

Analysis of Key Factors in the Copper slag Blasting Process and Strategic Comparison with Other Surface Preparation Methods to Improve Painting Quality

Ahmad Rahimian, Fariborz Forouhandeh*, Vali Parvaneh

Department of engineering, Shahrood branch, Islamic Azad university, P. O. Box:36199-43189, Shahrood, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25-09-2024

Accepted: 22- 02-2025

Available online: 21-04-2025

Print ISSN: 2251-7278

Online ISSN: 2383-2223

DOI: 10.30509/jscw.2025.167375.1205

Keywords:

Test Pull-Off

Shot blast

Surface roughness

Copper slag

Steel ball

ABSTRACT

Two kinds of abrasive materials, Copper Slag and small steel shot (shot blast), are used in this research. When using copper slag blast on the surface of metals, several factors must be considered, including the distance between the nozzle and the surface of the piece, the air pressure coming out of the compressor, the operator speed, and the type and size of the abrasive. Changes in the nozzle spacing included 100 mm, 150 mm, and 200 mm in this study. The pressures included 4 bar, 5 bar, and 6 bar in this research. Also, the type of Copper Slag used in this research is 0.5 to 2 mm. The number of 9 experiments in this research was examined to obtain the best by changing the components of pressure, distance, and angle of the nozzle to the surface of the part; then we re-tested the best condition with different speeds (the speed of the user's hand movement). In this test, all samples' surface roughness was analyzed based on ISO 8503-1. The results showed all samples experienced an increase in surface roughness after the copper slag blasting process. However, the sample (pressure: 5 bar, nozzle distance: 150 mm, operator speed 180-200 mm/sec, and nozzle angle 60~75 degrees) has the best surface roughness condition. Finally, the component cleaned with copper slag blasting was compared with the one cleaned using steel shot blasting. For painting one square meter of cross-sectional area, 1.8 kg of paint was used with copper slag blasting, whereas 2.1 kg was required for steel shot blasting surface preparation. The results demonstrated that when critical factors in copper slag blasting are properly observed, it yields significantly lower paint consumption and superior paint adhesion compared to shot blasting.

تحلیل عوامل مهم در فرایند ساینده مسباره و مقایسه راهبردی با دیگر شیوه‌های آماده‌سازی سطوح جهت بهبود کیفیت رنگ آمیزی

احمد رحیمیان^۱، فریبرز فروهنده^{۲*}، ولی پروانه^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران، صندوق پستی: ۴۳۱۸۹-۳۶۱۹۹.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران، صندوق پستی: ۴۳۱۸۹-۳۶۱۹۹.

چکیده

اطلاعات مقاله

در این تحقیق از دو ساینده مسباره و ساچمه‌های ریز فولادی (ساچمه‌زنی) استفاده شده است. هنگام استفاده از بلاست با ساینده مسباره روی سطح فلزات باید چندین شاخص از جمله فاصله نازل با سطح قطعه، فشار هوای خروجی از کمپرسور و سرعت دست کاربر و نوع ساینده و اندازه آن در نظر گرفته شود. تغییر فاصله نازل مورد استفاده در این مطالعه شامل ۲۰۰ و ۱۵۰ mm بود. فشارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل ۶، ۵ و ۴ bar بود. همچنین نوع مسباره مورد استفاده در این تحقیق با اندازه‌های ۲ mm - ۵٪ می‌باشد. تعداد آزمایش در این تحقیق با تغییر مولفه‌های فشار، فاصله و زاویه نازل تا سطح قطعه جهت حصول بهترین نتیجه مورد بررسی قرار گرفت و سپس بهترین حالت آن را با سرعت‌های مختلف (سرعت حرکت دست کاربر) مجدد مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش زبری سطح همه نمونه‌ها براساس ISO 8503-1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمامی نمونه‌ها پس از فرایند بلاست با ساینده مسباره افزایش زبری سطح را تجربه کردند. با این حال، نمونه (فشار ۵ bar، فاصله نازل ۱۵۰ mm و سرعت حرکت دست کاربر ۲۰۰-۱۸۰ mm/s و زاویه ۶۰-۷۵ درجه نازل) بهترین حالت زبری سطح را دارد. در انتها قطعه‌ای که با ساینده مسباره تمیزکاری شده بود، با قطعه تمیزکاری شده توسط ساچمه فولادی مقایسه شد. برای رنگ‌آمیزی سطح مقطع یک مترمربع با ساینده مسباره ۱/۸ کیلوگرم و برای تمیزکاری با ساچمه فولادی ۲/۱ کیلوگرم رنگ مورد استفاده قرار گرفت. نتیجه این بود که در صورت رعایت عوامل مهم در بلاست با ساینده مسباره، مقدار رنگ مصرفی بسیار کمتر و چسبندگی رنگ به شات بلاست خواهیم داشت.

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱
شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۲۲۷۸
شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۲۲۳

DOI: 10.30509/jscw.2025.167375.1205

واژه‌های کلیدی:

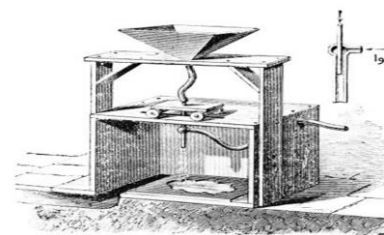
آزمون چسبندگی رنگ
ساچمه‌زنی
زبری سطح
مسباره
ساچمه فولادی

۱- مقدمه

تاریخچه ساینده^۱ داستانی است که قهرمانش ژنرال بنجامین تیلگمن^۲ است؛ در حدود سال ۱۸۷۰ میلادی (۱۲۴۹ شمسی)، روزی ژنرال بنجامین تیلگمن (مخترع اولین دستگاه بلاست)، در کلبه چوبی خود در قرارگاهی نظامی مشغول به استراحت بود که ناگهان طوفان شن رخ می‌دهد. ژنرال پس از تمام شدن طوفان از پنجره به بیرون نگاهی کرد که مسئله‌ای پیش پا افتاده نظر او را جلب کرد. شیشه اتاق در اثر برخورد ذرات شن در طی طوفان، مات شده بود و این مسئله‌ای بود که بنجامین را به فکر فرو برد تا اولین بار وسیله‌ای را اختراع کند که با آن بتوان ذرات شن را با سرعت زیاد بر روی سطح قطعات پرتاب کرد و سطوح را از هرگونه آلودگی از قبیل زنگ‌زدگی، چربی، ناصافی و غیره پاک کرده و برای رنگ‌آمیزی آماده نماید (۱). تیلگمن با الهام از این پدیده، اولین دستگاه ساینده را اختراع کرد (شکل ۱) (۲).

