نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

دوره اول, شماره ۲، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ٤٧ تا ٦٠
Vol. 1, No. 2, winter 2017, pp. 47-60

راهکارهای بهبود زنجیره تولید سنگ ساختمانی کشور با مطالعه میدانی سنگ تراورتن محلات

رضا احمدی[1*]

۱- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک

(دریافت ۱۳۹٤/۰۵/۰۹، پذیرش۱۳۹٤/۰۷/۰٦)

چکیده

هدف از بهبود صنعت سنگ ساختمانی، مهندسی مجدد زنجیره تولید سنگ است. در حقیقت مهندسی مجدد زنجیره تولید سنگ، افزایش قابل ملاحظه میزان تولید با بازدهی بالا، تامین کیفیت محصول نهایی، حداقل کردن مقدار باطله‌های سنگی تولید شده و دفع شده در محیط زیست و تولید محصولات جنبی با استفاده از باطله‌های سنگی است. در این پژوهش، راهکارهای بهبود کلیه مراحل زنجیره تولید سنگ ساختمانی شامل اکتشاف، استخراج (بهره-برداری) و فرآوری، ارایه شده و عمدتا بر روی نوع سنگ، روش‌های استخراج، سیستم تجهیزات و دستگاه‌های استخراجی، روش‌های فرآوری و ماشین‌آلات آن، نیروی کار و سرمایه‌گذاری متمرکز شده است. همچنین به عنوان مطالعه میدانی، معادن تراورتن و واحدهای سنگ‌بری و فرآوری سنگ در منطقه محلات استان مرکزی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه معادن تراورتن (۲۹ مورد) و واحدهای سنگ‌بری و فرآوری سنگ (۱۸ مورد) این منطقه از طریق بازدیدهای میدانی نشان می‌دهد که به طورکلی مراحل زنجیره تولید سنگ منطقه نیازمند بهبود است. اگرچه تقریبا در تمامی معادن منطقه از روش‌های نوین استخراج (روش سیم برش) استفاده می‌شود اما میزان حجم لاشه تولید شده زیاد است و بهره‌برداری در تمامی ابعاد نیاز به بهبود دارد. همچنین تعداد زیادی از واحدهای سنگ‌بری و فرآوری سنگ منطقه (حدود ۶۵ درصد) هنوز به شیوه سنتی کار می‌کنند که مستلزم بهینه‌سازی است. در پایان نیز اقدامات مورد نیاز دولتی در راستای بهبود این صنعت ارایه شده است.

کلمات کلیدی

سنگ ساختمانی، زنجیره تولید، سنگ‌بری، فرآوری سنگ، تراورتن، محلات.

[*]نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: rezahmadi@gmail.com

۱- مقدمه

سنگ‌های ساختمانی از جمله ذخایر معدنی با ارزش هستند که به کارگیری آن‌ها در فضاهای داخلی و نمای بیرونی ساختمان‌ها، مراکز تجاری، معابر و میادین شهرها، جلوه و شکوه زیادی دارد. به طورکلی سنگ‌های ساختمانی بر اساس شکل هندسی و ابعاد حاصل از استخراج به دو گروه سنگ‌های تزیینی و نما و سنگ لاشه تقسیم‌بندی می‌شوند. به آن دسته از سنگ‌های ساختمانی که رنگ و ظاهر زیبا دارند و می‌توان از آن‌ها کوپ[1] (بلوک‌های سنگی بزرگ مکعبی شکل به وزن چند تن)، قواره (قطعات سنگی مکعبی شکل که از کوپ بدست می‌آید) و پلاک[2] (صفحات سنگی که از کوپ و یا قواره بدست می‌آید) تهیه کرد، سنگ تزیینی و نما گفته می‌شود. عموم سنگ‌های ساختمانی که به صورت مالن[3] (سنگ تراشیده و چکش خورده) یا اشکال غیرمنظم برای پی ساختمان، دیوار و پایه پل به کار می‌روند، در رده سنگ‌های لاشه قرار دارند [۱].

انواع مختلف سنگ که دارای خصوصیات کیفی لازم باشند را می‌توان به عنوان سنگ ساختمانی مورد استفاده قرار داد. عمده سنگ‌های ساختمانی را سنگ‌های آهکی و دولومیتی (شامل تراورتن، سنگ چینی، مرمریت و مرمر) و گرانیت‌ها تشکیل می‌دهند. سنگ‌های آهکی به دلیل سختی مناسب، قابلیت برش، ساب و صیقل، تنوع رنگ‌ها، مقاومت خوب، قابلیت استخراج آسان، عدم امکان آلتره شدن و میزان ذخایر عظیم، در بین سنگ‌های ساختمانی جایگاه خاصی دارند. گرانیت‌ها نیز از جمله سنگ‌های ساختمانی هستند که به دلیل سختی زیاد، شفافیت، زیبایی خیره‌کننده، تنوع طرح‌ها و رنگ‌ها و تباین زیبای رنگ‌ها اهمیت و ارزش زیادی دارند. این مواد علاوه بر تامین نیازهای داخلی کشور می‌توانند در امر صادرات و سودآوری ارز نیز نقش به‌سزایی داشته باشند.

صنعت سنگ ساختمانی یک صنعت شدیدا پویاست که علیرغم وجود مسایل و مشکلات ایمنی و زیست محیطی، به عنوان یک صنعت اقتصادی مهم در دنیا به سرعت در حال رشد و توسعه است. بر اساس آمارهای بین‌المللی، کشور ایران از نظر تعدد، تنوع و غنای ذخایر سنگ ساختمانی در ردیف ۱۰ کشور عمده دارای ذخایر سرشار سنگ‌های تزیینی و نمای جهان به شمار می‌آید [۲،۳]. ذخایر پایه سنگ‌های تزیینی و نمای کشور، حدود ۴/۵ میلیارد تن است که از این میزان، حدود یک میلیارد و نهصد میلیون تن، ذخیره قطعی بوده و شامل ۵۳ درصد مرمریت، ۳۵ درصد گرانیت، ۱۰/۵ درصد تراورتن و کمتر از ۱ درصد، مرمر است [۴،۵].

در کشور ایران ۴۰ نوع سنگ ساختمانی شناسایی شده است و انواع معادن سنگ‌های تزیینی و نما شامل تراورتن، مرمریت، سنگ چینی، گرانیت و مرمر با ذخایر سرشار و تنوع رنگی بالا وجود دارد که از این حیث پس از کشورهای چین و هند دارای رتبه سوم جهان است [۲،۵]. تنوع رنگ یکی از فاکتورهای موثر در کیفیت سنگ است که معادن سنگ ساختمانی ایران، تنوع رنگ بالایی دارند و تنها در منطقه بیرجند، سنگ‌هایی با ۳۰ طیف رنگی، استخراج می‌شود [۵،۶].

بر اساس گزارش نمایشگاه بین‌المللی سنگ و ماشین کارارای[4] ایتالیا، کشور ما ایران طی چند سال گذشته با تولید سالانه حدود ۱۰ تا ۱۳ میلیون تن سنگ ساختمانی (در حدود ۸ درصد تولید جهانی)، چهارمین تولید کننده عمده سنگ‌های تزیینی و نما در جهان، محسوب می‌شود [۲،۷] ولی با این حال متاسفانه کنترل کیفیت و در نتیجه بهره‌وری فرآیند این صنعت در ایران بسیار پایین است. هدف از پژوهش حاضر بررسی راهکارهای بهبود زنجیره تولید سنگ به منظور کاهش حجم زیاد باطله‌های سنگی دفع شده در محیط زیست و افزایش بهره‌وری است.

۲- زنجیره تولید سنگ ساختمانی

در واقع فرآیند تولید در صنعت سنگ ساختمانی به صورت یک زنجیره است که حلقه‌های این زنجیره را مراحل اکتشاف، استخراج (بهره‌برداری) و فرآوری سنگ تشکیل می‌دهند. این حلقه‌ها به شدت به یکدیگر وابسته بوده و انجام هرگونه عملیات بهینه‌سازی در طی زنجیره تولید سنگ، منجر به افزایش بازدهی و راندمان کار می‌شود. بهینه‌سازی باید از مرحله اکتشاف سنگ آغاز شود و تا پایان تولید محصول نهایی به طور مداوم، منعطف و کنترل شده باشد. عمده‌ترین عواملی که باید کنترل شوند، نوع سنگ ساختمانی، کیفیت و کمیت آن، سیستم استخراج، واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ، نیروی کار و سرمایه‌گذاری است.

