

21. CAM PROBLEMLERİ SEMPOZYUMU

Araştırma ve Teknoloji Genel Müdür Yardımcılığı
ISBN: 975-

ŞİŞECAM



21. CAM PROBLEMLERİ SEMPOZYUMU

BİLDİRİLER

17 KASIM 2006

İŞ-SANAT
KÜLTÜR MERKEZİ
İSTANBUL KONSER SALONU



Yayına Hazırlayanlar
A.Semih İŞevi
Melek Orhon



ŞİŞECAM

Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Araştırma ve Teknoloji Genel Müdür Yardımcılığı
(Hizmete Özel)

Yayına ait katalog bilgileri

Sınıflama / Yer	: UDC 666.1(56) "2005" (063)=943.5 CAMi 2006
Eser adı	: 21. Cam Problemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı
Yazar (lar) Adı	: ed. A.Semih İŞevi / Melek Orhon
Emeği Geçenler	: Burak İzmirlioğlu (Kapak fotoğrafı) / Işıl Çandır (Düzelti)
Yayın Tarihi	: 2007 Ocak
Yayın Yeri	: İstanbul
Yayımlayan	: T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Araştırma ve Teknoloji Genel Müdür Yardımcılığı
Cilt / Sayfa	: 123 s.,sm
Dizi	: Cam Araştırma Merkezi Kütüphane - Dokümantasyon Bölümü Yayımları Sempozyumlar Dizisi; 21
Konu	: 1. Glass Problems 2. Glass Technology 3. Congresses I. İŞevi, A.Semih II. Orhon, Melek III. Seri
ISBN	: 975-

Baskı bilgisi

1. Baskı : Ocak 2007

Sar Ajans Ltd.Şti.

Dizgi : Ümit U.
Tel.: : (0216) 385 19 64
Faks: : (0216) 385 19 78
e-Posta : sarajans@gmail.com

Çetin Matbaacılık

Topkapı / İSTANBUL
(0212) 576 59 85



Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.
Cam Araştırma Merkezi
İş Kuleleri, Kule 3
34330 4.Levent / İSTANBUL
Tel : (0212) 459 55 50
Faks : (0212) 459 57 73
http://www.sisecam.com.tr
intranet: http://camport.sisecam.com.tr
intranet: http://kutuphane.sisecam.com.tr

Cam Ergitme Prosesinde Sülfat Kimyası	7
Hande Sengel	
Ağız Hatalarını Ayırma Makinesi Görsel Kalite Kontrol Sistemi	17
Tuğrul Misoğlu - A. Yüksel Soykut	
Forehearthlarda Renk Değişim Sürecinin Sayısal Simülasyonu	27
Dr. Mustafa Oran - Arca İyiel	
Cam Dekorasyonunda Kullanılan Emayeler	42
Dr. İlkay Sökmen – Orhan Çorumluoğlu – Burak İzmirlioğlu – Şener Yılmaz - Esat Günertürkün - Dadal Arıburnu - Soner Pulurluoğlu –Ergül Cebecioğlu- Haluk Erdem - Yasemin Hürpek - Ayşe Güneri - Özkan Kefeli	
Tentesol Serisi Camlarda Verim Artırma Çalışmaları ve Yeni Ürün "Tentesol -T"	52
Haşim Ekici - Alper Can – Ali Yönden - Osman Bilaloğlu - Dr. Yusuf Saraç – Can Kaplan	
28 Kollu Çay Bardağı Makinesinin Yerli Üretimi	54
Arif Karahan - Yavuz Gültekin	
Borcamda F/H Ve Feeder Tasarım Değişikliği ile Verim ve Kalite Artışı	60
Coşkun Güneri - Muhteşem Mahmutluoğlu	
Cam: Toplum İçin Yeni Malzeme Çağı - Mukavemeti Yüksek Camlara Ulaşmak İçin İpuçları (Glass: Introducing Our Society to A New Material Age-Clues To Producing Ultra Strong Glass)	67
John Brown (Dr. Suresh Gulati Tarafından Sunulacaktır / To Be Presented By Dr. Suresh Gulati)	
Cam Mukavemetini Arttırmak İçin Metodlar (Methods for Improving Strenght of Glass)	68
Dr. Suresh Gulati	
Düzcamlar ve Cam Kapların Mukavemeti (Strength of Containers and Flat Glass)	70
John Bayne	
Kaplama ile Cam Mukavemetini Artırma (Altering The Fracture Toughness of Glass by Coating)	73
Prof. Dr. Bülent Yoldaş	

Cam Ambalaj Üretiminde Şekillendirme Prosesinin Termal Kamera Kullanımı ile İyileştirilmesi Can Baran Ünal - Levent Dağdelen	75
Çift Damla Çay Bardağı Otomatik Paketleme Hattının Yerli Üretimi Sönmez Özden - Yasin Ünlügenç	83
Vakumda İnce Film Kaplama Yöntemi ile Otomotiv Sektöründe Kullanılan Aynaların Üretimi Can Akyüz - Faruk Durulmuş - Hüseyin Parlar - Seniz Türküz	89
Derin Bombeli Ön Camlarda Oluşan Optik Problemi ve Çözümü Özgür Pişirici - Çağatay Suner - Dr. Reha Akçakaya	90
Cam Ev Eşyası Üretiminde Sıcak Cam Temas Malzemesi Olarak Kevlar Kullanımının Performansa Etkileri Tuğrul Misoğlu - Yüksel Soykut - Erhan İlter - Zeki Alimoğlu - Serkan İnce - Kaan Say	96
Cam Fırınlarda NO_x Emisyonu Oluşumu ve Azaltma Yöntemleri Barış Orhan - Levent Kaya	102
Sempozyumdan Görüntüler ve Yazarlar	122
Sempozyum Programı	126
Anahtar Sözcükler Dizini	128
Yazar Dizini	129

ÖNSÖZ

21. Cam Problemleri Sempozyumu yaklaşık 297 kişinin katılımıyla 17 Kasım 2006 tarihinde İş Sanat Kültür Merkezi İstanbul Salonu'nda gerçekleştirildi.

Sempozyumda toplam 50 yazarlı 17 bildiri sunuldu. Çok yazarlılık gruplararası işbirliğinin ve sempozyum ruhunun da bir göstergesidir.

Sempozyumda sunulan bildirileri daha önceki sempozyumlarda olduğu gibi kitap kapsamında derleyerek, değerli bir belge ve yazılı kültürümüzün bir parçası olarak topluluğumuzun hizmetine sunmaktan mutluluk duymaktayız.

Topluluğumuzun en önemli bilimsel-teknolojik paylaşım ortamlarından biri olan Sempozyumuza verdikleri destek için başta Genel Müdürümüz Sn. Doğan Arıkan ve Araştırma ve Teknoloji Genel Müdür Yardımcımız Sn. Dr.Yıldırım Teoman olmak üzere, tüm katılımcılara ve emeği geçenlere şükranlarımızı sunarız.

Editörler

A. Semih İşevi

sisevi@sisecam.com.tr

Melek Orhon

meorhon@sisecam.com.tr

Hande Sengel

Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

1. Giriş

Soda-kireç camlarının harmanında afinan madde olarak sodyum sülfat kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Harman reaksiyonlarında oluşan habbelerin cam eriyiğinden daha kolay uzaklaştırılmasını sağlayan sodyum sülfat, hemen her cam üreticisi tarafından tercih edilmekle birlikte, harman ve cam fonksiyonlarına etkilerinde hala bilinmeyen noktalar bulunmaktadır. Sadece afinasyon yardımı için değil, oksidantlık ve renklendirme özellikleri için de kullanılabilen sülfatın harmanda gerçekleşen reaksiyonları termodinamik olarak tam çözümlenmemiş olduğundan, kullanılacak optimum miktarları belirlemenin somut hesapları da bulunmamaktadır. Dolayısıyla cam üreticileri tarafından ya, cam kalitesinden taviz vermemek için fazla miktarlarda kullanılmakta, bu sebeple harman maliyetleri yükselmekte, sülfatın fazlası da bacalardan atılmaktadır. Ya da, emisyonları ve harman maliyetlerini kısmak üzere ihtiyaç duyulandan daha az mertebelerde kullanılmakta ve bu kez de cam kalitesinden bir miktar taviz verilebilmektedir.

Günümüzde cam dünyası hala sodyum sülfatın harman içindeki işlevini ve/veya tüketim miktarlarını sorgulayan çalışmalar sürdürmektedir. Şirketimiz Araştırma ve Teknoloji Genel Müdür Yardımcılığı bünyesinde yürütülmekte olan ARGE faaliyetlerinde de konuyla ilgili çeşitli çalışmalar yürütülmekte, Uluslar arası boyutta yürütülen projelere katılmakta ve ihtiyaç duyulduğunda fırınlarda denemeler yapılarak şirket tecrübesi oluşturulmaktadır.

Bu bildiride konuyla ilgili bilgileri özetlemek üzere sırasıyla;

- Sülfatın cam üretimindeki fonksiyonları,
- Harman erimesi sırasında ortama bağlı gerçekleşen kükürt reaksiyonları,
- Cam içindeki kükürt çözünürlüğü ve bunu etkileyen parametreler,
- Fırın içindeki kükürt dağılımı ve
- Kükürtün camın soğuması sırasındaki davranışı

aktarılacaktır.

Anahtar Sözcükler: *Sülfat, ergitme*

2. Sülfatın Cam Üretimindeki Fonksiyonları

Cam ergitme prosesinde sülfatın birkaç fonksiyonu vardır. Bunlar şu şekilde özetlenmektedir:

a) Afinan madde olması: Başta sodyum sülfat olmak üzere sülfat hammaddeleri, harmanın ergime prosesinde oluşan habbelerin atılmasına, afine olmasına yardımcı olmak üzere cam harmanına ilave edilmektedir. Sülfat bileşiklerinin, yüksek veya düşük sıcaklıkta dekompoze olmasını harmanın redoks konumu belirler. Oksidan harmanlarda yüksek sıcaklıklarda (1400°C), indirgen madde içeren harmanlarda ise daha düşük sıcaklıklarda (1000°C) dekompoze olmaya başlar ve cam eriyiği içerisinde gaz çıkışına sebep olur. Dekompozisyon gazları (SO₂ ve O₂) daha önceki aşamalarda gerçekleşmiş olan harman reaksiyonları sonucu oluşan küçük habbeciklerin içine difüzlenerak habbelerin büyümesine sebep olur. Bu şekilde büyüyen habbeler düşük viskoziteli cam eriyiği içinde yüzeye doğru kolayca yükselerek camdan atılır ve böylelikle oluşabilecek köpürme riskini ortadan kaldırır. Habbelerin yükselme hızı çaplarının karesiyle doğru orantılıdır. Tariflendiği şekliyle habbelerin cam eriyiğinden uzaklaştırılması işlemine birincil afinasyon (*fining*) denir.

Habbelerin cam içinde çözünerek küçülmesi sonucu yok olmaları ise, ikincil afinasyon (*refininig*) olarak anılır. Afinasyonun ikinci aşaması düşük cam sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Cam sıcaklığı düşerken, gazların kimyasal çözünürlüğünün artması nedeni ile gazlar cam içinde daha fazla çözünme eğilimi içinde bulunurlar. Afinasyonun birinci aşamasında cam yüzeyine çıkarak patlayıp yok olan habbelerin dışında, gerek yeterince büyümedikleri için, gerekse de fırın içinde daha derin cam tabakalarında oldukları için yüzeye çıkmak için yeterince süre bulamayan habbelerin iç basınçları artmaya başlar. Bu nedenle, habbelerin içinde bulunan gazlar ergimiş cama geçerek çözünmeye başlar ve dolayısıyla da habbelerin boyutları giderek küçülür. Düşük sıcaklıkta artan cam viskozitesinin izin verdiği ölçüde bu küçülme devam eder ve hatta birçok habbe de bu yolla cam içinde çözünerek yok olur. Sülfat afinasyonu söz konusu olduğu için burada habbelerin içinde bulunan SO₂ de düşen sıcaklığın etkisiyle cam içinde çözünür. Kükürtlü bileşiklerin cam içindeki çözünürlüğü fırın sıcaklığı dışında camın oksidasyon seviyesi, fırın atmosferindeki su konsantrasyonu gibi başka parametrelere de bağlıdır. Çözünürlük ne kadar fazla olursa ikincil afinasyon işlemi o denli gelişebilir.

b) Oksidan madde olması: Sülfatların bir başka özelliği de yüksek sıcaklıkta oksijen açığa çıkararak, cam harmanında oksidan etki yaratmalarıdır. Camda renklenme tamamıyla geçiş elementlerinin oksidasyon konumlarına bağlı olarak elde edildiğinden, renklendirme veya renksizleştirme işlemlerinde etkin bir oksidan madde olarak sülfatlardan yararlanılmaktadır. Böylelikle renklenmeye doğrudan katılmamakla birlikte ikincil bir görev üstlenir. Ancak çok oksidan renklerde sülfatlara ilave olarak antimon+ nitrat, arsenik+ nitrat gibi sistemler veya seryum oksit gibi farklı oksidan malzemelerde kullanılmaktadır. Bronz renk, düşük demirli kollektör camları ile renksiz cam ambalaj ve cam ev eşyası camlarının harmanları gibi harmanlar bunlara örneklerdir. Ancak kükürdün bal rengi oluşumundaki katkısı burada sözü edilen işlevinden farklıdır.

c) Renk katkısı olması: Yukarıda anılan camın renklenme mekanizmasına ikincil etkisinin dışında sülfatlardan gelen kükürt, indirgen koşullarda S⁻² formuna dönüşerek Fe⁺³ ile birlikte spektrumun görünür bölgesinde 400-425 nm’lerde absorpsiyonu olan bal rengi kromoforunu oluşturur ve böylelikle renklenme mekanizmasında bu kez birincil bir görev üstlenmiş olur. Bal rengi kromoforunun oluşumu, nelerden etkilendiğine ileriki bölümde detaylı olarak değinilecektir.

d) Silika çözünmesine yardımcı olması: Harman erimesi sırasında yukarıda da aktarıldığı gibi sodyum sülfat dekompoze olmasından önce 884°C’de erir ve düşük yüzey gerilimi olan düşük viskoziteli bir likit katman oluşturur. Bu sıvı faz kireç taşı ve kum tanelerini daha iyi ıslatıp daha hızlı çözünmelerine yardım eder. 1200°C’lerde gerçekleşen dekompozisyonu sırasında çıkan SO₃ gazları ise, eriyik içinde şiddetli bir karıştırma etkisi de yaratarak silikanın çözünme hızını artırır. Bu sıcaklıkların (1200-1400°C) üzerindeki sıcaklıklarda zaten % 85’i reaksiyonlar sırasında çözünerek erimiş olan silikanın kalan bölümünün eriyik içinde çözünmesi tamamlanır ve erime süreci tüm katı parçacıkların kaybolması ile sona erer. Ancak bu çözünme çok yavaş ilerler. Çünkü zaten eriyik artık silikaca zengindir ve viskozitesi artmıştır.

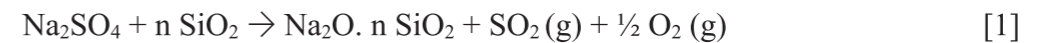
İndirgen eritme/afinasyon sistemlerinde, bilindiği gibi, sülfat ile karbon reaksiyonları daha düşük sıcaklıklarda başlayarak erime ve afinasyonun fırında daha erken başlamasını sağlar. Burada harmana ilave edilen indirgen madde miktarı ve cinsi çok önemlidir. İdeal olan, harmana ilave edilen indirgen maddenin erime ve afinasyonu erken başlatması, ancak tüm sülfatı tüketmeden, geriye kalan bir miktar sülfatın da yukarıda aktarılan ve ilk harman reaksiyonları sırasında erimeden kalan silika tanelerinin çözünmesini sağlamasıdır.

3. Harmanın Erimesi Sırasında Gerçekleşen Kükürt Reaksiyonları

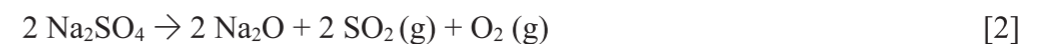
Fırına giren harmanın ısınmasıyla harman bileşenleri arasında çok çeşitli reaksiyonlar meydana gelir. Bunlar katı hal reaksiyonları, katı-sıvı fazlar arası veya sıvı-gaz fazlar arası reaksiyonlar şeklinde oluşur. İlk aşamalarda soda, kalker, dolomit gibi karbonatların dekompozisyonu ve silika ile reaksiyonu gerçekleşir. Bu reaksiyonlar neticesinde alkali ve toprak alkali silikatlar oluşur.

Oksidan camlarda

Herhangi bir indirgen madde (kömür veya organik maddeler) içermeyen oksidan harmanlarda sülfatlar daha kararlı davranır. İlave edilen sülfatın bir bölümü alkali ve toprak alkalilerle silikatları oluşturmayıp da kalan kum tanecikleri ile reaksiyona girer ve bu şekilde tüketilir:



Diğer bölümü ise, afinasyon işlemi gerçekleştirilmek üzere dekompoze olur:



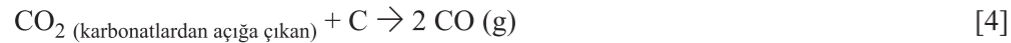
Bu reaksiyonun gerçekleştiği sıcaklığa afinasyonun başlangıç sıcaklığı denir. Hiçbir indirgen madde içermeyen harmanlarda bu sıcaklık 1480°C'de gerçekleşir. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda eriyik, pek sodyum sülfat içermez. Bu sıcaklığa kadar oldukça düşük mertebelerde olan SO₂ emisyonları da bu sıcaklıktan sonra hızla artar.

İndirgen camlarda

İndirgen camlarda harmana ilave edilen aktif karbonun (indirgen madde) bir kısmı fırın sıcaklığı ve kömürün tane iriliğine bağlı olarak, harman doghouse'dan girer girmez fırın atmosferindeki oksijen ile yanar:

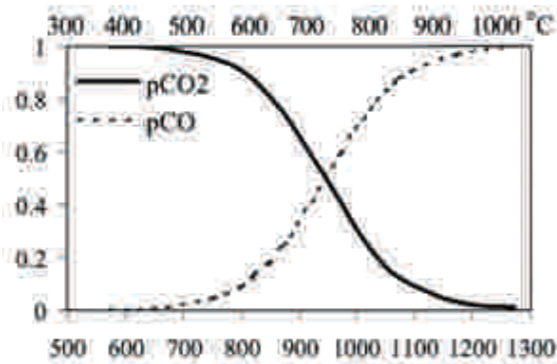


Diğer taraftan düşük sıcaklıklarda (650-870°C) karbonatların (soda, kalker, dolomit, varsa potasyum veya baryum karbonatlar) dekompozisyonu, büyük miktarda CO₂ gazı çıkışına sebep olur. İlk dolomit ile başlayan karbonatların dekompozisyonu daha sonra soda ve kalker ile devam eder. Dolayısıyla dolomit içermeyen harmanlarda içerene göre bu reaksiyonlar biraz daha geç başlayacaktır. İndirgen harmanlarda yukarıda aktarılan indirgen maddedeki karbonun oksijenle yanandan daha büyük bölümü ise, karbonatların dekompozisyonundan açığa çıkan karbondioksit ile Boudouard reaksiyonunu gerçekleştirir:



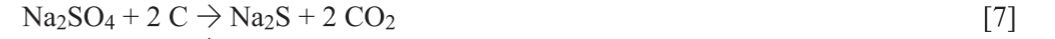
Bu noktada harmana ilave edilen karbon kaynağının (indirgen maddenin) türü ve tane boyutu, tanecik şekli ve taneciklerin yüzey alanı Boudouard reaksiyonunun ne ölçüde gerçekleşeceğini bir başka deyişle karbonun ne kadarının bu şekilde tüketileceğini belirler.

1990'lı yılların ikinci yarısına kadar karbonun kaybedilen kısmının yukarıda verilen ilk reaksiyonla gerçekleştiği düşünülmekte idi. Ancak son dönemlerde yapılmış olan deneysel çalışmalar oksijen ile yanmanın sadece harmanın fırına girdiği sıradaki düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğini, daha ileriki sıcaklıklarda ise ikinci reaksiyonun gerçekleştiğini, hatta diğerine göre karbonun çok daha büyük bölümünü tükettiğini göstermiştir (Şekil 1). Böylelikle iki aşamada büyük bir bölümü (yaklaşık % 60-70'i) kaybedilen aktif karbonun kalan kısmı (% 30-40) sülfatla reaksiyonlara girecektir.

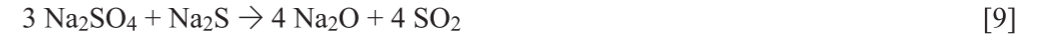


Şekil 1: Sıcaklığa bağlı CO₂-CO dönüşümü.

Karbonun her iki reaksiyonla kaybedilenden arta kalan kısmı 1000°C'lerde sülfat ile doğrudan ve silika ile birlikte olmak üzere iki çeşit reaksiyona girer:



Daha sonra sıcaklık yükselirken, yeni oluşmuş eriyik içerisinde, reaksiyona girmemiş sodyum sülfat ile kömür-sülfat reaksiyonu sonucu oluşan sodyum sülfid reaksiyona girer ve her ikisinin de konsantrasyonuna bağlı olarak farklı oranlarda afinasyon gazları (SO₂ ve S₂) açığa çıkar:



İndirgen madde içeren harmanlar için yukarıdaki kükürtlü gazların çıkmasıyla afinasyon işlemi de başlar. Bu zincirleme akış içinde ortaya çıkan O₂ ve SO₂ gazları, habbe çapını büyütür ya da basıncı düşürdüğü için cam içinde çözünmüş diğer gazların tekrar habbeye geçmelerini sağlamak suretiyle afinasyona yardımcı olmaktadır. Ayrıca sülfatlar yüzey gerilimini düşürerek cam içinde yükselen irileşmiş habbenin yüzeyi terk etmesini kolaylaştırmaktadır. Sıcaklık artmaya devam ettikçe de eriyiğin viskozitesi düşeceği için, yukarıda verilen reaksiyonların hızları artar ve bu da ergimiş camın karışması ve homojenleşmesini sağlar.

İndirgen camlarda gelişen 9-11 no'lu reaksiyonların tamamı 1000-1200°C'lerde gerçekleşir. Bu durum oksidan harmanlarda 1400'lerde gerçekleşen sülfat dekompozisyonunun (afinasyon başlangıcının) harmana indirgen katkı ilavesiyle ne kadar öne çekilebildiğinin göstergesidir.

Ancak 9-11 no'lu reaksiyonlar içinde çoğunlukla 9 no'lu reaksiyonun gerçekleştiği söylenebilir. Gerçekte fırın uygulamaları ve laboratuvar deneyleri de en etkin erime ve afinasyonun gerçekleşen ve en az renk problemi yaşanan reaksiyonun da bu reaksiyon olduğunu göstermektedir. Çünkü bilindiği gibi, indirgenliğin fazla olması durumunda erime şartları avantajlı olurken diğer yandan camdaki kükürdün büyük bir bölümü S⁻² ye indirgenerek, Fe⁺³ ile bal rengi kromoforu oluşturmaktadır. Dolayısıyla indirgenlik arttıkça üründe bal rengi dalgaların gelmesi ihtimali ortaya çıkmaktadır. İşte bu sebeple, optimum miktarlarla hazırlanan reçetelerle 9 no'lu reaksiyonun gerçekleşmesi sağlanarak, hem maksimum eritme/afinasyon avantajından faydalanılmış, hem de renk problemi tehdidi yaşanmamış olmaktadır.

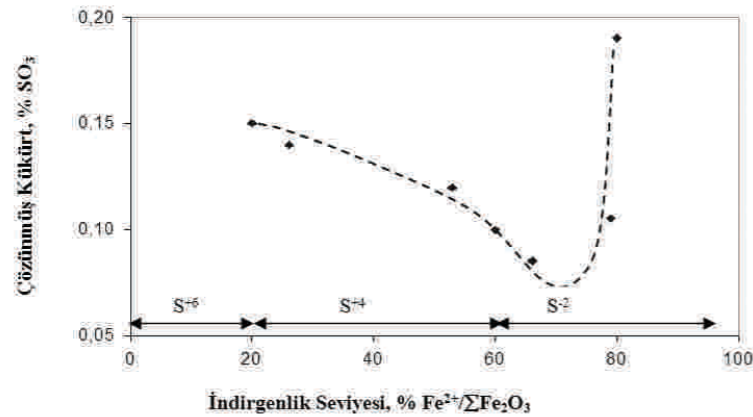
4. Cam İçindeki Kükürt Çözünürlüğü ve Bunu Etkileyen Parametreler

Harmana ilave edilen sülfat veya diğer kükürtlü hammaddelerden gelen kükürdün bir miktarı cam içinde çözünür. Cam içindeki kükürt çözünürlüğü harmanda kullanılan kükürt kaynağı hammaddenin türünden bağımsız olarak gerçekleşir ve fırın sıcaklığı, camın bazisitesi (içerdiği alkali ve toprak alkali miktarı), fırın atmosferindeki su buharı kısmi basıncı gibi parametrelerden ve en önemlisi de camın ve harmanın redoks konumundan etkilenir. Böylelikle cam analizinde çıkacak kükürtlü bileşik miktarını (cam içinde çözünmüş kükürt miktarını)

- fırın sıcaklığı (sıcaklık arttıkça çözünürlük düşecek),
- ana cam kompozisyonu (kompozisyon ne kadar çok alkali ve toprak alkali oksit içerirse yani bazisitesi artarsa çözünürlük artacak),
- fırın atmosferindeki su konsantrasyonu (atmosferdeki su konsantrasyonu arttıkça çözünürlük düşecek)

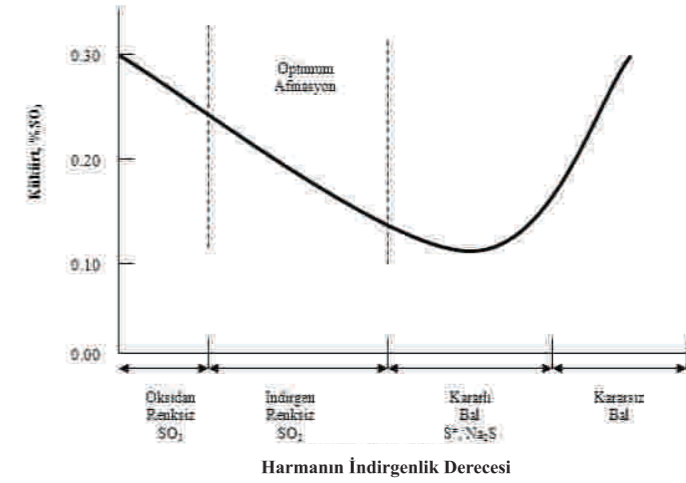
bir miktar etkileyecek ancak en önemlisi camın oksidasyon konumu belirleyecektir. Kimyasal tepkimelerde kükürt dört oksidasyon konumunda (S^{-2} , S^0 , S^{+4} , S^{+6}) bulunur. Ancak cam içinde elementer kükürt dışındaki formlarıyla yer alır. İndirgen koşullarda S^{-2} değerlikli formu oldukça karardır. Camın oksidasyon konumunu içinde fiziksel olarak çözünmüş oksijen kısmi basıncı ifade eder. İndirgen camlar için (bal rengi camlar) $1400^{\circ}C$ 'de bu değer (pO_2) $< 10^{-6}$ bardır. Renksiz cam ev eşyası vb oksidan cam terkiplerinde ($1400^{\circ}C$ 'de $pO_2 > 10^{-4}$ bar), kükürdün kararlı formu S^{+6} 'dır. Bu kararlı formlarıyla cam içinde çözünürlüğü yüksektir. Oksidasyon konumunun arada kaldığı değerlerde (indirgen renksiz, yeşil vb) ise, kükürt genellikle cam yapısında S^{+4} formunda bulunur ancak bu formu kararlı olmadığı gibi, çözünürlüğü de diğer formlarına göre düşüktür.

Geçmiş dönemlerde yapılmış olan çalışmalarda Budd'ın bulunduğu camın oksidasyon seviyesi ile sülfat çözünürlüğü arasındaki ilişki Şekil 2'de verilmektedir. Literatürde Budd eğrisi olarak anılan bu grafiğe göre, cam oksidandan indirgene kaydıka (camın oksidasyon seviyesi Fe^{+2}/Fe_2O_3 olarak ifade edilmektedir) SO_3 çözünürlüğü azalmakta, bir minimum verdikten sonra çok indirgen camlara gidildikçe tekrar hızlıca artmaktadır. Grafikte verilmiş olan Fe^{+2}/Fe_2O_3 ve SO_3 değerleri bağıl değerlerdir. Mutlak değerler cam terkiplerine göre değişebilmektedir. Camın renksizden bal rengine dönüşü de bir ölçüde harman redoksu bakımından indirgenlik göstergesi olacağından bir başka grafikte de bu benzer ilişki görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 2: Camın indirgenlik seviyesi ile çözünürlük ilişkisi

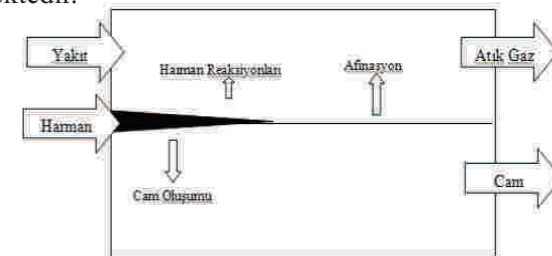
Şekil 3'te renksiz camlar oksidan ve indirgen olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Yukarıda da ifade edildiği gibi harmanında bir miktar karbon hammaddesi içeren indirgen camların SO_3 çözünürlüğü oksidan camlara göre düşüktür. Dolayısıyla kükürtlü bileşiklerin büyük bir bölümünün gaz fazda atmosfere atılması söz konusudur. Düşük çözünürlük, bu gazların daha çabuk atılmasına neden olduğundan indirgen camların afinasyonu daha düşük sıcaklıklarda başlamanın yanı sıra, afinasyon hızları da oksidanlara oranla yüksek olur. Diğer taraftan her iki şekilde de ilerleyen indirgenlikle çözünürlük bir minimum verdikten sonra, aşırı indirgen bölgede tekrar bu kez çok hızlı bir şekilde artar. Bu bölgede grafiğin eğimi çok diktir ve yükselen çözünürlük renkte kararsız bölgeye denk gelir. Genellikle bal rengi üretimler kararlı bal diye grafikte ifade edilen çözünürlüğün düşük olduğu bölgede yapılır. Ayrıca kararsız bal bölgesinde grafiğin eğimi çok dik olduğundan indirgenlikteki en küçük bir değişim kükürtlü bileşiklerin tekrar gaz faza geçmesine sebep olur ve habbe problemi yaratabilir.



Şekil 3: Harman redoksuyla sülfat çözünürlüğü ilişkisi

5. Fırın İçindeki Kükürt Dağılımı

Yukarıda özetlenen bilgiler ışığında afinasyon, oksidan katkı, eritme katkısı veya renk katkısı olarak farklı amaçlarda harmana ilave edilen kükürt fırına ciddi miktarlarda girmesine rağmen, çözünürlüğün de etkisiyle, nihai cam buna göre çok daha küçük bir miktar kükürt içermektedir. Fuel oil yakan fırınlarda, harmandaki katılardan gelen kükürdün yanı sıra bir de yakıttan ilave kükürt gelmektedir. Gelişen reaksiyonlar sonucunda fırına giren kükürt ile camda kalan kükürt arasında belirgin bir fark oluşur. Bu da önemli miktarlardaki kükürtlü gazların (SO_x) bacalardan atıldığını göstermektedir. Bu sebeple, cam sanayii SO_x emisyonlarını minimize etmek üzere sürekli gayret göstermektedir. Şekil 4 şematik olarak fırın içindeki kükürt kütle dağılımını göstermektedir.

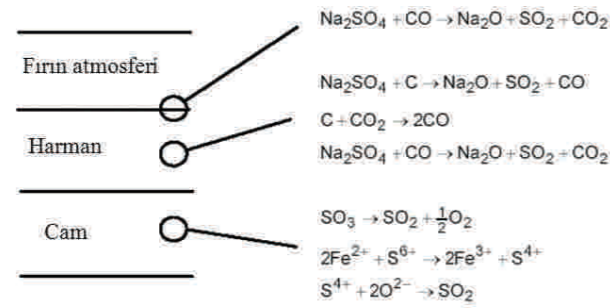


Şekil 4: Fırın içindeki kükürdün kütle dağılımı

Camın ergitilmesi prosesi sırasında oluşan atık kükürtlü gazların üç ana kaynağı bulunmaktadır:

- Harmanda yer alan sodyum sülfat ile indirgen hammaddelerin reaksiyonları,
- Fırın atmosferindeki karbon monoksit (CO) ile yine harmanda yer alan sodyum sülfatın reaksiyonu, ve
- Afinyasyon sırasında gaz fazda açığa çıkması.

Yukarıda özetlenen reaksiyonlar Şekil 5’de gösterilmektedir.

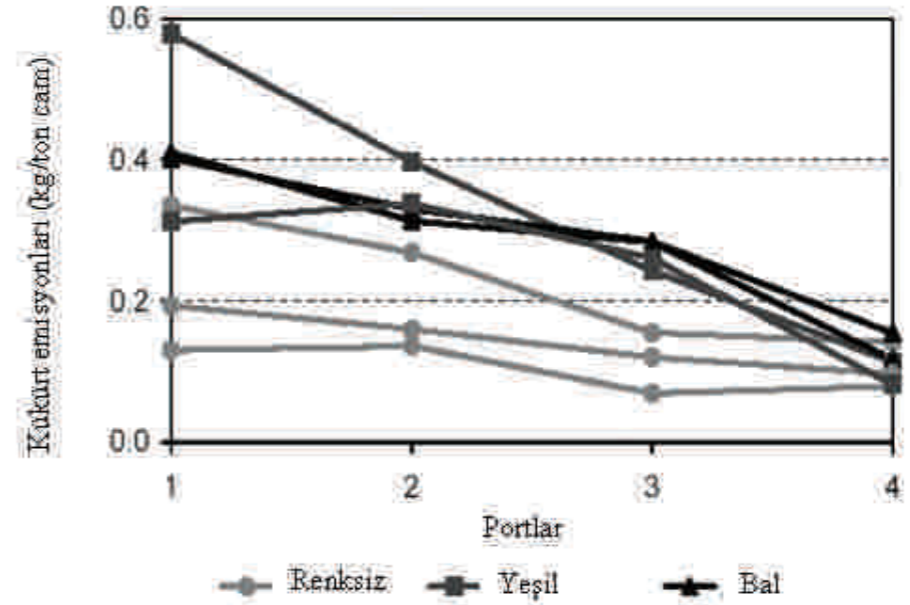


Şekil 5: Cam ergime prosesinde meydana gelen kükürt reaksiyonları

Yakıttan ve yakma havasından gelen kükürdün tamamı bacalardan atılmaktadır. Ancak her zaman atılan miktar yakıt ve havadan gelenden daha fazladır. Yakıt ve havadan gelen kısım değerlendirme dışında bırakıldığında, yani kükürt emisyonlarından yakıt ve havadan gelen miktar çıkarıldığında, geriye kalan harman ve cam eriyiğinden buharlaşmıştır. Bacalardan atılan harman ve cam kökenli kükürdün, fırına giren miktar ile doğrudan bağıntılı olduğu bilinmektedir. Fırına harmandan ne kadar çok miktarda kükürt girerse, bacadan da o oranda fazla atılmaktadır. Tabii söz konusu fırında üretilmekte olan camın rengi dolayısıyla oksidasyon konumu da bu ilişkiyi belirleyen en önemli parametredir. Cam ambalaj fırınları için yapılan incelemelerde camlar içinde harmandan gelip de atılan kükürt miktarı en fazla olan fırınların, kükürt çözünürlüğü en düşük olan bal rengi cam üreten fırınlar olduğu tespit edilmiştir. Cam ev eşyası gibi oksidan renksiz cam üretimi yapan fırınlarda ise bu miktar en azdır.

Literatürde, fırın içinde cam ve harman yüzeyinden atılan kükürt dağılımını göstermek üzere yandan ateşlemeli fırınlarda yürütülen bir çalışmanın sonuçları Şekil 6’da verilmektedir. U şekil çeşitli renklerde üretim yapan yandan ateşlemeli cam ambalaj fırınlarında tespit edilmiş olan kükürt kütle dengesini göstermektedir. Üretilen camın rengine bağlı mutlak değerlerde farklılıklar olmakla birlikte tüm fırınlar için tipik olan, emisyonların harman üstüne denk gelen birinci portlarda en yüksek, afinyasyon bölgesine denk gelen son portlarda da en düşük seviyelerde olmasıdır.

Şekil 6’dan da görüleceği gibi, kükürt reaksiyonlarının yaklaşık 2/3’ü harman erimesi sırasında gerçekleştiğinden bu reaksiyonlardan çıkan gazlar 1 ve 2’nci portlardan atılırken, reaksiyonların 1/3’ü ise afinyasyonda gerçekleşir ve dolayısıyla burada çıkan gazlar da 3 ve 4’üncü portlardan atılmaktadır. Burada miktarlar cam rengine göre farklılıklar göstermekle birlikte, tüm renkler için oranlar birbirine yakındır.



Şekil 6: Yandan ateşlemeli fırınlarda fırın boyunca harman ve cam üzerinden atılan kükürt miktarları

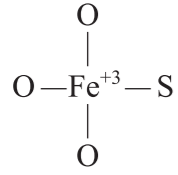
Yakıttan gelen kükürt farklı yakıt kalitesi veya yakıt türü seçimiyle minimize edilebilmektedir. Ancak harmandan katılan kükürdü azaltabilmek için ergime sırasında gerçekleşen kükürt reaksiyonlarını iyi bilmek gerekmektedir.

6. Kükürdün Camın Soğuması Sırasındaki Davranışı

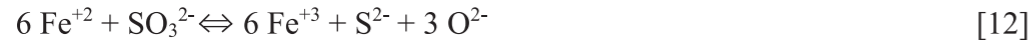
Bilindiği gibi, özellikle cam ambalaj renklerinden olan bal rengi cam, kükürdün indirgen formu ile Fe^{+3} ’ün birlikte yaptıkları bir kromofor ile elde edilmektedir. Ancak bu renklenme diğer renklerde olduğundan biraz farklı olarak gerçekleşmektedir.

Çok uzun zamandır üretilmekte olan bal rengi camın renk oluşumu, 1990’lı yıllarda yapılan çalışmalarla netlik kazanmıştır. Literatürde aktarılan bazı çalışmalar kükürt ve demir içeren camların soğuma sırasında indirgenlik seviyelerinin ($\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$) değiştiğini göstermiştir. İndirgen camlarda (bal rengi elde edilecek kadar indirgen), soğuma sırasında Fe^{+2} ’nin azaldığı, Fe^{+3} ’ün ise arttığı gözlenmiştir. Oysa renksiz camlarda soğuma sırasında bu oran Fe^{+2} yönünde gelişmektedir.

Yine literatürdeki bazı çalışmalarda bal rengi camın yüksek sıcaklıklarda absorpsiyonu izlenmiş ve 650-700°C’ın üzerindeki sıcaklıklarda bal rengi absorpsiyonu olan 400-425 nm dalga boylarında absorpsiyon görülemediği. Oysa bu sıcaklıkların altına inildikçe absorpsiyon gittikçe güçlenmekte ve bal rengi ortaya çıkmaktadır. Bal rengine Fe^{+3} , üç köprü yapan oksijen ve bir de S^{2-} ile kromoforu oluşturur:



Reaksiyonlar:



veya



şeklinde gelişir. Her iki reaksiyon da soğuma sırasında sağ tarafa doğru gelişir ve kromoforu oluşturan Fe^{+3} ile S^{2-} oluşmasıyla sonlanır.

7. Sonuç

Bu bildiriye, soda-kireç camları başta olmak üzere çeşitli cam türlerinin üretiminde eritme/afinasyon geliştirici, renklendirici, oksidan katkı olmak üzere çeşitli amaçlar için harmanlara ilave edilen sülfatın kimyası mercek altına alınmıştır.

Cam üretimimizdeki hâkimiyetimizi arttırmak, konuyla ilgili bilgileri pekiştirmek üzere, sülfatın cam üretimindeki fonksiyonlarına ve bunları anlayabilmek üzere, harman erimesi sırasında ortama bağlı gerçekleşen kükürt reaksiyonlarına değinilmiş, kükürt bileşiklerinin cam içindeki çözünürlüğü ve bunu etkileyen parametreler irdelenmiştir. Fırınlardaki girdi ve çıktı ilişkisini net ortaya koyabilmek üzere fırın içindeki kükürt dağılımı değerlendirilmiş ve son olarak da kükürdün camın soğuması sırasındaki davranışı, yani renklendirme etkisi aktarılmıştır.

Burada aktarılan tüm bilgiler, cam üretiminde kükürt/sülfat kimyasının ne denli önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir. Cam kalitesi, maliyet ve emisyonlar gibi doğrudan etkilenen parametrelerin optimize edilmesi tamamen bu konudaki bilgiye hakim olmaktan geçmektedir. Söz konusu bilgiye hakim şirketler kükürt ile ilgili bu optimizasyonları en iyi yapanlar olacaktır.

AĞIZ HATALARINI AYIRMA MAKİNESİ GÖRSEL KALİTE KONTROL SİSTEMİ

Tuğrul Misoğlu - A. Yüksel Soykut
İş Geliştirme Müdürlüğü / Cam Ev Eşyası Grubu

Rekabet gücü açısından, küreselleşme ile ortaya çıkan rekabet koşulları içinde dünya pazarlarına açılmış ve bütünleşmiş firmamızın sürekli gelişim hedefine katkıda bulunmak amacıyla, cam mamullerin kalite kontrolünü otomatik olarak, yapay görsel tekniklerle yapacak bir makinanın yapılması planlanmaktadır. Üretilen cam mamullerde, üretim aşamasında hatalar oluşmaktadır. Projemizde; bu tür hatalı ürünlerin erken aşamada fark edilip, paketlenme öncesi üretim hattında ayrılmaları hedeflenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kalite kontrol, ağız hatası

Kalite nedir?

Küreselleşen dünya şartlarında tüm kuruluşlar pazardan daha fazla pay alabilmek ve uzun vadede ayakta kalabilmek amacıyla köklü bir takım değişikliklere gitmekte ve bu değişimleri tabana yayarak uygulamaktadırlar. Bu noktada anahtar kelime değişen rekabet koşullarında “Kalite” dir. Yapılan tüketici ve müşteri memnuniyeti araştırmalarında tüketicilerin bir ürünü veya bir hizmeti tercih etme nedenlerinin başında artık kalite gelmektedir. Genel bir bakışla kalite kavramı standartlara uyum ya da fonksiyonlara uygunluk olarak ta ele alınmaktadır. Bir ürünün kalitesi, tüketici ihtiyaçlarını en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan mühendislik ve imalat özelliklerinin bileşenlerinden oluşur. Bu bileşenler kısaca :

- Performans : Üründen beklenen temel çalışma özellikleridir.
- Fonksiyon : Ürünün kabiliyetlerini tanımlar.
- Güvenilirlik : Ürünün belirlenmiş performans verimliliğidir.
- Dayanıklılık : Ürünün standart kullanım koşullarındaki dayanımıdır.
- Uygunluk : Ürün tasarımının belirli kriterlere uyumudur.
- Hizmet Kalitesi : Ürünün onarım süresi ve uzmanlıktır.
- Estetik : Üründeki estetik yeteneği, Moda-Marka olabilme yetisidir
- Beklenti : Marka değeri; Prestij ve Kozmetik değeridir.

Kalite kavramı, en genel anlamıyla, “kullanım amacına uygunluk” olarak ta tanımlanabilen somut bir kavramdır. Bu kavram işletmelerin tasarım, üretim, nakliye, satış, satış sonrası teknik destek ve hizmet aşamalarına kadar uzanan ve esasında pazarda başlayan ve pazarda biten bir süreç olma özelliğini taşır.

İşletme bütününde kaliteyi sağlamanın en etkin temel aracı her zaman insan faktörüdür. Bu sebeple bazen yapılacak küçük bir hata işin bütünselliğinde maliyeti ciddi oranda artıran faktör olabilir. Bu gibi durumlarda riski ortadan kaldırmak ya da en aza indirebilmek için üretimde ileri otomasyon tekniklerinin geliştirilmesi ve insan gücünde eğitim süreçlerinin kalitesi büyük önem taşır.

Kalitenin sağlanmasında; Yapay görme uygulamalarını da içine alan üretim ölçme teknikleri, yapısal özellikleri kapsayan ve üretim otomasyonu olarak tanımlanan ileri imalat teknolojilerinin işletmedeki yeterliliği hayati öneme sahiptir. Bu tip teknolojilerin kullanımı sonucunda insan hatalarının en aza indirilmesi sağlanarak risk ve fire azaltılmakta, üretim hızı artırılarak verimlilik yükseltilmekte, kozmetik değerler daha da iyileştirilerek son kullanıcı memnuniyeti üst seviyelere taşınmakta ve nihayet servis giderleri azaltılarak ekonomi sağlanmaktadır. Sonuçta bu yollarla kar maksimizasyonunun sağlanması da çok daha kolaylaşmaktadır.

Gün geçtikçe çok daha yaygın kullanılmaya başlanan Kalite kriterlerinin gerçekleştirilmesinde ileri imalat ve kontrol teknolojilerinden biri de üretim safhasında uygulanan “Yapay Görme” ya da diğer adıyla “Makine Görme” olarak tanımlanan kalite kontrol teknolojisidir. Bu tekniğin üretim alanı içinde en yaygın uygulama alanlarından biri de ürünün paketlenme-ambalajlama safhasını da içine alan ve son kontrol olarak ta tanımlanan üretim aşamasıdır.

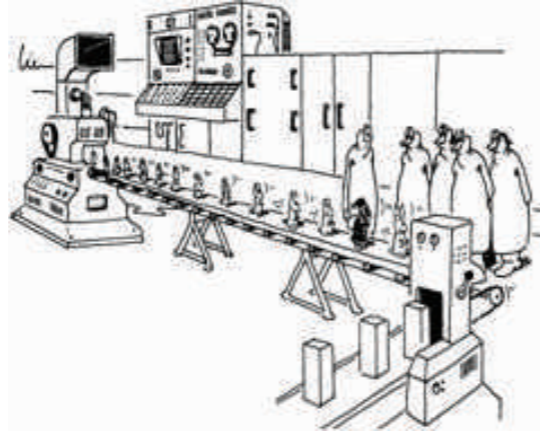
Yapay Görme Teknolojisi

Günümüzde yaşanan hızlı rekabet şartları bir ürünün satışında fiyat ve performans bileşkesini; üretiminde ise maliyet ve kalite ilişkisini sürekli ön planda tutmaktadır. Bir diğer deyişle bu dört parametre bileşkesi sonucunda endüstride istenen düşük maliyetle üretime karşılık yüksek ürün kalitesidir. Bu amaçlar doğrultusunda yapılandırılmış olan modern üretim tesislerinde üretilen her ürün başlangıcından son kullanıcıya ulaşana kadar bir dizi işlemler ve kontrollerden geçirilir. Bu sürecin adına genel tanımıyla “Endüstriyel Otomasyon” denmektedir.

Üretim kalitesinin belirlenmiş standartlara göre uygunluğunu sağlayan ya da denetleyen tekniklerden biri de günümüzde oldukça yoğun olarak kullanılan ve “Yapay Görme” olarak tanımladığımız imge işleme, görüntü tanıma, ya da makine görü/ görme teknolojisidir. Bu kavramlar genelde birbirinin yerine sıklıkla kullanılmakla birlikte aralarında bazı ciddi farklılıklar vardır. Örneğin Görüntü İşleme, bir imgeyi diğer bir imgeyle karşılaştırır. Makine Görme (Machine Vision), sisteminde ise görüntü işleme operasyonu imgedeki istenen ya da önemsenen özellikleri seçer veya belirli imge bölgelerine ait işaretleri yükseltir.

Bu işaretler renk, şekil, boyut, farklılık, sınıflandırma vs olabilir. Bu aşamada imge analiz edilerek alınan veriler ölçülebilir değerlere çevrilir. Bu nedenle “Makine Görme” terminolojisi endüstride çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

1980’lerin başında Amerika’daki Üretim Mühendisleri Birliği (*Society of Manufacturing Engineers / SME*) *Machine Vision / Makine Görme terminolojisini* “ Bir makinenin ya da bir işlemin otomatik olarak ve temassız algılama yolu ile anılan yerini bulma, yoklama, sayma, ölçme, tanımlama ve doğrulama amaçlı gerçek bilgilerinin ve üretimde kalite testi, proses kontrolü ya da bilimsel amaçlı yorumlanması için kullanılan cihazlara ve/veya üretim sistemlerini uzaktan algılayarak kontrol etmek için geliştirilen teknolojiler” olarak tanımlamıştır

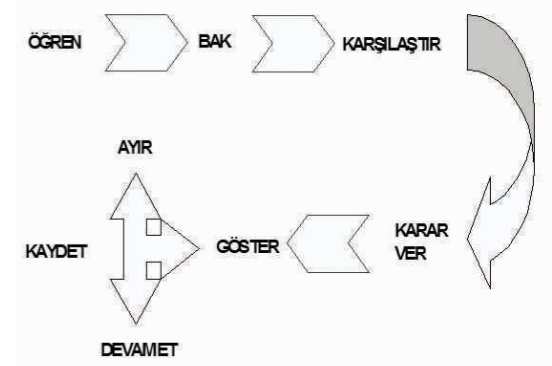


Doğal ve Yapay Görme Arasındaki Fark

İnsanoğlunun bilinen tarihinden bugüne dek gelen süreçte bir çok farklı işlem ve/veya üretim tipi için emek yoğun kontroller hala insanın görme kabiliyetine dayalı olarak yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Görmenin yanında yoğun olarak kullanılan diğer dört duyu ve paralel olarak algılama, dikkat ve hafıza özelliklerinden de yararlanan bu yöntemin basitçe şeklinde bir işlem zinciri olarak özetlenebilmesi olanaklıdır.

Bu tanımlanmış akış diyagramı geneldir.

Bu noktada en önemli kriter insan beyninin verimliliği ve görme kabiliyetinin yeterliliğidir.



