

# Otomobil Camı Üretimindeki Otoklav Çevrim Süresinin Kısaltılması Üzerine Teorik ve Uygulamalı Bir Çalışma

Prof. Dr. Ahmet CAN  
Yük.Müh. Tamer KANTÜRER

## ÖZET

*Otomobil ön camı üretim prosesinin son adımı, yüksek basınç ve sıcaklık odası şeklindeki otoklav içindeki otomobil camlarının laminasyon işlemidir. Bunun için önce otoklavın basıncının ve sıcaklığının artırılması gerçekleştirilir. Sonra soğutma ve arkasından havanın dışarıya atılması ile süreç tamamlanır. Tüm işlemler, ısıtma ve soğutma sürelerine bağlı olarak, ürün türü, otoklavın doluluk oranı ve mevsime göre 110 dakika ile 160 dakika arasındaki sürede sona erer.*

*Çevrim süresinin kısaltılması amacıyla otoklav çevrim süresinde değişkenliğe neden olan unsurların ve işletme parametrelerinin bilimsel olarak analizi yapılmıştır. Bunu esas alan tasarım değişiklikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. En iyi ve en uygun olan tasarım imal edilerek devreye alınmıştır. Otoklava ait tüm tesisatın tasarım öncesi ve tasarım sonrası işletme parametreleri ölçülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.*

*Yapılan teorik ve uygulamalı çalışmalar, hedeflenen ürün kalitesini düşürmeden, enerji yoğun tesisat olarak fonksiyon gören otoklavda, çevrim süresinin kısaltılmasının olanaklı ve tekrarlanabilir olduğunu kanıtlamıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Otoklav, Otoklav çevrimi, Çevrim kısaltılması, Isı değiştirgeci.

## 1. GİRİŞ

Emniyet ve görünüm parçası özelliklerini bir arada taşıyan otomobil camları temel olarak “temperli” ve “lamine” olmak üzere ikiye ayrılır. Lamine cam ağırlıklı olarak otomobillerin ön camı olarak kullanılırken, temperli camlar kapı, kelebek ve arka camlarını oluşturmaktadır. Lamine otomobil camları, düz ya da çöğünlukla olduğu gibi bombeli forma sahip iki cam plakasının “poliviny Butraly” (PVB) adı verilen bir malzeme yardımı ile birleştirilmesiyle üretilmektedir. İki cam plaka arasına yerleştirilen PVB'nin yaklaşık 80-100 C sıcaklığa ısıtılması ve ardından pres metodu ile cam plakalarına yapıştırılması işlemi “ön laminasyon” olarak isimlendirilmektedir. Gerçekte opak renkte olan PVB'nin saydamlaşması ve cam plakalara kalıcı olarak yapışması lamine cam üretim prosesinin son adımı olan otoklavda gerçekleşmektedir.

## Abstract:

Lamination process is the last step of the automobile windshield production which is carried out at the autoclave cabin by high pressure and temperature. First, raising of the temperature and pressure takes place. Then by means of cooling and air releasing the process is completed. Depending on the product type, capacity utilization rate of autoclave and seasonal changes the autoclave cycle time vary in between 110 and 160 minutes.

In order to shorten the autoclave cycle time, the scientific analysis of the elements and operating parameters causing the variability in the autoclave cycle times has been done. Design changes based on mentioned scientific analysis were evaluated as comparison. The best design was manufactured and implemented. The operating parameters of the autoclave were monitored both before and after the implementation of design changes.

The implemented theoretical and practical study prove that minimizing the cycle time of autoclave without loss of product quality is possible and can be repeated.

## Key Words:

Autoclave, Autoclave cycle, Minimizing cycle time, Heat exchanger

Otoklav prosesinin amacı; daha önce pres işlemi gören PVB ile iki cam arasında kalan havayı PVB içinde çözmektir. Hava, PVB içine difüzyon yolu ile girer. Bu difüzyon, sıcaklık ile eksponansiyel olarak, zaman ve basınç ile lineer olarak artar. Otoklav çevriminde, PVB yumuşar ve akışkan hale gelir. PVB akışkan halde tüm boşlukları doldurur ve bir miktar dışarı akar. Otoklav çevriminin sonunda cam ile tam bir bütünlükte olur. Otoklav prosesinde PVB ve camın birbirine bağlanması ile beraber tüm noktalar-daki PVB'nin kalınlık farkları ortadan kalkar.

