

## مدیریت سازگار با محیط‌زیست در صنعت سنگ ساختمانی مثال موردی: صنعت سنگ ساختمانی استان اصفهان

حمید گرانیان\*<sup>۱</sup>، راحب باقربور<sup>۲</sup>

۱ مربی، کارشناس ارشد مهندسی معدن، عضو هیات علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند  
۲ استادیار، دکتری مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱)

### چکیده

استان اصفهان با دارا بودن ۲۵۶ معدن فعال سنگ ساختمانی حدود ۴۰٪ تولید سنگ خام کشور و با داشتن ۱۵۵۰ کارخانه فرآوری سنگ نیز بیش از ۵۰٪ سنگ فرآوری شده کشور را تولید می‌کند. لذا این استان قطب صنعت سنگ کشور محسوب می‌شود. هر ساله حدود ۹ میلیون تن ضایعات در صنعت سنگ استان ایجاد می‌گردد، که این رقم در کل کشور حدود ۱۸ میلیون تن برآورد شده است. رها سازی این ضایعات در طبیعت باعث مشکلات محیط‌زیستی از قبیل اثرات ژئوشیمیایی منفی بر اکوسیستم طبیعی، آلودگی آب‌ها، از بین رفتن پوشش گیاهی و تاثیر منفی آن بر اکوسیستم منطقه و زندگی حیوانات، از بین رفتن شکل و چشم‌انداز طبیعی زمین، انتشار ذرات گرد و غبار و مواد سمی در هوا، دست خورده شدن خاک‌ها و آلودگی صوتی خواهد شد. بهترین راه حل برای مقابله با این معضلات مدیریت کردن ضایعات صنعت سنگ است. این مدیریت به صورت یک بسته پیشنهادی و در قالب سه سرفصل ارائه شده است. در بخش اول کاهش تولید ضایعات مدنظر است. این کاهش با انجام بررسی‌های اولیه قبل از استخراج و استفاده از فن‌آوری‌های نوین استخراجی در معدن و استفاده از روش‌های بهبود کیفیت بلوک قبل از برش و به کار بردن تکنولوژی‌های جدید در کارخانجات فرآوری سنگ صورت می‌گیرد. در بخش دوم استفاده مجدد از ضایعات با ایجاد واحدهای بازیافت ضایعات در مجتمع‌های سنگبری پیشنهاد شده است. و نهایتاً در بخش سوم دفع سازگار با محیط‌زیست ضایعات باقیمانده با انتخاب محل دفع مناسب و روش‌های به حداقل رساندن ارتباط دمپ ضایعات با اکوسیستم‌های طبیعی منطقه ارائه شده است. در صورت به کار بردن این روش‌های پیشنهادی به صورت یک بسته کامل امکان داشتن یک صنعت سازگار با محیط‌زیست و حتی یک صنعت بدون دورزیر نیز دور از انتظار نخواهد بود.

**کلید واژه‌ها:** سنگ‌های ساختمانی، ضایعات صنعت سنگ، مدیریت ضایعات، اثرات ژئوشیمیایی ضایعات سنگ

## سراغاز

طبق تعریف سنگ ساختمانی به سنگ طبیعی گفته می‌شود که می‌تواند به صورت طبیعی، یا پس از برش و صیقل و یا پس از شکل دادن به آن به صورت بلوک، تخته سنگ، ورقه، پلاک و یا با هر شکل و اندازه دیگری مورد استفاده قرار گیرد (American Geological Institute, 2003). مهمترین فاکتورها در انتخاب و نوع استفاده از سنگ ساختمانی داشتن حداقل خصوصیات فیزیکی، رنگ و ظاهر سنگ است. از سنگ ساختمانی در صنعت ساختمان به عنوان سنگ پوششی دیوارها و کف (حدود ۸۰٪)، صنایع تزئینی به عنوان ساخت مجسمه، مصنوعات سنگی و سنگ قبر (۱۵٪) و در سایر موارد مثل زیبا سازی محوطه‌های شهری (۵٪) استفاده می‌شود (Ashmole & Motloun, 2008). میزان تولید جهانی سنگ ساختمانی در سال ۲۰۱۰ میلادی، در ۳۰ کشور تولیدکننده حدوداً ۱۱۵ میلیون تن برآورد شده است. از این میزان ۷۳٪ آن توسط ۵ کشور عمده تولیدکننده (به ترتیب میزان تولید شامل چین، ترکیه، هندوستان، ایران و ایتالیا) استخراج شده است. در صورتی که قیمت متوسط هر تن سنگ در بازارهای جهانی ۱۸۹ دلار فرض شود، ارزش بازار جهانی سنگ خام حدود ۲۱/۸ میلیارد دلار در سال تخمین زده می‌شود (Dolley, 2012).

یکی از مهمترین مشکلات محیط‌زیستی در صنعت سنگ ساختمانی حجم بسیار بالای تولید ضایعات است. به طور متوسط در هنگام تولید بلوک‌های سنگی در معدن ۷۰-۳۵٪، در هنگام حمل و نقل و فرآوری ۴۰-۳۰٪ و در مجموع حدوداً ۸۰-۵۰٪ وزنی سنگ خام استخراج شده به ضایعات تبدیل می‌شود (A'lvarez-Fernández et al., 2012). این ضایعات اکثراً به صورت دمپ‌های باطله در نقاط مختلف به روی هم انباشت می‌شود که به مرور زمان با انجام واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی بر اکوسیستم منطقه تاثیر منفی خواهد داشت. این حجم عظیم ضایعات علاوه بر مشکلات محیط‌زیستی به لحاظ جمع‌آوری، بارگیری و باربری آنها تا محل دمپ هزینه‌های سنگینی را نیز بر صاحبان این صنعت تحمیل می‌کند. علاوه بر موارد فوق تولید ضایعات و دمپ آنها معمولاً همراه با معضلات اجتماعی نیز خواهد بود. بهترین راه حل برای غلبه بر موارد فوق انجام یک مدیریت منسجم بر صنعت سنگ است.

مدیریت معدنکاری و فرآوری سنگ ساختمانی دو موضوع بازدهی فرایندها و اثرات محیط‌زیستی این صنعت را شامل

می‌شود. از جنبه محیط‌زیستی سه فرآیند میزان مصرف انرژی، مدیریت ضایعات و آلودگی‌های محیط‌زیستی در درجه اول اهمیت قرار دارند، که در صنعت معدنکاری سنگ‌های ساختمانی بایستی برای بهینه کردن آنها توجه خاصی نمود. بر طبق قوانین کمیسیون اروپا ۶ معیار زیر برای مدیریت سازگار با محیط‌زیست عملیات استخراجی منابع معدنی پیشنهاد شده است (ECD, 2009):

۱. نسبت آب بازیافتی: که نشان‌دهنده نسبت آب باطله بازیافتی به میزان کل آب مصرفی در یک معدن است.
۲. نسبت اثر معدنکاری: که نشان‌دهنده درصد مساحت تحت تاثیر فعالیت‌های معدنکاری به کل مساحت منطقه است.
۳. میزان ضایعات طبیعی: که نشان‌دهنده درصد ضایعات غیرقابل مصرف ناشی از معدنکاری می‌باشد.
۴. کیفیت هوا: که نشان‌دهنده مقدار حد سالانه ذرات معلق در هوا بر حسب  $PM_{10}$  در اطراف منطقه معدنکاری است.
۵. کیفیت آب: که نشان‌دهنده مقدار کل ذرات موجود در آب منطقه معدنکاری است.
۶. آلودگی صوتی: که نشان‌دهنده میزان صدای موجود در اطراف منطقه معدنکاری است.

طبق قوانین کمیسیون اروپا برای اینکه یک فعالیت معدنکاری قابل قبول باشد بایستی، اولاً مقدار هر معیار از مقدار استاندارد (آستانه) کمتر یا بیشتر باشد (بطور مثال مقدار آستانه‌ها برای میزان ضایعات طبیعی حداکثر ۲۵٪، برای نسبت آب بازیافتی حداقل ۶۵٪ و برای آلودگی صوتی حداکثر ۶۰ dB می‌باشد). ثانیاً مجموع حاصلضرب هر معیار در ضریب وزنی خود بایستی حداقل ۱۹ باشد.