Buna paralel olarak insanın görme, izleme ve karar verme kabiliyeti milyonlarca yıllık evrimin sonucunda gittikçe gelişen bir programlama yeteneğine ve nesilden nesile aktarılan genetik öğrenme kabiliyetine sahiptir. İnsan beyninde milyonlarca Nöron görsel denetim işlevi için görevlendirilmiştir. Buna göre sıradan bir görsel kontrol bilgisinin komuta dönüşümünün işlenmesi için milyonlarca Nöron ve her biri milyonlarca komutla (*Sinapsis*) bir hesaplama yaparak aldığı görüntüyü göreceli biçimde çabuk ve kolay işleyebilir. İnsanoğlu işte bu kabiliyeti sayesinde çok çabuk öğrenebilme, uyum gösterebilme ve değişik nesnelere farklı/değişken aydınlatma koşullarda dahi rahatlıkla ayırt edebilme esnekliğindedir.

Yapılan bir dizi yeni bilimsel araştırmalar sonucuna göre insan beynindeki görme merkezinin saniyede yaklaşık **1015** işlem, yani **1,000,000,000 MIPS** (*Saniyede Milyon Komut*) işlem yaptığı sonucuna ulaşılabilmektedir. Elde edilen bu sonuç bugünün teknolojisiyle karşılaştırıldığında olağanüstü bir kapasite anlamına geldiği, hiçbir yoruma gerek duyulmayacak şekilde açıklıkla ortaya çıkar. İnsan beyninin bu müthiş sayısal gücü çok zor görsel problemin kolayca çözülmesine izin verir. Bu tip özellikler sayılabilecek onlarca yetenekten sadece bir kaçıdır. Oysa günümüzde en iyi teknolojiye sahip bir Yapay Görme Sistemi ile yaklaşık **3.000 MIPS** arasında işlem hızına ulaşılabilmektedir. Bu sayısal bilgiler kabaca yorumlandığında bile teknolojinin bu gün geldiği noktanın insana göre ne kadar büyük bir oranda daha az olduğu çok net bir şekilde açıktır. Sonuç olarak, insan gözüne eşdeğer alternatif bir algılayıcı tasarımı bu gün henüz başarılmış değildir bu basit karşılaştırma dikkate alındığında bile insan emeğine alternatif olarak uygulamaya geçirilen en yeni teknolojik buluşlar ortalama zekaya sahip bir insanın görsel kabiliyetinin yalnızca çok sınırlı bir bölümünün gerçekleştirilebileceğini ortaya çıkarmaktadır.

Günümüzde yaşanan baş döndürücü hızdaki rekabet şartları temelinde görme işleminin endüstride kontrol amaçlı uygulanması söz konusu olduğunda işler bir miktar değişir. Örneğin akan bir hat üstünde kontrol edilecek herhangi bir üründe fiziksel veya geometrik detayların fazla, üretim hızının yüksek olduğu, ya da malzemenin renk ve ışık özellikleri nedeniyle görme kabiliyetini zorlayan unsurlar olduğu ve nihayet insanın kişisel özelliklerinden kaynaklanan yapısal ve psiko-sosyal değişken faktörlerin belirgin olduğu durumlar nedeniyle insan gözüyle kontrol zorlaşır, çoğu kez de imkânsızlaşır.

İnsanoğlu, parça üstünde denetim için saniyede ancak birkaç ölçüm yapabilse de, [ki bu süre günümüzün üretim dünyası için oldukça uzun sayılmaktadır] elde edilen sonuçlar kesin doğrulukta tekrarlanabilir ve en önemlisi güvenilir olamaz. Dolayısıyla risk içeren ve/veya yüksek verimlilik gerektiren üretim tiplerinde benzer faktörler de dikkate alınarak biyolojik tabanlı görsel kontroller yerine ileri teknoloji tabanlı Yapay Görme Kontrol Sistemlerinin kullanılması tercih edilir. Bu tip sistemler insan gözüne kıyasla tasarıma bağlı olarak yüksek hızlarda bile değişmez doğrulukta yüzlerce ölçüm gerçekleştirilebilir. İnsan emeği ve toplam görsel kabiliyetine karşı alternatif olarak geliştirilen bu tip teknolojik uygulamalarda yapay görmenin getirdiği en büyük avantajın hız, kesinlik ve güvenilirlik sonucunda ulaşılan yüksek prestij ve ekonomik verimlilik olduğu ilk adımda bile rahatlıkla söylenebilir. İnsanın görme işlevi, toplamda çok daha kabiliyetli bir yapıda olmasına karşılık işe odaklı tasarlanmış bir yapay görme sistemi kadar hassas ve hızlı değildir. Bu nedenlerle insanın görme kabiliyetine dayalı kontroller özellikle üretimde maliyet verimliliği, kozmetik rekabet, kalite organizasyonu gibi faktörler açısından pek istenmez.

Sonuç olarak en mükemmel şekilde tasarlanmış bir yapay görüş sistemi ortalama zekaya sahip bir insan beyni kadar mükemmel esneklik ve karmaşık fonksiyon kabiliyetine sahip olmasa da, bu sistemlerden beklenebilecek en büyük avantajın çok daha hızlı, hassas, tekrarlanabilir ve güvenilir işlem olduğu unutulmamalıdır. Bu yapıdaki bir sistemin performansı ölçülürken insan zekasının mükemmelliği önemli bir kriter olarak göz önünde bulundurulmalı ve karşılaştırma yapılırken sisteme yüklenen görev tanımlarının yukarıda anlatılan zorluklar doğrultusunda düşünülmesi, isteklerin abartılmaması ve mutlaka kabul edilebilir düzeye indirgenmesi gereklidir.



Tüm bu araştırma ve geliştirmeler sonucunda ortaya konulan sebep sonuç ilişkisinde varılan son nokta makinenin gitgide daha büyük oranda insan emeğine alternatif olduğu yönündedir.

Y.G Sistemlerine Neden ve Nerede gereksinim duyulur?

Yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda üretim yapan bir işletmede kalite amaçlı rutin görsel kontrol uygulamalarında her bir üretim bandı ve aynı tip ürün için çalışan bir insanın ortalama konsantrasyonunun en fazla 3 saatle sınırlı olduğunu belirlemiştir. Buna göre günlük mesai saatleri içinde ortalama en az 1-2 kişilik görsel kalite kontrol amaçlı insan gücüne ihtiyaç duyulacaktır. Bazı işletme kollarında bu tür işçilikler ucuzdur ve kalite stratejik gereklilik taşımaz. Ancak tersi durumlarda, yani kalitenin stratejik önem taşıdığı ve çalışan sayısının arttığı durumlarda uzun üretim maliyetleri yükselir. Bu nedenlerle yapay görme ya da diğer adıyla Makine Görme veya görüntü tanıma kontrol sistemleri güvenilirlik ve hassaslığın önemli olduğu, tekrarlanabilirliğin kritik önemde olduğu uygulamalarda yoğun olarak kullanılmak zorundadır.

Yapay Görme Sistem Bileşenleri

Endüstride çok farklı kullanım alanları bulan yapay görme sistem bileşenlerin seçiminde kullanım amacına göre farklılıklar oluşmakla birlikte her tip uygulama için ortak bir sınıflandırma yapmak mümkündür.

Bu bileşenlerden herbirinin ayrı ayrı seçimi tasarımın doğruluk ve kalitesini tümünden etkiler. Her farklı uygulamada sistemden beklenen kabiliyetler değişkenlik arz edeceği için sistem bileşenleri uygulama tipine göre çeşitli özelliklerde seçilir. Örneğin ürünün bant üstündeki hareket hızı, boyutu, rengi ve yapısı kameranın seçiminde, ürün geometrik ölçüleri ve uygulamanın yeri nedeniyle bakma uzaklığı merceğin seçiminde ve ürünün fiziksel özellikleri, geometrisi, rengi aydınlatma sisteminin tasarımında çok büyük önem taşır. Tasarlanan en mükemmel yapay görme sistemi yalnızca programlandığı kadar iyi ve en zayıf bileşenleri kadar mükemmel bir performansta çalışabilir. Bunun unutulmaması sistemden beklenen verimin tanımlanması açısından çok önemlidir.

Kamera

Kamera detaylarındaki seçiminin yapay görme sistem tasarımındaki en kritik adım olduğu, konu uzmanlarının ortak görüşüdür. Esas olarak kameradan beklenen, uygun ve sabit bir aydınlatma altında Lensten CCD sensöre yansıyan imajı gelişkin elektronik devresi içinde analiz ederek saklanabilecek bilgiye çevirmesi ve ekrana vermesidir.

Dijital Kamera	Analog Kamera
<i>Yeni teknolojik altyapı.</i>	<i>Teknolojik altyapı standarttır.</i>
<i>Yüksek görüntü kalitesi</i>	<i>Düşük görüntü kalitesi</i>
<i>Yüksek görüntü yakalama hızı</i>	<i>Düşük görüntü yakalama hızı (25 fps)</i>
<i>Yüksek çözünürlük (~8000x8000 piksel)</i>	<i>Standart çözünürlük (~640x480 piksel)</i>
<i>Yüksek piksel (8-10-16-24-32 bit)</i>	<i>Standart piksel (8 bit)</i>
<i>Kısa mesafe (~10m)</i>	<i>Uzun mesafe. (~100m)</i>
<i>Hareketli nesne görüntülenmesi</i>	<i>Sabit nesne görüntülenmesi</i>
<i>Gelişkin kullanım ve ayar özelliklerine sahiptir.</i>	<i>Kullanım ve ayar özellikleri sınırlıdır.</i>
<i>Endüstriyel ve bilimsel uygulamalar için idealdir.</i>	<i>Güvenlik ve izleme uygulamaları için uygundur.</i>
<i>Kurulumu ve kullanımı uzman gerektirir.</i>	<i>Kurulum ve kullanımı oldukça basittir.</i>
<i>Fiyatı yüksektir.</i>	<i>Fiyatı düşüktür.</i>
<i>Yüksek kamera maliyeti –</i>	<i>Düşük kamera maliyeti –</i>
<i>Düşük sistem maliyeti</i>	<i>Yüksek sistem maliyeti</i>

Yapay görme sistemleri sadece nesne görüntüsünü toplamakla yetinmeyerek bunların kriterlere göre değerlendirilmesini farklı üretim koşulları altında yüksek hız, doğruluk ve hassasiyette yapmak için tasarlanırlar. Aşağıdaki parametreleri sağlayamayan bu tip kameraların endüstride kullanımları alınacak sonuçları bakımından uygulamanın başarısında büyük risk yaratır.

Lens (Mercek)

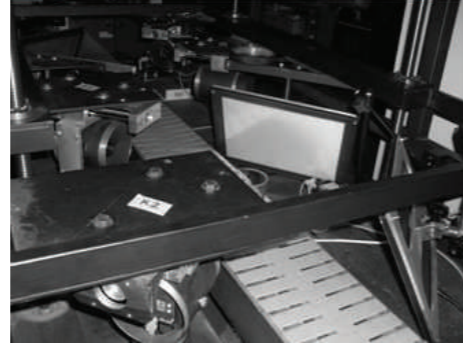
Üretim hattı boyunca yüksek hızda hareket eden cisimlerin kontrolünün doğru yapılabilmesi için cismin hızdan bağımsız mutlaka net ve homojen görülmesi gerekir. Bunun için kullanılacak kameraya doğru merceğin takılması çok önemlidir. Doğru merceği seçmek için temel birkaç noktanın bilinmesi gerekir.

Küçük cisimleri net görebilmek için FOV (Field of View) değerinin olabildiğince küçük olması gerekir. Bunun için FL (odak uzaklığı) büyük olan mercek kullanılmalıdır. D (mercek ve nesne arasındaki odak uzaklığı) değeri ise küçük olmalıdır.

Mercekler ise her uygulamaya özel olarak ve kameraya uygun olarak seçilirler. Yazılım ve donanım özellikleriyle veya sadece kameraların özellikleriyle görüntü kalitesi ancak bir yere kadar iyileştirilebilir. Bu noktada uygun mercek seçilmesi kaliteli bir görüntü algılanmasında büyük önem taşır.

Aydınlatma

Diğer taraftan doğru bir görüntünün yakalanmasında kamera ve mercek kadar önemli bir diğer Optik bileşen ise aydınlatma sistemidir. Basit gibi gözükse de bu nokta, yapay görme konusunun neredeyse en kritik bölümüdür. Kontrol amaçlı bir görüntü işleme sistemi tasarlanırken genellikle kameranın özellikleri üzerinde yoğunlaşılır. Oysa kamera kadar önemli olan bir diğer nokta aydınlatma ve aydınlatmanın tipidir. Eğer kapalı ya da açık bir alanda incelenmek istenen nesnenin aydınlatılmasına yeterince dikkat ve özen gösterilmez ise; alınan görüntü ile amaçlanan doğru sonuca asla ulaşamaz. Bu önemli gereksinimlere işin başında gerekli özen çoğu kez gösterilmez. Oysa bilinmelidir ki *“Yapay görme sisteminde rastgele seçilmiş herhangi bir ışık kaynağı hiçbir zaman doğru aydınlatma sağlayamaz.”* Nesnenin gerektiği şekilde özenle aydınlatılması mümkün olan en iyi görüntünün algılanabilmesi için mutlak ön koşuldur. Tasarımı yapılacak yapay Görme sisteminde kontrol edilecek nesnenin geometrisi, akış hızı, renk, konum ve parlaklık vb fiziksel özelliklerine uygun olarak seçilmiş bulunan kamera tipi ışık kaynağının da nasıl düzenleneceğini belirler. Özenle seçilen bir aydınlatma sisteminin, algılanacak nesne üzerine mutlaka düzenli ışık vermesi olmazsa olmaz ön koşuldur. Aydınlatmanın cinsi ve tipi ne olursa olsun aydınlatılan alan mutlaka homojen olmalıdır. Gölgeler ve yansımalar mutlaka önlenmelidir. Değişik geometrik yapıdaki nesnelere için farklı yoğunlukta ve açılarda aydınlatma yapabilen özel tasarım LED ya da Halojen kaynaklı fiber optik ışık sistemlerinden yararlanır. Pek çok üreticinin bu tip amaçlara uygun ürettiği ışık kaynaklarından birkaçı örnek olarak aşağıda belirtilmektedir.



Halka Şeklinde Işık

Halka ışık, yüksek yoğunluklu, üniform, gölgesiz bir ışık sağlar. Kompakt halka tasarımı ve kelepçe sistemi ile çeşitli mikroskop ve kamera objektifine başka ara parçaya gerek kalmadan bağlanabilir. Halka ışıklara farklı filtreler takmak mümkündür.



Arkadan Işıklandırma

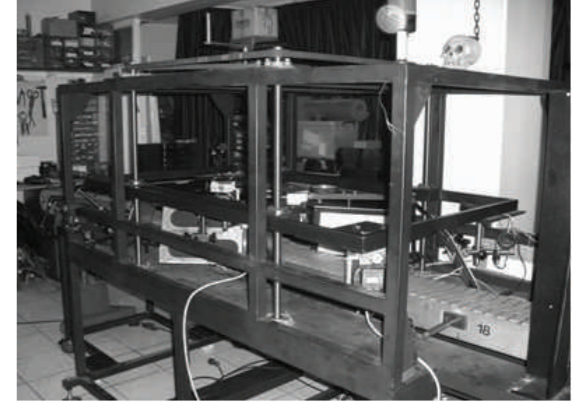
Uygulamanın cinsine göre ihtiyaç duyulan yayınlık ve üniform ışık arkadan ışıklandırma kaynakları ile sağlanabilir. Bu ışıklar saydam olmayan malzemelerin kontrolü gibi yayınlık ışık gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Bu ışık kaynakları Renkli filtrelerle bütünleştirilebilir.



Görüntü Yakalama Kartı

Bir yapay görme uygulamasında sistemin diğer bir önemli bölümü de Görüntü Yakalama (Frame Grabber) kartıdır. Bu sistem bileşeni, kameradan alınan Analog veriyi mümkün olan en az kayıp ve bozulmayla alarak bilgisayarda işlenmesi için sayısal veriye çeviren PC kartlarıdır. Çeşitli kamera tiplerini desteklemek için farklı özelliklere sahip görüntü toplayıcı kartlar mevcuttur.

Bu kartın amaca uygun olarak seçilmemiş olması görüntünün işlenmesi sırasında yanlış algılama ve bozulmalara sebep olur. Kameranın görme alanı ve hassasiyeti yanında imgenin hareket hızı ve geometrisi ve rengi bu kartın seçiminde belirleyici rol oynar.



Yapay görme yazılımı

Bir yapay görme sisteminin beyni, hangi seviyede olursa olsun “amaca uygun algoritma ile yapılmış programlamayı içeren yazılım”dır. Kurulan algoritmaya göre programlanan bu tip bir yazılım, sistemin nasıl çalışacağına dair tüm işlemler zincirini uygular, gelen veriyi işleyerek kararları verir. Uygun yazılım platformunun seçilmesi ve bunu programlayan mühendisin algoritma kurma ve yazılım kabiliyeti ve bu konudaki iş tecrübesidir. Yapay görme sistem tasarımı tümüyle bir Ar-Ge projesi sayılmalıdır. Bu konu son derece kritiktir ve yazılım mühendisinin kabiliyeti ve tecrübesiyle doğrudan ilişkilidir.

Sistemin çalışma prensibi

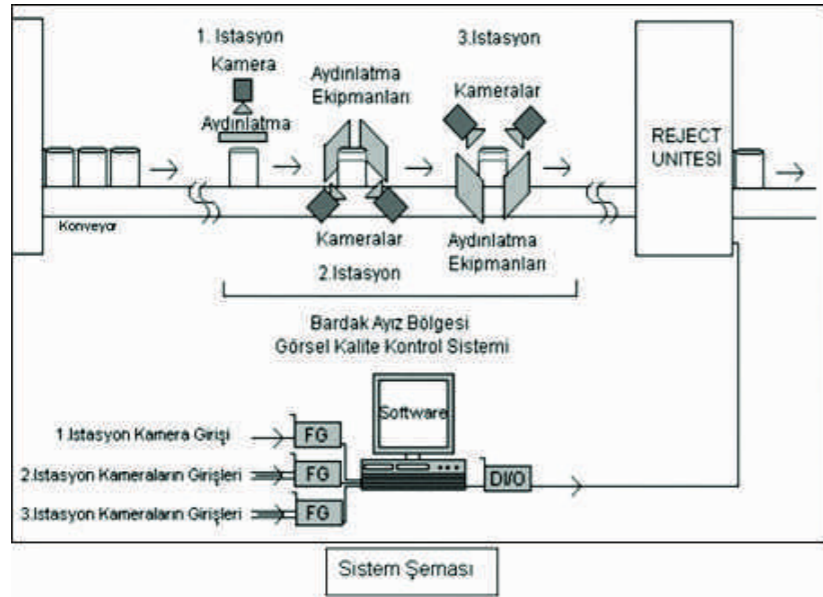
Sürekli artan rekabet koşulları kalitenin artırılmasını ve maliyetlerin düşürülmesini zorunlu hale getirmektedir. Dünya cam üretiminde öncü olan firmamız ürettiği ürünlerde sıfır hatayı hedeflemektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek için kalite kontrolün insan kaynaklı hatalardan etkilenmemesi gereklidir. Sürekli gelişmeyi hedefleyen Paşabahçe yurtdışından yapay görsel kalite kontrol sistemleri temin etmiştir. Bu sistemlerden istenilen sonuçlar elde edilemese de elde edilen kazanımlar ve tecrübeler sonucunda kendimize özgü ve en son teknoloji ile donatılmış yapay görme sisteminin yurtiçi destek alınarak yapılmasına karar verilmiştir. Şirketimizin AR-GE’ye vermiş olduğu önemi gösteren projemiz şirketimizin çalışanlarının kapasitesini ve Paşabahçe’imizin Dünya’da olduğu yeri hak ettiğinin güzel bir örneğidir.

Ağız hatalarını ayırma makinesi görsel kalite kontrol sistemimiz için fabrikamızda bazı düzenlemeler yapma gereksinimiz oluşmuştur. Soğutma hattından gelen mamullerin ağız aşağıda gelmektedir. Görsel kontrolü yapabilmemiz için ürünlerin ağızının yukarıda olaması gereklidir. Bu çevirme işlemi için rotary bir ters çevirici kullanılmış ve mamullerin kontrole uygun şekilde ağız yukarı şekilde gelmesi sağlanmıştır. Çevirici tarafından tek sıra konveyöre bırakılan mamullerin birbirlerine yapışık olmaması için sıralayıcı mekanizmasından yararlanılmaktadır. Servo motor ve hız kontrol ünitesine sahip olan sıralayıcı, mamullerin aralarını açarak eşit aralıkta görsel kalite kontrol sistemimize girmesini sağlar. Konumsal olarak sistem bileşenlerinin sadece tek eksenle hareketli olması sebebi ile sistem için bardak aralarının sabit olması zorunludur ve bu şekilde kontrol sistemine beslenmesi gerekmektedir.

Paşabahçe bünyesinde bardak üretiminde kullanılacak olan ağız hatalarını ayırmak için görsel kalite kontrol sistemi ardarda dizilmiş üç istasyondan oluşmaktadır. Konveyör üzerinden paketleme hattına iletilmekte olan ürünler, birer birer kalite denetimlerinin yapılacağı kabin/kabinlere aktarılırlar. Bu kabinler, optik gözleme sisteminin sağlıklı çalışması için, dışarıdan gelebilecek reflektif ışınları engelleyen, buna karşın kabin içinde gereken anlarda gereken doğrultularda homojen aydınlatma sağlayan kontrollü aydınlatma sistemi ve görüntü algılama donanımları ile teçhiz edilmiş uygulamaya özel mekanik yapılarıdır.

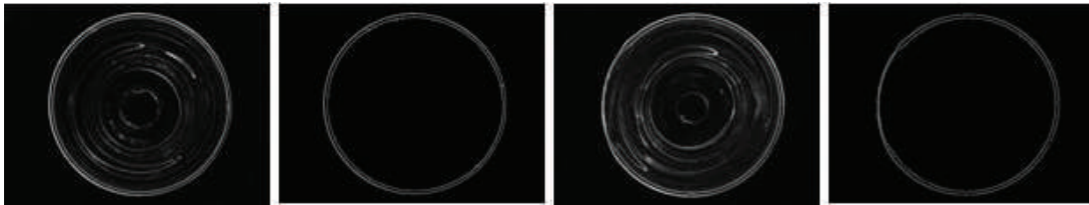
Tek sıra halinde konveyör üzerinden belirli bir hızda gelen bardağın kameranın önüne geldiği optik sensörlerle algılanmakta ve tetiklenen grubun kendi içerisinde sırasıyla resimleri alması sağlanmaktadır.

Burada, kameralar bardağın resmi ortalayacağı şekliyle sıraya koyulmuş ve resim alma sırası buna göre belirlenmiştir. Bardak sensörün önüne geldiğinde tetiklenme olmakta ve yazılımsal olarak gruptaki ilk ışık yakılmakta ve ilk kamera resim almakta daha sonra ise ışık sönmekte ve gruptaki ikinci kameraya ait ışık yakılmakta ve ikinci kamera da resim aldıktan sonra ikinci ışıkta sönmektedir. İşlem bu şekliyle tüm gruplar için işlemeye devam etmektedir. Sistemin çalışmasına ait sistem şeması aşağıdadır.



Tasarlanan görsel kalite kontrol sisteminde 4 adet yatay ve 1 adet dikey ekseninde konumlandırılan kameralar amaca uygun yapılandırılan 1 adet PC'ye bağlıdır ve amaca uygun geliştirilmiş özel sistem yazılımı bu bilgisayarın üzerinde çalışmaktadır.

1. İstasyon bardak ağızına üstten bakacak şekilde dikey ekseninde konumlandırılmış megapixel 1 adet kamera ve amacına uygun endüstriyel aydınlatma aparatı sayesinde bardak ağızının ovalitesini ve kordon hatalarını kontrol etmek için dizayn edilmiştir.



Numune sistem tarafından analiz edilmiş ve ağız bölgesinde herhangi bir incelme ya da kalınlaşma gibi istenmeyen bir şekil bozukluğuna rastlanmamıştır. Bu nedenle sistem ürünü HATASIZ olarak değerlendirmiştir.
Sonuç: PASS

Numune sistem tarafından analiz edilmiş ve ağız bölgesinde şekil bozukluğu (incelme) tespit edilmiştir. Belirlenen bölgede şekil bozukluğu bulunduğu saptanan ürünü HATALI olarak değerlendirmiştir.
Sonuç: FAIL

2. ve 3. İstasyonlarda bardak gövdesine bakacak şekilde yatay ekseninde konumlandırılmış 4 adet amaca uygun çözünürlükteki endüstriyel kamera ve 4 adet uygulamaya özel modifiye edilmiş endüstriyel, titreşimsiz aydınlatma kaynakları ile bardağın gövde kısmındaki hataları ve kordon üzeri dikey ekseninde görülemeyen hataları kontrol etmek için dizayn edilmiştir. İkili gruplar halinde konumlandırılan 4 adet kamera sayesinde bardak gövdesinin tamamı görüntüleri alınarak bardak gövdesinin 360 derecelik tam kısmının analiz ve kontrolü yapılmaktadır.



Numune sistem tarafından analiz edilmiş ve ağız bölgesinde şekil bozukluğuna rastlanmamıştır. Sistem ürünü HATASIZ olarak değerlendirmiştir.
Sonuç: PASS

Numune sistem tarafından analiz edilmiş ve ağız bölgesinde şekil bozukluğu tespit edilmiştir. Ürün HATALI olarak değerlendirilmiştir.
Sonuç: FAIL

Kontrolü yapılacak ürünün boyutsal özelliklerine göre kamera ve ışık konum ayarları sistem kurulumunda E3TAM ve Paşabahçe mühendisleri tarafından uzun süreli yapılan denemeler sonucunda tasarlanmıştır.

Kamera ve aydınlatma ekipmanlarının her ürün çeşidine göre gerekli yükseklik ve konuma getirilmesini sağlayacak sistem için özel micro servo motorlar kullanılmıştır. Kameralar ile optik sistemin doğru odak noktasına hareketi, PLC kontrol sistemi ile kolaylıkla ve el değmeden yapılmaktadır. Sisteme ürün kodu girildiği anda sistem otomatik olarak tüm ayarları yapmakta ve çalışmaya hazır hale gelmektedir.

Aşağıda Proje için tasarlanan ara yüz yazılımı görülmektedir.



Numune sistem tarafından analiz edilmiş ve ağız bölgesinde şekil bozukluğu tespit edilmemiştir. Fakat ağız bölgesinde istenmeyen bir hata tespit edilmiştir. (Çatlak) Belirlenen bölgede şekil bozukluğu bulunmadığı fakat analizi yapılan bölgede saptanan çatlak nedeniyle sistem bu ürünü HATALI olarak değerlendirmiştir.
Sonuç: FAIL

Sistemin mekanik alt yapısının yapılan test aşamalarında gerekli görülen/ ortaya çıkan pek çok mekaniksel iyileştirme ve düzeltme yapılmıştır.

Tasarlanan sistemde ürün seçimleri sistem bilgisayarı üzerinden operatör tarafından yapılacaktır. Ürün seçimi sırasında tüm ürünlerin gerekli parametrelerinin bulunduğu bilgi bankası oluşturulması gerekmektedir. Sistem her ürün seçiminde gerekli parametreleri bilgi bankasından otomatik olarak alacaktır.

Yazılımsal olarak, sistemin çalışmasında farklı kullanıcı seviyeleri yapılması öngörülmektedir. Son kullanıcı olan operatör, sistemin ayarları kısmına giremeyecek, sadece belirtilen değerlerin ve sayaçların kontrolünü yapabilecektir. Buradaki düşünce, sistemin kararlılığının bozulmaması ve operatöre en az müdahale şansının verilmesidir. Ürüne göre yapılması gereken ayarları ise yetkilendirilen bir üst seviye kullanıcı yapabilecektir. Temel olarak bu ayarlar, ürünün ölçülerine göre otomatik olarak hesaplanacak olsa da son kontrollerinin yapılması ve gerekli toleransların ve sapmaların verilerek sistemin istenilen ölçülerde çalışmasını sağlamak amacıyla böyle bir denetim yapılması gerekmektedir.

Özel tasarlanmış ve geliştirilmiş sistem yazılımının İyi/Hatalı kararı kontrol sistemimizde bulunan endüstriyel Dijital I/O kartı kullanılarak Ayırma sistemine bağlanacaktır. Ayırma sisteminde hatalı ürünler hava yardımıyla buffer konveyöre aktarılacaktır.

Sistem kapasitesi:

Sistem, öncelikle bardak ağzı için belirtilen ve buna ek olarak, donanımın elverdiği ölçüde, bardak yüzeyinde bulunan, hataların tespiti ve hatalı olarak tespit edilen bardağın hattan atılması şeklinde tasarlanmıştır.

Mamül yüksekliği:	Minimum	54mm	Maksimum	265mm
Mamül çapı:	Minimum	47mm	Maksimum	115mm

Sistemin maksimum hızı 140 adet/dakika

Seri ve uzman üretim amaçlayan firmamız, kalite kontrol işlemlerinde hataya ve geri dönüşü imkan vermeyen otomasyon sistemlerine yönelmektedir. Kuruluşumuzun “sıfır hata” hedefini gerçekleştirmesi için kullanabileceği en etkin yöntemlerden biri de görsel kalite kontrol sistemleridir. Yeniliklerin takipçisi olan ve kendi teknolojisini geliştirmek için yoğun çalışmalar yapan firmamız bu konuya da kalıcı bir çözüm arayışını sürdürmüştür. Eski projelerden elde ettiğimiz kazanımlar ve tecrübe projemize aktarılmıştır. Dış bağımlılığımızı en aza indirmek, yenilik ve farklılık yaratabilmek için bu prosesin ana bileşeni olan yapay görme teknolojisi için yerli firma olan E3TAM firması ile çalışmaya başlanmıştır.

Görsel kalite kontrol sisteminin hayata geçirilmesinde eşine ender rastlanır bir ekip çalışması yapılmıştır. Fikir aşamasından itibaren tasarımı ve yapımı tümüyle Paşabahçe İş Geliştirme Mühendisleri tarafından tasarlanmış özgün bir projedir. Projemizin, yazılımı konusunda E3TAM firmasından destek alınmıştır. PE Fabrikası kalite kriterlerinin ve sistemin ana hatlarının belirlenmesine katkıda bulunmuştur. IGM tarafından PE ihtiyaçları gözönüne alınarak Sistemimiz dizayn edilmiştir. Tamamı otomatik sistemlerle kontrol edilen sistemin elektriksel kontrol sistemlerinin ve yazılımının tamamı PE Fabrikası tarafından yapılmıştır. Gururla söylemek istiyorum ki; büyük kısmı yabancılara bağımlı olmadan kendi mühendislerimiz ve çalışanlarımız tarafından başarılan “Ağız Hatalarını Ayırma Makinesi Görsel Kalite Kontrol Sistemi” projemiz Paşabahçe’nin geldiği teknolojik noktayı tüm Dünyaya göstermesi açısından önemlidir.

Dr. Mustafa Oran – Arca İyiel

Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Özet

Cam üretiminde renk değişim süreci, doğrudan harman yoluyla fırındaki ergimiş bütün camın renklendirilmesiyle veya ergitme tankındaki camın orijinal rengini bozmadan, sadece belirli bir foreheartha renklendirici malzeme (frit veya renk konsantresi) ekleyerek yapılmaktadır. Bu iki farklı renk değişim süreci cam endüstrisinde uzun bir süredir kullanılmakla birlikte, özellikle renk değişim sürelerini kısaltma ve hedeflenen renk kalitesinin artırılması yönünde belirli geliştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Cam endüstrisinde matematiksel modelleme yönteminin kullanıldığı yeni alanlardan biri olarak, ergimiş camda renk değişiminin sayısal simülasyonu ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Camda renk değişimi için sayısal bir model geliştirmenin temelinde yatan düşünce, ergimiş camın dinamik özellikleri (ısı ve akış) ile birlikte renklendirici malzemelerin fiziksel özellikleri, besleme miktarı gibi parametrelerin etkisini içeren renk değişim olayını simüle etmektir.

Cam ambalaj ve züccaciye üretimlerinde forehearhtaki camın renklendirilmesi ile ilgili sayısal model geliştirmeye yönelik bir çalışma başlatılmıştır. Bu bildiri, cam renginin değişim mekanizmasının matematiksel olarak ifade edilmesini ve renklendirici malzemenin beslenme hızı ile forehearhta kullanılan farklı karıştırıcı tiplerinin etkisini içeren temel bir modeli kapsamaktadır. Yine bu çalışma kapsamında, camı renklendiren malzemelerin difüzyon davranışlarının gözlenmesi ve elde edilen verilerin modelde kullanılması için Cam Araştırma Merkezinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sayısal model yaklaşımının camın forehearhta renklendirilme sürecini analiz etmek ve geliştirmek için kullanabileceğimiz bir araç olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Renklendirme, sayısal model, difüzyon katsayısı

1. Giriş

Günümüzde renkli cam ürünleri, düz camdan cam ambalaja, züccaciyeden optik camlara kadar farklı cam üretim alanları içinde yer alan geniş bir ticari yelpazeyi kapsamaktadır. Renkli ürünler, çoğunlukla geleneksel cam üretim prosesleri ile üretilirken, diğer taraftan ikincil işlemler olarak kaplama teknolojileri de cam ürünlerin renklendirilmesi için kullanılmaktadır. Bütün geleneksel yüksek sıcaklık proseslerinde, renkli cam yapmak için iki ana yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin birincisinde, harmana doğrudan eklenen renklendirici malzemeler ile ergitme tankındaki bütün camın rengini değiştirilirken, diğer yöntemde ise, forehearth/feeder kanalları olan fırınlarda, ergitme tankındaki camın orijinal rengi korunarak, sadece belirli forehearth(lar) daki camın rengi değiştirilmektedir.

Cam ambalaj, züccaciye, ampul, TV ekranı, elyaf, vb gibi cam ürünleri üreten fırınlar üretim çeşitliliğine ve kapasitelerine bağlı olarak, prosesin sonunda istenilen özelliklere sahip bir damla oluşturmak için, önceden afine edilmiş camın ısı şartlandırılmasının gerçekleştirildiği, çeşitli sayıda foreheartlara sahiptir. Çok büyük miktarlardaki renkli cam üretimleri, ergitme tankındaki ergimiş camın renklendirilmesi ile gerçekleştirilirken, foreheartlardaki renkli cam uygulamaları farklı amaçlar için yapılırken, ayrıca kayda değer avantajlar da içermektedir.

Forehearthlı prosesler, üreticinin aynı fırından eş zamanlı farklı miktarlarda ve farklı renklerde cam ürünleri üretmesine olanak sağlar. Üretim miktarları, pazarın arz-talep şartlarına bağlı olarak kolayca ayarlanabilirken, zaman ve enerji tüketimleri, fırından renklendirme proseslerine göre çok daha düşük seviyede gerçekleşmektedir. Bununla beraber, forehearthda renklendirme son üründe kalite sorunları yaratabilecek ciddi riskler de taşımaktadır. Harmandan renklendirme yöntemiyle, bütün ergitme tankındaki camın renklendirilmesi, esasında cam üretim prosesinin ergitme, afinyasyon ve homojenizasyon gibi aşamaları ile birlikte gerçekleştiği için, renk değişikliği prosesinden kaynaklanabilecek hata riski çok daha düşüktür ve olabilecek hataların giderilmesi şansı daha yüksektir. Buna karşın, forehearthda renklendirme ise cam üretim prosesinin son aşamasındaki düzgün sakin bir şekilde damla oluşuma doğru giden cama rahatsızlık verici bir müdahaledir. Karşı karşıya kalınan en önemli sorunlardan bir tanesi, forehearth boyunca renk dağılımındaki inhomejenite ile birlikte hedeflenen cam rengindeki kararsızlıktır. Renk ile ilgili oluşabilecek sorunların dışında, forehearthdan cam eriyiğine eklenen renklendirici malzemeden kaynaklanan ergimemiş partikül ve habbe türü hatalarda oluşabilmektedir. Forehearth daki camın kalış süresinin çok kısa olduğu düşünüldüğünde, bu tür risklerin giderilmesi oldukça zor olduğundan dolayı, bu tür risklerin oluşma olasılığını minimum düzeye indirgeyecek kontrollü bir renklendirme prosesi oluşturmak gerekmektedir.

2. Renklendirmenin Fiziği ve Matematiksel Model

Herhangi bir sıvının renginin değiştirilmesi, temelde iki veya daha fazla sıvı arasındaki karasız bir “karışma” sürecidir. Literatür [1] de açıklandığı gibi, karışma terimi bir kütle içindeki kompozisyon bileşenleri, herhangi bir fiziksel özellik veya sıcaklık dağılımındaki farkların veya düzensizliklerin azaltılmasına yönelik süreçler için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, karışma sadece bir bileşenin diğeri içindeki yayılmasını içermez, aynı zamanda reaksiyonların, kütle ve ısı transferi mekanizmalarının da etkilendiği bir süreci içermektedir. Farklı kompozisyonlara sahip iki akışkan bir araya geldiğinde, her iki akışkanın özellikleri arasındaki fark ve yayılma (dağılma) en yüksek seviyededir ve karasızlık seviyesinin ölçeği küçülmeye kadar, özellikler arasındaki farklar azalmaz.

Yukarıdaki tanıyı yine bir karışma mekanizması olan camın renginin değiştirilmesine uygularsak, cam sıvısıyla renklendirici sıvının birinin diğeri içindeki doğal yayılması (difüzyon) ve birinin diğeri tarafından bir noktadan diğerine taşınması sonucu renk değişiminin oluştuğunu söylemek mümkündür. Renklendirme prosesinin difüzyon bölümü, noktasal bir kaynağın moleküler difüzyon yolu ile statik bir ortam içinde yayılmasını veya kaynak ile ortam arasında göreceli bir hareketin var olduğu düzgün bir hız dağılımı olan içine noktasal kaynağın moleküler difüzyonunu kapsar. Bu nedenle, renklendirici bir malzemenin ergimemiş cam içindeki difüzyon yolu ile olan yayılımı, kaynak ve sınır şartları belirlendiğinde, Fick yasası ile çözülebilir. Fick’in ikinci yasası (Eşitlik 1) zamana bağlı statik bir ortamdaki karasız difüzyon mekanizmasını tarif eder ve bu ifade ergimemiş camın renklendirilmesine de uygulanabilir:

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} = D_f \cdot (\Delta^2 C_a) = D_f \left(\frac{\partial^2 C_a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_a}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_a}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

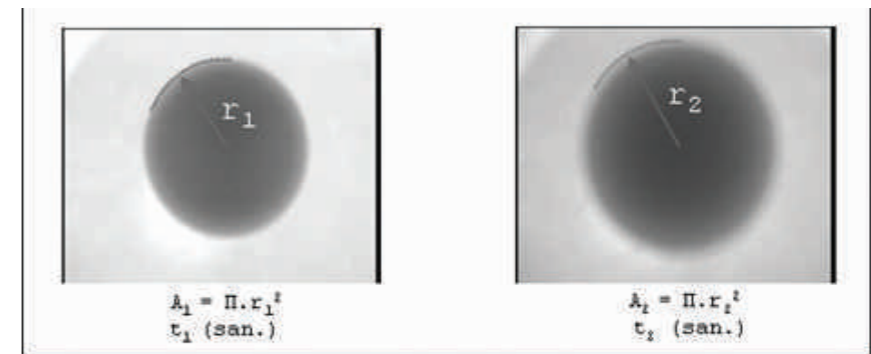
Bu eşitlikte C_a ve D_f sırasıyla “a” kaynağının (bu çalışmada camın renklendirilmesi için kullanılan malzemenin konsantrasyonunu ve difüzyon katsayısını ifade eder. Renklendirme prosesinin diğeri bir bileşeni de, bir sıvının diğeri tarafından bir noktadan bir başka noktaya taşınmasıdır (advection). Renklendirici ile cam eriyiği arasındaki karışma sürecini sürükleyen ve cam akışı tarafından yönlendirilen bir mekanizmada renklendirici malzeme forehearthtaki cam akışı ile noktasal olarak her yöne taşınır. Sonuçta, bu iki bileşenin meydana getirdiği karışma süreci Eşitlik 2 de gösterildiği gibi tanımlanır.

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} + u \frac{\partial C_a}{\partial x} + v \frac{\partial C_a}{\partial y} + w \frac{\partial C_a}{\partial z} = D_f \left(\frac{\partial^2 C_a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_a}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_a}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

Üç boyutlu yazılmış bu eşitlikte u , v ve w sırasıyla x , y ve z yönündeki camın anlık hız bileşenlerini ifade etmektedir. Bu eşitlik, Ugan’da [2] detaylı olarak tarif edilmiş, sıkıştırılmayan akışkanlar için düzenlenmiş Navier-Stokes, süreklilik ve enerji denklem takımının içine yerleştirilerek, forehearth daki camın renk değişimini tanımlayan matematiksel model oluşturulmuş olur. Matematiksel denklem takımının çözümünde, forehearthdaki camın hız, sıcaklık ve basınç dağılımı ile renklendirici malzemenin (frit) konsantrasyon dağılımı sonlu hacimler tekniği uygulanarak eş zamanlı olarak çözülür. Sayısal çözüme, forehearthdaki camın kararlı durumdaki (steady-state) hız ve sıcaklık dağılımlarının hesaplanması ile başlanır. Daha sonra, kararsız hesaplama yöntemine geçilerek, frit konsantrasyonunu hesaplayan karışma denklemi ile diğeri temel denklemler zaman adımlı ve eş zamanlı olarak çözülür.

3. Deneysel Çalışmalar

Cam endüstrisinde renk değişim prosesinde genellikle “frit” ve “renk konsantresi” olarak adlandırılan iki farklı malzeme kullanılmaktadır. Malzemenin seçimi, üretilen cam ile renklendirici malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbirleri ile uyumuna bağlı olarak yapılmaktadır. Deneysel çalışmaların birinci aşamasında, renklendirici malzemelerin ergime ve renklendirme performanslarını ve herhangi bir hata oluşturma potansiyellerini belirlemek amacıyla pota eritileri yapılmıştır. Deneysel eritilerin sonucunda bu çalışmada kullanılmak üzere renk verici malzeme olarak frit kullanılmasına karar verilmiştir. Deneysel çalışmaların ikinci aşaması ise, Bölüm 2 de açıklanan karışma denklemi içinde yer alan renk verici malzemenin (burada frit) difüzyon katsayısını belirlemeye yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Bunun için, daha önce Cam Araştırma Merkezinde yüksek sıcaklıkta cam eriyiği içindeki habbelerin davranışlarını incelemek için geliştirilmiş zaman adımlı görüntüleme prensibine dayalı deney düzeneği kullanılmıştır [3]. Sabit sıcaklıkta, fritin cam içine zaman bağlı olarak difüzyonunu gösteren işlenmemiş örnek bir video görüntüsü Şekil 1 de verilmektedir.

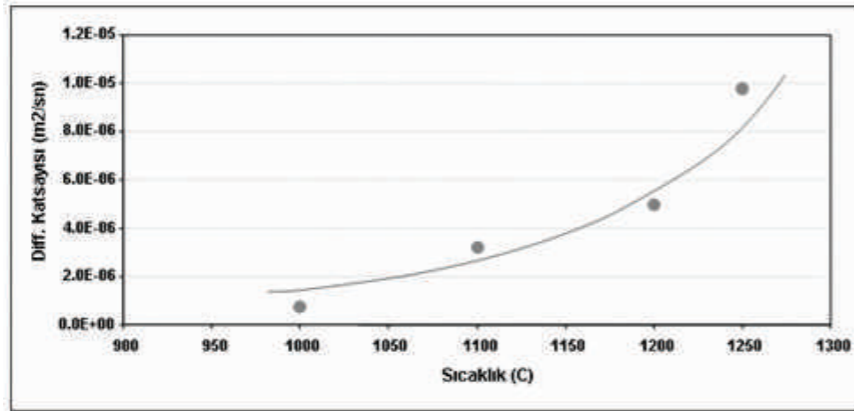


Şekil 1. Cam eriyiği yüzeyinde fritin zamana bağlı yayılımı (T : 1000 °C)

Her sabit sıcaklıkta (1000 °C, 1100 °C, 1200 °C ve 1250 °C) yapılan deneylerde fritin cam eriyiğinde kapsadığı alanın zamana bağlı değişimini içeren ham görüntü verileri bilgisayara aktarılarak sayısal değere dönüştürülür. Sayısal veriler değerlendirilerek elde edilen fritin difüzyon katsayısını (D_f) tanımlayan eğri Şekil 2 de verilmektedir. Bu eğriyi temsil eden matematiksel fonksiyon Eşitlik 2 içine yerleştirilerek sayısal model tamamlanmış olur.

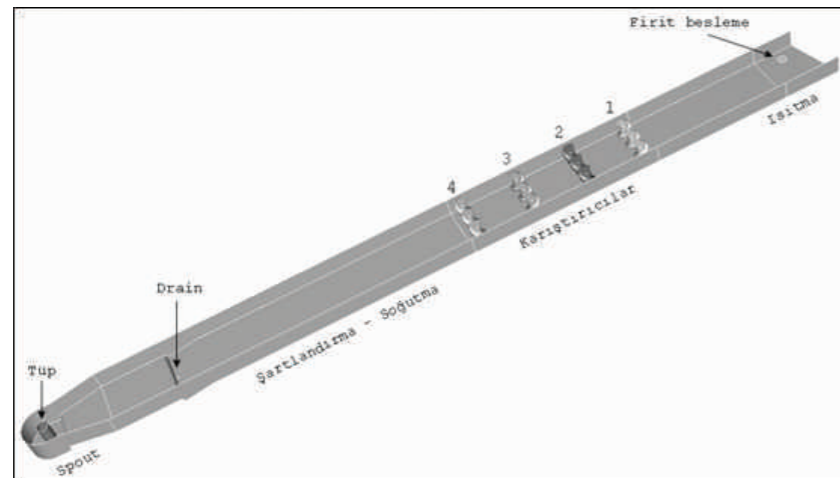
4. Forehearthda renklendirme için yapılan simülasyonlar

Sayısal modelin çözüm alanı olarak belirlenen, tipik bir züccaciye forehearthının şematik görüntüsü Şekil 3 de verilmektedir. Frit forehearthtaki camın üstüne pul şeklinde ince katı parçacıklar halinde beslenmektedir. Önceki bölümde de belirtildiği gibi, fritin ergime sıcaklığı forehearth şartlarına uygundur ve katı halde besleme deliğinden forehearthta giren frit çok kısa sürede eriyik formuna dönüşmektedir. Geliştirilen model, faz değişikliği süreci olan katı bir malzemenin sıvı hala dönüşmesini içermeyip, fritin besleme deliğinden sıvı formunda cama katıldığını varsaymaktadır. Gerçek uygulamada, frit çok kısa sürede eriyik haline dönüştüğünden, bu süreyi hesaba katmak için besleme deliği bir miktar gerçek noktadan geriye alınarak, fritin ergimesini içeren süre de modele dolaylı olarak katılmıştır.



Şekil 2. Fritin sıcaklığa bağlı difüzyon katsayısı, $D_f = f(T)$

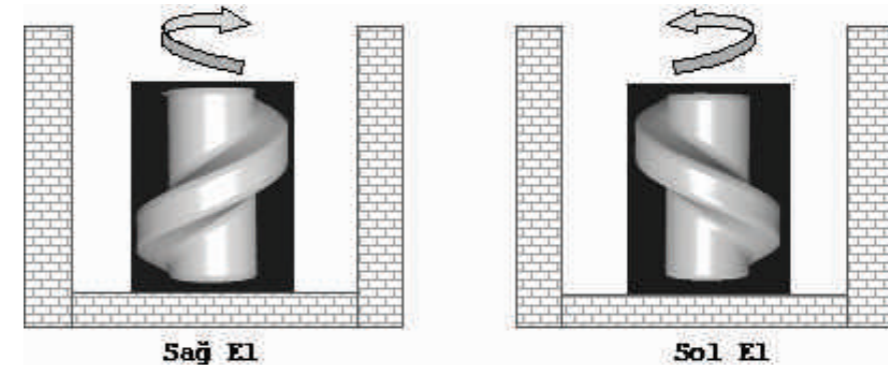
Frit ile camın belirli bir süre içinde homojen olarak karışımını sağlamak için, forehearthta besleme ağzı ve ısıtma zonundan hemen sonra 3'erli 4 sıra halinde toplam 12 adet vida tipi karıştırıcı yerleştirilmiştir. Spout bölümünden önce ise, renk değişikliği veya tekrar renksiz cama dönülmesi sırasında forehearthın temizlenmesi için drain bulunmaktadır. Ayrıca, spout bölgesinde yine homojen bir damla oluşturmak için kullanılan dönen bir tüp bulunmaktadır.



Şekil 3. Sayısal modelde kullanılan forehearthın şematik görünümü.

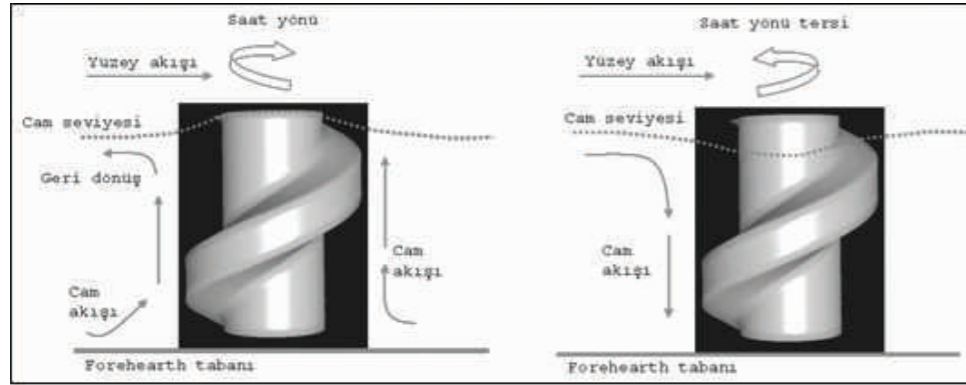
Model çalışmalarında, 23 ton/gün çekişli bir züccaciye forehearthı için simülasyonlar yapılmıştır. Frit besleme miktarı ise çekişin % 0.5'i (0.115 ton/gün) olarak belirlenmiştir. Forehearth girişindeki cam sıcaklığı 1250 C iken, frit giriş sıcaklığı ise 1265 C olarak alınmıştır. Sayısal model sadece forehearth içindeki camı içermekte olup, forehearth taban ve yan refrakter bloklarını ve üzerindeki atmosferi içermediğinden dolayı, forehearth cam sıcaklık profilini belirleyen ısıtma/soğutma şartları ve ısı kayıpları modelde bulunmamaktadır. Dolayısıyla, forehearthdaki cama taban ve yanlardan keyfi miktarlarda ısıtma/soğutma etkisi verilerek modelde gerçek şartlara uygun sıcaklık profili oluşturulmaktadır.

