

## عوامل موثر در انتخاب موادساینده مناسب جهت انجام عملیات بلاستینگ و تمیزکاری سطح قطعات قبل از فرایند پوشش دهی و رنگ آمیزی

جواد قربانیان<sup>۱</sup> - عماد نیشابوری<sup>۲</sup>

### چکیده

امروزه تولید اکثر مصنوعات فلزی در آخرین مرحله تولید با فرایند رنگ آمیزی و پوشش دهی همراه است. کیفیت پوشش یک قطعه بیشتر از نوع رنگ و آستری به کیفیت زیرسازی آن بستگی دارد. یکی از مهمترین فرایندهای صنعتی که جهت آماده سازی سطوح قبل از رنگ آمیزی مورد استفاده قرار می گیرد، پاشش مواد ساینده (بلاستینگ) می باشد. لذا انتخاب نوع ماده ساینده و نیز روش تمیزکاری با توجه به کلیه عوامل موثر همچون کیفیت سطح تولیدی، میزان آلاینده‌گی و نیز شرایط اقتصادی از چالشهای مهم صنعتگران محسوب می گردد. صنعت تولید ورق، لوله، سازه و سوله به عنوان یکی از صنایع رو به رشد در کشور با تحول سریع و گسترش وسیع حجم تولید همراه بوده است. در این میان قوانین سختگیرانه زیست محیطی در بخش آماده سازی سطح و رنگ آمیزی، این صنعت را با چالش جدیدی در انتخاب مواد ساینده و روش تمیزکاری روبرو نموده است. لذا در این مقاله سعی شده است تا ضمن معرفی مواد ساینده مصرفی و نیز روشهای تمیزکاری، بهترین و مقرون به صرفه ترین ماده ساینده و روش تمیزکاری در این صنعت معرفی گردد. بدیهی است این مقایسه در سایر صنایع فلزی نیز قابل تعمیم می باشد.

**کلمات کلیدی:** شات بلاست، مواد ساینده، ساچمه، تمیزکاری، پوشش دهی

۱. واحد مشاوره فنی و آموزش شرکت فرآورده های فولادی (ghorbanian\_just@yahoo.com)

۲. مدیرفروش شرکت فرآورده های فولادی (info@ab-shot.ir)

## مقدمه

فرایند بلاستینگ به عنوان یکی از ضروری ترین فرایندهای تمیزکاری و آماده سازی سطوح نقش بسیار مهمی در کیفیت رنگ آمیزی قطعات مختلف دارد. کیفیت و دوام هر نوع پوشش (رنگ یا مواد ضد خوردگی و...) وابستگی شدیدی به شرایط سطحی قطعه مورد نظر دارد. چنانکه حتی بعضی از متخصصین معتقدند که کیفیت پوشش یک قطعه بیشتر از نوع رنگ و آستری به کیفیت زیرسازی آن بستگی دارد. رنگ یا پوشش زمانی از چسبندگی مناسب بر روی سطح برخوردار خواهد بود که سطح دارای حفرات ریز میکروسکوپی و یا اصطلاحاً زبری (roughness) خاص باشد.

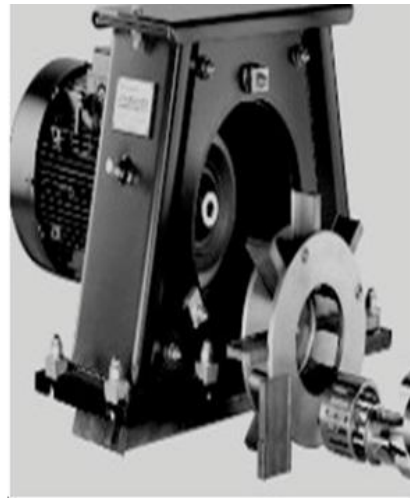
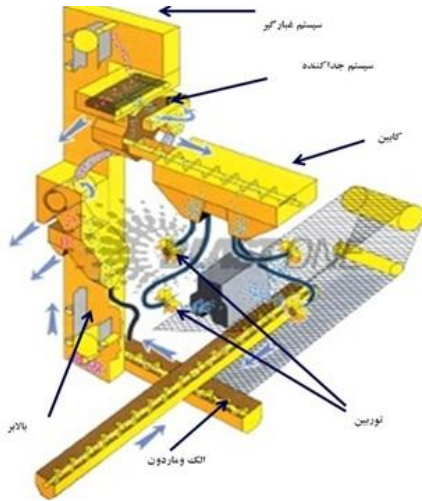
یک سطح بسیار صاف و صیقلی قابلیت پوشش دهی و رنگ پذیری پایینی دارد. علاوه بر آن معمولاً قطعات بعد از تولید بدلیل تماس با هوا، خصوصاً در محیط‌های مرطوب دچار زنگ‌زدگی میشوند. در برخی موارد نیز به دلیل نوع روش تولید، قطعات پس از تولید آغشته به روغن، گریس و مواد آلاینده دیگر می‌باشند. رنگ‌آمیزی روی این سطوح آلوده به خوبی انجام نمی‌گردد. بر همین اساس قبل از هر گونه رنگ و یا پوشش کاری، قطعات فوق تحت فرایند بلاستینگ قرار می‌گیرند تا ضمن تمیز کردن سطح و زدودن آلودگی‌ها از روی قطعات، سطح قطعات نیز در اثر برخورد مواد ساینده کمی زبر شود. نفوذ رنگ و پوشش به داخل این سطوح زبر، باعث افزایش قابلیت چسبندگی پوشش و اتصال کامل به بدنه می‌شود.