۳- بهبود مرحله اکتشاف

به منظور اکتشاف سنگ‌های ساختمانی در یک محدوده باید از واحدهای سنگی موجود در آن محدوده از نظر توانایی سنگ‌های تشکیل دهنده سازندهای مختلف، شناخت کامل و

دقیقی داشت. حالت صخره‌ای بودن دامنه کوه به طوری‌که سطوح صاف و بدون درزه و شکاف در سطح کوه قابل رویت باشد، وجود صخره‌های بزرگ و سالم رها شده در دامنه کوه و رنگ ظاهری (به عنوان مثال سفیدی کوه) در قدم اول راهگشاست؛ که این مناطق باید مورد بررسی بیشتر قرار گیرند.

به طورکلی مشخصات کیفی لازم برای یک معدن سنگ ساختمانی به صورت زیر است.

الف- سنگ فاقد آثار ناشی از پدیده دگرسانی باشد. در طی فرآیند دگرسانی در صورتی‌که شرایط دگرسانی مانند آب، Eh و pH مناسب، املاح محلول، دما و نظایر آن فراهم باشد، بعضی از کانی‌ها به سهولت دگرسان شده و به کانی‌های ثانویه تبدیل می‌شوند. طی این فرآیند بافت سنگ‌ها سست و متلاشی شده و از مقاومت آن‌ها تا حد زیادی کاسته می‌شود و به هنگام استخراج، میزان زیادی لاشه تولید می‌گردد [۸].

ب- منطقه تکتونیزه نباشد و فاقد لایه‌بندی وسیع باشد. وجود درزه و شکاف‌ها در بدنه سنگ چه به صورت درزه‌های نسبتا بزرگ و چه به شکل درزه‌های کوچک استحکام لازم را از سنگ می‌گیرد و در هنگام استخراج نمی‌توان بلوک‌های بزرگ استخراج کرد و با تولید مقدار زیادی لاشه همراه است. این سنگ‌ها در موقع برش و صیقل نیز متلاشی شده و تولید مقدار زیادی لاشه می‌کنند. به هنگام تراشیدن و چکش زدن بلوک‌های سنگی به منظور تهیه مالن هم، مقدار زیادی لاشه‌سنگ تولید می‌شود [۸].

پ- فاقد شیستوزیته و لایه‌بندی ظریف باشد.

ت- قابلیت برش، ساب و صیقل را داشته باشد. این مورد با انجام آزمایش‌های تجربی بر روی چند بلوک نمونه قابل تشخیص است.

ث- سختی و مقاومت مکانیکی قابل قبول داشته باشد (سنگ‌هایی که دارای مقاومت فشاری کمتر از ۴۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع باشند نمی‌توانند به عنوان سنگ ساختمانی به کار روند [۸]). به عنوان مثال سنگ‌آهک‌های مارنی که درصد کمی رس دارند دارای مقاومت کمی بوده و به هنگام استخراج، میزان زیادی لاشه تولید می‌شود.

ج- از نظر زیبایی رنگ و تباین رنگ‌ها جذاب بوده، درجه همگنی، جنس و یکنواختی خوبی دارند.

د- دارای شرایط استخراج روباز، آسان و بدون باطله‌برداری باشد.

بنابراین قبل از هر چیز لازم است، علاوه بر شناخت نوع سنگ ساختمانی، کیفیت و مرغوبیت سنگ از لحاظ میزان شفافیت و عدم وجود ترک‌ها، درزه و شکاف‌ها و ناخالصی‌های موجود در آن به وسیله نمونه‌برداری و آزمایش‌های محوری متعدد (اعم از فشاری یا کششی) و نیز تهیه مقاطع میکروسکوپی، به طور دقیق مشخص شود.

اگرچه اکتشاف سنگ‌های تزیینی و نما در مقایسه با دیگر مواد معدنی به ویژه کانسارهای فلزی، نسبتا ساده‌تر است و نیاز به انجام عملیات اکتشاف مرحله‌ای، نمونه‌برداری‌های متعدد، انجام آنالیزهای شیمیایی زیاد، انجام عملیات حفاری‌های گسترده و عمیق و در نتیجه صرف زمان طولانی و هزینه‌های هنگفت نیست، اما این مرحله از فرآیند تولید سنگ در ایران، بسیار ابتدایی و غیرعلمی انجام می‌شود. از مهم‌ترین دلایل این امر می‌توان فقدان تخصص و دانش لازم نزد متقاضیان ثبت محدوده‌های اکتشافی سنگ‌های تزیینی و نما، وفور میزان ذخایر سنگ ساختمانی در کشور و عدم توجه و به کارگیری روش‌های نوین در این خصوص دانست.

بسیاری از دارندگان پروانه اکتشاف و صاحبان معادن سنگ ساختمانی، به دلیل عدم آگاهی و انجام عملیات اکتشاف به صورت نادرست، در جای جای محدوده ثبتی خود، اقدام به انجام عملیات حفاری و احداث جبهه‌کار می‌کنند که این کار علاوه بر صرف زمان و هزینه زیاد، منجر به، به هم ریختگی ظاهر طبیعت و محیط زیست می‌شود.

علاوه بر روش‌های معمول و متداول اکتشاف، ارزیابی و کنترل کیفیت یک معدن سنگ ساختمانی، می‌توان از روش‌های نوین غیرمخرب ارزیابی معدن مانند روش ژئوفیزیکی رادار نفوذی به زمین[5] (GPR) [۱۳-۱۰] نیز استفاده کرد.

بهینه‌سازی مرحله اکتشاف معدن سنگ ساختمانی علاوه بر کاهش میزان باطله‌های دفع شده در محیط زیست، کاهش قابل توجه هزینه‌های بهره‌برداری را نیز در بردارد.

۴- بهبود مرحله استخراج

نوع و کیفیت سنگ از مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب روش استخراج مناسب است. کیفیت سنگ رابطه مستقیم با قیمت آن دارد و قیمت سنگ نیز روش استخراج را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به این ترتیب که هرچه قیمت سنگ بالاتر باشد، کیفیت در استخراج نیز به تناسب قیمت، بالاتر می‌رود و بهره‌بردار سعی می‌کند تا میزان استخراج را بالا برد و میزان باطله را پایین آورد [۷]. مطابق آمار رسمی مرکز آمار ایران (۱۳۹۱)، در سال ۱۳۹۰ تعداد معادن سنگ ساختمانی کل

کشور، ۱۵۲۰ عدد اعلام شد که تعداد ۱۱۵۸ معدن، فعال است. به دلایل گوناگون از جمله شرایط، خصوصیات، نوع و جنس کانسار، به روز نبودن دستگاه‌ها و تکنولوژی استخراج، میزان باطله‌های سنگی در معادن سنگ ایران در مرحله استخراج به ویژه در مواقعی که سنگ، دارای کلیواژ، درزه و شکاف و شکستگی باشد و درزه‌های موجود در سنگ به یکدیگر نزدیک باشند، مطابق شکل ۱ بین ۷۵ تا ۹۰ درصد است [۷]. البته در پی برخی بهبودهایی که در صنعت سنگ کشور در طی چند سال اخیر انجام شده است، میزان ضایعات سنگ بیش از ۲۵ درصد، کاهش یافته است [۵].

شکل ۱: انباشتگی باطله‌ها و لاشه‌های حاصل از استخراج تراورتن در مجتمع معدنی حاجی‌آباد محلات

مهم‌ترین روش‌های استخراج بلوک سنگ شامل روش استخراج با چال‌های موازی (نعل و پارس یا پارس- گوه)، روش استخراج با تیغه‌های برنده (ماشین‌های برش)، روش استخراج با سیم برش و روش استخراج به کمک مواد مخصوص است. روش استخراج با چال‌های موازی در مورد گرانیت‌ها و در شرایطی که دسترسی به نیروی برق و آب کافی امکان‌پذیر نباشد، بهترین روش به حساب می‌آید. نیاز به تامین برق، آب، ماشین‌آلات مخصوص، فراهم کردن ابزار مصرفی و نیروی متخصص از جمله مشکلات روش استخراج با تیغه‌های برنده و روش استخراج با سیم برش است. به هرحال اگرچه هزینه استخراج با این روش‌ها نسبتا زیاد است اما کمترین میزان ضایعات در حین استخراج تولید می‌شود. در مجموع استفاده از روش سیم برش الماسه از سایر روش‌های دیگر متداول‌تر و بهینه‌تر است و با توجه به انعطاف‌پذیری زیاد و مزیت‌های این سیستم نسبت به روش‌های سنتی، امروزه به عنوان بهترین و مناسب‌ترین روش در صنعت سنگ تلقی می‌شود.

