دوره ۱. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۴۰۲. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

علمی

آسیب‌شناسی فناوری کوره‌های شیشه در کارخانه‌های معاصر حومه تهران

آرزو خانپور[1*]

[1] استادیار، دانشکده هنرهای صناعی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران.

10.22080/HPAI.2024.26648.1004

تاریخ دریافت:
۷ بهمن ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش:
۳۰ بهمن ۱۴۰۲
تاریخ انتشار:
۱۰ اسفند ۱۴۰۲

چکیده

کارخانه‌های دمیدن شیشه امروزه به صورت کارخانه‌هایی در حومه تهران و شهرهای بزرگ فعال بوده و همچنان مانند دوران پس از انقلاب صنعتی با تغییرات اندکی به فعالیت خود ادامه می‌دهند. فناوری ساخت شیشه در این کارخانه‌ها تغییرات زیادی در زمان نداشته و همین امر می‌تواند در حیات و بقای این هنر در آینده مؤثر باشد. در فرآیند ساخت آثار به شیوه دمیدن شیشه، کوره‌های متفاوتی مورد کاربرد شیشه‌گر قرار می‌گیرد که لازم است هرکدام از اینان به فراخور ماهیت آن در ساعاتی از روز یا به صورت مداوم روشن باشد. این پژوهش با هدف مطالعه و بررسی وضعیت کوره‌های دمیدن شیشه در کارخانه‌های معاصر تهران، درصدد پاسخ بدین پرسش است که انواع کوره‌های مورد استفاده در کارخانه‌های دمیدن شیشه کدامند و چه مشکلات و معایبی در اینان موجب مشکلات اقتصادی و کیفی در کارخانه‌های شیشه می‌شود؟ از این رو این پژوهش بر اساس هدف، از نوع کاربردی و بر اساس ماهیت و روش از نوع توصیفی-تحلیلی است. روش گردآوری اطلاعات آن به شیوه کتاب‌خانه ای و میدانی صورت گرفته است. با مطالعه و بررسی کارگاه‌های فعال دمیدن شیشه در تهران و تقسیم‌بندی کوره‌های مورد استفاده و آسیب‌شناسی هرکدام، مشخص می‌گردد کوره‌های دمیدن شیشه در حومه تهران همچنان به روش‌های سنتی ساخته و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. کوره در کارگاه دمیدن شیشه به سه نوع کوره ذوب، کوره ذوب مجدد و کوره تنش‌زدایی تقسیم می‌شود. ساختار کوره ذوب به دلیل ارتباط با مواد مذاب دارای حساسیت‌های بیشتری در زمینه طراحی و ساخت بدنه بوده و نیازمند بهره‌گیری از مواد نسوز می‌باشد. این در حالی است که در کشورهای صنعتی کوره‌های ذوب بوته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طراحی سازه کوره ذوب مجدد به سبب کاربری آن با کارخانه‌ها اتلاف بسیار انرژی مواجه هستند که بدین دلیل کارخانه‌ها ساعت فعالیت خود را محدود نموده‌اند. همچنین به جهت عدم رعایت استانداردهای کنترل دما و طراحی سازه و نوع انرژی مصرفی در کوره‌های تنش‌زدایی موجود، کارگاه‌های حومه تهران اغلب موجب زیان‌های مالی بسیاری می‌گردند. با مطالعه سیر رو به رشد تعطیلی کارخانه‌های دمیدن شیشه تهران که همچنان به روش‌های سنتی به طراحی و اجرا و نگهداری کوره‌های شیشه‌گری پرداخته و در تولید محصولات خود از آن بهره می‌برند، به نظر می‌رسد با ارائه و اجرای راهکارهایی نوین در طراحی و ساخت و شیوه‌های نگهداری کوره‌های شیشه‌گری می‌تواند مؤثر و کارآمد باشد.

کلیدواژه ها:
دمیدن شیشه؛ کوره شیشه‌گری؛ کارخانه شیشه‌گری؛ شیشه تهران.

* **نویسنده مسئول:** آرزو خانپور
آدرس: دانشکده هنرهای صناعی، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران
ایمیل: a.khanpour@tabriziau.ac.ir
تلفن: ۰۹۱۲۴۳۸۴۳۶۶

دوره ۱. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۴۰۲. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

۱ مقدمه

شیوه دمیدن شیشه در ایران از هزاره اول قبل از میلاد، همزمان با اختراع میله‌دم در روم باستان، روشی متداول و رایج در هنر ایرانی محسوب می‌شود. قبل از ورود ماشین به زندگی انسان و تلاش برای جایگزینی آن به جای نیروی انسانی، صنایع امروزی به صورت پیشه‌های سنتی در جوامع انسانی جهت پاسخ به نیازهای کاربردی رواج داشته است. شیشه‌گری سنتی از جمله این پیشه‌ها به شمار می‌رود که اغلب در شهرهای بزرگ و تمدن‌های قدرتمند جهت ساخت ظروف کاربردی و مصرفی فعال بوده است. شیوه دمیدن شیشه پس از اختراع میله‌دم، اصیل‌ترین روش تولید شیشه در جهان محسوب می‌گردد. اختراع شیشه به ساکنان اولیه مصر و اختراع میله‌دم به رومیان نسبت داده شده است. مصر، روم و بین-النهرین تنها تمدن‌های تاریخی محسوب می‌شوند که در آن ساخت شیشه رواج داشته است. از جمله مشکلات مطالعه در خصوص تاریخ کوره‌های به‌کاررفته در ساخت شیشه و چگونگی ساخت آثار، فقدان منابع مکتوب و همچنین مستندات باستان‌شناسی معتبر در خصوص کوره‌ها و شیوه‌های ساخت شیشه است. با توجه به فرآیند ساخت کوره‌های شیشه که در مدت زمان اندکی پس از استفاده تخریب و مجدداً ساخته می‌شود، مطالعه و پژوهش را در این خصوص مشکل می‌سازد.

کوره به عنوان عامل اساسی در روند اجرای شیوه دمیدن شیشه نقش اساسی را ایفا می‌کند که می‌توان گفت به مرور زمان تغییرات بسیار اندکی نیز نموده است. کوره‌های ذوب شیشه توسط سوخت-های فسیلی دارای انرژی می‌شوند، اما در دهه اخیر با بهینه‌سازی مصرف انرژی و در نتیجه هزینه‌های بالای آن موجبات رکود و تعطیلی کارخانه‌های شیشه تهران شده است.

