

توسعه مدل اقتصادی جدید به منظور ارزیابی هزینه‌ها در فرآیند برش سنگ‌های کربناته

رضا میکائیل*^۱؛ محمد عطایی^۲؛ پیمان جعفر شیرزاد^۳؛ احسان جعفر نژاد قراحسنلو^۳؛ یاور جلیلی کشتیان^۳

۱- استادیار دانشگاه صنعتی ارومیه، Reza.mikaeil@gmail.com

۲- استاد دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- کارشناس مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی ارومیه

پذیرش: ۹۶/۰۲

دریافت: ۹۵/۰۴

چکیده

در حال حاضر صنعت برش سنگ یکی از جمله مهم‌ترین صنایع معدنی کشور می‌باشد که توجه ویژه به این بخش می‌تواند کمک شایانی به اقتصاد کشور در زمینه صادرات این محصول و رقابت سالم با کشورهای دیگر داشته باشد. همواره توجه به نیاز بازار و میزان سوددهی برای کارخانه‌های فرآوری از اهمیت بالایی در طراحی و برنامه ریزی تولید برخوردار بوده است. در تحقیق حاضر سعی شده است تا در گام نخست پس از شناسایی فاکتورهای هزینه‌ساز، به بررسی و محاسبه هزینه تولید به ازاء واحد مترمربع از ۶ نوع سنگ ساختمانی کربناته پرفروش در بازار ایران با استفاده از مطالعات آماری پرداخته شود. در گام بعد پس از انجام محاسبات مربوط به هزینه‌های تولید، تابع سود حاصل از فروش متر مربع پلاک سنگی با توجه به متغیرهای مسئله شامل، نرخ پیشروی، عمق برش، شاخص قابلیت برش سنگ، قیمت خرید هر تن از کوپ و سایر هزینه‌های تولید، تعریف شد. در نهایت یک رتبه‌بندی بر اساس شاخص سودآوری میان سنگ‌های مورد مطالعه صورت پذیرفت. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که سنگ تروارتن حاجی‌آباد، به عنوان سودآورترین سنگ از میان سنگ‌های کربناته مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد.

کلمات کلیدی

سنگ‌های ساختمانی- تابع هزینه تولید- شاخص سودآوری- رتبه بندی

۱- مقدمه

ساختمانی نرم در داخل ایران پرداختند. تحقیق حاضر را می‌توان ادامه این تحقیق با نگاهی ویژه به شاخص سوددهی و رتبه بندی نمونه سنگ‌های ساختمانی نرم در کشور دانست. که سعی می‌شود تا در گام نخست پس از بررسی فاکتورهای هزینه ساز در فرآیند برش سنگ‌های نرم به بررسی و تعیین تابع سودآوری سنگ‌های نرم در کارخانجات فرآوری پرداخته گردد و در آخرین گام یک رتبه‌بندی از نمونه سنگ‌های مورد مطالعه در این تحقیق صورت گیرد. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده این تحقیق برای اولین بار در کشور برای نمونه‌سنگ‌های نرم انجام شده است.

۲- تعیین تابع هزینه کل در فرایند برش سنگ

به طور کلی در یک کارخانه فرآوری سنگ‌های ساختمانی همانند دیگر واحدهای تولیدی، فرآیند تولید با هزینه‌هایی همراه می‌باشد. هزینه‌های موجود برای برش یک بلوک سنگی را می‌توان به پنج تابع هزینه‌ی کارگری، مصرف دیسک‌های الماسی، انرژی مصرفی دستگاه‌های برش، مصرف آب و هزینه‌های تعمیر و نگهداری تقسیم‌بندی کرد. مدل‌های ریاضی مربوط به هر یک از این توابع در جدول ۱ آورده شده است.