به طورکلی دو نوع سیم الماسه وجود دارد. سیم الماسه با ماده ارتجاعی که می‌تواند در معدن و توسط خود کارگران آموزش دیده سوار شده و پس از اتمام کار مجددا تفکیک شود و مدل لاستیکی و پلاستیکی که امکان سر هم نمودن آن‌ها در معدن وجود ندارد. تجربه نشان داده است که برای مرمرها (شامل سنگ‌های آهکی نرم مانند مرمر، مرمریت، تراورتن، سنگ چینی و نظایر آن) سیم‌های ارتجاعی که از قدیم نیز مرسوم بوده، مناسب‌تر است [۱۴]. سیم‌های ارتجاعی در کم کردن تنش‌های به وجود آمده به هنگام برش مرمرها بسیار موثر هستند، به ویژه هنگامی که سرعت خطی سیم، بیشتر از ۴۰ متر بر ثانیه باشد. در این سیم‌ها به طور متوسط در هر متر طول سیم بین ۲۸ تا ۳۴ مهره قرار می‌گیرد. در سنگ‌های سیلیسی (مانند گرانیت‌ها) که سختی بالایی دارند، استفاده از سیم‌های با روکش پلاستیکی، مناسب‌تر است. سرعت خطی سیم نیز باید پایین باشد (بین ۱۸ تا ۲۸ متر بر ثانیه) [۱۴].

مواد (فلزات) ارتجاعی باعث می‌شوند که مهره‌ها بتوانند تا حدودی در جای خود لغزش داشته باشند که این امر باعث بالا رفتن بازدهی برش می‌شود. اما چنانچه گیره‌های مهارکننده وجود نداشته باشند، جابه‌جایی و لغزش زیاد مهره‌ها باعث تراکم زیاد در یک قسمت سیم و در نتیجه پاره شدن آن می‌شود، بنابراین دو نکته یا دو معیار کلی در انتخاب سیم الماسه اجتناب‌ناپذیر است: بهره‌وری یا بازدهی[۶] (مقدار میدان برشی دستگاه بر حسب متر مربع در هر ساعت) و دوام یا عمر مفید[۷] (مقدار میدان برشی به ازای هر متر طول سیم الماسه). هنگام کار در سنگ، عمر سیم در برش‌های بزرگ و کوچک ممکن است از ۳ تا ۵ متر مربع برش متغیر باشد زیرا در برش‌های کوچک‌تر سطح تماس بین سنگ و سیم، کوچک‌تر است، در نتیجه فشار بیشتری بر سیگمنت‌ها وارد می‌شود و سرعت خوردگی آن‌ها افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات انجام شده در حالت مطلوب می‌توان با یک قطعه سیم برش به طول ۲۵ متر، ۶۰۰ متر مربع سنگ را برید [۱۴]. بازدهی متوسط سیم برش الماسه برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱: بازدهی سیم برش الماسه برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها [۱۴]

نوع سنگ	بازدهی متوسط (متر مربع در ساعت)	بازدهی حداکثر (متر مربع در ساعت)
مرمرها	۳-۱۲	۱۸
گرانیت‌ها	۱-۵	۸

دوام سیم برش برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها در جدول ۲ ارایه شده است. البته در بعضی موارد، مورد دوم به مورد اول کاملا ترجیح داده می‌شود، یعنی یک سیم با کارآیی یا سرعت برش پایین ولی با دوام و عمر مفید بالا، کاملا ارجحیت دارد.

جدول ۲: دوام سیم برش الماسه برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها [۱۴]

نوع سنگ	دوام متوسط (به ازای هر متر طول سیم)	دوام حداکثر (به ازای هر متر طول سیم)
مرمرها	۱۵-۴۰	۱۴۰
گرانیت‌ها	۲/۵-۷	۱۲

برای سیم الماسه یک سرعت خطی بهینه وجود دارد که در آن سرعت، بازدهی و دوام سیم برش حداکثر است. سرعت سیم را باید همواره نزدیک سرعت بهینه نگاه داشت (یعنی سرعت خطی بالا همیشه به معنی سرعت برشی بالا نیست). مدل‌های مناسب سیم برش برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها مطابق جدول۳ است.

جدول ۳: مدل مناسب سیم برش برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها [۱۴]

نوع سنگ	مدل سیم برش مناسب
مرمرها	کابل+ مهره‌های کلوخه‌ای یا رسوب الکترولیتی+ مواد ارتجاعی+ حلقه‌های فاصله دهنده
گرانیت‌ها	فقط سیم‌های با روکش پلاستیکی یا لاستیکی بدون مواد ارتجاعی (بیشتر از مهره‌های کلوخه‌ای و به ندرت از مدل رسوب الکترولیتی استفاده می شود.)

تراکم مهره‌ها در هر متر طول سیم برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها در جدول ۴ ارایه شده است.

افزایش سرعت برش با استفاده از سیم‌های با سرعت بالا، تولید محصولی می‌کند که منجر به سود محسوسی در مصرف آب، انرژی و هزینه‌های پرسنلی (اپراتوری) می‌شود. به عنوان مثال داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد که افزایش سرعت سیم برش از ۱۱ به ۱۶ متر مربع در ساعت، می‌تواند سود بسیاری در استخراج نوعی مرمر (متراکم) به همراه داشته باشد [۱۴].

بدترین حالت استخراج یا برش سنگ‌ها، روش آزمون و خطا است، یعنی دائما جهت‌گیری استخراج و برش سنگ‌ها

جدول ۴: تراکم مهره‌ها برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها [۱۴]

نوع سنگ	تراکم مهره‌ها (در هر متر طول سیم)
مرمرها	۲۸-۳۴
گرانیت‌ها	۳۲-۴۰

جدول ۵: افزایش سود در اثر افزایش سرعت سیم برش از ۱۱ به ۱۶ متر مربع در ساعت برای استخراج نوعی مرمر (متراکم) [۱۴]

نوع سرعت / فاکتور هزینه (واحد پول)	سرعت استاندارد (متر مربع در ساعت)	سرعت بالا (متر مربع در ساعت)
استهلاک ماشین	۶	۵
نگهداری و تعمیرات	۳	۲
الکتریسیته	۲۳	۱۶
اپراتور	۳۵	۲۴
آب	۸	۵
کابل	۲۵	۳۵
جمع هزینه‌ها	۱۰۰ (ارزش مرجع)	۸۷

در طول پیشرفت استخراج تغییر کند و بهترین روش استخراج آن است که جهت‌گیری برش در راستای درزه و شکاف‌ها و ترک‌های اصلی باشد [۱]. درصورتی که معدن سنگ ساختمانی دارای لایه‌بندی ظریف و یا ناپیوستگی باشد در هنگام استخراج نمی‌توان بلوک‌های بزرگ از آن استخراج کرد و با تولید مقدار زیادی سنگ لاشه، همراه است.

به عنوان مثال در شکل ۲ مراحل استخراج یک بلوک سنگ، شکسته شدن آن به قطعات کوچک‌تر و تولید سنگ لاشه در اثر وجود لایه‌بندی‌های ظریف در یکی از معادن تراورتن مجتمع معدنی حاجی‌آباد محلات واقع در استان مرکزی نشان داده شده است.

اگر بلوک‌های سنگی در سطح جانبی خود دارای شکاف‌های عمیق و مرئی باشند حتی اگر در مرحله استخراج متلاشی نشوند، در همان ابتدای کار کنار گذاشته می‌شوند. درصورتی‌که بلوک استخراجی دارای لایه‌بندی ظریف، تکتونیزه و یا حتی میکروتکتونیزه باشد اغلب سنگ در هنگام برش این بلوک‌های بزرگ زیر اره‌های برش و یا صیقل دادن اسلب‌های بریده شده، متلاشی و به مقدار زیادی سنگ لاشه تبدیل می‌شود، بنابراین آگاهی از وجود یا عدم وجود لایه‌بندی‌های ظریف و تعیین روش توزیع فضایی ناپیوستگی‌های ساختاری، درون بلوک‌های سنگ تزیینی و نما بسیار مهم است.

