

**Makale
(Article)**

Oto Cam Temperleme Deney Düzenekinin Kurulumu ve Isıtma-Soğutma Sürelerinin Tayini İçin Örnek Bir Uygulama

**Hilmi YAZICI^{a,*}, Mehmet AKÇAY^a, Mustafa GÖLCÜ^a, Mehmet Fevzi KÖSEOĞLU^b,
Yakup SEKMEN^c**

^a: Pamukkale Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, DENİZLİ/TÜRKİYE

^b: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, DENİZLİ/TÜRKİYE

^c: Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, KARABÜK/TÜRKİYE

hyazici@pau.edu.tr

Geliş Tarihi:24.09.2010 Kabul Tarihi:14.04.2011

Özet

Oto cam temperleme işleminde, kalite ve üretim hızını etkileyen en önemli parametrelerden biri ısıtma diğeri ise ani soğutma işlemidir. Temperleme işleminde soğutma için harcanan enerji, ısıtma için harcanan enerjiden fazladır. Camın temper kalitesini etkileyen çok sayıda faktör olmakla birlikte genel olarak; camın fırında kalış süresi, ani soğutma süresi, H/D, S/D ve Re sayısı şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada, oto cam temperleme deney düzenekleri kurularak ölçüm ve kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, farklı H/D oranlarında ani soğutma işleminde zamana bağlı olarak cam yüzey sıcaklığının değişimi elde edilmiştir. Deneylerde 5x5 cm ebatlarında, 4 mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Ani soğutma işleminde kullanılan nozul çapı 8 mm olup, Re=30000 sabit tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, H/D=2 oranındaki soğutma süresinin H/D=10 oranındaki soğutma süresinden % 29,4 daha kısa olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cam, temperleme, nozul, Reynolds sayısı

Installation Of Auto Glass Tempering Experimental Unit and A Case Study For Determination Of Heating-Cooling Periods

Abstract

One of the most important parameters which influence to quality and production is heating and cooling technique in tempered auto glass manufacture. Energy consumption for cooling rather than heating in the tempering process. There are many factors that affect the quality of tempered glass. In general, these factors can be listed as duration of stay in the glass furnace, the sudden cooling time, H/D, S/D and Reynolds number.

In this study, information is given about the measurement and control systems by establishing auto glass tempering experimental unit. In addition, is obtained exchange of class surface heat in saddening cooling process on various H/D ratios with time. In the experiments, 5x5 cm size and 4 mm thickness class is used. 8 mm diameter nozzle was used in sudden cooling process and Re=30000 were kept constant. In result of the experiment, the duration of the cooling time at H / D = 2 were found to be shorter percent 29.4% than at H / D = 10

Key Words: Glass, tempering, nozzle, Reynolds number

Bu makaleye atf yapmak için

Yazıcı H, Akçay M, Gölcü M, Köseoğlu M.F, Sekmen Y., "Oto Cam Temperleme Deney Düzenekinin Kurulumu ve Isıtma-Soğutma Sürelerinin Tayini İçin Örnek Bir Uygulama" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011 (8) 57-68

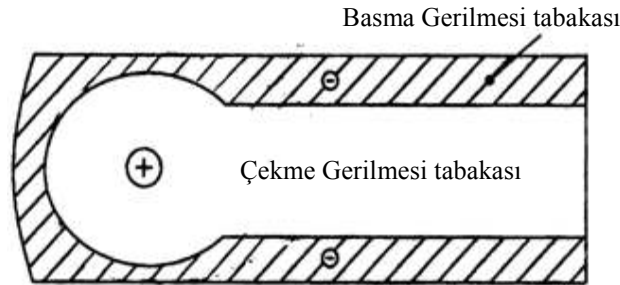
How to cite this article

Yazıcı H, Akçay M, Gölcü M, Köseoğlu M.F, Sekmen Y., "Installation Of Auto Glass Tempering Experimental Unit and A Case Study For Determination Of Heating-Cooling Periods" Electronic Journal of Machine Technologies, 2011 (8) 57-68

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe kullanılan camlar temel özellikleri bakımından güvenlik camları olarak adlandırılmakta olup, temperli ve lamine cam olmak üzere ikiye ayrılır. Genel olarak araçların ön camlarında lamine cam, arka ve yan camlarında ise temperli camlar kullanılmaktadır. Oto camlara yaklaşık 4–5 kat mukavemet kazandırmak amacıyla, camın erime sıcaklığına yakın bir dereceye kadar ($\sim 700^{\circ}\text{C}$) ısıtılıp daha sonra aniden soğutulması işlemine “Temperleme” denilmektedir [1,2]. Temperlenen oto camın istenilen darbe dayanımına sahip olması ve kırıldığında çevresine zarar vermeyecek şekilde küçük ve keskin köşeleri olmayan parçalara ayrılması beklenmektedir. Camın temper kalitesini etkileyen çok sayıda faktör olmakla birlikte genel olarak; camın fırında kalış süresi, ani soğutma süresi, H/D ve S/D oranları ve Reynolds sayısı (Re) şeklinde sıralanabilir. Burada H; nozul ile cam yüzeyi arasındaki mesafe, D; nozul çapı, S; iki nozul eksenleri arasındaki mesafeyi ifade etmektedir [1–3]. Dolayısı ile oto cam temperleme işleminde mümkün olan en düşük enerji tüketimi ile daha kaliteli ürün elde edilebilmesi için temperleme sürecinin çok iyi gözlemlenmesi gerekmektedir.