باید توجه کرد که حتی ورق‌های فولادی در سطح خود دارای یک لایه نازک به نام لایه اکسیدی (mill scale) است که این لایه به مرور زمان به زنگ تبدیل می‌گردد. لذا تمامی آهن‌آلات بکار رفته جهت ساخت سوله‌های صنعتی، بدنه کشتی‌ها، هواپیماها و حتی بدنه اکثر خودروها قبل از رنگ‌آمیزی از این طریق تمیز و زبر می‌شوند. همچنین کلیه لوله‌های خطوط انتقال نفت و گاز قبل از عایق‌کاری با قیر و یا پوشش‌های مقاوم به خوردگی، ملزم به انجام عملیات بلاستینگ می‌باشند.

## روشهای تمیزکاری سطح:

یکی از مهمترین و البته گسترده ترین روش‌های تمیزکاری، انجام این عملیات از طریق پاشش مواد ساینده بر روی سطح قطعه تولیدی می‌باشد. این مواد ساینده که با سرعت بالا به سطح قطعه برخورد می‌کنند باعث حذف و زدودن انواع آلودگی‌های سطحی می‌شوند. در حقیقت بلاستینگ یکی از فرایندهای تمام کاری سطح قطعات محسوب می‌گردد که شامل تمیز کردن سطح یک قطعه از طریق تحت ضربه قرار دادن سطح آن با جریان کنترل شده ای از مواد ساینده می‌باشد. عملیات سرعت دهی و پاشش دهی مواد ساینده به دو روش اصلی انجام می‌گیرد که عبارتند از:

**الف: روش توربینی (چرخ گردنده):** در این روش جهت شتاب دادن به مواد ساینده و پرتاب آنها به سمت قطعه از یک چرخ گردنده که خود از جنس مواد ضد سایش ساخته شده است و توربین نامیده می‌شود (مشابه شکل ۱) استفاده می‌شود. عملیات با ورود مواد ساینده به توربین آغاز می‌گردد و توسط توربین یا توربین‌های دستگاه، با سرعت بالا به سمت قطعه پرتاب می‌شوند و عملیات تمیزکاری بدین شکل انجام می‌شود. سپس مواد ساینده از کف دستگاه جمع‌آوری و در سیستم جداسازی تفکیک و بازیابی می‌گردد و سپس مجدداً به توربین منتقل می‌شود. این چرخه تا پایان عمر ماده ساینده ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۱: روش توربین چرخنده در پرتاب مواد ساینده و اجزای بازیابی در یک دستگاه شات بلاست

### ب: روش استفاده از هوای پرفشار (ایربلاست):

عملیات در این حالت شامل پرتاب مواد ساینده به سمت قطعه با استفاده از فشار هوا می باشد. روش کار بدین صورت است که مواد ساینده به داخل مخزن دستگاه شارژ میشود و سپس بوسیله هوای فشرده تولیدی توسط کمپرسور با فشار و سرعت بالا به تفنگ نازل منتقل می شود و از طریق تفنگ نازل به سطح قطعه پرتاب می شود و عملیات تمیزکاری را تکمیل می نماید. (مشابه شکل ۲) این روش برای مواد ساینده فلزی مشابه دستگاه شات بلاست بوده و در یک فضای بسته و دارای سیستم بازیابی مواد ساینده انجام می گردد و برای مواد ساینده غیرفلزی (مثل مسبار، ماسه و...) بدون سیستم بازیابی و در فضای باز انجام می گردد.



شکل ۲: روش ایربلاست در پرتاب مواد ساینده

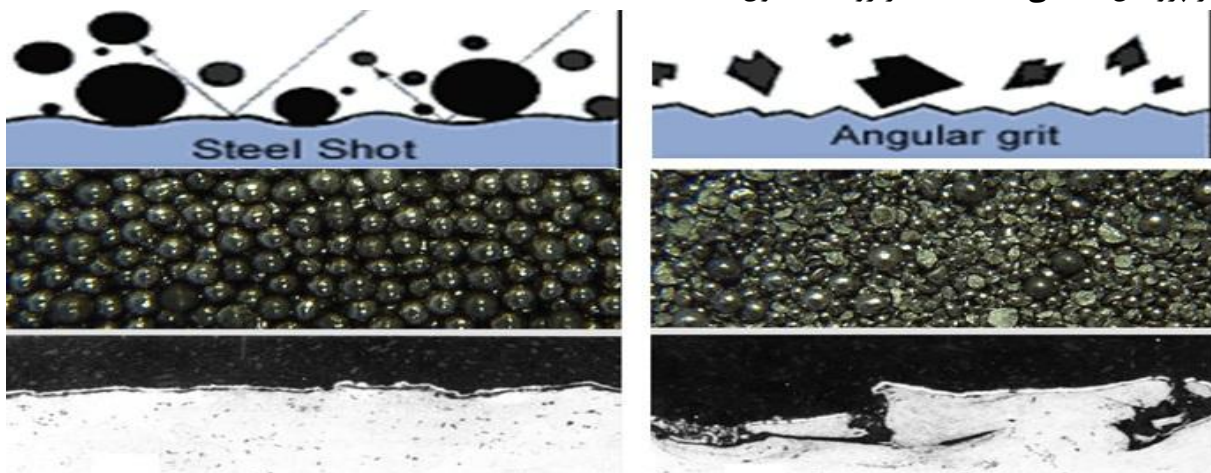
### مواد ساینده:

جهت تمیزکاری و آماده سازی سطح در صنایع مختلف از مواد ساینده متفاوت استفاده می شود. این مواد ساینده عبارتند از:

- الف: مواد ساینده فلزی مثل انواع ساچمه، گریت فولادی و محصولات کات وایر
  - ب: مواد ساینده غیر فلزی مثل ماسه، اکسید آلومینیوم، مسبار، گارنت، ساچمه سرامیکی، ساچمه پلاستیکی و...
- انتخاب نوع ماده ساینده به پارامترهای متعددی همچون هدف فرایند، عمر، سختی، انرژی ضربه، دوام، قیمت ماده ساینده و... بستگی دارد که به برخی از آنها اشاره می گردد. اولین و مهمترین عامل در انتخاب مواد ساینده؛ هدف

فرایند می باشد. اهداف اصلی بکارگیری مواد ساینده عبارتند از: الف: تمیزکاری سطحی (ماسه زدایی، پوسته زدایی)، آماده سازی سطوح برای پوشش دهی، تولید سطحی زیبا و... ب: افزایش عمر خستگی ج: برش د: حکاکی. از آنجاکه هدف نهایی است که تعیین می کند کدام ماده ساینده، مناسب آن فرایند می باشد. بنابراین قبل از انتخاب ماده ساینده در هر نوع فرایند پاششی، هدف نهایی فرایند را باید مد نظر قرار داد. به عنوان مثال گریت شکل زاویه دار دارد و لذا ماده بسیار مناسبی برای موارد آماده سازی سطوح قبل از پوشش دهی می باشد. زیرا که در این موارد سطح باید خشن و زیر گردد. حال آنکه چنانچه هدف افزایش عمر خستگی قطعات از طریق شات پینینگ باشد، فقط باید از مواد کروی و ساچمه ای شکل استفاده گردد و از گریت و یا مواد مشابه آن به هیچ عنوان نباید استفاده گردد. بدیهی است در صورتیکه مواد ساینده متناسب با هدف عملیات انتخاب نگرند، نه تنها هدف مذکور برآورده نمی گردد، بلکه موجب افزایش هزینه ها و تخریب دستگاه نیز می شود. پس از انتخاب هدف که در این مقاله تمیزکاری و آماده سازی سطح جهت پوشش دهی می باشد، موارد کیفی: سختی، ریزساختار، ترکیب شیمیایی، اندازه و عمر خستگی مواد ساینده باید مورد توجه قرار گیرند.

ماده ساینده همیشه باید نسبت به قطعه ای که تمیزکاری می شود، دارای سختی بالاتر یا حداقل برابر باشد تا عملیات تمیزکاری مؤثر وبدون تغییر شکل خود ماده ساینده انجام گردد. همچنین ماده ساینده باید دارای مقاومت در برابر خرد شدن و ریز شدن در اثر برخوردهای مکرر را داشته باشد. موادی که دارای عمر خستگی بالا می باشند، به شرط آن که دارای انرژی لازم جهت انجام تمیزکاری نیز باشند، بهترین انتخاب می باشند. علاوه بر مسایل فوق تاثیر مواد ساینده بر سطح قطعات مستقیماً با شکل این مواد در ارتباط است. به عنوان مثال گریت، به دلیل شکل گوشه دار خود سطحی زبر و خشن را تولید می کند. در حالیکه محل اثر ساچمه بر سطح قطعات مانند یک چاله کروی می باشد. بنابراین هدف عملیات، تعیین کننده شکل مواد ساینده است و از سوی دیگر شکل مواد ساینده، تعیین کننده میزان کیفیت و نوع عملیات تمیزکاری است. در شکل ۳ تاثیر مواد ساینده مختلف بر پروفایل سطحی ایجاد شده بر روی محصول مقایسه شده است.



شکل ۳: مقایسه تاثیر مواد ساینده مختلف بر پروفایل سطحی ایجاد شده (الف: ماده ساینده گوشه دار ب: کروی)

یکی از مهمترین عواملی که شاخصه کلیدی در راستای رسیدن به بالاترین بازدهی تمیزکاری محسوب می گردد، انتخاب اندازه درست مواد ساینده می باشد. انرژی ضربه منتقل شده از طریق ماده ساینده به سرعت پرتابش و جرم ماده ساینده بستگی دارد و با توجه به آنکه سرعت پرتابش در طول فرایند معمولاً ثابت است انرژی ضربه منتقل شده تنها به جرم (اندازه) ماده ساینده بستگی دارد. با توجه به بررسیهای انجام شده، عمومی ترین مواد ساینده مناسب



جهت تمیزکاری و آماده سازی سطوح قطعات فلزی (خصوصاً تمیزکاری ورق ، لوله ، سازه و سوله) عبارتند از :