در حال حاضر ایران با داشتن منابع عظیم سنگ‌های ساختمانی به عنوان یکی از مهم‌ترین و غنی‌ترین منابع سنگ در دنیا مطرح است. تنوع بالای رنگ در سنگ‌های ساختمانی، نیروی کار ارزان و فراوان و پتانسیل‌های بالای دیگر هنوز نتوانسته ایران را به عنوان یکی از قطب‌های مهم سنگ در دنیا تبدیل کند. که علت آن در عدم مدیریت و برنامه ریزی مدون و عدم شناخت کامل از سنگ‌های ساختمانی کشور است. یکی از عوامل مهم در رقابت بازارهای جهانی، قیمت تمام شده و کیفیت سنگ‌های فرآوری شده است البته به شرطی که خللی در کیفیت کالا ایجاد نشود. لذا انجام مطالعات مرتبط با این موضوع در بخش‌های صنعتی ضروری است. با انجام این قبیل مطالعات و همچنین تدوین یک برنامه جامع می‌توان علاوه بر افزایش تولید ناخالص داخلی و ایجاد اشتغال، به افزایش درآمدهای غیر نفتی کشور نیز کمک کرد. آیهان در سال ۲۰۰۵ در مطالعاتش به بررسی و تحلیل حساسیت فاکتورهای هزینه‌ساز در فرآیند تولید پلاک‌های سنگی نرم در کشور ترکیه پرداخت. نتایج حاصل از بررسی‌های وی نشان داد که در میان فاکتورهای هزینه‌ساز، هزینه‌ی مصرف انرژی بیشترین تأثیر را در قیمت تمام شده یک پلاک سنگی دارا می‌باشد. در همین راستا نیز صادق اسلام و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۲] به بررسی و مطالعات مشابه‌ای در برش سنگ‌های

جدول ۱: توابع تعریف شده برای هزینه‌ها در فرآیند برش سنگ

رابطه	توابع	توضیحات
۱	$P_h = K \times D_c \times F_r$	تابع نرخ تولید بر حسب متر مربع بر ساعت
۲	$C_L = \frac{P \times N_L}{H_m \times P_h}$	تابع هزینه‌های مربوط به نیروی کارگری بر حسب ریال به ازای برش یک متر مربع از بلوک سنگی
۳	$C_d = \frac{W_r \times (P_p + (n \times (S_p + G_p)))}{L \times n \times P_h}$	تابع هزینه مصرف دیسک بر حسب ریال به ازای برش یک متر مربع از بلوک سنگی
۴	$C_E = \frac{E_{co} \times E_p}{P_h}$	تابع هزینه مصرف انرژی بر حسب ریال به ازای واحد سطح برش خورده از بلوک سنگی
۵	$C_W = \frac{W_{co} \times W_p}{P_h}$	تابع هزینه مصرف آب بر حسب ریال به ازای واحد سطح برش خورده از یک بلوک سنگی
۶	$C_M = \frac{M_p}{P_h \times d_y \times H_d}$	تابع هزینه تعمیر و نگهداری بر حسب ریال به ازای واحد سطح برش خورده از بلوک سنگی

حساب متر مربع بر ساعت، P دستمزد هر کارگر در ماه بر حسب ریال، N_L تعداد کارگر، H_m تعداد ساعات کاری در ماه بر حسب

در روابط بالا: D_c : عمق برش بر حسب متر، F_r نرخ پیشروی بر حسب متر بر ساعت، K فاکتور تبدیل برابر $P_h \times 0.36$ نرخ تولید بر

به بررسی ارتباط میان مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها با قابلیت برش پذیری بپردازند. به طوری کلی نتایج حاصل از این تحقیقات را می‌توان مجموعه‌ای از روابط آماری، سیستم‌های طبقه بندی و تکنیک‌های رتبه بندی در زمینه قابلیت برش پذیری سنگ‌های ساختمانی در داخل کشور عنوان کرد. نمونه‌ای از نتایج این تحقیقات سیستم طبقه بندی قابلیت برش سنگ‌های ساختمانی می‌باشد که در جدول ۲ نشان داده شده است. شاخص مستخرج شده از این سیستم تحت عنوان شاخص قابلیت برش سنگ (RSI) به عنوان یکی از پارامترهای ورودی برای تابع هزینه کل برش مورد استفاده قرار گرفته شده است.