İstenilen ölçüde kesilmiş ve hazırlanmış olan cam, dikey veya yatay fırınlarda erime noktası sıcaklığına kadar ısıtılır ve daha sonra ani soğutma işlemine tabi tutulur. Sıcaklığın azalması ile camın yüzeyi büzüşür ve sertleşir. Soğutmaya devam edildiğinde katılaşan cam yüzeyi ile birlikte camın iç kısmı da büzölmek ister, fakat katı dış yüzey buna engel olur. Bu durum camın yüzeyinde baskı gerilimi, merkezinde ise çekme gerilimini meydana getirir. Temperlenmiş camda oluşan çekme ve basma gerilmeleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Ani soğutma uygulanarak temperleme işleminden geçen cam, 300°C ’lik bir ısıl şoka dayanıklı hale gelmekteyken, $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ ’lik bir ısıl şok, temperlenmemiş camın kırılmasına neden olmaktadır [1,4]. Temperli camlar tempersiz camlara göre daha dayanıklı olmalarının yanında kırıldıklarında küçük ve keskin köşeleri olmayan parçalara ayrılarak yaralanma riskini azalttığı için de güvenlik camı olarak kullanılmaktadır [2].



Şekil 1. Temperlenmiş camda oluşan gerilmeler [1]

Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; çarpan jetlerin çok farklı alanlardaki uygulamalarını kapsayan makalesinde, Jambunathan vd. (1992), türbülanslı çarpma jetlerinin ısı transferi özelliklerini belirlemek için yapılmış deneysel çalışmaları incelemişlerdir. Çalışmada, deneysel sonuçlarda farklılığa yol açan nozul geometrilerinin ayrıntıları, ölçüm teknikleri, boyutsuz değişkenlerin tanımlanma şekilleri belirtilmiştir. İncelenen veriler kullanılarak Nusselt (Nu) sayısı için bir korelasyon elde edilmiş ve korelasyon; Re sayısına, nozul–plaka mesafesine (H/D) ve durgunluk noktasından uzaklığın (x/D) bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir [5].

Monneyer ve Locheğgies (2008), Kuzey-Doğu Amerika ve Kanada’da endüstriyel ve mimari güvenlik camlarının önde gelen üreticilerinden Kanada’lı Prolce şirketinin cam temperleme fabrikasında deneysel incelemeler yapmışlardır. Cam temperleme ünitesi karşılıklı olarak yerleştirilmiş iki plakadan oluşmaktadır. Çalışmalar, $5000\text{--}20000\text{ m}^3/\text{h}$ hava debisi aralığında ve $1000\text{--}6000\text{ Pa}$ basınç aralıklarında yapılmıştır. Camın soğutulmasında $5,5\text{ mm}$ çapında 3300 adet nozul kullanılmıştır [3].

Goldstein ve Behbahani (1982), sınırlandırılmış tek bir dairesel hava jeti üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Jet sıcaklığı oda sıcaklığı ile aynı alınmıştır. Onlar büyük nozul-plaka mesafesinin (H/D) ısı transferi katsayısını azalttığını, küçük nozul-plaka mesafesinin ise ısı transferi katsayısını arttırdığı sonucuna varmışlardır [6].

Sözbir ve Yao (2004) yaptıkları çalışmada, cam temperlemede, ani soğutma işlemi sırasında yüksek hızlı hava jetleri kullanmışlardır. Ani soğutma işleminde yüksek basınçlı hava kullanımını azaltmak için, su buharı ilavesi ile basınçlı hava tüketimini ve dolayısı ile de enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışma yapmışlardır. Su buharı ilavesi ile, sistem için gerekli enerji ihtiyacının önemli bir şekilde düştüğü gözlenmiştir [7].

San ve Lai (2001) düz bir plakanın soğutulması üzerine yaptıkları çalışmada, sistem elemanı olarak; kompresör, kurutucu, şartlandırıcı, regülatör, T tipi termokupl, HP-3497 data logger, EG-G debimetre ve soğutma için sınırlandırılmış dairesel kesitli nozullar kullanmışlardır. İki nozul arasındaki mesafenin (S), yerel Nu sayısı üzerine etkisini araştırmışlardır. S/D=4-16 arasında değiştirilmiştir [8].

O'Donovan ve Murray (2007) yapmış oldukları çalışmada; tekli nozul sisteminde, düz bir yüzeye çarpan hava jetinin oluşturduğu akış karakteristiklerinin incelenmesi için deney düzeneği kurmuşlardır. Bu deney düzeneğinde; kompresör, hava filtresi, hava tankı, kurutucu, regülatör, debimetre, T tipi termokupllar, senflex film sensörü, TSI model 1053B sıcaklık anomemetresi, hız ölçümü için lazer Doppler anomemetre ve 20 mm çapında nozul kullanılmıştır [9].

Camın fırında kalış süresi, ani soğutma süresi, H/D, S/D ve Re sayısı, camın temper kalitesini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Bu çalışmada, oto cam temperleme deney düzeneği kurularak ölçüm ve kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, farklı H/D oranlarındaki ani soğutma işleminde zamana bağlı olarak cam yüzey sıcaklığının değişimi elde edilmiştir. Deneylerde 5x5 cm ebatlarında, 4 mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Ani soğutma işleminde kullanılan nozul çapı 8 mm olup, Re sayısı sabit tutulmuştur.