شکل ۲: مراحل استخراج یک بلوک سنگ (دارای لایه‌بندی ظریف) در یکی از معادن تراورتن مجتمع معدنی حاجی‌آباد محلات

در مرحله بهره‌برداری از ذخایر سنگ، استفاده از استانداردهای معتبر جهانی ضروری است. در سطح جهانی دو مجموعه استاندارد معتبر سنگ وجود دارد که یکی استاندارد انجمن آزمون و مواد آمریکا[۸] (ASTM) و دیگری استاندارد بریتانیایی[۹] (BS) است. استاندارد ASTM اعتبار خاصی دارد و مرجعی برای دست‌اندرکاران صنعت سنگ به شمار می‌رود. رعایت این استاندارد در تولید سنگ‌های صادراتی و فروش آن‌ها تاثیر بسیار زیادی دارد و مورد اعتماد خریداران است. در ایران نیز استاندارد ASTM انتخاب شده که مورد قبول اتحادیه اروپا نیز است. این استاندارد خصوصیات فنی حداقل مقاومت، حداقل سختی، حداقل چگالی و حداکثر میزان (درصد) جذب آب سنگ را مشخص می‌کند. به عنوان مثال بلوک‌های سنگ‌های آهکی نباید بیش از ۵ درصد رطوبت داشته باشند، حداقل ضریب نرمی سنگ‌های آهکی باید ۷۰ درصد باشد، بلوک‌ها باید دارای شکل متوازی‌السطوح قائم بوده و انحراف زوایای سطوح مجاور از زاویه قائم بیش از ۵ درجه نباشد، اندازه بلوک‌ها تا حد ممکن از ۲/۵×۲×۲ متر کمتر نباشد و وزن حجمی سنگ‌ها به منظور جلاپذیری آن‌ها باید از ۲۰۰۰ کیلوپاسکال بر مترمکعب بیشتر باشد [۷].

کنترل کیفیت و ارزیابی بلوک‌های استخراجی قبل از ارسال به واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ علاوه بر کاهش میزان باطله‌های دفع شده در محیط زیست تا حد قابل توجهی باعث کاهش هزینه‌های فرآوری می‌شود.

۵- بهبود مرحله فرآوری سنگ

مهم‌ترین مرحله زنجیره تولید سنگ ساختمانی، بخش فرآوری آن یعنی برش سنگ و ساب و صیقل است. شاخص اصلی توسعه و مرکز ثقل ارزش افزوده سنگ تزیینی نیز در مرحله فرآوری نهفته است زیرا ارزش افزوده صادرات سنگ فرآوری شده به طور متوسط در حدود شش برابر صادرات سنگ خام است [۷]. کیفیت محصول نهایی سنگ ساختمانی در گرو فرآوری آن است که اگر ارزان‌ترین سنگ، بهترین ساب

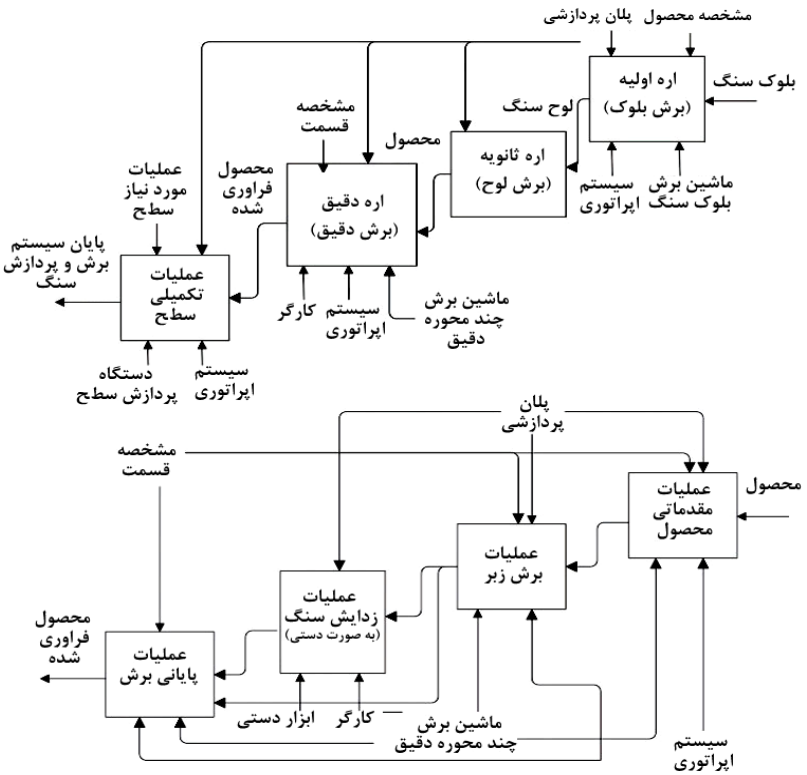
را خورده باشد جزو با ارزش‌ترین سنگ‌ها محسوب می‌شود. در مرحله فرآوری سنگ نیز همواره مقداری لاشه تولید می‌شود (شکل ۳) که میزان لاشه تولید شده به کیفیت سنگ ساختمانی و ماشین‌آلات فرآوری سنگ بستگی دارد. بنابراین بهینه‌سازی این مرحله از فرآیند نیز بسیار مهم است.

شکل ۳: تصویر سنگ لاشه‌های تولید شده در مرحله برش سنگ (یکی از واحدهای سنگبری منطقه محلات)

درخصوص تعداد واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ کشور، آمار و ارقام متفاوتی در دسترس است. حدود ۶۰۰۰ واحد فرآوری سنگ در کشور وجود دارد که از این تعداد، تنها ۳۰۰ واحد با استفاده از تکنولوژی روز، سنگ را فرآوری می‌کنند [۵]. در کشور ما از هر تن سنگ معدن تقریبا حدود ۱۲ متر مربع سنگ تولید می‌شود، درحالی‌که این آمار در کشورهای اروپایی، حدود ۱۵ متر مربع است [۵].

یکی از موضوعات مهم و اساسی در مورد سنگ ساختمانی، ارتقای بخش فرآوری با استفاده از سیستم‌ها و روش‌های نوین و هوشمند و تجهیزات، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات به‌روز است تا نقش اشتباهات انسانی به حداقل برسد. امروزه نقش، اهمیت و جایگاه تجهیزات، ماشین‌آلات و دستگاه‌های فرآوری سنگ مطابق با فناوری‌های روز دنیا، در ارایه محصولاتی زیبا، جذاب، با کیفیت عالی و پربازده بر هیچ کس پوشیده نیست [۱۵]، چیزی که در کشور ما کمتر به آن توجه شده است.

در سطح جهان تولید محصول با کیفیت عالی از بلوک سنگ، بر پایه یک سری فرآیندهای استاندارد انجام می‌گیرد که این فرآیندها در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: مدل کاربردی فرآیند برش سنگ ساختمانی [۵]

معمولا پردازش سنگ بر روی بلوک‌های استخراجی سنگ ساختمانی انجام می‌شود، این بلوک‌های استخراجی، شکل و ابعاد گوناگونی دارند ولی اغلب به شکل بلوک‌های مکعبی به طول ۱٫۸ تا ۳ متر، عرض ۱٫۵ تا ۲ متر و ارتفاع ۱ تا ۲ متر است. هدف طرح پردازش، برش و صیقل سنگ، با کمترین میزان ضایعات است [۱۶].

۶- بهبود نیروی انسانی

آمادگی نداشتن نیروی انسانی شاغل در معادن سنگ، مشکل اصلی ساختار سنتی این صنعت است. اکثر پیمانکاران در این رشته به طور تجربی کار را فرا گرفته و به صورت سنتی کار می‌کنند. در کشور ما حدود ۲۳۱۶۰ نفر کارگر (اکثرا غیرمتخصص یا با تخصص ناکافی)، در معادن سنگ‌های ساختمانی مشغول به کار هستند [۵]. بر اساس آمار سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی کشور (۱۳۹۳) نسبت کارکنان دارای تحصیلات مهندسی و تکنسین در معادن سنگ کشور به کل نیروی انسانی فعال در آن‌ها به ترتیب ۴٫۷ و ۸٫۲ درصد بوده است [۱۷].

بر اساس مطالعات میدانی انجام شده در پژوهش حاضر، میزان تحصیلات کارکنان شاغل در بخش معادن سنگ ساختمانی، حتی از این آمار نیز پایین‌تر است که با آموزش صحیح بهره‌برداران معادن و سرمایه‌گذاران در این بخش، قابل اصلاح است. کلیه پرسنل صنعت سنگ ساختمانی اعم از کارگر، اپراتور و یا حتی مدیریت و کارشناس برنامه‌ریز باید در حیطه وظایف خود آموزش‌های مناسب را برای به‌کارگیری روش بهینه دیده باشند.