## 2. OTOKLAV ÇEVİRİMİ

Otoklav çevrimi, sıcaklık ve basıncın zamana bağlı değişimini kapsamaktadır. Hem sıcaklık hem de basınç için artış, sabit kalma ve azalma şeklinde adımlar gerçekleşmektedir. Aşağıdaki şekilde tipik bir otoklav çevrimine ait sıcaklık ve basınç değişim grafiği verilmiştir.

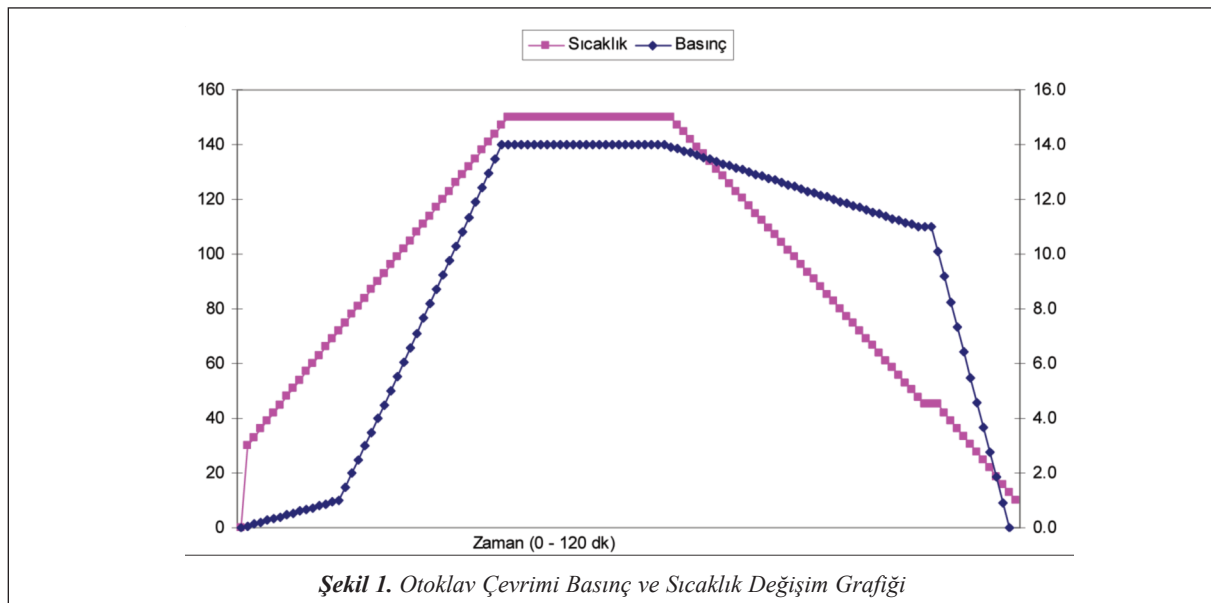
Otoklavda sıcaklığın arttığı ve sabit tutulduğu ısıtma işlemi elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. Otoklavda sıcaklığın azaldığı soğutma süreci, su soğutma kulesinden sağlanan soğuk suyun otoklav içerisinde yer alan ısı değiştiricisinde dolaştırılmasıyla sağlanmaktadır. Otoklav çevriminin tamamlanması otoklav içerisindeki basıncın atmosfer basıncına indirilmesi ile mümkün olabilmektedir.