ایران نیز یکی از تولیدکننده‌های مهم سنگ ساختمانی در جهان به شمار می‌رود. بنابراین بررسی اثرات صنعت سنگ ساختمانی بر محیط‌زیست ایران بسیار ضروری خواهد بود. در این زمینه مطالعاتی همچون اثر متقابل معدنکاری سنگ ساختمانی بر محیط‌زیست (شهبازی و خراسانی، ۱۳۸۲)، اثر آلودگی صوتی ناشی از معدنکاری سنگ ساختمانی بر ساکنین منطقه مطالعاتی (شهریاری و همکاران، ۱۳۸۲)، تصفیه پساب کارخانجات سنگبری (یاسی‌پور تهرانی و مختاری، ۱۳۸۵)، کاربرد ضایعات سنگ ساختمانی با هدف کاهش اثرات زیانبار صنعت سنگ ساختمانی (رجب‌زاده و موسوی‌نسب، ۱۳۹۰؛ حقیقی و همکاران، ۱۳۸۶؛ میردامادی و همکاران، ۱۳۸۵) و بررسی اثر آلودگی فعالیت‌های معدنکاری بر محیط‌زیست (جمالی زواره و شهروز،

ضایعات معدنکاری (شامل ضایعات ناشی از استخراج در معدن است که کمیت و کیفیت آنها بسته به تکنولوژی استخراجی دارد و مقدار آنها ممکن است به بیش از ۲۵٪ حجم تولید برسد) و ذرات جامد، گرد و غبار و پساب تولید شده در معدن (شامل ذرات جامد، و گرد و غبار تولید در هنگام حفاری با ابعاد بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون، ذرات جامد تولید در هنگام استفاده از روش سیم برش الماسه برای استخراج سنگ‌های گرانیته با ابعاد ۱۱-۵ میلی‌متر و پساب تولید شده در هنگام استفاده از روش سیم برش برای استخراج سنگ‌های آهکی با ابعاد ذرات ۱۲-۶ میلی‌متر است. میزان این باطله‌ها نیز به طور متوسط بین ۱۰ تا ۱۵٪ حجم تولیدی خواهد بود) است. همچنین ضایعات کارخانه فرآوری سنگ شامل باطله بخش قله‌بر (شامل بخش برش نخورده انتهای بلوک به دلیل مسائل ایمنی)، باطله‌های فرآوری (شامل قطعات شکسته شده، خرد شده و قطعات فاقد کیفیت لازم تولید شده در کارخانه فرآوری) و ذرات جامد و لجن کارخانجات فرآوری (شامل گرد و غبار و لجن تولید شده در هنگام برش، ساب و صیقل سنگ در کارخانه فرآوری با ابعاد بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون) است. حجم کل ضایعات کارخانه‌های فرآوری ممکن است به ۶۰-۴۰٪ حجم بلوک ورودی به کارخانه برسد (Karaca et al., 2012).

(۱۳۸۹) به صورت پراکنده انجام شده است. در این مقاله سعی شده است، به طور نسبتاً کاملی اثرات منفی صنعت سنگ ساختمانی بر محیط‌زیست بررسی و راه‌های کاهش این اثرات پیشنهاد گردد. به عنوان مطالعه موردی معدنکاری و فرآوری سنگ ساختمانی در استان اصفهان که قطب صنعت سنگ محسوب می‌شود، انتخاب شده است.

## مواد و روش‌ها

### - انواع ضایعات صنعت سنگ ساختمانی

استخراج و بهره‌برداری از مواد معدنی بدون تولید ضایعات تقریباً غیر ممکن است. طبقه‌بندی این ضایعات از جنبه‌های مختلفی امکانپذیر است. تقسیم‌بندی باطله‌های معدنی به چهار گروه بر اساس ارزش اقتصادی، نوع ذخیره و پتانسیل کاربرد آنها در جدول (۱) ارائه شده است. البته در این طبقه‌بندی اثرات محیط‌زیستی باطله‌ها در نظر گرفته نشده است. بر اساس این جدول بخشی از ضایعات صنعت سنگ‌های ساختمانی در گروه ۱ و بخشی در گروه ۲ قرار می‌گیرند. به طور کلی ضایعات یا باطله‌های صنعت سنگ در دو بخش معدن و کارخانه فرآوری تولید می‌شود. باطله‌های معدنی شامل باطله‌های برگشتی (شامل بلوک‌های می‌شود که برای کارخانه سنگ‌بری مناسب نیستند، و مقدار آنها به طور متوسط بین ۵٪ تا ۲۰٪ حجم تولید است)،

جدول (۱): طبقه‌بندی کلی ضایعات معدنکاری (Mitchet et al., 2004)

گروه	توضیحات	مثال	پتانسیل کاربرد
نوع اول	باطله‌های فرآوری نشده	باطله‌های معدنکاری، بلوک‌های سنگی و زغال سنگ	پرکننده، زیرسازی جاده، سنگ پوششی و تهیه آجر
نوع دوم	باطله‌های فرآوری شده حاوی کانی بازیافتی	باطله‌های ماسه سیلیسی، آهکی و سنگ ساختمانی	ماسه سیلیسی، کائولن، تهیه آجر، کانی پرکننده، مصالح ساختمانی دانه بندی شده
نوع سوم	باطله‌های فرآوری شده حاوی محصولات با ارزش	باطله‌های سرب و روی، پگماتیته و ماسه سیلیسی	فلوئورین، باریت، فلدسپات، مواد نادر خاکی، میکا و کانیهای سنگین
نوع چهارم	باطله‌های سودمند	باطله‌های معادن خاص	سنگ‌های قیمتی و فلزات بسیار با ارزش

دارا بودن انواع مواد شیمیایی (مثل رزین‌ها، پلیمرها، کانی‌ها و ...) برای محیط‌زیست خطرناک هستند.  
 ۲. آلودگی صوتی: ناشی از کار ماشین آلات (مثل کامیون‌ها، دستگاه‌های حفاری، ژنراتورها، قله‌برها و ماشین‌های برش و ساب و ...) است، که میزان این آلودگی به دو پارامتر شدت صوت و میزان در معرض بودن بستگی دارد. آلودگی صوتی

### - اثرات محیط‌زیستی صنعت سنگ ساختمانی

صنعت سنگ ساختمانی همانند هر فعالیت بشری دیگر دارای اثرات منفی بر اکوسیستم و سلامتی انسانها می‌باشد. این اثرات با بهره‌برداری بیشتر از منابع زمین و در گذر زمانهای طولانی خود را بهتر نمایان خواهد کرد. مهمترین این اثرات شامل:  
 ۱. رهاسازی پساب کارخانجات فرآوری: این پساب‌ها به علت

(Rizzo et al., 2008) نشان داده می‌دهد که:

۱. پس از گذشت ۲ تا ۱۰ سال از انباشت ضایعات کارخانجات فرآوری در دیوی باطله، تجزیه ترکیبات سولفور و اکسید شدن سولفورهای موجود در دیو انجام گرفته و کانی‌ها و رس‌های جدیدی تولید می‌شود. شرایط آب و هوایی، میزان انباشت ضایعات، ترکیب شیمیایی ضایعات و درجه حرارت از عوامل موثر در انجام این واکنش‌ها می‌باشد. نتیجه این واکنش‌های شیمیایی سست شدن دانه‌ها و نتیجتاً کاهش ابعاد آنها، تسریع تجزیه شیمیایی با گذشت زمان، اکسیداسیون کانی پیریت (در این فرآیند ابتدا آهن ۲ ظرفیتی به آهن ۳ ظرفیتی تبدیل شده، که وجود آهن ۳ ظرفیتی باعث کاهش pH و افزایش قدرت جابه‌جایی یون  $Fe(OH)_3$  می‌شود. ترکیب مجدد یون آهن ۳ ظرفیتی با پیریت نیز باعث تشکیل یون  $SO_4^{2-}$  می‌شود. یون‌های  $Fe(OH)_3$  و  $SO_4^{2-}$  برای کیفیت آب‌های زیرزمینی و سلامت انسان‌ها مشکل ساز می‌باشند) و حلالیت ترکیبات  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  (که میزان این حلالیت به pH بستگی دارد) خواهد بود.
۲. مخلوط شدن باطله‌های جامد سنگ با آب رودخانه‌ها باعث افزایش میزان غلظت یون‌های سولفات، کلسیم، منیزیم و هیدروکربنات‌ها در آب خواهد شد.
۳. پساب معادن و کارخانجات فرآوری باعث افزایش اکسیژن حل نشده در آب‌های زیرزمینی می‌شود، که میزان آن بستگی به ابعاد ذرات جامد دارد. همچنین این عمل باعث بالا رفتن سختی آب نیز خواهد شد. ترکیبات یونی اضافه شده به آب‌ها منطقه شامل  $Ca$ ،  $Ca/Mg$ ،  $Mg/(Ca + Mg)$ ،  $Ca/HCO_3$ ،  $(Ca + Mg)/HCO_3$  و  $Mg/Cl$  است، که می‌تواند بر قدرت تولید محصولات کشاورزی آبیاری شده با این آب‌ها اثر معکوس بگذارد.
۴. پراکندگی ذرات سنگ‌ها در منطقه باعث کاهش نفوذپذیری خاک‌ها می‌شود، که این موضوع از جذب هوای کافی توسط ریشه گیاهان جلوگیری و باعث صدمه به رشد گیاهان می‌شود.
۵. فلزات سرب، آهن و کادمیم که از تجهیزات کارخانه‌های فرآوری جدا می‌شوند، همراه پساب این کارخانجات وارد چرخه آبی شده و بر کیفیت آب‌ها تاثیر می‌گذارند. میزان این آلودگی بستگی به مقدار و خصوصیات پساب، چگالی رسوب‌گذاری، دبی رودخانه و نفوذپذیری خاک‌های منطقه دارد.

- بر روی افراد شاغل در معدن و کارخانه فرآوری و افراد ساکن در منطقه این فعالیت‌ها تاثیرگذاری بیشتری خواهد داشت.
۳. دست خورده شدن خاک‌ها: که باعث از بین رفتن تراکم اولیه خاک‌ها و افزایش سرعت فرسایش خاک‌ها، از بین رفتن زهکشی طبیعی منطقه، ایجاد آلاینده‌گی در خاک و نهایتاً دستکاری در کیفیت خاک‌های منطقه فعالیت می‌شود.
۴. انتشار گرد و غبار و مواد سمی در هوا: که باعث تاثیرگذاری منفی بر سلامت موجودات زنده، کاهش رشد گیاهان و تاثیرگذاری بر میدان دید در منطقه می‌شود.
۵. از بین رفتن شکل و چشم‌انداز طبیعی زمین: که در اثر استخراج سنگ‌ها و انباشت باطله‌ها معدن و ضایعات کارخانه فرآوری بوجود می‌آید.
۶. از بین رفتن پوشش گیاهی و تاثیر منفی آن بر اکوسیستم منطقه و زندگی حیوانات: که در اثر از بین رفتن خاک‌ها و محل زندگی حیوانات ایجاد می‌گردد.
۷. آلودگی آب‌های منطقه: کانیها و مواد شیمیایی موجود در ضایعات سنگ باعث تغییر pH، افزایش شوری، سمیت و تغییر خصوصیات فیزیکی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه می‌شود.

#### – اثرات ژئوشیمیایی دیوی ضایعات بر محیط زیست

یکی از مهمترین نتایج منفی صنعت سنگ ساختمانی بر اکوسیستم طبیعی زمین، انباشت حجم عظیمی از ضایعات (خصوصاً ضایعات کارخانجات فرآوری سنگ) به صورت دیوهای رها شده در سطح زمین است. جدا از اثرات منفی ذکر شده در بخش قبلی، این کار باعث تاثیر مستقیم بر محیط‌زیست توسط واکنش‌های ژئوشیمیایی می‌شود. سنگ‌های دیو شده در اثر گذشت زمان با ترکیبات موجود در هوا و آب باران و به کمک کاتالیزور اشعه ماورای بنفش خورشید واکنش شیمیایی می‌دهند. نوع این واکنش‌ها بستگی به جنس سنگ‌ها دارد. با توجه به این که سنگ‌های ساختمانی به دو گروه اصلی کربنات‌ها و گرانیت‌ها طبقه‌بندی می‌شوند، در ادامه واکنش‌های ژئوشیمیایی این دو گروه بررسی می‌شود.

#### الف: اثرات ژئوشیمیایی سنگ‌های کربناته

مطالعاتی گسترده‌ای که در دهه گذشته انجام شده است (Simsek et al., 2005; Motyka & Postawa, 2000)

این آب‌ها از نوع آب‌های حاوی Na-Ca-Cl خواهند بود. این عمل یک فعالیت مخرب برای محیط‌زیست به حساب می‌آید.

۳. هوازگی پساب کارخانجات سنگبری باعث آزاد شدن کروم موجود در قطعات فلزی دستگاه‌های برنده موجود در پساب خواهد شد، که این فرآیند خود باعث مسمومیت خاک‌های سطح زمین و آب‌ها زیرزمینی می‌شود.

۴. ذرات گرانیات نیز حاوی عناصر سمی از جمله کروم هستند. این کروم به صورت ۳ ظرفیتی بوده که غلظت آن به صورت تعادلی با ترکیب  $Cr(OH)_3$  است، که همراه با ترکیبات اکسید و هیدرواکسیدهای آهن رسوب می‌کنند.

۵. وجود ترکیبات قلیایی و آهن باعث جلوگیری از تشکیل کروم ۶ ظرفیتی و تبدیل آن به کروم ۳ ظرفیتی می‌گردد، که این واکنش از خطرات محیط‌زیستی پساب‌های گرانیات‌دار می‌کاهد.

۶. خصوصیات ژئوشیمیایی عنصر Ni در این محیط‌ها نیز همانند Cr است.

۶. استفاده از رزین‌ها، سیمان، گرد و غبار سنگ‌های طبیعی و رنگدانه‌ها که به عنوان مواد برنده، ساینده، چسبنده و پرکننده برای بهبود بخشیدن به خصوصیات کیفی سنگ‌ها در کارخانجات سنگبری استفاده می‌شود، باعث انتقال این مواد به داخل پساب کارخانجات و نهایتاً وجود این ترکیبات در آب‌های منطقه شده که مشکل ساز خواهد بود. یکی از این مشکلات پرشدن فضاهای خالی و تخلخل موجود در مناطق کارستی توسط آب حاوی رزین است، که باعث کاهش دبی آب در مناطق کارستی می‌گردد. این عمل خاصیت فیلتراسیون لایه‌های خاکی را نیز از بین می‌برد. همچنین باعث کاهش سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی شده که این امر زمان تماس آب با منابع آلودگی را افزایش داده که نتیجه آن آلودگی بیشتر آب‌های زیرزمینی خواهد بود.

۷. به طور کلی پساب کارخانجات فرآوری سنگ از نظر میزان غلظت فلزات سنگین در حد مجاز بوده ولی از نظر COD در حد مجاز نیستند، که این موضوع می‌تواند بر محیط‌زیست تاثیرگذار باشد.

### منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان بزرگترین تولیدکننده و فرآوری‌کننده سنگ در ایران است که به عنوان قطب اصلی در صنعت سنگ کشور محسوب می‌شود. در ادامه ضمن ارائه آماری از وضعیت تولید سنگ و ضایعات آن در کشور، میزان تولید این مواد را در استان اصفهان بررسی نموده و اثرات محیط‌زیستی این صنعت بر اکوسیستم استان مطالعه خواهد شد.