آموزش شاغلان در صنعت سنگ از مرحله استخراج تا مرحله تولید و فرآوری، امری الزامی است، زیرا تنها استفاده از ماشین‌آلات مدرن مطرح نیست بلکه استفاده بهینه از آن‌ها نیز اهمیت زیادی دارد و این امر مستلزم آموزش کارکنان معادن، خط تولید و فرآوری سنگ است. این آموزش‌ها به طورکلی شامل شناخت دستگاه‌ها و تجهیزات، روش استفاده، سرویس و نگهداری آن‌ها، مسایل ایمنی، بهداشت و محیط زیست است.

۷- بهبود سرمایه‌گذاری

معادن سنگ ایران جزو معادن کوچک تلقی می‌شوند و بهره‌برداران در این رشته به طور عمده مشکل کمبود سرمایه دارند. بر اساس مطالعات میدانی و به گفته اکثر معدن‌کاران، بانک‌ها نیز مشارکت خاص و عامی با این‌گونه سرمایه‌گذاران ندارند و تسهیلات ویژه و مناسب برای وارد کردن دستگاه‌های پیشرفته و به روز در اختیار معدن‌کاران قرار داده نمی‌شود یا اینکه فقط برای ماشین‌آلات خاص مانند لودر انجام می‌گیرد.

تشکیل گروه‌های مقتدر سرمایه‌گذاری به جای ساختار سنتی، متفرق و پراکنده مدیریت بهره‌برداری که در بیش از ۵۰۰ معدن سنگ کشور جریان دارد، چاره اساسی کار است. تشکیل قطب‌ها و خوشه‌های صنعتی با ادغام سرمایه‌ها، تجهیزات، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات چند واحد سنگبری و فرآوری سنگ با یکدیگر نیز در زمینه بهبود مسایل سنگ، اثربخش است.

تشکل تخصصی از طریق جذب استعدادهای منفرد، به سرمایه عظیم انسانی می‌رسد که تجربه موفق دو کشور چین و هند در صنعت سنگ دنیا، پیش روی ماست. بخش اعظم رشد شگفت‌انگیز این دو کشور آسیایی، ناشی از تشکیل گروه‌های مقتدر سرمایه‌گذاری بر پایه جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی است.

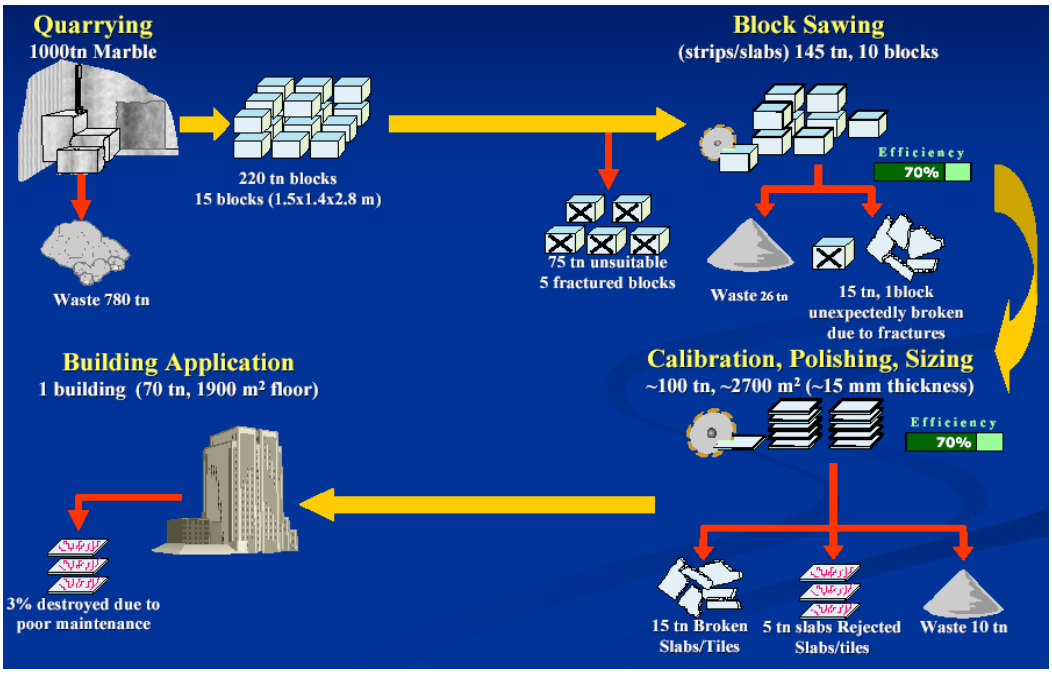
۸- مهندسی مجدد زنجیره تولید سنگ

مدل شماتیک از یک زنجیره تولید سنگ بهینه‌سازی نشده در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود از یک معدن سنگ آهکی، مقدار ۱۰۰۰ تن سنگ، استخراج می‌شود که از این مقدار، حدود ۷۸۰ تن در همان ابتدای کار در مرحله استخراج به عنوان باطله، غیرقابل استفاده و دورریز است و تعداد ۱۵ بلوک (۱٫۵×۱٫۴×۲٫۸ متر) جمعا به وزن ۲۲۰ تن برای انجام عملیات بعدی، بهره‌برداری می‌شود. از ۱۵ بلوک یاد شده، تعداد ۵ بلوک به وزن ۷۵ تن به دلیل وجود ناپیوستگی (درزه و شکاف و شکستگی)، نامناسب است و قبل از مرحله برش، حذف می‌شوند (غیرقابل استفاده‌اند) به عبارتی تعداد ۱۰ بلوک به وزن ۱۴۵ تن به وسیله اره‌های برش، بریده می‌شوند که با راندمان کار ۷۰ درصد در این مرحله، یک بلوک به وزن ۱۵ تن، به دلیل شکستگی‌های غیرقابل پیش‌بینی موجود در درون آن، شکسته شده و دورریز می‌شود، همچنین در حین برش به میزان ۲۶ تن لاشه‌سنگ به عنوان باطله تولید می‌شود.

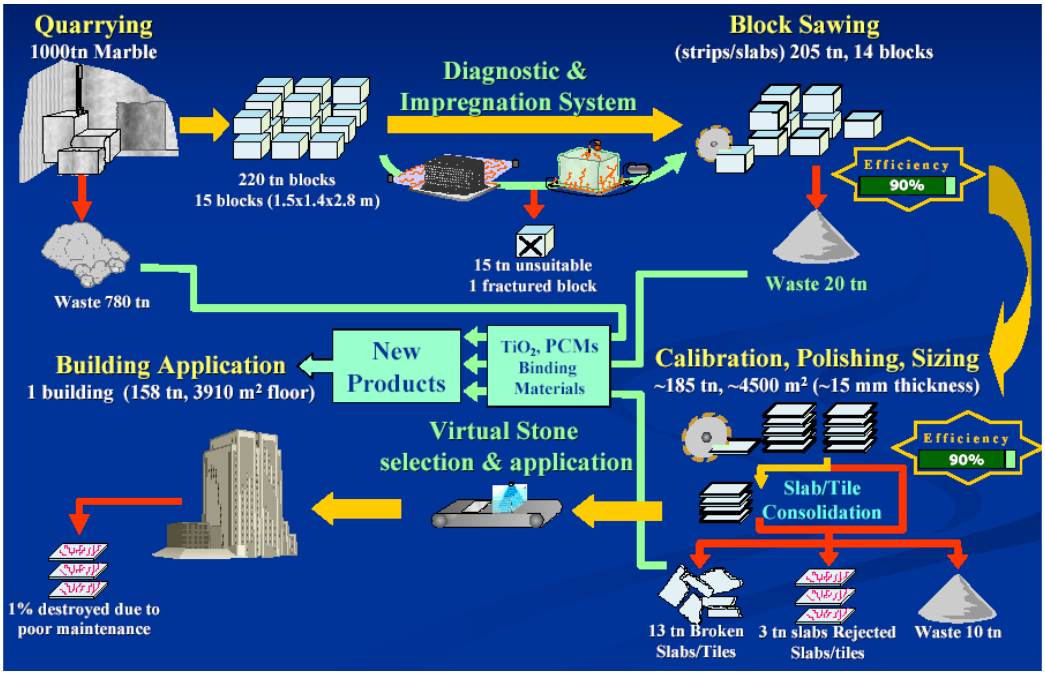
محصول تولیدی این مرحله از فرآیند برش، حدود ۱۰۰ تن یا ۲۷۰۰ مترمربع صفحه سنگی (با ضخامت حدود ۱۵ میلی‌متر) است که با انجام عملیات تنظیم و کالیبراسیون،

صیقل‌کاری و برش به اندازه‌های مورد نظر با راندمان کاری ۷۰ درصد، تعدادی از اسلب‌ها و پلاک‌ها به وزن حدود ۱۵ تن، شکسته شده و دورریز می‌شود، همچنین حدود ۵ تن از اسلب‌ها یا پلاک‌های تولیدی، غیرقابل قبول‌اند که آن‌ها نیز قابل استفاده نیستند و همراه با ۱۰ تن لاشه‌سنگ تولید شده در حین این مرحله از فرآیند تولید، به عنوان باطله، دورریز می‌شوند [۷]. محصول تولیدی این مرحله از فرآیند، برای مصرف، وارد بازار می‌شود که در حین مصرف و نصب در نمای ساختمان‌ها حدود ۳ درصد از محصول، به دلیل نگهداری ضعیف از بین می‌رود.