این پژوهش با ضرورت ثبت و توصیف وضعیت کنونی کوره‌های موجود در کارخانه‌های شیشه تهران به آسیب‌شناسی اینان پرداخته و در نهایت به ارائه راهکارهای عملیاتی برای کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی اینان می‌پردازد. کاهش مصرف سوخت در این کوره‌ها، هزینه‌های نگهداری را کاهش داده و علاوه بر این استفاده از برخی راهکارها مانند بازیافت شیشه می‌تواند فواید زیست‌محیطی نیز به همراه داشته باشد.

۲ پیشینه پژوهش

در خصوص مستندسازی وضعیت موجود در کارخانه‌های دمیدن شیشه معاصر تهران کمتر پژوهش مستندی صورت گرفته است که بیشتر شامل پایان‌نامه‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد می‌باشد و با توجه به موضوع پژوهش که بررسی وضعیت کنونی شیشه‌گری سنتی می‌باشد، اطلاعات این بخش با تکیه بر تجربیات نگارنده در حوزه هنر شیشه، مشاهده مستقیم و عمیق و تهیه مصاحبه با عوامل کارخانه‌های دمیدن شیشه در تهران صورت گرفته است.

در این حوزه پایان‌نامه دکتری با عنوان «تکوین جریان هنر شیشه معاصر ایران و غرب بر مبنای نظریه ساخت‌یابی آنتونی گیدنز» (خانپور، ۱۳۹۸) به بررسی وضعیت کنونی کارخانه‌های شیشه پرداخته شده است. همچنین مقاله‌ای با عنوان «واکاوی نقش هنرمند طراح در کارخانه‌های شیشه‌گری سنتی ایران بر مبنای نظری ساخت‌یابی گیدنز» (خانپور و همکاران، ۱۳۹۹) به بررسی ساختار داخلی کارخانه‌های شیشه‌گری پرداخته است که در بخش معرفی انواع کوره‌های موجود در کارخانه‌های شیشه می‌توان از آن بهره جست. این پژوهش به بررسی دقیق انواع کوره‌های موجود در کارخانه‌های شیشه و آسیب‌شناسی اینان می‌پردازد که تاکنون بدان پرداخته نشده است. با توجه به مطالعات و مستندات محدود در این حوزه، اغلب اطلاعات این مقاله به شیوه میدانی که پیش‌تر نیز گفته شد، گردآوری شده است.

۳ روش پژوهش

این پژوهش بر اساس هدف از نوع پژوهش‌های کاربردی است که بر اساس ماهیت و روش به شیوه توصیفی-تحلیلی و با استناد به منابع کتاب‌خانه‌ای برای توصیف و تحلیل داده‌های حاصل از مشاهدات مستقیم عمیق و مطالعات میدانی به انجام رسیده است. با توجه به ماهیت موضوع مورد بررسی و تجربیات نگارنده در حوزه شیشه‌گری سنتی، داده‌های پژوهش از طریق مشاهده و مصاحبه اطلاعات گردآوری و تدوین شده است.

۴ شیشه‌گری سنتی ایران و کوره-های آن

در خصوص پیدایش شیشه برای اولین بار روایت‌های مختلفی وجود دارد که اغلب توسط پژوهشگران این حوزه مورد نقد و تردید قرار گرفته است. «شیشه تصادفاً توسط عده‌ای بازرگان فینیقی که شبی را در کنار رود بلاس اُطراق کرده بودند کشف شد و آن بدین طریق بوده است که ایشان جهت تهیه غذای خویش چند قطعه‌سنگ سودا را بر ساحل شنی قرار داده و با برافروختن آتش در میان آن، ظرف غذای خود را بر بالای سنگ مستقر می‌سازند و در صبح روز بعد متوجه می‌شوند که آتش افروخته‌شده به وسیله ایشان باعث ذوب و اختلاط سودا و شن گشته و موجب پیدایش شیشه شده است»

(علی اکبرزاده کرد مهینی،۱۳۶۷: ۱۷). همچنین برخی پیدایش شیشه را با استناد به آثار تاریخی موجود تصادفی می‌دانند و مبدأ پیدایش شیشه را آثار ابتدایی یافته شده از تمدن مصر و بین‌النهرین قلمداد می‌کنند که در همین خصوص قدیمی‌ترین آثار شیشه‌ای به‌دست‌آمده مربوط به تمدن‌های باستانی خاورمیانه است، این آثار به شکل مهره‌های شیشه‌ای مربوط به تمدن مصر و متعلق به ۲۵۰۰-۳۰۰۰ سال پیش از میلاد است (پورحسین، ۱۳۸۹: ۱۳).

حدود ۱۵۰۰ سال بین ساخت اولین شیشه تا زمانی که انسان موفق به دمیدن در آن شد فاصله است، ساختن ظروف شیشه‌ای بدون دمیدن در آن از نگاه انسان امروزی شاید دور از ذهن به نظر برسد، ولی مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده نشان داده است که در طول این ۱۵۰۰ سال روش‌های مختلفی در صنعت شیشه‌گری وجود داشته است.

برای ساختن اولین شیشه‌ها از روش قالب منفی شنی استفاده شده است، این روش اصطلاحاً قالب شنی نامیده می‌شد. ظروف شیشه‌ای که با این روش ساخته می‌شوند معمولاً در حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع دارند، ولی چند نمونه بزرگ‌تر در قبور سلطنتی مصر یافت شده است (علی اکبرزاده کرد مهینی، ۱۳۶۷: ۱۷).

یکی دیگر از ابتدایی‌ترین روش‌های به‌کاربرده شده در ساختن ظروف شیشه‌ای، روش موزاییکی است که در روش مذبور با همکاری دو شیشه‌گر انجام می‌شود. این روش در آسیای باختری در دوران سومری‌ها و هخامنشیان ادامه داشت و شکی نیست که همین صنعتگران بودند که روش مذبور را به هنرمندان شیشه‌گر اسکندریه -حدود قرن ۴ پیش از میلاد- یاد دادند(علی اکبرزاده کرد مهینی، ۱۳۶۷ :۱۸).