پس از اختراع دستگاه ساینده، تیلگامان متوجه شد که این دستگاه برای تمیز کردن ابزار، حکاکی، تمیزکاری و ایجاد شکل‌های زیبا بر روی چوب نیز قابل استفاده است (۳).

به فرایندی که در آن ذرات ساینده تحت فشار هوا روی سطح قطعات فولادی پاشیده می‌شود تا برای رنگ‌کاری آماده شوند ساب‌پاشی^۳ گفته می‌شود (۴). متداول‌ترین انواع ساب‌پاشی شامل شن‌زنی (ساینده)، وساینده مرطوب^۴، ساچمه‌زنی^۵، زیره‌زنی^۶، ساینده خلا^۷، ساینده سودا^۸، ساینده بریستل^۹، ساینده یخ خشک^{۱۰}، ساینده میکرو^{۱۱} و ساینده بید^{۱۲} می‌شوند. در سال ۱۹۹۹ محققان به مطالعه فرایند ساینده یخ خشک برای تمیز کردن و بهینه‌سازی و کاربرد آن پرداختند. طبق این مقاله، فرایندهای تمیزکاری سطوح توسط یخ خشک برای حذف خاک و رنگ استفاده می‌شود. حلال‌ها و مواد شیمیایی اغلب باعث آلودگی می‌شوند و هزینه‌های زیادی برای بازسازی و دفع دارند (۵).



شکل ۱: اولین دستگاه ساینده (۲).

Figure 1: The first blast machine (2).

در سال ۱۹۵۰ ای جی لیبن^{۱۳} به تحقیق درباره موارد مهم آماده‌سازی سطح و اقتصادی بودن ساینده می‌پردازد. هدف او این بود که چگونه ساینده می‌تواند برای آماده‌سازی سطح به‌عنوان یک عامل اقتصادی مورد بحث قرار گیرد. در این مقاله یک طرح کلی از تمام شیوه‌های آماده‌سازی سطح ارائه شد، ولی بیشترین تاکید برای آماده‌سازی سطح با ساینده مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق به اهمیت تجهیزات پرداخت که به طور قابل توجهی به کاهش هزینه‌های موجود در ساینده کمک می‌کند (۶). به طور خلاصه ساینده را می‌توان شن‌زنی یا شن‌پاشی تعریف کرد. فرایندی که در آن برای تمیزکاری و آماده‌سازی سطح، شن و ماسه از طریق فشار هوا به سطح قطعه پرتاب می‌شوند. در ساینده، هوای فشرده شده به عنوان منبع انرژی و جریان پر فشار، نقش مهمی را در ساینده‌گری در سطح قطعه ایفا می‌کند. شیوه پرداخت با دانه‌های شیشه، در مقایسه با سایر شیوه‌های پرداخت سطوح همچون ساینده، از امنیت و ایمنی بالاتری برخوردار است و مانند ساینده که قوانین سخت‌گیرانه ایمنی برایش وضع می‌شود، مشکلات حاد تنفسی ایجاد نمی‌کند (۷).

ساچمه‌زنی به فرایندی گفته می‌شود که در آن ساچمه‌های کروی شکل یا شکسته با استفاده از نیروی مکانیکی یا گریز از مرکز به سطح مورد نظر برخورد می‌کنند. ساچمه‌ها معمولاً از جنس فولاد، مس یا آلومینیوم هستند (۸). ساچمه‌زنی بیشتر در محفظه محصور انجام می‌شود. امروزه رایج‌ترین شیوه ساب‌پاشی، ساینده مسباره است. اما در صورتی که عوامل مهم در ساینده مسباره به طور صحیح رعایت نشود کیفیت آماده‌سازی سطح به مراتب پایین‌تر از حد مطلوب بوده که موجب عدم رنگ‌آمیزی صحیح می‌شود و خسارت‌های جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت.

یکی دیگر از عوامل مهم در ساینده مسباره زاویه نازل است که بهترین حالت برای آن زاویه ۷۵ درجه می‌باشد (۹). در این مقاله عوامل مهم ساینده مسباره^{۱۴} از قبیل زاویه نازل، فاصله نازل از سطح قطعه، فشار بار کمپرسور هوا و سرعت حرکت دست کاربر مورد آزمایش قرار گرفته شد. سپس زبری سطح، چسبندگی رنگ، مقدار رنگ مصرف‌شده را در دو سطحی که با ساینده مسباره و دستگاه ساچمه‌زنی خودکار آماده‌شده، مقایسه شد. همچنین دو فرایند ساچمه‌زنی و ساینده مسباره از لحاظ اقتصادی همچون هزینه ساینده‌ها و احداث کارگاه مورد بررسی قرار گرفت.

⁹ Bristle blast

¹⁰ Ice Blast

¹¹ Micro blast

¹² Bead Blast

¹³ AJ Liebman

¹⁴ Copper slag blast

¹ Blast

² General Benjamin Tilghman

³ Abrasive blasting

⁴ Wet blast

⁵ Shot blast

⁶ Grit Blast

⁷ Vacuum blast

⁸ Soda blast

مسبار ارتباط مستقیمی با فشار هوایی دارد که توسط کمپرسور هوا تولید می‌شود (شکل ۲). فشار هوای تولید شده به وسیله کمپرسور هوا از طریق اتصالات بخش زیرین دیگ بلاست با سرعتی زیاد و بصورت مستقیم به سمت شیلنگ بلاست هدایت می‌شود. این انتقال سبب ایجاد خلا در بخش زیرین دیگ بلاست می‌شود. مواد ساینده مکش می‌شوند و مخلوط هوا و ماسه با فشار و سرعتی بیش از ۸۰۰ کیلومتر در ساعت به سمت سطوح قطعه پرتاب می‌شوند.