در شکل ۶ نیز شمایی از زنجیره تولید سنگ قبلی همراه با انجام عملیات بهینه‌سازی، نشان داده شده است.



شکل ۵: مدل شماتیک از یک زنجیره تولید سنگ بهینه‌سازی نشده [۷]



شکل ۶: مدل شماتیک از یک زنجیره تولید سنگ بهینه‌سازی شده [۷]

در این مورد هم از یک معدن سنگ آهک، مقدار ۱۰۰۰ تن سنگ، استخراج می‌شود و از این مقدار حدود ۷۸۰ تن در همان مرحله استخراج، باطله تولید می‌شود که البته با بهینه‌سازی کار، مجددا بازیابی شده و در تهیه محصولات جانبی (عمدتا به عنوان مصالح در کارهای ساختمانی) استفاده می‌شود. در این مرحله، تعداد ۱۵ بلوک (۱٫۵×۱٫۴×۲٫۸ متر) جمعا به وزن ۲۲۰ تن برای انجام عملیات بعدی، بهره‌برداری می‌شود. بعد از انجام عملیات بهینه‌سازی به وسیله سیستم تشخیص و آشکارسازی بر روی ۱۵ بلوک یاد شده، تنها یکی از بلوک‌ها به وزن ۱۵ تن شکسته شده و غیرقابل استفاده است و تعداد ۱۴ بلوک به وزن ۲۰۵ تن با اره‌های برش، بریده می‌شوند که با راندمان کار ۹۰ درصد در این مرحله، مقدار ۲۰ تن لاشه‌سنگ در حین برش، تولید می‌شود و این بخش نیز همراه با باطله‌های مرحله بهره‌برداری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. محصول تولیدی این مرحله از فرآیند برش، حدود ۱۸۵ تن یا ۴۵۰۰ مترمربع (با ضخامت حدود ۱۵ میلی‌متر) صفحه سنگی است که با انجام عملیات تنظیم و کالیبراسیون، صیقل‌کاری و برش به اندازه‌های مورد نظر با راندمان کاری ۹۰ درصد و تحکیم اسلب‌ها و پلاک‌های تولیدی، تعدادی از اسلب‌ها و پلاک‌ها به وزن حدود ۱۳ تن، شکسته شده، حدود ۳ تن، غیرقابل قبول است و همراه با ۱۰ تن لاشه‌سنگ تولید شده در حین این مرحله از فرآیند تولید، به عنوان باطله همراه با باطله‌های مراحل قبلی تولید، برای تولید محصولات جانبی، بازیابی می‌شوند. در حین مصرف و نصب در نمای ساختمان‌ها نیز حدود ۱ درصد از محصول به دلیل نگهداری ضعیف از بین می‌رود [۷].

در حقیقت مهندسی مجدد زنجیره تولید سنگ، بهینه‌سازی این صنعت به منظور افزایش قابل ملاحظه تولید، تامین کیفیت محصول تولیدی نهایی، کاهش میزان باطله‌های سنگی تولید شده و دفع شده در محیط زیست، تولید محصولات جنبی با استفاده از باطله‌های سنگی و بالا رفتن راندمان کار است، بدین ترتیب بخش تولید سنتی سنگ به یک صنعت مدرن، رقابتی، مبتنی بر دانش، مجهز به تکنولوژی برتر و بادوام تبدیل می‌شود.

۹- کاربرد لاشه‌سنگ به عنوان محصول جنبی

در هر یک از مراحل زنجیره تولید سنگ بهبود یافته نیز مقداری لاشه‌سنگ ایجاد می‌شود. تمامی لاشه‌های ایجاد شده در طی زنجیره تولید سنگ، به عنوان محصولات جنبی به حساب می‌آیند که با یک برنامه‌ریزی اصولی و مدون می‌توان برای آن‌ها نیز محل مصرف تعیین کرد و در نتیجه باعث افزایش بازدهی کار و سوددهی فرآیند تولید و کاهش میزان باطله تا حد مطلوب شد.

لاشه‌سنگ تولید شده، در زمینه‌های مختلف مانند ساخت مصنوعات سنگی و هنری (ساخت ظروف سنگی، سرقلیان، حجاری و دیگ سنگی)، مجسمه‌سازی، یادبودها، پودرسنگ، خرده‌سنگ، سنگ موزاییک، کاشی سنگی، سنگ مصنوعی، سنگ‌فرش، به عنوان پرکننده در تهیه آسفالت، کود شیمیایی، حشره‌کش‌ها، رنگ‌سازی، لاستیک‌سازی، پلاستیک‌سازی، در صنایع شیمیایی، آرایشی، تولید کاغذ، صنایع فولاد، دفاع، ماشین‌سازی، کشاورزی، الکترونیک، دارویی، نسوز، شیشه و در تهیه انواع مصالح ساختمانی مانند سیمان، پرکردن بین دیوارها شفته‌ریزی، ملات بتن، آسفالت و شن و ماسه (که در استحکام و دوام ساختمان بسیار موثر و مفید واقع می‌شوند)، قابل استفاده است [۸].

صنایعی که می‌توانند از این لاشه‌ها به عنوان ماده اولیه استفاده کنند متنوع و زیاد هستند اما میزان مصرف صنایع یاد شده در مقایسه با حجم لاشه‌های تولید شده در صنعت سنگ ساختمانی، اندک است.

۱۰- مطالعه موردی: معادن و واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ منطقه محلات

استان مرکزی بعد از استان‌های خراسان، اصفهان، یزد، آذربایجان غربی، فارس و لرستان بیشترین تعداد معادن فعال سنگ ساختمانی را دارد [۱۸]. مطابق آمار رسمی مرکز آمار ایران (۱۳۹۱) در سال ۱۳۹۰ تعداد کل معادن فعال سنگ تزیینی و نمای استان مرکزی، ۶۹ عدد و عمدتا از نوع تراورتن است [۱۹]. عمده معادن تراورتن ایران نیز در استان مرکزی و در حوالی شهر محلات متمرکز شده اند [۱۸]. منطقه محلات در جنوب شرقی استان مرکزی واقع است و در این منطقه تراورتن‌ها با گسترش نسبتا زیاد دیده می‌شوند که محصول عملکرد چشمه‌های آب گرم آهک‌ساز قدیمی هستند. از مهم‌ترین این معادن می‌توان مجتمع معدنی حاجی‌آباد، آتشکوه، عباس‌آباد A_1، عباس‌آباد A_2، شاهوری، باغ‌ملک، نینه، تخت آبگرم، باقرآباد B_3، باقرآباد B_4 و تخت‌دوگوش را نام برد [۱۸].

مطالعه تعداد ۲۹ معدن بزرگ تراورتن منطقه محلات از طریق بازدیدهای میدانی نشان می‌دهد که تقریبا تمامی معادن این منطقه نیاز به بهینه‌سازی دارند، مثلا در اکثر معادن منطقه ارتفاع بلوک‌های استخراجی بهینه نیست (از جمله در مجتمع معادن عباس‌آباد، دره‌بخاری و نظایر آن)، همچنین تغییر شیوه استخراج و یا استفاده از شیوه‌های استخراج ترکیبی در بعضی از معادن توصیه می‌شود (مثلا امکان تلفیق روش‌های استخراج استفاده از ماشین‌های برش و سیم برش الماسه در مجتمع معادن حاجی‌آباد وجود دارد). شیوه بارگیری در اکثر معادن استان نیاز به بازنگری و بهینه‌سازی دارد (به عنوان مثال در مجتمع معادن حاجی‌آباد با توجه به وضعیت و موقعیت کارگاه‌های استخراج، استفاده از سیستم بارگیری به وسیله جرثقیل، بسیار کاراتر و مقرون به صرفه‌تر از سیستم بارگیری به وسیله لودر و یا سیستم‌های دیگر است). جاده‌های اکثر معادن منطقه نامناسب است (به عنوان مثال جاده‌های مجتمع معادن عباس‌آباد و باقرآباد با توجه به زیاد بودن تعداد کارگاه‌های استخراج به هیچ وجه کیفیت مناسبی ندارد.) که همین امر به شدت بازدهی کار را پایین آورده، موجب استهلاک ماشین‌آلات و آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود. یکی از مشکلات عمده در اکثر معادن تراورتن منطقه (از جمله مجتمع معادن عباس‌آباد، باقرآباد، تخت‌آبگرم و نظایر آن) نبود برق برای دستگاه‌های برش است که باعث بالا رفتن هزینه‌های مربوط به ژنراتورهای دیزلی می‌شود.