مطابق با جدول ۲ شاخص قابلیت برش سنگ بر اساس مشخصات مکانیکی سنگ نظیر مقاومت فشاری تک محوری، فاکتور سایندگی شیمزاک، سختی موهس و مدول یانگ در دو گروه سنگ‌های نرم و سخت تعیین می‌شود. با استفاده از این شاخص می‌توان یکی از فاکتورهای مهم هزینه ساز در فرآیند برش را مورد ارزیابی و پیش بینی قرار داد. رابطه ۹ ارتباط میان شدت جریان مصرفی با شاخص قابلیت برش سنگ و پارامترهای عملیاتی را نشان می‌دهد [۱۳].

$$I_C = 10^{2.813} \times \frac{D_c^{0.211} \times F_r^{0.043}}{RSI^{0.562}} \quad (9)$$

در رابطه بالا I_C معرف شدت جریان مصرفی بر حسب آمپر، RSI شاخص قابلیت برش می‌باشد. بدین ترتیب با توجه به رابطه ۹، تابع هزینه مصرف انرژی را می‌توان به صورت رابطه ۱۰ بازنویسی کرد.

$$C_E = \frac{10^{2.813} \times D_c^{0.211} \times F_r^{0.043} \times V \times E_P}{RSI^{0.562} \times D_c \times F_r \times K} \quad (10)$$

در رابطه بالا V معرف ولتاژ بر حسب ولت است. بدین ترتیب با جاگذاری رابطه بالا در رابطه ۸، تابع هزینه کل به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$C_T = \frac{W_r \times (P_p + (n \times (S_p + G_p)))}{L \times n \times D_c \times F_r \times K} + \frac{10^{2.813} \times D_c^{0.211} \times F_r^{0.043} \times V \times E_P}{RSI^{0.562} \times D_c \times F_r \times K \times 1000} + \frac{P \times N_L}{H_m \times D_c \times F_r \times K} + \frac{M_p}{D_c \times F_r \times K \times \epsilon} + \frac{W_{co} \times W_p}{D_c \times F_r \times K} \quad (11)$$

ساعت، W_r نرخ سایش بر حسب میلی‌متر بر ساعت، n تعداد دفعات استفاده از بدنه دیسک فولادی، S_p هزینه سگمنت مصرفی برای فرآوری مجدد دیسک فولادی بر حسب ریال، G_p هزینه جوش سگمنت‌ها به بدنه فولادی بر حسب ریال، P_p هزینه بدنه فولادی بر حسب ریال، L طول مفید سگمنت بر حسب میلی‌متر، E_{co} نرخ مصرف انرژی بر حسب کیلو وات ساعت، E_p قیمت واحد انرژی بر حسب ریال بر کیلووات ساعت، W_{co} نرخ مصرف آب بر حسب لیتر بر ساعت، W_p قیمت واحد لیتر آب بر حسب ریال، M_p هزینه تعمیر و نگهداری سالانه دستگاه بر حسب ریال، D_y تعداد روزهای کاری در سال، H_d تعداد ساعت کاری در روز. با توجه به توابع فوق می‌توان تابع هزینه کل تولید را مطابق با رابطه ۷ ارائه کرد. تابع هزینه کل برابر با مجموع توابع هزینه‌ساز شامل هزینه مصرفی دیسک، انرژی، نیروی کارگری، تعمیر و نگهداری و هزینه مصرفی آب می‌باشد.

$$C_T = C_L + C_d + C_E + C_W + C_M \quad (7)$$

در این رابطه C_T معرف تابع هزینه کل بر حسب ریال بر مترمربع می‌باشد. با جاگذاری مقادیر مربوط به هر یک از توابع هزینه‌ساز در تابع هزینه کل، رابطه ۷ را می‌توان به صورت رابطه ۸ بازنویسی کرد.

$$C_T = \frac{W_r \times (P_p + (n \times (S_p + G_p)))}{L \times n \times P_h} + \frac{E_{co} \times E_p}{P_h} + \frac{P \times N_L}{H_m \times P_h} + \frac{M_p}{P_h \times d_y \times H_d} + \frac{W_{co} \times W_p}{P_h} \quad (8)$$