2. OTO CAM TEMPERLEME ÜNİTESİ

2.1. Basınçlı Hava Hattı

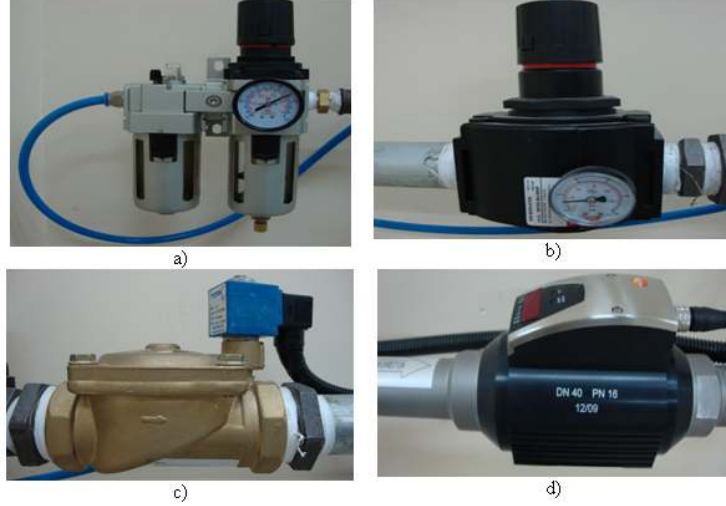
Oto cam temperleme sürecinde, erime noktasına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılan camın hızlı bir şekilde soğutulması yüksek basınçlı hava ile gerçekleştirilmektedir. Basınçlı hava hattı, ani soğutma işlemi için gerekli havanın üretildiği ve basınçlı hava odasına kadar taşındığı hattır. Bu hattı oluşturan elemanlar sırasıyla; kompresör, basınçlı hava tankı, giriş ve çıkış filtreleri, kurutucu, regülatör, selenoid valf ve debimetreden oluşmaktadır.

Soğutma ünitesinde kullanılan basınçlı hava, kompresörde üretilmektedir. Basınçlı havanın üretilmesi için; AT-V 30 marka, 30 kW gücünde, 5,1 m³/dk debide ve 7 bar çalışma basıncında kompresör kullanılmıştır. Basınçlı hava tesisatı hattında bulunan kurutucunun girişine ve çıkışına birer adet hava filtresi takılmıştır. Giriş filtresi 1 mikrona kadar partikül ve 0,5 ppm'e kadar yağ filtrasyonu, çıkış filtresi ise 0,1 mikrona kadar partikül ve 0,01 ppm'e kadar yağ filtrasyonu sağlamaktadır. Kompresörde üretilen basınçlı havanın doğrudan kullanılması durumunda, basınç dalgalanmalarından dolayı akış daimi olmayacaktır. Daimi akışın önemli olduğu proseslerde (soğutma, kurutma), havanın basıncında ve debisinde değişimlerin olması istenmeyen bir durumdur. Kompresörün çalışmasından kaynaklanan basınç dalgalanmaları, havanın kompresörden sonra basınçlı hava tankına alınmasıyla önlenmiştir. Sistemde kullanılan basınçlı hava tankının kapasitesi 5 m³'tür.

Basınçlı hava tankından gelen havanın içinde bulunan bağıl nem (izafi nem), basıncın ve soğumanın etkisiyle yoğunlaşarak sıvı hale gelir. Cam temperleme işleminde camın soğutulması için üflenen havanın kuru olması gerekmektedir. Kurutucuda hava nemden arındırılır ve sıcaklığı düşürülerek şartlandırıcı ve

regülátöre gönderilir. Basınçlı havanın sisteme gönderilmesinde 1 ½” çapında galvanizli çelik boru kullanılmıştır.

Sistem sonunda basınçlı hava T bağlantı elemanı ile iki kısma ayrılmış olup basınçlı havanın bir kısmı üfleme ünitesine, diğer kısmı ise şartlandırıcıdan (Şekil 2a) geçerek pnömatik pistonlara gönderilmektedir. Bağlantı elemanından sonra debiyi ayarlamak için 1 ½” çapında basınç regülátörü (Şekil 2b) kullanılmıştır. Basınç regülátöründen sonra ise akışkana yol vermek için selenoid valf (Şekil 2c) kullanılmıştır.



Şekil 2. a) Şartlandırıcı, b) regülátör, c) selenoid valf, d) debimetre

Ani soğutma işlemi yüksek hızlarda gerçekteştiği için akış turbülanslıdır. Turbülanslı akışta hidrodinamik giriş uzunluğu Re sayısına bağlı değildir. Turbülanslı boru akışlarında, boru çapının minimum 10 katı bir uzunluktan sonra giriş etkilerinin önemsiz hale geldiği ve hidrodinamik giriş uzunluğunun $L_{Turbülans} = 10 \times D$ alınabileceği ifade edilmektedir [10]. Ancak debimetrenin kullanım kılavuzu incelendiğinde; debimetre selenoid valften sonra minimum $L_{Turbülans} = 35 \times D + 1100$ mm uzaklıkta olması gerektiği ifade edilmektedir. Bu sebepten dolayı selenoid valften sonra hava debisinin ölçümünde kullanılan DN 40 Testo 6443 debimetre (Şekil 2d) 2,5 m uzaklığa yerleştirilmiştir.

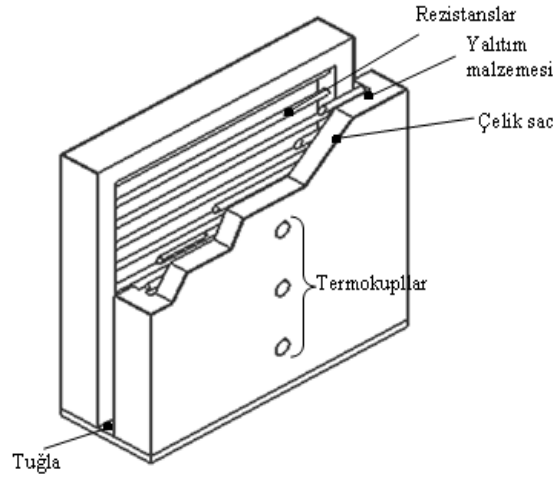
Hava şartlandırıcı, regülátör (1 ½”), selenoid valf ve DN 40 debimetrenin basınçlı hava hattındaki konumları Şekil 3’te gösterilmektedir. Debimetre çıkışına bağlanan 3,5 metre uzunluğunda 1 ½” çapındaki hava hortumunun diğer ucu basınçlı hava odasına bağlanmıştır.