در پژوهش حاضر ۱۸ عدد از واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ ساختمانی در سطح منطقه نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که تعداد معدودی از این واحدها (حدود ۳۵ درصد) نسبتا با دستگاه‌ها، تجهیزات، ماشین‌آلات و تکنولوژی روز دنیا مجهز شده‌اند و تعداد زیادی (حدود ۶۵ درصد) هنوز به شیوه سنتی کار می‌کنند. در واحدهای فرآوری سنتی، تولید محصولات استاندارد امکان‌پذیر نیست و میزان باطله تولیدی نسبتا زیاد است که باید علاوه بر تجهیز با ماشین‌آلات روز، آموزش‌های لازم به کارکنان آن‌ها نیز داده شود.

۱۱- اهم مشکلات مبتلا به تولید

به طورکلی مهم‌ترین مسایل و مشکلات گریبان‌گیر فرآیند تولید سنگ ساختمانی که منجر به تولید محصولات غیراستاندارد، حجم زیاد باطله و راندمان پایین فرآیند تولید می‌شوند به شکل لیست‌وار عبارتند از:

- استاندارد نبودن بخش عمده‌ای از ماشین‌آلات و تجهیزات (۸۰ درصد از آن‌هایی که در داخل کشور تولید می‌شوند).
- استاندارد نبودن بخش عمده تولیدات معادن و واحدهای فرآوری سنتی تولیدکننده و آموزش محدود نیروی انسانی در معادن و واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ در راستای تولید استاندارد
- فقدان خط تولید تمام خودکار، تلفیقی و تولیدات سنگ هوشمند. امروزه در کشورهای پیشرفته، ساب یک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای کاملا منسوخ شده است و معمولا ساب در چندین مرحله و با پولیش دهنده‌های مختلف انجام می‌گیرد [۲۰].
- فقدان کنترل فرآیند و کیفیت. کنترل کیفیت در کارخانه‌های فرآوری سنگ و تهیه اسلب، باید در جنبه‌های گوناگونی مانند ابعاد، زوایا، پولیش و مقاومت سنگ انجام شود. به عنوان مثال امروزه برای اندازه‌گیری میزان درزه‌های سنگ و مقاومت آن از روش‌های التراسونیک استفاده می‌کنند و یا برای آزمایش درجه ساب و صیقل سنگ از دستگاه‌های بسیار پیشرفته بهره می‌برند که بر اساس تکنولوژی‌های مختلفی مانند تابیدن نور به سطح سنگ و اندازه‌گیری درصد نور بازتابی استوار است.

۱۲- اقدامات مورد نیاز دولتی در راستای بهبود صنعت سنگ

به منظور بهبود وضعیت صنعت سنگ ساختمانی کشور، اقدامات مورد نیاز دولتی را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- ارتقای تحقیقات و مطالعات در مورد مراحل اکتشاف، استخراج، فرآوری و معماری سنگ
- تامین آب، برق، جاده، ماشین‌آلات مدرن و اعتبارات لازم در بخش استخراج و فرآوری
- افزایش آزمون‌های فیزیکی و گواهی‌های تایید کیفیت سنگ‌ها، فراهم کردن تسهیلات برای انجام آزمایش‌ها مطابق استانداردهای بین‌المللی
- تجدید نظر در استانداردهای فعلی در زمینه سنگ برای ایجاد استانداردهای جدیدتر
- تشکیل قطب‌ها و خوشه‌های صنعتی با ادغام سرمایه‌ها، تجهیزات، ابزارآلات، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات چند معدن یا واحد سنگبری و فرآوری سنگ با یکدیگر
- برگزاری سمینارها و کارگاه‌های آموزشی برای افزایش

آگاهی در میان صنایع محلی، برگزاری دوره‌های آموزشی برای مدیران و صنعت‌گران در مورد بهینه‌سازی عملیات تولید محصولات باکیفیت

- طراحی برنامه‌های آموزشی فنی مداوم برای کارآفرینان و صنعت‌گران در مورد تکنولوژی‌های نوین، از طریق موسسه‌های تخصصی و فراهم کردن تسهیلات آموزشی فنی، برای پاسخ به نیازهای بخش سنگ

۱۳- نتیجه‌گیری

امروزه صنعت سنگ ساختمانی به عنوان یک صنعت اقتصادی مهم در دنیا به سرعت در حال رشد و توسعه است. فرآیند تولید در این صنعت همانند یک زنجیره است و حلقه‌های این زنجیره را مراحل اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ تشکیل می‌دهند. بهره‌وری فرآیند تولید سنگ در گرو عملکرد بهینه و درست هر یک از مراحل زنجیره تولید صنعت سنگ است.

در طی عملیات تولید سنگ در هر یک از مراحل زنجیره تولید، همواره مقدار زیادی لاشه‌سنگ تولید می‌شود که معمولا در محیط زیست دفع می‌شود. این عمل علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، باعث کاهش بازدهی و راندمان فرآیند تولید نیز می‌شود. بنابراین به منظور کاهش حجم میزان باطله‌های تولید شده و در نتیجه حفظ محیط زیست و افزایش بهره‌وری فرآیند تولید سنگ، باید تمام مراحل زنجیره تولید سنگ بهبود یابند. بهینه‌سازی باید از مرحله اکتشاف سنگ آغاز شود و تا پایان عملیات تولید محصول نهایی، به طور مداوم، منعطف و کنترل شده ادامه یابد.

در این پژوهش مسایل و مشکلات حلقه‌های زنجیره تولید صنعت سنگ در کشور مورد بررسی قرار گرفته است و در هر مورد راهکارهای بهبود و توسعه کمی و کیفی ارایه شده است که نتایج حاصل را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

صنعت سنگ کشور در مقایسه با کشورهای صاحب این صنعت در دنیا، با حاشیه‌ها و مشکلاتی روبرو است. مطالعه معادن سنگ تراورتن و واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ در منطقه محلات استان مرکزی (که یکی از پتانسیل‌های بزرگ سنگ کشور به شمار می‌آید) به عنوان مطالعه میدانی پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که این صنعت در تمامی زمینه‌ها نیاز به بهبود دارد.

فقدان تخصص و دانش لازم نزد متقاضیان ثبت محدوده‌های اکتشافی سنگ‌های تزیینی و نما، وفور میزان ذخایر سنگ ساختمانی در کشور و عدم توجه و به کارگیری روش‌های نوین اکتشاف و ارزیابی کانسارهای سنگ ساختمانی، موجب شده تا بنیان مراحل زنجیره تولید سنگ یعنی مرحله اکتشاف، به درستی انجام نشود. بنابراین در مرحله اکتشاف محدوده‌های ثبت شده سنگ‌های تزیینی و نما، قبل از احداث جبهه‌کار باید با به کارگیری روش‌های نوین ارزیابی غیرمخرب سنگ‌های تزیینی و نما همانند روش رادار نفوذی به زمین، بهترین موقعیت محدوده مورد مطالعه به منظور دست‌یابی به مناسب‌ترین پتانسیل ذخیره سنگ ساختمانی، شناسایی شود.

نبود استانداردهای لازم در تولیدات معادن و واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ، عدم استفاده معادن و کارخانجات فرآوری از فناوری و تجهیزات روز دنیا، عدم آشنایی بخش عمده‌ای از مدیران معادن و واحدهای فرآوری سنگ با علوم و مدیریت روز دنیا، استاندارد نبودن بخش عمده تولیدات و آموزش محدود نیروی انسانی در معادن و واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ در راستای تولید استاندارد، پایین بودن کنترل فرآیند و کیفیت، فقدان استراتژی مشخص در حوزه‌های مختلف صنعت سنگ کشور و در نتیجه پایین بودن بهره‌وری زنجیره تولید سنگ در ایران، از جمله مشکلات این صنعت است. همچنین فرآیند تولید سنگ در کشور به دلیل بالا بودن هزینه انرژی، نیروی انسانی و سایر هزینه‌های تولید، پرهزینه است که بهبود مراحل مختلف زنجیره تولید سنگ را می‌طلبد و این امر مستلزم تدوین استراتژی‌های مشخص برای این صنعت است.