اختراع ابزار ساده‌ای مثل میله‌دم موجب شروع تحولات بنیادین در حوزه شیشه گردید. از این رو دمیدن به عنوان یک نوآوری سبب ایجاد تحولی اساسی در شیشه‌گری شد که تا زمان تولید شیشه از طریق ماشین‌های قدرتمند در سال‌های ۱۸۲۰ تا ۱۸۴۰ بی‌نظیر بود با این‌وجود شیوه دمیدن شیشه تا امروز قدیمی‌ترین روش ساخت شیشه توسط دست محسوب می‌شود (غروی، ۱۳۸۹: ۱۲۴). نخستین انقلاب مهم در تکنیک شیشه‌گری اختراع بوری یا میله‌دم بود. به احتمال زیاد، اول در بابل و در نزدیکی‌های ۲۰۰ پیش از میلاد و بعدها در مصر از این وسیله استفاده شده است (مالونی، ۷۴:۱۳۷۹). تنها نمونه‌های لوله‌دمنده آهنی قابل تاریخ‌گذاری، متعلق به حفاری‌های مریدا در اسپانیا و کوماروو در اوکراین است که هر دو به اواخر حکومت رومیان در قرن‌های ۳ و ۴ میلادی نسبت داده می‌شوند (گلدشتاین، ۱۳۸۷: ۲۴).

از زمان اختراع میله‌دم شیشه‌گری در حدود دو هزارسال پیش، شکل کارگاه‌های شیشه‌گری و روش دمیدن در شیشه تغییر چندانی نکرده است. کوره، قلب کارگاه به شمار می‌رود. هزینه بالای پخت و مدت زمان طولانی که برای ذوب‌شیشه در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد لازم است؛ بدان معناست که کوره باید به طور مداوم روز و شب روشن باشد و کار باید در شیفت‌های مختلف ادامه یابد.[1]

در سال ۱۳۸۳ بنا به گزارشی که حسین یاوری ارائه می‌نماید «در تهران حدود ۶۵ کارگاه به ساخت و تولید فرآورده‌های شیشه‌ای اشتغال دارند که ۳۵ کارگاه صرفاً به تولید شیشه‌دست‌ساز و ۳۰ کارگاه به تولید شیشه‌های دستی و پرسی می‌پردازند» (یاوری،۱۳۸۳: ۷۳). تعداد محدودی از کارخانه‌های یادشده همچنان به فعالیت خود در حومه تهران ادامه می‌دهند.

از مهم‌ترین تجهیزات و ضروریات کارگاه‌های شیشه‌گری، کوره است. از کوره جهت ذوب مواد اولیه استفاده می‌شود. کوره‌های ذوب شیشه به دو دسته کلی: کوره‌های حوضچه‌ای و کوره‌های بوته‌ای تقسیم می‌شوند که نوع رایج آن در کارگاه‌های شیشه‌گری معاصر تهران، حوضچه‌ای می‌باشد. علاوه بر کوره ذوب، کوره تو و گرم‌خانه نیز جز ضروریات کارگاه‌های شیشه‌گری محسوب می‌شوند. کوره-های حوضچه‌ای کوره‌هایی هستند که مواد خام شیشه در داخل کوره ریخته می‌شود و دیوارهای آن هم حرارت را حفظ و محدود و هم شیشه را نگهداری می‌کنند. برخی از این کوره‌ها در حجم‌های گوناگونی از تانکی‌هایی که روزانه ۵ تا ۱۰ تن شیشه داخل آن ذوب و پالایش می‌شود گرفته تا تانکی‌هایی با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰ تن برای تولید ورقه‌های شیشه (کارگاه‌های صنعتی) که در ماه بیش از یک میلیون متر مکعب گاز مصرف می‌کنند، وجود دارند. بیشتر این کوره‌ها به طور مداوم کار می‌کنند. به عبارتی، سطح خمیرشیشه موجود در کوره به سبب تغذیه مجدد آن از یک طرف، با سرعتی برابر با سرعت بارگیری آن از طرف دیگر، ثابت می‌ماند.

کوره‌های بوته‌ای در ایران دوره قاجار توسط ناصرالدین شاه وارد ایران می‌شود، اما به دلیل عدم توانمندی ایران در تهیه و ساخت

[1] اطلاعات ارائه شده در این پژوهش بر مبنای تجربیات و مشاهدات نگارندگان مقاله به صورت میدانی گردآوری شده است.

بوته‌های آن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد «خاک بوته که از پاریس به جهت کارخانه بلورسازی خواسته بودند این اوقات رسیده و موسیو بارت، استاد کارخانه مشغول ساختن بوته است» (روزنامه دولت علیه ایران،۱۲۷۹: ش۵۲۷). «کارخانه بلورسازی در حدود سال ۱۲۸۵ هجری قمری در تهران ساخته شد و به معلمی موسیو ولانژ نام بلور بسیار اعلی به عمل آورد؛ ولی بعدها به ملاحظه نقصان مواد لازمه بهم خورد» (جمالزاده،۱۳۷۶:۹۳). «امروزه از کوره‌های بوته‌ای برای تولید شیشه‌های اپتیکی و شیشه‌های کریستالی استفاده می‌شود. کوره تو نیز کوره‌ای کوچک است که از گرمای آن برای حرارت‌دادن محصول در حال ساخت استفاده می‌کنند. پس از تکمیل شیشه فرم‌گرفته نیز آن را در کوره‌ای که مخصوص تاباندن است قرار می‌دهند، این کوره درواقع همان گرم‌خانه است که به‌تدریج سرد می‌شود تا شی ساخته شده دچار تنش و شکستگی نشود» (ترنس مالونی،۱۳۷۹: ۱۱۳و۱۱۴).

در حال حاضر گرمایش این کوره‌ها با انرژی گاز فراهم می‌شود، اما در گذشته این کوره‌ها دارای آتشخانه‌ای بودند که از سطح زمین پایین‌تر بود و چند پله می‌خورد و سوخت آن از بوته‌های خار صحرایی و هیزم تأمین می‌شد. با گذشت زمان به‌تدریج نفت جایگزینی برای هیزم شد که از سوراخ یا کلاف کوره به داخل فرستاده و شعله از میان زنبورک نسبتاً کوچکی که در کف کوره وجود داشت، وارد اتاق پخت می‌شد. (ولف،۱۳۸۸: ۱۵۳).