#### ۱- میزان تولید سنگ و ضایعات آن در ایران

سنگ‌های ساختمانی بر اساس منشاء تشکیل به سه گروه آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم‌بندی می‌شوند. این رده‌بندی بیشتر کارکرد علمی دارد، ولی از نظر تجاری این سنگ‌ها به پنج گروه گرانیات، تراورتن، مرمر، مرمریت و چینی تقسیم می‌شود (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۸۷). میزان ذخایر زمین‌شناسی ایران از نظر سنگ‌های ساختمانی بالغ بر میلیاردها تن برآورد شده است. ولی ذخایر قطعی (شناخته شده) و قابل بهره‌برداری ایران برای سنگ‌های گرانیاتی ۱۴۱۰ میلیون تن (۲۸٪)، تراورتن ۸۵ میلیون تن (۴٪)، مرمر ۳/۸ میلیون تن (کمتر از ۱٪)، مرمریت ۶۶۴ میلیون تن (۲۸٪) و سنگ چینی

#### ب: اثرات ژئوشیمیایی سنگ‌های گرانیاتی

در تحقیقاتی که توسط (Delgado et al., 2006; Gonzalzal et al., 2006) بر روی دپوهای سنگ‌های گرانیاتی انجام شده است، مشخص شده است که در کل پساب‌های کارخانجات سنگبری گرانیاتی دارای خطر محیط‌زیستی کمتری برای آب‌های طبیعی می‌باشند. مهمترین اثرات ژئوشیمیایی این محیط‌ها به شرح زیر فهرست شده است:

۱. سنگ‌های گرانیاتی حاوی کانیهای اصلی از قبیل کوارتز، فلدسپات پتاسیم، پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکویت، بعلاوه مقداری کمی کانی‌های کلریت، هورنبلند و آمفیبول است. علاوه بر این ترکیبات مقداری کلسیت و اکسیدهای آهن نیز در سنگ‌های گرانیات یافت می‌شود. همچنین در آلیاژ به کار رفته در بخش‌های برنده تجهیزات فرآوری سنگ عناصری از قبیل C, Cr, Mn, Si, P, S, V, Ni, Zn, Pb وجود دارد. بنابراین غلظت چنین ترکیباتی در منطقه از حالت طبیعی بیشتر خواهد بود.

۲. ذرات گرانیاتی حاوی مواد قلیایی هستند که باعث افزایش شوری و بالا رفتن pH آب‌ها تا حدود ۱۲ می‌شود. بنابراین

است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). از هر تن سنگ استخراجی در ایران کمتر از ۳۵٪ آن به محصول تبدیل می‌شود، در حالی که این میزان در استاندارد جهانی حدوداً ۶۵٪ است. با توجه به درصد تولید ضایعات که ذکر شد، میزان تولید ضایعات سنگ ایران سالانه حدود ۱۰ میلیون تن در معادن و ۸ میلیون تن در بخش فرآوری تخمین زده می‌شود، که آمار نسبتاً بالایی می‌باشد. این آمار نشان‌دهنده لزوم بازنگری در روش‌های تولید سنگ در ایران است.

۲۱۶ میلیون تن (۹٪) تخمین زده شده است (وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۱). طبق آمار ارائه شده تا سال ۱۳۹۰ تعداد معادن فعال در بخش سنگ ساختمانی ۱۳۸۰ معدن، تعداد واحدهای فرآوری سنگ ۵۵۰۰ واحد و تعداد پرسنل شاغل در این صنعت بالغ بر ۲۰۰ هزار نفر می‌باشد (شفیعی، ۱۳۹۱). همچنین میزان تولید سنگ ساختمانی ایران در سال ۱۳۹۱ بالغ بر ۱۵ میلیون تن برآورد شده است که نسبت به سال قبل حدود ۵٪ افزایش داشته است. در جدول (۲) وضعیت تولید سنگ‌های ساختمانی در ایران بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ نشان داده شده

جدول (۲): آمار تولید سنگ ساختمانی ایران در سال‌های ۱۳۸۵ لغایت ۱۳۹۰

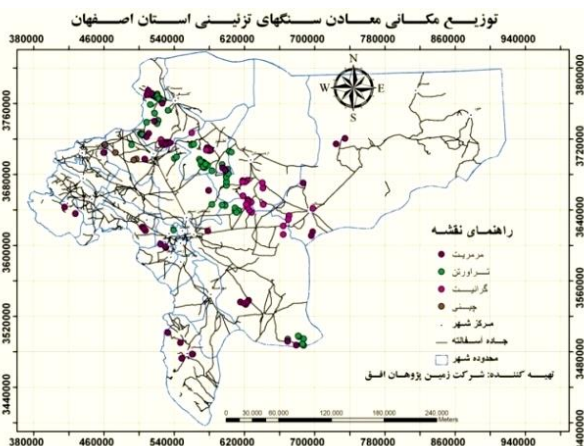
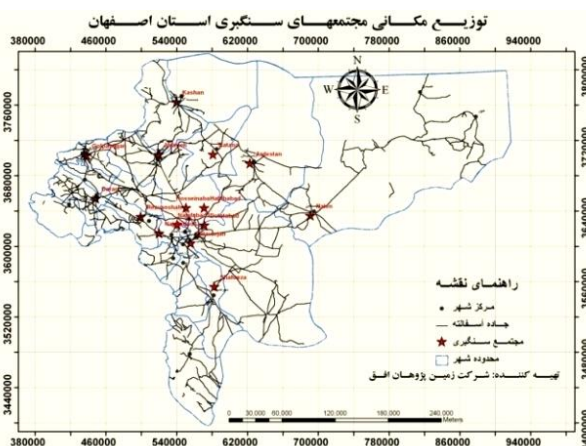
سال	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
میزان تولید (هزار تن)	۹۹۰۸	۱۱۱۴۳	۱۳۱۰۴	۱۳۸۳۹	*۱۴۰۰۰	*۱۴۵۰۰

\* این آمار تقریبی است.

ارائه شده میزان تولید سنگ ساختمانی در استان اصفهان در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۶/۰۴ میلیون تن بوده است. در جدول (۳) میزان تولید انواع سنگ‌های ساختمانی و تعداد معادن آنها در استان اصفهان به تفکیک و برای سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ ارائه شده است (اداره کل صنایع و معادن استان اصفهان، ۱۳۹۱). مقایسه عملکرد تولید معادن سنگ استان با کل کشور نشان می‌دهد که علی‌رغم اینکه نزدیک به ۲۰٪ معادن سنگ کشور در این استان قرار دارد، ولی حدوداً بین ۳۵ تا ۴۰ درصد کل تولید سنگ خام کشور را به خود اختصاص داده است.

## ۲- وضعیت آمار صنعت سنگ در استان اصفهان

استان اصفهان در بخش مرکزی فلات ایران قرار دارد و از نظر زونهای زمین‌شناسی از بخش شمال‌شرقی به طرف جنوب‌غربی به ترتیب از زونهای ایران مرکزی، ارومیه- دختر، سنج- سیرجان و زاگرس مرتفع تشکیل شده است. سنگ‌های بیرونزده در این استان توالی سنی از پرکامبرین تا عهد حاضر را شامل می‌شوند، بنابراین این استان از پتانسیل تشکیل تنوع سنگی نسبتاً کاملی برخوردار است. در شکل (۱) پراکندگی معادن سنگ استان برحسب نوع سنگ نشان داده شده است. طبق آمارهای



شکل (۱): پراکندگی معادن سنگ (سمت راست) و مجتمع‌های فرآوری سنگ (سمت چپ) در استان اصفهان

جدول (۳): تعداد معادن و میزان تولید سنگ ساختمانی استان اصفهان به تفکیک نوع سنگ در یک دوره سه ساله