Şekil 3. a) Hava şartlandırıcı b) regülátör (1 ½”) c) selenoid valf d) DN 40 Debimetre e) hava hortumu

2.2. Isıtma İşlemi

Herhangi bir malzemenin temperleme kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biri de ısıtma işlemi ve tekniğidir. Temperlenecek olan camın öncelikle ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılması işlemi için prototip bir fırın tasarlanmış ve imal edilmiştir. Isıtmada kullanılan fırın 10 kW gücünde ve 0,38 m³ iç hacme sahip olup, fırının kesit görünüşü Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Fırının kesit görünüşü

Camın fırına giriş ve çıkışı için fırının ön ve üst tarafı pnömatik olarak açılıp kapanacak şekilde tasarlanmıştır. Fırının duvarları yaklaşık 1100 °C'ye kadar dayanabilen 17 cm kalınlığında 0,056 W/mK ısıl iletkenliğine sahip ceraboard (seramik levha) yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Fırının tabanına ise 110 mm kalınlığında ateş tuğlaları yerleştirilmiştir. Fırın yan duvarları ise 1,5 mm kalınlığında çelik sac ile kaplanmıştır. Fırın içinde karşılıklı yerleştirilmiş rezistanslar arasındaki mesafe 40 cm olacak şekilde toplam 24 adet (12x2) rezistans kullanılmıştır. Fırın içerisindeki sıcaklığı ölçmek için üç adet NiCr-Ni termokupl kullanılmıştır.

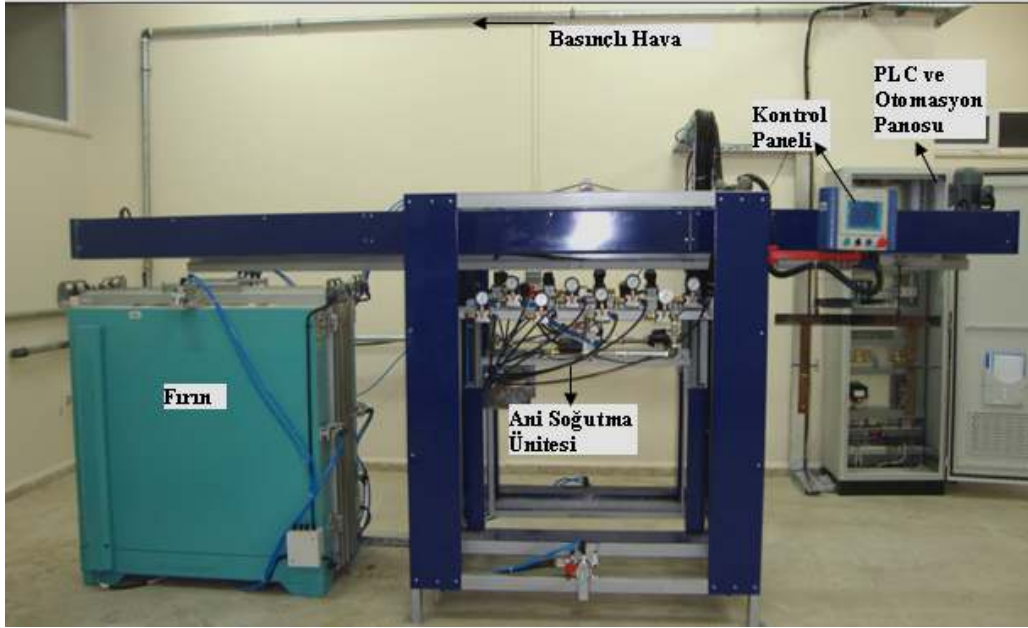
2.3. Ani Soğutma İşlemi

Soğutma ünitesi, fırın içerisinde ısıtılan camın fırından çıktıktan sonra sıcaklığının hızlı bir şekilde düşürüldüğü kısımdır. Bu ünitenin elemanları sıra ile basınçlı hava odası, regülatörler, debimetre, hava hortumları, nozulların bağlı bulunduğu plakalar ve nozullardır.

Basınçlı hava, soğutma ünitesi üzerinde bulunan 122x6x4 cm ölçülerindeki iki adet basınçlı hava odasına bölünmüştür. Basınçlı hava odalarının her birine ½" çapında sekizer adet olmak üzere toplam 16 adet regülatör yerleştirilmiştir. Regülatörlerin amacı her bir nozuldan eşit debide ve basınçta hava üflenmesini sağlamaktır. İleriki çalışmalarda, oto cam temperleme işleminde optimum soğutma ünitesi konfigürasyonlarının (farklı H/D ve S/D oranları) belirlenmesi ve nozul konfigürasyonlarının akış karakteristikleri üzerine etkisini incelemek için toplam 16 adet nozul ve regülatör kullanılmıştır. Regülatörlerden bir tanesinin çıkışına, tek bir nozuldan çıkan havanın debisini ölçmek için DN15 Testo 6441 debimetre yerleştirilmiştir. Debi ve basınç değerinin tüm nozullarda eşit olabilmesi için, diğer regülatörlere bağlanan manometrelerin basınçları Testo 6441 debimetrenin bağlı bulunduğu manometrenin gösterdiği basınca ayarlanmıştır. Debimetrenin pahalı olmasından dolayı tek bir DN15 Testo 6441 debimetre kullanılmış olup, diğer nozullardaki debi ve basınç ayarları buna göre yapılmıştır.