جدول ۱: درصد وزنی عناصر مسبار.

Table 1: The percentage of weight elements of copper slag.

Row	Element	Weight percent
1	Si	8.13
2	Cu	0.55
3	Fe	43.6
4	Fb	0.07

جدول ۲: دانه بندی اندازه ساینده مسبار.

Table 2: Copper Slag size grading .

Test result (%)	acceptable range	Particle size
14.18	10% (maximum)	Size more than 2 mm
51.8	85% (maximum)	Size (0.5~2 mm)
35.1	85% (maximum)	Below size (0.5 mm)

جدول ۳: درصد وزنی عناصر ساچمه فولادی.

Table 3: The percentage of weight elements of steel ball.

Row	Element	Weight percent
1	Si	0.04
2	Mn	0.8
3	Fe	4.56
4	c	0.9

جدول ۴: مشخصات کمپرسور هوا.

Table 4: Air compressor specifications.

Manufacturer	COMPAIR
Engine type	CAT 3306
Aeration volume	25 m ³ /min (900CFM)
Output pressure value	10 bar
Engine power	۳۰۰ horse power (224 KW)
fuel type	gas oil

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

۲-۱-۱- مسبار

مسبارها در انواع مختلف وجود دارد که هر کدام کاربردهای متفاوتی دارد که با کیفیت ترین آنها مسبار مات و مسبار براق است. در این آزمایش از مسبار براق و اندازه ۰/۵ الی ۲ mm استفاده شده است که مشخصات مسبار بصورت جدول ۱ می‌باشد. درصد وزنی عناصر موجود در نمونه مسبار ارسالی به آزمایشگاه در جدول ۱ شرح داده شده است.

آزمون دانه بندی نمونه ارسالی به آزمایشگاه نیز مطابق جدول ۲ می‌باشد. برای تعیین دانه بندی از الک‌های ASTM E 11 استفاده شده است که مطابق با جدول ۲ برای انجام ساینده مسبار در این آزمایش از مسبار اندازه ۰/۵-۲ mm استفاده شده است.

۲-۱-۲- ساچمه فولادی

ویژگی مهمی که در انتخاب ساچمه در ساچمه زنی باید به آن توجه کرد آن است که دارای خواص مکانیکی خوبی باشد. ساچمه‌های فولادی کربن بالا در صنعت بسیار پر کاربردتر هستند که در این آزمایش از ساچمه فولادی با اندازه ۱/۴ الی ۲ mm استفاده شده است.

درصد وزنی عناصر موجود در نمونه ساچمه فولادی ارسالی به آزمایشگاه در جدول ۳ شرح داده شده است.

۲-۲- مشخصات ابزار و دستگاه

۱- کمپرسور: مشخصات کمپرسور استفاده شده در این آزمایش مطابق جدول ۴ می‌باشد.

۲- الکومتر مدل 224B: این دستگاه جهت تشخیص زبری سطح می‌باشد و محدوده آن صفر تا ۵۰۰ میکرومتر می‌باشد.

۳- کیت الکومتر 138: جهت تشخیص نمک سطح فلز مورد استفاده قرار گرفت.

۴- دیگ مسبار: مخزن ساینده مسبار می‌باشد که در این آزمایش ظرفیت آن ۲۲۰ کیلوگرم بود.

۵- نازل: جهت اجرای عملیات ساینده مسبار استفاده می‌شود (از دهانه نازل ماده ساینده با فشار هوای بالا به سطح قطعه پرتاب می‌شود) در این آزمایش از دهانه نازل به اندازه ۶ cm استفاده شد.

۶- شیلنگ ساینده مسبار: این قطعه رابط بین مخزن ساینده مسبار و نازل می‌باشد. شیلنگ باید به صورت ضد سایش بوده و اندازه آن در این آزمایش ۱۱/۴ اینچ بود.

۷- کراس کات^۱: از این وسیله جهت تست چسبندگی رنگ استفاده گردید.

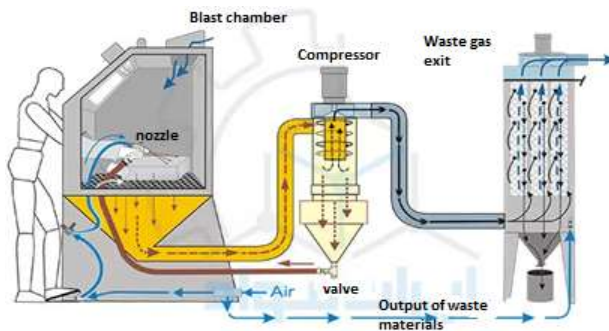
۲-۳- نحوه عملکرد ساینده مسبار

هوای فشرده از اهمیت زیادی برخوردار است بطوری که کیفیت ساینده

³ Cross Cut

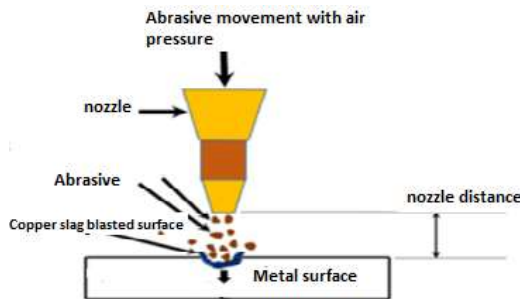
¹ Elcometer

² Elcometer Kit



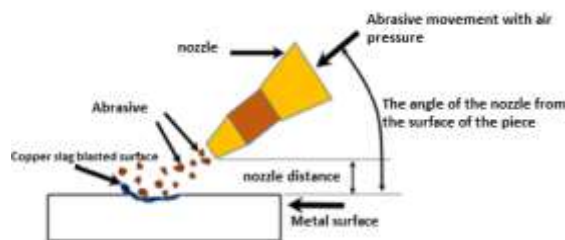
شکل ۲: طرحواره فرایند اجرای بلاست (۱۰).