نوع سنگ	سال		۱۳۸۸		۱۳۸۹		۱۳۹۰	
	تعداد معادن	تولید اسمی (تن)	تعداد معادن	تولید اسمی (تن)	تعداد معادن	تولید اسمی (تن)	تعداد معادن	تولید اسمی (تن)
مرمریت	۷۳	۲۱۳۱۰۰۰	۹۷	۲۶۷۳۰۰۰	۱۰۷	۲۶۸۰۰۰۰	۲۶۸۰۰۰۰	۲۶۸۰۰۰۰
مرمر	۲	۲۰۰۰۰	۲	۲۰۰۰۰	۲	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
تراورتن	۷۹	۱۲۵۸۳۰۰	۸۹	۱۴۲۵۳۰۰	۹۵	۱۵۹۷۸۰۰	۱۵۹۷۸۰۰	۱۵۹۷۸۰۰
گرانیت	۴۳	۳۹۷۹۰۰	۴۱	۴۲۴۵۰۰	۴۷	۵۸۵۵۰۰	۵۸۵۵۰۰	۵۸۵۵۰۰
سنگ چینی	۵	۱۱۵۷۰۰۰	۵	۱۱۵۷۰۰۰	۵	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰
جمع	۲۰۲	۴۹۶۴۲۰۰	۲۳۴	۵۶۹۹۸۰۰	۲۵۶	۶۰۴۰۳۰۰	۶۰۴۰۳۰۰	۶۰۴۰۳۰۰

یک بعد آن کمتر از ۴۰ سانتیمتر طول داشته باشد، و همچنین بلوک‌های فاقد رنگ، ظاهر و حداقل خصوصیات مکانیک سنگی و دارای درزه و شکاف به عنوان باطله در معدن شناخته می‌شوند. این باطله‌ها اکثراً بدون استفاده در اطراف معدن و به صورت پراکنده رها می‌شوند. در جدول (۵) آمار تولید باطله‌های سنگی در معادن استان اصفهان به تفکیک نوع آنها ارائه شده است.

با استفاده از اطلاعات جدول (۵)، میزان تولید ضایعات معادن سنگ استان در سال ۱۳۹۰ حدود ۵/۲۵ میلیون تن برآورد می‌شود. همچنین با انجام یک برآورد از میزان ضایعات سنگبری‌های استان که در ۸ مجتمع انجام شده است، مشخص گردیده که ۳۳٪ از سنگ‌های ورودی به گل و لجن و ۲۲٪ از آن به لاشه و ته سنگ بریده تبدیل می‌شود. با وجود این که کمتر از یک سوم کارخانجات فرآوری سنگ کشور در استان اصفهان قرار دارد ولی بیش از نصف محصولات سنگی کشور حاصل فعالیت کارخانجات این استان است. این موضوع نشان‌دهنده ورود حجم زیادی از بلوک‌های سنگی تولیدی سایر استان‌ها به کارخانجات سنگبری استان اصفهان است. بنابراین میزان تولید ضایعات کارخانجات استان بسیار بالا و سالانه حدود ۳/۵ میلیون تن برآورد می‌شود. در جدول (۶) میزان این ضایعات به تفکیک مجتمع‌ها سنگبری و نوع آنها نشان داده شده است.

در نمونه‌برداری میدانی که به منظور ارزیابی کیفی ضایعات سنگبری‌های استان و از مجتمع‌های مختلف صورت گرفته است، مشخص شده است که باطله‌های خروجی از این مجتمع‌ها تغییر محسوسی به لحاظ مشخصات فیزیکی- شیمیایی نسبت به سنگ ورودی ندارد و در صورت مدیریت صحیح ضایعات و تفکیک آنها به دو دسته گرانیتی و کربناته امکان استفاده از آنها در صنایع متفاوت وجود خواهد داشت (شرکت زمین پژوهان افق، ۱۳۸۹).

واحدهای سنگبری در استان اصفهان اکثراً به صورت مجتمع بوده و در ۱۵ منطقه در استان پراکنده هستند شکل (۱). با توجه به آمار ارائه شده از سوی اداره کل سازمان صنایع و معادن استان اصفهان، حدوداً ۱۵۵۰ واحد فرآوری سنگ در این استان وجود دارد که بیش از یک سوم آن یعنی حدود ۵۷۵ واحد فقط در شهرک صنعتی حسین آباد- محمود آباد قرار دارد. در جدول (۴) تعداد واحدهای فرآوری سنگ در مجتمع مختلف استان ارائه شده است (خوشه صنعتی سنگ اصفهان، ۱۳۸۸).

جدول (۴): پراکندگی واحدهای فرآوری سنگ ساختمانی در استان اصفهان

نام منطقه فرآوری سنگ	تعداد واحدهای سنگبری
شهرک صنعتی حسین آباد- محمود آباد	۵۷۵
شهرک صنعتی نجف آباد	۲۵۰
شهرک صنعتی رضوان شهر	۲۰۱
منطقه صنعتی دولت آباد- حبیب آباد	۱۴۰
منطقه صنعتی دوشاخ و خوشاب خمینی	۱۴۰
شهرک صنعتی میمه	۵۰
خیابان امام خمینی	۳۰
گلپایگان	۳۰
شهرک صنعتی سجزی	۲۵
سایر مناطق	۱۱۵

### ۳- کمیت و کیفیت ضایعات سنگ در استان اصفهان

ضایعات تولیدی معادن سنگ استان اکثراً به دو دلیل باطله‌برداری در معادن (که معمولاً وزن باطله‌ها بیش از ۱ تن است) و قواره کردن بلوکها (که معمولاً وزن باطله‌ها کمتر از ۱ تن است) بوجود می‌آیند. بلوک‌های زیر ۱ تن و یا بلوک‌های که

جدول (۵): وضعیت تولید ضایعات در معادن سنگ استان اصفهان  
تا پایان سال ۱۳۸۶ (شرکت زمین پژوهان افق، ۱۳۸۹)

نوع سنگ	گرانیت	تراورتن	مرمریت-چینی	کل (میلیون تن)
تولید سنگ در استان اصفهان (تن)	۷۴۱۰۱,۲۶	۲۵۴۸۲۳,۱	۳۶۵۴۲۷۱,۵۷۵	۳,۹۸
ضایعات تولیدی معادن اصفهان (تن)	۳۱۱۲۲,۵۳	۱۰۱۹۲۹۲	۲۴۱۱۸۱۹,۳۴	۳,۴۶
ضایعات کمتر از ۱ تن (۳۰٪)	۹۳۳۶,۷۵۸	۳۰۵۷۸۷,۷	۷۲۳۵۴۵,۷۷۱۹	۱,۰۴
ضایعات ۱ تا ۲ تن (۵۰٪)	۱۵۵۶۱,۲۶	۵۰۹۶۴۶,۲	۱۲۰۵۹۰۹,۶۲	۱,۷۳
ضایعات بیش از ۲ تن (۲۰٪)	۶۲۲۴,۵۰۶	۲۰۳۸۵۸,۵	۴۸۲۳۶۳,۸۴۷۹	۰,۶۹

جدول (۶): ضایعات سنگبری‌های استان اصفهان به تفکیک مجتمع‌های سنگبری  
(شرکت زمین پژوهان افق، ۱۳۸۹)

مجتمع‌های سنگبری	لجن و گل (سالانه-تن)	لاشه و ته‌سنگ (سالانه-تن)	مجموع کل ضایعات (سالانه-تن)	مجموع کل ضایعات خشک روزانه (تن)
محمودآباد - حسین آباد	۸۰۰۰۰	۵۳۰۰۰	۱۳۳۰۰۰	۴۴۶۶
نجف آباد	۳۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۱۶۹۴
رضوان شهر	۲۸۰۲۰۰	۱۸۰۰۰	۴۶۰۰۰	۱۵۴۰
دولت آباد- حبیب آباد	۲۰۰۰۰	۱۳۰۰۰	۳۳۰۰۰	۱۰۷۸
خمینی شهر و دوشاخ	۲۰۰۰۰	۱۳۰۰۰	۳۳۰۰۰	۱۰۷۸
میمه	۷۰۰۰	۴۶۰۰	۱۱۶۰۰	۳۸۵
سجزی	۳۵۰۰۰	۲۳۰۰۰	۵۸۰۰۰	۱۹۲/۵
سایر مناطق	۲۰۰۰۰	۱۳۰۰۰	۳۳۰۰۰	۱۱۱۶/۵
کل	۲۰۸۰۰۰	۱۳۸۶۰۰	۳۴۶۶۰۰	۱۱۵۵۰