رابطه فوق به صورت پارامتریک هزینه‌های کلی برش یک متر مربع از بلوک سنگی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. برخی از پارامترهای به کار رفته در این رابطه به طور مستقیم و برخی نیز به طور غیرمستقیم در عمل قابل محاسبه می‌باشند. به عبارت دیگر برخی از پارامترهای مستقل در این رابطه، وابسته به یک سری متغیرهای مستقل مانند مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ و پارامترهای عملیاتی می‌باشند که برای بررسی دقیق و همچنین رتبه بندی سنگ‌های ساختمانی بررسی این متغیرها الزامی می‌باشد. تا کنون مطالعات وسیعی به منظور بررسی ارتباط میان مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ با قابلیت برش پذیری سنگ‌های ساختمانی توسط محققین انجام شده است [۳-۱۳]. در این میان می‌توان به مطالعات عطایی و همکاران در سال ۲۰۱۲ و همچنین میکائیل و همکاران در سال‌های اخیر در کشور ایران اشاره کرد. در اکثر این مطالعات، محققین سعی کردند تا

جدول ۲: سیستم طبقه بندی قابلیت برش سنگ‌ها (RSi) [۱۲]

پارامترها	ردیف‌های ارزش					
۱ مقاومت فشاری تک‌محوری (MPa)	نرم	۲۵ >	۲۵-۵۵	۵۵-۸۵	۸۵-۱۱۵	۱۱۵ <
	سخت	۵۰ >	۵۰-۹۰	۹۰-۱۴۰	۱۴۰-۲۰۰	۲۰۰ <
	مقاومت خیلی کم	مقاومت کم	مقاومت متوسط	مقاومت بالا	مقاومت خیلی بالا	
امتیاز	۳۷	۲۵/۹	۱۸/۵	۹/۲۵	۳/۷	
۲ فاکتور سایش شیمزاک (N/mm)	نرم	۰/۰۵ >	۰/۰۵-۰/۱	۰/۱-۰/۱۵	۰/۱۵-۰/۲	۰/۲ <
	سخت	۲/۵ >	۲/۵-۵	۵-۷/۵	۷/۵-۱۰	۱۰ <
	سایندگی خیلی کم	سایندگی کم	سایندگی متوسط	سایندگی بالا	سایندگی خیلی بالا	
امتیاز	۳۶	۲۵/۲	۱۸	۹	۳/۶	
۳ سختی موهس (n)	نرم	۲ >	۲-۲/۵	۲/۵-۳	۳-۳/۵	۳/۵ >
	سخت	۳ >	۳-۴/۵	۴/۵-۶	۶-۷	۷ >
	خیلی نرم تا نرم	نسبتاً نرم	نسبتاً سخت	سخت	خیلی سخت	
امتیاز	۱۷	۱۱/۹	۸/۵	۴/۲۵	۱/۷	
۴ مدول یانگ (GPa)	نرم	۱۰ >	۱۰-۳۰	۳۰-۵۰	۵۰-۷۰	۷۰ <
	سخت	۱۵ >	۱۵-۴۰	۴۰-۶۵	۶۵-۹۰	۹۰ <
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	
امتیاز	۱۰	۷	۵	۲/۵	۱	

۲-۱- توسعه تابع سود

رابطه ۱۲ میزان سود حاصل از فروش پلاک برش داده شده به ازای واحد سطح را به دست می‌دهد.

$$BF = S_p - [C_T + ((T_p + T_s) \times \gamma \times C_c)] \quad (12)$$

در رابطه بالا BF معرف سود حاصل از فروش بر حسب ریال بر مترمربع، γ جرم حجمی بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب، T_p ضخامت پلاک سنگ بر حسب متر، T_s ضخامت سگمنت بر حسب متر، S_p قیمت فروش واحد سطح سنگ بر حسب ریال بر مترمربع و C_c قیمت سنگ قله بر حسب ریال بر تن می‌باشند.

۳- مطالعات میدانی و آزمایشگاهی

نمونه سنگ‌های مطالعه شده در این تحقیق متشکل از ۶ نوع سنگ ساختمانی نرم می‌باشد. برای انجام مطالعات آزمایشگاهی و تعیین پارامترهای مورد نظر، در مجموع از هر نمونه سنگ، بلوک‌های سنگی تهیه و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. کلیه آزمایش‌ها تحت استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ و با دقت بالا انجام شده است. برای اطلاع دقیق از مشخصات کانی‌شناسی یک مقطع نازک از بخش تیپیک سنگ‌ها تهیه مطالعه شد. با استفاده از این مقطع نوع و درصد کانی‌های تشکیل دهنده، میزان کوارتز محتوی معادل هر سنگ برای تعیین مشخصات سایندگی و سختی محاسبه شدند. نتایج مطالعات آزمایشگاهی شامل مشخصات مکانیکی و فیزیکی نمونه سنگ‌های مورد مطالعه به همراه شاخص قابلیت برش در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات مکانیکی و فیزیکی نمونه سنگ‌های مورد مطالعه