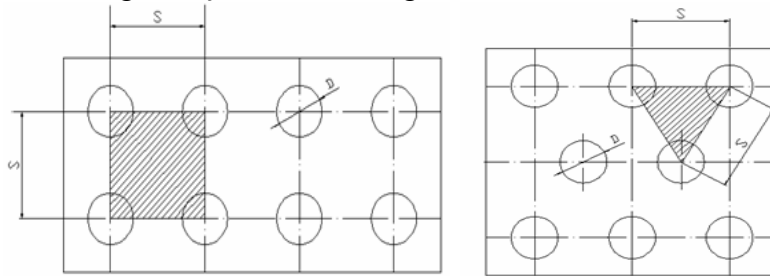
½" çapındaki regülatörlerden nozulların bağlı bulunduğu karşılıklı yerleştirilmiş plakalara basınçlı havanın iletimi için 8 mm iç çapında toplam 16 adet hava hortumu kullanılmıştır. Hava hortumları nozulların bağlı bulunduğu plakalara yaylı nipeller ile tutturulmuştur. Yaylı nipellerin kullanılmasının

nedeni hava hortumlarının kolay sökülüp takılmasını sağlamaktır. Şekil 5’te temperleme ünitesinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 5. Temperleme ünitesinin genel görünümü

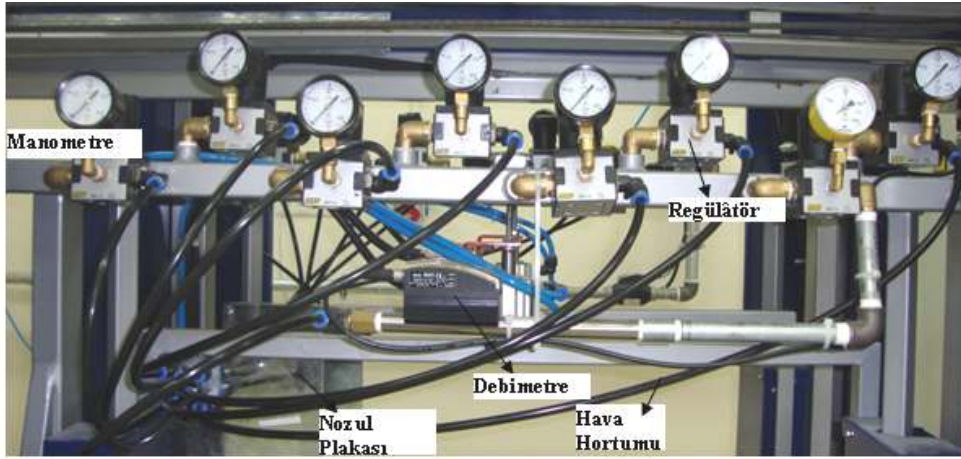
Karşılıklı yerleştirilmiş biçimde iki adet tekli, $S/D=2,4,6,8,10$ oranlarına göre 10 adet kare şeklinde ve 10 adet de üçgen şeklinde dağıtılmış nozul plakası olmak üzere toplam 22 adet plaka imal edilmiştir. Şekil 6’da kare ve üçgen şeklinde dağıtılmış nozul sistemi gösterilmektedir.



Şekil 6. (a) Kare şeklinde dağıtılmış, (b) Üçgen şeklinde dağıtılmış nozul sistemi

Camın yükleme bölgesinden itibaren fırın içersine ve soğutma ünitesi önüne taşınması için hareket edebilen raylı taşıyıcı kullanılmıştır. Taşıma işlemi VM71-4 tipi 0.37 kW gücünde bir asenkron elektrik motoru ile gerçekleştirilmiştir. $H/D=1,2,4,6,8,10$ oranlarını ayarlamak için ise $\varnothing 63 \times 80$ mm ölçülerinde iki adet pnömatik piston kullanılmıştır.

Karşılıklı olarak yerleştirilmiş nozul plakaları, soğutma sürecinde belirlenen süre boyunca düşey eksen ve birbirine zıt yönde (aşağı-yukarı) hareket etmektedirler. Bu hareket $\varnothing 50 \times 40$ mm ölçülerinde iki adet pnömatik piston ile sağlanmaktadır. Şekil 7’de ani soğutma ünitesi üzerinde, nozul plakalarının, debimetrenin ve regülatörlerin yerleri gösterilmektedir. Temperleme işleminin başlangıcından bitimine kadar cam yüzey sıcaklıklarının ölçülmesinde 0,81 mm çapında K tipi flexible termokupllar kullanılmıştır. Termokupllar cam yüzeyine 45,5 W/mK ısı iletim katsayısına sahip yapıştırıcı (Omega® CC High Temperature Cement) ile yapıştırılmıştır.