Ürün kalitesi açısından otoklav içerisindeki sıcaklık

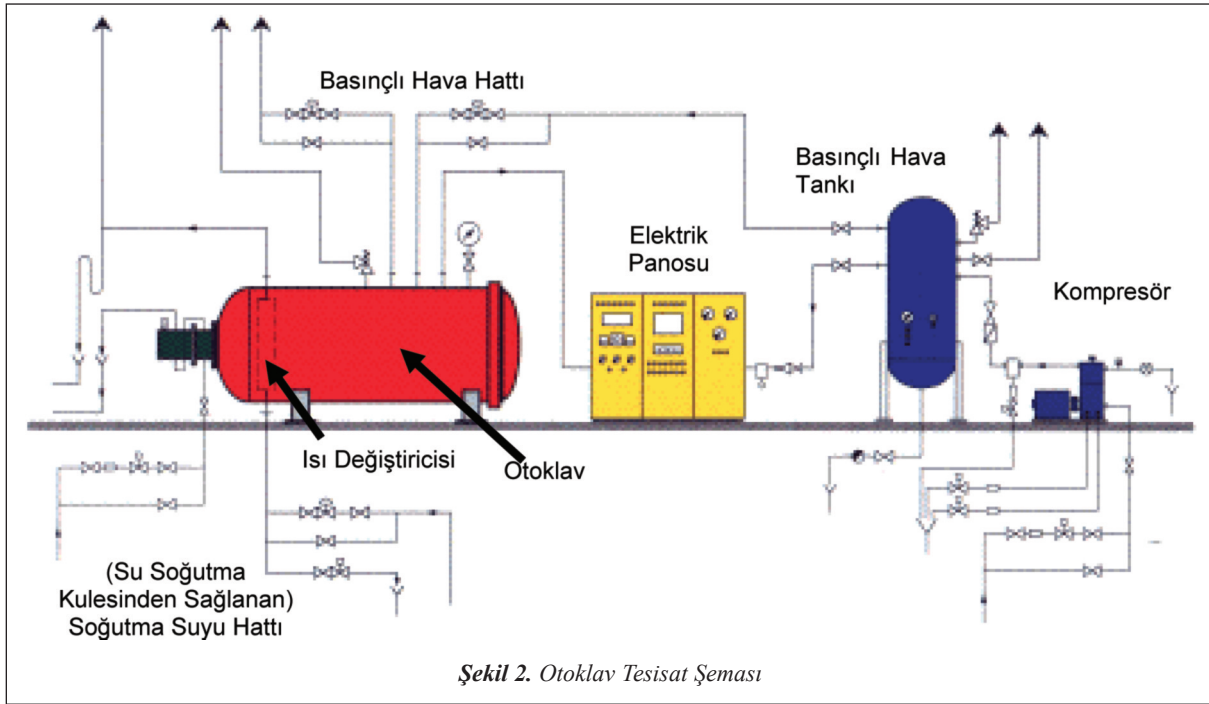
ğın 45 C değerine ulaşmasından önce otoklav içerisindeki basınç düşürülmektedir bu nedenle otoklav içerisindeki sıcaklık hedeflenenden daha uzun sürede 45 C değerine ulaşırsa otoklav çevrimi uzamış olur. Otoklav çevriminin istenen hassasiyette gerçekleşebilmesi için otomatik kontrol uygulanmaktadır. Otoklavda ısıtma işleminde kullanılan elektrik enerjisi sürücüler ile kontrol edilmektedir, buna karşılık soğutma çevriminde kullanılan soğuk suyun debisi oransal vanalar yardımıyla kontrol edilmektedir.

Otoklavın basınçlandırılması otoklav basıncından daha yüksek bir basınç değerine çıkarılmış olan bir tankta bulunan havanın boru tesisatı yardımıyla otoklava taşınması ile olur. Basınç artırma ve azaltma sırasında uygulanan otomatik kontrol soğutma suyu debisine benzer olarak oransal vanalar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Aşağıdaki şekilde otoklav prosesine ait tesisat şeması verilmiştir.

Otoklav çevrimi ile ilgili yapılan gözlemler çevrim sürelerindeki değişimin (istenmeyen uzamaların) soğutma işlemi sırasında olduğunu göstermiştir. Soğutma süresi, ürün türü, otoklavın doluluk oranı ve mevsime göre değişkenlik göstermektedir. Otoklav çevrim süresindeki değişkenliklerin azaltılması soğutma sürecinin kontrol altında tutulabilmesi ile mümkündür.



Şekil 1. Otoklav Çevrimi Basınç ve Sıcaklık Değişim Grafiği



Şekil 2. Otoklav Tesisat Şeması

### 3. OTOKLAV SOĞUTMA SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Otoklavda soğutma süreci “ön soğutma” ve “ana soğutma” olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir. Ön soğutma, otoklav içerisinde yer alan camların ısıl şoktan ötürü kırılmaması için gerekli olan düşük hızlı ve kontrollü soğutma işlemidir. Ön soğutma su debisini kontrol eden oransal vana maksimum açıklığa ulaştığında ön soğutma süreci tamamlanmış olmaktadır. Bu aşamada ana soğutma süreci başlar. [1]

#### İyileştirme Alternatiflerinin Belirlenmesi

Soğutma sürecinin iyileştirilebilmesi için üç farklı fikir ortaya atılmış ve bilimsel esaslar yönünden karşılaştırılmıştır. Bu fikirler; “otoklava ısı değiştirgeci ilave edilmesi”, “otoklavın ilave olarak dış yüzeyden de soğutulması” ve “mevcut ısı değiştirgecinin kapasitesinin artırılmasıdır.”