اولمر[1] دانشمند فرانسوی در گزارشی از کارگاه‌های شیشه‌گری سنتی در مورد کوره‌ها می‌نویسد: «کوره شیشه‌گری از آجر مقاوم در برابر آتش ساخته شده که بسیار پهن و باریک می‌باشد. آتشدان به طور مداوم با بازکردن کلاف تغذیه می‌شد. انحنای شعله‌های آتش از دو طرف توسط بازکردن دودکش یا زنبورک خارج می‌شود. آن کوره ذوب نیست. انبوه مواد به طور هم‌زمان وارد حوضچه‌ای (چال) که دارای بنیان قوی آجری است، گردیده و ذوب می‌شود. آن کوره به هیچ عنوان نباید از پایین خنک گردد که سبب ترکیب شیشه قلیایی و خاک می‌گردد و زیان‌آور است. پنجره (سوراخ دستگاه) اجازه می‌دهد که لوله‌دم (دستگاه) وارد کوره شود.» (floor,2003,26)

وی در توصیف گرم‌خانه‌های تهران می‌نویسد: «نمونه بعدی کوره‌ای است که برای سردکردن آهسته استفاده می‌شود تا حرارت را به آرامی پایین آورده و اجازه می‌دهد دما به آهستگی و نه به یک باره در محصولات کاهش یابد. واضح است که هر نوع کوره نیاز به سوخت زیادی برای ثبات و دمای یکسان در طول روز و شب دارد. مثل همیشه، ورود به این مغازه‌ها برای همگان آزاد است و می‌توانند در ازای پرداخت چند سنت به رئیس شیشه‌گری از گرمای کوره برای گرم‌کردن سوپ و یا هر چیز دیگری استفاده نمایند و این یکی از جالب‌ترین منافع کارگرهاست و کارگران مشغول به ساختن گلدان در حال تماشای تابه‌ها هستند» (floor,2003,26). در آن دوره از هیزم و زغال‌سنگ به عنوان سوخت در کوره‌ها استفاده می‌شده است.

امروزه کارخانه‌های شیشه‌گری سنتی در تهران و حومه آن تمرکز یافته و مشغول فعالیت هستند. این کارخانه‌ها به صورت کارخانه‌های کوچک تولیدی برای برآوردن نیازهای روزمره کاربردی و تزیینی در تولید شیشه فعال می‌باشد.

در این بخش مقاله به توصیف و مستند نمودن کوره‌های کارخانه‌های شیشه‌گری معاصر که با مشاهدات عمیق و مصاحبه از سه کارخانه الوان بلور-کارخانه آقای احد یوسفی-، کارخانه ملکی-نژاد و کارخانه علی‌بابا بختیاری و مشاهده حدود ۱۵ کارخانه دیگر صورت گرفته، پرداخته می‌شود.

کوره در کارخانه‌های شیشه معاصر در سه نوع بر اساس فرآیند ساخت شیشه وجود دارد که در قالب جدول شماره ۱ بررسی و کاربرد هرکدام ارائه شده است. در تصاویر شماره یک تا سه تصویری از کوره‌های نام برده شده در جدول قابل مشاهده است.

[1] دانشمند فرانسوی و مدرس شیمی دارالفنون

دوره ۱. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۴۰۲. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

جدول ۱. انوع کوره در کارخانه‌های شیشه‌گری سنتی حومه تهران (نگارنده)

	عنوان		ویژگی‌ها	توضیحات
کوره‌های کارخانه شیشه‌گری سنتی حومه تهران	انواع کوره	کوره ذوب مخزنی یا حوضچه‌ای	کوره‌ای برای ذوب مواد اولیه (و در برخی موارد خرده شیشه) با دمای ۱۲۵۰ درجه بدنه کوره باید توان مقاومت در برابر تنش‌های مکانیکی، شیمیایی و حرارتی را داشته باشد. کوره باید مداوم و به صورت پیوسته و بدون توقف روشن و در دمای ۱۲۵۰ درجه باشد. از آجرهای نسوز سنتی در بدنه کوره استفاده می‌شود.	اصولاً هر کارخانه شیشه، یک کوره ذوب بی‌رنگ که اصطلاحاً کوره مادر گفته می‌شود، دارد و بسته به رویکرد کارخانه متشکل از دو تا شش کوره رنگی می‌باشد. عمر این کوره‌ها یک الی دو سال است.
		کوره تاباندن	کوره کوچکی که درواقع محفظه‌ای خالی است که در قسمت میانی کارخانه با حرارت ۱۲۵۰ درجه قرار گرفته و از گرمای آن برای حرارت دادن محصول، ذوب مجدد و الحاق تزیینات استفاده می‌شود. این کوره در زمان ساخت محصول شیشه روشن و پس از اتمام کار خاموش می‌شود. مورد استفاده در کارخانه‌هایی با محصول شیشه‌گری دمی آزاد	در کارخانه‌هایی که به روش قالبی محصول خود را تولید می‌کند، این کوره مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.
		گرم‌خانه سنتی	محفظه‌ای اصولاً با آجرهای معمولی با دمای ۵۰۰ درجه که پس از اتمام مراحل ساخت شیشه، محصول نهایی در آن قرار می‌گیرد تا به تدریج سرد شده و مراحل تنش‌زدایی را سپری نماید.	اصولاً ۳تا۵ گرم‌خانه سنتی در هر کارخانه وجود دارد که با تولید محصول، پر شده و سپس با گذاشتن در کوره خاموش و در طی ۲۴ ساعت سرد می‌شود.

شکل ۱. نمایی از کوره ذوب در کارخانه شیشه‌گری تهران (نگارنده)

دوره ۱. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۴۰۲. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

شکل ۲. نمایی از کوره ذوب مجدد شیشه -کوره تو یا تاباندن- در کارخانه شیشه الوان بلور (نگارنده)

شکل ۳. کوره تنش‌زدایی یا گرم‌خانه سنتی (نگارنده)

۵ آسیب‌شناسی کوره‌های شیشه در کارخانه‌های شیشه‌گری تهران[۱]

از جمله مشکلات کوره‌های ذوب شیشه در تهران، مصرف بالای انرژی و به دنبال آن هزینه‌های حاصل از سوخت گاز به‌ویژه در سال‌های اخیر می‌باشد که موجب تعطیلی برخی از این کارگاه‌ها شده است.