نام معدن	نوع و نام سنگ	EQC (%)	BTS (MPa)	GS (mm)	MH (n)	YM (GPa)	UCS (MPa)	SF-a (N/mm)	RSi
ذوالفقار علی (ع)	مرمریت کرم هرسین	۳/۶	۶/۸	۰/۵۵	۳/۵	۳۲/۵	۷۱/۵	۰/۱۳۵	۴۵/۷۵
گل سنگ	مرمریت صورتی انارک	۳/۴	۷/۱	۰/۴۵	۳/۲	۳۳/۶	۷۴/۵	۰/۱۰۹	۴۵/۷۵
آذرشهر	تراورتن قرمز	۲/۸	۴/۳	۱/۰۱	۲/۹	۲۰/۷	۵۳	۰/۱۲۲	۵۹/۴
حاجی آباد	تراورتن حاجی آباد	۲/۶	۵/۶	۰/۸۵	۲/۹	۲۱	۶۱/۵	۰/۱۲۴	۵۲
دره بخاری	تراورتن دره بخاری	۲/۷	۵/۴	۰/۸۷	۲/۹۵	۲۳/۵	۶۳	۰/۱۲۷	۵۲
صلصالی	مرمریت صلصالی	۳/۲	۶/۳	۰/۵۲	۳/۱	۳۱/۶	۷۳	۰/۱۰۵	۴۵/۷۵

EQC: کوارتز محتوی، BTS: مقاومت کششی، GS: اندازه دانه‌ها، MH: سختی موس، YM: مدول الاستیسیته، UCS: مقاومت فشاری تک

محوری، SF-a: فاکتور ساینده‌گی شیمازک



شکل ۱: دستگاه برش سنگ اولیه

در تحقیق حاضر سعی شد تا در گام نخست به منظور بررسی و ارزیابی سنگ‌های ساختمانی از جنبه‌های اقتصادی، مطالعات میدانی در یکی از کارخانجات سنگ‌بری در استان آذربایجان غربی صورت پذیرفت. بدین منظور داده‌ها و اطلاعات مربوط به نمونه سنگ‌های نرم در کارخانه فرآوری سنگ ساختمانی سنکاب گرانیت ارومیه جمع آوری شد. شکل ۱ دستگاه قله بر برای برش سنگ‌های نرم کربناته را نشان می‌دهد. داده‌های تهیه شده از این سنگ بری در جدول ۴ آورده شده است.

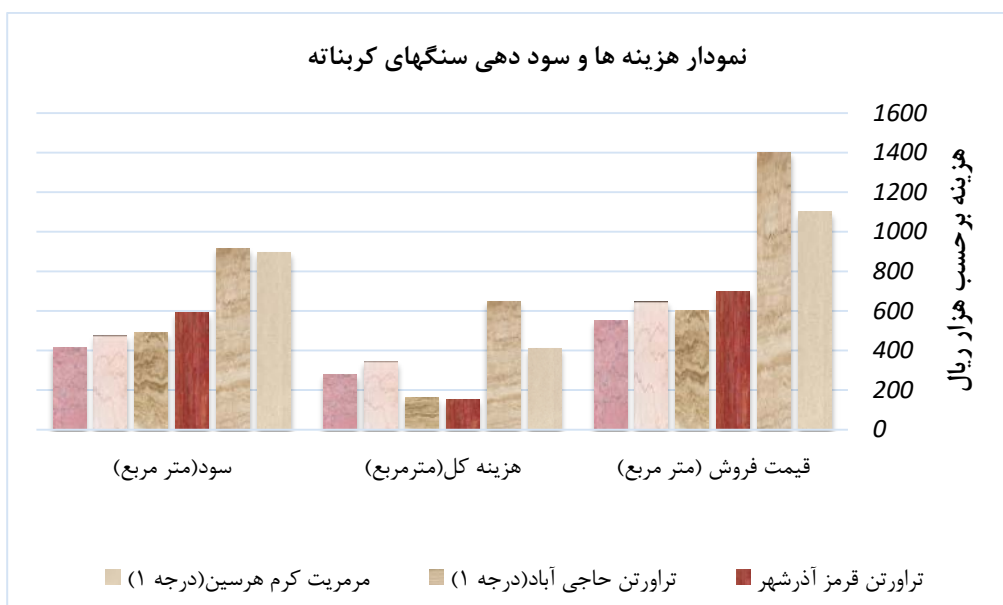
جدول ۴: داده‌های برداشت شده از کارخانه سنگ‌بری مورد مطالعه مربوط به برش سنگ‌های نرم