#### Otoklava Isı Değiştirgeci İlave Edilmesi

Otoklava ilave edilecek bir ısı değiştirgeci ile soğutma yüzey alanının artırılması dolayısıyla ısı geçişinin artırılarak soğutma süresinin kısaltılması mümkün olabilecektir. Maksimum yüzey alanının elde edilebilmesi için İlave edilecek ısı değiştirgecinin

kanatlı borulardan imal edilmesi gerekmektedir. Otoklavın şekli ve camların yerleşiminden ötürü ilave ısı değiştirgecinin hava yönlendirme yanall yüzeylerine dolayısıyla hava akışına paralel yerleştirilmesi mümkündür. Güvenlik sebeplerinden ötürü otoklava dışarıdan boru girişi yapılması mümkün olmadığı için yeni İlave edilecek ısı değiştirgecinde dolaşacak soğutma suyu bir bransman yardımıyla mevcut ısı değiştirgecinin gelen boru hattından ve mevcut ısı değiştirgeci girişinden önce alınmalıdır. Isı değiştirgecinin otoklava getirdiği ilave soğutma kapasitesi ısı geçişi ifadesinden yararlanılarak hesaplanabilir.

$$Q = KF\Delta T_m \quad (1)$$

$Q(W)$  : Isı değiştirgecinde gerçekleşen ısı geçişi

$K(W/m^2K)$  : Isı değiştirgeci için toplam ısı geçiş katsayısı

$F(m^2)$  : Isı değiştirgeci toplam yüzey alanı

$\Delta T_m (K)$  : Ortalama logaritmik sıcaklık farkı

Toplam ısı geçiş katsayısını veren ifade;

$$\frac{1}{K} = \left( \frac{1}{h_i} \right) * \left( \frac{A_d}{A_i} \right) + R_f * \frac{A_d}{A_i} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk} * A_d + \frac{1}{\eta h_d} \quad (2)$$

$h_i$  (W /m<sup>2</sup>K) : Boru iç tarafındaki ısı taşınım katsayısı  
 $A_d$  (m<sup>2</sup>) : Boru dış yüzey alanı.  $A_d = (A_{d0} + A_{dk})$   
 $A_i$  (m<sup>2</sup>) : Boru iç yüzey alanı  
 $L$ (m) : Boru boyu  
 $\eta$  : Kanat etkenliği  
 $h_d$  (W /m<sup>2</sup>K) : Boru dış taraf ısı taşınım katsayısı  
 $R_f$  (m<sup>2</sup>K /W) : Boru iç tarafı kirlilik faktörü  
 $r_1$ (m) : İç yarıçap  
 $r_2$ (m) : Dış yarıçap

Toplam ısı geçiş katsayısı iç ve dış taraf ısı taşınım katsayıları ile geometrinin fonksiyonudur. Boru iç tarafındaki (su tarafı) ısı taşınım katsayısı ( $h_i$ ):

$$Nu = \frac{h_i D_1}{k_{su}} \quad (3)$$

$D_1$  (m) : Boru iç çapı  
 $k_{su}$  (W /mK) : Suyun ısı iletim katsayısı  
 $Nu = 0.023Re^{4/5} Pr^{1/3}$ : Nusselt sayısı  
 $Pr$  : Prantl sayısı

$$Re = \frac{w D_1}{\vartheta} \quad (5)$$

$w$ (m/ s) : Su hızı  
 $\vartheta$  (m<sup>2</sup> / s) : Kinematik vizkozite

ifadeleri yardımı ile hesaplanır.

Dikey borulu olarak seçilen ısı değiştirgecinde boru dış tarafındaki (hava tarafı) ısı taşınım katsayısı( $h_d$ ):

$$Nu = \frac{h_d D_2}{k_{hava}} \quad (6)$$

$D_2$ (m) : Boru dış çapı  
 $k_{hava}$  (W/mK): Havanın ısı iletim katsayısı

$$Nu = C Re^m Pr^n \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \quad (7)$$

$Re$  : Reynolds sayısı  
 $Pr$  : Hava için Prantl sayısı  
 $Pr_s$  : Yüzey sıcaklığındaki hava için Prantl sayısı  
 $C, m$  :  $Re$  sayısına bağlı sabitler

ifadeleri yardımı ile hesaplanır.

Isı değiştirgeci için ortalama logaritmik sıcaklık farkının hesaplanabilmesi için her iki akışkanın sıcaklıkları bilinmelidir. Otoklav içerisindeki sıcaklık soğutma sürecinde sürekli olarak azaldığı için sürekli bir rejim halinden söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle hava ve su sıcaklıklarının ısı değiştirgecinde giriş ve çıkış değerlerinin tespiti soğutma sürecinin başındaki ve sonundaki değerlerin ortalaması alınarak yapılmalıdır.

