Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

Research Paper

Pathology of Glass Furnaces Technology in Con-temporary Factories in Tehran Suburbs

Arezoo Khanpour*[1]

[1] Assistant Professor, Faculty of Industrial Arts, Islamic Art University of Tabriz, Tabriz, Iran.

10.22080/HPAI.2024.26648.1004

Received:
January 10, 2025
Accepted:
March 8, 2025
Available online:
April 14, 2025

Keywords:
Glass blowing, glass furnace, glass factory, Tehran glass

Abstract

Today, glass blowing factories are active as factories in the suburbs of Tehran and big cities, and they continue to operate as they did after the industrial revolution with little changes. The technology of making glass in these factories has not changed much over time and this can be effective in the life and survival of this art in the future. In the process of making glass-blowing works, different glass-making furnaces are used, and it is necessary for each of them to be lit at certain hours of the day or continuously, depending on its nature. This research aims to study and investigate the condition of glass blowing furnaces in modern factories in Tehran and tries to answer the question that what are the types of furnaces used in glass blowing factories and what are the problems and disadvantages in them that cause economic and quality problems. Is it made in glass factories? Therefore, this research is applied based on its purpose and descriptive-analytical based on its nature and method. The method of collecting its information is done in library and field method. By studying and investigating the active glass blowing workshops in Tehran and the classification of the furnaces used and the pathology of each one, it is clear that the glass blowing furnaces in the suburbs of Tehran are still built and operated in traditional ways. takes The furnace in the glass blowing workshop is divided into three types of melting furnace, remelting furnace and stress relieving furnace. The structure of the melting furnace has more sensitivities in the field of body design and construction due to its relationship with molten materials and requires the use of refractory materials. This is despite the fact that in industrialized countries, crucible melting furnaces are used. In the design of the structure of the remelting furnace, due to its use, the factories are faced with a lot of energy loss, which is why the factories have limited their working hours. Also, due to non-compliance with the standards of temperature control and structural design and the type of energy consumed in the existing stress-relief furnaces, the workshops in the suburbs of Tehran often cause a lot of financial losses. By studying the growing trend of closure of glass blowing factories in Tehran, which continue to design, implement and maintain glass furnaces using traditional methods and use them in the production of their products, it seems that by presenting And the implementation of new solutions in the design and construction and maintenance methods of glass furnaces can be effective and efficient. This research is based on the purpose of the type of applied research, which has been carried out based on the nature and method in a descriptive-analytical way and by referring to library sources to describe and analyze the data obtained from in-depth direct observations and field studies. According to the nature of the subject under investigation and the author's experiences in the field of traditional glassmaking, the research data has been collected and compiled through observation and interview. Glass factories with a long history continue to operate in the suburbs of Tehran metropolis. This is despite the fact that in addition to using traditional and local methods to manufacture their products, tools, equipment and furnaces with basic technology are still used in these factories. The closure and stagnation of glass factories in the suburbs of Tehran is one of the consequences of optimizing energy consumption and increasing fuel costs. With the pathology of the furnaces of the glass-grinding factories in the suburbs of Tehran and the study and investigation of their problems, we can say; The use of basin furnaces, the lack of use of suitable refractory materials in the construction of the furnace body (furnace insulation), the inappropriate design of the furnace body is among the things that cause a large amount of energy to be wasted. Bush furnaces are furnaces that have a ceramic tank, which are used for limited purposes and art workshops in the world. One of the advantages of using this furnace is the equal temperature measurement in all parts of the molten glass, which, in addition to greatly affecting the quality of the products, saves energy. In these furnaces, the crucible is placed in a chamber made of refractory materials, the heating of the crucible and molten materials causes secondary heating around the crucible, which is protected by insulating materials and prevents heat energy from escaping and wasting. Also, in this type of furnace, energy is spent on melting the specific and necessary number of raw materials used in the workshop. While today in Tehran glass factories, more than ten times the required materials in one day, the glass melt is in the furnaces. In the design and construction of the remelting furnace, by introducing changes in the structure of the furnace, it is possible to significantly reduce the amount of energy consumed by the remelting furnace. Normally, four burners are used in your furnace, which is located in the center of the workshop. If your furnace is used with one burner and one opening, it will reach the required temperature of the glass maker faster than before The use of an electric greenhouse, in addition to reducing energy consumption costs, can have a significant impact on increasing the efficiency of production works. Using the preheating of raw materials and the workshop environment is one of the other ways to reduce energy in factories. Also, the use of recycled materials, which is common in most glass factories, can also be considered as one of the operational solutions in this field.