#### ۴- وضعیت انباشت ضایعات سنگ در استان اصفهان

به دلیل دور بودن معادن سنگ نسبت به مناطق مسکونی، اکثر معادن ضایعات خود را در اطراف معدن و به صورت پراکنده و نامنظم رها کرده‌اند. این موضوع باعث ایجاد یک چشم انداز نامطلوب شده است شکل (۲). تقریباً هیچ‌گونه قانون برای حفاظت از محیط‌زیست در این مناطق وجود ندارد. این موضوع در خصوص واحدهای فرآوری سنگ به دلیل نزدیکی زیاد به محیط‌های شهری از اهمیت بیشتر و وضعیتی بدتر برخوردار است. در شکل (۳) دو نمونه از وضعیت انباشت ضایعات در کارخانجات سنگبری استان نشان داده شده است. در طول سالیان گذشته واحدهای سنگبری استان اقدام به بارگیری ضایعات از کارخانجات و تخلیه آنها در دشت‌ها و کوهپایه‌ها

اطراف شهر اصفهان نموده‌اند. با افزایش چشمگیری تعداد این واحدها در دو دهه گذشته و در نتیجه افزایش حجم ضایعات سنگ، شهرداری و سازمان محیط‌زیست استان با وضع قوانینی محدودیت‌های برای تخلیه ضایعات سنگبری‌ها قائل شده و نقاط خاصی را برای این منظور پیشنهاد نموده‌اند. در شکل (۴) موقعیت چهار نقطه تخلیه نسبت به مجتمع‌های سنگبری و در شکل (۵) وضعیت انباشت ضایعات در این دمپ‌های تخلیه نشان داده شده است. فاصله شهرک صنعتی محمودآباد از محل تخلیه شماره ۱ حدود ۲۱/۹ کیلومتر، شهرک صنعتی دولت‌آباد از محل تخلیه شماره ۲ حدود ۳۲/۷ کیلومتر، منطقه صنعتی نجف‌آباد از محل تخلیه شماره ۳ حدود ۹/۱ کیلومتر و شهرک صنعتی رضوانشهر از محل تخلیه شماره ۴ نیز حدود ۷/۶ کیلومتر است.





شکل (۲): وضعیت انباشته باطله‌ها در تعدادی از معادن استان اصفهان



شکل (۳) وضعیت انباشت ضایعات در تعدادی از سنگبری‌های استان اصفهان



شکل (۴): موقعیت چهار نقطه تخلیه برای واحدهای سنگبری استان اصفهان



شکل (۵): وضعیت انباشته ضایعات سنگ در دمپ‌های باطله استان اصفهان

### نتایج و یافته‌ها

مشاهدات میدانی که از بعضی معادن سنگ استان اصفهان صورت گرفته است، نشان می‌دهد که باطله‌ها به صورت غیراصولی در اطراف معادن پراکنده شده است. این باطله‌ها ضمن ایجاد یک چشم‌انداز نامناسب و مسدود کردن مسیل رودخانه‌های محلی مشکلات محیط‌زیستی متعددی را ایجاد کرده است، که قبلاً به آنها اشاره شده است. این وضعیت در خصوص ضایعات واحدهای فرآوری سنگ و محل‌های دمپ باطله استان اسفبارتر است. عدم تبعیت کلیه کارخانجات فرآوری سنگ به اجرای قانون دفع ضایعات در محل‌های مشخص شده، تخلیه ضایعات در مسیر جاده‌ای بین راهی توسط رانندگان کامیون و انتخاب نامناسب محل دمپ‌ها از مهمترین معضلات محیط‌زیستی در رفتار نامناسب با ضایعات فرآوری سنگ در استان می‌باشد.

محل‌های دفع ضایعات سنگبری‌های استان اصفهان که در شکل (۴) نشان داده شده است، بر روی رسوبات آبرفتی قرار دارند که این رسوبات تغذیه‌کننده سفره‌های آب زیرزمینی منطقه هستند. بنابراین ادامه دفع ضایعات در این مکان‌ها در دراز مدت بر کیفیت و کمیت آب‌های منطقه تاثیر منفی خواهد داشت. همچنین انباشت حجم زیاد ذرات باعث تولید ریزگردها و آلودگی هوا شده است، که نتیجه آن به خطر افتادن سلامت ساکنین مناطق اطراف خواهد بود. نشست ذرات معلق در هوا بر روی گیاهان منطقه (خصوصاً محصولات کشاورزی) نیز باعث جلوگیری از رشد مناسب آنها شده است. بنابراین بهترین روش برای مقابله با اثرات منفی صنعت سنگ بر اکوسیستم طبیعی، انجام یک مدیریت منسجم محیط‌زیستی موثر بر روی ضایعات

تولید شده در این صنعت خواهد بود. در ادامه مهمترین اقداماتی که بایستی در این مدیریت صورت گیرد، ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که بعضی از این فعالیت‌های پیشنهادی به صورت پراکنده و ناقص هم اکنون نیز صورت می‌گیرد. ولی به منظور کنترل و کاهش موثر اثرات منفی صنعت سنگ بر محیط‌زیست انجام کلیه این اقدامات به صورت یک بسته کامل در استان اصفهان که قطب اصلی صنعت سنگ کشور محسوب می‌شود، پیشنهاد می‌گردد.

### - سیاست‌گذاری

سیاست‌گذاری شامل وضع قوانین منسجم و پایدار در بهره‌برداری و فرآوری سازگار با محیط‌زیست در صنعت سنگ ساختمانی می‌باشد. در این زمینه می‌توان از قوانین کمیسیون اروپا نیز بهره جست.

### - مدیریت ضایعات سنگ

مدیریت کردن ضایعات سنگ مهمترین روش برای مقابله با اثرات منفی این صنعت بر محیط‌زیست می‌باشد. این مدیریت در سه بخش کاهش تولید، استفاده مجدد و دفع سازگار با محیط‌زیست ضایعات صورت می‌گیرد، که در ادامه به صورت فهرست‌وار توضیح داده خواهد شد.

### الف: کاهش تولید ضایعات

۱. استفاده از روش‌های نوین در معدنکاری و انتخاب جهت بهینه پیشروی با توجه به شکستگی‌های منطقه.
۲. همبستگی بین ابعاد بلوک استخراجی و ابعاد محصول نهایی: ابعاد بلوک استخراجی همواره بایستی مضرب صحیحی از ابعاد محصول نهایی باشد. همچنین به طور کلی با افزایش

این پودر در صنعت کاغذسازی به عنوان پرکننده و به‌عنوان پوشش‌دهنده سطح کاغذ جهت بهبود شفافیت و قابلیت چاپ آن که باعث کاهش هزینه تولید نیز می‌شود، استفاده شده است. در صنعت داروسازی از پودر دانه ریز کلسیم برای رقیق کردن قرص‌ها و کپسول‌ها، به‌عنوان عامل درمانی و کمک به انحلال در یکنواختی تولید قرص‌ها استفاده می‌شود. همچنین از ذرات فوق‌العاده ریز کلسیم به‌عنوان مکمل خاک‌های کشاورزی و کف‌پوش در صنعت ساختمان نیز استفاده می‌شود. علاوه بر آن از ضایعات کربناته برای صنایع تولید کائوچو و شیشه، خوراک دام، پاک‌کننده‌ها و صنایع آرایشی و بهداشتی نیز استفاده شده است. برای استفاده مجدد از ضایعات در صنایع مختلف بایستی پارامترهای همچون میزان اختلاط یا آلودگی مواد زائد با هم، میزان رطوبت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ضایعات، همگن بودن، پیوستگی و مقدار آنها در نظر گرفته شود (Karaca et al., 2012).