Ortalama logaritmik sıcaklık farkı ısı değiştirgecinin düzenlenmesine bağlı olarak değişmektedir. Fakat ısı değiştirgeci içinde, eğer akışkanlardan birinin sıcaklık değişimi göz ardı edilebilecek düzeyde ise, bu durumda ısı değiştirgecinin davranışı, ısı değiştirgecinin düzenlenmesinden bağımsızdır [2]. Otoklav içerisinde havanın sıcaklığındaki değişim ihmal edileceği için ortalama logaritmik sıcaklık farkı paralel ters akışlı ısı değiştirgecinde ait hesaplama yöntemi ile hesaplanır.

Ortalama logaritmik sıcaklık farkını veren ifade:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{hava} - t_{sugiriş}) - (t_{hava} - t_{sucıkış})}{\ln[(t_{hava} - t_{sugiriş}) / (t_{hava} - t_{sucıkış})]} \quad (8)$$

$t_{hava}$  (C) : Otoklav içindeki ortalama hava sıcaklığı  
 $t_{sugiriş}$  (C) : Su giriş sıcaklığı  
 $t_{sucıkış}$  (C) : Ortalama Su çıkış sıcaklığı

Toplam ısı geçiş katsayısı ve ortalama logaritmik sıcaklık farkının hesaplanması ile ısı değiştirgecinin ısı kapasitesi hesaplanabilmektedir. Otoklav içerisine yerleştirilebilecek ilave bir ısı değiştirgeci getireceği ilave soğutma kapasitesi mevcut soğutma kapasitesinin 1/3 ila 1/4 'ü kadar olmaktadır.

### Otoklavın İlave Olarak Dış Yüzeyden de Soğutulması

Otoklavın dış taraftan soğutulması ile gerçekleştirilmek istenen; soğutma süreci başladığında devreye giren ve otoklav ve ona ait bileşenlerden tamamen bağımsız bir "dış taraf soğutma ceketini" kullanılmasıdır. Dış taraf soğutma ceketinde soğutma kulesinden sağlanan su dolaştırılacaktır. Suyun soğutma ceke-

## Makale

tinde dolaştırılması harici bir pompa yardımıyla gerçekleştirilecektir. Soğutma ceketini, soğutma sürecinin başlaması ile devreye girecek, ısıtma sürecinde devre dışında olacaktır, bu nedenle dolaşım pompası sadece soğutma sürecinde devrede olacaktır. Aşağıdaki şekilde otoklavın dış yüzeyine yerleştirilmesi düşünülen soğutma ceketinin görünümü verilmektedir.

Otoklavın dış tarafına yerleştirilecek soğutma ceketinin kapasitesi:

$$Q_{\text{ceket}} = K_{\text{ceket}} F_{\text{ceket}} \Delta t_{\text{ceket}} \quad (9)$$

$K_{\text{ceket}}$  (W /m<sup>2</sup>K): Otoklavdaki hava ve soğutma ceketindeki su arasındaki toplam ısı geçiş katsayısı

$F_{\text{ceket}}$  (m<sup>2</sup>) : Soğutma ceketinin toplam yüzey alanı

$\Delta t_{\text{ceket}}$  (K) : Soğutma ceketinin ortalama su sıcaklığı ile otoklavdaki ortalama hava sıcaklığı farkı

Toplam ısı geçiş katsayısı otoklav havası ve soğutma ceketindeki su arasındaki katmanlar dikkate alınarak yazıldığında:

$$\frac{1}{K_{\text{ceket}}} = \frac{1}{h_{\text{hava}}} + \frac{d_{\text{iç}}}{k_{\text{iç}}} + \frac{d_{\text{yalıtım}}}{k_{\text{yalıtım}}} + \frac{d_{\text{dış}}}{k_{\text{dış}}} + R_t + R_f + \frac{d_{\text{ceket}}}{k_{\text{ceket}}} + \frac{1}{h_{\text{su}}}$$

$h_{\text{hava}}$  (W /m<sup>2</sup>K): Otoklav iç tarafındaki (hava tarafı) ısı taşınım katsayısı

$d_{\text{iç}}$  (m) : Otoklav iç cidar kalınlığı

$k_{\text{iç}}$  (W/mK) : Otoklav iç cidarına ait ısı iletim katsayısı

$d_{\text{yalıtım}}$  (m) : Otoklav iç ve dış cidarı arasındaki ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı

$k_{\text{yalıtım}}$  (W/mK): Otoklav iç ve dış cidarı arasındaki ısı yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı

$d_{\text{dış}}$  (m) : Otoklav dış cidar kalınlığı

$k_{\text{dış}}$  (W/mK) : Otoklav dış cidarına ait ısı iletim katsayısı

$R_t$  (m<sup>2</sup>K/W) : Soğutma ceketini ile otoklav dış yüzeyi arasındaki temas direnci

$R_f$  (m<sup>2</sup>K/W) : Soğutma ceketini iç tarafındaki kirlilik faktörü

$d_{\text{ceket}}$  (m) : Soğutma ceketini cidar kalınlığı

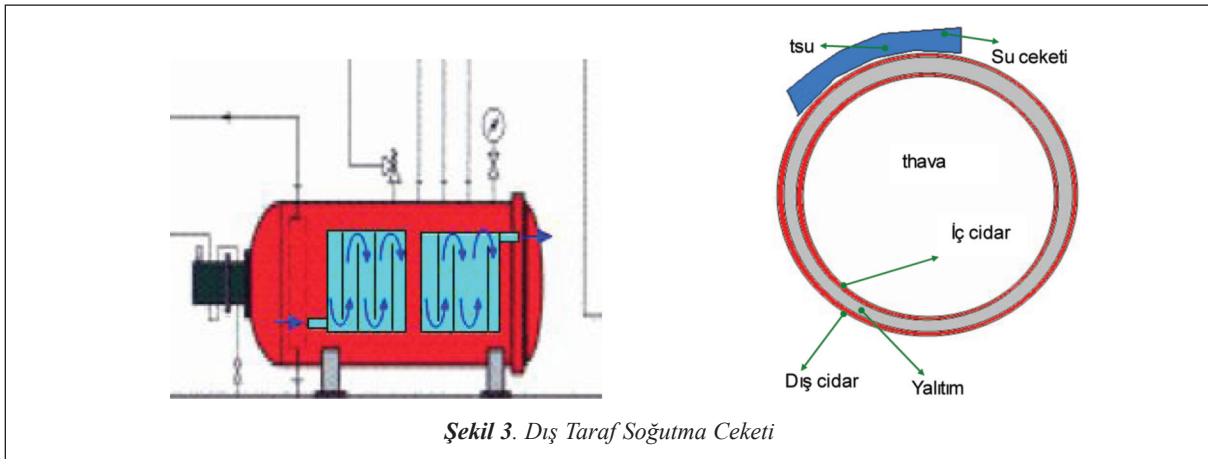
$k_{\text{ceket}}$  (W/mK) : Soğutma ceketini ısı iletim katsayısı

$h_{\text{su}}$  (W/m<sup>2</sup>K) : Soğutma ceketini iç tarafındaki ısı taşınım katsayısı

Otoklav iç ve dış cidarı arasındaki ısı yalıtım malzemesinin etkisi ile toplam ısı geçiş katsayısı 2 ila 4 (W /m<sup>2</sup>K) gibi düşük bir değer olarak hesaplanmaktadır. Dış tarafa konulacak soğutma ceketinin getireceği ilave soğutma kapasitesi mevcut soğutma kapasitesinin 1/50 ila 1/60'ı olmaktadır.

### Mevcut Isı Değiştirgecinin Kapasitesinin Artırılması

Otoklava ait mevcut ısı değiştirgeci üç sıra üçgen dizilişli kanatlı borulardan oluşmaktadır. Dördüncü sıra kanatlı boru ilavesi ile mevcut ısı değiştirgecinin kapasitesinin artırılması mümkündür. Dördüncü sıra



Şekil 3. Dış Taraf Soğutma Ceketini



boru ilavesi ile boru içindeki akış hızının düşmesinden ötürü su tarafındaki ısı taşınım katsayısı azalacaktır fakat ilave soğutma yüzey alanı sayesinde toplam ısı geçişi olumlu olarak etkilenecektir. Mevcut ısı değiştirgecinin dört sıra borulu hale getirilmesi ile elde edilecek yeni ısı değiştirgecinin kapasitesinin hesaplanabilmesi için izlenmesi gereken yöntem boru dış taraf ısı taşınım katsayısı hesaplanması dışında bölüm 3.1.1 ile aynıdır.