شیشه مذاب، ماده‌ای فرساینده است. کوره‌های مخصوص ذوب شیشه را با دیوارها یا لایه‌هایی ضخیم از جنس مواد نسوز اندود می‌کنند که این اندودکردن انرژی گرمایی را به میزان زیادی درون کوره حفظ و موجب کمتر گرم‌شدن هوای درون کارگاه می‌شود. کوره ذوب، مساحت سطحی وسیعی دارد و به حداقل رساندن اتلاف گرما از دیواره کوره، نگرانی اصلی برای بقای انرژی است. اما مواد نسوزی که برای عایق‌بندی به کار می‌روند تحت تأثیر مذاب شیشه فرسوده می‌شود. فرسایش تدریجی این مواد نسوز، از علت‌های ترکیب‌شدن مواد زائد، درون شیشه است. عمر این نسوزها به ماهیت مواد و به نوع شیشه‌ای که در داخل آن ذوب می‌شود بستگی دارد.

[۱] اطلاعات این بخش بر اساس مشاهدات عمیق و تجربیات نگارنده تنظیم شده است.

حال آنکه در کوره‌های کارخانه‌های شیشه‌گری سنتی تهران به دلیل هزینه بالای مواد نسوز، کمتر از مواد نسوز با کیفیت مناسب استفاده می‌شود. برخی از کارخانه‌ها از آجرهای زاک در بدنه و کف کوره‌های ذوب مادر-کوره‌های شیشه بلور که مواد خام مستقیماً در آن ذوب می‌شود و سایز بزرگ‌تری دارد- استفاده می‌کنند که به دلیل ارتباط مستقیم مواد مذاب با بدنه در کوره‌های حوضچه‌ای در مدت یک تا دو سال فرسایش می‌یابد.

بی‌تردید کوره‌های مورد مطالعه به گونه‌ای ساخته شده‌اند که میزان انرژی را تا حدود ۵۰ درصد هدر می‌دهند. به عنوان مثال؛ در کوره‌های ذوب شیشه، محفظه ورودی میله‌دم جهت برداشتن مواد مذاب، محافظ و پوششی ندارد و همواره انرژی گرمایی زیادی را به بیرون هدایت می‌کند. فعال‌بودن شبانه‌روزی کوره ذوب از دیگر اشکالات آن محسوب می‌شود که در برخی از این کارگاه‌ها با چند شیفته‌کردن کارگران تا حدودی سعی شده تا این اتلاف انرژی جبران شود. از جمله موارد دیگر، مشکلات طراحی بدنه و حجم موجود در ساختمان کوره ذوب مجدد شیشه است. این کوره مشعل‌هایی دارد که همواره گرما تولید می‌کند و شیشه‌گر از طریق دریچه‌های موجود روی بدنه این کوره به ذوب مجدد دست ساخته خود اقدام می‌نماید. میزان زیادی از انرژی حرارتی تولید شده توسط کوره از طریق این دریچه‌های اطراف این کوره به بیرون می‌رود. در کارگاه‌های شیشه، کوره ذوب مجدد شیشه در مرکز کارگاه قرار می‌گیرد و شیشه‌گران از دریچه‌های اطراف آن برای گرم‌نمودن مجدد آثار خود استفاده می‌نمایند (شکل ۲). استفاده از آجرهای نسوز و عایق در بدنه کوره و تغییرات در طراحی و ساخت سازه کوره ذوب مجدد، می‌تواند به میزان قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی تأثیرگذار باشد. (مصاحبه شخصی، حسام یوسفی، ۱۴۰۲/۱۰/۱۰)

همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، استفاده از مولدهای انرژی یا همان مشعل‌های دست‌ساز، علاوه بر افزایش ضریب خطر در کارخانه‌های شیشه، موجب عدم کنترل دما می‌گردد. بیشترین مصرف انرژی در کارگاه‌های شیشه‌گری مربوط به کوره‌های ذوب مجدد شیشه می‌باشد که در هنگام احتراق دارای دمای ۱۲۰۰ درجه است (مصاحبه شخصی، علی قاسمی، ۱۴۰۲/۱۰/۱۰)

کوره تنش‌زدایی نیازمند میزان کمتری از انرژی مصرفی کارگاه نسبت به سایر کوره‌ها است؛ اما به دلیل عدم رعایت الگوها و استانداردهای کنترل دما و فشار در فضای کوره و استفاده از روش‌های سنتی برای تشخیص درجه حرارت، کارخانه‌ها همواره در طول سال شاهد شکست و نابودی انبوهی از آثار شیشه‌ای ساخته شده، می‌باشند.

۶ راهکارهای رفع اتلاف انرژی و بهینه‌سازی سوخت و ارتقای کیفی و کمی تولید در کارخانه‌های شیشه

کاربرد وسیع شیشه در صنایع معاصر، موجب ارائه راهکارهایی در جهت کاهش مصرف انرژی در جهت تأمین منابع مالی و اجرای مقررات زیست‌محیطی گردیده است. هزینه‌های بالای انرژی، مقررات زیست‌محیطی و رقابت شدید بین تولیدکنندگان شیشه همواره صنعتگران را به دنبال راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی در کارخانه‌ها وا داشته است. شاید بتوان با مطالعه این راهکارها، از آن‌ها در کارخانه‌های کوچک سنتی نیز استفاده نمود که در ادامه به تعدادی از این راهکارها اشاره می‌شود:

پیش گرمایش هوا: فضای غیراستاندارد کارخانه‌های شیشه‌گری معاصر در حومه تهران همواره دارای درجه حرارتی بیشتر از دمای محیط می‌باشد. حال آنکه با ارائه و به‌کارگیری روش‌های نوین کنترل کیفیت دما می‌توان از انرژی حرارتی کوره‌های روشن برای کنترل دمای محیط کارگاه بهره برد و از هدررفتن انرژی گرمایی جلوگیری نمود و در نتیجه گرمایش کوره‌های تو و گرمخانه با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد. «تنظیم رفتار حرارتی کوره سبب بهبود کارایی آن می‌شود. میزان زیادی از گازهای هدر رفته و هوای حریق از میان محل اتصال دودکش و مولد (مشعل) به بیرون می‌رود. تأثیر و بازده یک کوره به دلیل توزیع نامرتب گاز هدر رفته، کم می‌باشد. کاهش سوخت را می‌توان با بهینه‌سازی مولدها و افزایش دمای هوای از قبل گرم شده به دست آورد(Khoshmanesh, 2007, 1-4). استفاده از حرارت کوره‌ها برای برگشت به چرخه انرژی مورد استفاده در اینان می‌تواند از اصلی‌ترین شیوه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی محسوب شود.