Figure 2: Schematic of the blasting process execution (10).



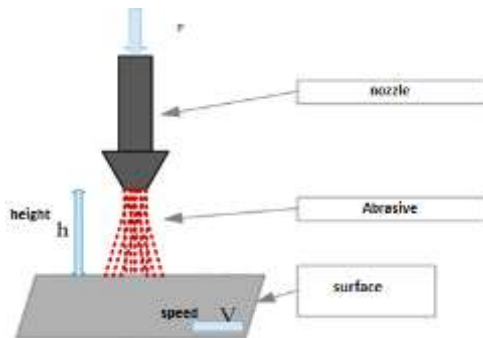
شکل ۳: زاویه ۹۰ درجه نازل بر سطح قطعه.

Figure 3: 90-degree angle of the nozzle to the surface of the piece.



شکل ۴: زاویه ۶۰ درجه نازل بر سطح قطعه.

Figure 4: 60-degree angle of the nozzle to the surface of the piece.



شکل ۵: عوامل مهم در ساینده مسباره.

Figure 5: Important parameters in the copper slag blast.

فشار هوا عامل بسیار مهمی برای تمیزکاری سطوح با گریت بلاست

است (۱۱)

در این آزمایش به بررسی عوامل مهم در فرایند ساینده پرداخته شد و سپس این عوامل اندازه‌گیری شده بر روی یک صفحه فلزی مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه این آزمایش را با ساچمه فولادی که یک فرایند خودکار بود مقایسه شد و در انتها معایب و مزایای ساینده مسباره با ساچمه‌زنی مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

همان‌طور که گفته شد فرایند آماده‌سازی سطح شامل تمیزکاری سطح و ایجاد پوشش‌های سطح می‌باشد که برای رسیدن به این هدف باید عوامل مهم بصورت صحیح اجرا گردد که در این مقاله عوامل مهم در فرایند ساینده مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت.

۳-۱- زاویه نازل

یکی از عوامل مهم در ساینده مسباره که شاید کمتر کسی به آن توجه کند زاویه نازل با سطح قطعه است. زاویه نازل می‌تواند یکی از عواملی باشد که اگر درست انتخاب شود، بازده ساینده مسباره را به شدت بالا می‌برد. مثلاً در شکل ۳ اگر زاویه نازل ۹۰ درجه انتخاب گردد، ممکن است باعث آسیب به فلزاتی که ضخامت آنها کمتر است شود و حتی ممکن است فلز پاره شود. زاویه ۹۰ درجه (شکل ۳) به دلیل عمود فرود آمدن مسباره، در اکثر مواقع مسبارها به داخل سطح فلزات نفوذ کرده و برای کاربر سختی زیادی را به همراه دارد زیرا برای تمیزکاری سطح بهتر باید تمامی این مسبارها از فلز بیرون آورده شوند. حال اگر زاویه نازل ۴۵ درجه در نظر گرفته شود (شکل ۴) مشاهده می‌گردد که مشکلاتی که در زاویه ۹۰ درجه بود به حداقل رسیده است ولی بازده به شدت پایین می‌آید. بنابراین زاویه نازل عددی بین ۴۵ تا ۹۰ انتخاب شد (مثلاً ۶۰ تا ۷۵ درجه)، حال با رعایت این موضوع مشاهده شد مسباره به نسبت خیلی خیلی کمی به داخل فلز نفوذ کرده و بازده آن نسبت به دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه بهتر است.

۳-۲- فشار هوا در ساینده مسباره

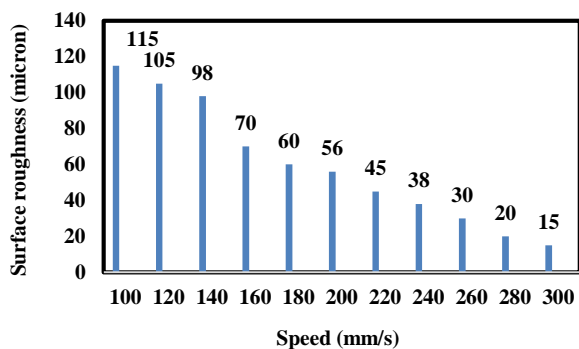
فشار هوا تولید شده که از کمپرسور به سطح فلز برخورد می‌کند یکی از عوامل مهمی است که باید همیشه در نظر گرفته شود (در شکل ۵ با حرف p نمایش داده شده است). از طرفی فاصله نازل از سطح قطعه (h) نیز یکی از عوامل مهم در آماده‌سازی سطح فلزات در عملیات ساینده مسباره است.

فشار هوای مورد استفاده در این آزمایش ۴، ۵ و ۶ bar انتخاب شده است و هر کدام با فاصله‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ mm مورد بررسی قرار گرفت و زبری سطح چندبار با دستگاه زبری‌سنج اندازه‌گیری گردید و میانگین داده‌ها به صورت شکل ۶ رسم شد.

پوشش سطوح، به وسیله بسته نمک‌سنگ یا بسته میزان نمک سطح در چند نقطه اندازه‌گیری شد. میانگین میزان نمک بدست‌آمده در سطح آماده‌سازی شده با ساینده مسباره 11 mg/m^2 و میزان نمک در سطح ساچمه‌زنی شده $8/8 \text{ mg/m}^2$ به دست آمد.

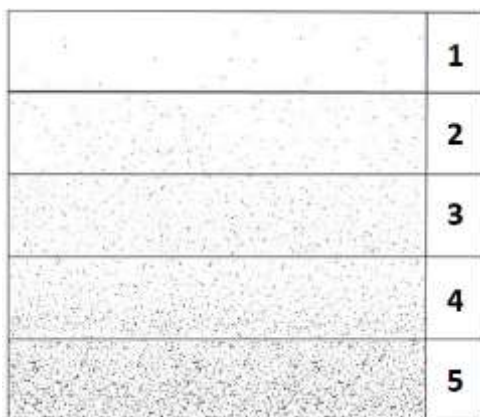
۳-۵- ارزیابی گردوغبار روی سطح قبل از رنگ آمیزی (ISO 8502-3)

یک چسب به پهنای 25 mm و طول 150 mm بر روی سطح چسبانده و با انگشت یا یک گلتک روی چسب مالش داده شد تا به خوبی بر روی سطح بچسبد. سپس چسب از روی سطح جدا گردید و بر روی یک برگه کاغذ یا شیشه چسبانده شد و مقدار و ابعاد ذرات چسبیده به چسب طبق استاندارد ISO 8502-3 از 0 تا 5 مطابق شکل ۸ ارزیابی گردید (۱۳). با توجه به شکل ۹ مشخص می‌شود گردوغبار موجود بر روی سطح ساچمه‌زنی شده و ساینده مسباره تقریباً با هم برابر هستند.