Boru dış taraf ısı taşınım katsayısının hesaplanması ( $h_d$ ):

Isı değiştirgeci konstrüksiyonu ve su ve hava akış yönleri incelendiğinde “boru demetleri üzerine çapraz akış” durumu söz konusudur. Boru demeti içerisindeki akış koşullarını taşınım ile ısı geçişini büyük ölçüde etkileyen, sınır tabaka ayrılması ve art bölge etkileşimleri belirler [2].

Bir boruya ait ısı taşınım katsayısı, boru demetindeki konumuyla belirlenir. İlk sırada bulunan bir boru için bu katsayı, yaklaşık olarak çapraz akışta tek bir boruya ait katsayıya eşittir. Oysa iç sıradaki boruların daha büyük ısı taşınım katsayıları vardır. İlk birkaç sıradaki boru, bunu izleyen sıralardaki boruların ısı geçiş katsayısını arttıran bir türbülans ızgarası görevini yapar [2]. Mühendislik uygulamaları açısından, genellikle tüm boru demeti için ortalama ısı taşınım katsayısının hesaplanması istenir [2]. Kanatlı borulardan oluşmasından ötürü otoklava ait ısı değiştirgeci “kompakt” ısı değiştirgecidir.

Kompakt ısı değiştiricilerinde etki eden geometrik büyüklüklerin adedinin çok fazla olması nedeniyle, bunlardaki ısı geçişini karakterize edecek biçimde bir bağıntının verilmesi çok güçtür. Bu konuda yapılan araştırmalar, çoğunlukla deneyseldir. Bunlar üzerine en kapsamlı çalışmaları yapan Kays ve London, belli başlı imalatçı firmaların ürünlerini ve özellikle borulu kanatlı ile levhalı kanatlı ısı değiştiricilerini birkaç grup altında toplamışlar ve sonuçlarını grafikler halinde sunmuşlardır[3]. Bu grafiklerde;

$$St.Pr^{2/3} = f(Re) \quad (11)$$

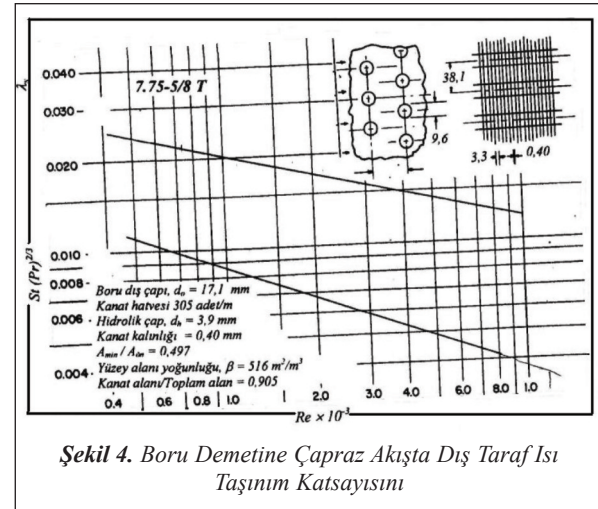
$$St = \frac{Nu}{Re.Pr} = \frac{hd}{\sigma c_p w} \quad (12)$$

$\sigma$  (kg /m<sup>3</sup>) : Havanın yoğunluğu

$c_p$  (J/KgC) : Havanın özgül ısısı

$w$  (m/s) : Hava hızı

şeklinde tanımlı ısı taşınımını karakterize eden (St) Stanton sayısı ile (Pr) Prantl sayısı, (Re) Reynolds sayısının bir değişimi olarak verilmektedir. Otoklava ait ısı değiştirgecinin dış taraf ortalama ısı taşınım katsayısının hesaplanmasında grafiklerle sunulan deneysel sonuçlardan yararlanılmıştır. Mevcut ısı değiştirgecine en uygun aşağıda yer alan grafik seçilerek hesaplamalar buna göre yapılmıştır[3].