- ۱ - ساچمه و گریت فولادی
  - ۲ - ماسه سیلیسی (اصطلاحاً سند خوانده می شود)
  - ۳ - سرباره مس (اصطلاحاً مسبار نامیده می شود)
- در این مقاله قصد بر آن است که پس از شناسائی برخی از ویژگی های ساینده های فوق و تحلیل اقتصادی و فنی پیرامون هر کدام ، مقرون به صرفه ترین مواد و البته روش مناسب برای تمیزکاری سطوح مورد شناسائی قرار گیرد. هر سه نوع ساینده ذکر شده در این گزارش توسط شرکت های تولید کننده داخلی تولید و عرضه می گردند. ساینده های مزبور هر یک با توجه به ریزساختار داخلی خود دارای سختی و مشخصات مکانیکی خاص خود هستند. جدول ۱ این ویژگی ها را نشان می دهد:

جدول ۱: مشخصات مکانیکی سه نوع ساینده مصرفی کارخانجات تولید کننده سازه

| ردیف | نوع ساینده                           | شکل ظاهری دانه ها              | وزن مخصوص $g/cm^3$ | میزان سختی بر حسب واحد ( MOHS) | تعداد سیکل بازیابی |
|------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| ۱    | سیلیس (گروه مواد غیر فلزی)           | فاقد شکل مشخص                  | ۲/۶۵               | ۵-۷                            | بدون بازیابی       |
| ۲    | مسبار (گروه مواد غیر فلزی)           | چند وجهی                       | ۳/۴                | ۶-۷                            | بدون بازیابی       |
| ۳    | ساچمه و گریت فولادی (گروه مواد فلزی) | ساچمه: کروی<br>گریت: زاویه دار | ۷/۸۵               | ۶ (معادل ۵۰-۶۰ راکول سی)       | حداقل ۲۰۰ بار      |

جدول Mohs واحد سنجش سختی مواد معدنی براساس خراش می باشد. در این مقایسه سختی ساچمه فولادی عملیات حرارتی شده نیز با واحد مزبور مورد سنجش قرار گرفته است.

لازم به توضیح است که ذرات ساینده در اثر برخورد به سطح قطعه کار دچار شکستگی شده و در آنها تغییر شکل ظاهری ایجاد می گردد. به همین دلیل برخی مواد که ساختار مکانیکی ضعیف تری دارند به مرور به پودر تبدیل شده و از چرخه مصرف خارج می گردند. تعداد دفعاتی که یک ماده ساینده در فرآیند تمیزکاری مورد استفاده قرار می گیرد، تحت عنوان « سیکل بازیابی » در جدول فوق مطرح گردیده است. علاوه بر آن شکل ظاهری ساینده ها نیز در نوع تمیزکاری سطوح تأثیر دارد، بطور مثال: ساینده های درشت تر، انرژی ضربه بیشتری را به سطح منتقل می کنند و لذا ناهمواری های عمیقتری را در سطوح ایجاد می کنند. ساینده های گرد و کروی شکل، سطوح صاف تری را روی سطح کار ایجاد می کنند و ساینده های زاویه دار و چند وجهی، سطح دندانه داری را در کار ایجاد می کنند که باعث چسبندگی مکانیکی بیشتر پوشش به قطعه کار می گردد.

### ملاحظات ایمنی و زیست محیطی در کاربری ساینده ها:

هر کدام از ساینده های اشاره شده فوق دارای نکات ایمنی بشرح جدول ۲ می باشند که باید رعایت گردد. با توجه به

اطلاعات مذکور استفاده از سیلیس الزاماً باید متوقف شده و از مسبار یا ساچمه های فولادی جهت تمیز کاری سطوح فلزی استفاده گردد.

جدول ۲: ملاحظات ایمنی و زیست محیطی ساینده ها

| ملاحظات ایمنی   | نوع ساینده    | ردیف |
|---|---------------|------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ذرات سیلیس در حین پاشش، وارد ریه اپراتور می گردد و بیماری سیلیکوسیس را ایجاد می نماید. این بیماری خیلی دیر بروز کرده و فرد بیمار را به ضایعات فراوان و مرگ دچار می سازد. تمام کشورهای اروپائی و غربی از سال ۱۹۷۴ استفاده از موادی که دارای بیش از ۱٪ سیلیس آزاد هستند را بمنظور تمیز کاری سطحی ممنوع اعلام کرده اند. حدود ۷۰ تا ۹۶٪ پودر سیلیس را عنصر سیلیس آزاد تشکیل می دهد.</li> </ul> | سیلیس         | ۱    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>اگرچه میزان سیلیس آزاد موجود در مسبار از ۱٪ کمتر می باشد، اما احتمال وجود عناصر فلزی سنگین (ناشی از ذوب مس) در ترکیب مسبارها وجود دارد. گرد و غبار مسبار در مقایسه با سیلیس کمتر می باشد، اما در حین تنفس امکان نفوذ ذرات ریز به ریه کارگران وجود دارد. تا کنون گزارش یا قانونی مبنی بر محدودیت مصرف مسبار مشاهده نگردیده است.</li> </ul>  | مسبار         | ۲    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>هیچگونه آلودگی زیست محیطی یا خاصیت بیماری زائی در رابطه با استفاده از ساچمه و گریت فولادی در تمیز کاری مشاهده نشده است و به دلیل پاشش ساچمه در فضای بسته دستگاه معمولاً گرد و غبار به بیرون درز نمی کند.</li> </ul>  | فولادی و گریت | ۳    |