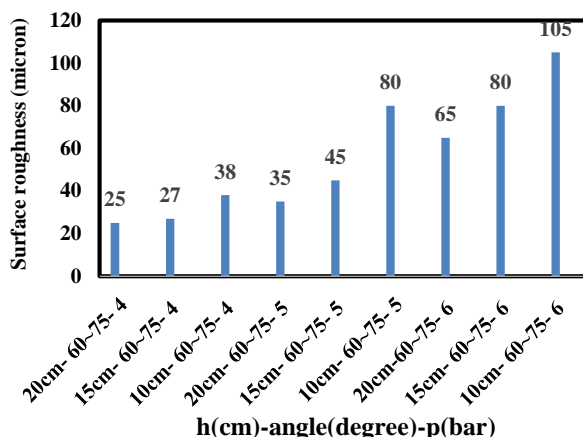
شکل ۷: نمودار مقایسه سرعت دست کاربر.

Figure 7: Operator's hand speed comparison chart.



شکل ۸: مقیاس اندازه‌گیری گرد و غبار با استفاده از استاندارد ISO8502-3 (۱۳).

Figure 8: Evaluation of dust measurement using ISO8502-3 standard (13).



شکل ۶: مقایسه فشار و فاصله نازل از قطعه با زاویه 60 درجه.

Figure 6: Comparison chart of pressure and nozzle distance from the piece with a 60 -degree angle

مطابق با استاندارد BS 7079 PT C (۱۲) بهترین زبری سطح $30-75$ میکرون است که با توجه به شکل ۶ تقریباً می‌توان گفت بهترین زبری سطح را در فشار 5 bar ، فاصله 15 cm نازل و زاویه $75-60$ درجه است که زبری سطح آن 45 میکرون است و درجه تمیزکاری در این آزمایش $2/5 \text{ Sa}$ بود.

۳-۳- سرعت حرکت نازل (سرعت دست کاربر)

برای فشار 5 bar ، فاصله 15 cm نازل و زاویه $75-60$ درجه سرعت حرکت کاربر در بهترین حالت مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا سرعت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

در رابطه ۱، \bar{v} ، Δx و Δt به ترتیب سرعت متوسط، جابه‌جایی و تغییرات زمانی می‌باشد.

سپس بهترین حالت فشار، فاصله و زاویه مورد نظر برای سرعت‌های متفاوت بررسی شد و با استفاده از استاندارد BS 7079 PT C (۱۲) که بهترین حالت زبری سطح را $30-75$ میکرون بیان کرده است، بهترین سرعت ممکن نیز به دست آمد. حال با توجه به نتایج شکل ۷ می‌توان گفت بهترین سرعت حرکت دست کاربر باید بین 180 تا 200 mm/s باشد.

۳-۴- آزمون میدانی کنترل نمک‌های فلزی محلول در آب (ISO 8502-1)

پس از انجام تمیزکاری و انتخاب متغیرهای فوق احتمال وجود نمک‌های حاصل از فرایند خوردگی پس از زنگ زدایی سطح با مواد ساینده حتی تا درجه $2/5 \text{ Sa}$ روی سطح وجود دارد. این گونه نمک‌ها معمولاً سولفات و کلرید آهن می‌باشند. برای اطمینان یافتن از کیفیت

¹ Roughness

جدول ۵: میانگین مقدار سختی با مقیاس ویکرز برای قطعه آماده شده با ساینده مسباره.

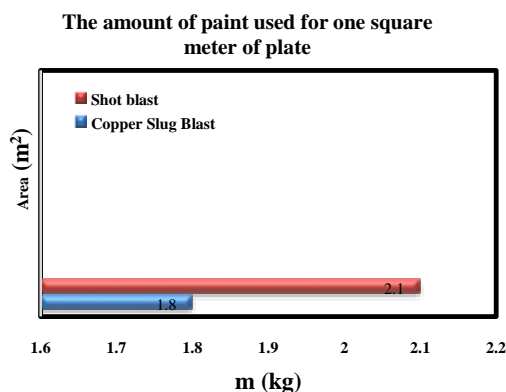
Table 5: Average hardness value on the Vickers scale for the copper slag blasted piece.

Average hardness value with Vickers scale	
Before the copper slag blast(v)	After the copper slag blast(v)
190	195

جدول ۶: میانگین مقدار سختی با مقیاس ویکرز برای قطعه ساچمه‌زنی شده.

Table 6: Average hardness value on the Vickers scale for the shot-blasted piece.

Average hardness value with Vickers scale	
Before the shot blast (v)	After the shot blast(v)
187	240



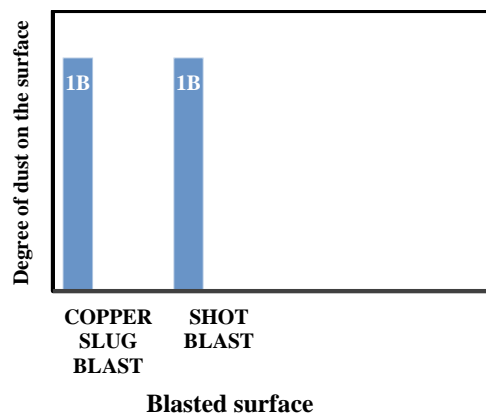
شکل ۱۰: مقایسه مقدار رنگ مصرفی برای یک متر مربع صفحه A105.

Figure 10: Comparison of the amount of paint used for one square meter of A105 plate.