متغیرها	مقادیر	واحد	متغیرها	مقادیر	واحد	متغیرها	مقادیر	واحد
W_{co}	۶۰۰	لیتر بر ساعت	P_p	۱۲۰۰۰۰۰	ریال	N_L	۱	-
W_p	۴	ریال	L	۲۵	میلی‌متر	M_p	۱۰۰۰,۰۰۰	ریال
P	۷۲۰,۰۰۰	ریال	E_p	۱۲۸۱	ریال بر کیلووات ساعت	H_m	۲۷۶	ساعت
W_f	۰,۰۰۳۵	میلی‌متر بر ساعت	H_d	۱۶	ساعت	D_y	۲۳۵,۷	روز
S_p	۴۰۰,۰۰۰	ریال	V	۴۰۰	ولت	N	۵	-
G_p	۱۰۰۰,۰۰	ریال	K	۰/۰۳۶	-	P_d	۷۴۰,۰۰۰	ریال

۴- ارزیابی اقتصادی و رتبه بندی سنگ‌های مورد مطالعه

پس از ارزیابی اقتصادی سنگ‌های مورد مطالعه (محاسبه هزینه‌ها و درآمدها)، مناسب‌ترین سنگ از دیدگاه اقتصادی انتخاب می‌شود. بدین منظور در گام نخست مجموع هزینه‌های تولید شامل خرید، انتقال و برش بلوک‌های سنگی، تعیین و در گام بعد میزان درآمد و سود حاصل، با توجه به روابط مذکور محاسبه می‌شود. مجموع

هزینه‌های تولید، درآمد و سود حاصل از فروش نمونه سنگ‌های مورد مطالعه در جدول ۵ و نمودار شکل ۲ نشان داده شده است. بدین ترتیب از دیدگاه اقتصادی و با فرض ثابت بودن شرایط سرمایه گذاری (ثابت و در گردش) و تقاضای بازار، مناسب‌ترین گزینه‌ها برای برش در کارخانه فرآوری مورد مطالعه از میان گزینه‌های مورد بررسی به ترتیب تراورتن حاجی آباد، مرمریت کرم هرسین، تراورتن قرمز آذرشهر، تراورتن دره بخاری، مرمریت صلصالی و مرمریت صورتی انارک می‌باشند.



شکل ۲: نمودار هزینه ها و سود دهی سنگ های نرم مورد مطالعه

جدول ۵: جدول ارزیابی اقتصادی سنگ های مورد مطالعه

نام محصول	هزینه ها			سود (ریال بر متر مربع)	درآمد (ریال بر متر مربع)
	هزینه خرید قله (ریال بر تن)	هزینه برش (ریال بر مترمربع)	هزینه های دیگر		
مرمریت صلصالی	۲۵۰۰۰۰	۱۱۸۸۹/۵	۶۵۰۰۰	۴۷۴۷۶۰/۵	۶۵۰۰۰
تراورتن قرمز آذرشهر	۱۴۰۰۰۰	۱۱۱۳۰	۷۰۰۰۰	۵۹۴۳۷۰	۷۰۰۰۰
تراورتن حاجی آباد (درجه ۱)	۷۰۰۰۰۰	۱۱۵۰۳/۱	۱۴۰۰۰۰	۹۱۵۹۹۶/۹	۱۴۰۰۰۰
مرمریت انارک (صورتی)	۲۰۰۰۰۰	۱۱۸۸۹/۵	۵۵۰۰۰	۴۱۶۰۷۰/۵	۵۵۰۰۰
تراورتن دره بخاری	۱۵۰۰۰۰	۱۱۵۰۳/۱	۶۰۰۰۰	۴۹۲۹۱۶/۹	۶۰۰۰۰
مرمریت کرم هرسین	۲۸۰۰۰۰	۱۱۸۸۹/۵	۱۱۰۰۰۰	۸۹۵۳۳۰/۵	۱۱۰۰۰۰