Renk kontrolü kavramının ana unsurlarından birisi, son ürünün her noktasında aynı renk dağılımı elde etmek için, fritin cam eriyiği içindeki homojen dağılımını sağlamaktır. Diğer önemli nokta ise, son ürünü hedeflenen renk değeri ile ve doğru zamanda üretmektir. Bilindiği gibi, forehearthda renklendirme operasyonu, bütün cam prosesinin en son aşamasında cam forehearth kanalına girer girmez üzerine dışarıdan eklenen bir renklendirici ile yapılmaktadır. Bu nedenle, bütün unsurlarıyla iyi bir renk kontrolü oluşturmak için, kuvvetli bir karıştırma operasyonu ile cam eriyiği ile renklendiricinin homojen bir karışımını elde etmek gerekmektedir. Gerçek uygulamada cam akışında istenilen periyodik hareketi oluşturmak için vida tipi karıştırıcının iki farklı konfigürasyonu kullanılmaktadır. Sağ-el karıştırıcılar saat yönünde dönerken, sol-el karıştırıcılar saat yönünün tersine dönmektedir (Şekil 4a).



Şekil 4a. Vida tipi karıştırıcının iki farklı konfigürasyonu.

Sağ-el formundaki vida karıştırıcısı saat yönünde döndürüldüğünde, tabandan karıştırıcıya doğru gelen cam akışı karıştırıcı eksenini boyunca yukarıya doğru pompalanmaktadır. Şekil 4b de görüldüğü gibi, karıştırıcı eksenini boyunca yukarıya doğru pompalanan cam saat yönünün tersine doğru dikey bir döngü oluşturmaktadır. Dikey yöndeki bu hareket, karıştırıcı eksenini üzerindeki cam yüzeyi seviyesinin de bir miktar yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum, yüzeyden karıştırıcıya doğru hareket eden frit konsantrasyonu için bir engel oluşturup, yeterince karışmadan hızlıca ileri tarafa geçmesini önlemektedir. Şekil 4b sağ-el karıştırıcının ters yönde döndürülmesi durumunda dikey cam hareketinin nasıl oluştuğunu da göstermektedir. Fritin cama göre daha ağır bir malzeme olduğu ve dibe batma eğilimi içinde olacağından dolayı, sağ-el karıştırıcının saat yönünde ve aynı cam hareketinin oluşması için sol-el karıştırıcının da saat yönünün tersi yönde döndürülmesi gerekmektedir.



Şekil 4b. Sağ-el karıştırıcının dönme yönüne göre oluşturduğu cam hareketi.

Model çalışmalarında, 23 ton/gün çekişli bir züccaciye forehearthı için simülasyonlar yapılmıştır. Frit besleme miktarı ise çekişin % 0.5'i (0.115 ton/gün) olarak belirlenmiştir. Forehearth girişindeki cam sıcaklığı 1250 C iken, frit giriş sıcaklığı ise 1265 C olarak alınmıştır. Sayısal model sadece forehearth içindeki camı içermekte olup, forehearth taban ve yan refrakter bloklarını ve üzerindeki atmosferi içermediğinden dolayı, forehearth cam sıcaklık profilini belirleyen ısıtma/soğutma şartları ve ısı kayıpları modelde bulunmamaktadır. Dolayısıyla, forehearthdaki cama taban ve yanlardan keyfi miktarlarda ısıtma/soğutma etkisi verilerek modelde gerçek şartlara uygun sıcaklık profili oluşturulmaktadır.

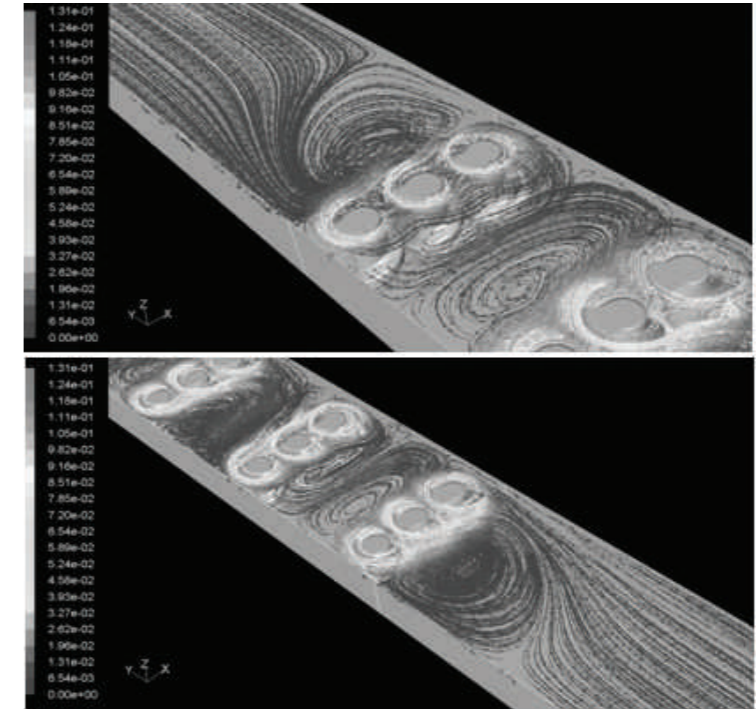
Renk kontrolü kavramının ana unsurlarından birisi, son ürünün her noktasında aynı renk dağılımı elde etmek için, fritin cam eriyiği içindeki homojen dağılımını sağlamaktır. Diğer önemli nokta ise, son ürünü hedeflenen renk değeri ile ve doğru zamanda üretmektir. Bilindiği gibi, forehearthda renklendirme operasyonu, bütün cam prosesinin en son aşamasında cam forehearth kanalına girer girmez üzerine dışarıdan eklenen bir renklendirici ile yapılmaktadır. Bu nedenle, bütün unsurlarıyla iyi bir renk kontrolü oluşturmak için, kuvvetli bir karıştırma operasyonu ile cam eriyiği ile renklendiricinin homojen bir karışımını elde etmek gerekmektedir. Gerçek uygulamada cam akışında istenilen periyodik hareketi oluşturmak için vida tipi karıştırıcının iki farklı konfigürasyonu kullanılmaktadır. Sağ-el karıştırıcılar saat yönünde dönerken, sol-el karıştırıcılar saat yönünün tersine dönmektedir (Şekil 4a).

Geliştirilen sayısal model karıştırıcıların bu yapısını içermekte olup, Tablo 1 de modelde kullanılan karıştırıcıların konfigürasyon özellikleri ve dönüş hızları verilmektedir. Ayrıca, karıştırıcıların dönme etkisini tam olarak sayısal modele aktarabilmek için, hareketli ağı (moving mesh) tekniği uygulanmıştır. Böylelikle, karıştırıcıların bulunduğu kesitteki camın hızının karıştırıcı tarafından etkilenmesi sadece sabit noktalar üzerinde olmayıp, aynen gerçek durumda olduğu gibi, karıştırıcı döndükçe cam akışkanının değişen noktalarındaki hızlara olan etkisi de hesaplanabilmektedir.

Tablo 1. Sayısal modelde kullanılan karıştırıcı konfigürasyonları

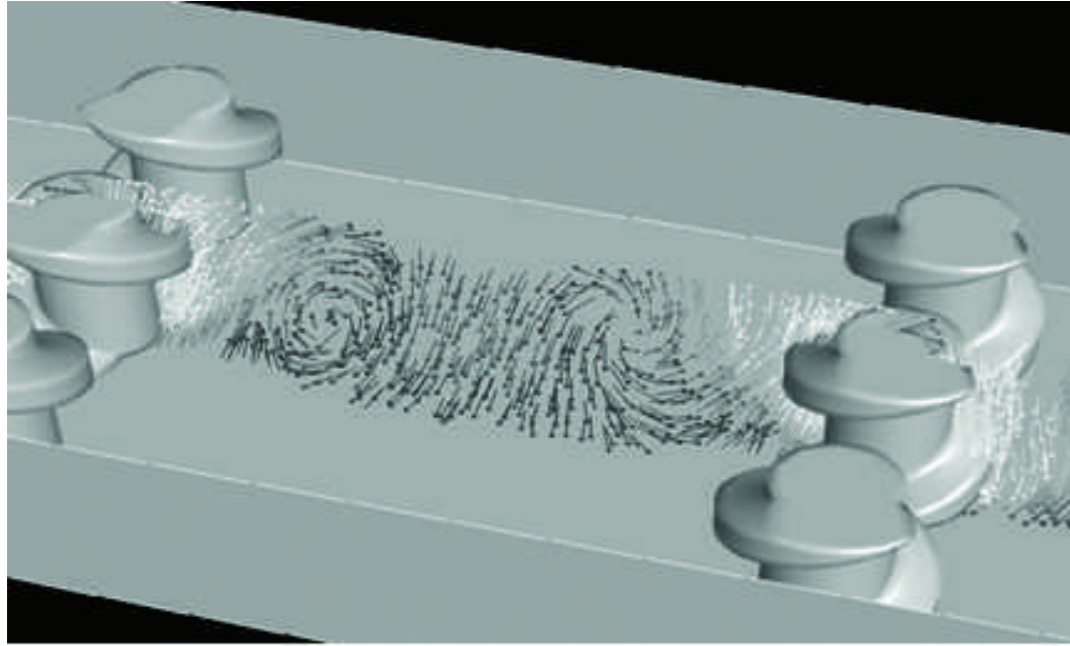
Karıştırıcı Zonu	Karıştırıcı Konfigürasyonu	Karıştırıcı Yonu	Karıştırıcı Hızı (rpm)
1. Sıra	Sağ El	Saat Yönü	9
2. Sıra	Sol El	Saat Yönü Tersi	15
3. Sıra	Sağ El	Saat Yönü	15
5. Sıra	Sol El	Saat Yönü Tersi	15

Yukarıda açıklandığı gibi, başlangıç hız dağılımı olarak camın kararlı durumdaki hız dağılımı hesaplanmaktadır. Frit beslemenin başladığı, zaman adımı kararlı durumdaki hesaplamalara geçebilmek için gerekli bu hız dağılımının cam yüzeyindeki akış çizgileri Şekil 5 de verilmektedir. Cam forehearth boyunca ilerlerken, karıştırıcı zonuna yaklaştığında yüzey camının büyük bir bölümü kanalın sağına doğru yönelerek ilk karıştırıcı sırasına ulaşmaktadır. Sol tarafta ise, yine karıştırıcıların etkisi ile ana akışı karşı olarak oluşan ve saat yönünün tersinde hareket eden bir döngü bulunmaktadır. Birinci ve ikinci karıştırıcı sıralarının arasında olduğu gözlenen kuvvetli girdap (vortex) benzer şekilde diğer karıştırıcı sıralarının arasındaki kesitlerde de oluşmaktadır. Cam akışı, karıştırıcı zonunu kanalın solundan terk ederken, son karıştırıcı sırasının hemen arkasında iyi teşekkül etmiş bir yüzey döngüsü daha bulunmaktadır.



Şekil 5. Karıştırıcı zonunda forehearth yüzeyindeki camın akış çizgileri.

Forearth kanalı boyunca cam hızlarının en yüksek seviyeleri karıştırıcı zonunda elde edilmekte olup maksimum değerlere ise vida karıştırıcıların keskin kenarlarında oluşmaktadır. İlk sıra karıştırıcılarda bu değer 0.076 m/sn iken, daha hızlı dönen diğer karıştırıcılarda 0.14 m/sn seviyesine ulaşmaktadır. Benzer biçimde ilk sıra karıştırıcı kesitinde ortalama hız 0.027 m/sn iken, diğer karıştırıcı sıralarında ortalama cam hızı 0.044 m/sn seviyesindedir. Karıştırıcı zonundaki camın dikey hareketinin yapısı, iki farklı karıştırıcı konfigürasyonunun aynı sirkülasyon etkisi yarattığını göstermektedir. Şekil 6 de görüldüğü gibi, cam eriyiği karıştırıcı eksenini boyunca dikey yönde yukarı doğru pompalanırken, iki karıştırıcı sırasının arasında ise aşağı doğru hareket ederek iyi bir karışım oluşturmaktadır. Renklendirmede kullanılan frit cam eriyiğinden daha ağır olduğundan dolayı, besleme noktasından itibaren batma eğilimi gösterir ve bu nedenle cam eriyiği ile iyi bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Karıştırıcı zonundaki camın dikey yöndeki aşağı ve yukarı hareketi ergimiş cam ile frit arasında homojen bir karışım oluşmasına katkı sağlar.



Şekil 6. İki karıştırıcı sırası arasındaki dikey cam hareketi.

Simülasyonun başlangıç adımı olarak, kararlı durumdaki hız ve sıcaklık dağılımları elde edildikten sonra, frit dağılımının zamana bağlı değişimi zaman adımlı kararsız çözüm yöntemi kullanılarak çözülür. Şekil 7 forehearth boyunca yüzeydeki frit dağılımının zaman içindeki değişimini göstermektedir. Önemli miktarda frit konsantrasyonu, Şekil 5 de gösterilen camın akış çizgileri doğrultusunda ilerleyerek, besleme noktasından sonra ilk 30 dakika içinde karıştırıcı zonuna ulaşmaktadır. Karıştırıcı zonunda, cam eriyiği ile frit arasındaki karışma prosesi hızlanır ve 1 saatin sonunda her karıştırıcı kesitinde belirli bir frit konsantrasyonu homojen olarak oluşmaya başlar. Renklendirme süreci zaman içinde ilerlerken, 3 saat içinde hedef frit konsantrasyonu (% 0.5) karıştırıcı zonuna ulaşmış olur. Sayısal simülasyon, 10 saatten önce hedef frit değerinin bütün forehearth boyunca homojen olarak elde edildiğini göstermektedir.

Simülasyon sonuçlarından elde edilen diğer bir nokta ise, frit beslemesinin yapıldığı nokta ile karıştırıcı zonu arasında kalan bölgede frit konsantrasyonu zaman içinde fazla değişmeyip düşük bir seviyede sabit olarak kalmaktadır ve bu bölgede dar bir şerit içinde ilerlemektedir. Bu durum, fritin yoğunluğunun camın yoğunluğundan fazla olması nedeniyle, besleme noktasından cama giren fritin hemen forehearthın tabanına doğru batma eğiliminde olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber, frit konsantrasyonunun büyük bir bölümü cam yüzeyinin altından karıştırıcı zonuna doğru taşınır ve karıştırıcı zonuna ulaşan frit konsantrasyonu camın dikey yöndeki hareketi ile forehearthın yukarı tabakalarına transfer edilir. Frit konsantrasyonunun cam yüzeyi altındaki yayılımı Şekil 8 de gösterilmektedir. Burada fritin başlangıç hareketinin forehearthın tabanına doğru olduğu ve az miktarda fritin cam yüzeyinden ileriye doğru hareket ederken, maksimum frit konsantrasyonunun cam derinliğinin alt tabakalarında oluştuğu görülmektedir.

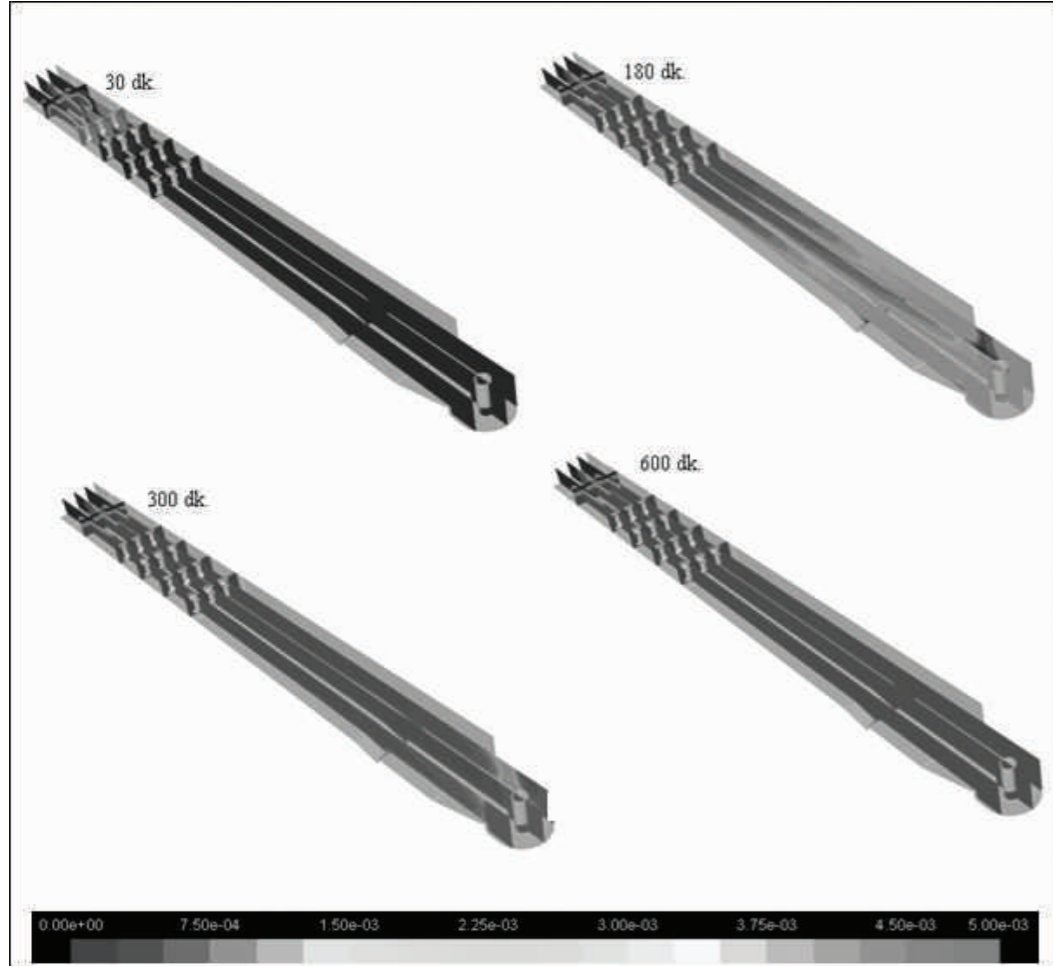


Şekil 7. Forehearth yüzeyinde frit konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi

Zaman ilerlerken frit konsantrasyonunun büyük bir bölümü forehearthın alt tabakalarındaki cam akımı ile ileri noktalara taşınarak karıştırıcı zonuna ulaşır ve daha sonra karıştırıcı zonu içinde cam hareketi ile yukarı doğru pompalanır. Cam eriyiği ile frit karıştırıcı zonunda kuvvetli bir karışma mekanizması içine girerler ve bir süre sonra her karıştırıcı ekseninde belirli bir frit konsantrasyonu homojen olarak elde edilir. Diğer taraftan, pratik uygulamalarda çalışma havuzunun renginin bozulması gibi bir risk endişesinin var olduğu düşünüldüğünde, simülasyon sonuçları herhangi bir frit konsantrasyonunun besleme noktasından geriye doğru hareket ederek forehearthın giriş noktasından tekrar çalışma havuzuna dönmediği görülmektedir.

Bu çalışmadaki diğer bir simülasyon çalışması da, yüksek frit besleme oranı için yapılmıştır. Bilindiği gibi, camın renklendirilmesi prosesini geliştirmeye yönelik çalışma alanlarından birisi de renk geçiş sürelerini kısaltmaktır. Bu amaca yönelik olarak yapılan pratik uygulamalardan birisi, renk geçişinin başlangıcında, hedef renk değeri için belirlenen renklendirici besleme hızının üzerinde bir besleme hızı ile yükleme yapmak (overdoping) ve daha sonra

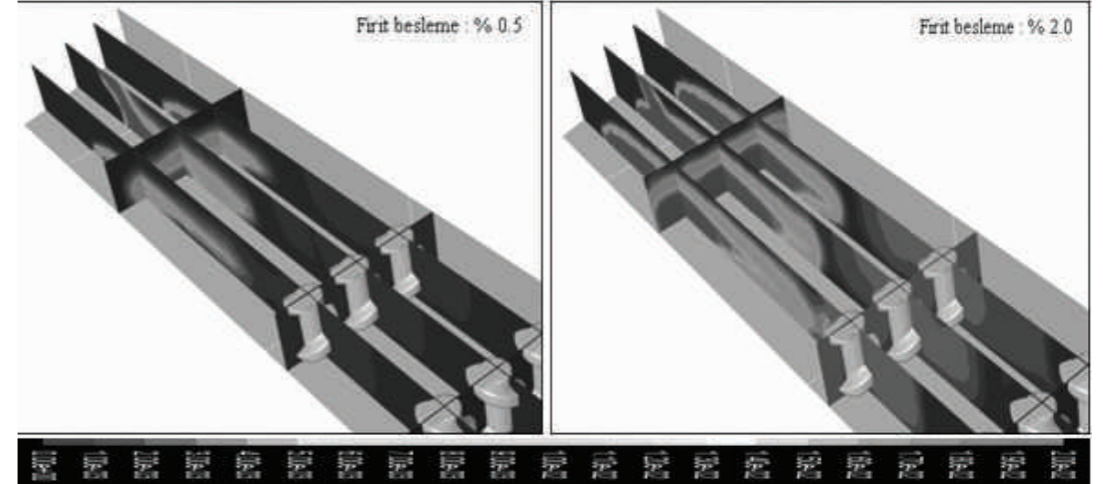
hedef besleme hızına düşülerek renkli üretimi bu şekilde devam ettirmektedir. Bu yöntem çoğunlukla harmandan renklendirme prosesleri için uygulanırken, buna karşın forehearth uygulamaları son aşamada yapılacak bu tür aşırı bir yüklemeye dolaylı risk taşıyabilmektedir. Bu nedenle, sayısal simülasyonları hızlı yükleme yöntemi ile renk geçiş sürelerinin kısaltılması için gerekli kriterlerin belirlenmesi için kullanılabilir. Bu amaç doğrultusunda yapılan simülasyon çalışmalarının tipik bir örneği Şekil 9 da verilmektedir.



Şekil 8. Forehearth boyunca frit konsantrasyonunun dikey dağılımı.

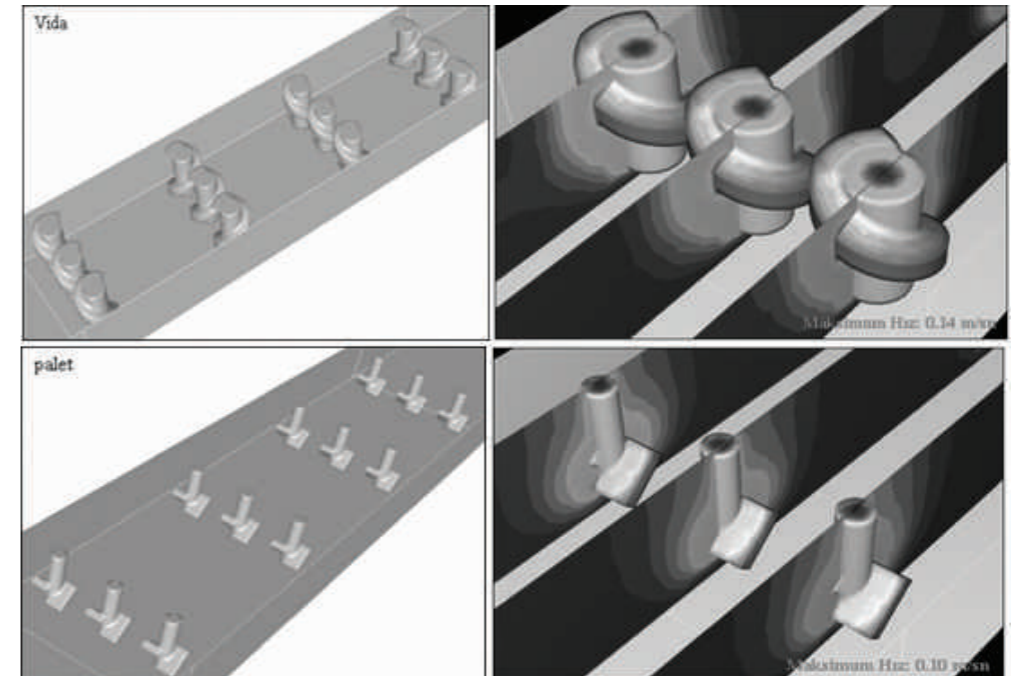
Hedef renk değerine ulaşmak için belirlenen % 0.5 lik frit besleme hızı yerine % 2 seviyesinde yüksek frit hızı ile besleme yapılmıştır. Şekil 10 da her iki besleme hızı ile yapılan renklendirmede 30 dakika sonundaki frit konsantrasyonu dağılımları verilmektedir. Her iki durum için de beklendiği gibi, başlangıçta frit batma eğiliminde olup cam yüzeyinin altından ileriye doğru hareket etmektedir. Bununla beraber, yüksek besleme hızında (% 2) frit konsantrasyonunun büyük bir bölümü karıştırıcı zonuna düşük besleme hızına (% 0.5) göre çok daha önce ulaşmaktadır. Bu durum, renklendirme sürecinin daha kısa sürede tamamlanma şansını artırmakta birlikte, frit besleme hızının artırılması durumunda, karıştırıcı zonundaki cam ile frit karışımı daha zayıf oluşmakta, bunun sonucunda da homojenlik de düşük seviyede kalmaktadır. Bu sonuç, mevcut durumda kullanılan karıştırıcı düzeninin yüksek frit besleme hızında

yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, renklendirme hızını artırmaya yönelik yüksek frit besleme hızını, farklı karıştırıcı düzenleri için yeniden simüle etmek gerekmektedir.



Şekil 9. Farklı frit besleme oranları ile yapılan renk değişim simülasyonu (t: 30 dakika)

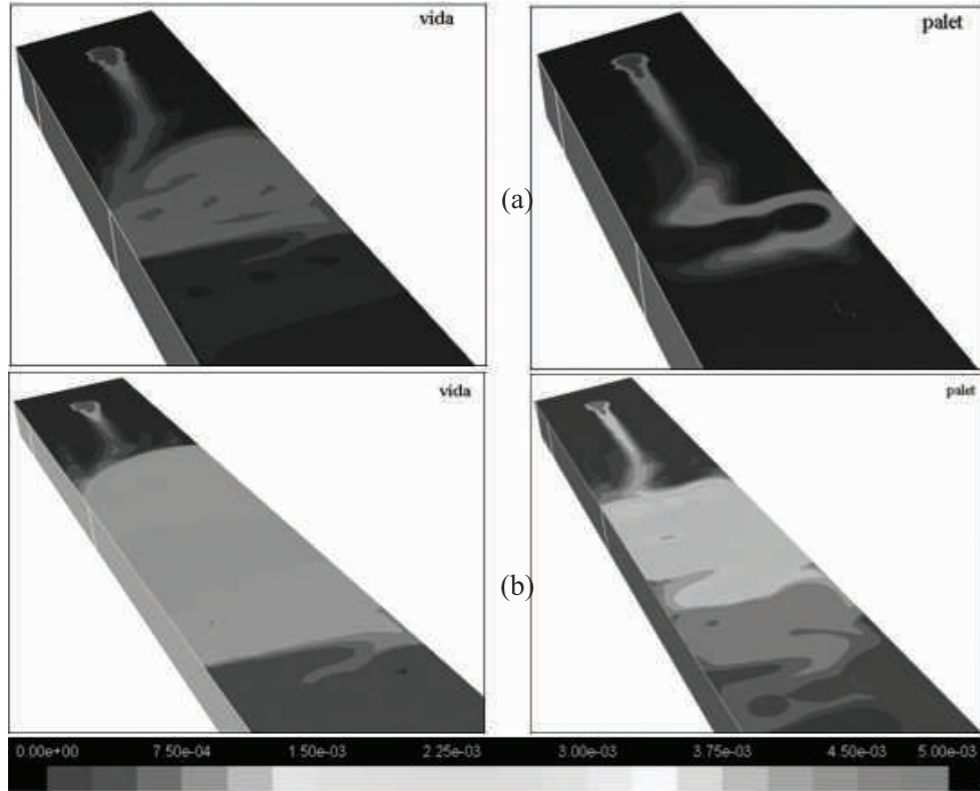
Sayısal simülasyon çalışmaları kapsamında, vida tipi karıştırıcıların kullanıldığı renk değişimi prosesi, palet tipi karıştırıcılar kullanılarak da tekrarlanmıştır. Sayısal modelde proses parametrelerinin değerleri değiştirilmeyip sadece karıştırıcı tiplerinin renk değişim sürecine olan etkileri karşılaştırılmıştır. Öncelikli olarak, frit beslemesinin olmadığı kararlı durum için, her iki karıştırıcı tipinin oluşturduğu cam hareketleri incelenmiştir. Şekil 10, aynı devir sayısında ve aynı yönde dönen vida ve palet tipi karıştırıcıların oluşturduğu en yüksek cam hızlarını göstermektedir.



Şekil 10. Vida ve palet tipi karıştırıcıların camın hız dağılımına olan etkileri.

Vida tipi karıştırıcı ile elde edilen en yüksek cam hızı 0.14 m/sn olup, karıştırıcı ekseninin tamamı boyunca yüksek hızla hareket etmektedir. Buna karşın, palet tipi karıştırıcı uygulamasında en yüksek cam hızı ancak 0.10 m/sn seviyesine ulaşmakta ve yüksek cam hızları karıştırıcı eksenini boyunca değil, sadece paletlerin kenarlarında oluşmaktadır. Bu durum, vida tipi karıştırıcının palet tipi karıştırıcıya göre cama daha fazla ve geniş bir alanda hareket kazandırdığını göstermektedir.

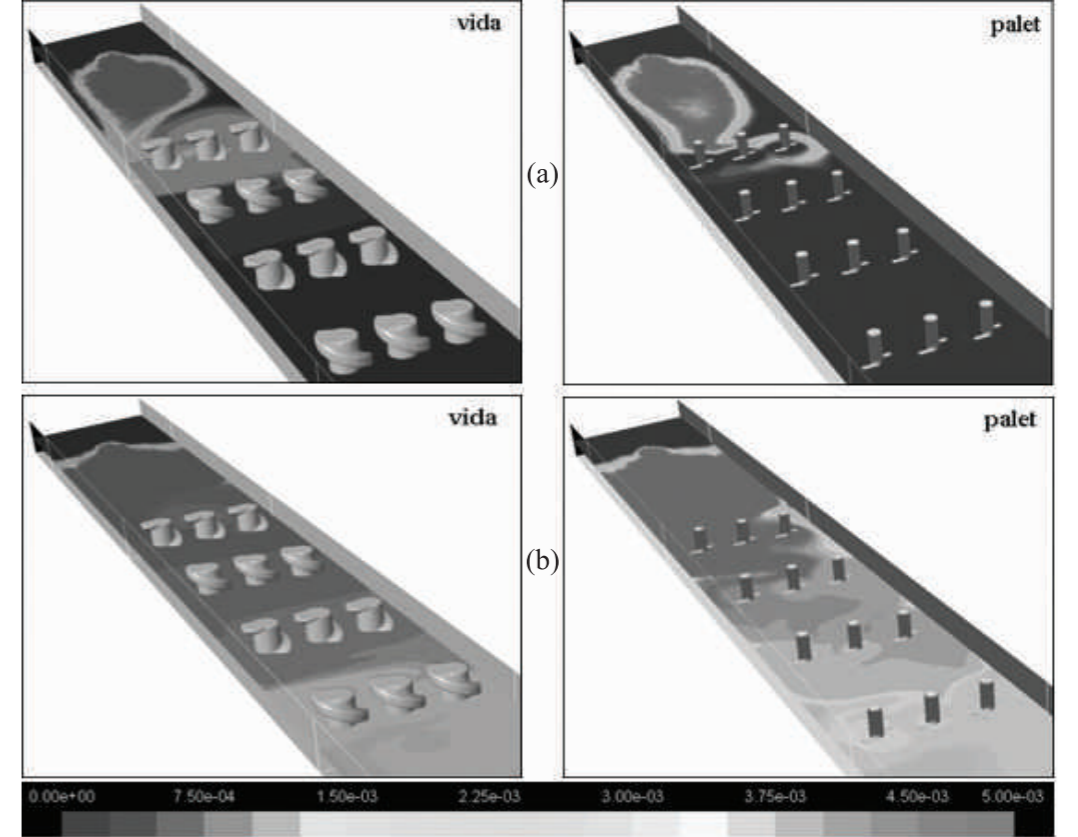
Frit beslemesi ile başlayan renk değişim sürecinde ise, vida ve palet tipi karıştırıcıların etkisi zamana bağlı değişen frit konsantrasyonlarının karşılaştırılması ile yapılmıştır. Şekil 11 iki farklı zaman adımında forehearth yüzeyindeki frit konsantrasyonunun vida ve palet tipi karıştırıcı uygulamalarına göre nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 11. Vida ve palet tipi karıştırıcıların forehearth yüzeyindeki frit konsantrasyonuna olan etkileri (a: 30 dakika, b: 60 dakika)

Frit beslenmesine başladıktan 30 dakika sonra, vida tipi karıştırıcıların ilk sırasına belirli bir oranda frit ulaşarak bu bölgede renk değişiminin başladığı anlaşılmaktadır. Buna karşın, palet tipi karıştırıcı uygulamasında, aynı sürede karıştırıcıların ilk sırasına bir miktar daha yüksek frit konsantrasyonu ulaşmakla birlikte, Şekil 11 de görüldüğü gibi, bu frit konsantrasyonu çok dar bir şerit aralığında ilerlemektedir. Bu durum, palet tipi karıştırıcının friti cam ile çok fazla karıştırmak yerine daha çabuk ileriye doğru aktardığını göstermektedir. Nitekim, 60 dakikanın sonunda, vida tipi karıştırıcı uygulamasında karıştırıcı sıralarında belirli konsantrasyon değerlerine sahip daha homojen frit dağılımları gözlenirken, palet karıştırıcı uygulamasında aynı sürenin sonunda karıştırıcı zonu çok daha az karıştığı görülmektedir.

Aynı karşılaştırma, forehearthdaki camın alt tabakalarındaki frit konsantrasyon dağılımları için de yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Forehearthdaki cam derinliğinin orta noktasındaki frit konsantrasyon dağılımının farklı karıştırıcı tiplerine bağlı olarak zaman içinde nasıl değiştiği Şekil 12 de verilmektedir.

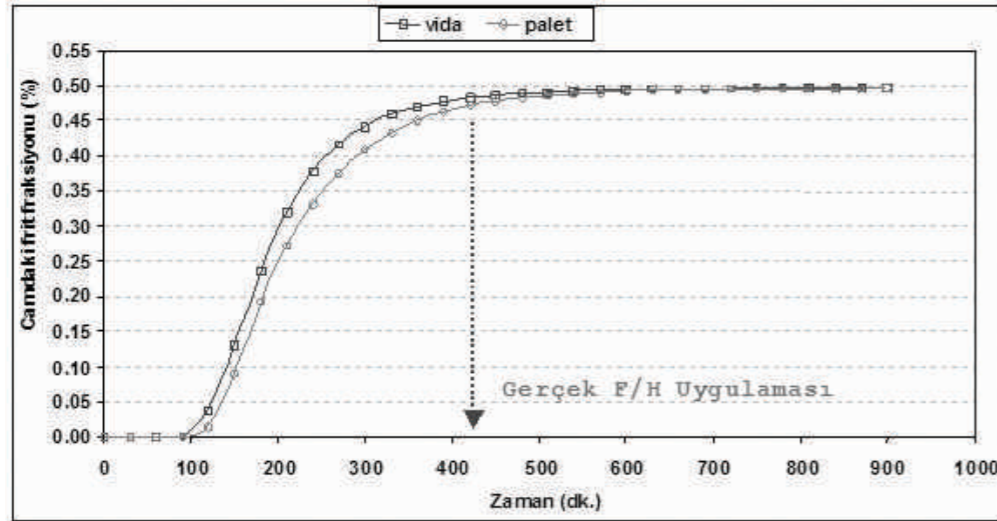


Şekil 12. Vida ve palet tipi karıştırıcıların cam derinliğinin orta katmanındaki frit konsantrasyonuna olan etkileri (a: 30 dakika, b: 120 dakika)

Görüldüğü gibi ilk 30 dakika içinde vida tipi karıştırıcıların ilk sırasına oldukça homojen bir frit konsantrasyonu elde edilmektedir. Palet tipi karıştırıcı uygulamasında daha yüksek miktarda frit konsantrasyonu karıştırıcı bölgesine doğru ilerlerken, bu bölgedeki camın ancak çok küçük bir bölümü frit ile karışabilmektedir. Forehearth yüzeyindeki duruma benzer olarak, zaman ilerledikçe orta tabakadaki cam frit ile vida tipi karıştırıcı sayesinde daha iyi karışırken, karışma ve dolayısıyla homojenite seviyesi palet tipi karıştırıcı uygulamasında daha düşük seviyede kalmaktadır.

Yapılan simülasyonların bir özeti olarak, son ürünü temsil etmesi bakımından, spout ucundaki orifis noktasındaki camda bulunan frit konsantrasyonunun zamana bağlı değişimini vida ve palet tipi karıştırıcı uygulamaları için gerçek uygulama sonucu ile karşılaştırmalı olarak tespit edilmiştir. Şekil 13 de görüldüğü gibi, mevcut durumu temsil eden vida tipi karıştırıcı uygulamasında, şekillendirme aşamasına gelmiş cam damlası olarak da kabul edilen orifisdeki camın rengi ilk 90 dakika boyunca değişmemektedir. Daha sonra zaman ilerlerken, frit konsantrasyonunda hızlı bir artış gözlenir.

Bununla beraber, besleme yapıldıktan sonraki ilk saatlerde frit konsantrasyonundaki değişikliğin etkisi görsel olarak fark edilmediği ve ticari olarak hala eski renginde bir ürün olarak kabul edildiği için, gerçek uygulamada ilk 3 saat boyunca ürün ıskartaya ayrılmamaktadır. Laboratuvar çalışmaları % 0.15 – % 0.20 den daha düşük frit konsantrasyonuna sahip camın renk özelliklerinin gerçek uygulama ile benzer özellikler taşıdığını göstermektedir. Dolayısıyla, sayısal simülasyonda bu seviyedeki bir frit konsantrasyonuna ulaşmak için gerekli olan sürenin gerçek uygulama şartlarıyla oldukça uyumlu olduğu Şekil 13 de görülmektedir. Benzer şekilde simülasyon sonuçları hedef frit değerinin (% 0.5) son üründe (orifisdeki cam) homojen olarak 550 – 600 dakika sonra oluştuğu gözlenirken, gerçek uygulamada 420 – 450 dakikanın sonunda renk değişiminin tamamlanarak istenilen renk değerlerine ticar olarak ulaşıldığı kabul edilmektedir. Simülasyon sonuçlarından, 450 dakika ve 550 dakika sonundaki frit değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu düşünüldüğünde, sayısal simülasyon sonuçlarının pratik uygulamalar için güvenli olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.



Şekil 13. Vida ve palet tipi karıştırıcılar için, orifisdeki (damla) camda bulunan frit konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi (hedef değer : % 0.5).

Vida tipi karıştırıcı uygulaması için yapılan simülasyonlarda ise, orifis noktasında fritin hedef konsantrasyon seviyesine ulaşması vida tipi karıştırıcı uygulamasına göre bir miktar daha geç olmaktadır. Pratik üretim uygulamasında bu zaman farkı veya aynı süre sonunda ulaşılan frit konsantrasyon seviyesindeki fark çok büyük olmamakla birlikte, palet tipi karıştırıcı uygulamasında homojen renk elde etme konusunda sorunlar olması vida tipi karıştırıcı uygulamasına göre daha yüksektir.

5. Sonuç

a) Difüzyon ve taşınım yolu ile oluşan karışma mekanizmasıyla camın renklendirilmesi prosesini simüle eden sayısal bir model geliştirilmiştir. Sayısal modelde, cam akışkanının forehearth boyunca sıcaklık ve hız dağılımların Navier-Stokes ve enerji denklemleri ile, renklendirici fritin konsantrasyon dağılımı ise kütle transferi denklemleri ile zaman adım olarak çözülmektedir.

b) Camı renklendirici frit malzemesinin cam içindeki dağılımını belirleyen difüzyon katsayısı deneysel olarak belirlenmiş ve sıcaklığa bağlı bir fonksiyon ile tanımlanmıştır.

a) Sayısal model forehearthdaki camın renklendirilmesi prosesini, cam çekiş hızı, sıcaklık profili, frit besleme hızı gibi parametrelerin yanında, karıştırıcıların etkisini de içerecek biçimde simülasyonlarını yapma yeteneğine sahiptir. Geliştirilen sayısal model ile yapılan simülasyonlar, gerçek üretim prosesi ile oldukça uyumlu sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, forehearthda renklendirme prosesinin mevcut şartlarını iyileştirmeye ve/veya yeni tasarım kriterleri belirlemeye yönelik çalışmalara katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Uhl, W.V and Gray, B.J (Ed.): Mixing-theory and practice, Volume 1 (1966), Academic Press, Inc. London.
- [2] Ungan, A.: Numerical simulation of glass melting furnaces, A Review. In *International Symposium on Glass Problems*, September 4-6 (1996) Istanbul, Turkey, pp.351-366.
- [3] Oran, M. Otken, A. and Akcakaya, R. : Visual bubble simulation to investigate the refining process of soda-lime-silica glass. In *Advanced in Fusion and Processing of Glass*, May 29-31 (2000), Ulm, Germany, pp.23-32.

**Dr. İlkay Sökmen - Burak İzmirlioğlu - Şener Yılmaz -
Esat Günertürkün - Orhan Çorumluoğlu**

Analitik Destek Hizmetleri Müdürlüğü / T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Dadal Arıburnu

Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Ergül Cebecioğlu - Soner Pulurluoğlu

Kalite Yöneticiliği / Cam Ev Eşyası Grubu

Haluk Erdem

İş Geliştirme Müdürlüğü / Cam Ev Eşyası Grubu

Yasemin Hürpek - Ayşe Güneri - Özkan Kefeli

Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu

Cam ev eşyaları üzerine uygulanan dekorların dayanımının artırılması amacıyla başlatılan çalışmalar kapsamında kullanılan boyaların kimyasal kompozisyonu, sülfür, asit, alkali, bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanıklılığı ve pişirildiği dekor fırınlarının sıcaklık profilleri üzerine incelemeler yapılmıştır.

Kurşun ve kadmiyum içeren boyaların özellikleri incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmıştır;

- Sülfür dayanımı zayıf olan numunelerin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde PbO / SiO₂ oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Bulaşık makinesi dayanımı “ENV 12875/1 Sofra Eşyalarının Bulaşık Makinesinde Yıkanmaya Mekanik Direnci-Kısım 1” konulu standart çerçevesinde incelendiğinde maksimum 30 çevrim olduğu gözlenmiştir.
- İyi pişirme şartlarının numunenin sülfür dayanımını ve bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımını arttırdığı gözlenmiştir.
- Kurşunlu boyaların üzerine şeffaf flux uygulaması yapılan numunelerin ise bulaşık makinesi dayanımının 30 çevrimden 90 çevrime kadar çıktığı tespit edilmiştir.

Kurşun ve kadmiyum içermeyen, bizmut ve çinko esaslı boyaların bulaşık makinesi dayanımı kurşunlu boyalardan daha yüksektir. Bu boyaların en büyük dezavantajı kurşunlu boyalar gibi parlak olmamalarıdır.

Rakip firma için özel olarak üretilen, niobium ve zirkonyum esaslı boyanın ise bulaşık makinesinde 200 çevrime kadar dayandığı tespit edilmiştir. Üstelik bu boyanın parlaklığı kurşunlu boyaları aratmamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Baskı boya, emaye, cam dekorasyonu

1. Giriş

Şişecam olarak, dekorasyon veya cam yüzeyine belirli bir özellik katmak amacıyla, çok geniş bir alanda emayeleri kullanılmaktadır. Emaye uygulanan numunelerimizde zaman içerisinde renk bozulması görülmekte ve bu sebeple şikayetler alınmaktadır. Bu nedenle, emaye kimyası ve cam yüzeyine uygulaması hakkında daha derin bilgi sahibi olmak adına proje kapsamında çalışmalar başlatılmıştır.

2. Teorik Bilgi

2.1. Emayenin hazırlanması

Emayeler iki bileşenli sistemlerdir; Flux (Eritken) ve Pigment (Renklendirici). *Eritken*, emayenin yaklaşık %90'ını oluşturur. Formülasyonun gerektirdiği uygun oranlarda kurşun oksit (PbO), bor oksit (B₂O₃), silika (SiO₂), ve az miktarda soda, titanyum dioksit (TiO₂) ve zirkonyum oksit (ZrO₂) yaklaşık 1300°C'de karıştırılarak eritilir ve çok yavaş bir şekilde su içine akıtılarak öğütme işlemi için uygun tane büyüklüğüne getirilir. Ürünün erime sıcaklığı, genleşme katsayısı, kimyasal dayanıklılığı ve kararlılığı fluxa bağlıdır. SiO₂; Fluxın kimyasal dayanıklılığını artırır, genleşme katsayısını düşürür, pişirme sıcaklığını artırır.

PbO; Genleşme katsayısına etkisi azdır. Pişirme sıcaklığını düşürür, kimyasal dayanıklılığı azaltır.

B₂O₃; Genleşme katsayısını ve pişirme sıcaklığını düşürür. Kimyasal dayanıklılığı artırır. Fakat, silika yerine ikame edildiği takdirde fazlasının kimyasal dayanıklılığı azalttığı tespit edilmiştir.

MO ve F; Genleşme katsayısını artırır ve pişirme sıcaklığını azaltır. Fazla olması durumunda camın kimyasal dayanıklılığını azaltır.

CdO; Kararlılığı artırıcı ve sarı ve kırmızı renklerin elde edilmesi istenildiğinde kullanılan önemli bir bileşendir.

ZnO; Opaklığı sağlayan bir bileşendir.

TiO₂; asit dayanımını artırır, ZrO₂; alkali dayanımını artırır.

	Kimyasal Dayanıklılık	Genleşme Katsayısı	Pişirme Sıcaklığı	Opaklık	Kararlılık
SiO ₂	↑	↓	↑		
PbO	↓		↓		
B ₂ O ₃	↑	↓	↓		
Alkali oksitler/Florürler		↑	↓		
CdO					↑
ZnO				↑	
TiO ₂	↑				
ZrO ₂	↑				

Pigment ise emayenin yaklaşık %10'unu oluşturur. Bir veya daha fazla metal oksitin 870°C-1315°C arasında karıştırılması ile eritilerek hazırlanır Renklendirici pigment kombinasyonlarına (mavi, siyah ve sarı renkler için) şu örnekler verilebilir;

CoO+Al ₂ O ₃	CoO+Fe ₂ O ₃ +Cr ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃ + SnO ₂ +PbO
------------------------------------	--	--

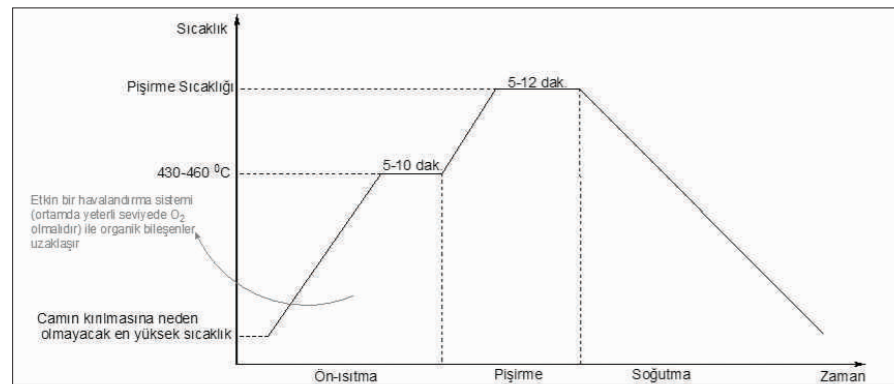
Uygun tane büyüklüğüne getirilmiş flux ve pigment karıştırılıp öğütülerek emaye elde edilir. Cam yüzeyine uygulama öncesinde ise kuru halde olan rengin öncelikle uygun bir “çözücü” (medium) içine alınması gereklidir. Çok çeşitli formülasyonlarda çözücü (örnek: alkol-su karışımları) bulunmaktadır. Önemli olan rengin çözücü içinde çok iyi bir şekilde dağılmış olmasıdır.

2.2. Genleşme Katsayısı ve Erime Sıcaklığı

Genel bir kural olarak “emayenin genleşme katsayısı, camın genleşme katsayısından en az $3 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ daha düşük olmalıdır” denilebilir. Eğer emayenin genleşme katsayısı, üzerine uygulandığı camın genleşme katsayısına eşit veya daha büyük ise emaye, o camın dayanıklılığını azaltacaktır ve camın beklenmedik bir şekilde kırılmasına neden olacaktır. Unutulmaması gereken kural şudur; “emayenin cam yüzeyine uygulandığı andan itibaren artık o camın dış yüzeyi emayedir ve emayeye ne olursa cama da o olacaktır”. Emayenin yeteri kadar parlak olabilmesi için gerekli bir pişirme sıcaklığı vardır. Diğer yandan bu sıcaklığın camın deformasyonuna yol açmaması gerekir. Yani emayenin erime sıcaklığı camın yumuşama noktasından düşük olmak zorundadır.

2.3. Pişirme

Pişirme sürecinde en önemli kısım ön-ısıtma zonudur. Emaye ön ısıtma zonuna girdiği zaman yapısında bulunan çözücüler ve ortamda bulunan yağlar buharlaşmaya başlayacaktır. Bu aşamada yani ön ısıtma zonunda organik çözücülerin, yağların ve o sıcaklıkta oluşabilecek parçalanma ürünlerinin ortamdan hızla uzaklaşabilmesi için gerekli etkin bir havalandırma sisteminin yani ortamda yeterli oksijenin olması oldukça önemlidir. Emaye, pişirme sürecine camın yumuşamasına neden olmayacak en yüksek sıcaklıktan başlaması gereklidir. Emaye bu sıcaklıkla karşılaştıktan sonra sıcaklığın, emayenin cam yüzeyinde pişirme sıcaklığının hemen altında bir sıcaklığa kadar (yaklaşık $430 \text{ }^{\circ}\text{C}$ - $460 \text{ }^{\circ}\text{C}$) hızlı bir şekilde yükseltilmesi ve emayenin bu sıcaklıkta 5 ile 10 dakika arasında bekletilmesi gereklidir. Ön-ısıtma sürecinden sonra sıcaklığın pişirme sıcaklığına kadar hızlı bir şekilde yükseltilmesi ve emayenin bu sıcaklıkta 5 ile 12 dakika arasında bekletilmesi gereklidir. Daha sonra iyi bir tavlama için sıcaklık yavaş yavaş azaltılmalıdır (Şekil 1).