۳-۸- آزمایش چسبندگی رنگ در دو سطح ساینده مسباره و ساچمه‌زنی شده

همان‌طور که در آزمایش قبل گفته شد رنگ آستر زینک‌ریچ به میزان ۷۵ میکرون به قطعه اعمال و سپس چسبندگی دو سطح بررسی شد. کراس‌کات برای اندازه‌گیری میزان چسبندگی فیلم رنگ و پوشش روی سطوح فلزی بکار می‌رود. ابتدا به کمک وسیله برش دهنده مخصوص (کراس‌کات) سطح قطعه مطابق شکل ۱۱ برش داده شد.

سپس یک تکه چسب نواری به طول ۷۵ mm در محل تقاطع قرار گرفت و دو طرف آن به سمت زاویه کوچکتر تقاطع چسبانده شد و با پاک کن انتهای مداد روی آن مالش داده شد تا کاملاً به سطح بچسبد. سپس بعد از گذشت ۹۰ s، چسب سریع از روی سطح جدا گردید و مشاهدات با مشخصات استاندارد ASTM D3359 (۱۴) مقایسه شد (جدول ۷). آزمایش فوق دو بار انجام گرفت. اگر آزمایش دوبار تکرار شود



شکل ۹: نمودار آزمون گرد و غبار مطابق استاندارد ISO8502-3.

Figure 9: Dust test chart according to ISO8502-3 standard.

۳-۶- اندازه‌گیری سختی در دو سطح ساینده مسباره و ساچمه‌زنی

هر دو قطعه قبل و بعد از اجرای ساینده مسباره و ساچمه‌زنی سختی سنجی شدند و میانگین اعداد اندازه‌گیری شده مطابق جدول ۵ و ۶ بدست آمد. مشاهده شد مقدار سختی در سطح ساچمه‌زنی شده پس از اجرای تمیزکاری به مراتب بیشتر می‌شود. این مورد در صنعت اهمیت بسیار بالایی دارد و برای قطعات حساس باید این موضوع حتماً رعایت شود.

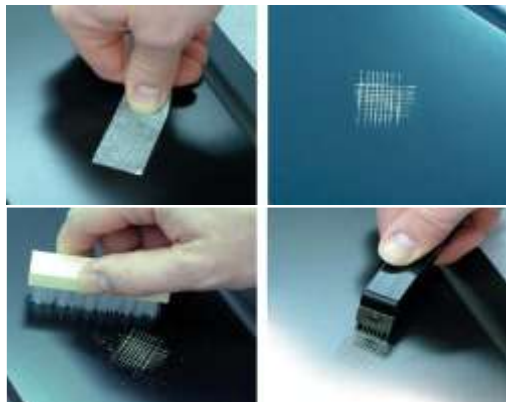
۳-۷- مقدار رنگ مصرفی در سطح ساینده مسباره و ساچمه‌زنی شده

یکی از مهم‌ترین مسائلی که در صنعت در مورد سطح پرداخت مناسب بسیار مهم است این است که سطح پرداخت شده چه مقدار رنگ جهت رسیدن به میکرون مدنظر نیاز دارد که در اینجا مقدار رنگ مصرفی در دو سطح ساینده مسباره و ساچمه‌زنی شده اندازه‌گیری شد.

در این آزمایش از دو صفحه به مساحت یک مترمربع استفاده شد و سطح هر دو تا ضخامت ۷۵ میکرون رنگ آمیزی گردید. سپس میزان رنگ مصرفی در هر دو سطح اندازه‌گیری شد.

همان‌طور که از نمودار شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، در فرایند ساینده مسباره برای رنگ‌آمیزی یک مترمربع مقدار ۱/۸ کیلوگرم رنگ زینک‌ریچ استفاده شد ولی در ساچمه‌زنی برای رنگ‌آمیزی یک مترمربع مقدار ۲/۱ کیلوگرم رنگ زینک‌ریچ استفاده شده است. نتیجه آزمایش این بود که مقدار رنگ مصرفی در فرایند ساینده مسباره به مراتب کمتر از ساچمه‌زنی است و این بیشتر به خاطر سطح پرداخت توسط ساینده متفاوت است چون ساچمه‌زنی به دلیل کروی بودن زبری سطح مقدار رنگ بیشتری نیاز دارد.

شد. مطابق با شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که آماده‌شده با ساینده مسباره چسبندگی بهتری نسبت به سطح ساچمه‌زنی شده دارد.



شکل ۱۱: نحوه اجرای برش با کراس کات.

Figure 11: How to perform a cross-cut test.

اختلاف باید کمتر از یک درجه باشد. حال پس از انجام آزمایش، نوار با شکل ۱۲ که جدول موجود در استاندارد ASTM D3359 (۱۴) می‌باشد تطبیق داده شد.

با مشاهده ظاهری نوار که از دو سطح ساینده مسباره (شکل ۱۲) و ساچمه‌زنی شده (شکل ۱۳) و همچنین به کمک جدول ۷ که جدول موجود در استاندارد ASTM D3359 (۱۴) می‌باشد نتیجه آزمون چسبندگی رنگ بدست آمد.

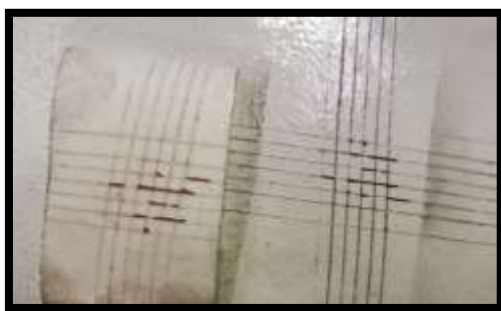
۳-۹- نتیجه آزمایش چسبندگی رنگ

با مقایسه شکل ۱۲ با جدول استاندارد مربوط به آزمون چسبندگی رنگ (جدول ۷) مشاهده شد که در آن جدایش ۰ (صفر) و جواب آزمون ۵B است. ولی با مقایسه شکل ۱۳ با جدول استاندارد مربوط به آزمون چسبندگی رنگ (جدول ۷) مشاهده شد جدایش کمی (کمتر از ۵ درصد) ایجاد شده و جواب آزمون ۴B می‌باشد. با توجه به آزمایش انجام شده و گزارش به دست آمده نمودار آزمون چسبندگی به صورت شکل ۱۴ رسم

جدول ۷: مقیاس آزمون چسبندگی مطابق با استاندارد ASTM D3359 (۱۴).