Şekil 7. Ani soğutma Ünitesi

2.4. Pnömatik Sistemin Kurulumu

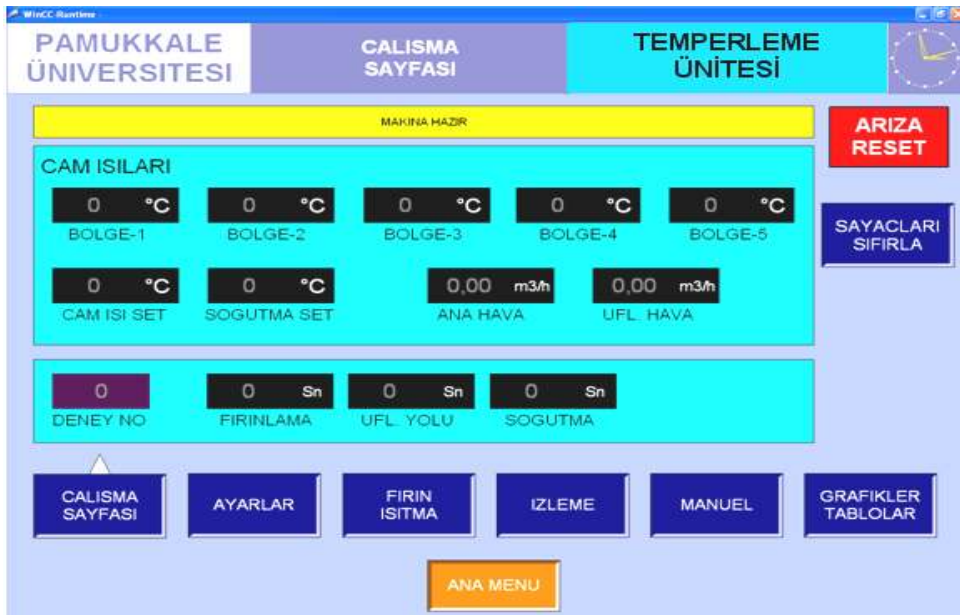
Pnömatik sistem, hava hortumları, şartlandırıcı ve pistonlardan oluşmaktadır. Sistemde toplam 8 adet çift etkili pnömatik silindir kullanılmıştır. Bunlardan 2 tanesi ($\text{Ø}63 \times 80$ mm) H/D mesafesini ayarlamak için, 2 tanesi ($\text{Ø}50 \times 40$ mm) plakaların zıt yönde aşağı yukarı hareketini sağlamak için, 2 tanesi ($\text{Ø}50 \times 40$ mm) fırının yan kapaklarını açıp kapatmak için ve 2 tanesi de ($\text{Ø}50 \times 50$ mm) fırının üst kapaklarını açıp kapatmak için kullanılmıştır. Pistonların aşınmasını ve korozyona uğramasını engellemek için 1 MPa basınç ve 60°C sıcaklığa kadar çalışabilen hava şartlandırıcı kullanılmıştır. Her bir pistonu giden basınçlı havaya yol vermek için 5 adet 5/2 selenoid valf kullanılmış olup, Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Selenoid valfler

2.5. PLC ve Otomasyon Donanımları

Oto cam temperleme ünitesi, birbirinden bağımsız hareket edebilen çok sayıda elemandan oluşmakta ve bu elemanların kontrolü optimum temper koşullarının sağlanabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Camın fırına girişi ve çıkışı, fırına ait bölgesel sıcaklıkların kontrolü, ısıtma ve ani soğutma süreleri, cam yüzey sıcaklıklarının kontrolü, pnömatik sistemlerin kontrolü, debinin kontrolü gibi parametreler algılayıcılar ile kontrol edilmiştir. Sistemin otomasyonu ise PLC kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca temperleme süreci ile ilgili tüm değerlerin bilgisayar ile kontrol edilebilmesi ve bilgisayar ortamına aktarılabilmesi, parametrelerin ekrandan izlenebilmesi için SCADA programı kullanılmıştır. Kullanılan SCADA programı arayüzü Şekil 9’da gösterilmiştir.



şekil 9. SCADA programı arayüzü.

Oto cam temperleme ünitesinin kontrolü (fırın sıcaklıkları, ısıtma ve ani soğutma süreleri, cam yüzey sıcaklıkları, nozul plakalarının aşağı-yukarı hareket süreleri, taşıyıcının hızı, vb.), şekil 10a'da gösterilen dokunmatik kontrol paneli ile sağlanmakta, kontrol paneline girilen değerler ise şekil 10b'de gösterilen PLC ve otomasyon panosuna gönderilmektedir. Bilgisayar ile PLC arasındaki haberleşme SCADA programı ile denetlenmekte ve elde edilen veriler bu program sayesinde bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

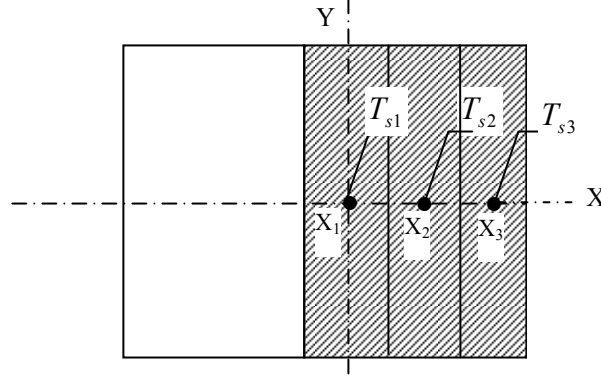


şekil 10. (a) Dokunmatik kontrol paneli (b) PLC ve otomasyon panosuna

3. ÖRNEK BİR UYGULAMA

Deney düzeneğinin kurulumu tamamlandıktan sonra örnek bir oto cam temperleme işlemini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, ani soğutma işleminde karşılıklı yerleştirilmiş 2 adet tekli nozul sistemi kullanılmıştır. Soğutma işleminde kullanılan nozul çapı 8 mm'dir. Temperleme işleminde 4 mm kalınlığında 5x5 cm ölçülerinde cam kullanılmıştır. Ani soğutma işleminde 10,3 m³/h debiyeye sahip basınçlı hava kullanılmış olup $Re=30000$ olarak hesaplanmıştır. Deneylerde Re sayısı sabit tutulmuştur. Yüzeyine 8 mm aralıklarla 3 adet termokupl yapıştırılan cam numune, 750 °C sabit sıcaklıktaki fırına gönderilerek ısıtılması sağlanmıştır. Ortalama yüzey sıcaklığı 680 °C'ye ulaşan cam, fırından otomatik

olarak çıkararak soğutma ünitesine getirilmiş ve burada yüzey sıcaklığı $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düşüncüye kadar basınçlı hava ile hızlı bir şekilde soğutulmuştur. Soğutma işleminde ilk 25 sn süresince nozulların bağlı oldukları plakalar düşey ekseninde zıt yönde hareket ettirilmiş daha sonra sabit tutulmuştur. Cam yüzey üzerindeki ölçülen sıcaklık noktaları Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Cam yüzey üzerindeki ölçülen sıcaklık noktaları