Şekil 1. İdeal Pişirme Profili

Ön-ısıtma sürecinde iyi bir havalandırma sisteminin olmasının ve ortamda yeterli seviyede oksijenin olması gerektiğinin önemli olduğu yukarıda belirtilmiştir. Çünkü, bu aşamada “denge” şartlarının oluşması istenmeyen bir durumdur.

Yani, ortamdaki organik bileşenlerin buharlaşıp yeniden yoğunlaşmaması gereklidir. Bu durum, rengin üzerinde çizgili bir görüntünün oluşmasına neden olur. Hatta emaye üzerine yeniden yoğunlaşarak damlayan organik bileşenler rengin bir kısmını çözücü olarak uzaklaştırır. Emayenin, pişirme fırınına girdikten sonra denge şartları ile karşılaşarak karşılaşmadığının takibi ise zordur. Ayrıca, yine eğer etkin bir havalandırma sağlanamazsa diğer önemli bir sorun “terleme” dir. Soğuk cam yüzeyine uygulanan dekor sıcak fırın şartlarına girdiği zaman terleme gerçekleşecektir. Dekorun terleme sonucu cam yüzeyinden kayması çok karşılaşılan bir durumdur. İyi bir havalandırma sistemi ile ya da dekorasyondan önce cam yüzeyinin ön-ısıtılması ile bu durumun üstesinden gelinebilir. Sonuç olarak, ön-ısıtma sürecinin en önemli amacı emayenin cam yüzeyinde pişirilmesinden önce ortamdaki tüm organik bileşenlerin uzaklaştırılması ve yüksek sıcaklıklara çıkmadan önce camın hazırlanmasıdır. Organik bileşenlerin uzaklaşmadan eritkenin erimesi, dekor üzerinde kabarcıkların oluşmasına neden olur.

2.4. Kimyasal Dayanıklılık

Emayeler kimyasal dayanıklılık açısından asit ve alkali dayanımı yüksek ve düşük olmak üzere 2 kategoriye ayrılabilir. Örneğin, cam sofraya eşyalarında kullanılmak üzere üretilen emayelerin asetik, sitrik, fosforik ve okzalik asite karşı ve yüksek alkali içeriği nedeniyle deterjanlara karşı dayanıklı olması beklenir. Kimyasal dayanıklılık denilince akla gelen bir diğer parametre emayelerin sülfür dayanımıdır. Sülfürler, dekorlanmış ürünün paketlenmesinde kullanılan karton malzemenin içeriğinde, kozmetik ürünlerde ve bazı gıda maddelerinde bulunur. Kurşun içeren emayeler sülfür atmosferine maruz kaldığı zaman kurşun, sülfür ile reaksiyona girerek kurşun sülfürü oluşturur ve bunun sonucunda dekor üzerinde siyah bir film oluşur. Bu film, ancak hidrojen peroksit veya sodyum hipoklorit gibi yükseltgen bir çözeltiye daldırılarak temizlenebilir.

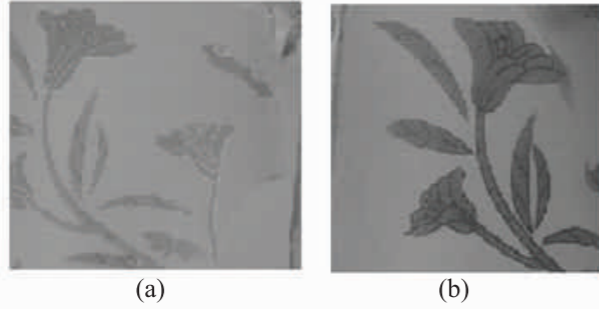
2.5. Kurşun ve kadmiyum içermeyen emayeler

Son yıllarda artan çevre ve sağlık bilinci ve standartların giderek daralan limit değerleri nedeni ile kurşun ve kadmiyum içermeyen boyalara karşı olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu iki metal yerine geçebilecek arayışlar hala devam etmektedir. Çinko ve bizmut esaslı boyaların kimyasal direncinin kurşunlu emayelere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir ve bu nedenle kullanım alanı yaygındır. Bizmut esaslı emayelerin alkali ortamına karşı direnci kurşunlu emayelere göre daha yüksek olması büyük bir avantaj sağlamasına rağmen dekorlu yüzeyin kurşunlu boyalar kadar parlak bir görüntüye sahip olmaması büyük bir dezavantajdır. Çinko esaslı emaye kullanılarak yapılmış dekor yüzeyi de yeteri kadar parlak değildir. Ayrıca, çinko esaslı emayelerin yüksek alkali direncine sahip olabilmesi için kurşunlu emayelere göre daha yüksek sıcaklıkta pişirilmesi gerekir. Fiyatları ise daha yüksektir. Bizmut ve çinko esaslı emayelerin Otocam ve Cam Ambalaj alanlarında geniş bir kullanım alanı vardır.

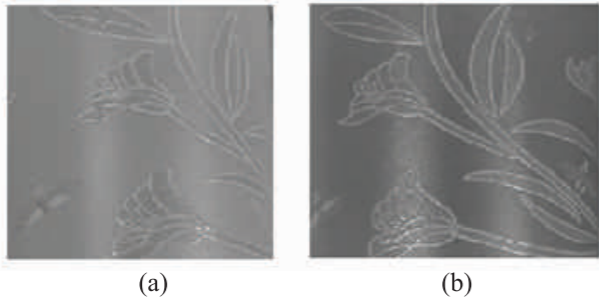
3. Yapılan Çalışmalar

3.1. Emayelerin sülfür dayanımı

Numunelerin sülfür dayanımı, Cam Araştırma Merkezinde geliştirilmiş olan sülfür dayanımı test kabiniinde test edilir. Numuneler, gaz sızdırmazlığı sağlanmış ve hidrojen sülfür gazı ile doyurulmuş olan bu kabinde 16 saat bekletilir. Şekil 2a’da altyapımcı firmada pişirilmiş transfer numunesinin tarafımıza iletiği durumu, 2b’de ise hidrojen sülfür ile doyurulmuş kabinde 16 saat bekletildikten sonraki görüntüsü verilmiştir. Şekil 3a’da Paşabahçe Kırklareli Fabrikasında pişirilmiş baskı boya numunesinin tarafımıza iletiği durumu, 3b’de ise hidrojen sülfür ile doyurulmuş kabinde 16 saat bekletildikten sonraki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. Transfer numunesinin sülfür dayanım testine girmeden önce (a) ve girdikten sonraki (b) görüntüleri



Şekil 3. Baskı boya uygulaması numunenin sülfür dayanım testine girmeden önce (a) ve girdikten sonraki (b) görüntüleri

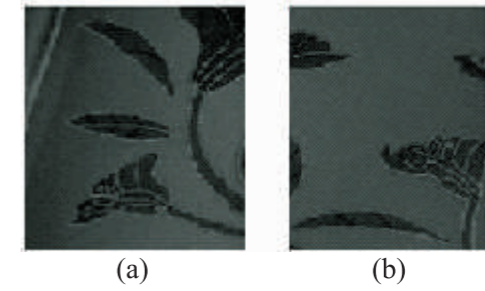
Baskı boya uygulanmış numunede mat beyaz renk kararmaya uğrarken diğer renklerde kararma gözlenmedi (Şekil 3b). Transferde ise ise tam tersi durum yani mat beyaz rengin daha az, diğer renklerin ise sülfür atmosferinden daha çok etkilendiği gözlemlendi (Şekil 2b). Numunelerin kimyasal kompozisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) EDS Sistemi yarı kantitatif analiz programı ile analiz edildi. Tablo 3’de baskı boya ve transfer numunelerinin içinde tespit edilen PbO yüzde ağırlığının SiO₂ yüzde ağırlığına olan oranları verilmiştir.

Tablo 3. Transfer ve baskı boya numunelerinin PbO/SiO₂ oranları

Renk	Transfer PbO/ SiO ₂	Baskı Boya PbO/ SiO ₂
Beyaz	1,9 Kararma YOK	5,4 Kararma VAR
Mavi	5,3 Kararma VAR	2,5 Kararma YOK
Pembe	4,9 Kararma VAR	2,5 Kararma YOK
Yeşil	4,8 Kararma VAR	2,4 Kararma YOK
Sarı	5,5 Kararma VAR	2,4 Kararma YOK

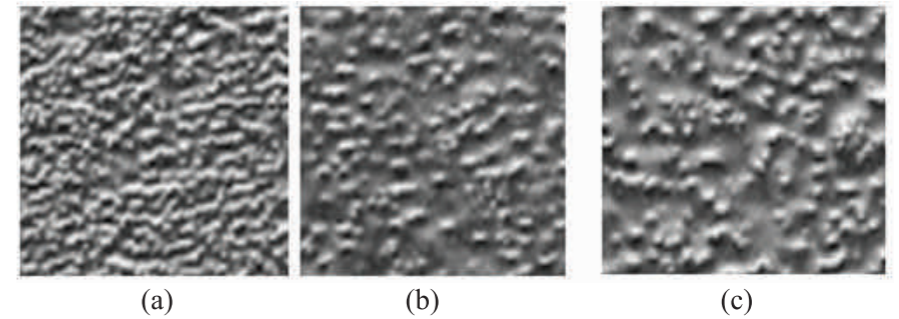
Sonuçlardan renk içinde bulunan PbO yüzde ağırlığının arttıkça rengin sülfür dayanımının azaldığı, yani kararmasının ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Altyapımcı firmada pişirilmiş olan beyaz hariç diğer renklerin sülfür atmosferinde kararmaya uğradığı transfer numunesi (Şekil 2a) bu kez Paşabahçe Kırklareli Fabrikasında (PK) pişirilmiş ve daha sonra hidrojen sülfür kabininde 16 saat bekletilmiştir. Fakat, bu sefer transferde herhangi bir kararma gözlenmemiştir. Şekil 4’te PK fırınında pişirilmiş olan transfer ve bu numunenin hidrojen sülfür kabininde 16 saat bekletildikten sonraki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. PK’da pişirilmiş transferin hidrojen sülfür kabinine girmeden önceki (a) ve 16 saat bekletildikten sonraki (b) görüntüsü

Aynı transfer altyapımcıda pişirildiği zaman sülfür atmosferinden etkilenmiş PK’da pişirildiği zaman ise etkilenmemiştir. Bu durum, numunelere farklı pişirme şartları uygulandığı sonucunu düşündürmüştür. Bunun üzerine iki numune arasındaki yüzey farklılıkları LEICA MZ 95 STEREO MİKROSKOP cihazı ile incelenmiştir. Şekil 5a ve 5b’de sırasıyla altyapımcı ve PK’da pişirilmiş transferlerin sülfür atmosferine maruz bırakmadan önceki yüzey görüntüleri verilmiştir. Numunelerin yüzeyleri arasında belirgin bir farklılık gözlenmiştir. Bunun üzerine altyapımcı firmada pişirilmiş olan transfer CAM’da tekrar pişirilmiş (oda sıcaklığından itibaren laboratuvar tipi tavlama fırınında 600°C’ye kadar ısıtılmış ve daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur) ve yüzeyi stereo mikroskop cihazı ile yeniden incelenmiştir. Görüntüsü Şekil 5c’de verilmiştir.



Şekil 5. (a) Altyapımcıda, (b) PK’da, ve (c) Altyapımcıda pişirildikten sonra CAM’da yeniden pişirilmiş transfer numunelerinin hidrojen sülfür kabinine girmeden önceki stereo mikroskop cihazı ile çekilmiş yüzey görüntüleri

Şekil 5b ve 5c karşılaştırıldığı zaman altyapımcıda pişirildikten sonra CAM’da yeniden pişirilmiş transferin yüzey görüntüsünün PK da pişirilmiş transferin yüzey görüntüsü ile benzerlik gösterdiği gözlenmiştir.

Ayrıca, altyapımcıda pişirildikten sonra CAM’da yeniden pişirilmiş olan transfer hidrojen sülfür kabininde 16 saat bekletilmiştir. Transferin sülfür atmosferinden etkilenmediği gözlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Altyapımcıda pişirilmiş olan transferin (a) hidrojen sülfür kabinine girmeden önceki resmi, (b) hidrojen sülfür kabinine girdikten sonraki resmi ve (c) CAM’da yeniden pişirilip hidrojen sülfür kabinine girdikten sonraki resmi

Sonuç olarak, dekor uygulanmış numunenin sülfür direncinin yüksek olması için gerekli olan en önemli parametre iyi pişirme şartlarıdır. Yukarıda anlatılan çalışmada bu durum açıkça görülmektedir. Bu çalışmalar esnasında PK’de bulunan iki dekor fırınının ve altyapımcı firmalarda bulunan fırınların sıcaklık profilleri üzerinde çalışılmıştır. PK’da bulunan fırınlarda bazı iyileştirmeler yapılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda numunelerin sülfür direnci yeniden test edilmiş ve dekorlarda herhangi bir kararma gözlenmemiştir.

3.1. Emayelerin bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımı

3.1.1. Kurşunlu Boyalar

Numuneler “ENV 12875/1 Sofra Eşyalarının Bulaşık Makinesinde Yıkamaya Mekanik Direnci-Kısım 1” konulu standart çerçevesinde incelenmiştir. Standart bulaşık makinesinde yıkama testine tabii tutulan numunelere uygulanan yıkama testi koşulları aşağıda verilmiştir;

- Soğuk önyıkama (5 dakika, 20 °C)
- Deterjan ile ana yıkama (30 dakika, 60 °C)
- Durulama (3 dakika, 20 °C)
- Parlatıcı+Son Durulama (20 dakika, 65 °C)
- Kurutma (10 dakika kapak kapalı olarak, 30 dakika kapak açık olarak)
- Su sertliği : < 1 °dH
- Su tüketimi : 22-24 L / çevrim
- Deterjan : Calgonite Toz Deterjan, iki aşamalı, Tip C (24±3 g)
- Parlatıcı : Calgonite (2.5-3.0 g)

Numuneler bulaşık makinesinde yıkandıktan sonra EN 12875-2 “Ev Eşyalarının Bulaşık Makinesinde Yıkama Dayanımı-Gözlem Metodu” konulu standarda göre renk, bulutlanma, menevişlenme ve parlaklık kaybı açısından incelenmiştir. EN 12875-2 nolu standart kriterleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. EN 12875-2 nolu standart kriterleri

Sıralama derecesi	Gözlem Sonucu
0	Hiç değişme yok
1	Fark edilebilen ilk değişme
2	Gözle görülebilen değişme

Tablo 5’te PK da bulunan dekor fırınlarında iyileştirme yapılmadan önce ve iyileştirme yapıldıktan sonra pişirilen numunelerin bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanım test sonuçları verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere iyi pişirme şartlarının numunenin bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımı üzerinde de etkisi vardır. Dekor fırınlarında iyileştirme yapıldıktan sonra numunelerin bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımı yaklaşık 20 çevrim artmıştır.

Tablo 5. PK dekor fırınlarının iyileştirilmesinden önce ve sonra alınan numunelerin bulaşık makinesine dayanım test sonuçları

Numune	Sıralama Derecesi	10 çevrim	20 çevrim	30 çevrim	40 çevrim
		Adet Numune	Adet Numune	Adet Numune	Adet Numune
İyileştirme Öncesi	0	8			
	1	2	3		
	2		7	2	
İyileştirme Sonrası	0	10	6		
	1		4	10	
	2				10

Öncesinde ENV-12875/1 olarak geçen ve tasarı halinde olan standart Şubat 2006 tarihinde kabul görmüş ve EN 12875/1 olarak yayınlanmıştır. ENV’ye göre 1 Alman sertliğine sahip su kullanılarak yıkanan numuneler, standart EN olduktan sonra 1.7 ile 3.4 arasında Alman sertliğine sahip su kullanılarak yıkanmaya başlanmıştır. Tablo 6’da Paşabahçe Eskişehir fabrikasında pişirilen ve cam ev eşyası alanında kullanılan boyaların hem ENV hem de EN’ye göre bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanım test sonuçları verilmiştir.

Tablo 6. Su sertliğinin dekorun bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımına etkisi

Boya	10 çevrim	20 çevrim	30 çevrim	40 çevrim	50 çevrim	60 çevrim
	çevrim	çevrim	çevrim	çevrim	çevrim	çevrim
ENV 12875 Su sertliği < 1 °dH	Ferro VR Seri	0	1	2		
	JM-V 37 Seri	0	1	2		
	Ferro VM seri	0	0	1	2	
EN 12875 Su sertliği 1.7 - 3.4 °dH	Ferro VR Seri	0	0	1	1	1
	JM-V 37 Seri	0	0	1	1	1
	Ferro VM seri	0	0	0	1	1

Tablo 6’de verilen sonuçlar incelendiğinde görülüyor ki **yumuşak su kullanılması durumunda** dekor daha erken yıpranmaktadır. Su sertliği derecesi 8 °dH’ne çıkarılarak numuneler yeniden test edildiğinde, dekorların yaklaşık 100 çevrim yıkanmaya dayandığı tespit edilmiştir.

Kurşunlu boyalar kullanılarak cam yüzeyine dekor uygulaması yapıldıktan sonra dekor üzerine şeffaf flux uygulaması yapılmış ve bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımları test edilmiştir. Dekor üzerine şeffaf flux uygulaması numunenin bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımını yaklaşık 60 çevrim kadar arttırmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Üzerine şeffaf flux uygulaması yapılmış dekorun bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımı (ENV 12875-1/Su sertliği < 1 °dH)

Boya	10 Ç	20 Ç	30 Ç	60 Ç	70 Ç	90 Ç
Dekor JM-V 37 Seri	0	1	2			
Dekor: JM-V 37 Seri Şeffaf Flux: Ferro VM	0	0	0	0	1	2
Dekor: JM-V 37 Seri Şeffaf Flux: Ferro VR	0	0	0	0	1	2

3.1.2. Kurşunsuz Boyalar

Fenzi firmasına ait kurşunsuz boyaların cam yüzeyine uygulaması yapılmış ve CAM da bulaşık makinesi dayanımı incelenmiştir. Firmanın kurşun yerine çinko ve bizmut esaslı boyaları vardır. Bizmut esaslı boyalarının kimyasal dayanımı çinko esaslı boyalara göre daha yüksektir. Cam Araştırma Merkezinde yapılan test sonuçlarına göre çinko esaslı boyaların bulaşık makinesinde yaklaşık 60 çevrime, bizmut esaslı boyaların ise yaklaşık 100 çevrime dayandığı tespit edilmiştir. Ferro’nun ise kurşun ve kadmiyum içermeyen yüksek miktarda ZrO₂ içeren NP 2000 isimli bir seri boyaları vardır. Bulaşık makinesine dayanımları kurşunlu boyalara göre daha yüksektir (50-70 çevrim arası, Tablo 8). Fakat renk paleti açısından olsukça yetersizdir. Ayrıca bu firmalara ait kurşunsuz boyaların bulaşık makinesi dayanımı kurşunlu boyalara göre daha yüksek olmasına rağmen cam yüzeyine uygulama sonrası parlaklıkları kurşunlu boyalar gibi değildir.

Ferro’nun kurşun ve kadmiyum içermeyen başka bir boyası daha vardır ki bu boyanın hem bulaşık makinesi dayanımı oldukça yüksek (yaklaşık 200 çevrim) hem de boyanın cam yüzeyine uygulaması sonrasında parlaklığı kurşunlu boyaları aratmamaktadır. Ekim 2006 tarihine kadar rakip cam üreticisi için özel olarak üretilen bu ürünün içeriğinde yüksek miktarda ZrO₂ ve SiO₂ ve hiçbir boyada bulunmayan niobyum oksit, Nb₂O₅, bulunmaktadır (Tablo 8).

Tablo 8. Kurşunlu ve kurşunsuz boyaların bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımları

Kurşunlu boyalar	Kurşunsuz boyalar Su sertliği < 1 °dH			
	Ferro NP 2000 (ZrO ₂)	Fenzi Zn esaslı	Fenzi Bi esaslı	Ferro rakip firma için özel üretilen (ZrO ₂ ve Nb ₂ O ₅)
Su sertliği < 1 °dH ~30-40 çevrim				
Su sertliği 1.4-3.7 °dH 60 çevrim	~50-70 çevrim	~60 çevrim	~100 çevrim	~200 çevrim
Dekor üzerine şeffaf flux Su sertliği < 1 °dH 90 çevrim				

4. Sonuç

Proje kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda pişirme sürecinin önemi çok daha iyi anlaşılmıştır. Dekor fırınlarının sıcaklık profillerinde iyileştirme yapıldıktan sonra, bu fırınlarda pişirilen baskı boyalı numunelerin sülfür ve bulaşık makinesinde yıkanmaya karşı dayanımlarında artış tespit edilmiştir. Bu amaçla, önümüzdeki dönemlerde CAM da planlanan bir başka çalışma boyalar için uygun pişirme sıcaklık profilinin tespiti ile ilgilidir.

Kurşunlu boyaların bulaşık makinesi dayanımı üzerinde su sertliğinin de önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. 1 °dH nin altında su ile yıkanan numuneler 30-40 çevrim sonu bozulurken, 1.7-3.4 °dH arasında su ile yıkanan numuneler 60 çevrime kadar, 8 °dH sahip su ile yıkanan numunelerin ise 100 çevrime kadar dayandığı tespit edilmiştir.

Kurşun ve kadmiyum içermeyen boyaların bulaşık makinesi dayanımı kurşunlu boyalardan daha yüksektir. Genel olarak kurşunsuz boyaların en büyük dezavantajı kurşunlu boyalar gibi parlak olmamalarıdır. Bununla beraber, rakip firma için özel olarak üretilen, niobyum ve zirkonyum esaslı boyanın ise bulaşık makinesinde 200 çevrime kadar dayandığı tespit edilmiştir. Üstelik niobyum esaslı bu boyanın parlaklığı kurşunlu boyaları aratmamaktadır. Boya üreticilerinin kurşunsuz boyalar ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları hızla devam etmektedir. Standartlarda belirtilen cam sofraya eşyalarından açığa çıkan kurşun ve kadmiyum limitlerinin gün geçtikçe daralması nedeniyle bu gelişmeleri Şişecam olarak yakından takip etmemiz gerektiği inancındayız.

TENTESOL SERİSİ CAMLARDA VERİM ARTTIRMA ÇALIŞMALARI ve YENİ ÜRÜN “TENTESOL-T”

Haşim Ekici – Alper Can – Ali Yönden - Osman Bilaloğlu
Trakya Cam Sanayii A.Ş. Trakya Fabrikası / Düzcama Grubu

Dr. Yusuf Saraç – Can Kaplan
Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Trakya Cam Sanayii A.Ş. Trakya Fabrikası TR-1 hattında üretimine başlanan Tentesol pirolitik güneş kontrol camları, 2006 yılı başında TR-2 hattında üretilmeye başlanmıştır. Her float hattının kendine özgü geometrisi olması nedeniyle, kaplama bölgesinde oluşan hava akımları farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak, kalay banyosu çıkışında cam üzerine taşınan gaz akımları ve döngüler, kaplama üzerinde etkili olmaktadır. Alt yüzey kirliliğini önlemek amacı ile kalay banyosu çıkışında camın alt yüzeyine verilen kükürt dioksit gazı cam üst yüzeyine taşınarak, cam kenarlarında kaplamanın tutunmasını engellemektedir.

TR-1 hattında, Şişecam'ın kendi know-how'ı ile kurulan kaplama sistemi, TR-2 hattı için revize edilmiştir. TR-1 hattında elde edilen bilgi birikimi sonucu, yeni bir tasarımla TR-2 kaplama sistemi kurulmuştur. Yapılan ön denemelerde, kükürt dioksit ve banyo gazlarının cam üst yüzeyine taşındığı gözlenmiştir.

Banyo çıkışında hidrojen alevi ile yüzeye taşınan indirgen atmosferin, oksit formunda oluşacak kaplama için olumsuz bir ortam yarattığı ve cam şeridi boyunca kaplama kalınlığının düzensiz bir dağılım gösterdiği ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak, kalay banyosu çıkışı ile kaplama bölgesi arası boş alan uzatılarak, banyodan taşınan gazların yükselerek kaplama bölgesinden uzaklaşması sağlanmıştır. Ayrıca, kaplama bölgesi arka duvarı üzerine düzgün bir metal perde yerleştirilerek, cam üzerine taşınacak yanıl hava akımlarının homojen olarak dağılması sağlanmıştır.

Cam üst yüzeyine taşınan kükürt dioksit gazının kontrolü amacı ile, hassas ayara izin veren bir flowmetre sistemi kurulmuştur. Yapılan deneme çalışmaları sonucu optimum debi hesaplanarak, bu debi ile cam şeridi kenarlarında kaplamanın tutunması sağlanmıştır.

TR-2 hattı yanına kurulan çevre sistemi ile hem çalışanlar, hem de çevre açısından kaplama sistemi güvenli bir sistem haline gelmiştir. Bir yakma ünitesi ve elektro-filtrelerden oluşan çevre sistemi ile çevreye zararlı oksitler yakılmakta ve koku önlenmektedir.

Bu çalışmalar sonucunda, daha önce 2800 mm. olarak belirlenmiş olan satılabilir cam eni, 3210 mm. ye çıkarılmıştır. Ayrıca uygulamanın yapıldığı aparatlarda gerçekleştirilen geliştirme çalışmaları ile de saat başı periyodik yapılması gerekli olan püskürtücü kafa temizlik sürelerinde de 10~15dk'lardan 3~5 dk'lara gelinmiştir. Bunların sonucu olarak, kaplama verimi %15 artırılarak, toplam verim % 70'den % 85'e çıkarılmıştır.

Pirolitik güneş kontrol camları, kobalt bazlı ve titanyum bazlı olmak üzere iki çeşittir. Titanyum oksit kaplamalar; düşük absorpsiyona sahip, gün ışığını yansıtma özelliği olan kaplamalardır. Kobalt bazlı kaplamalarda, kaplama absorplayıcı olduğundan, kaplama rengi ortaya çıkarken; titanyum bazlı kaplamalarda, alt cam rengi ortaya çıkmakta ve kaplamalı cam, gün ışığı yansıtıcı özellik göstermektedir. Pirolitik güneş kontrol ürünlerinde, titanyum oksit kaplamalı camların



tercih nedenlerinin başında, yüksek gün ışığı geçirgenliği ve alt cam renginin daha belirgin olması gelmektedir.

Titanyum oksit kaplamalı cam, kobalt bazlı kaplamalı cam ile karşılaştırıldığında, enerji kontrolü açısından benzer performanslar göstermektedir. Ancak titanyum oksit kaplamalı camlar, daha yüksek geçirgenlik özelliğiyle, daha aydınlık ortamlar sağlamaktadır. Bu da, son yılların mimari eğilimi olan, gün ışığından daha fazla yararlanma beklentileri ile örtüşmektedir.

Kobalt bazlı ürünümüz olan TENTESOL[®], yeşil, mavi ve renksiz camlar üzerine kaplanmaktadır. Yabancı kaynaklı titanyum oksit kaplamalı pirolitik güneş kontrol camları, yurtiçi pazarda uzun zamandır mevcuttur.

Ürün yelpazemize yeni katılan TENTESOL-T[®] Yeşil ve TENTESOL-T[®] Mavi ile Şişecam titanyum oksit kaplamalı cam pazarında yerini almıştır.

Anahtar Sözcükler: Satılabilir cam şeridi, Gaz akımları, Kükürtdioksit, Çevre sistemi, Pirolitik, Gün ışığı geçirgenlik, Güneş kontrolü

GİZLİLİĞİ NEDENİYLE YAYIMLANMAMIŞTIR

28 KOLLU ÇAY BARDAĞI MAKİNESİNİN YERLİ ÜRETİMİ

Arif Karahan - Yavuz Gültekin

Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Mersin Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu

Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Mersin fabrikasına ilk çift damla çay bardağı üretim hattı 1996 yılında Olivotto/İtalya firmasından temin edilerek devreye alındı. 1996 -2004 yılları arasında Mersin Fabrikası'nın söz konusu makinelerde elde ettiği tecrübe ve yapmış olduğu iyileştirmelerle 230.000 adet/gün den ortalama 290.000 adet/gün'e çıkarılmıştır.

Buna dayanarak makinede yapılan bu iyileştirmeler ile sağlanan adet ve verim artışı göz önüne alındığında, yapılan çalışmaların her birinin birer know-how olduğu ve bu know-how'ın grup dışına çıkmaması için, 2005 yılında ihtiyaç duyulan dördüncü çay bardağı makinesini yurt dışından temin yerine, Mersin Fabrikası'nın bilgi birikimi kullanılarak yurt içinde yaptırılması kararı alındı. Makine imalat ve montaj çalışmaları Ocak 2005'te başladı. Ekim 2005 başında bitirildi. 20 Ekim-07 Kasım 2005 tarihleri arasında soğuk testleri yapıldı ve bir problem olmadığından 10 Kasım'da Mersin Fabrikası A4 hattına montajı başladı. Beş gün gibi kısa bir sürede montaj ve demontaj işleri sorunsuz bitirilerek 16 Kasım 2005 tarihinde başarı ile devreye alındı. Aynı gün içerisinde diğer makinelerle aynı üretim standardına geldi.1996 yılında 4.000.000 USD. Fiyatla yurt dışından temin edilen makine, yurt içi kaynaklar kullanılarak 1.750.000 USD karşılığı olarak "YTL" harcama yapılarak tedarik edildi ve şirketimize 2.250.000 USD'lık tasarruf sağlandı.

Anahtar Sözcükler: Know-how, Makine Tasarım, Geliştirme

1. Giriş

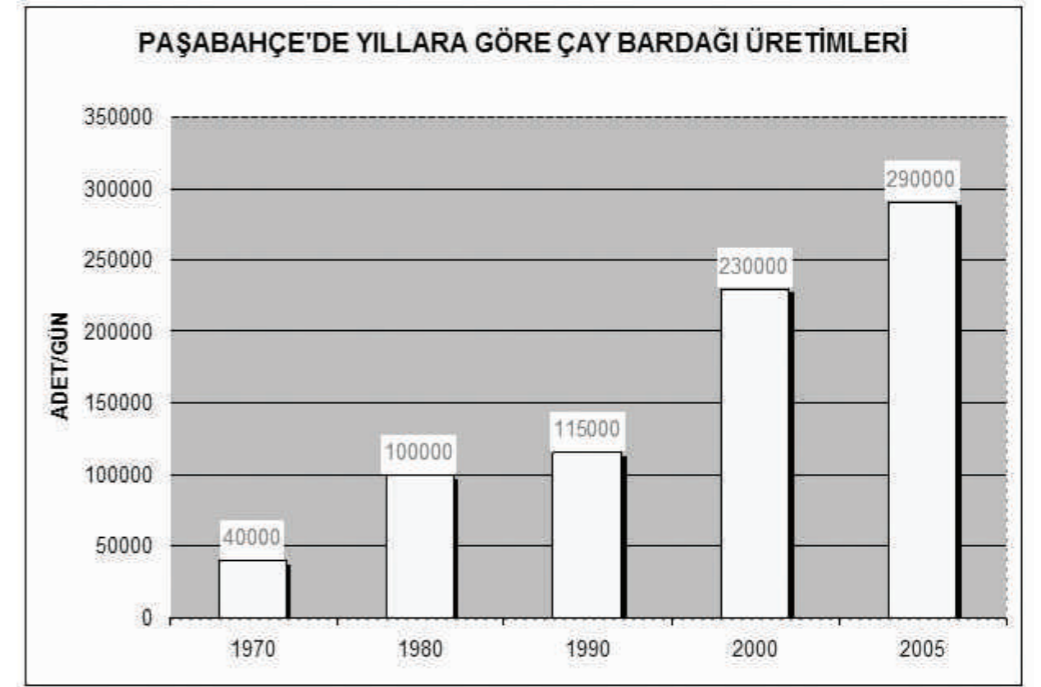
1935 yılında Paşabahçe Fabrikası'nın kurulmasıyla temeli atılan şirketimizin lokomotif ürünlerinden olan çay bardaklarının üretimi 1958 yılında ilk otomatik züccaciye makinası olan H-28 makinası alınana kadar elle üretiliyordu.1958 yılından sonra H-28 ,M16 ve H-24 makinalarında otomatik olarak üretilir hale geldi.1970'li yılların ortasına kadar çay bardakları genellikle M16 yada H24 makinalarında üretiliyordu ancak bu makinaların blow-blow prosesle çalışmasından dolayı günlük üretim adetleri 40.000'i geçmiyordu.

1970'li yılların ortasından sonra 12 seksiyonlu H-28 Pres üfleme makinalarının sayısının artmasıyla çay bardakları bu makinalarda üretilmeye başlandı ve üretim günde 100.000 adetlere ulaştı..

1980-1995 yılları arasında artan teknoloji,bilgi birikimi ve tecrübeyle 1990'lı yıllarda aynı makinalarda çay bardağı üretimleri günde 115.000 çay bardağı adetlerine ulaştı.

1995 yılında Mersin fabrikası'nın kurulma kararı ile birlikte, şirketimizin kazanmış olduğu teknik bilgi birikimi ve tecrübesinin ışığında ilk çift damla 28 seksiyonlu pres üfleme makinaları yurtdışında yaptırılarak 1996 yılında Mersin Fabrikası'nda devreye alınarak günde 230.000 adet çay bardağı üretilmeye başlandı.

1996-2004 yılları arasında Mersin Fabrikası'nın söz konusu makinalarda elde ettiği bilgi birikimi, tecrübe ve yapmış olduğu geliştirmelerle üretim adetleri 230.000 adet/gün den 290.000 adet/gün'e çıkartılmıştır.



2. Amaç

Makinelerde yapılan iyileştirme ve geliştirme çalışmaları ile sağlanan adet ve verim artışı göz önüne alındığında, yapılan çalışmaların her birinin birer know-how olduğu kanısındayız. Hem bu know-how'ın şirket dışına çıkmaması hem de şirket ve ülkemizin cebinden döviz çıkmaması için, 2005 yılında ihtiyaç duyulan dördüncü çay bardağı makinesini yurt dışından temin etmek yerine Mersin Fabrikası'nın bilgi birikimi kullanılarak yurt içinde yaptırılması kararı alındı.

3. Tanım

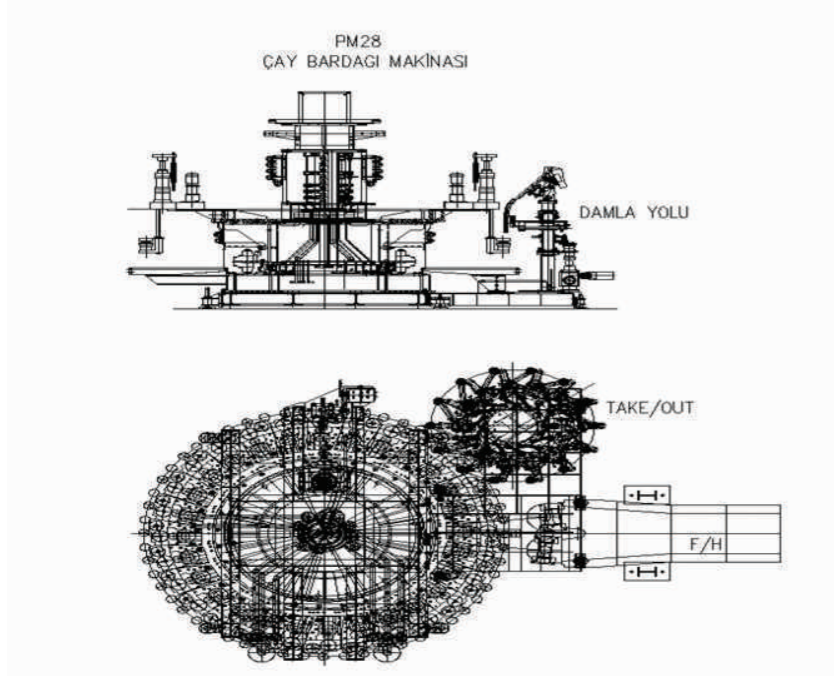
28 SEKSİYONLU ÇAY BARDAĞI MAKİNESİ aşağıda belirtilen mekanizma gruplarından oluşmaktadır;

1. PM 28 ANA MAKİNE

- Makine Gövdesi
- 28 adet seksiyon
- Damla Yolu mekanizmaları
- Take-Out mekanizması

2. BOM 56 SICAK KESME MAKİNESİ

- Makine Gövdesi
- Yükleyici Mekanizması
- Turnike Mekanizması



3.1. Makinede Yapılan İyileştirmeler

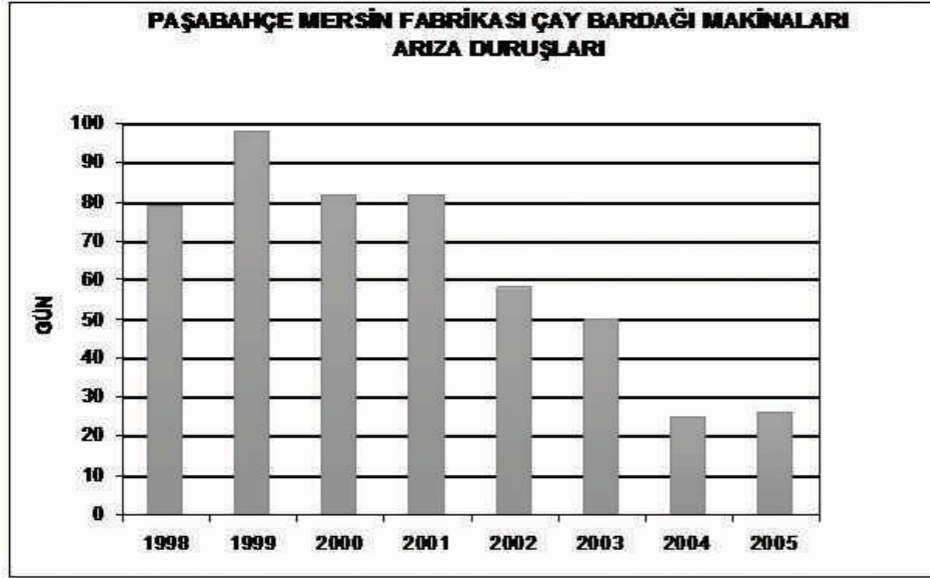
1. Seksiyonu oluşturan ticari ve imalat parçalarının seçiminden ve tasarımından kaynaklanan sürekli arızalar meydana geliyor ve makinelerde sürekli duruşlar oluyordu. Problem oluşturan ticari parçalara alternatif malzemeler bulunarak, imalat parçalarının malzemelerinde ve tasarımında yapılan geliştirmelerle makine arıza duruşları azaltılmış ve makinelerin verimli çalışmaları sağlanmıştır.

Seksiyonlarda yapılan geliştirme çalışmalarından bazıları;

- 1.1.1 Muldebak döndürme redüktör mil malzemeleri değiştirilip ısıl işlem uygulandı.
- 1.1.2 Kalıp kolu mil kesmelerine karşı, montaj resimlerinde yanlış verilen montaj ölçüleri tespit edilip, kalıp kolu montaj grubu kalıp kolu miline yük gelmeyecek şekilde ayarlandı.
- 1.1.1 Mastör silindiri yukarı havasından şişirme havalarına hava karıştığından keçe malzemeleri ve mastör silindiri kapak tasarımı değiştirildi.
- 1.1.2 Lever çatal braketini kırıldığından yeni tasarım yapıldı.
- 1.1.3 Muldebağ basma braketini kırıldığından malzeme ve tasarım değiştirildi.
- 1.1.4 Ebişör silindiri yörünge kam civatalarının kesmesine yönelik tasarım değişikliği yapıldı.
- 1.1.5 Kalıp suyu valfleri sık arızalanıyordu. Kalıp suyu valfleri değiştirildi ve ayrıca by-pass devresi yapılarak valf arıza yaptığında seksiyon kapatılmaması sağlandı.

- 1.1.1 Ebişör silindiri yörünge kam civatalarının kesmesine yönelik tasarım değişikliği yapıldı.
 - 1.1.2 Kalıp suyu valfleri sık arızalanıyordu. Kalıp suyu valfleri değiştirildi ve ayrıca by-pass devresi yapılarak valf arıza yaptığında seksiyon kapatılmaması sağlandı.
 - 1.1.3 Mastör silindiri piston civataları kestiğinden, piston tasarım değiştirildi.
 - 1.1.4 Ayrıca birçok parça bağlantılarında kullanılan civatalar 8,8 kalite yerine 12,9 kalite civataya dönüştürülmüş, yine birçok keçe ve o-ring malzemelerinde değişiklik yapılmıştır.
 - 1.1.5 Seksiyon arızalarında ilk sırada bulunan muldebak motoru kavrama arızaları için muldebak motorlarında değişiklik yapılmış ve kavramalar iptal edilmiştir.
2. Damla Yolu mekanizmaları redüktör ve şaft sistemiyle çalışıyordu, sürekli şaft ve redüktör arızası yaşandığından mekanizma servo motorlu olarak geliştirildi. Böylece uzun makine duruşlarının ve damla savrulmalarının önüne geçildi ve ayrıca operatör ayarlarına da olumlu katkısı oldu.
 3. Elektronik olarak da makinelerin tüm senkronizasyon panoları PM şartlarında kolay yedeklenen malzemelerle programları yeniden yapılarak değiştirildi.
 4. Makine üzerinde bulunan seksiyon elektronik kartların üretimden kalkmasından dolayı gene fabrikamız bünyesinde yapılan çalışmayla dünyanın her tarafında kolaylıkla bulunabilecek kartların çalıştığı yeni dağıtıcı panosu ve yeni PLC programı yapıldı. Uzun vadede makinenin elektronik kart yedekleme problemi çözüldü.
 5. Makine distribütöründe kömür keçeler yerine, viton teflon takviyeli keçeler uygulanarak, 8 ayda değişen distribütör ömrü 5 kat uzamış oldu.
 6. Makineyle gelen ana rulman gres yağlama sistemi sürekli arıza yaptığından, rulmanın yağlanması problemliydi, sistem tamamen değiştirilerek rulmanın yağlanması garanti altına alındı.

Bu yapılan iyileştirmeler sonucu çay bardağı makineleri arıza duruşları 1999 yılında yılda 98 gün gerçekleşirken, 2005 yılı sonunda yılda 24 güne düşürülmüştür. Aşağıda verilen grafikte de görüldüğü gibi %70 oranında azaltılmıştır.



3.2. Makinenin Üretimi ve Montaj Çalışmaları

1. Proje Çalışmaları

2004 yılı Mayıs ayından 2004 yılı Ekim ayına kadar makinelerle alınan teknik resimler ve kendimizin yapmış olduğu geliştirme çalışmaları ile ilgili teknik projeler incelenerek, makinenin en son gelinen noktadaki tüm projeleri güncellendi.

2. Makinenin Siparişi ve İmalatı

05.01.2005 tarihinde makineyle ilgili tüm teklifler tamamlanarak pres üfleme makinesinin section, damla yolu, take-out ve ana gövde parçalarını YURDAKUL MAK.SAN VE TİC. LTD. Şirketinin, Bom 56 makinesini ise BURSES MAK.SAN. VE TİC. KOLL.STİ'nin yapmasına karar verildi ve makinenin üretimine Ocak 2005 ortalarında başlandı.

9,5 ay gibi bir süre sonunda makinelerin üretim süreci tamamlanarak Ekim 2005 ortalarında makineler fabrikamıza geldi. Önce makineler atölye ortamında kurularak 20.10.2005 - 07.11.2005 tarihleri arasında soğuk testleri yapıldı. Bir problem olmadığı görüldükten sonra 10.11.2005'te makinenin Mersin Fabrikası A4 hattına montajına başlandı.

3. Makine Montajı

Makinenin ve BOM 56 makinesinin gövde çaplarının yaklaşık 5 metreye yakın olmasından dolayı daha önceki makinelerin sadece gövdeleri hatta konduktan sonra diğer mekanizmalar gövde üzerine montaj edilmişti. Bu şekilde 8 gün süren

montaj zamanından kazanmak için fabrika işletme sahası yan panjurlar sökülerek 60 tonluk vinç yardımıyla, makineler işletme sahasına komple montajlı olarak kondu ve hatta da bu şekilde çekildi. Bu uygulamanın sonucu olarak montaj ve demontaj süresi 5 gün sürmüştü ve 6. gün makine devreye alınıp diğer makinelerin randımanına ulaşmıştır.

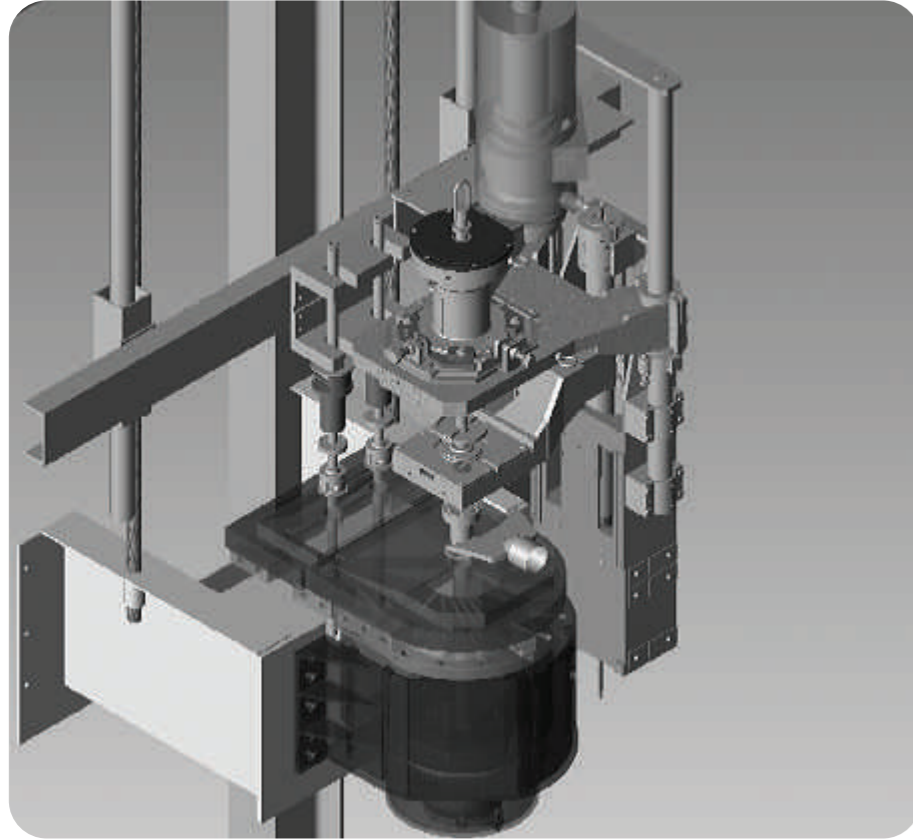
4. Sonuç

- 1- 1996 yılında devreye alınan çift damla 28 seksiyonlu pres üfleme makineleri ile üretim adetlerimizi yükselterek ürün maliyelerimizin düşmesine ve ayrıca pazarda şirketimizin rekabet edilemeyecek bir konuma gelmesini sağlamış bulunmaktayız.
- 2- 1996 yılında 4.000.000 USD'ye satın alınan makineler 2005 yılında yerli olanaklarla 1.750.000 USD'ye mal olmuş ve böylelikle 2.250.000 USD şirketimiz tasarruf sağlarken ülkemizden de yurtdışına bu miktarda döviz çıkışı engellenmiş ve ayrıca ülkemizin bütçe cari açığına katkıda bulunulmuştur.

Teşekkür

Çay bardağı üretiminin el imalatından otomatik üretime geçilmesini sağlayan, bugün çalışan bizlere büyük bilgi birikimi bırakan ve şirketimizin bugünlere gelmesinde emeği geçen büyüklerimize ayrıca 28 kollu çay bardağı makinesinin yerli üretimini fikir olarak önümüze koyan, projelendirme, üretim ve devreye alma sürecinde bizleri sürekli cesaretlendirerek projenin başarıya ulaşmasını sağlayan başta fabrika müdürümüz Sn. Muhammed YALÇINKAYA, Üretim Müdürümüz Sn. Sinan ULUFER ve Müh.Hiz.Müdürümüz Sn.Haluk TUĞRUL olmak üzere, bu projede emeği geçen diğer tüm şef, mühendis teknisyen, ustabaşı, işçi ve ressam arkadaşlarımıza huzurunuzda teşekkür ederiz.

Karıştırıcı bölgesinde daha önceki kampanyalarda kullanılmış olan platin karıştırıcılarda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil.2

1. F/H Dizayn Değişikliği İle Elde Edilen Avantajlar

1.1. F/H taşmalarının ortadan kaldırılması

Borosilikat camda, cam yüzeyinin atmosfere açık olduğu durumlarda oluşan scumun atılması için bir zorunluluk olan F/H taşmaları, yeni uygulamada toplam boyun %85 gibi bir kısmının kapalı F/H olarak yapılması ve geri kalan açık mesafenin de scum oluşmasına imkan vermeyecek kısıklıkta olması nedeniyle zorunluluk olmaktan çıkmış ve yeni F/H dizaynlarında F/H taşmalarına yer verilmeyerek sadece Ç/H'na bir adet taşma yapılmış ve bu sayede, daha önceki kampanyada 3'ü forehearthlarda, 2'si çalışma havuzunda olmak üzere toplam 5 tane olan taşma sayısı 1'e düşürülmüştür. Bunun sonucunda da fırından çekilen camın %22-25'i taşmalar dolayısıyla imalata verilmeksizin atılır iken bu kampanyada bu oran %4-5 gibi düşük bir değere çekilebilmiştir. Ayrıca F/H taşmalarına rağmen imalata gelen ve bir kalite kaybı olarak görülen scum hatasında da yapılan dizayn değişikliği ile önemli iyileşme sağlanmıştır.