۳. استفاده از بخش تصفیه پساب کارخانجات فرآوری سنگ؛ معمولاً پساب بخش برش کارخانجات فرآوری سنگ از آلوده‌کنندگی کمتری نسبت به پساب بخش ساب و صیقل برخوردار است، بنابراین می‌توان این دو پساب را در ابتدا از هم تفکیک کرد و تمرکز تصفیه را بیشتر بر پساب بخش ساب و صیقل کارخانه متمرکز کرد. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، در این بخش به کمک مواد شیمیایی فلوکولانت، تیکنر و فیلتر پرس آب از گل و لای جدا شده و مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در صورت استفاده از چنین تجهیزاتی می‌توان نتایج ذیل را به‌دست آورد (Nasserdine et al., 2009):

- حذف تقریبی ۱۰۰٪ پساب‌های تخلیه شده در محیط زیست.
- کاهش ۳۰٪ آب مصرفی کارخانه فرآوری.
- بهبود کیفیت آب برگشتی به کارخانه فرآوری.
- بهبود کیفیت محصولات نهایی کارخانه فرآوری.
- افزایش ۳۰٪ طول عمر دستگاه‌ها خصوصاً اره‌ها و دیسک‌های ساب و صیقل.
- بازگشت هزینه سرمایه گذاری برای این بخش کارخانه در طول ۳ سال برای کارخانجات بزرگ، ۵ سال برای کارخانجات متوسط و ۸ سال برای کارخانجات کوچک است.

ابعاد بلوک استخراجی درصد ضایعات کاهش می‌یابد.

۳. استفاده از روش‌های اولتراسونیک و رادار نفوذ زمینی: از این روش‌های ژئوفیزیکی می‌توان به منظور ارزیابی نیمه کیفی از وضعیت توده سنگ برای استخراج انتخابی استفاده کرد.

۴. استفاده از روش‌های نوین برش سنگ در معدنکاری و کارخانجات فرآوری: مهمترین این روش‌ها عبارتند از:

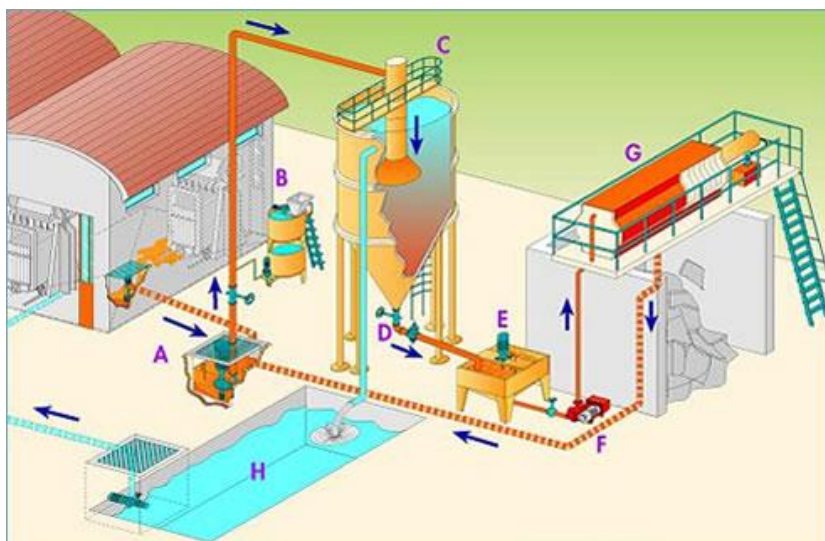
- استفاده از دیسک برش بسیار نازک که باعث افزایش ۲۰٪ در تولید و کاهش ۴۰٪ در تولید دوغاب ناشی از برش می‌شود.
- استفاده از جت آب با فشار بالا، حدود ۴۰۰۰ bar، در استخراج بلوک‌ها و فرایندهای نهایی کارخانجات فرآوری که باعث بهبود و دقت برش با کمترین تاثیر بر کیفیت سنگ خام می‌شود. همچنین باعث بهبود زیبای سنگ، افزایش زبری سنگ (در هنگام تولید سنگ‌های تیشه‌ای) به عنوان محصول نهایی خواهد شد.
- استفاده از تکنولوژی اشعه لیزر برای برش، سوراخ‌کاری، پولیش، حکاکی و نوشتن روی سنگ در کارخانجات فرآوری که باعث ایجاد یک سطح بسیار یکنواخت در سنگ خواهد شد.
- ۵. انجام اقداماتی از قبیل قرار دادن بلوک در جهت بهینه زیر قله‌بر، اصلاح و دقت در جابجایی سنگ‌های بریده شده و استفاده از روش‌های ترمیمی بلوک و سنگ‌های بریده شده با چسب و رزین در کارخانجات سنگبری.

#### ب: استفاده مجدد ضایعات

۱. استفاده از واحد سیار خردایش- آسیا کردن- میکرونیزه کردن در مجاورت معدن و کارخانه فرآوری به منظور خرد کردن بلوک‌های کوچک و ضایعات کارخانه در ابعاد مختلف برای مصارفی همچون صنعت سیمان، صنعت مصالح ساختمانی، تهیه آجرهای سبک، زیر سازی ساختمان‌ها، جاده‌ها و خطوط راه‌آهن، سنگ پوششی و محافظ در سدها، کارخانجات موزائیک سازی، تهیه سنگ‌های آگومریتی و تهیه مصنوعات تزئینی.

۲. استفاده از ذرات بسیار ریز سنگ به‌عنوان پرکننده، سفید کننده، رنگ‌دانه و عامل‌های تقویت کننده برای کمک به بهبود کیفی محصولات نهایی و کاهش هزینه‌های تولید صنایع مختلف (به طور مثال پودر کلسیم باعث افزایش خاصیت پلاستیسیته در صنایع پلاستیک می‌شود. همچنین





شکل (۶): مراحل تصفیه پساب کارخانجات فرآوری سنگ

(A): تانک اولیه، B: مخزن فلوکولانت، C: تیکنر، D: پمپ، E: تانک همزن، F: پمپ سانترفیوژ، G: فیلتر پرس و H: مخزن آب تصفیه شده) (اقتباس از شرکت Fraccaroli & Balzan)

هوا، دست خورده شدن خاک‌ها و آلودگی صوتی از مهمترین تاثیرات منفی این عمل بر اکوسیستم آبی، خاکی، هوای و موجودات زنده است. موثرترین راه برای مقابله و کاهش اثرات منفی این صنعت بر محیط زیست، سیاست‌گذاری و مدیریت ضایعات سنگ است. این مدیریت می‌تواند در سه بخش کاهش تولید ضایعات، استفاده مجدد از ضایعات در صنایع دیگر و دفع سازگار با محیط‌زیست ضایعات باقیمانده صورت گیرد. همچنین برای کاهش سایر اثرات منفی این صنعت بر اکوسیستم راه‌های اصلاحی پیشنهاد شده است (جدول ۷). در صورت به کار بردن این روش‌های پیشنهادی به صورت یک بسته کامل امکان داشتن یک صنعت سازگار با محیط‌زیست و حتی یک صنعت بدون دورزیر نیز دور از انتظار نخواهد بود.

### ج: دفع سازگار با محیط‌زیست ضایعات

۱. انتخاب محل مناسب دفع ضایعات با توجه به معیارهای شرایط آب و هوایی، نوع خاک، هیدروژئولوژی و ژئولوژی، ساختارهای زمین شناسی و شرایط عمومی و اجتماعی منطقه.  
 ۲. انباشت ضایعات کارخانه‌های فرآوری با یک لایه خاک با نفوذپذیری کم در کف و یک لایه در روی آن به منظور به حداقل رساندن ارتباط دپوی ضایعات با محیط اطراف.  
 در جدول (۷) کلیه روش‌های پیشنهادی به منظور مدیریت سازگار با محیط‌زیست فعالیت‌های صنعت سنگ (به تفکیک فعالیت‌های صورت گرفته در بخش‌های معدنکاری و کارخانه فرآوری) از جمله مدیریت ضایعات سنگ آورده شده است. این روش‌های اصلاحی در بعضی کشورها انجام شده و نتایج مثبت آنها به اثبات رسیده است.