Isıtma ve ani soğutma işlemi sırasında cam yüzey üzerindeki sıcaklık değişimleri 0,5 sn aralıklarla ölçülmüştür. Isıtma işlemi sırasında cam yüzeyi üzerinde ölçülen sıcaklıklar Tablo 1'de, ani soğutma işleminde ise, $H/D=2$ ve $H/D=10$ için cam yüzeyi üzerinde ölçülen sıcaklıklar Tablo 2 'de verilmiştir.

Tablo 1. Isıtma işlemi sırasında cam yüzeyi üzerindeki sıcaklıkların zamana göre değişimleri

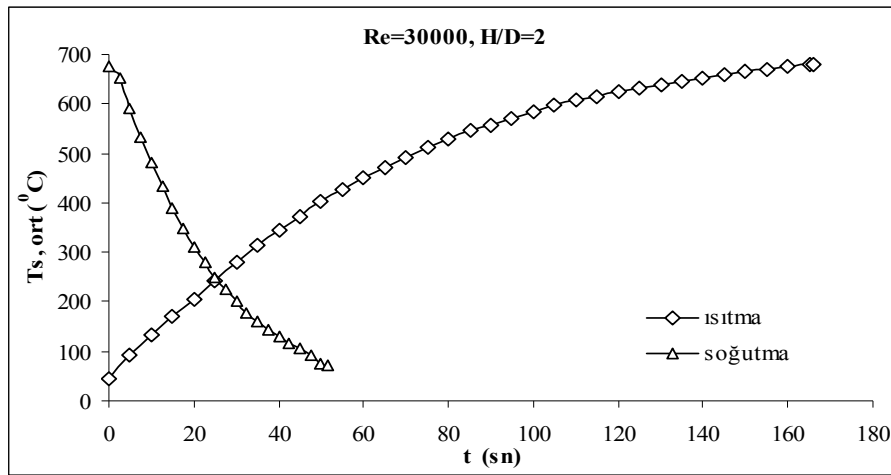
t (sn)	Isıtma Süreleri			
	T_{s1}	T_{s2}	T_{s3}	$T_{s,ort}$
0	41,7	47,2	46,0	45,0
20	195,1	210,6	213,5	206,4
40	335,4	344,3	353,1	344,3
60	442,3	448,9	460,0	450,4
80	524,0	527,9	539,1	530,3
100	577,4	580,2	592,3	583,3
120	621,0	622,2	630,6	624,6
140	650,4	650,6	658,9	653,3
160	672,9	672,5	679,5	675,0
166	678,2	677,6	684,2	680,0

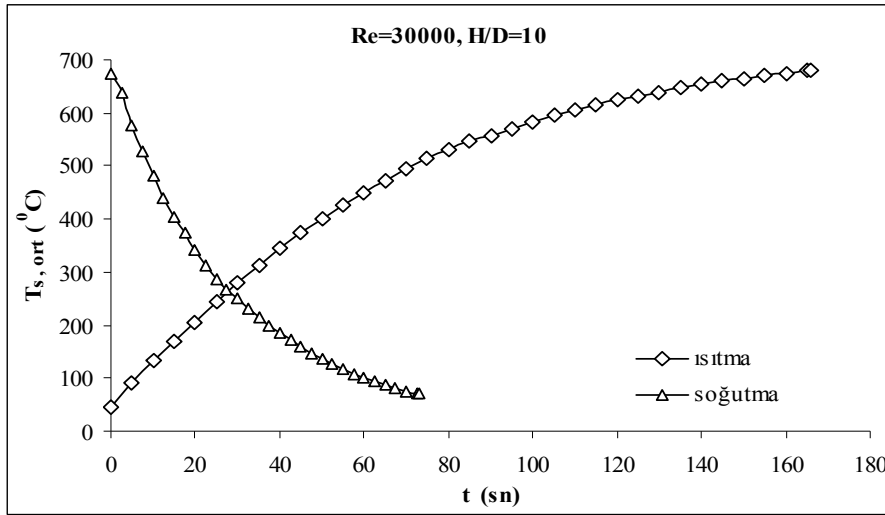
Tablo 1'den görüleceği üzere; camın ortalama yüzey sıcaklığının $680\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye ulaşması için gereken süre 166 sn'dir. $H/D=2$ ve $H/D=10$ için, ani soğutma işleminde cam ortalama yüzey sıcaklığının $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye düşmesi için geçen süreler sırası ile 51,5 sn ve 73 sn olmak üzere Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ani soğutma işleminde, H/D=2 ve H/D=10 için cam yüzeyi üzerindeki sıcaklıkların zamana göre değişimleri