Table 7: Adhesion test scale according to ASTM D3359 standard (14).

Surface appearance in cross-cut test	Cross-cut test (ASTM D3359)
	Less than 0% separation
	Less than 5% separation
	5-15% separation
	15-35% separation
	35-65% separation
	More than 65% separation



شکل ۱۳: آزمون چسبندگی (سطح ساچمه‌زنی شده).
Figure 14: Adhesion test (blasted shot surface).

شکل ۱۴: آزمون چسبندگی در سطح آماده‌سازی شده با ساینده مسباره.
Figure 13: Adhesion test (blasted copper slag surface).

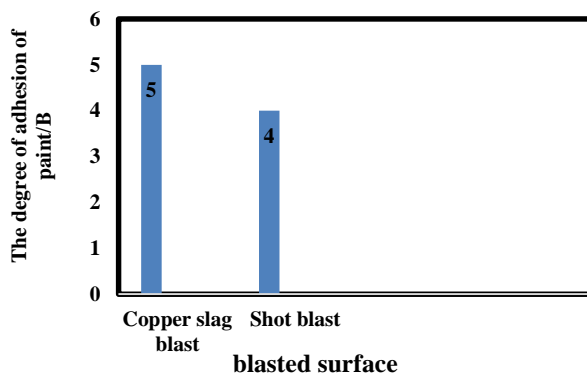
می‌توان تمامی قطعات اعم از صفحه، لوله، شیرآلات و غیره را تمیزکاری نمود.

همان‌طورکه گفته شد هزینه احداث کارگاه ساینده مسباره به مراتب کمتر از کارگاه و تجهیزات ساچمه‌زنی است که این امر خود یکی دیگر از مزایای ساینده مسباره نسبت به ساچمه‌زنی می‌باشد.

۳-۱۰- مدت زمان اجرای ساینده مسباره و ساچمه‌زنی

در این قسمت مدت زمان اجرای ساینده مسباره و ساچمه‌زنی، بررسی و اندازه‌گیری شد. در حقیقت پی بردن به این موضوع که کدام یک در صنعت سرعت اجرای کار را بالاتر می‌برد اهمیت بالایی دارد. در اینجا دو پلیت از جنس A105 به چهار قسمت مساوی تقسیم شد و مدت زمان اجرای ساینده مسباره و ساچمه‌زنی برای هر مترمربع اندازه‌گیری شد. با توجه به آمار به دست آمده نمودار شکل ۱۵ رسم شد.

در این آزمایش هردو سطح توسط یک کاربر سوئیچ شد و همان‌طورکه در نمودار شکل ۱۵ مشاهده می‌کنید مدت زمان اجرایی تمیزکاری ساینده مسباره به نسبت ساچمه‌زنی در هر مترمربع بیشتر می‌شود. بنابراین این یکی دیگر از مزایای مهم ساینده مسباره در صنعت است که می‌توان به خوبی از آن استفاده کرد.

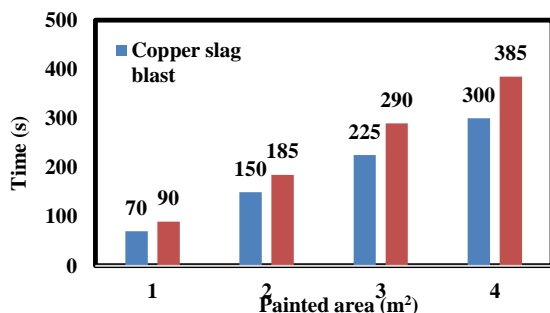


شکل ۱۴: نمودار آزمون چسبندگی رنگ.
Figure 14: Paint adhesion test chart.

۳-۱۱- هزینه تجهیزات کارگاه ساینده مسباره و ساچمه‌زنی

برای احداث کارگاه ساینده مسباره با توجه به جدول ۸ به صورت دقیق قیمت تجهیزات بررسی شد. از این رو می‌توان گفت برای ایجاد کارگاه ساینده مسباره قیمت تجهیزات بین ۱۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ دلار می‌باشد.

از سوی دیگر تجهیزات کارگاه ساچمه‌زنی به صورت کامل به هم متصل هستند و برای احداث کارگاه ساچمه‌زنی برای هر قطعه باید یک کارگاه ساچمه‌زنی جداگانه احداث گردد. مثلاً برای احداث کارگاه صفحه لمبغی بین ۳۳۳۳۳/۳۳ دلار الی ۴۱۶۶۶/۶۶ نیاز است که تنها در این کارگاه می‌توان قطعات پلیت را تمیزکاری کرد و برای تمیزکاری دیگر قطعات مثلاً لوله و شیرآلات و غیره باید کارگاه دیگری احداث نمود. در صورتی که در ساینده مسباره به این شکل نیست و با خرید تجهیزاتی که گفته شد



شکل ۱۵: نمودار مدت زمان اجرای ساینده مسباره و ساچمه‌زنی.
Figure 15: copper slag Blast and shot blast duration chart.

¹ Plate

۴- نتیجه‌گیری

در ساینده مسبار در فشار هوای ۵ bar، فاصله نازل ۱۵ cm و زاویه ۶۰-۷۵ درجه، که مسبار به سطح قطعه پرتاب می‌شود، نتیجه به مراتب بهتری حاصل می‌شود و حتی می‌توان گفت در این حالت کیفیت تمیزکاری سطح و رنگ‌آمیزی بهتری نسبت به ساچمه‌زنی که به وسیله دستگاه خودکار عمل تمیزکاری انجام می‌شود، ایجاد خواهد شد. مطابق آزمایش‌های انجام شده سطح آماده‌سازی شده با ساینده مسبار چسبندگی رنگ بسیار بالایی دارد که این خود یکی از عوامل مهم استفاده از ساینده مسبار در صنعت و پروژه‌ها می‌باشد.