پیش‌گرمایش مواد خام: پیش‌گرم‌کردن مواد اولیه یا شیشه خرده‌های بازیافتی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش مصرف سوخت شود. «این فرآیند، ساده است و از طریق انتقال حرارت بین گازهای داغ اتلافی خروجی از کوره و بچ مواد اولیه سرد ورودی به کوره تشکیل می‌شود. این انتقال به دو روش مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌گیرد. پیش‌گرم‌کردن مواد اولیه علاوه بر کاهش مصرف سوخت کوره، همچنین از شدت جریان جرمی

محصولات احتراقی داخل کوره کاسته و نیز با کاهش درجه حرارت در قسمت تاج کوره به افزایش عمر عملیاتی کوره کمک می‌کند» (عرب،۱۳۸۴: ۲۱). «در حال حاضر هفت سیستم متفاوت پیش-گرم‌کن جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در سطح دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مجموع پیش‌گرم‌کن مواد اولیه درصد خرده‌شیشه موجود در بچ بسیار مهم است، کارخانجات تولید شیشه در صنعت اغلب نیاز دارند که قابلیت تغییر در نسبت خرده‌شیشه را داشته تا احتیاجات مورد نیاز را جهت تعویض نوع محصولات تولیدی برآورده کنند. مطالعات نشان داده، جهت دست‌یابی به یک صرفه‌جویی قابل توجه، خرده‌شیشه باید به حداقل تا دمای ۳۴۰ درجه سانتیگراد و حداکثر تا دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد گرم شود که اگر از این حد تجاوز کند، خرده‌شیشه‌ها شروع به خمیری شدن می‌کنند و در انتقال آن‌ها، ایجاد مشکل می‌شود» (کریمی، ۱۳۸۵: ۱۲-۱).

بهره‌گیری از پیش‌گرمایش مواد اولیه در کارگاه‌های شیشه‌گری سنتی به روش‌های ابتدایی قابلیت اجرا دارد. بدین صورت که با انتقال مواد اولیه در نزدیکی کوره‌های ذوب و کوره ذوب مجدد شیشه، می‌توان از انرژی گرمایی این کوره‌ها برای گرمایش اولیه مواد خام استفاده نمود.

عایق‌بندی کوره‌ها و استفاده از نسوزهای مناسب: شیشه به سبب خاصیت خورندگی، به مرور زمان موجب فرسایش بدنه کوره می‌گردد. یکی از متخصصان این فن، روند ذوب شیشه را به دست آوردن آب خالص از حرارت‌دادن تکه‌ای یخ در ظرفی از جنس شکر تشبیه کرده است. به همین دلیل باید کوره‌ها، تانکی‌ها و کوره-های مخصوص نرم‌کردن شیشه را با دیوارها یا لایه‌هایی ضخیم از جنس مواد نسوز و مخصوصاً مقاوم در برابر فرسایش، اندود کرد. جنس این مواد نسوز از خاک‌رس مرکب و معمولاً حاوی چند نوع مواد معدنی، چه بی‌شکل و چه کریستالی است (ترنس‌مالونی، ۱۳۷۹: ۱۱۳-۱۱۴).

استفاده از آجرهای زاک[1] از اواخر دوره قاجار در ایران متداول می‌گردد. استفاده از آجرهای زاک در کارخانه‌های صنعتی شیشه متداول است که در سه دهه اخیر، برخی از کارگاه‌های شیشه‌گری سنتی اقدام به خریداری آجرهای زاک از کارخانه‌های صنعتی نموده‌اند. حتی در مواردی با خرید آجرهای زاک دست دوم کوره-های بزرگ شیشه و برش و تنظیم ابعاد آن، زاک مورد نیاز شیشه-سازان هنری را با قیمت مناسب و براساس ساخت کوره‌های الگو در اختیار آن‌ها قراردهد.

در کوره‌های پیشرفته ذوب شیشه، عایق‌بندی در سه قسمت محفظه ذوب، سقف و دیواره جانبی کوره انجام می‌گیرد. عایق‌بندی در قسمت پایین محفظه ذوب، دمای ته کوره را بالا می‌برد که این عمل ظرفیت ذوب کوره را بهبود می‌بخشد و منجر به بازدهی بهتری می‌شود. در قسمت سقف از آجرهای نسوز سیلیکاتی استفاده می-شود که دارای حداقل قلیا و اکسید آلومینیوم هستند و عایق‌بندی بهبود یافته را فراهم می‌آورند. در بعضی از کوره‌ها از AZS ناگداز (نوع فیوز شده) در سقف استفاده می‌شود. منظور از AZS ، آجر نسوزهای زیرکونیایی می‌باشد. این آجرها در برابر شک حرارتی و خورندگی مذاب‌ها، به‌ویژه مذاب شیشه بسیار مقاوم هستند. از این آجرها در قسمت مخزن و دیواره‌ها نیز استفاده می‌شود و حتی اتصالات آجرها نیز عایق‌بندی می‌شود که در این کار باید دقت کافی به عمل آید. استفاده از عایق‌هایی که دمای مداوم ۱۲۰۰ درجه را در طولانی مدت تاب بیاورد، نیازمند هزینه‌های کلانی است که هیچ‌کدام از کارخانه‌های شیشه‌گری سنتی تاکنون از آن استفاده ننموده‌اند. توسعه نسوزهای مناسب جهت استفاده در کارخانه‌های شیشه صنعتی متداول می‌باشد، درحالی‌که محصولی در این زمینه در کارخانه‌های شیشه سنتی به جهت هزینه‌های آن استفاده نمی-شود.

بازیافت و استفاده از خرده شیشه: استفاده از شیشه‌های بازیافتی از گذشته در شیشه‌گری سنتی تهران معمول بوده است. «شیشه تهران اغلب از بطری‌های کهنه ساخته می‌شود. با آنکه در زمان ما فکر کاربرد دوباره افزارهای مصرف شده را می‌پسندند ولی از زمان شاردن[2] شیشه ساخته‌شده از شیشه کهنه یا خرده شیشه را نامرغوب شمرده‌اند. یکی از شیشه‌گران می‌گوید: هم سنگ طبیعی معدنی و هم خرده شیشه را امتحان کرده، ولی شیشه کهنه را انعطاف‌پذیرتر و آسان‌تر برای تبدیل به شکل‌های هنری یافته است. با گذشت سالیان، مسأله شکنندگی زودرس شیشه‌های تهران و اصفهان حل شده است. این شکنندگی، نه معلول کاربرد دوباره شیشه کهنه، بلکه ناشی از سردشدن سریع شیشه است» (گلاک،۱۳۵۵: ۱۰۹). اولمر در مورد مواد اولیه و استفاده از شیشه-های بازیافتی می‌نویسد: «مواد اولیه مورد استفاده خاک اسیدی است که از اطراف شهر یافت می‌شود. معادل وزن آن خاک، قلیاب

[1] به دلیل وجود خاک دیرگداز در ساختار آجر نسوز، این نوع آجر قادر به تحمل درجه حرارت نزدیک به ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

[2] سیاح فرانسوی که در اواخر دورهٔ صفویه از ایران بازدید نموده و گزارشی از صنایع سنتی ایران می نویسد.