۵- نتیجه گیری

به طور کلی هزینه های ناشی از برش یک بلوک سنگی را می توان به پنج بخش شامل: هزینه های مصرف دیسک، مصرف انرژی، نیروی کارگری، مصرف آب و تعمیر و نگهداری تقسیم کرد. ارائه یک مدل اقتصادی به منظور ارزیابی تمامی هزینه های برش و تعیین میزان سودآوری در یک کارخانه فراوری سنگ می تواند کمک شایانی به طراحان و سرمایه گذاران در این بخش از صنعت در برنامه ریزی بهتر و پویاتر باشد. در تحقیق حاضر پس از شناسایی فاکتورهای هزینه ساز و ارائه یک مدل اقتصادی به بررسی و رتبه بندی ۶ نمونه سنگ تراورتن قرمز آذرشهر، تراورتن حاجی آباد، تراورتن دره بخاری،

مرمریت کرم هرسین، مرمیت صلصالی و مرمیت صورتی انارک در کارخانه فراوری در شهرستان ارومیه پرداخته شد. نتایج حاصل از این بررسی ها نشان داد که:

- در میان هزینه های کل تولید، هزینه خرید یک تن سنگ قله از اهمیت بالایی برخوردار می باشد به طوری که در اکثر نمونه های مورد مطالعه این هزینه به ازاء واحد بریده از سنگ بیش از نود درصد هزینه های تولید می باشد.
- هزینه مصرف انرژی در میان هزینه های برش به عنوان حساس ترین و تاثیرگذارترین فاکتور مطرح می باشد که دلیل این امر را می توان در افزایش قیمت حامل های انرژی

آذرشهر با حداکثر میزان قابلیت برش، کم‌ترین میزان نرخ مصرف انرژی را دارا می‌باشد.

- جهت ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین سنگ برای برش، شاخص سوددهی با توجه به هزینه‌ها و درآمد برش معرفی شد. با بررسی سنگ‌های مورد مطالعه، تراورتن حاجی آباد شاخص سودآوری ۹۱۵۹۹۶/۹ ریال به ازای هر مترمربعه عنوان سودآورترین سنگ از میان سنگ‌های مورد مطالعه انتخاب شد.

در چند سال اخیر جستجو کرد. با توجه به رابطه نرخ مصرف انرژی، پارامترهای نرخ تولید، نرخ انرژی مصرفی در میان‌باری و توان مصرفی در میزان نرخ انرژی مصرفی دستگاه موثر بوده و از میان این پارامترها، توان مصرفی به دلیل متغیر بودن شاخص قابلیت برش، برای سنگ‌های مورد مطالعه متفاوت می‌باشد. در سنگ‌های مورد مطالعه به طور کل با افزایش شاخص قابلیت برش، توان مصرفی دستگاه کاهش یافته و به تبع آن نرخ مصرف انرژی کاهش می‌یابد. در میان سنگ‌های مورد مطالعه، تراورتن قرمز