### ارزیابی بهای ساینده ها

چنانکه عنوان شد، ساینده های فوق دارای تعداد سیکل بازیابی متفاوتی هستند. با توجه به بررسیهای صورت گرفته در زمان نگارش این مقاله بهای ساینده ها با احتساب هزینه تقریبی حمل و بسته بندی در واحد وزن، بشرح جدول ۳ است:

جدول ۳: محاسبه بهای ساینده ها

| ردیف | نام ساینده   | بهای هر کیلو (ریال) | هزینه حمل هر کیلو (ریال) | جمع قیمت تمام شده هر کیلو تولید (ریال) |
|------|--------------|---------------------|--------------------------|--|
| ۱    | سیلیس        | ۸۰۰                 | ۲۰۰                      | ۱۰۰۰                                   |
| ۲    | مسبار        | ۱۰۰۰                | ۵۰۰                      | ۱۵۰۰                                   |
| ۳    | ساچمه فولادی | ۴۵۰۰۰               | ۴۰۰                      | ۴۵۴۰۰                                  |

\* قیمت های فوق از مواد ساینده معمول مورد استفاده در کارخانجات مختلف بوده و از تولیدکنندگان زیر استعلام شده است: (شرکت فرآورده های فولادی گرگان، شرکت سیلیس همدان، شرکت پیشگام ساینده)

### مقایسه قیمت تمام شده ساینده ها:

چنانکه عنوان گردید سیلیس به دلیل مشکلات زیست محیطی غیر قابل استفاده است. لذا مقایسه قیمت بین ساچمه فولادی و مسباره از دو روش انجام می گردد. در روش اول میزان مصرف مواد ساینده به ازاء واحد سطح قطعه ای که تمیز می شود با هم مقایسه شده است و در روش دوم میزان مصرف حجمی مواد ساینده برای تمیزکاری سطح مشخص و معینی از فولاد با توجه به سیکل بازیابی با هم مقایسه شده است.

### روش اول محاسبات:

بر اساس اطلاعات کسب شده جهت تمیزکاری سه قطعه فولادی زنگ زده و رساندن به سطح کیفی تا حد استاندارد SA2.5 به ازاء هر یک متر مربع از سطح قطعه، میزان مواد مصرفی و هزینه بهای هر کدام بشرح جدول ۴ می باشد.

جدول ۴: میزان مواد مصرفی جهت تمیزکاری یک متر مربع از سطح قطعه

| ردیف | نام ساینده          | میزان مورد نیاز برای تمیزکاری ۱ متر مربع | بهای واحد مواد | بهای مواد (مصرفی) (ریال) |
|------|---------------------|--|----------------|--------------------------|
| ۱    | سیلیس               | ۴۰ کیلوگرم                               | ۱۰۰۰           | ۴۰۰۰۰                    |
| ۲    | مسباره              | ۳۰ کیلوگرم                               | ۱۵۰۰           | ۴۵۰۰۰                    |
| ۳    | ساچمه (گریت) فولادی | ۰/۲۵ کیلوگرم                             | ۴۵۴۰۰          | ۱۱۳۵۰                    |

### روش دوم محاسبات:

چنانچه میزان مصرف حجمی مواد ساینده یکسان فرض شود، با در نظرگیری سیکل بازیافت تمیزکاری، برای تمیزکاری سطح مشخص و معینی از فولاد و رساندن به سطح کیفی تا حد استاندارد SA2.5 با مسباره یا ساچمه (گریت) فولادی موارد مطابق جدول ۵ صادق است.

جدول ۵: مقایسه هزینه مواد مصرفی جهت تمیزکاری سطح قطعه

| ماده ساینده  | مسباره                          | ساچمه یا گریت فولادی                                   |
|--|---------------------------------|--|
| ویژگی ها   |                                 |  |
| نرخ مصرف مواد ساینده (کیلوگرم در ساعت)   | ۵۰۰                             | ۱۱۵۰<br>(وزن مخصوص ساچمه فولادی ۲/۳۰ برابر مسباره است) |
| زمان فرآیند با در نظر گرفتن روزانه ۴ ساعت کار، ۵ روز در هفته و ۵۲ هفته در سال (ساعت) | $1040 = (5 \times 52 \times 4)$ | ۱۰۴۰   |
| کل مواد مصرفی در سال بدون در نظر گرفتن سیکل بازیافت (کیلوگرم)                        | $52000 = (500 \times 1040)$     | $1196000 = (1040 \times 1150)$                         |
| سیکل بازیافت مواد  | بدون بازیافت                    | حداقل ۲۰۰ بار  |
| مواد مصرفی با در نظر گرفتن سیکل بازیافت (کیلوگرم)                                    | ۵۲۰/۰۰۰                         | $1196000 \div 200 = 5980$                              |
| قیمت هر کیلو ساینده (ریال)   | ۱۵۰۰                            | ۴۵۴۰۰  |
| بهای مواد مصرفی ساینده   | ۷۸۰ /۰۰۰/۰۰۰ ریال               | ۲۷۱/۴۹۲/۰۰۰ ریال                                       |