1.2. F/H refrakter yenileme duruşları

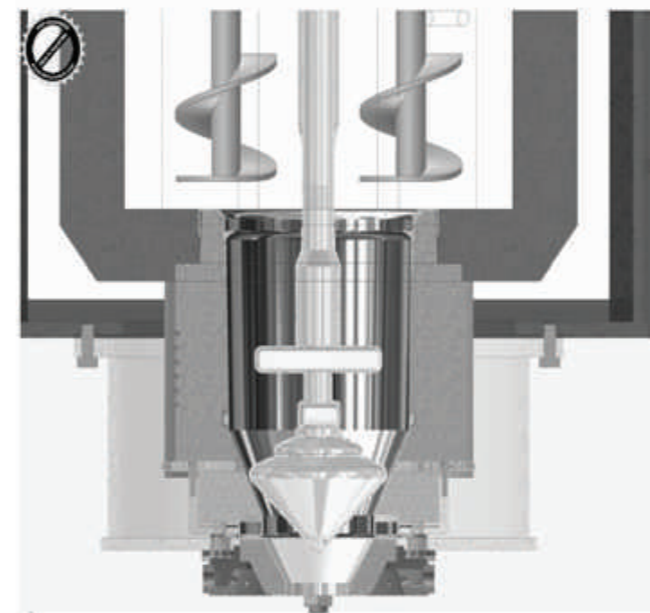
Daha önceki kampanyada spout bölgesindeki platin well uygulamasından zaman içerisinde elektroliz fiskası nedeni olması olasılığı nedeniyle vazgeçilmiş ve refrakter spout uygulamasına geçilmişti. Refrakter spoutunun cam akışının etkisiyle aşınması, yaklaşık 9-10 ay gibi bir süre sonra gramaj oynamasında çalışamaz noktalara gelmesi ve tüpün camı kesmemeye başlaması sonucu spoutun değişimi için duruş yapılmasını kaçınılmaz kılmaktaydı. Yaklaşık 4 -5 gün gibi süren değişim duruşu başlangıçta yaşanan problemler ve yoğun cam hatalarıyla birlikte bir haftayı geçen kayıplara neden olmaktadır. Aynı şekilde, F/H taşma taşının, bıçak altında Pt kaplanamayan bölümün 13~14 ay gibi bir sürede delinerek scum'ın ana cama karışmasına neden olması sonucu cam hatasında artış olması sebebiyle çoğu spout değişiminde taşma taşı da değiştirildiğinden duruşun etkisi daha da büyümekteydi. Yeni kampanyada, platin clad-well ve gobbing stirrer uygulaması ile taşmanın iptali sonucu bu periyodik duruş zorunluluğundan kurtulundu. F/H refrakterlerinin değişim periyodu 4 yıla çıkmış oldu.

1.3. F/H sıcaklık stabilitesindeki iyileşme

F/H ısıtmasında doğalgaz ve hava yakmasının uygulandığı dönemde F/H sıcaklıklarında, gaz basıncında değişme, bek tıkanmaları ve yanma şartlarındaki bozulmalara bağlı olarak yaşanan dalgalanmalar ile çekiş değişiklikleri sonrası sıcaklıkların dengelenmesinin uzun zaman alması üretimi olumsuz yönde etkileyen sorunlar iken, elektrik ısıtmalı F/H'larda hem çekiş değişimi sonrası istenilen sıcaklığın kısa sürede dengelenebilmesi hem de üretim esnasında sıcaklık değişimine neden olacak ısıtma dengesizliklerinin çıkmaması, üretimde rahatlık ve olumluluk sağlamıştır. Yine, doğalgaz ve hava yakmalı F/H'larda tıkanan beklerin değişimi için yapılması zorunlu olan bek değişim duruşlarından da elektrikli F/H uygulamasından sonra kurtulmuş olması üretimde ilave olumluluk yaratmıştır.

2. Feeder Tasarım Değişikliği İle Elde Edilen Avantajlar

2.1. Damla gramajındaki stabilitede iyileşme:



Şekil.3

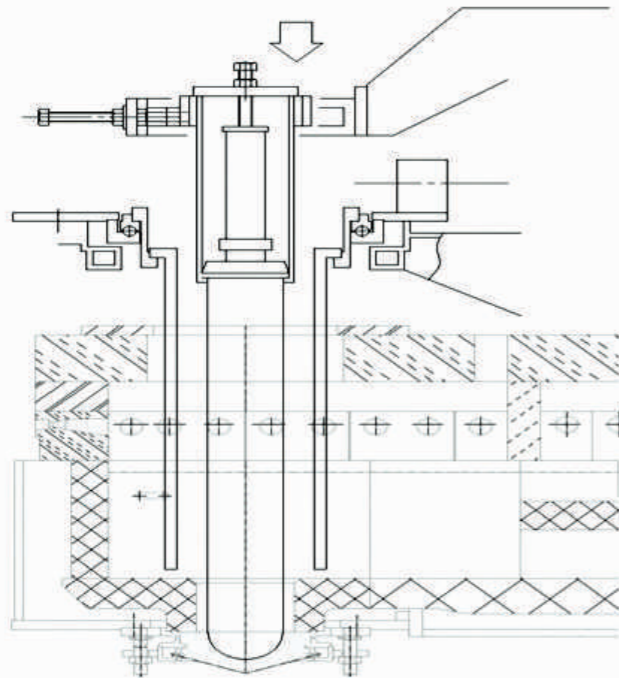
Gobbing stirrer, aşağı yukarı hareketiyle damla oluştururken, dönme hareketiyle de üzerindeki iki kanatçık vasıtasıyla karıştırma görevi yapmaktadır. Çalışırken bu iki hareketin birlikte yapılması ve kanatçıkların, her yükselip alçalma yüksekliğe göre hep aynı açısız konumda olması, damla gramajını çok yakından kontrol eden parametreler olarak öne çıkmaktadır. Tasarımda elektronik bir sistem yardımıyla bu düşey ve açısız konumların her damla için aynı olması sağlanmış ve bu yapılan kontrol ve düzenleme sayesinde gramaj oynaması adı verilen ardışık damlalar arasındaki ağırlık farkı, eski sisteme kıyasla %70 civarında azaltılmıştır.

Gramaj oynamasındaki bu iyileşme, dolmamış, cam kırığı ve çapak gibi birçok şekillendirme hatasında önemli iyileşmeler sağlanmasına imkan tanımıştır.

2.2. Konvansiyonel tüp-plancer sistemlerinde yapılması gereken duruşlardan kurtulunması

Konvansiyonel tüp-plancer sisteminde (Şekil 4), refrakter tüpün, zaman içinde aşınması, zaten yüksek seyreden gramaj oynamasının daha da artmasına neden olur ve ileri derecelerde tüpün cam akışını kesemez hale gelmesiyle değişim gerekliliği olarak ortaya çıkardı. 3-4 ayda bir yapılması gereken ve hattın yaklaşık 8 saat gibi durmasına ve sonrasındaki verimsiz çalışılan dönemle birlikte 12 saate yakın imalat kaybına neden olan tüp değişim duruşları, clad-well ve gobbing stirrer kullanılmaya başlanmasıyla tüp kullanımına gerek kalmadığından tamamen sıfırlanmış oldu.

Ayrıca refrakter üzerine platin sıvama konvansiyonel plancerde, adaptöre bağlama esnasında uygulanan elektriksel izolasyondaki bozulmalar elektroliz fiskasına neden olur ve belirli bir süre kalite kaybına neden olduktan sonra yapılması gereken platin plancer değişimi duruşu hatta uzun süre verimsizliklere neden olurken yeni sistemde bu olumsuzluklar da ortadan kalkmıştır.

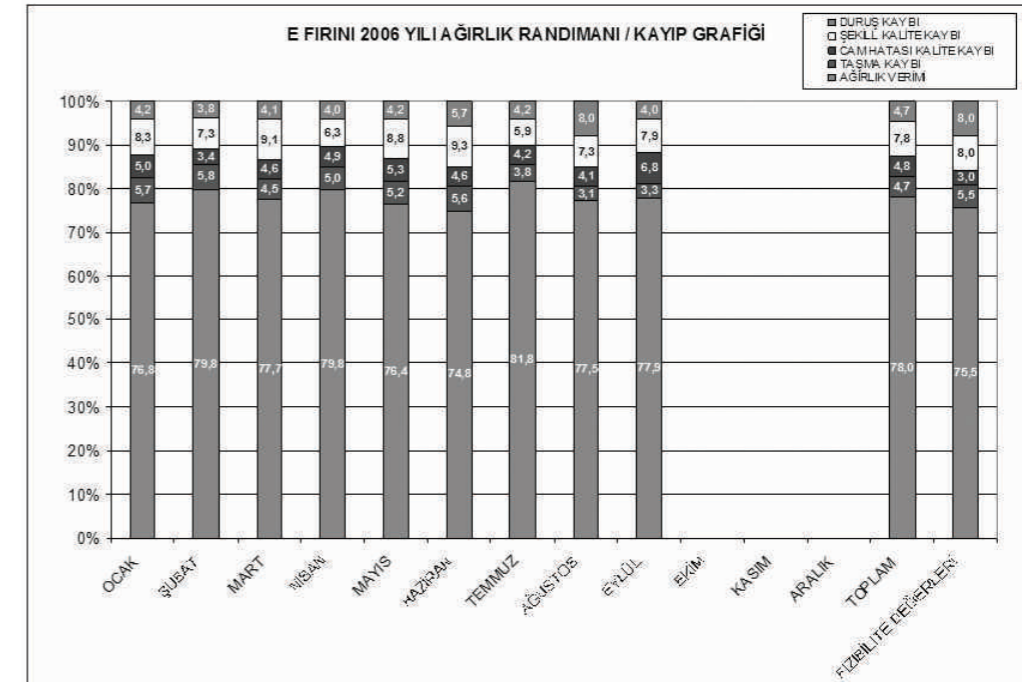


Şekil.4

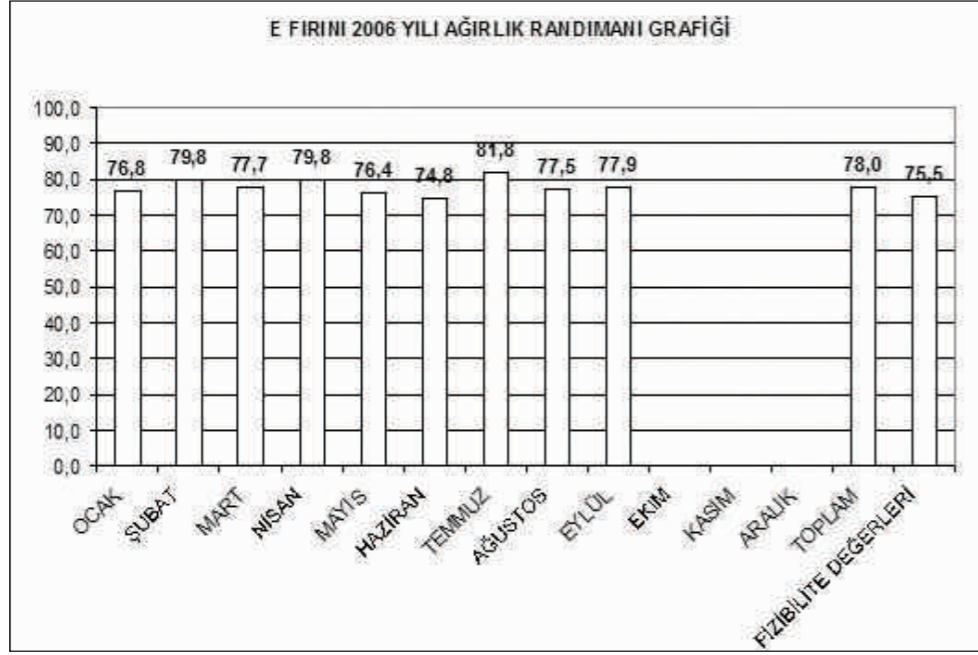
Yukarıda belirtilen F/H ve feeder tasarım değişikliğinden elde edilen avantajlar gerek verimlilik ve maliyet düşürülmesi olarak gerekse cam kalitesindeki yükselme olarak üretime olumlu yansımıştır. Yaşanan olumluluklar **Tablo-1**' de özetlenmiştir.

Tablo 1

		SOĞUK TAMİR ÖNCESİ (2003 - 2004)	2005 YILI	2006 YILI
FIRIN AĞIRLIK RANDIMANI *	%	50	73,5	78
ADETSEL VERİM	%	74	81	83
HARMANDA CAM KIRIĞI ORANI	%	45	25	19
CAMDA DEMİR ORANI	yüzbinde	23	23	17
ERGİMİŞ CAM BİRİM MALİYETİ	YTL / kg	0,81	0,67	0,79
AYLIK PAKETLENEN TONAJ	Ton / ay	1042	1331	1443

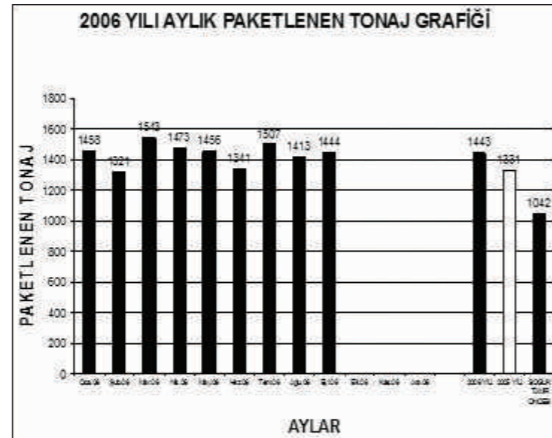


Şekil.5



Şekil.6

Fırın ağırlık randıman gerek hatların verimsiz çalışması, gerekse makina taşmaları nedeniyle % 50'lerde iken yapılan iyileştirmelerle 2005 yılında % 73,5'e, 2006 yılının ilk 9 ayı içinde % 78,0'lık bir değere kadar yükseltilebilmiştir. (Şekil 5 ve Şekil 6) Adetsel verim ise % 74'ten 2005 yılı için % 81, 2006 yılı ilk 9 ayı için ise % 83 olarak gerçekleşmiştir. Fırın ağırlık randımanındaki yükselme ile, harmanda kullanılan cam kırığı miktarı % 45'lerden % 19'lara kadar indirilmiş, bu da cam rengi ve kalitesine önemli bir iyileşme olarak yansımıştır. Cam kırığı oranındaki azalma ile camdaki demir değeri de yzümde 23'lerden %17'lere getirilebilmiştir.



Şekil.7

Aylık olarak paketlenen tonaj, soğuk tamir öncesi 1042 ton/ay iken, bu rakam 2005'te 1331'e 2006 ilk 9 ayında da ortalama olarak 1443 ton/ay rakamına ulaşmıştır. (Şekil 7) Ürün yelpazemizin çok fazla değişmediğini düşündüğümüzde paketlenen tonajdaki bu artışın yaratılan verimlilikten kaynaklandığını söylemek yanlış olmayacaktır.

CAM: TOPLUM İÇİN YENİ MALZEME ÇAĞI MUKAVEMETİ YÜKSEK CAMLARA ULAŞMAK İÇİN İPUÇLARI (GLASS: INTRODUCING OUR SOCIETY TO A NEW MATERIAL AGE CLUES TO PRODUCING)

John Brown

(Suresh T. Gulati tarafından sunulmuştur)

gulatist@corning.com

Research Follow & Consultant Corning Incorporated

Cam sanayinde piyasada kalabilmenin yolu mevcut üretilenlerden farklı bir ürün sunmaktan geçer. Ancak tüm cam üreticilerin ortak ürünü genel olarak silikat camlarıdır. Geniş bir kullanım alanına sahip olan silikat camlarının, bu alanı daha da genişletme imkanı sunan potansiyel mekanik dayanım değerlerine henüz ulaşamamıştır.

Camın kullanımında genel endişe kırılabilirliği gerçeğidir. Camın bu denli kırılabilir olmasının sebebi sıvı halden hızla soğutarak denge şartlarına ulaşmadan ve süneklik gibi yapısal özelliklere kavuşmadan katılaştırılmasıdır. Temel oluşum özellikleri bile camın potansiyel olarak en sağlam malzemelerden biri olmasına engel değildir. Her yeni gün cam üzerinde yapılan Ar-ge çalışmaları karşımıza daha gelişmiş özellikler ve yeni imkanlar çıkarıyor. Gelecekte camın en çok tercih edilen malzeme olabilmesi ancak kırılabilirliğini yenebilmesi sayesinde olacaktır. Bu konuya verilen önem son yıllarda cam mukavemetini geliştirilmesi konusu üzerine düzenlenen yarışmaların artışından da anlaşılabilir. Bir adım daha ileri giderek 50 kat daha mukavim camların üretilmesi durumunda hayatımızın ne şekilde değişebileceği konu alan, bir öğrenci yarışması "The glass manufacturing Industry council, the glass and Optical materials division of the American Ceramic Society, The center for Glass Research ve International Materials Institute on New Functionality in Glasses" tarafından, 2007 Mayıs ayında sonuçlanmak üzere düzenlenmiştir.

Günümüzde üretilen camlar, teorik cam elastik modülünün %20 sine, potansiyel mukavemetin ise % ine sahiptir. Nihai cam ürün elde edilene kadar, üretimi sırasında cam, mekanik dayanımının azalmasına neden olan kademelerden geçmektedir. Kaybedilen mukavemeti geri kazanmak için yüzey işlemleri uygulanır. Yapılan çalışmalar yüzey işlemleri arasında kimyasal temperlemenin mukavemeti daha yüksek değerlere taşıdığını göstermektedir.

Çeşitli ticari cam çeşitlerinin mukavemet karşılaştırması yapıldığında iletişimde kullanılan fiber camların 700 – 4000 MPa arasında dayanım değeriyle en dayanıklı camlar oldukları görülmektedir.

Teorik cam mukavemetini bir kenara bırakıp, mevcut duruma baktığımızda bile üretilen camlardan alınan numunelerin laboratuarda ölçülen değerlerinin 70-100 MPa arasında olduğu görülmektedir. Ancak bu değerler bile kullanım şartlarındaki dayanımın 10 katını gösterebilmektedir. Çünkü cam ürünün tasarımı ve kullanıldığı ortam da mekanik mukavemeti belirleyen önemli kriterlerdendir.

Mukavemeti geliştirmenin en önemli yolu yüzeyi hatalardan arındırmaktır. Hataların sonradan ortaya çıkmalarını engellemek için ise bir takım yöntemler mevcuttur. Genel olarak amaç yüzeyi sertleştirerek aşınma dayanımını arttırmak ve kimyasal dayanım sağlamaktır. Ancak bunları yüzey kaplama ile sağlama yoluna gidilmiş ise camın transparan özelliğini etkilememek için alt malzemesinin kırılma indisi ile uyumlu bir kaplama solüsyonu seçilmelidir. Son zamanlarda üzerine yoğun çalışmaların sürdürüldüğü sol-gel teknolojisi de yüzey geliştirme amaçlı yöntemlere örnek olarak gösterilebilir.

Sol-gel prosesinin temeli inorganik polimerizasyon reaksiyonları üzerine kurulmuştur. Bu proses bir çözücüde bulunan polimerlerin büyüüp gelişmesinden faydalanarak makromoleküller elde edebilen bir yöntemdir.

Mukavemet arttırma yöntemleri sadece yüzey geliştirme ile sınırlandırılmaz. Farklı üretim yöntemleri de yüksek dayanım değerleri sunmaktadır. Bunlardan biri, 1909 yılında Fransız bir tiyatro set tasarımcısı tarafından rastlantı sonucu keşfedilen "lamine cam" teknolojisidir.

Bu ve bunun gibi daha bir çok yenilik günümüz camlarından çok daha dayanıklı camlar, pek çok yeni alanda kullanılmak üzere keşfedilmeyi beklemektedir.

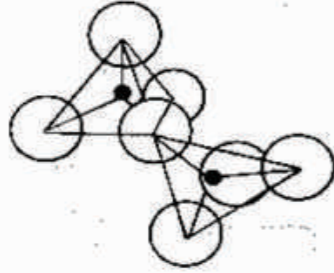
Dr. Suresh T. Gulati

gulatist@corning.com

Research Fellow & Consultant Corning Incorporated

Silika Camlarının Yapısı

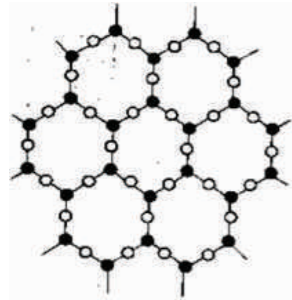
Silikatlarda, silisyum tetrahedral bir yapı oluşturacak şekilde dört oksijen atomu ile komşu durumdadır. Hızlı soğutma sırasında birbirinden bağımsız SiO₂ tetrahedronlar gelişmiş güzel bağlanırlar. Komşu tetrahedronlar Şekil 1.'de görüldüğü gibi bir köşe oksijeni paylaşır. Kristalin silika ve amorf silika camın yapısı iki boyutlu olarak sırasıyla Şekil 2. ve Şekil 3.'deki gibi ifade edilebilir.



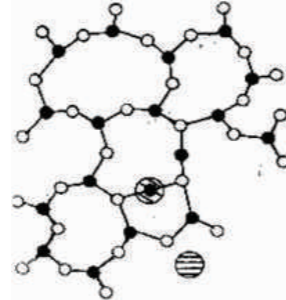
Şekil 1. İki (SiO₄)⁻ molekülü. Tetrahedral cam yapısının gösterimi

Tetrahedrarlar arası boşluk büyüklüğü ile soğutma hızı arasında bir ilişki vardır. Ortalama boşluk ne kadar büyükse, soğutmanın o derece hızlı olduğu söylenebilir.

Altı tetrahedralı bir yapıda ortadaki boşluğun çapını ve bir su molekülünün büyüklüğü göz önüne alındığında, sulu ortama maruz kalmış bir camın molekülleri arasında 3-4 su molekülü girmeye çalışacağı dolayısıyla Si-O bağları arasında çekme gerilimi oluşacağı görülebilir. Su molekülleriyle tepkime sonucunda zayıf hidroksil bağları oluşacak ve camın mekanik dayanımı düşecektir. Kısacası insanlar için vazgeçilmez olan su, cam için zararlıdır.



Şekil 2. Kristalin SiO₂ yapısı



Şekil 3. Düzensiz (Camı)Yapı

Camın Mukavemeti

Yüksek sıcaklıklarda kristalin malzemelerde gözlenen atomik kurulumu sahip olan cam, teorik anlamda oldukça dayanıklı bir malzemedir. Ancak kullanım şartlarında, yüzey hassasiyeti nedeniyle camın mukavemet değeri nispeten düşüktür. Ölçülmüş en yüksek cam mukavemet değeri 14 GPa'dır. Saf silikadan cam elyaf olarak özel bir yöntemle üretilmiş numunenin ve vakum ortamında test edilmiştir.

Cam mukavemeti ısı genleşme, yoğunluk gibi bir malzeme özelliği değildir, cam yüzey durumunun istatistiksel bir tanımıdır.

1. Cam mukavemeti; camın kırılmasına neden olan gerilim miktarıdır.
2. Cam, çekme, basma, bükme, kayma gerilmesi veya darbe sonucunda kırılabilir. Ancak çatlama anında asıl etkin olan her zaman tansiyon yani çekme gerilmesidir.
3. Teorik dayanım moleküllerin birbirini tutma başka bir deyişle bağ enerjilerinin ölçüsü olarak hesaplanır. Si-O-Si bağının dayanımı 2x10⁶psi (13758 MPa)'dir.
4. Pratik mukavemet ise üretim ve taşıma sırasında meydana gelen hatalar ile alakalıdır. Stresin yoğunlaştığı bölgeler olarak görev görür ve teorik mukavemet değerinin 100 ila 1000 kat arasında düşmesine neden olur.

Bilindiği gibi bir malzemenin mukavemeti en zayıf noktasındaki mukavemetidir. Camın yüzeyinde varolan bir çatlak, çatlaka dik uygulanan, yeterli miktardaki çekme gerilimi sonucu ilerleyerek büyür. Alan Arnold Griffith'in gevrek malzemelerin kırılması ve ilerlemesi konularında yaptığı çalışmalardan sonra yüzey hatalarının camın mekanik dayanımına olan etkisi anlaşılmıştır.

Ölçülen Dayanımı Etkileyen Faktörler:

- Numune büyüklüğü: Aynı şartlarda uygulanan mekanik dayanım testinde; büyük numuneler, küçük numunelerle ölçülen değerden daha düşük dayanım değeri verir. Çünkü yüzey alanı küçüldükçe çekme geriliminden en fazla etkilenecek hata yüzeyde olma ihtimali azalacaktır.
- Yüzey işlemleri: Yüzey işlemleri yüzey hatalarını minimize etmek ve yüzeyi korumak için uygulanır. Ancak hepsi gerisinde işlem tipine bağlı olarak farklı miktarlarda yüzey hatası bırakır.
- Kuvvetin uygulandığı süre: Karşılaştırma yaparken test hızı girdisinin saniye, dakika ya da saat cinsinden verildiğine dikkat edilmelidir.
- Deney ortamı: Ortam camın yüzey durumunu ve dolayısıyla dayanımını etkileyeceğinden malzemenin kullanım şartlarına en yakın ortamın seçilmesi önemlidir.
- Sıcaklık: Cam yüzeyi ile etkileşim halinde su moleküllerinin titreşimi sıcaklıkla artacağından, mukavemet olumsuz etkilenecektir.

Mukavemeti atomik düzeyde incelemek adına yapılan deneysel çalışlara örnek olarak nano mertebesinde çapa sahip olan silika cam elyaf "Silika Nano- çubuk" verilebilir. Tek eksen çekme gerilimi altında yüzey hata yoğunluğu ihmal edilecek kadar az olduğundan mukavemet değeri Si-O bağ mukavemetine eşit olacaktır.

Anahtar Sözcükler: Camın mukavemeti, glass strength

John Bayne
Glass Manufacturing Industry

Üzerlerinde incelemesi yapılmış çeşitli cam ambalaj ve düzcam kırık vakalarına örnekler sunulmuştur.

1. Vaka: İç Basınç- Suçlu Bulunan Depo

O dönemde piyasada kalma mücadelesi veren bir cam ambalaj işletmesi bir bira üreticisine özel tasarım şişeler sağlamaktadır. Ancak şişelerin, dip bölgesinden çil kaynaklı olarak kırıldıkları gözlenmiştir. Tüm çil miktarı kabul edilebilirlik sınırının altında olduğu bilinmektedir. Şişeler tipik düşük basınçta kırılmış görüntüsüne sahiptir.

O zamanlarda (1980'li senelerde) hat üzerinde basınç testi mümkün değildi. Görsel inceleme sonuç vermemiştir, çil miktarı da dikkate değer seviyede değildir. Laboratuvarlarda dip ve gövdenin birleştiği yerde bir takım testler uygulanmıştır. Termal şok test sonuçları kırılmalar için mantıklı bir sebep sunmuştur. İşletme içinde yapılan incelemeler tavlama hattında gerilim giderme tünelinin kullanılmadığı ortaya çıkmıştır. Bu bilginin sonucunda:

- Şişelerin tavlama sıcaklığına ulaşmadan yüklendikleri.
- Lehr sıcaklığının bant altı bekleriyle girişte yükseldiği
- Çillerin yüzeye yeterince yakın olduğu durumlarda meydana gelen kırılmalar

Bu gözlemler üzerine;

- Soğuk kaplama tekrarlanmış.
- Standart altı kırılma rastlanmamıştır.

Müşteriye çil içermeyen şişeleri kullanması sırasında kırılma vakasına eski sıklığında rastlanmamıştır.

2. Vaka: Darbe ve İnküzyonlar

Biri bira diğeri ilaç üreticisi olan iki müşterisi aynı tedarikçiye gelen şişelerin kırılmalarında artış görülmüştür. Tedarikçi firma kalite kontrol departmanı üretimde normal dışı bir duruma rastlamamaktadır. Ancak iki firma da problemin kaynağı bulup çözülene kadar yeni mal stoklamayacaklarını kabul etmeyeceklerinin bildirmişlerdir.

Kırık analizi sonuçları, iç inküzyonların (kapanım) varlığına işaret etmektedir. Ancak bahsi geçen beyaz benek görünümündeki bu inküzyonlar polariskop ya da mikroskop olmadan belirlenebilmesi mümkün değildir. Kırılmaların büyük bir çoğunluğu şişelerin gövde bölgesinde dış yüzeyde ve düşük şiddette darbe sonucu gerçekleşmiştir. İnküzyonlar kırılma başlangıçlarında ve her şişede 2-3 adet olmak üzere görülmektedir.

İnküzyonların analizler sonucunda yarı erigimiş Feldspathic Nepheline Syenite taşı oldukları belirlenmiştir. Üretim tesisiyle yapılan bilgi alışverişi, her zaman kullanılan Nepheline Syenite'in o dönem iri taneler halinde harmana katıldığını ancak fırın sıcaklığının aynı kaldığı ortaya çıkarmıştır. Yaşanılan problem tekrar daha ince harmana dönülmesiyle çözülmüştür.

3. Vaka: Hidrodinamik Hata

Bir sos üreticisinin dolum işletmesinde, dolumdan sonra birçok kavanozun depoda bekledikten sonra nakliye sırasında kırıldıklarını görülmüştür. Kırık görüntüsü büyük bir çoğunluğunda kavanoz dibinde küçük yuvarlak bir delik şeklindedir. Cam ambalaj üreticileri, üretim hattında yaptıkları incelemeler sonucunda hiçbir yanlış uygulamayla karşılaşmamıştır.

Kırık analizleri yapılan kavanozların "su çekici" diye adlandırılan bir etki sonucu dipte delik oluşması durumunun dolumdan sonra nakliye sırasında meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Su çekici: Dolu ambalajların genellikle nakliye sırasında aniden aşağı hareket ettirilmeleri durumunda, içerdeki sıvı ambalajla aynı hızda inmeye fırsat bulamayarak, ambalajın kendinden kısa bir süre sonra dibe çarpar. Bu ani darbe "Su çekici etkisi" olarak adlandırılır.

4. Vaka: Tampon İzleri

Bir viski üreticisi hattın tümü için kırık vakalarında artış görür. Cam ambalaj tedarikçisi kalite kontrol departmanı üretimde normal dışı bir duruma rastlamamaktadır.

Kırık analiz sonucunda, şişelerdeki kırıkların tampon izleriyle aynı yönlü olduğunu ve ve tampon izlerinin ise şişenin dip ve gövde altı bölgesinin iç yüzeyinde buldukları gözlemlenmiştir. Şişelerin birbirlerine değdikleri noktalarda meydana gelen darbe sonucu kırıldıkları sonucuna varılmıştır. Ancak tampon izlerinin kabul edilebilir değerden daha derin olması ve cam kalınlığının uygun ama durumu tolere edebilecek kadar kalın olmaması çarpışmaların kırılma ile sonuçlanmasına sebebiyet vermiştir.

5. Düzcam Panel Vakaları, Ana Başlıklar

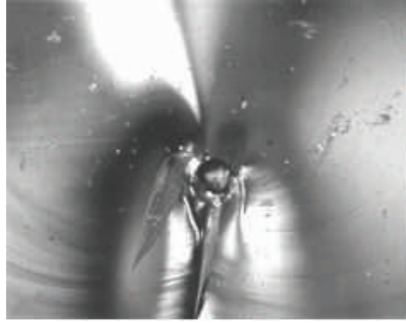
Düzcam kırılmalarının tüm diğer kırılma malzemelerde olduğu gibi iki sebebi vardır: Çekme gerilmesi ve bir yüzey hatası.

Gerilim kaynakları oldukça geniş bir spektruma sahiptir.

- Temperli camlarda iç gerilmeler
- Monte edilmesi sırasında kenarda meydana gelen basma gerilimi.
- Darbe
- Isıl gradyan
- Camların istiflenmesi sonrasında bel vermeden kaynaklanan gerilim

Gerilim yoğunlaşmasının olduğu bölgeler, hatalar ise şu başlıklar altında toplanabilir:

- İçeride veya yüzeye yakın bölgede görülebilen taşlar.



Şekil 1. Temperli camda taş hatası

- Yüzey çizikleri
- Darbe hasarı: Hertziyan görüntüsü, çapaklanma
- Üretim sırasında yüzeyin kirlenmesi. (Özellikle yüksek sıcaklık gerektiren aşamalarda)
- Kesme ünitelerinde kenarların hasar görmesi.

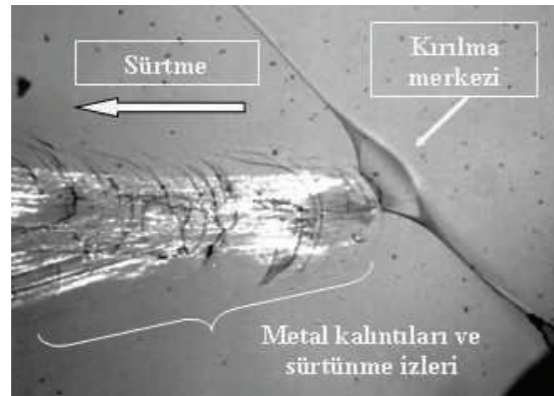
Kenarın Durumu

Cam mukavemetini belirleyen en önemli faktörlerden biri camın kenar durumudur. Kenar kalitesi ise kesme, yükleme ve nakliyat ünitelerinin performansları etkiler.

Kesme sırasında elmasın kenarda bıraktığı iz gerilim altında kırılma kaynağı olarak kendini gösterecektir.

Yükleme ve nakliye esnasında genellikle yüzeye metal temas etmesi nedeniyle çizik yüzeyinde metal kalıntılara da rastlayacağımız bir hataya neden olur.

Yüzeyin herhangi sert bir cisim ile çizilmesi ve yeterli gerilim altında Şekil 2. deki gibi tipik bir kırılma merkezi görüntüsü ortaya çıkar.



Şekil 2. Metal çizilmesi ve kırık merkezi.

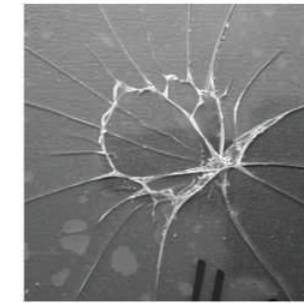
Prof. Dr. Bülent Yoldaş

Camları kırılması ile ilgili söylenebilecek iki önemli cümle birincisi günümüz ticari camlarının kırılmasına yetecek yük teorik cam dayanımının sadece %1'i kadar olduğu, diğeri ise, kırılma olayının her zaman yüzeyden başladığıdır.

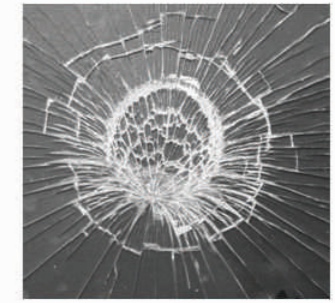
Sahip olduğu potansiyel mukavemetin çok altındaki değerlerde kırılmasının sebebi, camın gevrek, yani deforme olmadan kırılan, bir malzeme olması ve yüzeyinde birçok hata ve mikro-çatlak ihtiva etmesidir.

Kırılma mekanizması şu şekilde açıklanabilir: Yüzeyde bulunan mikro- çatlaklar uygulanan yükü çatlak uçlarında yoğunlaştırır. Bu arada atmosferik su çatlak ucunda bulunan Si-O bağların kopması için gereken enerjinin düşmesine neden olmaktadır. Bunların sonucunda çatlak devamlı artan gerilim yoğunlaşması ve ivmelenen bir hızla ilerler.

Kırılmaya sebep olan gerilim kırık görüntüsüne bakılarak yorumlanabilir.



Şekil 1. Kaplanmamış numune kırık görüntüsü.



Şekil 2. Kaplanmamış numune kırık görüntüsü.

Örnek olarak Şekil 2'de Şekil 1'den daha fazla çatlak olduğu görülmektedir ve çatlakların oluşabilmesi için gerekli bir enerji miktarı vardır. Verilen enerjinin çatlak oluşturarak sistemi terk etmesi gerekir. Dolayısıyla Şekil 1'deki parçanın Şekil 2'dekinden daha yüksek gerilim altında kırıldığını söyleyebiliriz. Ancak bunu sadece kırılmanın olduğu bölgeye bakarak söylemek çok doğru olmayacaktır. Zira numune büyüklüğü de göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir.

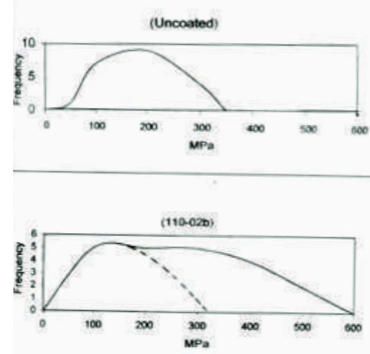
Griffith'in 1920'de cam elyaf numunelerle yaptığı mekanik dayanım deneyi, numunelerin çaplarının küçülmesiyle kırılma için uygulanması gereken gerilimin bir başka değişle mekanik dayanımlarının arttığını göstermiştir.

Ölçülebilen cam mukavemeti öznel bir özellik değil dış etkenlere bağlı bir özelliktir ve camın yüzey durumunun pek çok parametreyi kapsayan istatistiksel tanımlamasıdır. Bu durumda bu dışsal parametreleri değiştirmek mümkündür. Cam üreticileri olarak görevimiz camın diğer özelliklerini değiştirmeden, mukavemet dağılım eğrisini daha yüksek değerlere kaydırmaktır.

Cam mukavemetini arttırmaya yönelik başlıca teknikler; yüzeye, termal veya kimyasal temperleme yoluyla basma gerilimi uygulaması, Laminasyon, Sırlama, Camlama ve yüzey kaplama başlıkları altında toplanabilir. Prof. Dr. Bülent Yoldaş ve ekibi çalışmalarını yüzey kaplamaları üzerine yürütmektedir.

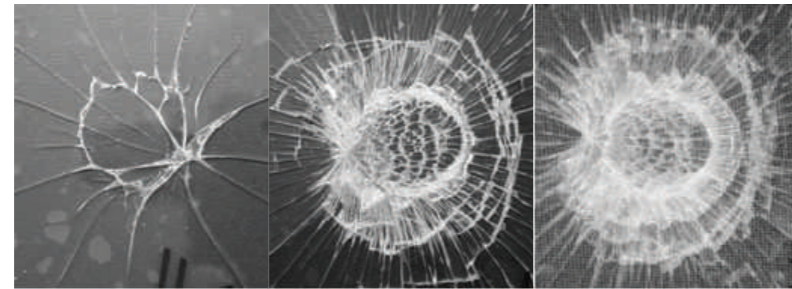
Uygun kaplamanın seçiminde göz önünde bulundurulacak bir takım gereklilikler vardır, Uygulanacak kaplama, gevrek olmamalı, saydam olmalı, kırılma indisinin caminkine uygun olmalı, optik ve kimyasal açıdan dayanıklı olmalı, cam yüzeyine iyi yapışabilmeli ve ticari olarak uygulanabilir olmalıdır, ayrıca kaplamanın sertliği ve aşınma dayanımı caminki kadar olmalıdır.

2-3 mm'lik düzcamlarla yapılan testlerde, kaplamanın mekanik dayanımı iki ila beş katına kadar arttırdığı görülmüştür. Şekil 3. Prof. Dr. Bülent Yoldaş ve ekibi yaptığı testler sonucunda, kaplamanın cam mukavemet dağılımının yüksek değerlerine ne ölçüde kaydırıldığı görülmektedir.



Şekil 3.a) Kaplanmamış camların, b) Kaplanmış camların mukavemet dağılım grafiği.

Şekil 4.'de çalışmalarda kullanılan 2mm'lik numunelerin kaplamasız, 4 mikron kaplama ve ipek ihtiva eden kaplama durumlarındaki karşılaştırılmasını görülmektedir. Denemeler sonucunda ise mukavemet değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. a) Kaplamasız (78.8 MPa) b) 4 mikron kaplama (363.8 MPa) c) İpek ihtiva eden kaplama (370.7 MPa)

Bu çalışmada yapılan araştırmalar kaplamanın camın kırılma indisine uyacak şekilde saydamlığı arttırmak, sertlikten ödün vermeden kırılma indisini düşürmek, cam yüzeyine daha iyi tutunabilmesini sağlamak konuları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlarla beraber kimyasal ve üretime dayalı parametrelerin optimizasyonu, farklı birçok kullanım alanlarına yönelik dayanıklılık modifikasyonları, ticari uygunluk çalışmaları konuları üzerinde durulacaktır. İyileştirmeye yönelik bu çalışmaların bir adım ötesinde, çok katlı, fiber takviyeli, değişik renkli gibi, farklı tür kaplamalar araştırılacaktır.

Can Baran Ünal - Levent Dağdelen

Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Fabrikası / Cam Ambalaj Grubu

I.S. makinesinde uygulanan herhangi bir şekillendirme prosesinde, müşteri ihtiyacını karşılayabilecek biçimde mamul üretebilmek için cam ve kalıp parçalarının termal dengesi çok önemli bir husustur. Bu dengeyi sağlayabilmek için gerek dizayn gerek soğutma gibi parametrelerin kontrol altında tutulması ve optimum noktaların belirlenerek sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Cam ambalaj teknolojisinde uzun yıllardır bu optimum noktalar çalışanların tecrübesince belirlenmekte ve somut bir bilgi edinilememektedir. Termal kameranın getirmiş olduğu teknoloji sayesinde kalıp sıcaklıklarının ölçümü ve kalıbın termal dengesi hakkında bilinenler artık bilimsel bir platforma taşınabilir ve kayıt altına alınabilir duruma gelmiştir. Termal kamera ile çekilmiş olan fotoğraflar ve videolar bilgisayar ortamında incelenerek kalıp sıcaklığı hakkında somut veriler elde edilebilmektedir. Bu verilerin ışığı altında soğutma sistemleri ve kalıp parçaları üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak mamulün randımanında ve devrinde artış sağlamak mümkün olabilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Termal denge, kamera, emisyon, infrared

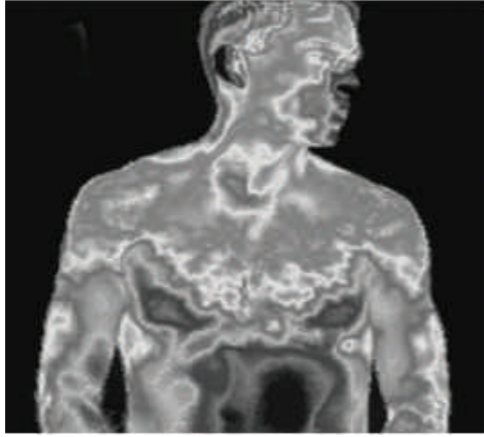
1. Termal Kamera

Infrared termografi kameraları görünmez infrared ya da sıcaklık' radyasyonu görüntüleri üretirler ve kesin ve temassız sıcaklık ölçüm imkanı sunarlar. Neredeyse tüm nesnelerin bozulmaları ve problemleri ile birlikte sıcaklıkları artar, bu da infrared kameraları çok çeşitli uygulamalarda çok değerli bir problem teşhis aracı haline getirmektedir. Endüstri üretim verimliliğini arttırmaya, enerjiyi yönetmeye, üretim kalitesini arttırmaya ve iş güvenirliliğini ilerletmeye çalışırken, infrared kameralar için yeni uygulama alanları da doğmaya devam etmektedir.



Şekil.1

Termal ya da infrared enerji dalga uzunluğu insan gözünün tespit edemeyeceği kadar uzun olduğu için görünmez olan ışıktır; bizim sıcaklık olarak algıladığımız elektro-manyetik spektrumun bir parçasıdır. Görünür ışığın aksine, infrared dünyasında mutlak sıfırın üzerinde sıcaklığa sahip her şey ısı yansıtır. Hatta buz küpleri gibi çok soğuk nesnelere bile infrared yayarlar.



Şekil.2

Bir nesnenin sıcaklığı ne kadar yüksekse yaydığı IR radyasyonu da o kadar büyük olur. Infrared sayesinde gözlerimizin göremediğini görürüz

1.1.Çalışma Prensipleri

Bir enfrarujlu kamera, bir nesneden yayılan enfrarujlu radyasyonu ölçer ve görüntüler. Gerçekte, radyasyon nesnenin yüzey sıcaklığının bir işlevidir ve kameranın bu sıcaklığı hesaplamasını ve göstermesini sağlar.

Kamera saniyede 25 kare resim çekerek anlık analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır.

1.2.Emisyon

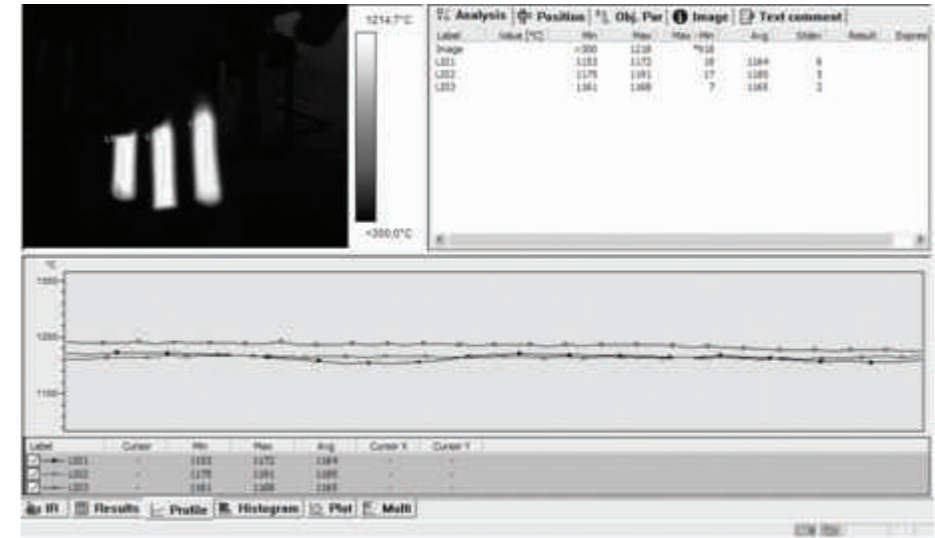
Nesneyle ilgili en önemli parametre emisyonun doğru biçimde ayarlanmasıdır ki, bu kısaca tam bir kara nesneyle karşılaştırıldığında, nesneden ne kadar radyasyon yayıldığının ölçülmesidir.

Normalde, nesne materyalleri ve yüzey işlemleri, yaklaşık 0,1-0,95 arası bir emisyon gösterir. Son derece cilalı bir yüzey (ayna) 0,1 değerinden düşüktür, ancak oksitli veya boyalı bir yüzey çok daha fazla emisyon sahibidir. Görünür spektrumdaki rengi ne olursa olsun, yağ bazlı boyalar, enfrarujda 0,9 değerinden daha yüksek emisyon gösterir.

Oksitli olmayan materyaller, hemen hemen tam bir opaklık ve yüksek spektral yansıtma gibi aşırı durumlar gösterir ki, bunlar dalgaboyuyla çok fazla değişkenlik göstermez. Son olarak, metallerin emisyonu düşüktür – sadece sıcaklıkla artar. Metal olmayan maddelerde emisyon yüksek olma eğilimi gösterir ve sıcaklıkla azalır.

2.Damla Sıcaklığı Analizi

Damla sıcaklığının homojen olması çalışan imalatın randımanı açısından oldukça önemli bir parametredir. Bununla beraber damlalar arasındaki sıcaklık farkını minimize etmek de imalat için önemli bir unsurdur. Damla üzerinde yapılan termal analizlerle, çift damla veya üç damla imalatlarında damlalar arasındaki sıcaklık farklılıklarını ve aynı damla içindeki ısı dengesi gözlemlemek ve buna göre müdahalelerde bulunmak mümkün olabilmektedir. Üç damla imalatında dikkat edilmesi gereken husus orta damlanın diğerlerine göre daha sıcak ve dolayısıyla uzun olmasıdır.



Şekil.3

3. IGC Kanalının Kalıp Sıcaklığına ve İmalata Etkisi

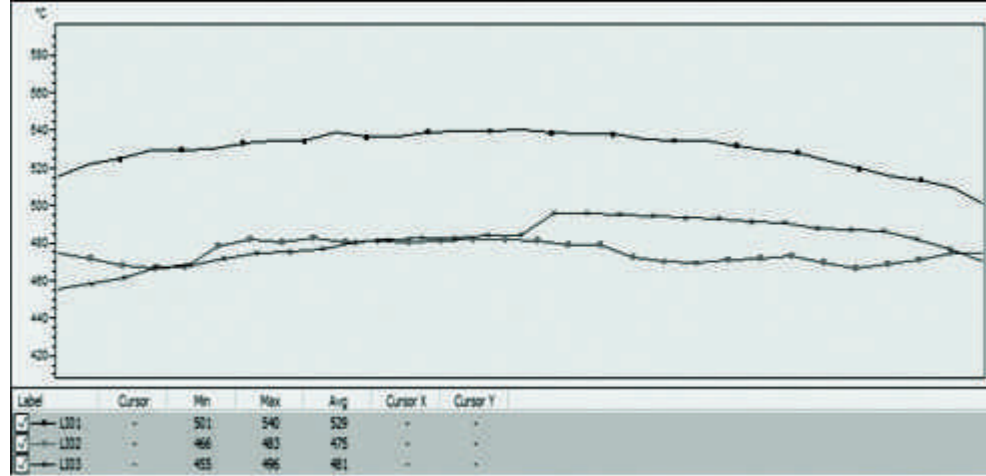
Kalıp izinde yaşanan ince cidar problemini gidermek amacıyla IGC firmasının önerisi üzerine ebişör kalıbı açılma eksenlerine IGC kanalı adı verilen kanallar açılarak bu bölgelerin ısıtılması yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Buradaki temel düşünce kalıp açılma eksenlerinin soğuk olduğu ve ısıtılması gerektiğiydi. IGC kanalları açılarak bu bölgelerin ısıtılması sağlandı. Bunun üzerine termal kamerayla yapılan analizlerde, IGC kanalı bulunmayan imalatlarda dahi kalıp açılma eksenlerinin kalıbın diğer bölgelerine oranla daha sıcak olduğu görüldü. Kanallar, bazı imalatlarda zaten sıcak olan bu bölgelerin daha da ısınmasına sebep olarak imalatla problem yaşanmasına sebebiyet veriyordu.

Termal kamera ile yapılan çalışmalar sonucunda, kanalların hataya sebebiyet verdiği imalatlarda kaldırılmasına karar verildi. Bunun üzerine IGC kanallarının uygulanmasına, aksi istenmediği taktirde NNPB ve PB imalatlarda son verildi.