*Corresponding Author: Arezoo Khanpour
Address: Faculty of Industrial Arts, Islamic Art University of Tabriz, Tabriz, Iran
Email: arezoo.khanpour@yahoo.com
Tel: 09124384366

Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

Extended Abstract

1. Introduction

The method of glass blowing in Iran since the first millennium BC, at the same time as the invention of the blow rod in ancient Rome, has become a common method in Iranian art. Before the introduction of the machine into human life and the attempt to replace it instead of human power, today's industries are popular in the form of traditional professions in human societies to respond to practical needs. Traditional glassmaking is one of these professions that has been active in big cities and powerful civilizations to make practical and consumable containers. The method of glass blowing after the invention of Milledem, the original method of glass production in the world becomes the most popular. The invention of glass is attributed to the early inhabitants of Egypt and the invention of the rod to the Romans. Egypt, Rome and Mesopotamia are the only historical civilizations where glass making is common. Among the problems of studying the history of furnaces used in glass making and how to make works, written sources as well as authentic archeological documents about furnaces and glass making methods are among the problems. Due to the construction of glass furnaces that are done in a short period of time after the use of damage and restoration, the study and investigation in this problem becomes special.

The furnace plays an essential role in the process of glass blowing, which can be said to have undergone very few changes over time. Glass melting furnaces are powered by fossil fuels, but in recent decades, due to the optimization of energy consumption and its high costs, glass factories have stagnated and closed.

With the need to record and describe the existing situation in glass factories, this research deals with their pathology and finally presents operational methods to reduce energy consumption and optimize it in Tehran. Reducing fuel consumption in these furnaces reduces maintenance costs and, in addition, some solutions such as glass recycling can also bring environmental benefits.

2. Discussion and Analysis

The wide use of glass in contemporary industries has provided solutions to reduce energy consumption in order to provide financial resources and implement environmental regulations. High energy costs, environmental regulations and intense competition between glass manufacturers have always made industrialists look for solutions to reduce energy consumption in factories. Perhaps, by studying these solutions, they can be used in small traditional factories as well, which are mentioned below in some of these solutions:

Air pre-heating: The non-standard atmosphere of contemporary glass factories in the suburbs of Tehran always has a temperature higher than the ambient temperature. However, by presenting and applying new methods of temperature quality control, it is possible to use the thermal energy of open furnaces to control the temperature of the workshop environment and prevent the wastage of thermal energy, and as a result, the heating of furnaces and greenhouses can be done quickly. "Regulating the thermal behavior of the furnace improves its efficiency. A large amount of wasted gases and fire air goes out through the connection between the chimney and the generator (torch). The effectiveness and efficiency of a furnace is low due to the

Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

irregular distribution of wasted gas. Fuel reduction can be achieved by optimizing generators and increasing the temperature of preheated air

(Khoshmanesh, 2007, 1-4). Using the heat of furnaces to return to the energy cycle used in them can be considered as one of the main ways to optimize energy consumption.

Pre-heating of raw materials: Pre-heating of raw materials or recycled shards glass can significantly reduce fuel consumption. "This process is simple and it is formed through heat transfer between the hot waste gases exiting the furnace and the batch of cold raw materials entering the furnace. This transfer is done in two ways, direct and indirect. In addition to reducing the fuel consumption of the furnace, preheating the raw materials also reduces the intensity of the mass flow of combustion products inside the furnace and also helps to increase the operational life of the furnace by reducing the temperature in the crown part of the furnace" (Arab, 2014, 21). Currently, seven different pre-heating systems are used in the world to save energy consumption. In the pre-heating set of raw materials, the percentage of glass shards in the batch is very important, glass factories in the industry often need to have the ability to change the ratio of glass shards to meet the requirements for changing the type of manufactured products. Studies have shown that, in order to achieve a significant saving, glass shards should be heated to a minimum temperature of 340 degrees Celsius and a maximum temperature of 550 degrees Celsius, which if it exceeds this limit, the glass shards will start to They become pasty and there is a problem in their transfer" (Kirimi, 1385, 1-12).

The use of pre-heating of raw materials in traditional glass workshops can be implemented in basic ways. In this way, by transferring the raw materials near the melting furnaces and glass remelting furnaces, the thermal energy of these furnaces can be used for the initial heating of raw materials.

