای شماره یک مشخص شد که ذرات به اشتباه تقسیم شده در سرند ترومل نسبت به قبل از تغییرات به میزان ۹۳/۷۴ درصد کاهش یافته است.

۵. تقدیر و تشکر

از مدیران و کارکنان مجتمع سنگ‌آهن سراب بیجار به دلیل همکاری‌های لازم جهت اجرای این تحقیق و همچنین به دلیل اجازه انتشار مقاله، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

۶. مراجع

1. Sinnott, M.P., Cleary, W. and Morrison, R. D., 2017. "Combined DEM and SPH simulation of overflow ball mill discharge and trommel flow", Minerals Engineering, 108, 93-108
2. M.R.G.S.M.H., Hekmati, 2011. M., "A new baffles system in sag mill trommel at the Shahrehabak copper complex"
3. Palaniandy S., Yahyaei M, Powell M.; 2017; "Assessment of hydrocyclone operation in gravity induced stirred mill circuits". Elsevier; Minerals Engineering 108 (2017) 83-92

۴. زارع، پ. (۱۳۹۸)، "طراحی بهینه عملکرد ترومل آسیای نیمه خودشکن کارخانه تغلیظ مجتمع مس میدوک شهر بابک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.

۵. رضایی، ب. (۱۳۷۶)، "تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی، " موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، چاپ اول.
۶. بنیسی، ص. (۱۳۹۷)، "جزوه مهندسی خردایش،" دانشگاه شهید باهنر کرمان
۷. یزدان پناه، م. ح. و همکاران. (۱۴۰۲)، "بهینه سازی عملکرد سرند گردان خطوط تولید کنسانتره ۵، ۶ و ۷ شرکت معدنی و صنعتی گل گهر،" مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ۹-۱۱ خرداد ماه، ۱۴۰۲