Şekil.4

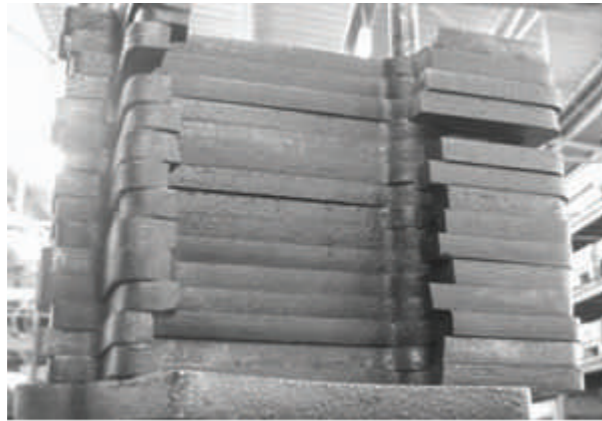
Yapılan analizlerde, IGC kanalı olmayan imalatlarda kalıp açılma eksenlerinin kalıbın orta bölgesine nazaran %5-8 arası daha sıcak olduğu ve IGC kanalı olan kalıplarda bu sıcaklık farkının %12-15 seviyelerine kadar çıktığı gözlemlendi.



Şekil.5

4.Özel Hava Portu Kullanımı ve Kalıp Sıcaklığına Etkisi

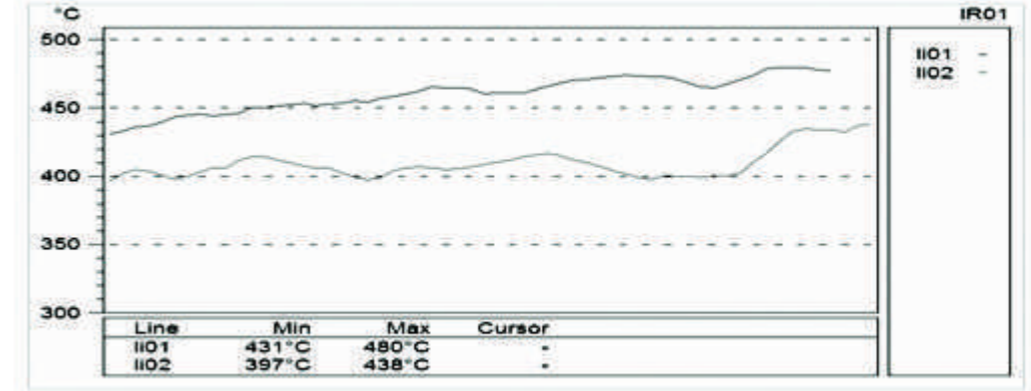
Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Fabrikası'nda ebişör tarafında kalıp soğutma yöntemi olarak radyal hava portları veya radyal kuleler kullanılmaktadır. Ebişör kalıplarının açık olduğu zaman radyal soğutma devrede olduğu taktirde, arka kalıplar portlara daha yakın olduğundan soğumadan daha çok etkilenmektedirler. Ön kalıbın istenen miktarda soğuması sağlanırken, arka kalıbın sıcaklığının kabul edilebilir sınırların dışına çıkması hataya sebebiyet vermektedir.



Şekil.6

Zamanlama ayarlarıyla giderilemeyecek bir hata sözkonusu olduğunda, soğutmaları dengeleyebilmek amacıyla özel hava portları kullanılmaktadır. Bu hava portu yardımıyla, arka kalıba gelmekte olan havanın kesiti ve dolayısıyla soğutma etkisi de azaltılmaktadır.

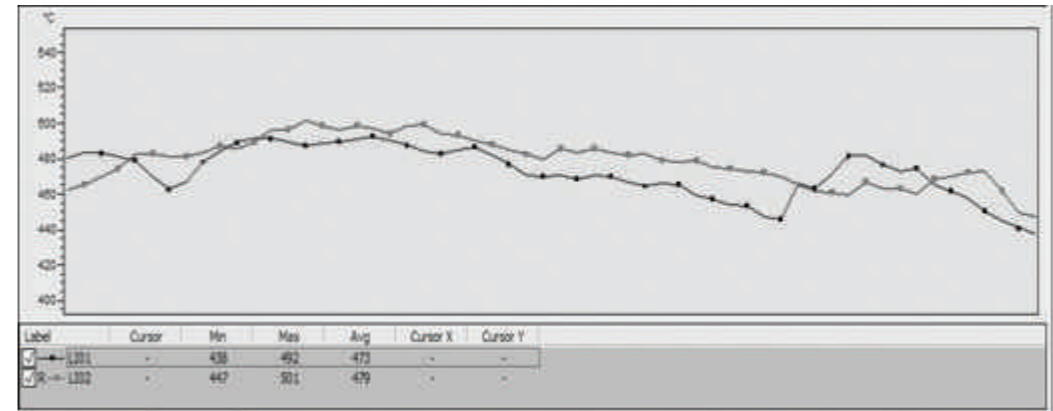
ÖNCE



L1 : Ön Kalıp L2 : Arka Kalıp

Şekil.7

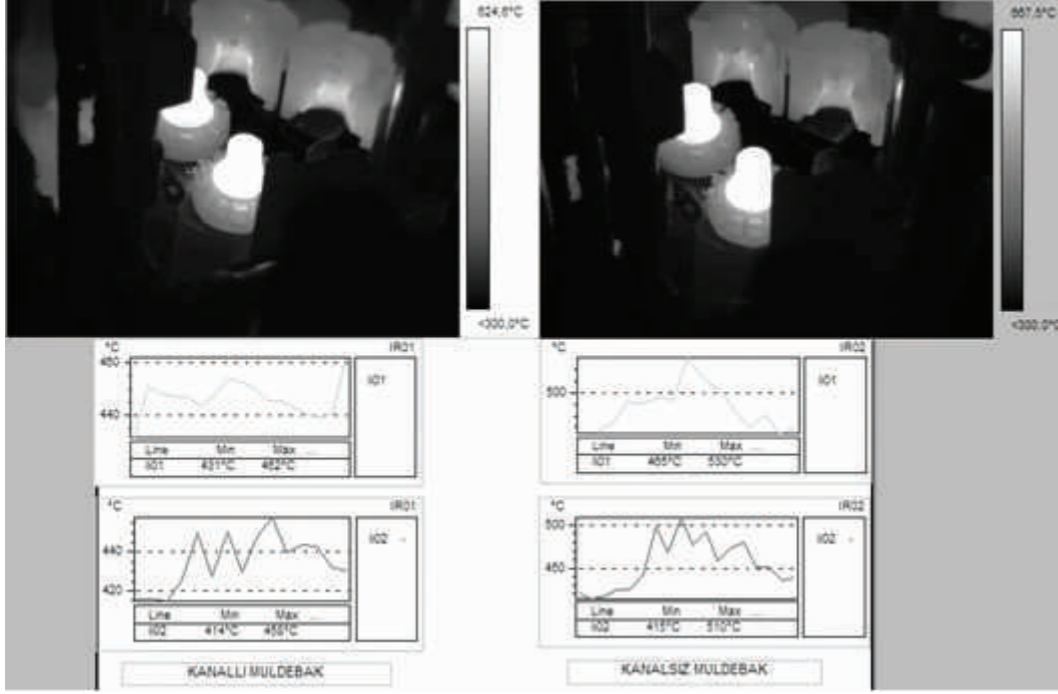
SONRA



Şekil.8

5. Kanallı Müldebak

İmalatta hız olarak sınırlayıcı en önemli faktör soğutma etkisidir. I.S. makinasının hızı ne kadar artarsa, soğutma için kullanılacak zaman da o kadar azalmaktadır. Kavanoz imalatlarında da devir konusundaki en büyük sınırlayıcı faktör şişenin kafa kısmının soğutulmasıdır. Kafayı oluşturan kalıp parçalarından biri olan müldebağın soğutulması için "faraş" olarak adlandırılan soğutma nozülleri kullanılmaktadır. Bu soğutma yönteminin etkinliğini artırmak amacıyla müldebağın üzerine kanallar açılmaktadır. Bu kanallara gelen havayı da tahliye edebilmek amacıyla ebişör kalıplarına delikler açılır.



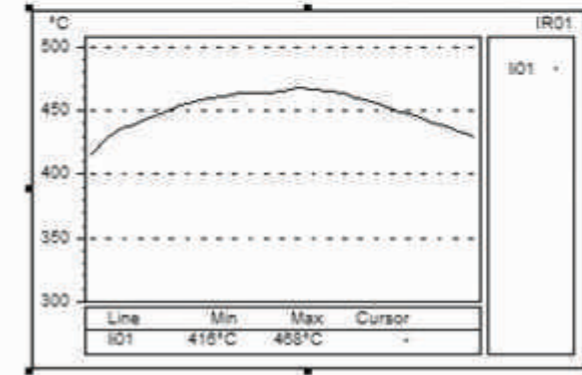
Şekil.9

Bu soğutma yöntemiyle kavanoz imalatlarında ortalama olarak % 4,5-5 seviyesinde bir devir artışı sağlanmıştır. **Tablo-1**

KALIP NO	ÖNCE (mamül/dk.)	SONRA (mamül/dk.)	% Artış
154937	196	210	7,14
102921	216	240	11,11
154233	180	196	8,89
140637	180	190	5,56
157745	150	160	6,67
146437	200	214	7,00
144966	170	180	5,88
150633	184	194	5,43
107037	190	210	10,53

6.Ebişör Kalıbı Sıcaklık Dağılımı

İmalatın randımanlı çalışması açısından , ebişördeki sıcaklık dengesi çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Ebişörde ne kadar iyi bir ısı denge varsa, mamülün de hatasız çıkma olasılığı o kadar yüksektir. Termal kamera ile yapılan analizler sonucunda kalıptaki en sıcak bölgenin, kalıp açılma eksenleri ve kalıbın orta bölgesi olduğu görülmektedir.

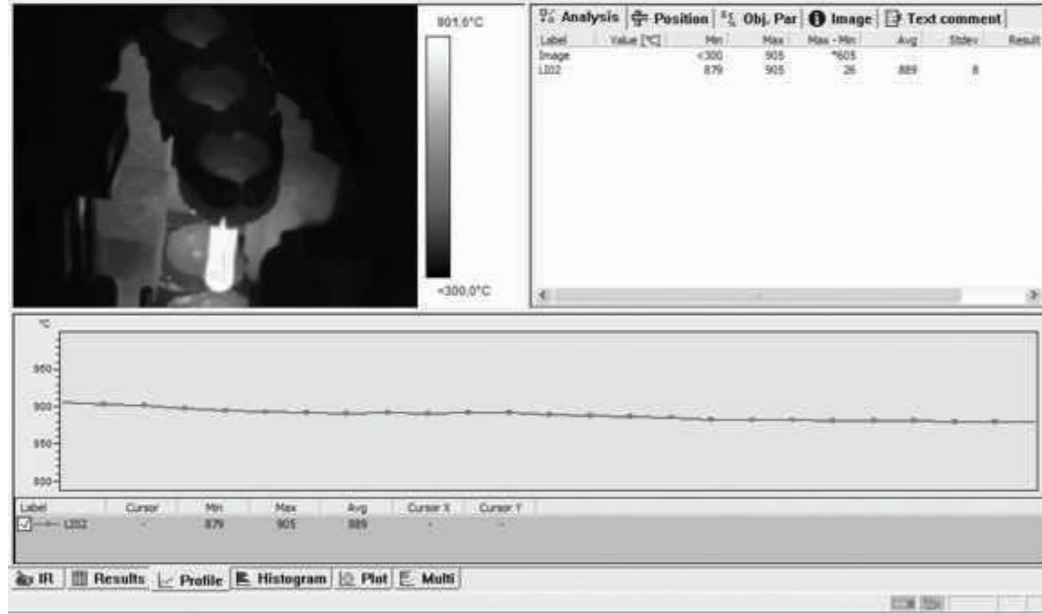


Şekil.10

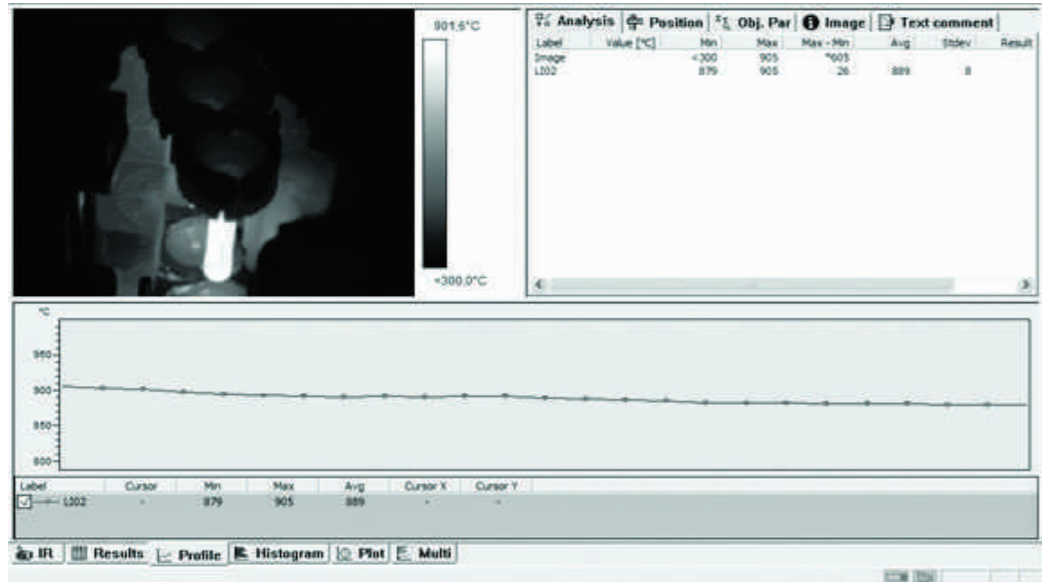
7. Reheat Analizi

Şekillendirme prosesinde ebişör kalıplarının açılmasından süflaj havasının başlamasına kadar geçen zamana reheat adı verilir. Bu süre içerisinde camın sıcak olan bölgelerinden, camın kalıp parçalarıyla temas ederek soğumuş olan bölgelerine doğru bir ısı akışı oluşur. Bu süre sonunda, termal kamera ile yapılan analizlerin ışığında, camın dış yüzeyinde yaklaşık olarak %10' luk bir yeniden ısınma olduğu tespit edilmiştir.

Reheat öncesi



Reheat sonu



Şekil.11

ÇİFT DAMLA ÇAY BARDAĞI OTOMATİK PAKETLEME HATTININ YERLİ ÜRETİMİ

Sönmez Özden – Yasın Ünlüoç

Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş Mersin Fabrikası /Cam Ev Eşyası Grubu

Paşabahçe Cam Sanayii A.Ş. Mersin Fabrikasına ilk çift damla çay bardağı otomatik paketleme hattı 1996 yılında Almanya-IPS(SCHUBERT) firmasından temin edilerek devreye alınmıştır. 1996-2004 yılları arasında Mersin fabrikasının söz konusu otomatik paketleme hatlarında elde ettiği tecrübe ve yapmış olduğu iyileştirmeler ile paketleme kapasitesi 180.000 adet/gün den 430.000 adet/gün'e çıkartılarak hattın sorunsuz çalışması sağlanmıştır. Robot hatlarında sağlanan bu gelişmelerin grup dışına çıkmaması gereken birer know-how olduğu düşünülerek, 2005 yılında ihtiyaç duyulan dördüncü çift damla çay bardağı üretim hattı yatırımı için gerekli paketleme hattının da yerli yurt içi kaynaklardan yapılması mümkün olmuştur.

Çay bardaklarını soğutma fırınları çıkışından mamul ambar teslimine kadar tam otomatik olarak, 3x4 ve 4x6 konfigürasyonunda hediye kutuya alan bu paketleme hattı;

- Kutu yapma makinesi
- Seperatör dolun robotu,
- Mamul dolun robotu
- Kutu kapama makinesi,
- Shrink Makinesi,
- Mamul ve kutu transfer konveyörlerinden

oluşmaktadır.

1996 yılında 1.200.000 dolara yurt dışından satın alınan bu hattın yurt içinde yapılması 350.000 dolar harcama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle şirketimize 850.000 dolarlık tasarruf ve ülkemize döviz kazandırılmış, ayrıca ulusal cari açığın kapatılmasına da destek olunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen bir diğer fayda; kendi elemanlarımızın ve yerli tedarikçilerimizin becerilerinin ve özgüvenlerinin artırılmış olmasıdır.

Anahtar Sözcükler: Çay bardağı, robot kolu, tooling, ters çevirme vidası

1.Giriş

Cam Ev Eşyası grubunda ürünü, Soğutma Sonunda otomatik paketleme makineleri ile çevrimiçi paketleme yaparak, paketleme işgücü maliyetini azaltıp ve daha kısa terminli olarak müşteriye ulaşmasını sağlayarak rekabet gücümüzü arttırmaktayız.

Bu bilinçle hareket ederek fabrikamızın kuruluşunda (1996 yılı), çay bardağı ve diğer ürünleri paketlemek için yurt dışından komple tam otomatik paketleme hatları satın alınmıştır. Geçen zaman içerisinde değişen piyasa şartları ve müşterimizin istekleri, yurt dışından aldığımız mevcut paketleme hatlarımız ile karşılanamayacağı görülmüştür. Kapasite ve değişen ürün çeşitliliğine göre fonksiyonelliği ve flexibilitesi yüksek paketleme makinelerine ihtiyaç duyulmaktaydı. İşletme tecrübemizden yararlanarak ihtiyacımıza en uygun çözümü geliştirmek, bunu da mümkün olduğunca şirket kaynaklarımıza dayanarak ve yurt dışı bağımlılığı minimuma indirgeyerek yapmak, gerek teknik gerekse ekonomik açıdan daha uygun görülmüştür.

Bu amaçla çift damla çay bardağı üretim makinesinde günde 290.000 adet üretilen çay bardağını, soğutma fırınları çıkışından mamul ambar teslimine kadar tam otomatik olarak pasta kutuya paketleyen hat, akış sırasına göre şekil 1’de gösterilen makinelerden oluşmaktadır.

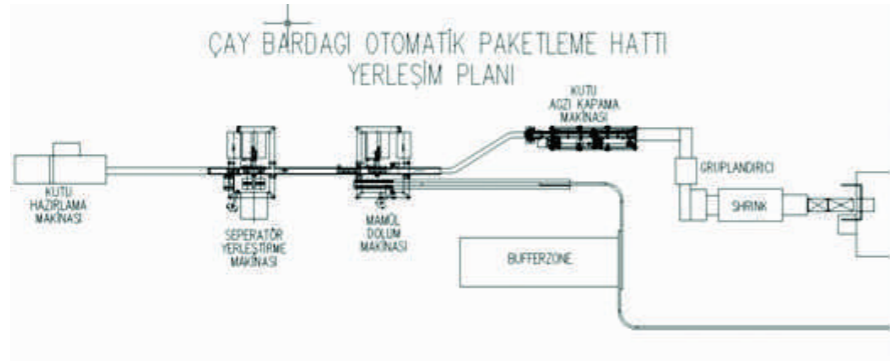
2.Komple hattı oluşturan makineler

2.1. Kutu Yapma Makinesi

Kutu yapma makinesi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

2.1.1.Magazin haznesi

Kapalı kutunun açılım şekline göre kesilmiş, düz plaka halinde gelen karton malzemenin yerleştirildiği ünedir.



Şekil.1:Komple paketleme hattını oluşturan makineler ve yerleşim planı

2.1.2. Karton plaka alıcı ve itici mekanizması

Kartonları magazin haznesinden vakum başlığı ile alıp, kalıp üstüne ve mastör altına hazırlayan mekanizmadır.

2.1.3.Kalıp ve mastör mekanizması

2.1.4.Kutu kenarı yapıştırma ünitesi

Tutkal ısıtma, kutu kenarı yapıştırma ve tutkal püskürtme işlemini gerçekleştirmektedir.

2.1.5.Kontrol Panosu

PLC programlı ve servomotor kontrollüdür. Programlar ve kontrol panosu fabrikamız tarafından yapılmıştır.

2.2. Seperatör Robotu

Seperatör robotu aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

2.2.1.Magazin haznesi

Açılmış vaziyette düz bir yüzey şeklinde temin edilen seperatörlerin depolanacağı ve alınma noktasına uygun bir mantıkla ilerleten mekanizmadır.

2.2.2.Seperatör hazırlama mekanizması

Magazin haznesinden vakum yardımıyla seperatörleri alan ve birinci şekillendirme yapan mekanizmadır.

2.2.3.Tooling mekanizması

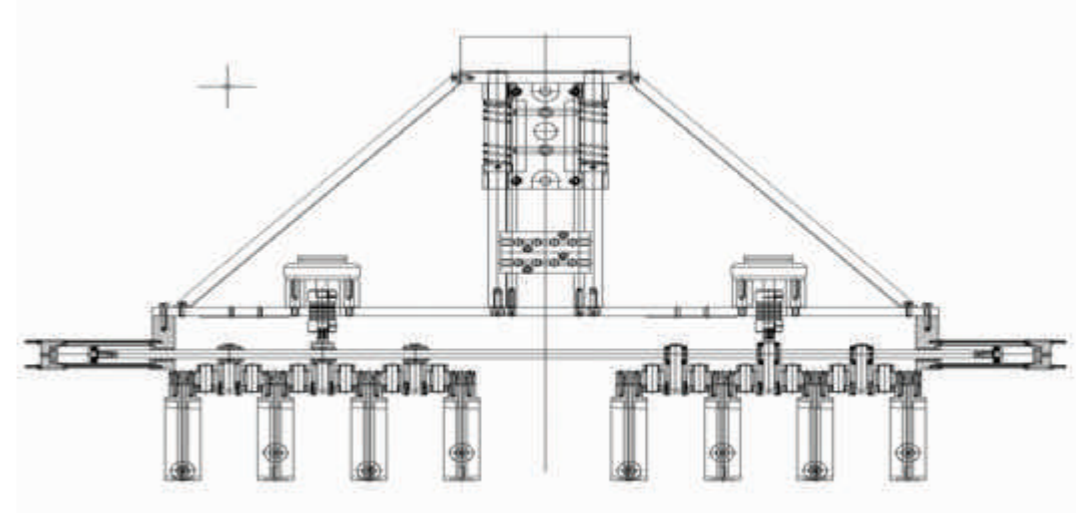
İlk şekillendirmesi yapılmış seperatörleri yine vakum kuvveti yardımıyla alan ve nihai şekillendirmeyi yaparak kutu içerisine bırakılmasını sağlayan mekanizmadır. (Bkz: Şekil 2)

2.2.4.Robot Kolu

Toolingi taşıyan ve seperatör hazırlama mekanizması ile kutu içine bırakma noktası arasında hareketi sağlayan 2 eksenli nümerik karteziyen koordinatta çalışmaktadır.

2.2.5.Kutu merkezleme mekanizması

Seperatör yerleştirilecek kutuları, konveyör üzerinde merkezleyen mekanizmadır.



Şekil 2: Seperatör toolingi

2.2.6.Otomasyon

Saha mekanizmalarının çalıştırılması için yapılan PLC programı, özel yazılıma sahip olan robot kolu programı ile haberleşmesi sağlanmıştır. Programlar ve kontrol panosu fabrikamız tarafından yapılmıştır.

2.3.Mamul Dolum Robotu

Mamul dolum robotu aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır. (Bkz. Şekil 3)

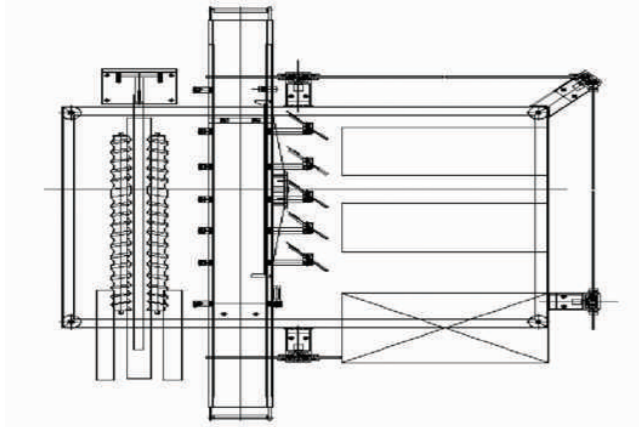
2.3.1.Mamul hazırlama mekanizması

Üretim hattı mamul soğutma bandından konveyörler ile yüksek adette transfer edilen mamuller, dolum robotunun mamul hazırlama ünitesine gelir.(300 Adet/dak.). Buraya ağzı aşağıda gelen mamuller teflondan yapılmış helezon şeklindeki ters çevirme vidaları ile mamulün ağzı yukarıda olacak şekilde ters çevrilip, robot koluna bağlı toolingin alabileceği uygun pozisyona hazırlar. Helezon ters çevirme vidalarının mamulü ters çevirme kısmı ve mamulün alınacağı hatveler kutu içerisinde bulunan seperatör hücrelerine göre dizayn yapılmıştır. (Bkz. Şekil 4). Bu mekanizma PLC ve servomotor sürücülerini ile kontrol edilmektedir.

2.3.2.Robot Kolu

Özel yazılım programı olan, nümerik kontrollü, 2 eksenli kartezyen koordinatta çalışmaktadır. Dolum şekli ve çalışma prensibi, kutu konfigürasyonuna göre değişmektedir.

Örneğin; her bir kutuda 12 adet mamul bulunan paketlemede (kutulu hücreleri 3x4), her bir robot kol saykılında aynı anda 20'şer ürün ile toplam 3 saykıl yaparak, 5 kutunun aynı anda dolum işlemi tamamlanmaktadır



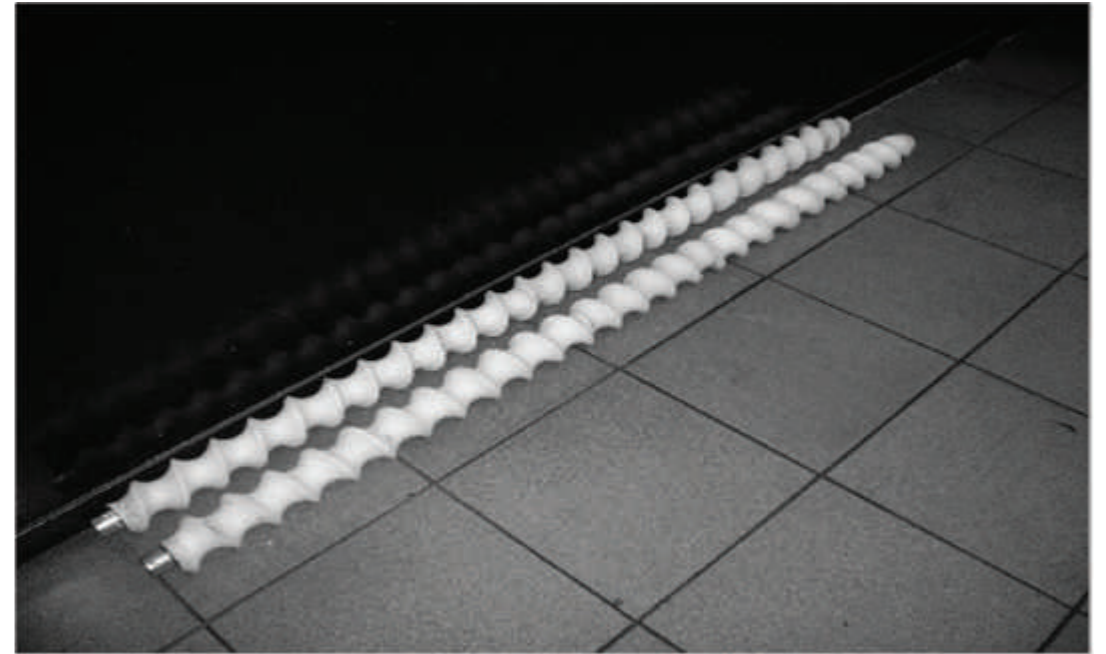
Şekil.3:Mamul dolum robotu

2.3.3.Kutu merkezleme mekanizması

Beşli gruplar halinde gelen kutuları, konveyör üzerinde merkezleyen ve doluma hazır hale getiren mekanizmadır.

2.3.4.Mamul dolum toolingi

Mamulü alma ve kutuya yerleştirme işleminde kullanılan mekanizmadır. (Bkz. Şekil 5)



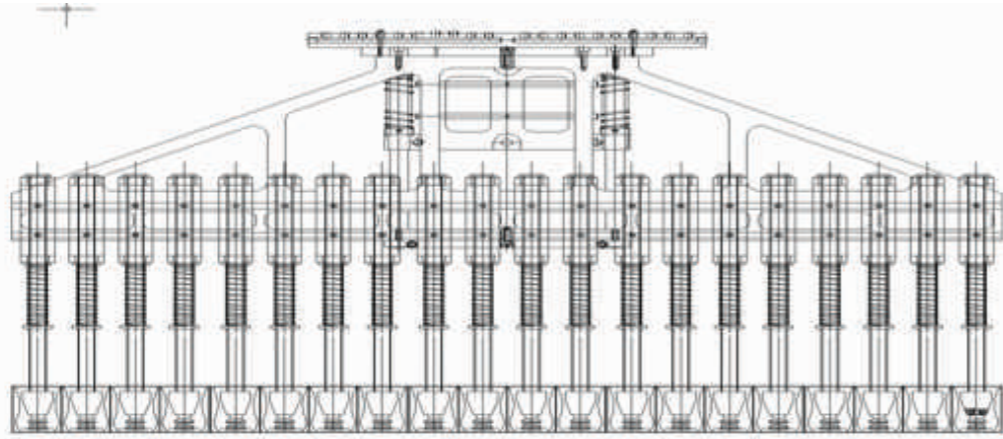
Şekil 4: Helezon ters çevirme vidaları

2.4. Kutu Kapama Makinesi

Ağzı kapanacak kutular, kutu sıralayıcı ile konveyör üzerindeki indeks aralarına sokulur. Sürekli hareket halindeki indeksli konveyör üstü gaytlar ile kapama pozisyonuna getirilir ve içinde döner çark bulunan sıcak tutkal haznesinin, döner dişlerine temas ederek tutkal sürülür. Bastırma ve sıkıştırma gaytları ile yapıştırma sağlanır.

2.5.Shrink Makinesi

Koli gruplandırma, shrink sarma ve shrink tüneline oluşmaktadır.



Şekil 5: Mamul dolum mekanizması (Tooling)

2.6. Mamul Transfer konveyörleri

Single linear, bufferzone, konveyör geçiş üniteleri ve düz hatlardan oluşmaktadır.

3. Yerli Paketleme Hattı Üretimine Gerçekleşmesiyle elde edilen kazanımlar

- Makinenin flexibilitesi artırılarak farklı ölçülerde çay bardağı ve diğer pres üfleme mamulleri paketlenmektedir.
- Hattın paketleme kapasitesi 180.000 adet/gün'den 430.000 adet /gün'e çıkarılmıştır. Böylece kapasitede %138 artış sağlanmıştır.
- Bir pasta kutu için, 6'lı, 12'li, 16'lı, 20'li ve 24'erli adetler şeklinde paketeleyebilme özelliği kazandırılarak müşteri memnuniyeti sağlanmaktadır.
- Dolumu yapılan kutular 2'li, 4'lü ve 6'lı gruplanarak shrink yapılabilir hale gelmiştir.
- Makinede yapılan geliştirmelerle 7 kişi/gün iş gücünden tasarruf sağlanmıştır.
- Hattın tüm mekanik ve elektrik projelendirmeleri, montaj ve devreye alınması fabrikamız tarafından yapıldığından hattın işletme kolaylığı sağlanmıştır.
- Kısa sürede imalat değişikliği yapılarak zamandan ve işgücünden tasarruf sağlanmaktadır.
- Üretilen ürünün tamamı paketleme hattında çevrimiçi olarak paketlenerek, kazanılan zaman ve azaltılan işgücü maliyeti ile rekabet gücümüzü arttırmaktayız.
- 1996 yılında 1.200.000 dolara yurt dışından satın alınan bu hattın, yurt içi maliyeti 350.000 dolar harcama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece şirketimize 850.000 dolarlık tasarruf ve ülkemize döviz kazandırıldı, ayrıca ulusal cari açığın kapatılmasına da destek olundu.

VAKUMDA İNCE FİLM KAPLAMA YÖNTEMİ İLE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AYNALARIN ÜRETİMİ

M. Can Akyüz - Faruk Durulmuş

Trakya Cam Sanayii A.Ş. Cam İşleme ve Kaplamalı Camlar Fabrikası/ Düzcamlar Grubu

Hüseyin Parlar - Seniz Türküz

Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / T.Şişecam Cam Fabrikaları A.Ş.

Kuruluşumuzda DC Magnetron Sputtering Sistemiyle Kaplamalı Cam üretimi yapan bir adet kaplama hattı mevcut olup, elde edilen gerek güneş kontrol gerekse ısı kontrol (Low-E) ürünleriyle ülkemizin inşaat pazarı taleplerinin büyük bölümü karşılanmaktadır. Ayrıca Cam Araştırma Merkezi'miz laboratuvarında mevcut Laboratuvar - Pilot boyutta DC Magnetron Sputtering cihazı ile yeni kaplamalı cam ürünleri geliştirilmekte, Şişecam ürün yelpazesi zenginleştirilmektedir.

Oto aynaları araçların sağ ve sol yanlarında olan ve yolun arkasını kontrol etmesini sağlayan genelde dışbükey yüzeylerden oluşan aynalardır. Oto aynaları araçların içinden ayarlanabilmeleri için mekanik ve elektriksel düzeneklere bağlı şekilde plastik muhafaza içinde aracın sağında ve solunda yer almaktadır. Ayna yüzeyi genelde metalik yansıtıcı malzemelerle kaplı olmaktadır. Ülkemizde 2005 yılında 860.000 adet seviyesinde olan araç üretiminin 2010 yılında 1.400.000 adet seviyesine ulaşması beklenmektedir. Bu yaklaşımla yurt içinde oto aynaları talebinin 2010 yılında 2.800.000 adet/yıl'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir.

Oto ayna üreticisi firmaların yurt dışından temin ettiği krom ve mavi renkli oto aynalarının kaplamalı camlar hattında üretilebilirliğinin araştırılması için laboratuvar ve üretim hattında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Krom ayna 50 nm kalınlıkta Krom filmi kaplamak sureti ile elde edilmiş olup Mavi renkli ayna ise krom türü aynanın üzerine Kalay oksit kaplamak suretiyle renklendirilerek oluşturulmuştur.

Orjinal örnekler, laboratuvar örnekleri ve kaplama hattında üretilen örneklerin kalite kontrol yöntemleri ve kriterleri ana hatları ile optik ve reflektif performans; geometrik uygunluk ve kimyasal dayanım olarak sınıflandırılabilir. Montaj sırasında gözle yapılan kontroller (cam hataları, yansıtıcı tabaka hataları, temizlik, kontür sapmaları, rodaj hataları) gibi hataları tespit etmek amacı ile yapılmaktadır. Bombeli aynalarda tarif edilen geometriye uygunluk, yüzey bombesi ölçümü ile tespit edilmektedir. Optik kalite (yansıma önleme) ve kimyasal dayanım (kırılma, tuz, termik şok, alkol) laboratuvar şartlarında test edilmektedir.

Oto ayna üreticisi firmaların yurt dışından temin ettiği krom ve mavi renkli oto aynalarının; Laboratuvar ve kaplama hattı üzerinde yapılan denemelerinde, söz konusu ürünlerin üretilebilirliği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Otomotiv, Ayna, Kaplama

GİZLİLİĞİ NEDENİYLE YAYIMLANMAMIŞTIR

DERİN BOMBELİ ÖN CAMLARDA OLUŞAN OPTİK PROBLEMİ VE ÇÖZÜMÜ

Özgür Pişirici - Çağatay Suner - Dr. Reha Akçakaya
Trakya Cam Sanayii A.Ş. Otocam Fabrikası / Düzcam Grubu

Giriş

Otomotiv ön cam tasarımında derin bombeli, ince katmanlı ve yatık açılı camların ön plana çıkması ile birlikte Otocam Fabrikası yeni projelerinde de bu vasıflar egemen olmaya başlamıştır. Diğer yandan camlardan beklenen optik ve estetik kalite, regülasyon gereklerinin ötesine geçmiştir. Sonuç olarak mevcut üretim teknolojisinin bazı zayıf noktaları ortaya çıkmış, Otocam Fabrikası tarihinin en ciddi kalite sorunlarından biri olan optik hatası ile karşı karşıya kalmıştır. Üç yıl süresince hatanın kök nedenine yönelik olarak yoğunlaşarak devam eden çalışmalara rağmen Şubat 2006'da yeni devreye giren derin bombeli, ince ve yeşil renkli bir ön camın üretiminde %50'nin üzerine çıkan randımsızlık ve oluşan olağanüstü maliyetler yanında kapasite yetersizliği nedeniyle müşterimizin üretim bandı durma noktasına gelmiş, kesintisiz üretim zorunluluğu nedeniyle müşterimiz rakip bir tedarikçiye yönlendirilmek zorunda kalmıştır.

Ancak tam bu dönemde, sistematik olarak devam etmekte olan çok fazla sayıda deneysel çalışmadan biri olumlu sonuç vermiş, optik hatasından kaynaklanan kapasite ve randıman sorunu önemli ölçüde giderilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Otomotiv camı, optik özellikler

Ön Cam Üretim Prosesi

Lamine ön cam üretimi, düzcam fabrikalarımızdan gelen ham camın cam hazırlama hatlarımıza yüklenmesi ile başlar. Tam otomatik CNC kesme tezgahlarında programı önceden yapılmış modele göre kesilen camların etrafındaki fazlalıklar mekanik veya termal işlem ile koparılır ve tekrar değerlendirilmek üzere dönüşüm bunkerine atılır. Cam rodajlama ünitesine sokularak kenarı pah kırılarak ya da C profil verilerek işlenen cam, yıkama ünitesine alınarak üzerinde birikmiş olan toz ve kirler temizlenir. Lamine edilmek için üretilen camlar iki plaka halinde hazırlanır. Yıkamadan çıkan dış cam tozlama ünitesine, iç cam ise baskı hattına yollanır. Hat sonunda her iki cam plakası bir robot vasıtası ile ara stok teçhizatına istiflenir.

Fabrikamızda iki çeşit tozlama ünitesi kullanılmaktadır. Birincisi kuru tozlama ikincisi ise fabrikamız personeli tarafından geliştirilen ve optik problemimizde bizi çözüme ulaştıran ıslak tozlama sistemidir. Tozlanmanın amacı, üst üste konarak eş büküm almak üzere fırına beslenen camların yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında birbirine yapışmasını engellemektir.

Cam hazırlama hatlarında tozlanan ve baskısı yapılan camlar eşlenerek şekillendirilecekleri lamine seri bükme fırınlarına yollanır. Fırınlarda modele özel kalıplarda cam şekillendirilir ve birleştirme prosesine yollanır. Burada camlar birbirinden ayrılarak yıkanır, nem ve sıcaklık değerleri özel olarak şartlandırılmış odada iki cam arasına PVB (polivinil bitüral) katmanı konularak birleştirilir.

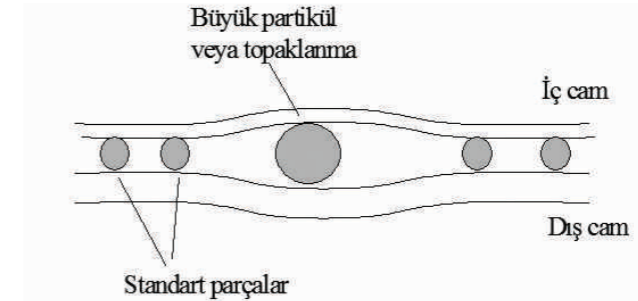


işlemi tamamlanır. Son kontrol hatlarımızda müşteri speklerine göre optik distorsiyon ve görsel hatalar bakımından muayeneden geçirildikten sonra sevke hazır hale getirilir ve paketlenir.

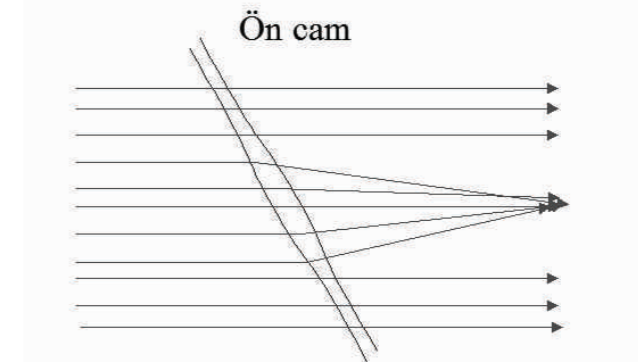
Optik Probleminin Ortaya Çıkışı

Otomotiv sektörü son dönemde yakıt ekonomisi ve estetik avantaj sağlamak için daha yuvarlak hatlı otomobil tasarımına doğru yönelmektedir. Ekonomi ve estetiği birlikte sağlamak için otomobil imalatçısının enerji ve ışık geçirgenliği sınır değerlerini karşılamak kaydıyla ön cam ile ilgili iki karakteristiği yönetmesi gerekir: Bunlardan birincisi, aracın aerodinamiğini iyileştirmek için araçta duruş açısının azaltılması, ikincisi ise cam kalınlığının dolayısı ile araç ağırlığının azaltılmasıdır. Her iki karakteristikteki azalma, otomobil camı imalatçısına yüzey toleranslarına uyum ve optik performans açısından birçok zorluk yüklemekte ve bu özellikteki camların alışlagelmiş üretim metotları ile imal edilmesini son derece zorlaştırmaktadır.

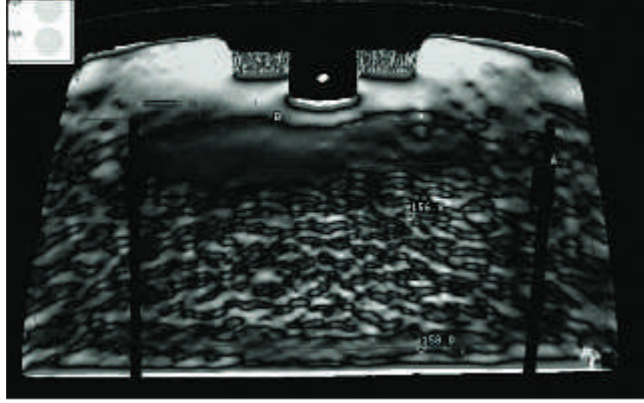
Optik problemi fırındaki cam şekillendirme aşamasında iki cam plakası arasında bulunan 30 mikron ve daha büyük çaptaki toz partiküllerinin camlara batarak bir cep oluşturması ve daha sonra laminasyon aşamasında bu cebe dolan ve kırma indisi camla aynı olan PVB'nin bir mercekle etkisi yaratarak görüntüyü bozmasıdır. Optik distorsiyonun oluşumu ve etkisi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: a) Şekillendirme sırasında ayırıcı tozdaki büyük partiküllerin yarattığı cep



b) Oluşan cebin laminasyondan sonra yarattığı mercekle etkisi



e) Optik hatalı camın otomatik muayene cihazındaki görüntüsü

Otomotiv sektörünün yöneldiği yuvarlak hatlı ön camlar şekillendirme prosesindeki standart büküm metotları ile yapılamaz hale gelmiştir. Camı derinleştirmek için cama verilen ısı gücünün artması camın yumuşamasını hızlandırmakta, iki cam arasındaki tozun camı daha fazla deforme etmesine sebep olmaktadır.

Fabrikamız 2003 yılından itibaren, yeni başlayan ince derin bombeli lamine ön cam (2.2mm+2.2mm ve 2,2+1.6mm) çalışmalarında büyük randıman kaybına yol açan optik sorunu ile karşı karşıya kalmıştır.

Optik Problemin Çözümü

İşletmemizde ince lamine ön cam üretiminde karşımıza çıkan optik probleminin çözümüne yönelik alışılmış üretim metotlarının dışına çıkmış ve analiz sonuçları, çalışanlarımızın tecrübeleri, danışmanlarımızın ve alt yapımcılarımızın görüşleri paralelinde değişik metodlar geliştirilerek kontrollü deneyler yoluyla çözüm aranmıştır.

Hatanın kök nedenini bulmak üzere camların geçtiği tüm proses aşamaları için balık kılıçlı metodu uygulanmış, optik hataya sebebiyet verebileceği düşünülen tüm unsurlar saptanarak ve sadece o bölgenin şartları değiştirilerek üretimler yapılmıştır. **Tablo 1** deneysel çalışmalarda kontrollü olarak etkisi sınınan parametreleri göstermektedir

Tablo 1: Deneysel Çalışmalarda Etkisi Sınınan Parametreler

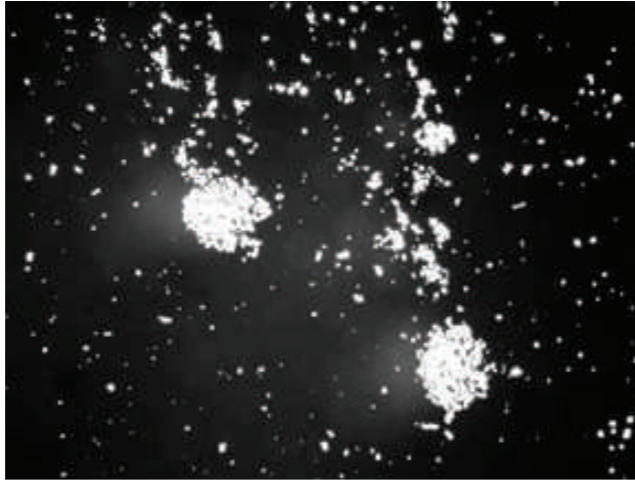
1. Cam kırığı bunker ile hat arasına seperatör kondu ve bunker bölgesi ısıtıldı.
2. Cam Hazırlama hattı akümülatörü devre dışı bırakılarak camın açıkta durma süresi kısaldı.
3. Temperleme bölgesinden gelen tozu bloke etmek amaçlı perde gerildi.
4. Rodaj suyu azaltılarak olası sıçrak mesafesi kısaldı.
5. Koparmaya maske konarak olası sıçraklar önlenmeye çalışıldı.
6. Cam Hazırlama hattında camın açıkta geçtiği kısımlar kapatıldı.
7. Cam hazırlama rodaj hızı %50 azaltıldı.
8. V profil rodaj yerine C profil rodaj denendi.
9. Tozlamaya tente konarak camın göbek kısmı tozsuz bırakıldı.
10. Tozlama çıkışına antistatik üfleç konarak toz akümülasyonu engellendi.
11. Tozlama oda duvarlarının girinti çıkıntıları iptal edilerek toz öbeklerinin oluşumu engellendi.

12. Pnömatik filtre kullanılarak ayırıcı toz maksimum partikül büyüklüğü sınırlandırıldı.
13. Değişik tedarikçilerden alınan tozlar denendi.
14. Fırın önünde camın çevresindeki 2 cm'lik bir parkurda ıslak olarak çeşitli organik ve inorganik malzemeler uygulandı.
15. Aşırı miktarda toz atılarak camın üzerindeki partikülün noktasal teması azaltılmaya çalışıldı.
16. Tamamen tozsuz camlar çalışıldı.
17. Camlar robot yerine elle toplandı.
18. Camlar aralarına çeşitli organik ve inorganik ayırıcı tabaka malzemeler konarak fırımlandı.
19. Fırın önünde manuel hava tabancası ile tüm yüzeye kuru tozlama yapıldı.
20. Fırın önünde manuel hava tabancası ile tüm yüzeye sıvı tozlama yapıldı.
21. Beklemiş toz ve ambalajı yeni açılmış tozla denemeler ve karşılaştırmalar yapıldı.
22. Mevcut toz tedarikçisinden partikül büyüklüğü daha ince toz alındı ve denendi.
23. Tozlama ünitesine ısıtıcı takılarak tozun nemi alındı.
24. Yıkama makinesine 30 mikronluk otomatik filtre kondu.
25. Fırın önünde camlar içi tozla doldurulmuş pomponla tozlandı.
26. Fırın önünde tozlu camların arası elektrostatik fırça ile silindi.
27. Fırın önünde tozlu camların arası elektrik süpürgesi ile temizlendi.
28. Fırında değişik rezistans kombinasyonları denenerek ısı etkisi analiz edildi.
29. Bükme fırını komple boşatıldıktan sonra içi elektrik süpürgesi ile detaylı olarak temizlendi.
30. Deneysel fırında cam büküldü.
31. 1.6 mm cam yerine 1.8 mm ve 2.2 mm camlar denendi.
32. 1.6 mm ve 2.2 mm camların yeri değiştirildi.
33. Camların birbirine değen yüzeyleri; kalay-kalay, kalay-hava, hava-kalay, hava-hava kombinasyonları ile eşlendi.
34. Fırının vardiyadaki tur sayısı nominalin altına ve üstüne çıkarılarak denemeler yapıldı.
35. Camlara büküldükleri fırın vagonlarının numarası verilerek ısı rejim-optik hata yoğunluğu karşılaştırması yapıldı.
36. Camlar yan kenarları kalıplara monte edilen tenteler vasıtasıyla gölgelenerek fırımlandı.
37. Camlar ara yüz boyası basılarak fırımlandı.
38. Camların float çekiş izleri dikey ve yatay olacak şekilde kombinasyonlar denendi.
39. Nominal bombe derinliği azaltılarak çalışıldı.
40. Camlar yeşil (2.2) + yeşil (1.6) yerine clear (2.2) + yeşil (1.6) olarak çalışıldı.
41. Camlar araya PVB konmadan ve farklı sıvılar konularak optik muayeneden geçirildi.
42. Değişik markalı PVB'ler kullanıldı.
43. Camlar pres yerine vakum prosesinde birleştirildi.
44. Birleştirme pres basınçları kademeli olarak düşürülerek denemeler yapıldı.
45. Birleştirme hattına cam yıkanmadan verilerek yıkama makinesinin etkisi ölçüldü.
46. Optikli çıkan camlar yeniden otoklava beslendi.
47. Camların otoklavda bulunduğu bölgelere göre hata analizi yapıldı.
48. Camlar otoklav süresi ikiye katlanarak (yaklaşık üç saat) denendi

İlk olarak kesme hattı cam koparma ünitesi hedef nokta olarak belirlenmiş, bu bölgede meydana gelen cam sıçraklarının problemin sebebi olduğu öngörüsü yapılmış ve çalışmalar başlatılmıştır. Cam sıçrağını önlemek için değişik aparatlar monte edilmiş, sıçrak olayının önüne geçilmiş ancak bu olayın optik problemi ile bir ilintisinin olmadığı anlaşılmıştır.

İkinci aşama olarak kesme hattı rodaj bölgesi hedef seçilmiştir. Buradaki düşünce, rodajlama sırasında camdan kopan küçük cam parçacıklarının camın orta bölgelerine uçarak konduğu veya fırında ilk bükülme sırasında kenardan kopan parçaların cam ortasına doğru yuvarlandığı ve problemi yarattığı şeklindedir. Bu problemi önlemek için rodaj hızı, disk ağız şekli ve derinliği gibi parametreler değiştirilmiş, deneme sonucunda çıkan camlar ile elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde optik probleminin kök nedeninin rodaj kaynaklı olmadığı anlaşılmıştır.