در صورتی‌که امکانات اولیه مورد نیاز معادن سنگ ساختمانی مانند آب، برق و جاده مناسب و نیز ماشین‌آلات استخراجی به‌روز و کارآمد با حمایت و مدیریت دولت و با کمک مالی معدن‌داران و معدن‌کاران سنگ ساختمانی، خریداری و تامین شود، استراتژی مشخص معدن‌کاری سنگ ساختمانی تدوین شود، آموزش‌های کاربردی دوره‌ای و مداوم با مدیریت و توسط بخش‌های دولتی مرتبط و با هزینه‌های معادن انجام گیرد، عمده مشکلات بخش بهره‌برداری از معادن برطرف می‌شود و در نهایت راندمان این مرحله از زنجیره تولید سنگ ارتقا می‌یابد. در ارتباط با بخش فرآوری سنگ، داستان قدری پیچیده‌تر است. در این خصوص حمایت و راهنمایی‌های دولت در تاسیس شرکت‌های تخصصی، تجهیز واحدهای سنگبری و کارخانجات فرآوری

سنگ این شرکت‌های تخصصی یا خوشه‌های صنعتی سنگ یا سرمایه‌گذاران بزرگ (که بعضا از طریق تجمیع و ادغام سرمایه‌گذاران کوچک حاصل می‌شود) با تجهیزات، ماشین‌آلات و دستگاه‌های فرآوری سنگ مطابق با فناوری‌های روز دنیا، آموزش مداوم کارکنان این بخش در راستای نحوه استفاده صحیح از ماشین‌آلات و دستگاه‌ها، شیوه تولید محصولات با کیفیت، استاندارد و مطابق با بازارهای روز کشورهای پیشرفته دنیا (با اجباری کردن استانداردهای جهانی برای تولیدات واحدهای سنگبری و فرآوری سنگ) و نیز آموزش امور بازاریابی اثربخش و تجارت جهانی به کلیه مدیران، سرپرستان و مسئولان این بخش از همان ابتدای تجهیز کارخانه، منجر به بهره‌وری بالای بخش فرآوری صنعت سنگ کشور می‌شود.

در کشور ما به این موضوع توجه اندکی شده است و همین امر باعث پایین بودن کیفیت محصولات تولیدی ما و راندمان پایین فرآیند تولید سنگ می‌شود. اعمال راهکارهای ارایه شده به منظور بهبود تمام مراحل زنجیره تولید سنگ در عمل، منجر به بهبود وضع موجود می‌شود. پژوهش حاضر یک تحقیق بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای است که نتایج آن برای معدن‌کاران سنگ ساختمانی، واحدهای سنگبری و کارخانجات فرآوری سنگ و پیمانکاران ساختمانی قابل کاربرد است.

۱۴- مراجع

[۱] نبیان، ا.؛ فرهادیان، م.ب.؛ برادران، م.؛ حمیدی انارکی، غ.؛ ۱۳۷۱؛ **"سنگ‌های تزئینی و نما"**، وزارت معادن و فلزات- معاونت اکتشافی و معدنی.

[۲] فهیمی فر، ج.؛ ۱۳۸۱؛ **"تعیین بازارهای هدف سنگ‌های تزئینی"**، تهران، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، ۲۲۰ صفحه.

[۳] احمدی، ر.؛ ۱۳۸۶؛ **"بررسی وضعیت صادرات سنگ‌های ساختمانی ایران و تجزیه و تحلیل بازارهای هدف"**، مجله سراسری سازمان نظام مهندسی معدن، شماره ۴، ص ۶۰-۵۱.

[۴] فهیمی فر، ج.؛ ۱۳۷۶؛ **"بازار جهانی سنگ‌های تزئینی و سهم صادراتی ایران"**، تهران، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، ۲۲۳ صفحه.

[۵] احمدی، ر.؛ ۱۳۹۰؛ **"چشم‌انداز آینده صنعت سنگ ساختمانی ایران در مقایسه با کشورهای صاحب این صنعت مانند ایتالیا، چین، هند و ترکیه"**، نشریه سنگ، معدن و صنایع وابسته ایران، چهارمین نمایشگاه سنگ، معدن و صنایع وابسته ایران، نیمور محلات.

[۶] فتحی، ی.؛ ۱۳۷۸؛ **"شناسایی مزیت‌های نسبی و اولویت‌های بازارهای هدف صادرات سنگ‌های تزئینی ایران"**، مجله پژوهش نامه بازرگانی، شماره ۲۲، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، ص ۹۰-۵۷.

[۷] احمدی، ر.؛ ۱۳۸۷؛ **"راهکارهای بهبود تکنولوژی تولید سنگ به منظور افزایش سهم صادرات سنگ فرآوری شده در استان مرکزی"**، گزارش طرح پژوهشی، سازمان مدیریت و بازرگانی استان مرکزی، ۱۵۰ صفحه.

[۸] احمدی، ر.؛ ۱۳۸۴؛ **"کاربرد سنگ‌های لاشه حاصل از استخراج معادن تراورتن در صنعت"**، گزارش طرح پژوهشی طرف قرارداد با دانشگاه، تهران، معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۵۵ صفحه.

[۹] احمدی، ر.؛ ۱۳۹۱؛ **"روش ژئوفیزیکی رادار نفوذی به زمین (GPR)، تئوری، کاربردها و ارائه الگوریتم‌های پردازش و تفسیر"**، گزارش طرح پژوهشی طرف قرارداد با دانشگاه، اراک، معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اراک، ۱۴۵ صفحه.

[10] Porsani, J. L., Sauck, W. A., and Ju´nior, A. O. S. (2006). *"GPR for mapping fractures and as a guide for the extraction of ornamental granite from a quarry: A case study from southern Brazil"*, Journal of Applied Geophysics, 58: 177–187.

[11] Luodes, H. (2008). *"Natural stone assessment with ground penetrating radar"*, Estonian Journal of Earth Sciences, 57 (3): 149-155.

[12] Kadiglu, S. (2008). *"Photographing layer thicknesses and discontinuities in a marble quarry with 3D GPR visualization"*, Journal of Applied Geophysics, 64: 109–114.

[13] Arosio, D., Munda, S. and Zanzi, L. (2012). *"Quality control of stone blocks during quarrying activities"*, 14th International conference on Ground Penetrating Radar (GPR), June 4-8, Shanghai, China @ ISBN 978-1-4673-2663-6.

[۱۴] احمدی، ر.؛ غلامی، ا.؛ ۱۳۸۸؛ **"بهینه‌سازی در صنعت سنگ ساختمانی به منظور افزایش سهم صادرات با نگرشی بر وضعیت استان مرکزی"**، سومین همایش سراسری سنگ‌های ساختمانی، ۶ خرداد، محلات، دانشگاه پیام نور محلات، ص ۱۴-۲.

[۱۵] احمدی، ر.؛ ۱۳۸۶؛ **"نقش و تأثیر تبلیغات در بازاریابی و صادرات و راهکارهای بکارگیری تبلیغات موثر و مفید"**، همایش سراسری سنگ‌های ساختمانی-دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.

[16] Campos, J. G. (2010). *"Advanced design and maufacturing based on STEP"*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 125-143.

[۱۷] سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی کشور؛ ۱۳۹۳؛ بخش آمار، گزارش‌های آماری.

[۱۸] احمدی، ر.؛ ۱۳۸۲؛ **"بررسی و مطالعه وضعیت معادن و پتانسیل-های معدنی سنگ‌ساختمانی استان مرکزی"**، گزارش طرح پژوهشی طرف قرارداد با دانشگاه، تهران، معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۶۵ صفحه.

[۱۹] مرکز آمار ایران؛ ۱۳۹۱؛ دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه‌ریزی استانداری مرکزی، سالنامه آماری استان مرکزی (۱۳۹۰).

[۲۰] وزارت صنایع و معادن؛ ۱۳۷۹؛ **"صادرات سنگ های تزیینی و نما در پایان برنامه سوم به بیش از ۴۰۰ میلیون دلار می رسد"**، سنگ، فصلنامه سنگ‌های تزئینی ایران، شماره ۲۲، ص ۴۶-۳۶.

---

[۱] Cube
[۲] Slab
[۳] Mullion
[۴] Carrara
[۵] Ground Penetrating Radar
[۶] Productivity
[۷] Durability
[۸] American Society for Testing and Materials
[۹] British Standard