همانگونه که مشاهده می گردد نسبت هزینه خرید ساچمه فولادی برای تمیز کاری قطعات در دو روش اشاره شده فوق قابل توجه می باشد و این امر مزیت اقتصادی بکارگیری ساچمه های فولادی و سیستم شات بلاست مکانیزه را اثبات می نماید. ( در برخی کارخانجات داخلی از مسبار چن دین بار ( تا ۴ بار) استفاده مجدد می گردد، اما باید به این نکته توجه نمود که عدد بازیابی ساچمه که ۲۰۰ در نظر گرفته شده است نیز کمترین مقدار در نظر گرفته شده است. زیرا که ساچمه یا گریت فولادی در یک دستگاه شات بلاست حتی تا ۱۵۰۰ بار نیز قابل استفاده مجدد است. با در نظر گرفتن این موارد، باز هم ساچمه و گریت فولادی به مراتب مقرون به صرفه تر می باشد.

#### تصمیم گیری در خصوص انتخاب روش پاشش مواد ساینده

گریت (یا ساچمه) فلزی را در هر دوروش توربینی و ایربلاست (هوای پرفشار) می توان استفاده نمود. اما مسبار فقط با روش ایربلاست قابل استفاده می باشد. البته باید خاطرنشان کرد که مسبار در روش ایربلاست بدون سیکل بازیابی بکار می رود. حال آنکه ساچمه در صورتی در روش ایربلاست کاربرد دارد که از سیستم بازیابی مواد ساینده استفاده شود که در این صورت کلیه تجهیزات لازم بجز سیستم پرتابش (که نازل بجای توربین خواهد بود) مشابه روش توربینی است و لذا هزینه ها یکسان خواهد بود. بنابراین در ادامه دو روش توربینی ( برای ماده ساینده فلزی) و ایربلاست ( بدون سیستم بازیابی) برای مسبار با هم مقایسه می شوند و بدیهی است که سیستم ایربلاست با قابلیت بازیابی مواد ساینده مشابه روش توربینی است و لذا هزینه های تامین دستگاه تقریباً یکسان خواهد بود.

#### مقایسه دو روش توربینی و هوای پرفشار

هر دو روش توربینی و هوای پرفشار برای عملیات پاشش مواد ساینده به سطح قطعات استفاده می گردند. این فرایندها هر یک دارای مزایا و محدودیت های خاص خود هستند و مقایسه این روش ها تنها به منظور آشنایی بیشتر با هر یک از آنها می باشد و دلیل برتری یک روش بر دیگری نمی باشد و هر کاربر باید با توجه به شرایط و نیازمندی های تولید، ابعاد و شکل قطعات و مقایسه آن با قابلیت ها و محدودیت های کلی هر روش اقدام به انتخاب روش مناسب با امکانات موجود خود نماید.

#### موارد کاربرد فرایند شات بلاست توربینی:

روش توربینی به دلیل آنکه از توربین جهت پرتاب ساچمه استفاده می شود و کلیه عملیات بصورت ماشینی و خودکار صورت می پذیرد، دارای سرعت بالایی در عملیات تمیزکاری است. در این روش با توجه به نوع دستگاه، می توان قطعات مختلف زیادی را بصورت هم زمان، یا بدون وقفه و پشت سرهم وارد دستگاه نمود و تمیزکاری را با سرعت بالایی انجام داد. به همین دلیل از این روش معمولاً در مواردی که **حجم و تناژ تولید** قطعات بالا باشد و سرعت بالایی از تمیزکاری مورد نیاز باشد، استفاده می شود.



شکل ۴: برخی از موارد کاربرد روش شات بلاست توربینی



### موارد کاربرد روش ایربلاست:

در این روش امکان استفاده از انواع مواد ساینده و محدوده عملکردی وسیع وجود دارد. از شات بلاست دقیق قطعات پیچیده و کوچک گرفته تا تمیزکاری دستگاه‌ها و تجهیزات عظیم از موارد کاربرد متنوع این روش می‌باشد. در مواردی مثل: تمیزکاری انواع قطعات حجیم و سنگین که امکان قرار دادن آنها در کابین روش توربینی وجود ندارد، تمیزکاری قطعات در محل تولید، شات پینینگ قطعات پیچیده و کوچک، شات بلاست کردن سوراخ‌های کوچک، استفاده از مواد ساینده با سختی بالا (مثل  $Al_2O_3$ ) و... روش ایربلاست تنها روش قابل استفاده می‌باشد. علاوه بر آن از این روش جهت تمیزکاری و پرداخت انواع سطوح افقی و عمودی کوچک و بزرگ فلزی و غیر فلزی، تمیزکاری داخل و خارج مخازن بزرگ آب، نفت و گاز و نیز بدنه، عرشه و زیر کشتی‌های بزرگ، سطوح بتونی کف و روی ساختمان‌ها، پل‌ها، سطح و نیز درزهای جوش محصولات و قطعات مختلف مانند واگن‌های قطار، لوله‌های آب، نفت، گاز و... که نیازمند دستگاه‌های تمیزکاری قابل حمل و سیار می‌باشند نیز استفاده می‌شود.