### نتیجه گیری

در صنعت سنگ کشور سالانه حدود ۱۸ میلیون تن ضایعات تولید می‌شود. این ضایعات اکثراً در محیط‌زیست بدون استفاده رها می‌شوند. اثرات ژئوشیمیایی منفی بر اکوسیستم‌های طبیعی، آلودگی آب‌ها، از بین رفتن پوشش گیاهی و تاثیر منفی آن بر اکوسیستم منطقه و زندگی حیوانات، از بین رفتن شکل و چشم‌انداز طبیعی زمین، انتشار ذرات گرد و غبار و مواد سمی در

**جدول (۷): روش‌های پیشنهادی برای کاهش اثرات محیط‌زیستی ضایعات ناشی از استخراج و فرآوری سنگ ساختمانی**

نوع عملیات	اثرات محیط‌زیستی	روش‌های مقابله
الف- معدن‌کاری برش و جابه‌جایی بلوک‌ها	تولید ضایعات (مثل بلوک‌های صدمه دیده و بلوک‌های نامنظم و کوچک)	فروش مستقیم محصول به‌عنوان سنگی با درجه کیفی پایین‌تر یا به‌عنوان مصالح دانه‌بندی شده تاسیس واحد سیار خردایش، آسیا کردن و میکرونیزه کردن استفاده از تکنولوژی‌های جدید مثل روش‌های ژئورادار و التراسونیک برای ارزیابی کانسار
ب- کارخانه فرآوری برش	تولید پساب و پودر خشک	مرطوب کردن سطح بلوک در هنگام برش بازیابی آب باطله تقویت و بهینه‌سازی بلوک قبل از برش آن توسط رزین‌های شیمیایی استفاده از دیسک‌های برشی نازک‌تر بهینه‌سازی سرعت برش دیسک‌ها
ساب و تهیه محصول نهایی	تولید پساب تولید گرد و غبار	بازیافت آب باطله آب پاشی سطح در حین برش انتخاب و هماهنگ‌سازی تجهیزات بر طبق مشخصات محصول (مثلاً استفاده از ماشین ساب لبه‌ای)
عملیات بر روی آب باطله	پساب مایع	جمع‌آوری پساب و فروش آن به صورت مرطوب یا خشک برای صنایع مختلف نصب خشک‌کن گردان برای خشک کردن پساب و سپس فروش محصول بدست آمده

### فهرست منابع

- اداره کل صنایع و معادن استان اصفهان. ۱۳۹۱. عملکرد بخش معادن استان اصفهان، گزارش داخلی وضعیت معدن و صنعت استان اصفهان در سال‌های ۸۸، ۸۹ و ۹۰. اصفهان.
- جمالی زواره، ج. و شهروز، ی. ۱۳۸۹. بررسی اثر آلودگی فعالیت‌های معدنکاری بر محیط‌زیست استان تهران، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
- حقیقی، س.؛ حبیب زاده، ع.؛ پاینده مهر، س. و رضایی، م. ۱۳۸۶. بازیافت و استفاده از ضایعات سنگبری و معادن استان همدان، اولین همایش سنگ‌های ساختمانی و صنایع وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.
- خوشه صنعتی سنگ اصفهان، ۱۳۸۸. معرفی خوشه سنگ اصفهان، نشریه شهر سنگ، شماره یک، چهار، هفت و هشت، اصفهان.
- رجب‌زاده، م. و موسوی‌نسب، ز. ۱۳۹۰. بازیابی انواع ضایعات سنگ‌های تزئینی و نمای استان فارس، گامی به سوی حفاظت از محیط زیست، اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.
- شرکت زمین پژوهان افق. ۱۳۸۹. بررسی و مطالعه کاربرد ضایعات سنگ ساختمانی و سنگبری در صنایع مختلف، دانشگاه صنعتی اصفهان، شرکت شهرک‌های صنعتی استان اصفهان.
- شفیعی، ا. ۱۳۹۱. حق ایران سهم ۸ میلیارد دلاری از بازار سنگ است، مصاحبه ابوالقاسم شفیعی (رئیس انجمن سنگ ایران) با روزنامه وطن امروز، شماره ۹۹۹ به تاریخ ۹۱/۸/۲، صفحه ۵ (اقتصاد).
- شهبازی، ا. و خراسانی، ن. ۱۳۸۲. بررسی ارتباط متقابل محیط زیست و معدن با استفاده از روش ماتریس (مطالعه موردی: معدن روباز سنگ لاشر اصفهان)، پنجمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در معادن و صنایع معدنی، کرمان.
- شهریار، ک.؛ فروهر، ف. و شریف، ن. ۱۳۸۲. آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از عملیات استخراج در معادن سنگ آهک سعیدی، پنجمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در معادن و صنایع معدنی، کرمان.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. سالنامه آمار کشور در سال ۱۳۹۰، گزارش سالانه مرکز آمار ایران، تهران.

- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. ۱۳۸۷. راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزئینی و نما، دفتر فنی و اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، نشریه شماره ۳۸۷، ۸۲ صفحه.
- میردامادی، ع.؛ نعمتی چاری، م.؛ شکرچی زاده، م. و غلامرضا کاشی، م. ۱۳۸۵. کاربرد ضایعات کارخانجات سنگبری در مواد پرکننده روان، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- وزارت صنعت، معدن و تجارت. ۱۳۹۱. برنامه راهبردی سنگ‌های ساختمانی، گزارش معاونت برنامه‌ریزی وزارت صنعت، معدن و تجارت، تهران، ۳۶ صفحه.
- یاسی‌پور تهرانی، ح. و مختاری، م. ۱۳۸۵. بررسی کمی و کیفی محیط‌زیستی دو روش سنتی و مدرن در تصفیه و بازیافت آب کارخانه‌های سنگبری، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، اصفهان.
- A lvarez-Ferna ndez, M.I.; Iez-Nicieza, C.G.; Ivarez-Vigil, A.E. & Alejano, L.R., 2012. Geometrical design of ornamental stone slabs cutting using the neutral region concept, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 52: 31-39.
- American Geological Institute, 2003. Dictionary of mining, mineral, and related terms, 2nd ed., Springer-Verlag, 646 p.
- Ashmole, I. & Moltoung, M., 2008. Dimension stone: The latest trends in exploration and production technology, In: *The International Conference on Surface Mining 2008 – Challenges, technology, systems and solutions – Papers*. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, Republic of South Africa, 35–70.
- Delgado, J.; Va ´zquez, A.; Juncosa, R. & Barrientos, V. 2006. Geochemical assessment of the contaminant potential of granite fines produced during sawing and related processes associated to the dimension stone industry, *Journal of Geochemical Exploration*, 88: 24– 27.
- Dolley, T.P, 2012. Stone, Dimension, USGS, 2011 Minerals Yearbook, 14p.
- ECD, 2009. European Commission Decision 2009/607/EC establishing the ecological criteria for the award of the community eco-label to hard coverings. *Off. J. Eur. Commun.* L208, 21-38.
- Fraccaroli & Balzan Company, [www.fraccarolibalzan.it](http://www.fraccarolibalzan.it)
- Gonzalez, E.P.; Lopez, J.S.; Martin, J.D.; Burgos, A., J. & Agudo, J.P., 2006. Analysis of the mobilization of solid loads and heavy metals in runoff waters from granite quarries, *Environmental Geology*, 50: 823–834.
- Karaca, Z.; Pekin, A. & Deliormanli, A.H. 2012. Classification of dimension stone wastes, *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 2354–2362.
- Mitchell C.J; Harrison D.J; Robinson H.L. & Ghazireh, N. 2004. Minerals from waste recent BGS and Tarmac experience in finding uses for mine and quarry waste. *Mineral Engineering*, 17: 279–284.
- Motyka, J. & Postawa, A. 2000. Influence of contaminated Vistula River water on the groundwater entering the Zakrzówek limestone quarry, Cracow region, Poland. *Environmental Geology*, 39: 398–404.
- Nasserdine, K.; Mimi, Z.; Bevan, B. & Elian, B. 2009. Environmental management of the stone cutting industry, *Journal of Environmental Management*, 90: 466-470.
- Rizzo, G.; D’Agostino, F. & Ercoli, L. 2008. Problems of soil and groundwater pollution in the disposal of “marble” slurries in NW Sicily. *Environmental Geology*, 55: 929–935.
- Simsek, C.; Karaca, Z.; Gemici, U. & Gunduz, O. 2005. The assessment of the impacts of a marble waste site on the water and sediment quality in a river system. *Fresenius Environmental Bulltan*, 14: 1013–1023.