Daha sonraki aşamada Cam Araştırma Merkezimiz ile ortaklaşa yürütülen analizlerde hatalı bölgelere ait mikro analizler, elektron mikroskobu incelemeleri, ayrıca toz ve cam tozu analizleri yapılmıştır. Mercekçi Formülü (Lens Maker's Formula) kullanılarak hataya neden olan partikül boyu kabaca hesaplanmıştır. 2.1mm +1.6mm lamine cam kombinasyonu ve ilgili araç duruş açısında ıskartaya neden olabilecek düzeyde optiklenme yaratan partikül çapının 30 mikron olduğu tespit edilmiştir. Yapılan elektron mikroskobu incelemelerinde ise, partiküllerin çapının 30 mikrondan fazla olduğu bulunmuş ve buna ek olarak tozun neme maruz kalması durumunda birkaç partikülün bir araya gelerek partikül boyutlarını daha da büyüttüğü tespit edilmiştir. Şekil 2'de ayırıcı tozdaki topaklanma görülmektedir.



Şekil 2: Mineral bazlı ayırıcı tozun uygulama sırasında topaklanması

Dördüncü aşamada lamine seri bükme fırınlarımız incelenmiştir. Lamine seri fırınlarımızdan bir tanesi optik kalitesine olan etkisinin incelenmesi için ilk örnek olarak seçilmiş ve tüm çalışmalar bu fırında yapılmıştır. Öncelikle fırın kirliliğinden şüphelenilmiş ve birer lot cam kirliliği ve temiz vagonlarda bükülmüştür. Çıkan sonuçlar bizi çözüme ulaştırmamıştır.

Bu aşamada cam spesifikasyonları dışına çıkılarak yapılan denemelerin başarılı olması üzerine müşteriden speklere saptanmış olan bombenin azaltılması ve iç plaka cam kalınlığının artırılması için sapma (deviasyon) istenmiş ancak bu sapmalar tarafımıza verilmemiştir. Aynı aracın Avrupa'daki üretimini besleyen rakip firma ürünleri temin edilerek kıyaslandığında rakibin de bu speklere saptanmış olduğu saptanmıştır.

Beşinci aşamada birleştirme prosesi incelenmiştir. Kesme hattında değişik toz miktarlarıyla kesilen camlar fırınlarda sabit sıcaklıkta bükülmüştür. Birleştirme hattındaki ilk denememiz birleştirme hattı fırın sıcaklıkları ve pres hızları sabit, pres basınçları ise değiştirilerek yapılmıştır.

Daha sonra aynı deneme, pres basınç ve fırın sıcaklığı sabit tutulup pres hızları değiştirilerek yapılmıştır. Son olarak da birleştirme fırın sıcaklıkları değiştirilerek denemeler yapılmış ancak kök nedene yönelik anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır.

Altıncı aşamada birleştirme hattından çıkan camların otoklavdaki çevrim süreleri ve basıncı değiştirilerek denemeler yapılmış ancak anlamlı sonuç alınamamıştır.

Tozlama işlemine odaklanıldığında mekanik tozlama ünitesinde revizyon yapılarak öbeklenmiş toz kütlelerinin düşmesinin önüne geçebilmek için tozlama rulosunun altına bir platform konmuş, nemlenmeyi engellemek için tozlama odası ısıtılmıştır. Ek olarak, elimizdeki toz mekanik olarak elenmiş ve üretimde kullanılmıştır. Eleme işleminin uzun sürmesi ve optik sorunumuzda beklenen faydaya ulaşılamaması üzerine bu işlemde de vazgeçilmiştir. Tamamen ara tozsuz alınan camların fırında yapışmalarına rağmen optik hatasına daha az maruz kaldıkları da saptanmıştır.

Böylelikle elimizdeki ayırıcı tozun derin bombeli ve ince camlardaki optik kalitesizliği yarattığının kesin olarak belirlenmesinden sonra alternatif toz arayışlarına girilmiştir. Bu amaçla çeşitli organik ve inorganik malzemeler kuru veya solüsyon içinde uygulanarak çok sayıda deney yapılmıştır. Tüm bu denemeler sonucunda optik sorununun şiddetinde büyük dalgalanmalar görülmüş ve problemin araya serpilen madde ile ilintili olduğu kesin olarak belirlenmiştir.

Denenen alternatif ayırıcılar içinde en başarılı sonucu veren bir madde ile ilk olarak manuel uygulamada hem çok ince ve kaydırıcı bir tabaka elde edilmiş, hem de camların fırında birbirine yapışması önlenmiştir. Başarılı manuel sonuç derhal endüstriyel boyuta taşınarak derin bombeli camların hazırlandığı hattaki mevcut tozlama sistemi tümüyle yeni sisteme çevrilmiştir.

Kazanımlar ve Sonuç

- Problemin kök nedeni anlaşılmış, hatanın bombe derinliği, cam plaka kalınlığı, cam rengi gibi tasarım faktörleri ile ayırıcı tabaka özelliklerinin tümünün biraya gelmesi ile oluştuğu ortaya çıkmıştır.
- Islak tozlama sistemi kullanılarak derin bombeli kalın ön camda optik hata kökenli ıskarta oranı %15'den % 2'ye, derin bombeli ince ön camda ise %55'den % 7'ye düşürülmüştür. Randımsızlığı daha da düşük değerlere indirmek üzere alternatif proses arayışlarımız devam etmektedir.
- Müşterimizin sevkiyatları ve söz konusu parçanın devamlılığı garanti altına alınmıştır.
- Gelecekte karşımıza çıkması kuvvetle muhtemel olan benzer projeler için teknolojik hazırlık yapılmıştır.
- Müşterimiz tarafından çalışmalarımız övülmüş, Fabrikamızda bu başarıya imza atan çalışanlarımız ödüllendirilmiştir.

Teşekkür

Optik probleminin çözümüne katkı sağlayan Cam Araştırma Merkezine, özellikle de Dr. Eşref Aydın ve Dr. Hakan Sesigür'e, başarılı maddeyi ilk kez uygulayan Üretim Teknisyenimiz Mehmet Can Fırtın'a ve tüm ekibimize teşekkür ediyoruz.

CAM EV EŞYASI ÜRETİMİNDE SICAK CAM TEMAS MALZEMESİ OLARAK KEVLAR KULLANIMININ PERFORMANSA ETKİLERİ

Tuğrul Misoğlu – Yüksel Soykut – Erhan İter – Zeki Alimoğlu
İş Geliştirme Müdürlüğü / Cam Ev Eşyası Grubu

Serkan İnce – Kaan Say

Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu

Malzeme teknolojileri son yıllarda çok önemli gelişmeler kaydetmiş ve geliştirilen pek çok malzeme rahatlıkla cam üretim sektöründe de uygulanabilir hale gelmiştir.

Cam Ev Eşyası sektöründe üretim, yükleme, şekillendirme, ısı işlem, boşaltma, paketleme gibi pek çok proses arasında durmaksızın tekrarlayan mamul transferleri bu aşamalarda cama temas edecek malzemelerin seçimini önemli kılmaktadır.

Konveyör bantlarının ve pek çok tutucu ve aktarıcı aparatın sıcak camla temasa uygun hale gelebilmesi için uygulanan “ıslendirmeye” işleminin hem kontrolü güç şekilde enerji kullanımını artırdığı, mekanizmaların kilitlenmesine yol açarak arızalara neden olduğu hem de fabrika atmosferini ve ortamını kirletici etkileri açısından olumsuzluk yarattığı bilinmektedir. Bu aşamada sıcak camla herhangi bir prosese tabi tutulmadan direkt soğuk haliyle dahi zarar vermeden temas edebilecek malzemelerin kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Malzeme, kevlar

Cam üretim sektöründe son zamanlarda uygulamaların sıkça takip ettiğimiz “kevlar” malzemesinin yukarıda tanımlanan problemlere büyük ölçüde cevap verebileceği:

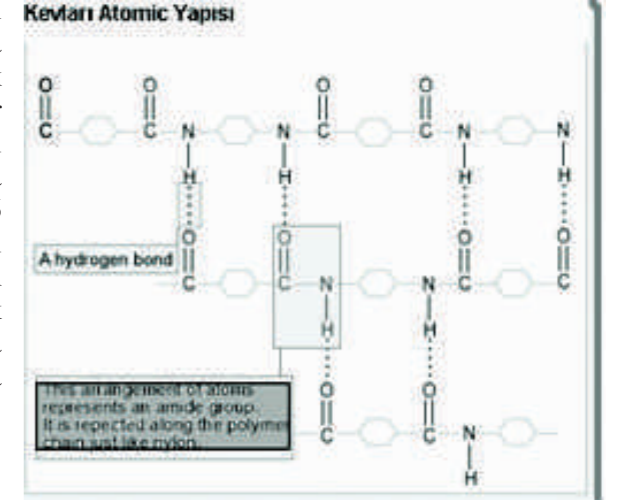
- ✓ Kırklareli Fabrikasında tabak baskı hattı rulolu bant tipi temperleme ünitesinin rulolu şoklama bölümü rulolarının üzerlerinin kaplanması,
- ✓ Borcam P8, P9 ve P10 hatlarındaki temperleme yükleme ve savurma hattının staker ile makine konveyörleri,
- ✓ Borcam hatlarının vakumlu yükleme boşaltma noktaları,
- ✓ Staker iticilerde kullanılan yanmaz bez, kömür ve teflon malzemelerin kopma, kırılma ve deformasyon problemlerinden dolayı sıkça değiştirilmesini önlediği ve benzerleri gibi küçük ölçekteki deneme kullanımları sırasında gözlemlenmiştir.



Bu uygulamaların diğer fabrikalarımızda da kullanımının yaygınlaştırılmasının toplam enerji verimliliğinin artırılması, mekanik kitlenmelerden dolayı meydana gelen arızaların ve fabrika atmosferini ve ortamını kirletici etkilerin azaltılmasında çok büyük etkileri olacaktır.

Kevlar Nedir?

Kevlar, bugüne kadar keşfedilen en önemli malzemelerden birisi olup, doğada bulunmayan tamamen insan yapısı organik bir elyaftır. Son derece hafif ve bir o kadar da sağlam ve sıcaklığa dayanıklı olması Kevlar'ın birçok uygulama alanında rakipsiz olmasının nedenidir. Kevlar, 1966 yılında, ABD'de Delaware kentindeki DuPont laboratuvarlarında çalışmakta olan kimya mühendisi Stephanie Kwolek tarafından keşfedildi. DuPont firmasınınca patenti alınarak 1970'li yılların başında dünya sanayinin hizmetine sunuldu.



Kimyasal anlamda Kevlar bir polimerdir. Monomer adı verilen basit yapıların belli bir dizin şeklinde tekrarlanmasından oluşur. Kimyasal adı “para-pehnylenediamine terephthalamide” olan bu polimere ticari olarak Dupont firması tarafından Kevlar adı verilmiştir.

Kevlar'ın bulunduğu polimer sınıfı Aramid bileşikler olarak anılmaktadır.

Kevlar'ın Kullanım Yerleri

Kevlar, üstün özellikleri ve çevreci bir kimyaya sahip olması nedeniyle, ilk keşfedildiği andan itibaren öncelikle Asbest gibi kanser hastalığına neden olan tehlikeli maddelerin alternatifi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Asbest, doğada bulunan ancak son derece küçük partiküllerinin bile solunum yoluyla akciğerlere ulaştığında kansere neden olan bir maddedir. Daha önceleri sıcaklığa dayanıklı olması nedeniyle ısı yalıtım malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan asbest'in kanserojen olduğu anlaşılınca Kevlar'ın keşfi ile insanlık büyük bir tehlikeden kurtulmuş oldu. Günümüzde asbest kullanımına sınırlamalar ve yasaklamalar getirilmiştir.

Kevlar'ın önemi sadece asbest'in yerini alması değildir. Kevlar, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle, çeşitli formlarda, birçok önemli uygulama yerinde tercih edilen bir malzemedir. Bunlardan başlıcaları:

- Isıya ve aşınmaya dayanıklı uygulamalar – Cam sanayi ve metal sanayinde çeşitli endüstriyel uygulamalar
- Uzay mekiği, denizaltılar, uçaklar vb ileri teknoloji taşıt araçlarında ısıya dayanıklı araçlar
- Emniyet güçlerinin ve askerlerin kurşungeçirmez yelekleri ve başlıkları
- Uçak yarış otosu pilotlarının koruyucu giysileri
- Araç lastikleri

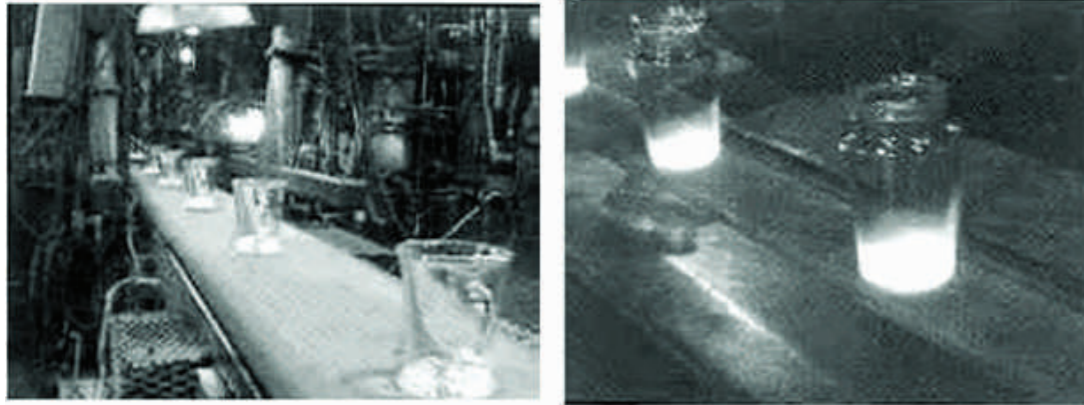
- Koruyucu eldivenler
- Fiber optik kablolar
- Ateşleme kabloları
- Taşıt araçlarının soğutma sistemlerindeki borular contalar
- Isıya dayanıklı contalar
- Koruyucu ayakkabılar



Cam sanayinde Kevlar ürünlerin başlıca kullanım yerleri

Kevlar tekstil ürünleri, Cam Üretim ve İşleme Endüstrisindeki yüksek sıcaklık ve aşınmaya dayanım gerektiren ortamlarda konveyör ve kaplama malzemesi olarak dünyanın birçok ülkesinde tercih edilmektedir. Kevlar ürünler, 540°C'ye kadar devamlı, 760°C'ye kadar kısa aralıklı olan uygulamalarda, aşınmaya karşı üstün dayanımı ile cam elyafı ve diğer kırılğan refrakter malzemelerin kullanılmadığı birçok yerde üreticinin en büyük yardımcısıdır. Kullanım yerleri arasında konveyör bantları, conta malzemesi, pedler ve sıcak camın manipülasyonu bulunmaktadır.

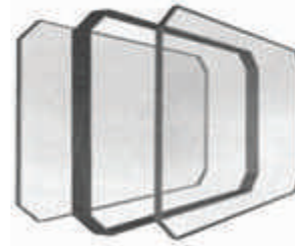
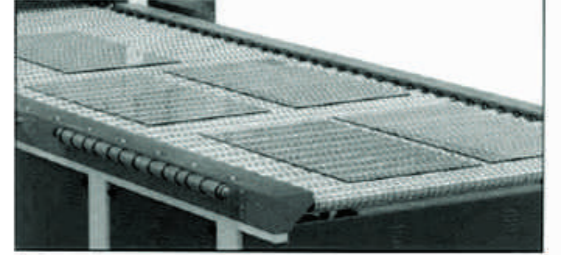
Çok katlı dokuma ile yüksek dansitede üretilen Kevlar konveyör bantları 9,50 mm kalınlığa kadar olabilmektedir. Kevlar konveyör bantları, çeşitli mahzurları olan zincir ve metalden yapılmış olan konveyör bantlarının değiştirilmesi için mükemmel bir alternatiftir. Çünkü kevlar konveyör bantlar kullanıldığında; zincir ve metal konveyör bantlara sahip fırınlarda kullanılan brülörlere gerek kalmaz, böylece enerji tasarrufu ve cam eşyanın kırılması çatlaması gibi riskler yok edilir ve buna ilave olarak yakma ürünü olan zararlı baca gazları da olmayacağından çalışan kişiler daha sağlıklı ve temiz bir ortamda görev yaparlar.



- Mimari ve inşaat sektöründe düz camların bombelendirilmesi, şekillendirilmesi, temperli ve lamine cam üretimi
- Otomotiv sektörü için düz camların bombelendirilmesi, şekillendirilmesi, temperli ve lamine cam üretimi (Araç ön camı, stop lambaları, yan lambaların camları)
- Aydınlatma lamba camları (Lamba ampülü, oto far ampulleri, flüoresan ampuller, halojen ampuller vb)
- TV camı üretimi (sıcak cam ve tüp camının konveyörü)
- Cam şişe ve kavanozlar (her türlü şişe, kavanoz ve cam kaplar)
- Cam eşya (Camdan yapılmış tencere, tabak, fırın kapakları, optik camlar vb)

- Camdan yapılmış laboratuvar gereçleri
- Camdan mamul sanat eserleri

Kevlar tekstil konveyörleri yüksek sıcaklık ve aşınma problemlerinin bulunduğu çalışma ortamları için en ideal çözümdür. Yılda 365 gün, günde 24 saat devamlı çalışan bir düz cam veya cam eşya üretim tesisinde meydana gelebilecek bir duraklamanın neden olacağı ekonomik kayıpların önlenmesi, Kevlar Tekstil konveyörleri ve kaplamalarının kullanılması ile mümkün olabilir.

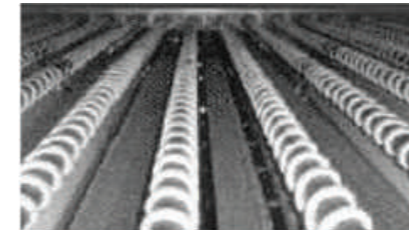


Cam temperleme fırınlarında cam yumuşama sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır ve yüksek sıcaklıktaki cam fırından dışarıya metal rulo konveyörler üzerinde çıkarken hava ile ani olarak soğutulur. Camın metale temas etmemesi için metal ruloların üzeri Kevlar bantlar veya halatlar ile spiral şekilde sarılır. Böylece sıcak ve yumuşak camın



yüzeyi korunurken camın ani soğuma şoku ile çatlaması-kırılması önlenir. Kevlar bant ve halat ürünleri yirmi yılı aşkın süredir dünyanın önde gelen cam temperleme fırınları üreticileri ve bu fırınları kullanan işletmeciler tarafından tercih edilmektedir.

Dikişsiz boru ve hortumları, özellikle otomotiv endüstrisinde araç ön ve arka camları gibi bombeli cam imalatında, temperleme ve laminasyon işlemlerinde ideal rulo (merdane) kaplama malzemesidir.



Boru ve hortumlarının benzerlerine göre büyük bir avantajı vardır: Tek parça kılıf olarak dizayn edildiğinden, iki parçalı kılıf olarak kullanılan benzerlerine göre hem malzeme hem de işçilik maliyetinde ekonomi sağlar.

Bir cam temperleme fırını işletmecisinin başarısında Kevlar ürünlerinin büyük faydası olmaktadır.

Kevlar tekstil ürünlerinden yapılan kaplamalar yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı üstün dayanımı ile işletme ve bakım masraflarında ekonomi sağlayarak en hassas ve kaliteli cam yüzeylerinde bile sorunsuz temperleme yapılmasını temin eder.

Kevlar ürünleri proses sırasında deformasyona uğramadığından temperleme fırını rulo yükseklikleri her noktada aynı seviyede bulunur. Bu sayede camın düzgünlüğünde bir deformasyon oluşmadan üstün kaliteli temperleme yapılır.

Buna ilave olarak, rakipsiz uzun ömrü, yine işçilik ve malzeme maliyetinizde büyük ekonomi sağlamaktadır. Boru ve hortumları işletmenizdeki rulolarla mükemmel uyum sağlayarak, optik açıdan kusursuz kalitede bombeli veya bükülmüş cam üretmenize yardımcı olacaktır.



Kimyasal, Sıcaklık ve Fiziksel Özellikleri

Isıya karşı dayanım	540 °C ye kadar devamlı 760 °C ye kadar aralıklı
Isı iletkenliği	0,04 BTU.in/h.ft.°F
Aşınmaya karşı dayanımı	Çok iyi
Kesmeye karşı dayanımı	İyi
Kimyasal maddelere karşı dayanımı	Asitlere ve alkalilere karşı iyi. Solventlere karşı çok iyi. Kuvvetli mineral asitleri ve bazlardan bir dereceye kadar etkilenebilir. Yaşlanmaya karşı çok iyi.

Paşabahçe Kırklareli Fabrikasında Kevlar Malzemenin Kullanım Alanları:

1) Vakum Padleri

- Borcam makinelerindeki take-out makinesi vakum başlıklarının mamulle temas eden yüzeylerinde,
- Ağız yakma boşaltıcısında,
- Önceden amyant bazlı bez üzerine paslanmaz elek teli olan, şu anda Kevlar pad üzerine bakır folyo sarılarak yapılan uygulama,
- Makine take-out'unda 1-2 gün, ağız yakma boşaltıcısında 3 gün süreyle kullanılmaktadır.
- Dayanımı ve kullanım süresini artırma çalışmaları devam etmektedir.

2) Tabak Baskı Rulolu Bant Tipi Temperleme Hattı

- Fırından çıkan mamullerin şoklama başlıklarının altına aktarıldığı metal ruloların üzerine örgü boru şeklinde Kevlar uygulandı. Daha önce kontak malzemesi olarak denenen karbon rulo kaplama malzemesinin mamulde neden olduğu çok yüksek kırılma oranını yok denecek kadar aza indirildi.

3) Konveyör Bantları

- İlk olarak Borcam hatlarında ağız yakma çıkış konveyöründe denenmeye başlandı. 10 ay gibi bir süredir sorunsuz çalışma gerçekleşti. Daha önce kullanılmakta olan paslanmaz tel bandın 6 ay mertebesinde bir ömrü vardı. İslendirme işlemi için tel bandın altına alev tatbik edildiğinde bant iç bükey bombe şeklinde deformasyona uğruyordu. Kevlar bant kullanımıyla islendirme kirliliği ve kontrol edilemez doğalgaz sarfiyatı giderilmiş oldu.

Borcam hatlarındaki Kevlar konveyörlerde alınan olumlu sonuç üzerine savurma hattı makine çıkış konveyörü ve staker konveyöründe kullanılmaya başlandı.

- Staker konveyöründe 1 seneye yakın zamandır değişmeden kullanılmaktadır.

Makine konveyöründe ise tel bant ile kıyaslandığında ömrü daha kısa olmasına rağmen pas lekesini gidermesi ile imalat kalitesini büyük oranda artırdığı, temperleme prosesinde oluşan kırılma oranını azaltarak bir kısım mamulün termal şok dayanım sıcaklığına olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında islendirme sonucu oluşan kirliliğin önüne geçilmesi ve bu oranda doğal gaz sarfiyatının azalması da önemli kazançlarıdır.

4) Staker İtçilerde

- Staker itici kafalarının camla temas eden yüzeyine kaplanan, kısa ömürlü olması sebebiyle çabuk aşınarak mamulde çatlak yaratan yanmaz bez yerine daha uzun ömürlü Kevlar şerit kullanımına geçilerek çatlak sebebiyle oluşan kayıp mamullerin minimuma indirilmesi sağlanmıştır.

Sonuç:

Kevlar, uç sıcaklık sınırlarından etkilenmeyen, toksik olmayan, yüksek çekme gerilimi, düşük sürtünme, yüksek diyalektik ve kimyasal dayanıklılık, boyutsal stabilite özelliklerinin yanı sıra esnek yapısıyla Cam Ev Eşyası sektöründe üretim, yükleme, şekillendirme, ısıl işlem, boşaltma, paketleme gibi pek çok proses arasında durmaksızın tekrarlayan mamul transferlerinde cama oldukça sorunsuz bir şekilde temas edebilecek ve üretim performansını artıracak bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır.

CAM FIRINLARINDA NO_x EMİSYONU OLUŞUMU VE AZALTMA YÖNTEMLERİ

Barış Orhan - Levent Kaya

Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü /T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Azot oksitleri (NO_x) emisyonu atık gazlardaki azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) gazlarını içerir ve NO₂ eşdeğeri olarak ifade edilir. Cam fırınları emisyonlarından biri olan NO_x emisyonu, üç temel mekanizma sonunda oluşmaktadır. Termal NO_x, yakma havasındaki azot ve oksijenin termal etkiyle reaksiyona girmesiyle, yakıt kaynaklı NO_x ise yakıtlardaki azot molekülünün oksidasyonu ile gerçekleşmektedir. Ayrıca, harman bileşenleri içindeki azot bileşiklerinin reaksiyonu sonucu da NO_x emisyonları oluşmaktadır.

NO_x emisyonunun azaltılmasında birincil ve ikincil önlemler olarak adlandırılan iki ana yaklaşım söz konusudur. İkincil önlemler, oluşan NO_x emisyonunu çeşitli arıtma teknikleri ile bertaraf etme prensibine dayanmaktadır. Bunlardan en önemlileri Seçici Katalitik İndirgeme (SCR-Selective Catalytic Reduction) ve Seçici Olmayan Katalitik İndirgeme (NSCR -Non-Selective Catalytic Reduction) olarak bilinen arıtma teknikleridir. Birincil önlemler arasındaki en temel yaklaşım ise, yanma şartlarında modifikasyonlara gidilerek NO_x emisyonlarının yoğunluğunu oluşturan termal NO_x'un azaltılmasıdır. Alev sıcaklığı, reaksiyona giren oksijen miktarı, alevin yüksek sıcaklık bölgesinde alıkonma süresi, termal NO_x oluşumunu etkileyen faktörler arasında yer aldığından, termal NO_x oluşumunu en aza indirmek amacıyla düşük hava/yakıt oranı, kademeli yakma, atık gaz sirkülasyonu ve Low-NO_x bekler ile fırın dizaynına göre yanma verimini bozmayacak ve ürün kalitesini etkilemeyecek şekilde modifikasyonlara gidilebilmektedir. Bu modifikasyonların biri veya birkaçı birlikte uygulandığında % 40-60 daha düşük NO_x değerlerine ulaşılabilir. Diğer taraftan harmanda kullanılan cam kırığı miktarının artırılması, yakma havası olarak oksijen kullanılması, fırındaki ergimenin elektrotlarla desteklenmesi de termal NO_x oluşumunu azaltan önemli uygulamalar arasında yer almaktadır. Birincil önlem olarak uygulanan bir diğer yöntem ise harman kaynaklı NO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla, harmanda, nitrat içeren oksidasyon uygulamalarının eşdeğerleri ile yer değiştirmesidir.

Birincil önlemlerle NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik bir çalışma, Paşabahçe Cam San. A.Ş. Kırklareli Fabrikası D Fırını'nda yapılmış, bu kapsamda bek açılırları değişimi, yakıt/hava oranı ayarı ve harman kompozisyonu modifikasyonu uygulanmıştır. Fabrika yetkilileri ile birlikte yapılan değişiklikler öncesinde ve sonrasında emisyon ölçümleri gerçekleştirilerek NO_x konsantrasyonundaki değişimler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası mevzuatla karşılaştırılabilir olarak derlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Emisyon, Çevre, Fırın, NO_x, Atık gaz

Giriş

Günümüzde sanayi kapasitesinin büyümesi, ulaşımın kolaylaşması ve daha konforlu bir yaşam ihtiyacı sebepleri ile enerji tüketim miktarları tarihinin en yüksek rakamlarına ulaşmıştır. Fosil yakıtların tüketilmesi sonucu oluşan başlıca kirleticiler; CO₂, NO_x ve SO_x emisyonları sanayi devriminden beri ekosistemi tehdit eder hale gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma ve daha yaşanabilir bir çevre için bu emisyonların azaltılmasını sağlamak amacıyla kanun koyucular kotalar ve sınır değerler getirmişlerdir.



Ulaşım araçları, metal ergitme, elektrik üretimi, çimento ve diğer ağır sanayi kaynaklı kirleticiler ile karşılaştırıldığında cam ergitme fırınları emisyonlarının dünya kirliliğine katkısının daha az olduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte cam üretim sektöründe de enerji yoğun sektörlerden biri olarak hatırı sayılır derecede azot oksit (NO_x) emisyonları oluşmaktadır. Sektörümüzde NO_x emisyonlarının azaltılması konusu son yıllarda oldukça önem kazanmış ve bu konuda yurtdışında mesafe kaydeden çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu makalede, NO_x emisyonları nelerdir, neden bu kadar önemlidirler, nasıl oluşurlar, doğaya ne gibi zararlar verirler, NO_x emisyonlarını azaltma teknikleri nelerdir, ulusal ve uluslararası mevzuat ve durumumuz nedir soruları cevaplanmış ve bu konuda gerçekleştirdiğimiz deneysel çalışmanın sonuçları yorumlanmıştır.

NO_x nedir?

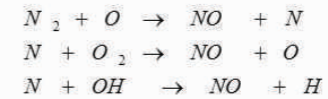
Diyatomik moleküler azot (N₂) inert bir gazdır ve soluduğumuz havanın % 79'unu oluşturmaktadır. Bununla birlikte kimyasal bir element olan azot (N) tek bir atom olarak reaktiftir ve +1'den +5'e kadar iyonizasyon seviyelerinde bulunabilir. Bu sebeple azot çeşitli farklı oksitler oluşturabilir. Azot bileşikleri ve bunların özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Azot Oksitler (NO_x)

Formül	İsim	Nitrojen Değeri	Özellikler
N ₂ O	Diazot monoksit	1	Renksiz gaz Suda çözünür
NO N ₂ O ₂	Azot monoksit Diazot dioksit	2	Renksiz gaz Suda az çözünür
N ₂ O ₃	Diazot trioksit	3	Siyah, katı faz Suda çözünür, suda ayrışır
NO ₂ N ₂ O ₄	Azot dioksit Diazot tetraoksit	4	Kırmızı-kahverengi gaz Suda çok çözünür, suda ayrışır
N ₂ O ₅	Diazot pentoksit	5	Beyaz, katı Suda çok çözünür, suda ayrışır

Bu gazlardan atmosferde en çok bulunanları N₂O, NO ve NO₂'dir. N₂O (güldüren gaz olarak bilinir) büyük çoğunlukla fermantasyon ve bitki kaynaklıdır bu yüzden bu makalede sanayi kaynaklı olduğunu bildiğimiz NO ve NO₂ emisyonları incelenmiştir.

Yanma kaynaklı NO_x emisyonlarının büyük çoğunluğu NO gazı formundadır. Zeldovich denklemlerine göre NO 1300 °C üzerindeki sıcaklıklarda O₂ gazı varlığında oluşur. 760 °C'den düşük sıcaklıklarda ya hiç oluşmaz ya da çok küçük miktarlarda oluşur. Yanma kaynaklı NO yakıt-hava oranının bir fonksiyonu olarak oluşur ve stokiyometrik (reaksiyona giren kimyasalların oranı) oran fazla yakıtta kaymışsa, oluşumu daha çok telaffuz edilir. Zeldovich denklemleri aşağıda verilmektedir.



Neden NO_x Emisyonunu Kontrol Etmeliyiz?

Oluşan NO emisyonlarının yaklaşık % 90'lık kısmı antropojeniktir (insan faaliyeti kaynaklı). Şimşekler, doğal yangınlar ve toprak kaynaklı biyogenik unsurlar toplamda oldukça az yer tutmaktadır. İnsan faaliyeti sonucu oluşan toplam NO_x emisyonunun % 50'si ulaşım araçları, % 20'si elektrik üretim tesisleri, ve % 30'da diğer endüstri kaynaklıdır.

Oluşan NO'lar gazın soğumasıyla birlikte NO₂'ye dönüşürler ve atmosfere çıktıklarında gazın büyük çoğunluğu NO₂'ye dönüşmüş halde olur. Bu sebeple de kanun koyucular NO_x emisyonlarına atmosferde en sık rastlanılan form olan NO₂ cinsinden sınırlama getirmişlerdir. NO₂ gazlarının kendi başlarına kirletici özelliklere sahip oldukları gibi, aynı zamanda çeşitli reaksiyonlarla atmosferde O₃ ve asit yağmuru oluşumunu da sağlarlar. Bizim azaltmak istediğimiz O₃ tramosferde, solduğumuz havadaki O₃'dur. Stratosfer tabakasındaki ozon tabakası ise bizi ve tramosfer tabakasını güneşten gelen iyonize radyasyondan korumaktadır.

NO₂ ortam havasında güneşten gelen UV ışınları ile reaksiyona girerek O₃ ve NO oluşturur. Daha sonra NO, yine UV ışınları ile reaksiyona giren uçucu organik bileşiklerin (VOC) oluşturduğu serbest radikaller ile reaksiyona girerek NO₂ oluşturur. Bu şekilde serbest radikaller NO, NO₂ dönüşümünü devam ettirirler. Bu yolla her bir molekül NO defalarca ozon üretebilir. Ancak bu döngü VOC'lerin foto reaktif olmayan kısa zincirli karbon bileşiklerine dönüşmesine kadar devam eder. Bir VOC molekülü bu döngüyü 5 defa tekrarlayabilir.

Ozonun bitkilerde büyüme yavaşlığı, insanda astım, kronik bronşit gibi akciğer hastalıkları oluşturduğu ve hastalığı kötüleştirdiği çeşitli çalışmalarla (WHO) tespit edilmiştir. Diğer taraftan, NO₂ havadaki su buharı ile birleşip nitrik asit (HNO₃) oluşturarak yağmur ve kar ile bitkiler, hayvanlar ve yapı malzemelerine zarar vermektedir.

Cam Fırınlarında NO_x Emisyonu

Enerji yoğun tesisler olarak cam fırınlarında NO_x emisyonu büyük çoğunlukla (% 90-95) azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) gazlarını içerir ve hesaplamalarda NO₂ eşdeğeri olarak ifade edilir. Cam fırınlarında NO_x emisyonu, üç temel mekanizma sonunda oluşmaktadır.

- Termal NO_x, yakma havasındaki azot ve oksijenin termal etkiyle reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır,
- Yakıt kaynaklı NO_x; yakıtlardaki azot molekülünün oksidasyonu ile gerçekleşmektedir.
- Ayrıca, harman bileşenleri içindeki azot bileşiklerinin çözünmesi ve oksidasyonu sonucu da NO_x emisyonları oluşmaktadır.

Cam fırınlarındaki yüksek sıcaklıklar sebebiyle (alevde 1650-2000 °C) ana NO_x kaynağı, yanma atmosferindeki 1300 °C sıcaklıkların üstünde nitrojenin oksidasyonu sonucu oluşan termal NO_x'dur. Nitrojenin ana kaynakları ise yakma havası ve fırına giren kaçak havadır. Cam fırınlarında NO_x'un baskın türü N₂ + O₂ > 2NO reaksiyonu ile oluşan NO bileşikleridir (% 90-95). NO₂ seviyeleri oldukça düşüktür. Emisyonlarda rastlanılan NO₂ ise NO'nun atmosferik oksidasyonundan kaynaklanmaktadır. Cam fırınlarında N₂O emisyonuna ise hemen hemen hiç rastlanılmamaktadır.

Doğal gaz kompozisyonunda genellikle çok az miktarda azot bulunduğu için, yakıt kaynaklı NO_x oluşumunun etkisi oldukça azdır. Ancak, doğal gazlı fırınlardaki NO_x oluşumu, fuel oil'li fırınlardakine oranla yaklaşık %15-30 oranında daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni doğal gaz alevinin daha düşük miktarda "is" içermesi ve daha uzun zamanda soğumasıdır.

Harman maddelerinde nitratlı bileşiklerin varlığı durumunda hammaddeler ergidikçe NO_x açığa çıkaracaktır. Bu açığa çıkan NO_x cama geçmez, örneğin hammaddedeki NaNO₃ ergidiğinde Na bileşiği cama Na₂O olarak karışır ve bileşiğin geri kalanı gaz olarak açığa çıkar (NO_x, O₂ ve N₂). Bununla birlikte genel dağılımda harman kaynaklı NO_x oluşum miktarları termal NO_x oluşumuna göre oldukça düşük miktarlarda kalmaktadır.

NO_x Azaltma Yöntemleri

NO_x emisyonunun azaltılmasında birincil ve ikincil önlemler olarak adlandırılan iki ana yaklaşım söz konusudur. Birincil önlemler proses ve işletme şartlarında çeşitli iyileştirmeler yapılarak atığın kaynağında en az miktarda oluşmasının sağlanması olarak bilinmektedir. İkincil önlemler ise atık oluştuktan sonra çeşitli arıtma teknolojileri ile bertaraf edilmesi prensibine dayanmaktadır. Elbette, temel yaklaşım en az miktarda atık oluşturmak ve eğer bu yeterli gelmiyorsa, kanun koyucuların getirdiği sınır değerleri sağlayabilmek için ikincil önlemleri almak olmaktadır. Atık miktarı ne kadar az olursa yapılması gereken arıtma tesisinin kapasitesi de o kadar düşük olacağından, önemli miktarlarda tasarruf elde edilecektir.

Diğer taraftan unutulmaması gereken bir konu da çevre yatırımlarının esas itibariyle enerji verimini, yakıt tasarrufunu destekleyen önemli kalemlerden biri olmasıdır. Genelde emisyonları sınır değerleri sağlamış olan bir cam fırını enerji verimi açısından da üst basamaklarda yer almaktadır.

1. Birincil Önlemler

Birincil önlemler arasındaki en temel yaklaşım, yanma şartlarında modifikasyonlara gidilerek NO_x emisyonlarının çoğunluğunu oluşturan termal NO_x'un azaltılmasıdır. Alev sıcaklığı, reaksiyona giren oksijen miktarı, alevin yüksek sıcaklık bölgesinde alıkonma süresi, termal NO_x oluşumunu etkileyen faktörler arasında yer aldığından, termal NO_x oluşumunu en aza indirmek amacıyla düşük hava/yakıt oranı, kademeli yakma, atık gaz sirkülasyonu ve Low-NO_x bekler ile fırın dizaynına göre yanma verimini bozmayacak ve ürün kalitesini etkilemeyecek şekilde modifikasyonlara gidilebilmektedir. Bu modifikasyonların biri veya birkaçı birlikte uygulandığında % 40-60 daha düşük NO_x değerlerine ulaşılabilir. Diğer taraftan harmanda kullanılan cam kırığı miktarının artırılması, yakma havası olarak oksijen kullanılması, fırındaki ergimenin elektrotlarla desteklenmesi de termal NO_x oluşumunu azaltan önemli uygulamalar arasında yer almaktadır. Birincil önlem olarak uygulanan bir diğer yöntem ise harman kaynaklı NO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla, harmandaki nitrat bileşiklerini yerine sülfat veya seryum oksit bileşiklerinin kullanılmasıdır.

1.1. Yanmada Modifikasyon

Termal NO_x'un oluşum mekanizması kalitatif olarak aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir. Bu formülde A ve B sabitler, T alev sıcaklığı ve t, T sıcaklığında gazın alıkonma süresidir.

$$NO_x = A \left(-\frac{B}{T} \right) x N_2 x (O_2)^{0.5} x t$$

Formülde de görüldüğü üzere NO_x oluşumunu etkileyen temel faktörler; reaksiyon bölgesindeki alev sıcaklığı, oksijen içeriği ve alevin yüksek sıcaklık bölgesinde alıkonma süresidir. Termal NO_x'un azaltılması için yapılması gereken birincil kontrol teknikleri aşağıda verilmektedir.

1.1.1. Düşük Hava/Yakıt Oranı

Fırına bek kenarlarından ve harman besleyicisinden olan hava sızıntıları NO_x seviyelerinin artmasına sebep olmaktadır. Bek bloğunun ve harman besleyicisinin sızdırmazlıklarının sağlanması ile oldukça ucuz ve etkili önlem alınmış olacaktır.

Bu önlemlerle NO_x seviyesindeki azalma açıkça NO_x'un başlangıç seviyesi ile ilgili olmakla birlikte, % 10'luk azalmalar görülebilir.

Genellikle fırınlar tam yanmayı sağlamak amacıyla % 5-10 fazla hava (% 1-2 fazla O₂) ile çalışırlar. Hava/yakıt oranını stokiyometrik seviyelerin yakınlıklarına indirerek belirgin NO_x düşüşleri sağlanabilir. Ayrıca bu teknikle enerji tasarrufu da sağlanmış olur. Bu tekniği etkili olarak uygulayabilmek için atık gazdaki NO, CO ve O₂ seviyelerini izlemek gerekmektedir. Eğer yanma stokiyometrik oranın altına kayarsa, CO emisyonları ve refrakter aşınması artabilir ve camın redoks seviyesi de düşerek cam kalitesini etkileyebilir.

En iyi sonuçları alabilmek ve problemlerle karşılaşmamak için bu tip değişiklikler çok dikkatli ve kademe kademe uygulanmalıdır. Bazı durumlarda (örn. reküperatif fırınlar) bir fırının stokiyometrisi bir bütün olarak düşünülürse, fırının en sıcak kısımlarında bekler fazla yakıtla yanarken diğer daha soğuk kısımdaki bekler fazla hava oranları ile yanabilirler. Toplamda bakıldığında oran yine stokiyometriğe yakın olacaktır. Bu teknikler kullanılarak başlangıç değerlerine göre % 40'lık emisyon azalmaları sağlanabilmektedir.

1.1.2. Yakma Hava Sıcaklığının Düşürülmesi

Yakma hava sıcaklıkları reküperatif fırınlarda rejeneratif fırınlara göre belirgin olarak daha düşük olduğundan dolayı daha düşük alev sıcaklıkları ve daha düşük NO_x emisyonlarına sahiptirler. Bununla birlikte daha düşük yakma hava sıcaklığı fırın verimini de (düşük çekiş) azaltacağından dolayı daha düşük yakıt verimine ve böylece yakıt tüketimini arttıracığından üretilen ton/cam başına daha çok emisyon sebep olacaktır. Çevresel yarar açısından bu teknik yararlı değildir.

1.1.3. Kademeli Yakma

Eğer yakıt ve hava/oksijen bekten aynı zamanda püskürtülüyorsa porta yakın alanda sıcak ve oksidan birincil bölge, biraz uzağında da daha soğuk ikincil bölge oluşur. NO_x'un büyük çoğunluğu en sıcak bölgede oluşur, bu yüzden bekten enjekte edilen havanın ya da yakıtın oranı azaltılarak maksimum sıcaklık ve NO_x oluşumu azaltılır. Kalan yakıt veya hava yanma bölgesine daha sonra ilave edilir.

Hava kademeli yakmalarda yanma stokiyometrik oranın altında gerçekleştirilir ve yanmayı tamamlamak üzere kalan hava ya da oksijen daha sonra fırına ilave edilir. Bu teknikte ilk uygulamalarda problemler yaşansa da, kademeli üfleme (BAS) ve oksijenle zenginleştirilmiş kademeli üfleme (OEAS) teknikleri Amerika'da halen geliştirilmektedir. Bu teknikle NO_x emisyonlarında % 70'lik azalmalar sağlandığı görülmüştür.

Yakıt kademeliendirme ise düşük kuvvetli bir alev (toplam enerjisinin % 10'u kadar) port boynunda oluşturulması prensibine dayanır. Bu alev birincil alevin kök kısmını kapsayarak bu bölgede alevin oksijenini tüketecek ve alev sıcaklığını düşürecektir. Böylelikle NO_x emisyonu oluşumu da azalmış olacaktır. Bu teknik uygulamada hava kademeliendirmeden daha başarılıdır ve sıklıkla kullanılır. Bu tekniği kullanarak % 35'lere varan emisyon azalmaları sağlanabilmektedir.

1.1.4. Atık Gaz Geri Çevrimi

Fırında oluşan atık gaz, havanın oksijen içeriğini düşürmek amacıyla aleve enjekte edilir. Bu tekniği cam endüstrisine uygulamakta çeşitli zorluklar yaşanmıştır ve uygulaması yoktur.

1.1.5. Düşük NO_x Bekleri

Bu terim NO_x oluşumunu en aza indirmek üzere tasarlanmış bekler için kullanılmaktadır. Bu sistemler kendi içinde çeşitli farklı prensiplerde çalışmaktadırlar. Bu özellikteki bekleri kullanarak % 30'a varan azalmalar görülmektedir. Yalnız doğru hava/yakıt oranı kullanılmadığı sürece bu bekler NO_x emisyonlarında bir iyileştirme sağlamazlar. Düşük NO_x beklerine ait farklı prensipler aşağıda verilmektedir:

- Alev sıcaklıklarını düşürmek için yakıt ve havanın daha yavaş karıştırılması (alev şekillendirmesi)
- Minimum enjeksiyon hızları ile tam yanmanın sağlanması
- Düşük sıcaklıklı ve yüksek emissiviteli alevler.

Yukarıdaki tekniklerin uygulanması ile NO_x emisyonlarında azalış etkisi kümülatif değildir. Hiçbir iyileştirme yapılmamış bir fırında bu tekniklerin biri veya birkaçı birden uygulandığında toplamda % 40-60'lık azalmalar beklenmektedir.

Bu tekniklerle elde edilebilecek emisyon seviyeleri, başlangıç değerleri, fırın yaşı ve dizaynına göre değişiklik gösterecektir. Ayrıca uygulamada ve gözlemde titizlik gösterilmesi halinde basit önlemlerle büyük aşamalar alınabilir.

Arkadan ateşlemeli rejeneratif fırınlarda NO_x emisyonları genellikle yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlara göre daha düşük olur ve yukarıda anlatılan tekniklerin uygulaması genellikle arkadan ateşlemeli fırınlarda daha başarılı olur. Yandan ateşlemeli cam fırınları için 700-1100 mg/Nm³ ve 0,9-2 kg/ton cam değerleri sağlanabilirken, arkadan ateşlemeli fırınlarda 650-800 mg/Nm³ ve 1,5 kg/ton cam'dan daha düşük seviyelere ulaşılmıştır. Bazı özel çalışmalarda da bu verilen değerlerden çok daha düşük değerler elde edilmiştir.

Reküperatif fırınlarda elde edilen sonuçlar daha değişkendir bunun sebebi bu tip fırınların farklı amaçlar için çeşitli proses tiplerinde kullanılabilir olmasıdır. Reküperatif tipte cam ev eşyası ve elyaf üretiminde, rejeneratif fırınlarda elde edilen sonuçlara yaklaşılmıştır. Fakat cam yünü üretiminde daha düşük başarı elde edilmiştir.

Yakma sistemleri üzerinde yapılan değişiklikler ikincil yatırımlara oranla nispeten daha azdır ve bazen enerji tasarrufu dolayısıyla fayda sağlarlar. Düşük NO_x bekleri için fırın büyüklüğü ve tipine göre fırın başına 100.000 ve 550.000 Euro gerekirken, bu maliyete 65.000-90.000 Euro arasında bir rakam da kontrol ve gözlem sistemleri için ilave edilebilir. Hava kademeli yakma sistemleri bunlardan çok daha fazla pahalıdır.

1.1.6. Yanmada Modifikasyon Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları

Prensipte yakma sistemlerinde gerçekleştirilen bu değişiklikler bütün konvansiyonel fosil yakıtlı fırınlara ve bir çoğu da hem mevcut hem de yeni fırınlara uygulanabilmektedir.

Diğer taraftan bu tekniklerin uygulanabilirliği ürün ve proses gereksinimleri ile kısıtlıdır. Yüksek kaliteli ürünler için yüksek oksidasyon dereceleri gerekmekte, bu da yüksek sıcaklıklar ve alıkonma süreleri ile sağlanabilmektedir. Dolayısıyla bahsedilen yakma tekniklerinin bazıları kullanılamamakta ve daha fazla NO_x emisyonları oluşmaktadır.

Genel olarak bakılacak olursa, yanma üzerinde yapılan değişikliklerin avantaj ve dezavantajları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Yanma değişikliklerinin avantaj ve dezavantajları

Avantajlar:

- Düşük maliyet.
- Birçok fırın tipinde kaydadeğer NO_x emisyonu azalması.
- Mevcut ve yeni fırınlara uygulanabilirlik.
- Çevreye belirgin negatif etkileri yoktur ve enerji tasarrufu sağlarlar.
- Düşük fırın sıcaklıkları ve enerji kullanımını nedeniyle diğer emisyonlarda da azalma görülür.

Dezavantajlar:

- En iyi sonuçları alabilmek için ileri derecede tecrübe gerekir.
- En iyi sonuç için fırın dizaynında değişiklik gerekebilir.
- Redoks değişiklikleri sebebiyle cam kalitesi problemlerine dikkat edilmelidir.
- Refrakter korozyonunu önlemek için CO emisyonu seviyelerine dikkat edilmelidir.
- İndirgen fırın atmosferi SO₂ emisyonlarını artırabilir.

1.2. Harman Formülasyonu

Cam üretiminde nitratlar oksidasyon ve parlaklığı arttırmak amacıyla kullanılmaktadırlar. En sıklıkla kullanılan nitrat sodyum nitrattır, ama bazı özel cam uygulamalarında potasyum veya baryum nitratlarda kullanılmaktadır. Sodyum nitrat cama parlaklık verse de daha çok oksidasyon bileşiği olarak kullanılmakta, parlaklık için bir çok durumda sodyum sülfat tercih edilmektedir. Ergime prosesi sırasında nitratlar çözünerek NO, NO₂, N₂ ve O₂ gazlarını açığa çıkarırlar. O₂, şeffaf bir cam ürün temini amacıyla eriyiği okside etmek (özellikle Fe⁺²’yi Fe⁺³’e dönüştürmek için) ve harman malzemeleri arasındaki organik bileşenleri okside etmek için kullanılır.

Cam endüstrisinde nitrat bileşiklerinin kullanımı farklı sektörlere göre değişiklik göstermektedir. Düzcam ve şişe ürünlerinde çok yüksek kaliteli, renksiz veya çok renkli (gri, bronz cam) ürünler haricinde nadiren kullanılmaktadır. Nitratlar cam ev eşyası sektöründe yüksek optik berraklık ve dolayısıyla düşük Fe⁺² seviyesi gerektiren yüksek kaliteli ürünlerde kullanılırlar. Nitratlar özellikle TV camı, borosilikat, seramik ve optik cam gibi üretimleri olan özel cam sektöründe geniş ölçekte kullanım alanı bulurlar. Yüksek oksidanlı cam üreten elektrik fırınları veya organik bileşen içeren hammaddelerin eritildiği durumlarda da nitratlara oksitleyici bileşikler olarak ihtiyaç duyulur. Avrupa Birliğinde cam üretiminin tahmini olarak % 7-9’unda kayda değer miktarda nitrat bileşikleri kullanılmaktadır.