### سایر هزینه‌ها:

جهت مقایسه دو روش توربینی و ایربلاست علاوه بر هزینه مواد ساینده، هزینه‌های نیروی انسانی (کارگر)، تجهیزات مورد نیاز، استهلاک دستگاه‌ها، انرژی مصرفی، تعمیرات و نگهداری نیز در برآورد هزینه‌های کلی یک فرایند موثر هستند که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

### الف: مقایسه دو روش توربینی و ایربلاست از نظر انرژی مصرفی:

جهت بررسی این موضوع فرض کنید جهت پرتاب ساچمه از یک موتور با توان  $56 \text{ Kw}$  استفاده شود. تحت این شرایط ساچمه با سرعت  $73 \text{ m/s}$  پرتاب می‌شود و این یعنی جریانی با فلو  $800 \text{ kg/hr}$  ساچمه با استفاده از تفنگ  $\text{Air blast}$  که قطر نازل آن  $13 \text{ mm}$  میلیمتر باشد، نرخ فلو ساچمه  $2700 \text{ kg/h}$  خواهد بود. مطالب فوق نشان می‌دهد که یک موتور از نوع توربینی معادل با  $20 \text{ mm}$  نازل هوا می‌باشد. ( $20 \times 2700 = 54000 \text{ kg/hr}$ )  
میزان هوای لازم برای یک نازل با مشخصات فوق  $120 \text{ m}^3/\text{hr}$  می‌باشد و لذا کل هوای لازم برای  $20 \text{ mm}$  نازل  $2400 \text{ m}^3/\text{hr}$  (  $2/45 \text{ Kpa}$  ) خواهد بود. بعبارت دیگر برای فراهم کردن چنین مقدار هوایی،  $700 \text{ Kw}$  کیلووات انرژی نیاز دارد. اگر میزان انرژی لازم برای هر دو روش را با هم مقایسه کنیم، روش توربینی معادل  $12/5$  برابر مقرون به صرفه تر از روش نازل هوا است و  $12$  برابر انرژی کمتر مصرف می‌کند. ( $56 \text{ Kw}$  در مقایسه با  $700 \text{ Kw}$ ).

### ب: نیروی انسانی:

در روش ایر بلاست در فضای باز نیاز به کارگرمجهز به لباس ایمنی جهت پرتاب مواد ساینده به سطح قطعه می‌باشد. یعنی به تعداد نازل‌های دستگاه (که بر اساس شرایط هر کارخانه متفاوت می‌باشد) کارگر نیازمند است. این عامل باعث می‌شود که سرعت فرایند تمیزکاری و البته دقت فرایند نیز به شدت کاهش یابد. اما در روش توربینی به دلیل ماشینی و خودکار بودن سیستم هزینه نیروی انسانی بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که برای یک دستگاه شات بلاست جهت عملیات پاشش تنها یک اپراتور در هر شیفت کاری کفایت می‌کند. هزینه سایر نیروهای انسانی درگیر، مشابه می‌باشد.

### سرعت فرایند:

یکی از مهمترین ویژگیهای روش توربینی سرعت بسیار بالای آن در مقایسه با روش ایربلاست می باشد که نقش بسیار زیادی در کاهش هزینه های تمیزکاری بر عهده دارد. به عنوان مثال برای تمیزکاری یک شاخه تیراهن معمولی، در روش ایربلاست دستی نیاز به یک کارگر جهت پاشش و حدود ۱۵ دقیقه زمان می باشد. حال آنکه در روش توربینی چندین شاخه تیراهن بصورت همزمان و با زمانی کمتر (حدود ۱۰ دقیقه) توسط دستگاه و بدون نیاز به کارگر (جهت پاشش مواد) تمیزکاری می شود. علاوه بر آن خطای کارگر و یا عدم یکنواختی در نحوه تمیزکاری سطح که به نحوه کار اپراتور بستگی دارد نیز در روش توربینی وجود ندارد. سرعت و دقت بالای روش توربینی یکی از مهمترین خواص این سیستم می باشد که نقش بسیار مهمی در کاهش هزینه ها را نیز بر عهده دارد.

### وسایل ایمنی

با بکارگیری روش ایربلاست در تمیزکاری قطعات، به تجهیزات خاصی جهت ایمنی کارگران نیاز می باشد که برخی از آنها عبارتند از: لباس کار، کلاه، ماسک و دستکش مخصوص، مخزن هوا جهت وصل به کلاه (شارژ اکسیژن) و ... هیچکدام از موارد فوق در سیستم مکانیزه شات بلاست مورد نیاز نمی باشد و اپراتور دستگاه مزبور می تواند با استفاده از یک لباس و کفش کار معمولی وظیفه خود را انجام دهد.

### ج: هزینه های خرید دستگاه شات بلاست، تعمیرات و استهلاک دستگاه :

هر یک از این دو سیستم تمیزکاری توربینی و ایربلاست به قطعات یدکی و تجهیزات خاص خود نیاز دارند که مختصری از آن در جدول ۶ نشان داده شده است .