Insulation of furnaces and the use of suitable refractories: Glass, due to its corrosive properties, causes the erosion of the furnace body over time. It is like a piece of ice in a bowl made of sugar. For this reason, furnaces, tanks and glass softening furnaces should be lined with thick walls or layers of fireproof and especially erosion-resistant materials. The type of these refractory materials is composite clay and usually contains several types of mineral materials, both amorphous and crystalline (Trans-Maloni, 1379, 113-114).

The use of zak bricks has been common in Iran since the end of the Qajar period. The use of zak bricks is common in industrial glass factories, and in the last three decades, some traditional glass workshops have purchased zak bricks from industrial factories. Even in some cases, "By buying second-hand Zak bricks for large glass furnaces and cutting and adjusting their dimensions, Zak provides them with the needs of artistic glass makers at a reasonable price based on the construction of model furnaces" (Glass Technology No. 12, 40).

In advanced glass melting furnaces, insulation is done in three parts of the melting chamber, the roof and the side wall of the furnace. Insulation in the lower part of the melting chamber raises the temperature of the bottom of the furnace, which improves the melting capacity of the furnace and leads to better efficiency.

Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

In the roof part, refractory silicate bricks are used, which have minimum alkali and aluminum oxide and provide improved insulation. In some furnaces, non-cast AZS (fused type) is used in the roof. AZS means zirconia refractory bricks. These bricks are very resistant to thermal shock and corrosiveness of melts, especially glass melts. These bricks are also used in the tank and walls, and even the joints of the bricks are insulated, which must be done with sufficient care. The use of insulators that can withstand a continuous temperature of 1200 degrees for a long time requires huge costs that none of the traditional glass factories have used so far. The development of suitable refractories for use in industrial glass factories is common, while a product in this field is not used in traditional glass factories due to its costs.

Recycling and use of shards of glass: The use of recycled glass has been common in traditional glassmaking in Tehran since the past. "Tehran's glass is often made from old bottles.

3. Conclusion

Glass factories with a long history continue to operate in the suburbs of Tehran metropolis. This is despite the fact that in addition to using traditional and local methods to manufacture their products, tools, equipment and furnaces with basic technology are still used in these factories. The closure and stagnation of glass factories in the suburbs of Tehran is one of the consequences of optimizing energy consumption and increasing fuel costs. With the pathology of the furnaces of the glass-grinding factories in the suburbs of Tehran and the study and investigation of their problems, we can say; The use of basin furnaces, the lack of use of suitable refractory materials in the construction of the furnace body (furnace insulation), the inappropriate design of the furnace body is among the things that cause a large amount of energy to be wasted.

Bush furnaces are furnaces that have a ceramic tank, which are used for limited purposes and art workshops in the world. One of the advantages of using this furnace is the equal temperature measurement in all parts of the molten glass, which, in addition to greatly affecting the quality of the products, saves energy. In these furnaces, the crucible is placed in a chamber made of refractory materials, the heating of the crucible and molten materials causes secondary heating around the crucible, which is protected by insulating materials and prevents heat energy from escaping and wasting. Also, in this type of furnace, energy is spent on melting the specific and necessary number of raw materials used in the workshop. While today in Tehran glass factories, more than ten times the required materials in one day, the glass melt is in the furnaces.

In the design and construction of the remelting furnace, by introducing changes in the structure of the furnace, it is possible to significantly reduce the amount of energy consumed by the remelting furnace. Normally, four burners are used in your furnace, which is located in the center of the workshop. If your furnace is used with one burner and one opening, it will reach the required temperature of the glass maker faster than before.

The use of an electric greenhouse, in addition to reducing energy consumption costs, can have a significant impact on increasing the efficiency of production works. Using the preheating of raw

Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

materials and the workshop environment is one of the other ways to reduce energy in factories. Also, the use of recycled materials, which is common in most glass factories, can also be considered as one of the operational solutions in this field.

Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

References

Arab, Qasim. (1384). "Solutions to reduce the energy consumption of the glass industry", Journal of Energy Economy, No. 77-78, Tehran.

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

Ghoroi Manjili, Zahra. (1389). "Perspectives on the history of glass according to the translation of the book Five Thousand Years of Glass". BA: Iran, Tabriz, Islamic Art University of Tabriz, applied arts, Islamic art.

Glass Technology Monthly (1376), "Improvement and Expansion of Artistic Glassmaking in Iran", No. 12.