H/D=2					H/D=10				
t (sn)	T _{s1}	T _{s2}	T _{s3}	T _{s,ort}	t (sn)	T _{s1}	T _{s2}	T _{s3}	T _{s,ort}
0	678,2	677,6	684,2	680,0	0	675,0	671,9	675,2	674,0
5	589,9	584,2	600,7	591,6	5	595,1	564,8	570,8	576,9
10	479,8	470,8	490,1	480,2	10	501,5	459,7	484,1	481,8
15	394,3	377,3	392,5	388,0	15	420,6	383,9	411,3	405,3
20	317,8	302,4	314,1	311,4	20	353,6	319,2	350,7	341,2
25	256,8	241,7	253,0	250,5	25	295,4	267,9	298,0	287,1
30	204,8	195,3	201,2	200,4	30	254,0	229,9	266,1	250,0
35	162,0	160,8	158,2	160,3	35	216,8	199,1	231,2	215,7
40	129,6	130,8	126,4	128,9	40	186,0	169,8	200,0	185,3
45	105,3	106,7	103,1	105,0	45	159,1	145,2	171,9	158,7
50	73,2	71,1	85,3	76,5	50	136,0	124,6	147,7	136,1
51,5	66,7	62,5	80,9	70,0	55	116,9	106,8	127,5	117,1
					60	100,5	92,1	109,5	100,7
					65	87,2	79,6	94,9	87,2
					70	76,2	69,7	82,5	76,1
					73	70,3	64,4	75,5	70,1

H/D=2 ve H/D=10 için; ısıtma ve ani soğutma işleminde zamana bağlı olarak cam ortalama yüzey sıcaklığının (T_{s,ort}) değişimi sırası ile Şekil 12 ve Şekil 13'de gösterilmiştir.

**Şekil 12.** Isıtma ve ani soğutma işleminde, cam yüzey ortalama sıcaklığının zamana göre değişimi (H/D=2 için)



Şekil 13. Isıtma ve ani soğutma işleminde, cam yüzey ortalama sıcaklığının zamana göre değişimi (H/D=10 için)

Şekil 12 ve Şekil 13'de görüldüğü üzere ani soğutma süresinin H/D=2 oranında H/D=10 oranına göre daha düşük olduğu ve bu farkın % 29,4 olarak gerçekleştiği görülmüştür.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Otomotiv sektöründe oldukça yaygın bir şekilde kullanılan ve kullanım alanı hızla genişleyen temperli camların üretilmesinde, oldukça yoğun bir enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Temperleme işleminde soğutma için harcanan enerji, ısıtma için harcanan enerjiden fazladır. Camın temper kalitesini etkileyen en önemli faktörler; camın fırında kalış süresi, ani soğutma süresi, H/D, S/D ve Re sayısıdır.

Bu çalışmada; oto cam temperleme işleminde, optimum soğutma ünitesi konfigürasyonları (farklı H/D ve S/D oranları ile nozul dizilişleri) ile bu konfigürasyonların ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerine etkisinin belirlenmesi için prototip oto cam temperleme deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneği ile 4 mm kalınlığında, 5x5 cm ebatlarında örnek bir cam temperleme işlemi yapılmıştır. Ani soğutma işleminde tekli nozul sistemi kullanılmış olup kullanılan nozul çapı 8 mm'dir. Re=30000 sabit tutulmuştur. Temperlenecek olan cam; ortalama yüzey sıcaklığı 680 °C'ye ulaşmaya kadar ısıtılmış, 70°C'ye düşüncüye kadar da ani soğutma işlemi yapılmıştır. Soğutma işleminde ilk 25 sn süresince nozulların bağlı buldukları plakalar düşey ekseninde zıt yönde hareket ettirilmiş daha sonra sabit tutulmuştur. Cam yüzeyi üzerindeki sıcaklıkların ölçülmesinde K tipi termokopullar kullanılmış olup, üç farklı noktadan 0,5 sn aralıklarla ölçümler yapılmıştır.

Camın ortalama yüzey sıcaklığının 680 °C ye ulaşması için gereken süre 166 sn olarak belirlenmiştir. Ani soğutma işleminde ise; H/D=2 ve H/D=10 için, cam ortalama yüzey sıcaklıklarının 70 °C ye düşmesi için geçen süreler sırası ile 51,5 sn ve 73 sn olarak elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın tamamlanmasında ve ileriye yönelik yapılacak olan çalışmalara katkılarından dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a ve Uğurlu Oto Cam A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Kantürer T., (2009), Otomobil Camı Üretiminde Enerji Yoğun Süreçlerin Optimizasyonu, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Edirne.
2. Büyükyıldız A., (2007), PLC kullanılarak cam temperleme fırınının otomasyonu, Mühendislik bilimleri dergisi, 2(13), 247-256,
3. Monnoyer F., Locheignies D., Heat transfer and flow characteristics of the cooling system of an industrial glass tempering unit, Applied Thermal Engineering, 28 (17-18), 2167-2177, (2008).
4. Kocabağ D., (2002) Cam Kimyası, Özellikleri, uygulaması, Birsen yayınevi, İstanbul
5. Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M. A., Button, B. L., “A review of heat transfer data for single circular jet impingement”, Int. J. Heat and Fluid Flow, 13(2): 106–115 (1992).
6. Goldstein ve Behbahani (1982) (Goldstein, R. J. and Behbahani, A. I., Impingement of a circular jet with and without cross flow. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1982, 25, 1377–1382.)
7. Sözbir N., Yao S.C., “Experimental investigation of water mist cooling for glass tempering”, Atomization and Sprays, 14:191-210 (2004).
8. San J.Y., Lai Mao-Dei, “ Optimum jet-to-jet spacing of heat transfer for staggered arrays of impinging air jets”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 44: 3997-4007 (2001).
9. O’Donovan T.S., Murray D.B., “Jet impingement heat transfer - part I: mean and root-mean-square heat transfer and velocity distributions”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50: 3291-3301 (2007).
10. Çengel Y.A., Cimbala J.M., “Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları” İzmir Güven Kitabevi, Birinci Baskıdan Çeviri, (2008).