#### جدول ۶: قطعات یدکی و تجهیزات خاص روشهای توربینی و ایربلاست

| ردیف | نوع مواد ساینده  | قطعات یدکی مورد نیاز و استهلاک  |
|------|------------------|---|
| ۱    | مسبار یا سند     | قطعات یدکی کمپرسور برقی یا دیزل<br>قطعات یدکی تفنگ نازل و دیگ سند بلاست (مانند: شلنگ و ...) |
| ۲    | ساچمه های فولادی | قطعات یدکی دستگاه شات بلاست   |

از آنجا که در یک ماشین شات بلاست، پرتاب یک ماده ساینده صورت می گیرد، بدیهی است هزینه سرمایه گذاری اولیه و خرید دستگاه و نیز هزینه های تعمیر و استهلاک قطعات در مقایسه با تجهیزات سیستم ایر بلاست در فضای باز بیشتر می باشد. این موضوع برای بسیاری از خریداران دستگاه شات بلاست در ابتدای امر کمی مشکل به نظر می رسد که باید بدان دقت خاصی نمود. بدیهی است هزینه خرید و نصب تجهیزات مورد نیاز در هر روش به ابعاد دستگاه و کیفیت (سازنده) آن برمی گردد که متغیر می باشد. اما به طور کلی هزینه سرمایه گذاری اولیه در روش توربینی بالاتر از روش هوای پرفشار در فضای باز می باشد که مقدار آن با توجه به شرایط باید برآورد و مقایسه گردد.

### نتیجه گیری:

چنانکه بررسی شد ساچمه یا گریت (یا ترکیب ساچمه و گریت) فولادی ماده مناسبتری جهت عملیات تمیزکاری سطح سازه ها از نظر قیمت و خواص محسوب میشود. گریت (یا ساچمه) را در هر دور روش توربینی و ایربلاست (هوای پرفشار) می توان استفاده نمود. حال آنکه ساچمه در صورتی در روش ایربلاست کاربرد دارد که از سیستم بازیابی

مواد ساینده استفاده شود. لذا بهترین روش استفاده از ساچمه یا گریت، روش توربینی می باشد که از دقت و سرعت بالایی نیز برخوردار است و از نظر اقتصادی نیز برای این کار مقرون به صرفه می نماید.

اهمیت روش فوق به اندازه ای است که شرکتهای بزرگ در سراسر جهان وبسیاری شرکتهای داخلی سازنده لوله، سازه و سوله در سالهای اخیر تمایل زیادی به استفاده از این روش نشان داده اند. خاطر نشان می شود که برخی سازه های بزرگ یا پیچیده ممکن است امکان قرارگیری درون دستگاه شات بلاست را نداشته باشند و یا به دلیل پیچیدگی برخی از زوایای آن تمیزکاری نشوند (زیرا که زوایای پاشش در دستگاه توربینی ثابت است). در این موارد معمولاً از یک دستگاه ایربلاست سیار در کنار دستگاه توربینی استفاده می شود تا این موارد نیز تمیزکاری شوند. (یا از ساچمه و روش ایربلاست با اتاقک بزرگ و دارای سیستم بازیابی استفاده شود).

آنچه در انتخاب نوع و ابعاد یک دستگاه شات بلاست جهت تمیزکاری سطح مهم می باشد، طراحی درست زوایای پرتابش با توجه به نوع سازه می باشد که در حین خرید دستگاه باید بدان دقت ویژه ای نمود. در نهایت می توان جمع بندی مطالب فوق را در رابطه با مقرون به صرفه بودن استفاده از ساچمه های فولادی در مقایسه با سیلیس یا مسبار مطابق جدول ۷ خلاصه نمود..

جدول ۷: مقایسه کلی مزایا و معایب روشهای شات بلاست توربینی و ایربلاست

| منابع انسانی | سرمایه گذاری اولیه و استهلاک | لوازم ایمنی | انرژی برق | ملاحظات انبارداری | تعداد سیکل بازیافت | هزینه مواد | ردیف                                 |
|--------------|------------------------------|-------------|-----------|-------------------|--------------------|------------|--------------------------------------|
| +            | -                            | +           | +         | +                 | +                  | +          | ساچمه و گریت فولادی با روش شات بلاست |
| -            | +                            | -           | -         | -                 | -                  | -          | مسبار با روش ایربلاست                |

همانگونه که مشاهده می گردد استفاده از ساچمه های فولادی و روش شات بلاست توربینی در تمیزکاری قطعات در مورد تمام عوامل (بجز هزینه سرمایه گذاری اولیه و استهلاک) مقرون به صرفه تر از مسبار با روش ایربلاست در فضای باز است که این مورد نیز باید با توجه به کلیه شرایط، امکانات، هزینه های کلی و ابعاد دستگاه بررسی و اظهار نظر قطعی گردد.

### تقدیر و تشکر:

بدینوسیله از زحمات و راهنماییهای جناب آقای مهندس بیدختی و شرکت سازه صنعت ایستافر که در تهیه و نگارش این مقاله ما را یاری نمودند کمال تشکر را داریم.

### منابع:

- ۱ - جواد قربانیان - عماد نیشابوری "مقدمه ای بر شات بلاست و شات پینینگ" انتشارات استان - بهار ۱۳۹۲  
2-Timo Winkler,Bad Friedrichshall, "Blasting With Steel",Giesserei Journal, March 2006