Glock, J. and Carl Penton, (1355), "Saturity in Iran's Handicrafts", Tehran: National Bank of Iran Publications.

Goldstein, Sidney M. (1387). "Glass Works". Translator: Nasser Khalili, Tehran: Karang.

Government against Iran newspaper, year 1279 AH. No. 527.

Interview with Mr. Ali Ghasemi (supervisor of Alvan Bloor factory) on January 10, 1402. Tehran. The location of the glass factory.

Interview with Mr. Hossamuddin Yousefi (owner of Alvan Bilour factory) on January 10, 1402. Tehran. The location of the glass factory.

Jamalzadeh, Seyyed Mohammad Ali. (1376). "Ganj Shaygan", Tehran: endowments of Dr. Mahmoud Afshar Yazdi.

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.

Karimi, Fariborz and Mojtabi Heratian. (2006). "Methods of heat recovery in glass and crystal factories", the first glass industry seminar: Tehran.

Output of a Seminar on Energy Conservationin Glass Industry&United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)&Ministry of International Trade and Industry (MITI), Japan۱۹۹۳.: Thailand Philippines

Pourhossein, Parisa. (1389). Pathology of glass-making workshops of East Azarbaijan Province, BA: Iran, Islamic Arts University of Tabriz, Islamic Arts.

Terence Maloney, Francis Joseph. (1366). "Glass Industry". Mohammad Ramezani, second edition, Tehran: Gutenberg.

Wolff, Hans. (1388) "Ancient Handicrafts of Iran", Scientific and Cultural

Publishing Company: Tehran.

Worrell, Ernest & Glitsky, Christina& Masanet, Eric& Graus, Wina.)2008(. Energy Efficientcy Improvement and Cost Saving

Volume 1. Issue 2. Spring & Summer. 2025. Pages 61 to 81.

Opportunities for the Glass Industry, Ernest Orlando Lawrence, Berekeley National Laboratory, University of California, Berekely. Yavari, Hossein. (1390) "Hand glass cutting in Iran". Surah Mehr Publications: Tehran.

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. 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:
۲۱ دی ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش:
۱۸ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ انتشار:
۲۵ فروردین ۱۴۰۴

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: arezoo.khanpour@yahoo.com
تلفن: ۰۹۱۲۴۳۸۴۳۶۶

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. 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 بین‌النهرین 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 سوخت‌های 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.

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

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، داده-های پژوهش از طریق مشاهده و مصاحبه اطلاعات گردآوری و تدوین شده است.

۴ شیشه‌گری سنتی ایران و کوره‌های آن

در خصوص پیدایش شیشه برای اولین بار روایت-های 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 ۳۰۰۰-۲۵۰۰ 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

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

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[۱].

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. کوره‌های 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 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،۹۳:۱۳۷۶). «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

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

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 ملکی‌نژاد 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

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 دمای۱۲۵۰ 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 حرارت۱۲۵۰ 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 دمای۵۰۰ 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.

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

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

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

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

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.

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 شیفته-کردن 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

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

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 کارخانه-های 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 می-گیرد. «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 پیش‌گرم‌کن جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در سطح دنیا

دوره ۱. شماره ۲. بهار و تابستان ۱۴۰۴. صفحات ۶۱ تا ۸۱.

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 خرده-شیشه 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 کارگاه-های 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 کوره‌های 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: ۱۱۴-۱۱۳).

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 کوره‌های بزرگ شیشه و برش و تنظیم ابعاد آن، زاک مورد نیاز شیشه‌سازان 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 می‌شود 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 می-شود. منظور از AZS ، آجر نسوزهای زیرکونیایی می-باشد. 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 عایق-بندی 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 نمی‌شود.

بازیافت و استفاده از خرده شیشه: استفاده از شیشه‌های بازیافتی از گذشته در شیشه‌گری سنتی

[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.

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[1]، 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 شیشه‌های بازیافتی می‌نویسد: «مواد اولیه مورد استفاده خاک اسیدی است که از اطراف شهر یافت می‌شود. معادل وزن آن خاک، قلیاب 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 وضع‌شده 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 ،۳۶،۱۹۹۳ seminar 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،

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

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 شیشه‌گری 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 بهره‌گیری از این کوره، توزین یکسان دما در همه قسمت‌های شیشه مذاب می‌باشد که علاوه بر تأثیر بسیار بر کیفیت محصولات، موجب 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 روش‌های 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). «روش-های 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.