سطح آماده‌شده با ساینده مسبار را از نظر گرد و غبار، زبری و میزان نمک مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفت و نتیجه آن این بود که در صورت رعایت عوامل مهم ساینده مسبار، تمیزکاری سطح، به مراتب بهتر از ساچمه‌زنی می‌باشد. در رابطه با زبری باید گفت به دلیل اینکه ساینده ساچمه‌زنی سطح کروی شکلی را روی قطعه ایجاد می‌کنند میزان استفاده از رنگ نیز بیشتر می‌شود. از طرفی باید گفت زبری سطح بستگی به ضخامت سیستم رنگ‌آمیزی دارد و چنانچه زبری بیشتر از ضخامت رنگ باشد ممکن است باعث ایجاد عیوب سطحی شود.

یکی از موارد مهم در این آزمایش سختی‌سنجی دو قطعه بود که مشاهده شد میزان سختی در ساینده مسبار به مراتب بالا می‌رود که این امر باعث ایجاد عیوب در قطعات حساس می‌شود.

یکی دیگر از مزایای ساینده مسبار پایین بودن قیمت ساینده‌های آن نسبت به ساینده‌های ساچمه‌زنی است. همچنین ساینده مسبار از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه بوده و سادگی و سرعت اجرای ساینده مسبار و سازگاری آن با محیط به مراتب بهتر از ساچمه‌زنی می‌باشد.

تقدیر و تشکر

نگارندگان از جناب آقای مهندس حسن یوسف‌پور، سرکار خانم دکتر زهرا دست‌باز و جناب آقای مهندس الهیار یک کلام تقدیر و تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

جدول ۸: برآورد هزینه تجهیزات ساینده مسبار.

Table 8: Estimating the cost of copper slag Blast blast equipment.

Estimating the cost of copper slag Blast blast equipment			
Row	Equipment	The lowest price (\$)	The highest price(\$)
1	Copper slag blast tank	66.216	500
2	Diesel compressor	10000	13333.33
3	Air compressor	500	583.33
4	Material hose	400	483.33
5	Air hose	333.33	416.66
6	Copper slag Blast Hat	6.66	8.33
7	Copperslag blast nozzle	66.66	100
8	Copperslag blast rubber	6.66	7.5
9	Breathing mask	666.66	833.33
total price		12196.63	16268.81

۳-۱۲- برآورد هزینه ساینده مصرفی برای ساینده مسبار و ساچمه‌زنی

در این مرحله قیمت ساینده‌های مورد نیاز جهت عملیات ساینده مسبار و ساچمه‌زنی بررسی شد. مطابق با آمار و داده‌های به دست آمده (جدول ۹) می‌توان گفت یکی دیگر از دلایلی که از ساینده مسبار بیشتر از ساچمه‌زنی در صنعت استفاده می‌شود قیمت بسیار کم ساینده‌های مسبار است. با توجه به تحقیق در بازار این نتیجه حاصل می‌شود که قیمت ساینده‌های ساچمه‌زنی تقریباً ۸۰ درصد بیشتر از ساینده‌های مورد استفاده در مسبار است.

جدول ۹: برآورد هزینه ساینده مسبار و ساچمه‌زنی.

Table 9: Estimating the cost of copper slag blast and shot blast abrasives.

Estimating the cost of copper slag blast and shot blast abrasives				
Row	Abrasive	Unit	Size (mm)	Price (\$)
1	Copper slag	Kg	0.5~2	0.0321
2	Metal bullet	Kg	1.4~2	0.3333

۵- مراجع

1. Momber A. Blast cleaning technology. Springer Science & Business Media; 2007.
2. Smil, V. Oxford University Press US. 2005, p. 211. ISBN 978-0-19-516874-7.

3. Rudawska A, Danczak I, Müller M, Valasek P. The effect of sandblasting on surface properties for adhesion. *Int J Adhes Adhes*. 2016;20:176-190. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.06.010>.
4. Afzali MR. *Mechanical Engineering Culture, English-Persian*, Tehran: Contemporary Culture, 2006 [In Persian].
5. Spur G, Uhlmann E, Elbing F. Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application. *Wear*. 1999;233-235:402-411. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00204-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00204-5).
6. Liebman AJ. Surface Preparation Values and Sandblasting Economics. *Corros*. 1950;6(5):151-157. <https://doi.org/10.5006/0010-9312-6.5.151>.
7. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-410. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. Fourth Printing, June 1994.
8. Tajdari M, Baharondi HR, Muradkhani A. Numerical and experimental investigation of residual stress and fatigue strength of CK35 steel in the shot peening process, simulation and analysis of new technologies in mechanical engineering, *Solid Mechanics Engineering*. 2013;1(11):19-29 [In Persian].
9. Ho BJ, Tsoi JK, Liu D, Lung CY, Wong HM, Matinlinna JP. Effects of sandblasting distance and angles on resin cement bonding to zirconia and titanium. *Int J Adhes Adhes*. 2015;62(1):25-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh>.
10. Iran-mavad. <https://iran-mavad.com/?p=49199>.
11. Khan AA, Al Kheraif AA, Alhijji SM, Matinlinna JP. Effect of grit-blasting air pressure on adhesion strength of resin to titanium. *Int J Adhes Adhes*. 2016;65(1):41-6. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.11.003>.
12. BS 7079:2009. General introduction to standards for preparation of steel substrates before application of paints and related products.
13. ISO 8502-3:2017. Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Tests for the assessment of surface cleanliness. International Organization for Standardization (ISO 8502-3):2017.
14. ASTM D3359 Testing. Applied Technical Services conducts ASTM D3359 testing to measure the adhesion of film coatings on metallic substrates. American Society for Testing and Materials (ASTM D3359), 2025.

How to cite this article:

Rahimian A, Forouhandeh F, Parvaneh V. Analysis of Important Parameters in Blasting process and Strategic Comparison with Other Surface Preparation Methods in order to Improve Painting Quality. *J Stud Color World*. 2025;15(2):137-147. <https://doi.org/10.30509/jscw.2025.167375.1205> [In Persian].