دوره ۱. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۴۰۲. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

یا کربنات دوسود به آن می‌افزایند. شیشه خورده بطری را نیز به آن می‌افزایند» (floor,2003,26).

مکانیزم استانداردسازی مصرف انرژی در تولید محصولات شیشه‌ای تنها محدود به فرآیند تولید نمی‌شود و در این رابطه لازم است تا کلیه فعالیت‌هایی که به گونه‌ای به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کنند، در نظر گرفته شوند. شیشه ماده‌ای است که برخلاف سایر مواد مورد استفاده در بسته‌بندی محصولات، سازگاری خوبی با محیط زیست دارد. شیشه را می‌توان به صورت نامحدود بازیافت کرد و در چرخه تولید مجدد قرار داد. بازتولید شیشه‌های بازیافتی، مصرف ویژه انرژی را ذوب را تا حد بسیار زیادی کاهش می‌دهد؛ زیرا انرژی مورد نیاز برای انجام واکنش‌های شیمیایی ذوب در دمای بسیار زیاد کوره به صورت بالقوه در شیشه‌های بازیافتی وجود دارد. تدوین برنامه‌ای برای بازیافت شیشه‌های مصرفی و استفاده مجدد از آن چه در چرخه تولید، علاوه بر آنکه یک استراتژی پایدار برای کاهش مصرف انرژی در صنعت شیشه و رعایت استانداردهای وضع-شده در این خصوص به شمارمی‌آید. بازیافت مواداولیه با هر هدفی که صورت پذیرد، مستقیماً بر میزان شیشه خرده‌مصرفی در بچ مواد اولیه و در نتیجه بر مصرف ویژه انرژی تأثیر می‌گذارد. استفاده مقدار زیاد از خرده‌شیشه نیز در انرژی صرفه‌جویی می‌کند (عرب،۱۳۸۴: ۲۳و۲۴). «استفاده عمده از خرده شیشه تولید در کارخانه ممکن است رضایت‌بخش باشد، اما گسترش و ساخت خرده شیشه به میزان انبوه به معنی شکستی بزرگ در تولید است و این مطلوب نیست. خرده شیشه‌های موجود در بازار غالباً با مواد خارجی ترکیب شده‌اند و حفظ کیفیت آن‌ها گران تمام می‌شود. اگر خرده شیشه با کیفیت بالا در مقدار مختصر فراهم باشد، استفاده از آن به بقای انرژی کمک خواهد کرد». (output of a seminar ،۳۶،۱۹۹۳ on energy conservation in glass industry) در کشورهای غربی از مواد اولیه فریت‌شده به عنوان مواد خام استفاده می‌شود. شیشه‌ها در مقیاس صنعتی و کلان ذوب می‌شود و با کنترل کیفیت و استانداردهای لازم به کارگاه‌های شیشه‌گری برای استفاده منتقل می‌گردد. در این روش از انرژی گرمایی کمتری جهت ذوب مجدد شیشه استفاده می‌گردد.

مدیریت انرژی و تغییر در طراحی ساخت کوره‌ها: اگرچه تغییرات فناوری به بقای انرژی کمک می‌کند؛ اما امروزه کشورهای پیشرفته بر این اصل معتقدند که عدم وجود برنامه‌ای جهت مدیریت انرژی، با وجود تمام تلاش‌ها و یافتن راه‌های پیشرفت بازده انرژی، نمی‌تواند اجرایی شوند. تغییرات در رفتار و طرز فکر کارکنان نیز جز اهداف مدیران قرار گرفته است. کارگران در هر سطح باید از مصرف انرژی و اهداف کارگاه برای بهبود بازده انرژی آگاه باشند. برنامه‌های بازده انرژی با بازخوردی مرتب روی رفتار کارکنان از قبیل سیستم پاداش، بهترین نتایج را بر جای گذاشته‌اند. اگرچه این تغییر در رفتار مقدار کمی از انرژی را صرفه‌جویی می‌کند، اما تکرار آن به طور مداوم باعث می‌شود تأثیر بزرگ‌تری نسبت به بهبود فناوری با قیمت گزاف داشته باشد. ایجاد سیستم‌ها و ساختارهای مدیریت رسمی برای اداره انرژی که بر روی بهبود مستمر تمرکز دارد از راهبردهای مهم برای کمک به کارگاه‌ها است تا مصرف انرژی را کنترل کرده و همچنین این تغییر نحوه انرژی کنترل شده به وسیله اجرای یک برنامه مدیریت انرژی سازمان یافته، می‌تواند نقش عمده‌ای در بهبود بازده انرژی داشته باشد. (Worrel, 2008, 23-28) با مدیریت و نظارت صحیح می‌توان به کاهش انرژی در کارخانه‌های شیشه‌گری سنتی معاصر تهران با روش‌هایی ساده و بدون پرداخت هزینه‌های بالا امید داشت.

تغییر و تحول در طراحی سازه کوره‌های شیشه و استفاده از مولدهای انرژی ایمن و پیشرفته می‌تواند در توسعه کمی و کیفی محصولات کارخانه شیشه مؤثر واقع شود (مصاحبه شخصی، علی قاسمی، ۱۴۰۲/۱۰/۱۰)

۷ نتیجه

کارخانه‌های شیشه‌گری با قدمت دیرینه‌ای که دارند، همچنان به فعالیت خود در حومه کلان‌شهر تهران ادامه می‌دهند. این در حالی است که هنوز علاوه بر اینکه از روش‌های سنتی و بومی جهت ساخت محصولات خود بهره می‌گیرند، همچنان از ابزار، تجهیزات و کوره‌هایی با فناوری ابتدایی در این کارخانه‌ها استفاده می‌شود. تعطیلی و رکود کارخانه‌های شیشه‌گری حومه تهران یکی از پیامدهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش هزینه‌های سوخت محسوب می‌شود. با آسیب‌شناسی کوره‌های کارخانه‌های شیشه-گری حومه تهران و مطالعه و بررسی مشکلات اینان می‌توان گفت؛ استفاده از کوره‌های حوضچه‌ای، عدم استفاده از مواد نسوز مناسب در ساخت بدنه کوره‌ها (عایق‌بندی کوره‌ها)، طراحی نامناسب بدنه کوره‌ها، از جمله مواردی است که سبب هدررفتن مقدار زیادی از انرژی می‌شود.