۶- فهرست نمادها

نماد	واحد	شرح	نماد	واحد	شرح
W_{co}	لیتر بر ساعت	نرخ مصرف آب	E_p	ریال بر کیلو وات ساعت	قیمت واحد انرژی
W_p	ریال	قیمت واحد لیتر آب	M_p	ریال	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه دستگاه
P	ریال	دستمزد هر کارگر در ماه	D_y	-	تعداد روزهای کاری در سال
N_L	نفر	تعداد کارگر	H_d	ساعت	تعداد ساعت کاری در روز
H_m	ساعت	تعداد ساعات کاری در ماه	C_T	ریال بر متر مربع	تابع هزینه کل
D_c	میلی‌متر	عمق برش	I_c	آمپر	شدت جریان
F_r	سانتی‌متر	نرخ پیشروی	RSi	-	شاخص قابلیت برش
P_h	متر مربع بر ساعت	نرخ تولید	C_{EC}	ریال بر متر مربع	هزینه انرژی مصرفی
W_r	میلی‌متر بر ساعت	نرخ سایش	V	ولت	ولتاژ
n	-	تعداد دفعات استفاده از بدنه دیسک فولادی	C_T	ریال بر متر مربع	هزینه کل تولید
S_p	ریال	هزینه سگمنت برای فرآوری مجدد دیسک فولادی	BF	ریال بر متر مربع	سود حاصل از فروش
G_p	ریال	هزینه جوش سگمنت‌ها به بدنه فولادی	K	ضریب تبدیل برابر ۰/۰۳۶	
P_d	ریال	قیمت دیسک	C_c	قیمت سنگ قلعه‌بر	ریال بر تن
P_p	ریال	هزینه بدنه فولادی	γ	گرم بر سانتی‌متر مکعب	جرم حجمی
S_{ip}	ریال بر متر مربع	قیمت فروش واحد سطح سنگ	T_p	متر	ضخامت پلاک سنگ
E_{co}	کیلو وات بر ساعت	نرخ انرژی مصرفی	T_s	متر	ضخامت سگمنت

مراجع

- Process by Using FDAHP and TOPSIS Techniques, Efficient Decision Support Systems: Practice and Challenges – From Current to Future / Book 2", ISBN 978-953-307-441-2., 478.
- [8] Mikaeil, R., Ozcelik, Y., Ataei, M., Yousefi, R., (2011). Correlation of Specific Ampere Draw with Rock Brittleness Indexes in Rock Sawing Process. Arch. Min. Sci., Vol. 56, No 4, 741–752.
- [9] Ataei, M., Mikaeil, R., Hoseinie, S. H., Hosseini, S. M. (2012). Fuzzy analytical hierarchy process approach for ranking the sawability of carbonate rock. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 50, 83–93.
- [10] Mikaeil, R., Ozcelik, Y., Ataei, M., Yousefi, R. (2013). Ranking the sawability of dimension stone using Fuzzy Delphi and multi-criteria decision-making techniques. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences; 58, 118–126.
- [11] Mikaeil, R., Ataei, M., Ghadernejad, S., Sadegheslam, G. (2014). Predicting the Relationship between System vibration with Rock Brittleness Indexes in Rock Sawing Process. Archives of Mining Sciences, 59-1, 139-153.
- [۱۲] میکائیل، رضا؛ رضا یوسفی و محمد عطایی، ۱۳۸۹، پیش بینی قابلیت برش سنگ‌های ساختمانی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، فصلنامه زمین شناسی مهندسی ۴ (۲)
- [۱۳] میکائیل، رضا؛ ۱۳۹۰، ارائه یک سیستم طبقه بندی جدید برای ارزیابی قابلیت برش سنگ‌های ساختمانی و بهینه سازی پارامترهای برش، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [1] Ayhan, M. (2005). Cost model and sensitivity analysis of cutting and processing stage at marble plant. Industrial Diamond Review, Vol.3 49-54
- [2] Sadegheslam, G., & Mikaeil, R., & Ghadernejad, S., & Ataei, M. (2010). Cost Model and Sensitivity Analysis of Sawing Process at a Carbonate Rock Plant. The First International Conference on Mining, Mineral Processing, Metallurgical and Environmental Engineering (ICME2013).
- [3] Mikaeil, R., Ataei, M., Yousefi, R. (2011). Application of a fuzzy analytical hierarchy process to the prediction of vibration during rock sawing, Mining Science and Technology (China) 21, 611–619.
- [4] Mikaeil, R., Yousefi, R., Ataei, M., Abbasian, R. (2011). Development of a New Classification System for Assessing of Carbonate Rock Sawability. Arch. Min. Sci. 56: 1: 57–68.
- [5] Mikaeil, R., Ataei, M., Yousefi, R. (2011). Correlation of production rate of dimension stone with rock brittleness indexes. Arabian Journal of Geosciences. 6, 115-121.
- [6] Mikaeil R., Yousefi R., Ataei M., (2011). Sawability Ranking of Carbonate Rock Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and TOPSIS Approaches. ScientiaIranica, Transactions B: Mechanical Engineering, 18, 1106–1115.
- [7] Mikaeil R., Ataei M., Yousefi R., (2011). Evaluating the Power Consumption in Carbonate Rock Sawing