Şekil 4. Boru Demetine Çapraz Akışta Dış Taraf ısı Taşınım Katsayısını

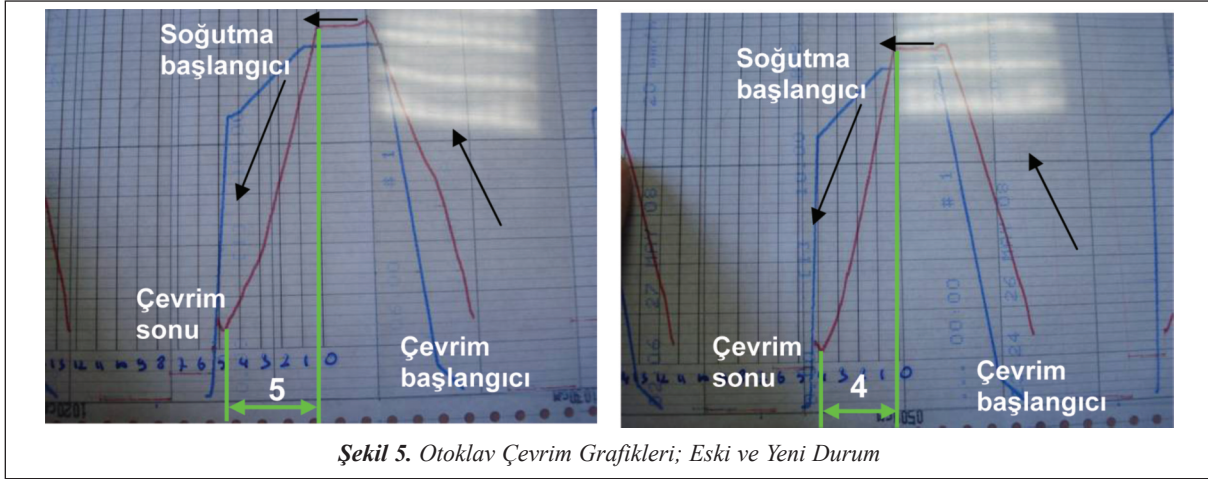
Otoklav ısı değiştirgecinin dört sıra borulu olacak şekilde imal edilmesi durumunda elde edilecek ilave soğutma kapasitesi mevcut soğutma kapasitesinin 1/3 ila 1/4'ü kadar olmaktadır.

## SONUÇ

Otoklav soğutma sürecinin iyileştirilebilmesi için ortaya atılan fikirler bilimsel esaslar yönünden incelenmiş ve diğer iki yöntemin olumsuz yönlerinin ortaya konması ile mevcut ısı değiştirgecinin kapasitesinin artırılması en olumlu yöntem olarak benimsenmiştir. Diğer iki yöntemin olumsuz yönleri:

- Otoklava ısı değiştirgeci ilave edilmesi durumunda otoklavın mevcut soğutma suyu dolaşım sistemine

## Makale



arzu edilmediği halde müdahale edilmesi gerekmektedir.

- İlave ısı değiştirgeci ile mevcut ısı değiştirgecinin aynı soğutma suyu sistemini kullanması basınç kaybının dengelenmesini gerektirmektedir. Aksi halde mevcut ısı değiştirgecinin kapasitesinden tam olarak yararlanılamaması söz konusu olur. Borulardaki su hızının oransal kontrolden ötürü sürekli olarak değişmesinden dolayı basınç kaybının dengelenmesi güçleştirmektedir.
- İlave ısı değiştirgecinin otoklav içerisine yerleştirileceği konumdan ötürü içeride dolaşan hava ile tam teması söz konusu olamayacaktır.
- Otoklavın dış taraftan soğutulması ısı değiştirgeci ilave edilmesi durumunda karşılaşılan sakıncaları ortadan kaldırmaktadır fakat soğutma yüküne getireceği katkı mevcut otoklav yalıtımından dolayı yeterli olmamaktadır.

Otoklav soğutma sürecinin iyileştirilmesi için seçilen yöntem ile ısı değiştirgeci dört sıra borulu olacak şekilde yeniden imal edilmiş ve montajı yapılmıştır. Değişimin getirdiği sonuçlar izlenerek eski durum

ile yeni durum soğutma süreleri açısından karşılaştırılmıştır:

Yukarıdaki grafikler gerçekleşen otoklav çevrimlerine ait sıcaklık (kırmızı eğri) ve basınç değişimini (mavi eğri) göstermektedir. Grafiklerde zaman eksenini sağdan sola doğrudur. Grafiklerde soğutma başlangıcı ve çevrim sonu işaretlenmiştir. Her iki grafik incelendiğinde yeni durumda soğutma süresinin eski duruma kıyasla %20 oranında kısaldığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] SCHOLZ "Operating Instructions for Hot Air Autoclave", Scholz, 2003.
- [2] INCROPERA Frank P., DEWITT David P., "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", Çevirenler: T. DERBENTLİ, O. GENCELİ, A. GÜNGÖR, A. HEPBAŞLI, Z. İLKEN, N. ÖZBALTA, F. ÖZGÜÇ, C. PARMAKSIZOĞLU, Y. URALCAN, Literatür Yayınları: 51, 2001.
- [3] GENCELİ Osman F., "Isı Değiştiricileri", Birsen Yayınevi, 1999.