کوره‌های بوته‌ای-کوره‌پات- به کوره‌هایی گفته می‌شود که دارای مخزنی سرامیکی می‌باشد که برای مصارف محدود و کارگاه‌های هنری در جهان به‌کار برده می‌شود. از مزیت‌های بهره-گیری از این کوره، توزین یکسان دما در همه قسمت‌های شیشه مذاب می‌باشد که علاوه بر تأثیر بسیار بر کیفیت محصولات، موجب

دوره ۱. شماره ۲. پاییز و زمستان ۱۴۰۲. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد. در این کوره‌ها، بوته در محفظه‌ای از مواد نسوز قرار می‌گیرد، گرمایش بوته و مواد مذاب، موجب گرمایش ثانویه در اطراف بوته می‌گردد که توسط مواد عایق محافظت می‌شود و مانع از خروج و هدررفتن انرژی گرمایی می‌شود. همچنین در این نوع از کوره‌ها، انرژی صرف ذوب مقدار مشخص و لازم مواد اولیه مورد استفاده کارگاه می‌گردد. درحالی‌که امروزه در کارخانه‌های شیشه تهران، تقریباً بیش از ده برابر از مواد مورد نیاز در یک روز، مذاب شیشه در کوره‌های حوضچه‌ای قراردارد.

در طراحی و ساخت کوره ذوب مجدد، با ارائه تغییراتی در سازه کوره می‌توان به میزان قابل توجهی از انرژی بسیاری که کوره ذوب مجدد مصرف می‌کند، کاهش داد. به طور معمول از چهار مشعل در کوره تو که در مرکز کارگاه قرار دارد، استفاده می‌شود. در صورتی که از کوره‌های تو با یک مشعل و یک دهانه استفاده شود، سریع‌تر از حالت قبلی به دمای مورد نیاز شیشه‌گر می‌رسد.

استفاده از گرم‌خانه برقی علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی مصرفی، می‌تواند در افزایش بازدهی آثار تولیدی تأثیر بسزایی داشته باشد. بهره‌گیری از پیش‌گرمایش مواد اولیه و محیط کارگاه از دیگر روش-های کاهش انرژی در کارخانه‌ها به شمار می‌آید. همچنین استفاده از مواد بازیافتی که در اغلب کارخانه‌های شیشه‌گری معمول است نیز می‌تواند از راهکارهای عملیاتی در این زمینه به شمار رود.

۸ منابع

پورحسین، پریسا. (۱۳۸۹). آسیب‌شناسی کارگاه‌های شیشه‌گری استان آذربایجان شرقی، کارشناسی: ایران، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، هنر اسلامی.

ترنس مالونی، فرانسیس جوزف. (۱۳۶۶). «صنعت شیشه». محمد رمضانی، چاپ دوم، تهران: گوتنبرگ.

جمالزاده، سید محمدعلی. (۱۳۷۶). «گنج شایگان»، تهران: موقوفات دکتر محمود افشار یزدی.

روزنامه دولت علیه ایران، سال ۱۲۷۹ هجری قمری. شماره ۵۲۷.

عرب، قاسم. (۱۳۸۴). «راهکارهای کاهش مصرف انرژی صنعت شیشه»، مجله اقتصاد انرژی، شماره ۷۷ و ۷۸، صفحه ۱۹-۲۶.

غروی‌منجیلی، زهرا. (۱۳۸۹). «چشم‌اندازی بر تاریخ شیشه با توجه به ترجمه کتاب پنج هزار سال شیشه». کارشناسی: ایران، تبریز، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، هنرهای کاربردی، هنر اسلامی.

علی اکبرزاده کرد مهینی، هلن. (۱۳۷۳). شیشه: مجموعه مرز بازرگان. تهران: انتشارات موزه ملی ایران.

کریمی، فریبرز و مجتبی هراتیان. (۱۳۸۵). «روش‌های بازیافت حرارت در کارخانجات شیشه و بلور»، اولین سمینار صنعت شیشه: تهران.

گلاک، جی و کارل پنتون، (۱۳۵۵)، «سیری در صنایع دستی ایران»، تهران: انتشارات بانک ملی ایران.

گلدشتاین، سیدنی ام. (۱۳۸۷). «کارهای شیشه». ترجمه ناصر خلیلی، تهران: کارنگ.

مصاحبه با آقای حسام الدین یوسفی (صاحب کارخانه الوان بلور) ۱۰ دی ماه ۱۴۰۲. تهران. محل کارخانه شیشه.

مصاحبه با آقای علی قاسمی (سرپرست کارخانه الوان بلور) ۱۰ دی ماه ۱۴۰۲. تهران. محل کارخانه شیشه.

ولف، هانس. (۱۳۸۸) «صنایع دستی کهن ایران»، شرکت انتشارات علمی و فرهنگی: تهران.

یاوری، حسین. (۱۳۹۰) «شیشه‌گری‌دستی در ایران». انتشارات سوره مهر: تهران.

Floor, willem. (2003).” traditional craft in qajar iran(1800-1925)” .california : mazda publisher

K. Khoshmanesh, A.Kouzani, S. Nahavandi, A.Abbassi. (2007). Reduction of Fuel Consumption in an Industrial Glass Melting Furnace, Tencon 2007- 2007 IEEE 10 conference.

Output of a Seminar on Energy Conservationin Glass Industry&United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)&Ministry of International Trade and Industry (MITI), Japan،1993 :Thailand Philippines

Worrell, Ernest & Glitsky, Christina& Masanet, Eric& Graus, Wina.)2008). Energy Efficientcy Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry, Ernest Orlando

Lawrence, Berekeley National Laboratory, University of California, Berekely.