Tipik olarak nitratın harmana ilave miktarı % 0,5-1 oranlarında olmaktadır. Örnek olarak 1 ton cam ürün için 5-10 kg NaNO₃ eklenmektedir. Bazı proseslerde, örn. Televizyon camında bu oran % 4 veya daha fazlasına çıkabilmektedir. Ergime sırasında açığa çıkan ana gazlar NO ve O₂ iken düşük miktarlarda N₂ ve NO₂’de çıkar. Harmana karıştırılan % 1 nitrat bileşeni için açığa çıkan maksimum NO_x emisyonu 5,4 kg/ton cam olmaktadır. Bu değer teoride yaklaşık olarak % 8 O₂ bazında 2700 mg/Nm³ değerine denk gelmektedir. Gerçekte ise nitrattan kaynaklanan NO_x emisyonları bu değer maksimum % 30-% 80 aralığında olmaktadır.

Nitrattan açığa çıkan NO miktarları ısınma oranına, harmanın redox durumuna ve indirgen gazların (indirgen alevler) nitrat içeren harman örtüsüne temasına dayanmaktadır.

Nitratın yerine konabilecek olan alternatifleri çevresel ve ekonomik unsurlarla sınırlanmıştır. Örneğin sülfatlar kullanılabilir ancak kullanım miktarı 3 kattan daha fazladır ve SO₂ emisyonlarının artmasına sebep olurlar. Arsenik oksitler de kullanılabilir ancak bunlar da çevresel sebepler dolayısıyla tercih edilmezler. Diğer bir alternatif olarak seryum oksit kullanılabilir ancak bu da sodyum nitrattan daha pahalıdır. Bazı proses modifikasyonları da nitrat gereksinimini azaltabilir ancak bunlar genellikle kalite unsurları, enerji gereksinimi, çekiş sınırlaması veya termal NO_x oluşumu sebepleriyle engellenirler.

Sonuç olarak, endüstrideki temel görüş; nitrat seviyelerinin ürün ve ergime gereksinimleri ile uyumlu olacak şekilde deneysel çalışmalar yürütülerek azaltılabileceği ancak ekonomik ve çevresel şartlar sebebiyle şu an için çok etkili bir alternatifin bulunmadığıdır.

Avrupa Birliğine üye ülkelerin çoğunda nitrat ilavesinin gerekli olduğu cam ürünler için yönetmeliklerde normal NO_x sınır değerinin 2 katı kadar izin verilmiştir. Bu yaklaşım Direktif 96/61/EC’ nin amaçları ile genel olarak uyumsuzdur. Bu şekilde nitrat kullanımının azaltımı sağlanamayacaktır. Buna ilave olarak küçük miktarlarda nitrat kullanan proseslerin sınır değerlerinin 2 katına getirilerek yüksek termal NO_x emisyonları maskelenmekte ve ateşleme şartlarının optimizasyonunun teşvik edilmesini engellemektedir.

Nitrat ilavesi ergitme prosesinden soyutlanamaz. Genelde nitrata ihtiyaç duyulan camlarda, nitratın kullanımına göre ilave olarak diğer spesifik kısıtlamalar vardır. Örneğin, soda kireç cam ev eşyası ile cam ambalaj üretimlerinin ergitme prosesleri sadece nitrat kullanımları açısından değil, eriyikte daha oksidan koşulların oluşması gerekliliği ve daha yüksek cam sıcaklıkları gereksinimi (50-100 °C daha fazla) nedeniyle fırında kalma süreleri (en az % 50 daha fazla) açısından da farklıdır. Bütün bu unsurlar birim cam üretimi başına daha fazla NO_x emisyonuna sebep olmakta ve rejeneratif arkadan ateşlemeli cam ambalaj fırınlarına oranla 2-3 kat fazlalığa erişebilmektedir.

Nitrat ilavesinin azaltılması metotlarının maliyeti ve elde edilebilecek emisyon seviyeleri hakkında rakam vermek çok zordur, büyük oranda hangi aşamadan başlanıldığına bağlıdır ve her fırın kendi karakteristik özellikleri içerisinde değerlendirilmelidir.

1.3. FENIX Prosesi

FENIX prosesi yanmanın iyileştirmesi ve enerji tüketiminin azaltılması için birkaç birincil önlemin birarada alınması esasına dayanmaktadır. FENIX ile yanmada aşağıdaki optimizasyonlar gerçekleştirilir.

- Camda kalite problemleri ve CO emisyonları yaratmadan fazla havanın azaltılması
- Sıcak noktaların önlenmesi ve alev sıcaklıklarının homojen hale getirilmesi
- Yakıt ve yakma havasının kontrollü karışımı

Bunlarla birlikte FENIX prosesi bütün yakma sisteminde komple modifikasyonu ve özellikle yeni tip enjektörlerin kullanımını da kapsar. Bu proses patentli bir proses olduğundan sınırlı bilgi verilebilmektedir. Bu teknikle fırın kontrol sistemi gözden geçirilerek çeşitli parametrelerin gözlenmesi için kurulumlar da yapılır. Özellikle rejeneratörlerin tepesine oksijen problemleri yerleştirilerek fazla hava seviyelerinin kontrolü sağlanır.

Alev içindeki yüksek sıcaklık noktaları, alev hacmini arttırarak alev boyunda ayarlamalarla sınırlandırılır. Yanmanın kademelendirilmesi (çalkantılı hale getirilmesi) yakıt ve oksidan kaynağının kontrolü ve/veya alev hacminin arttırılmasıyla kontrol edilir. Fırının en sıcak bölümünde % 100 oksijen alevi kullanılabilir. Temas bölgesinde gazın çalkantılı hale getirilmesi inert bir gaz ile en az bir enjektörden sağlanır. Bu inert gaz CO₂ ya da geri döndürülen baca gazı olabilir ve ana yakıt ve oksidan kaynaklarının arasından enjekte edilir. Bu işlem alevin gelişimini fırının ortalarına doğru iter ve çok daha geniş hacimli bir alev oluşmasına sebep olur.

Yakıt ve oksidanın (hava, oksijen) temasının geciktirilmesi ana yakıt kaynağı enjektörlerinin üzerindeki hava giriş açıklığının üzerine ya da içine konumlandırılan ikincil yakıt enjektör(ler)i ile de gerçekleştirilebilir. Bu teknik ile, cam yüzeyinin üzerinde fazla hava seviyeleri yaratmadan, oksidan bir atmosfer yaratmak amacıyla hava enjektörleri veya oksijen beslemeleri de kullanılabilir. Bu ekipmanlarla da yanma kontrolü yapılabilir. Bu tekniğin en önemli tarafı detayları gizlenmiş (patentli) olan bek konfigürasyonudur.

Fransa'da Saint Gobain'in bir düzcam fırınında uygulanan teknik ile 1600 mg/Nm³ değerlerinden 510 mg/Nm³ (% 63 azalma) seviyelerine gelinmiştir. Ergimiş ton cam başına düşen NO_x emisyonu kütesine baktığımızda ise 4 kg/ton'dan 1,25 kg/ton'a yaklaşık % 68'lik bir azalma sağlanmıştır.

1.4. Oksijenli Ergitme

Oksijenli ergitmede yakma havası yerini oksijen'e (>%90 saflık) bırakmıştır. Bu tekniğin doğal gaz ile kullanımı daha sık olmasına rağmen hem doğal gaz, hem de fuel oil ile kullanılabilir.

Yanma atmosferinden nitrojenin büyük çoğunluğunun elimine edilmesi, oksijenin saflığına bağlı olarak atık gaz (CO₂ ve su buharı ağırlıklı) hacminin % 70 – 85 civarında azalmasına sebep olur. Havadan gelen azot miktarı en az seviyelere geldiği için NO_x seviyeleri de oldukça düşük olacaktır. Bir çok modern fırında geometri, oxy-fuel ateşleme ve NO_x azaltılması için optimize edilmiştir.

Oksijenli yakma için dizayn edilmiş fırınlarda beklere beslenen oksijeni ısıtmak için ısı geri kazanım sistemleri güvenlik sebebiyle kurulmamıştır. Bu teknik ile önemli miktarlarda enerji tasarruf edilir çünkü atmosferik azotu yüksek alev sıcaklıklarına getirmek gerekmemektedir. Hacimsel olarak daha az gaz ısıtılacağından daha az enerji harcanacaktır. Diğer taraftan oksijen üretimi için de harcanacak enerji ya da maliyet hesaba katılarak her fırın için kendi içinde ayrı değerlendirme yapmak gerekmektedir.

Hava/yakıt ateşlemeli fırınlarla karşılaştırıldığında kütesel NO_x emisyonlarında genellikle % 70-90 seviyelerinde azalma görülmüştür.

Genel olarak bakılacak olursa, oksijenli ergitmenin avantaj ve dezavantajları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Oksijenli ergitmenin avantaj ve dezavantajları

Avantajlar:

- Düşük maliyet.
- Birçok fırın tipinde kaydadeğer NO_x emisyonu azalması.
- Mevcut ve yeni fırınlara uygulanabilirlik.
- Çevreye belirgin negatif etkileri yoktur ve enerji tasarrufu sağlarlar.
- Düşük fırın sıcaklıkları ve enerji kullanımı nedeniyle diğer emisyonlarda da azalma görülür.

Dezavantajlar:

- En iyi sonuçları alabilmek için ileri derecede tecrübe gerekir.
- En iyi sonuç için fırın dizaynında değişiklik gerekebilir.
- Redoks değişiklikleri sebebiyle cam kalitesi problemlerine dikkat edilmelidir.
- Refrakter korozyonunu önlemek için CO emisyonu seviyelerine dikkat edilmelidir.
- İndirgen fırın atmosferi SO₂ emisyonlarını artırabilir.

2. İkincil Önlemler

İkincil önlemler atık oluştuktan sonra atığın çeşitli teknikler kullanılarak bertaraf edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu teknikler aşağıda verilmektedir.

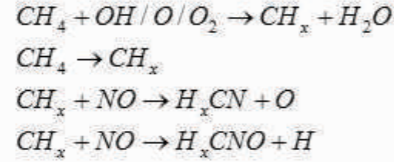
2.1. Yakıt İle Kimyasal İndirgeme (CRF)

Yakıt ile kimyasal indirgeme tekniğinde, yakıt birkaç seri reaksiyon zinciri ile NO_x' u N₂'ye kimyasal olarak indirgemek amacıyla atık gaz akışına eklenir. Eklenen yakıt yanmaz fakat pirolize uğrayarak atık gaz bileşenleri ile reaksiyona giren radikalleri oluşturur. Cam endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmiş olan iki ana teknik "3R" prosesi ve de "yeniden yakma" prosesleridir. Bu iki teknik de yalnızca rejeneratif fırınlarda kullanılmaktadır.

2.1.1. 3R Prosesi

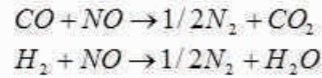
3R prosesinin temeli, rejeneratör girişinde atık gaz akışına kontrollü bir şekilde bir hidrokarbon yakıtının (Örn: doğal gaz, fuel oil) ilavesi prensibine dayanmaktadır. Bu yakıt yanmaz, fakat fırında oluşan NO_x'ı kimyasal olarak azaltmak için reaksiyona girecek şekilde ayrışır. Bu teknoloji rejeneratörler için üretilmiştir, öyle ki; rejeneratörler reaksiyonların gerçekleşebilmesi için gerekli baca gazı sıcaklıkları, türbülanslı karışım ortamı ve gaz alıkonma süreleri gibi gerekli koşulları sağlarlar. 3R adı, Rejeneratörlerde Reaksiyon ve Redüksiyon (indirgenme) anlamına gelmektedir.

3R prosesinde iki ana kademe vardır, deNO_x ve yanmanın tamamlanması. deNO_x kademesin de iki temel mekanizma vardır. Birincisi yakıttan gelen radikaller ve NO arasındaki reaksiyonları içermektedir. Radikaller (CH_x) temel olarak, yakıtın rejeneratöre girmesiyle birlikte hızlıca termal ayrışmaya (piroliz) uğraması sonucunda oluşurlar. Bu aşamada gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

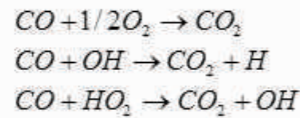


Bu reaksiyonlar çok hızlıdır ve büyük kısmı rejeneratör odasının üst kısmında gerçekleşir. NO_x'da % 25'lik bir azalmaya sebep olurlar.

İkinci mekanizmada atık gaz, alıkonma süresinin göreceli olarak daha uzun olduğu rejeneratör dolgu tuğlalarından aşağı doğru geçerken oluşur. CO ve H₂ (önceden mevcut olan ve 3R yakıtından gelenler) gazlarının kalan NO'yu N₂'ye çevirmek için yeterli yüksek sıcaklıkta yeterince süreleri vardır. Bu reaksiyon bütün rejeneratör sisteminde oluşmaktadır ama baskın olarak dolgu tuğlalarında gerçekleşir ve 3R tarafından sağlanan NO_x azalmasının tamamına yakınına denk gelir. Ana reaksiyonlar aşağıda verilmektedir.



Prosesin ikinci kademesi, çoğunlukla reaksiyona girmemiş CO ve H₂'den oluşan indirgenmiş türlerin tüketilmesidir. Bu türler, rejeneratörün altından akışa kontrollü olarak verilen hava kaynağı ile okside edilirler. Ana reaksiyonlar aşağıda verilmektedir.



3R prosesi ile sağlanan NO_x azalması çoğunlukla ilave edilecek olan ekstra yakıtın miktarına bağlıdır ve ilgili emisyon sınır değerini sağlayacak şekilde ayarlanabilir. Bu teknikte %8 O₂ ve kuru bazda, 500 mg/Nm³ değeri, bazı uygulamalarda ise 400 mg/Nm³ değerine ulaşılmıştır. Bu prosese göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak 1,0-1,5 kg/ton cam'a denk gelerek % 70-85 seviyelerinde toplam NO_x azalmasının sağlandığını göstermektedir. Ayrıca bu yöntem sadece termal NO_x'un değil, harman kaynaklı NO_x emisyonlarının da azalmasına sebep olmaktadır.

Rejeneratörlerde yaratılan bu indirgen ortamın refrakterlere zarar vereceğine dair endişeler bulunmaktadır. Bu teknikten elde edilen deneyimlerin çoğu rejeneratörlerinde kaliteli refrakter kullanan düzcam fırınlarıdır. Bu yüzden bazı cam ambalaj fırınlarında kullanılan düşük kaliteli (Ca, Fe ve Cr içeren) refrakter kullanımı olduğunda refrakterler zarar görebilir.

Refrakterlerin kimyasal dayanımı daha güçlü olanlarla değiştirilmesi de ilave maliyet getirecektir. Ancak bu tekniğin geliştiricileri (Pilkington), bir çok durumda rejeneratör tamirinin gerekmeyeceğini tahmin etmektedirler.

Genel olarak bakılacak olursa, 3R prosesinin avantaj ve dezavantajları Tablo 4'de verilmektedir.

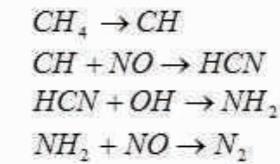
Tablo 4. 3R prosesinin avantaj ve dezavantajları

Avantajları:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Önemli miktarlarda azaltılmış NO_x emisyonları (% 70-85) ▪ Rejeneratif fırınların çoğuna uygulanabilmesi ▪ Fırın dizaynı ya da işletimine müdahalede bulunulmaması ▪ Düşük yatırım maliyeti ▪ Fırın çalışırken uygulanabilmesi ▪ Kimyasal reaktife ihtiyaç duymaması ▪ Bütün kaynaklardan gelen NO_x'u azaltması
Dezavantajları:
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yakıt tüketiminin artması (% 5-10, ancak emisyon sınır değerine göre tüketim ayarlanabilir) ▪ CO₂ emisyonlarının artması (20-30 kg/ton ergimiş cam) ▪ Bazı durumlarda rejeneratör refrakter malzemesine zararları konusunda şüpheler vardır. ▪ Rejeneratif olmayan fırınlara uygulanamamaktadır.

2.1.2. Tekrar Yakma

Tekrar yakma, indirgen eleman olarak yakıtı kullanarak yanma ürünlerinden NO_x'u gideren bir yakma teknolojisidir. Herhangi bir emisyon kaynağında uygulanabilir ve şart olmamasına rağmen genelde doğal gaz kullanılır. 1980'li yıllarda bu teknik ilk olarak büyük ölçekli bir buhar kazanına uygulanmıştır. Prensipte bir seri reaksiyon ile piroliz ile yakıttan gelen CH_x radikalleri N₂ oluşturmak üzere NO ile reaksiyona girmesi esasına dayanmaktadır. NO_x giderim verimleri %50-65 seviyelerindedir.

Tekrar yakma prosesi konsept olarak 3 bölgeye ayrılır. Birincil bölge, tekrar yakma bölgesi ve son bölge. Birincil bölgede yakıt ve hava mevcut beklerden normal ya da indirgenmiş stokiyometrik oranda ateşlenirler. Birincil bölgede oluşan NO_x tekrar yakma prosesinin girdisi olarak düşünülür. Birincil bölgeden sonra olan tekrar yakma bölgesine yakıt enjekte edilerek yakıtça zengin ve indirgen bir ortam sağlanarak NO_x giderimi sağlanır. Birincil bölgedeki stokiyometriye bağlı olarak ana yakıtın % 5-20'si kadar yakıt gerekmektedir. Son bölgede yanmamış yakıtça zengin gazın oksidasyonunu sağlamak ve yanmayı tamamlamak üzere hava enjeksiyonu yapılarak proses tamamlanır. Temel reaksiyon denklemleri aşağıdaki gibidir.



Tekrar yakma prosesinin cam fırınlarına uygulamasında tekrar yakma yakıtı eriticinin arka son kısmına veya eriticinin aşağı kısmına enjekte edilmesi beklenir, böylelikle eriyik üzerindeki ısı dağılımının en az etkileneceği düşünülmektedir. Yakıt enjeksiyon noktasından rejeneratöre (reküperatör) kadar yeterince gaz alıkonma süresi olmalıdır. Son aşama olan fazla hava da rejeneratör tepesinden verilerek yanmanın tamamlanması sağlanır.

Bu teknoloji 1996 yılında bir cam ambalaj fırınında denenmiştir. Yönetmelik sınır değerlerini sağlamak amacıyla NO_x emisyonlarında % 50'lik bir azalma (2,5 kg/ ton cam) hedeflenmiştir. Daha önce hiçbir iyileştirme yapılmayan cam fırınında başlangıç NO_x değeri % 8 O₂ bazında 3500 mg/Nm³ değerindeydi. İlk önce düşük stokiyometrik oran sağlamak amacıyla hava oranı azaltılmış ve NO_x emisyonu 2500 mg/Nm³ değerine gerilemiştir. % 5 (birincil ısı girdiye kıyasla) oranında doğal gaz ilavesi ile 1800 mg/Nm³ değeri elde edilmiştir. Geri yakma gazı % 9 oranına çıkarıldığında NO_x emisyonu 1000 mg/Nm³ değerine kadar azalmıştır. Bu sırada baca gazı sıcaklığı 40-80 °C artmış olduğundan yakma havasının sıcaklığı da artmıştır. Dolayısıyla verilen enerjinin üçte ikisi geri kazanılarak % 9 doğal gaz kullanımı sonucunda yakıt tüketimi toplamda % 3 artmıştır.

Bu teknikte fırında enerji verimliliğinin azalmaması için birincil stokiyometrik oranın azaltılarak 1,01 ve 1,05 aralığına getirilmesi, yakıt ilavesinin olduğu bölgede de 0,9 stokiyometrik oranının sağlanması gerekmektedir.

2.2. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)

SCR prosesi uygun sıcaklıkta katalitik bir yatak kullanılarak NO_x gazlarının NH₃ ile reaksiyona girmesi prensibine dayanmaktadır. Farklı sıcaklık aralıklarında işleyen birkaç çeşit katalizör mevcuttur ve sıcaklığa en uygun olanı kullanılır. En yaygın olanları seramik ya da metalik yüzey üzerinde vanadyum ve titanyum oksit (TiO₂ ve V₂O₅) katalizörleridir. Moleküler zeolit elekleri de kullanılabilir. Zeolitin performansı yapıya platin ya da paladyum ilavesi ile iyileştirilebilir. Hangi katalizör kullanılırsa kullanılsın önemli olan doğru işletme sıcaklığını temin etmektir. Genellikle 300 ve 450 °C sıcaklıklar optimum değerlerdir. SCR sistemleri genellikle % 75-95'lik NO_x azalmaları sağlamak üzere dizayn edilirler. Bu sistem ile cam fırınlarında 500 mg/Nm³ 'den küçük değerlerin sağlandığı örnekler mevcuttur. Genel olarak bakılacak olursa, SCR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. SCR prosenin avantaj ve dezavantajları

<p>Avantajlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Çok yüksek NO_x giderim verimi ▪ Fırında bütün kaynaklardan gelen NO_x' i azaltır. ▪ Cam sektöründe birçok başarılı örneği mevcuttur. ▪ Tedarikçiler çoğu zaman performans garantisi verirler
<p>Dezavantajlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuel-oil fırınları ve boron içeren fırınlarda hala çözülmesi gereken teknik problemler mevcuttur. ▪ Amonyak tüketilir ve emisyon olarak açığa çıkar, ayrıca depolanması ve kullanılması çevresel ve güvenlik önlemlerini gerektirir. ▪ Sistem enerji tüketimi fazladır. ▪ Toz ve gaz yıkama sistemi kurulumu gerektirmektedir. ▪ Geniş alan kaplar. ▪ Yüksek yatırım maliyeti. Daha ucuz teknikler mevcuttur. ▪ İşletme sıcaklığı sınırları ısı geri kazanımını engeller. ▪ Katalizör ömrü kısıtlayıcı bir unsurdur. ▪ Reküperatif fırınlar için gaz soğutma gerekebilir.

2.3. Katalitik Olmayan Seçici İndirgeme (SNCR)

Katalitik olmayan seçici indirgeme prosesi (Termal DeNO_x olarak da bilinir) nitrojen oksitleri yüksek sıcaklıkta amonyak ya da üre ile reaksiyona sokularak indirgenirler. Cam sektöründe sadece amonyak ya da sıvı amonyak kullanılmaktadır. İşletme sıcaklığı 800-1100 °C aralığındadır ama 950 °C civarı en verimli sıcaklıktır. Rejeneratif cam fırınlarında bu sıcaklıklara ulaşmak genellikle zordur. Bu proses ile % 70'lere varan NO_x azaltımı sağlanabilmektedir.

Genel olarak bakılacak olursa, SNCR prosenin avantaj ve dezavantajları Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. SNCR prosenin avantaj ve dezavantajları

<p>Avantajlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Eğer doğru şartlar sağlanırsa SNCR verimi yüksek olabilir (% 70) ▪ Bazı alternatiflere göre düşük ilk yatırım maliyeti ▪ Katalizör gerektirmez. ▪ Düşük enerji gereksinimi
<p>Dezavantajlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Amonyakın doğru sıcaklık aralığında enjeksiyonu gerekir ve bazen sağlanması zor ya da pratik değildir (özellikle rejeneratif fırınlar için). ▪ İşletme sıcaklıkları dışına çıktığında NH₃ veya yüksek NO_x emisyonları açığa çıkar. ▪ Homojen karışım önemlidir ve sağlanması zordur. ▪ Amonyak tüketilir ve emisyon olarak açığa çıkar, ayrıca depolanması ve kullanılması çevresel ve güvenlik önlemlerini gerektirir. ▪ Rejeneratör refrakter malzemesine zarar verme riski mevcuttur.

Çeşitli boyutlardaki fırınlar için bu bertaraf tekniklerinin ilk yatırım ve işletme masrafları Tablo 7 ve 8'de verilmektedir (tm32 Beerkens).

Tablo 7'de örnek durumlar alınarak çeşitli teknikler için ilk yatırım maliyetleri (± %15) verilmektedir. Bu rakamlara paranın teminiyle ilgili faiz ya da diğer masraflar dahil edilmemiştir. Bütün rakamlar Euro cinsinden verilmektedir. Oxy-fuel satırındaki negatif rakamlar reküperatör

ya da rejeneratör sistemleri yatırımından edilen tasarrufu göstermektedir. 3R prosesi tutarını rejeneratör tamirleri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu yüzden tamirli ve tamirsiz maliyetler verilmektedir. 3R maliyetlerine Pilkington'a ödenecek lisans tutarı dahil edilmemiştir. Cam ambalaj ve ev eşyasında indirgen ortama karşı daha dayanıklı refrakterlerin kullanımı için tamir gerekebilirken, genellikle düzcamlardaki refrakterlerin yeterli kaliteyi sağladıkları görülmektedir.

SCR maliyeti gaz önşartlandırılmalı ve önşartlandırılmıy olarak verilmektedir. Önşartlandırılmıy durumda tesiste önceden filtre ve gaz yıkamanın kurulu olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte sistemlerin uyumunun sağlanması için ilave masraflar gelebilecektir.

Tablo 7. İlk Yatırım Masrafları

İlk Yatırım Maliyeti (Euro)	50 ton/gün	100 ton/gün	300 ton/gün	450 ton/gün	600 ton/gün
	Cam Ambalaj				Düzcamlar
SCR	430.000	615.000	1.000.000	1.300.000	1.800.000
SNCR	190.000	280.000	450.000	575.000	1.350.000
LowNO _x	100.000	100.000	180.000	200.000	550.000
Oxy-fuel	-200.000	-300.000	-1.350.000	-1.750.000	-4.800.000
3R-tamir dahil			270.000	350.000	680.000
3R-tamir hariç			140.000	170.000	260.000
SCR+filtre	990.000	1.500.000	2.420.000	3.100.000	4.550.000
Filtre+gaz yıkama	565.000	875.000	1.420.000	1.820.000	2.750.000
Baca gazı hacmi Nm ³ /saat	6.400	11.120	23.000	33.350	70.000

Tablo 8’de örnek durumlar alınarak çeşitli tekniklerin işletme masrafları (± %30) verilmektedir. Bu masraflara reaktifler (örn:amonyak ve kireç), baca gazı sürekli ölçümü, bakım ve fanlar için ilave enerji maliyeti dahil edilmiştir. Oxy-fuel ergitmede oksijen maliyeti küçük tesis kullanıcıları için 0,055 euro/m³ ve büyükleri için 0,04 euro/m³ baz alınarak verilmektedir. Bu maliyetlere aynı zamanda oxy-fuel ergitmenin getirdiği enerji tasarrufları da eklenmiştir. Reküperatif fırınlar için % 25-30, rejeneratif fırınlar için ise % 10-15 değerleri kullanılmıştır.

Tablo 8. İşletme Masrafları

Euro x 1000 / yıl	50 ton/gün	100 ton/gün	300 ton/gün	450 ton/gün	600 ton/gün	100 ton/gün
	Cam Ambalaj				Düzcamlar	Cam Elyaf
SCR	42	64	123	166	330	100
SNCR	23	28	73	100	225	23-35
LowNO _x	15	21	35	46	72	21
3R-tamir dahil			185	255	285	
3R-tamir hariç			106	156	267	
Oksijen	135	190	530	1110	1900	227
SCR+filtre	74	108	200	260	470	139
Filtre+gaz yıkama	37	53	89	116	186	64

Genel olarak bakılacak olursa birincil ve ikincil tekniklerinin sağladığı NO_x azaltma yüzdeleri Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 9. Çeşitli tekniklerin NO_x azaltma yüzdeleri

NO _x Azaltma Tekniği	Fuel-oil	Doğal gaz
Birincil Teknikler:		
Düşük fazla hava oranlı ateşleme	10-30	10-30
Kademeli yanma	20-50	20-50
Atık gaz sirkülasyonu	20-50	20-50
Su-buhar enjeksiyonu	10-50	-
Low NO _x Bekler	30-40	30-40
Fenix	60-70	60-70
Oksijenli ergitme	70-80	70-80
İkincil teknikler		
SCR	60-90	60-90
SNCR	30-70	30-70
3R	70-85	70-85
Tekrar Yakma	50-65	50-65

3. Şişecam Cam Fırınlarının Durumu

Şişecam Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü bünyesinde akredite bir laboratuvar olarak faaliyetlerini sürdüren Çevre Grubunun gerçekleştirdiği emisyon ölçüm sonuçlarından derlenen verilere göre cam fırınlarının NO_x emisyonları seviyeleri Tablo 10’da verilmektedir. Bir kıyaslama yapılabilmesi için aynı Tablo’da Avrupa’daki cam fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarının seviyeleri de verilmektedir.

Tablo 10. Doğalgaz yakılan cam fırınlarında NO_x emisyonları (%8 O₂ bazında)

Fırın Tipi	NO _x (NO ₂ cinsinden, mg/Nm ³)	NO _x (NO ₂ cinsinden, kg/ton cam)	Avrupa’daki cam fırınlarında NO _x değerleri * mg/Nm ³ (kg/ton cam)
REJENERATİF FIRINLAR			
AMBALAJ	1100-2700	1,9 - 5,9	400-5000 (0,6-11,7)
CAM EŞYASI EV	2200-3500	6,1-9,4	2300-5500 (4,8-11)
DÜZCAM	1600-3000	4,6-7,8	1800-2870 (1,7-7,4)
REKÜPERATİF FIRINLAR			
CAMELYAF	1100-1200	4 -4,2	670-1600 (0,5-8)

(*) İkincil arıtma uygulanmamış değerlerdir.

4. Mevzuat

NO_x emisyonlarına ülkemizde uygulanan sınır değerler ve ülkemiz dışındaki diğer uygulamalara ilişkin bazı örnekler Tablo 11’de verilmektedir. Sınır değerler kuru ve % 8 O₂ bazında, NO₂ cinsinden mg/Nm³ olarak verilmektedir.

Tablo 11. NO_x Emisyonları Konsantrasyon Sınır Değerleri

Fırın Çeşitleri	Türkiye		Dünya Bankası	Almanya *	Bulgaristan
	F/O	D/G	F/O - D/G	F/O - D/G	F/O - D/G
Rejeneratif, arkadan ateşlemeli	1800	2200	1000 (2000)**	500 - 800***	800
Rejeneratif, yandan ateşlemeli	3000	3900			
Rekuperatif	1200	1400			

* Almanya'nın uygulamaya başladığı değerlerin kısa bir süre içerisinde diğer Avrupa ülkelerinde de uygulanması beklenmektedir.

** Fırın tipine bağlı olarak 2000 mg/Nm³'e izin verilebilmektedir.

*** Fırın baca gazı debisine göre limit değer değişmektedir. Debi < 50.000 m³/h ise limit değer 800 mg/Nm³, debi > 50.000 m³/h ise limit değer 500 mg/Nm³'tür. Eski fırınlarda 2010 yılına kadar 800 mg/Nm³'e izin verilmektedir.

Ülkemizde yürürlükte olan "Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde cam fırınları için verilmiş emisyon sınır değerlerine göre bir değerlendirme yapacak olursak; cam ambalaj fırınları ve düzcam fırınları NO_x emisyonlarının, sınır değerleri genel olarak sağladığı görülmektedir. Cam ev eşyası fırınlarında daha oksidan fırın şartları gerektiğinden, bu fırınların fazla hava oranları daha yüksek olmakta ve bu sebeple NO_x emisyonları da verilen sınır değeri sağlayamamaktadır. Cam elyaf fırınlarında ise NO_x emisyonları genelde sınır değer civarında oluşmaktadır.

Diğer taraftan ülkemizde uygulanan Yönetmelik uyarınca NO_x konsantrasyonunun yanısıra NO ve NO_x kütleli debilerine de sınır değerler getirilmiştir. Buna göre 20 kg/saat (NO cinsinden) sınır değerini aşan emisyon kaynakları, sürekli NO ölçüm cihazları ve debimetreler ile donatılmalıdır. Bunun yanı sıra 40 kg/saat (NO₂ cinsinden) sınır değerini aşan emisyon kaynakları için de "hava kalitesi katkı değerlerinin" hesaplanarak gerekirse yörede ortam hava kalitesi ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Buna göre; sürekli NO ölçüm cihazı takılmasını gerektiren sınır değer açısından cam fırınlarına baktığımızda, düzcam fırınlarının yüksek baca gazı hacimleri, züccaciye fırınlarının ise yüksek emisyon konsantrasyonları yüzünden 20 kg/saat sınır değerini çoğu zaman aştıkları görülmektedir.

5. NO_x Emisyonlarının Azaltılmasına İlişkin Topluluğumuzda Sürdürülen Çalışmalar

Avrupa'da NO_x emisyonlarının azaltımına ilişkin çalışmalar 80'li yılların sonuna doğru başlayıp 90'lı yıllarda hızlı bir şekilde devam etmiştir. Genel olarak bakılacak olursa NO_x emisyonları, birincil tekniklerle 3000-4000 mg/Nm³ seviyelerinden 1200-1600 seviyelerine kadar düşürebilmiş, sınır değerlerin daha düşük olduğu durumlarda da ikincil teknikler ile 500 mg/Nm³'den düşük değerlere ulaşılabilmiştir.

Cam endüstrisinde genel problem, ikincil teknikler olan arıtma tesislerinin hem ilk yatırım hem de işletme masraflarının yüksek olması nedeniyle, NO_x emisyonlarının birincil teknikler ile daha düşük değerlere çekilip çekilemeyeceğidir.

TNO ile ortak proje

Bu amaçla sürdürülen bir çok çalışmanın yanısıra, TNO (Hollanda Araştırma Enstitüsü) da bir proje başlatmıştır. Bu projede cam kalitesinden taviz verilmeden, birincil teknikler uygulanarak ve fırın tasarımında değişiklikler yapılarak 750 mg/Nm³'den daha düşük değerlere ulaşılması hedeflenmektedir. Şişecam'ın da içinde olduğu 8 firmanın katıldığı 3 yıl sürecek olan bu çalışmadan uygulamaya yönelik faydalı bilgiler sağlanacağı düşünülmektedir. Bu projenin ana çalışma başlıkları aşağıdaki gibi olacaktır.

- Cam fırınlarında NO_x emisyonlarını etkileyen fırın tasarım ve işletme parametrelerinin incelenmesi
- Portlara kurulacak sürekli O₂/CO cihazları ile fırın atmosferinin incelenmesi
- LowNO_x yanma modelinde rejeneratör ve kemer refrakter malzemelerinin testi
- Yandan ve arkadan ateşlemeli fırınlar dizaynları için yanmanın, NO_x'un ısı transferi ve enerji dengesinin, buharlaşmanın modellenmesi
- Elde edilen verilerin yeni bir cam fırınında uygulanması

Birincil Önlemlere Yönelik Fabrikalarda Yapılan Denemeler

Diğer taraftan, Haziran 2006'da Paşabahçe Kırklareli Fabrikası ile ortak bir çalışma başlatılmış, bir fırın pilot seçilerek NO_x emisyonlarının birincil yöntemlerle azaltılmasına yönelik denemeler yapılmış ve çeşitli sonuçlar alınmıştır. Halen devam etmekte olan çalışmada öncelikle aşağıdaki değişikliklerin sırasıyla yapılması ve NO_x emisyonlarının izlenmesi amaçlanmıştır.

- Emisiviteyi arttırmak ve dolayısıyla alev sıcaklığını düşürmek amacıyla bek açılarının kademeli olarak birer derece (toplam 2°) düşürülmesi
- Fırın harman kompozisyonundaki nitrat bileşikleri yerine seryum hammaddesinin kullanılması

Bek açılarında 1 derecelik açı düşürülmesi öncesi ve sonrasında yapılan ölçümlere göre; bek açıları 15,5 dereceden 14,5 dereceye düşürüldüğünde NO_x emisyonlarında %10'lara varan bir azalma görülmüştür. Ardından, beklerin açıları 1 derece daha düşürülerek 14,5 dereceden 13,5 dereceye getirilmiştir. Açılardaki bu azalma NO_x emisyonunda %10'lara varan bir azalma daha olduğunu göstermiştir.

Bu durumda NO_x (NO₂ cinsinden, mg/Nm³, kuru, % 8 O₂ bazında) emisyonu değerinde %20' seviyelerinde bir azalma sağlanmıştır.

Elde edilen bu verilerden sonra Temmuz 2006'da, 'da sodyum nitrat yerine seryum ikamesi uygulamasına başlanmıştır. Seryum geçişi tamamlandıktan sonra camda bazı renk problemlerinin olduğu işletme yetkililerinden öğrenilmiş, bu problemler çözüldükten sonra Temmuz 2006 ve Ağustos 2006'da ölçümler tekrarlanmıştır. Bu iki tarihteki ölçüm sonuçları birbirleriyle uyumlu olmakla birlikte NO_x emisyonlarında beklenen azalmanın olmadığı görülmüştür. Bunun sebepleri araştırıldığında beklerin eski tip mekanizmaları dolayısıyla hassas pozisyon kontrolünün ve açı ölçümünün yapılamadığı ve çalışma sırasında yapılması gereken temizlik/bakım sonrasında açılar 1°C kadar yükselmiş oldukları tespit edilmiştir.

1 derecelik aç farkının %10 civarında azalma sağladığı dikkate alınır, açılardaki kontrolsüz yükselmenin harmandan nitrat bileşiklerinin çıkartılması ile elde edilecek azalmayı gölgelediği düşünülmüştür. Bu bağlamda, harman kaynaklı NO_x emisyonunun seryum oksit kullanımı ile birlikte yaklaşık %10'luk bir azalma sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Bu etkinin görülebilmesi için açılar tekrar ilk hallerine getirilerek ölçümler yenilenecektir.

Diğer taraftan seryumoksite geçişle birlikte fırın oksidasyon seviyesinin iyileşmesi nedeniyle hava/yakıt oranı da düşürülebilmştir. Oksijen değerinin %1 oranında azaltılmasıyla yaklaşık %10'luk bir azalma daha sağlanabildiği görülmüştür. Son değişikliklerle birlikte başlangıç değerinden %33 daha az NO_x emisyonları sağlanmıştır.

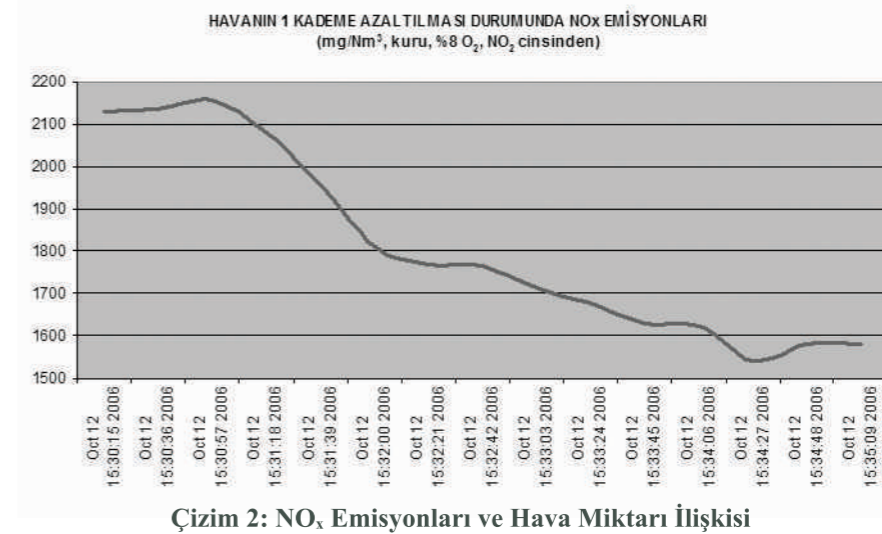
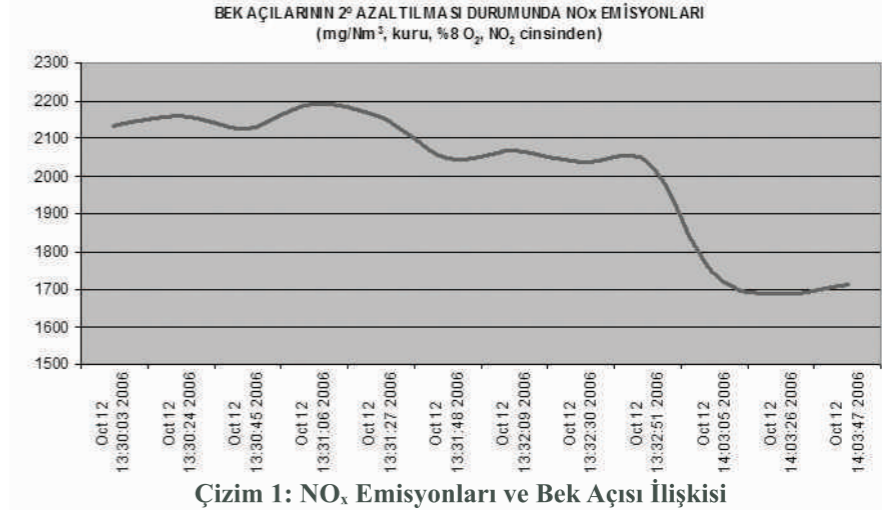
Bek açılarının ve hava yakıt oranının düşürülmesiyle NO_x emisyonunda önemli oranda azalma sağlanabileceğine yönelik sonucun, cam ambalaj fırınlarında da teyit edilmesi amacıyla Anadolu Cam Mersin fabrikası fırınlarından birinde hem bek açılı hem de fırın hava ayarları ile oynanarak NO_x emisyonunun değişimi gözlenmiştir. PK Fırını'nda da olduğu gibi bek açılarının 2 derece düşürülmesi ile yine yaklaşık %20 (bkz. Çizim 1) seviyesinde bir azalma görülmüştür. Daha sonra açılar tekrar eski haline getirilmiş ve bu kez de bek havası ayarı 1 kademe azaltılmıştır. Bu değişiklik ile fırına giren hava miktarındaki bir kademelik azalışın NO_x emisyonlarının da %25 (bkz. Çizim 2) kadar bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, bek ayarlarındaki 2 derecelik ve hava ayarlarındaki bir kademelik azaltma ile NO_x emisyonunun %40 oranında azaldığı görülmektedir.

Yapılan denemeler sonucunda, birincil önlemlerden;

- Bek açılarının düşürülmesi ile alev sıcaklığının düşürülmesi,
- Hava/yakıt oranlarının düşürülmesi,
- Nitratlı hammaddenin ikamesi

teknikleri uygulanarak cam fırınları NO_x emisyonunun % 30-40 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Ancak, her fırının kendine özel farklı karakteristikleri sebebiyle (fırın dizaynı, fırın yaşı, işletme şartları, sıcaklıklar, kaçak hava vs.), bu çalışmada sağlanmış olan NO_x azalma oranları diğer fırınlarda daha farklı miktarlarda olabilecektir. Diğer taraftan, yapılan değişikliklerin özellikle cam kalitesi ve fırın ömrü konuları üzerindeki etkilerini görmek üzere daha fazla deneysel çalışmanın yapılması gerekmektedir.

Bahsedilen çalışmalarını gerçekleştirmemizdeki katkıları nedeniyle Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası ve Anadolu Cam Sanayii A.Ş.Mersin Fabrikası yetkililerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.



Kaynaklar

1. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry, December 2001
2. Nitrogen Oxides: Pollution Prevention and Control, Pollution Prevention and Abatement Handbook, World bank Group.
3. Alternative Control Techniques Document - NO_x Emissions from Glass Manufacturing, Emission Standards Division EPA453/R-94-037, U.S Environmental Protection Agency, office of air and radiation.
4. NO_x Controls, EPA/452/B-02-001.
5. Staged Air, Recirculating Flue Gas Low NO_x Burner, U.S patent 5,269,679.
6. Feasibility and Costs of Applying NO_x Controls on Stationary Emission Sources in California, May 1980, Government Support Operations, The Aerospace Corporation.
7. TNO Eğitim Notu, VI. Energy&Environnement VI.2 Environnement, derived from NCNG Course Handbook for Glass Technologists.
8. Energy and Environmental Profile of the U.S Glass Industry, Energetics, April 2002
9. Technical Bulletin, Nitrogen Oxides (NO_x), Why and How They Are Controlled, Clean Air Technology Center, Environmental Protection Agency, EPA 456/F-99-006R, November 1999
10. Rejeneratif Cam Fırınlarında Düşük-NO_x projesi, TNO

SEMPOZYUMDAN GÖRÜNTÜLER VE YAZARLAR



SUNUMLAR



CAM ERGİTME PROSESİNDE SÜLFAT KİMYASI

HANDE SENDEL



AĞIZ HATALARINI AYIRMA MAKİNESİ GÖRSEL KALİTE KONTROL SİSTEMİ

TUĞRUL MİSOĞLU - A. YÜKSEL SOYKUT



FOREHEARTLARDA RENK DEĞİŞİM SÜRECİNİN SAYISAL SİMÜLASYONU

Dr. MUSTAFA ORAN - ARCA İYİEL



CAM DEKORASYONUNDA KULLANILAN EMAYELER

Dr. İLKAY SÖKMEN - ORHAN ÇORUMLUOĞLU
BURAK İZMİRLİOĞLU - ŞENER YILMAZ
ESAT GÜNERTÜRKÜN - DADAL ARIBURNU
SONER PULURLUOĞLU - ERGÜL CEBECİOĞLU
HALUK ERDEM - YASEMİN HÜRPEK
AYŞE GÜNERİ - ÖZKAN KEFELİ



TENTESOL SERİSİ CAMLARDA VERİM ARTIRMA ÇALIŞMALARI VE YENİ ÜRÜN

HAŞİM EKİCİ - ALPER CAN - ALİ YÖNDEN - OSMAN BİLALOĞLU - Dr. YUSUF SARAÇ - CAN KAPLAN



28 KOLLU ÇAY BARDAĞI MAKİNESİNİN YERLİ ÜRETİMİ

ARIF KARAHAHAN - YAVUZ GÜLTEKİN



BORCAMDA F/H VE FEEDER TASARIM DEĞİŞİKLİĞİ İLE VERİM VE KALİTE ARTIŞI

COŞKUN GÜNERİ - MUHTEŞEM MAHMUTLUOĞLU



ŞİŞECAM



CAM: TOPLUM İÇİN YENİ MALZEME ÇAĞI - MUKAVEMETİ YÜKSEK CAMLARA ULAŞMAK İÇİN İPUÇLARI
(GLASS: INTRODUCING OUR SOCIETY TO A NEW MATERIAL AGE-CLUES TO PRODUCING ULTRA STRONG GLASS)

JOHN BROWN (DR. SURESH GULATI TARAFINDAN SUNULDU)



CAM MUKAVEMETİNİ ARTTIRMAK İÇİN METODLAR
(METHODS FOR IMPROVING STRENGTH OF GLASS)

Dr. SURESH GULATI



DÜZCAM VE CAM KAPLARIN MUKAVEMETİ
(STRENGTH OF CONTAINERS AND FLAT GLASS)

JOHN BAYNE



KAPLAMA İLE CAM MUKAVEMETİNİ ARTIRMA
(ALTERING THE FRACTURE TOUGHNESS OF GLASS BY COATING)

Prof. Dr. BÜLENT YOLDAŞ



CAM AMBALAJ ÜRETİMİNDE ŞEKİLLENDİRME PROSESİNİN TERMAL KAMERA KULLANIMI İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

CAN BARAN ÜNAL - LEVENT DAĞDELEN



ŞİŞECAM



ÇİFT DAMLA ÇAY BARDAĞI OTOMATİK PAKETLEME HATTININ YERLİ ÜRETİMİ

SÖNMEZ ÖZDEN - YASİN ÜNLÜGENÇ



VAKUMDA İNCE FİLM KAPLAMA YÖNTEMİ İLE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AYNALARIN ÜRETİMİ

CAN AKYÜZ - FARUK DURULMUŞ - HÜSEYİN PARLAR - SENİZ TÜRKÜZ



DERİN BOMBELİ ÖN CAMLARDA OLUŞAN OPTİK PROBLEMİ VE ÇÖZÜMÜ

ÖZGÜR PİŞİRİCİ - ÇAĞATAY SUNER - Dr. REHA AKÇAKAYA



CAM EV EŞYASI ÜRETİMİNDE SICAK CAM TEMAS MALZEMESİ OLARAK KEVLAR KULLANIMININ PERFORMANSA ETKİLERİ

TUĞRUL MİSOĞLU - YÜKSEL SOYKUT - ERHAN İLTER - ZEKİ ALİMOĞLU - SERKAN İNCE - KAAAN SAY



CAM FIRINLARINDA NO_x EMİSYONU OLUŞUMU VE AZALTMA YÖNTEMLERİ

BARIŞ ORHAN

SEMPOZYUM PROGRAMI

17 KASIM 2006 İŞ SANAT KÜLTÜR MERKEZİ

AÇILIŞ OTURUMU (09:00 - 10:30)
Oturum Başkanı: Dr. Yıldırım Teoman

08:00 - 09:00	Kayıt ve Kahve
09:00 - 10:30	AÇILIŞ OTURUMU // Oturum Başkanı: Dr. Yıldırım Teoman
09:00 - 09:10	Açılış Konuşması Dr. Yıldırım Teoman
09:10 - 09:20	Açılış Konuşması Prof. Dr. Ahmet Kırman
09:20 - 09:50	CAM ERGİTME PROSESİNDE SÜLFAT KİMYASI Hande Sengel <i>Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / Genel Müdürlük</i>
09:50 - 10:10	AĞIZ HATALARINI AYIRMA MAKİNESİ GÖRSEL KALİTE KONTROL SİSTEMİ Tuğrul Misoğlu - A. Yüksel Soykut <i>İş Geliştirme Müdürlüğü / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
10:10 - 10:30	FOREHEARHTLARDA RENK DEĞİŞİM SÜRECİNİN SAYISAL SİMÜLASYONU Dr. Mustafa Oran - Arca İyiel <i>Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / Genel Müdürlük</i>
10:30 - 11:00	ARA
11:00 - 12:30	OTURUM II // Oturum Başkanı: Muhammed Yalçınkaya
11:00 - 11:20	CAM DEKORASYONUNDA KULLANILAN EMAYELER Dr. İlkay Sökmen - Orhan Çorumluoğlu - Burak İzmirlioğlu - Şener Yılmaz - Esat Günertürkün <i>Analitik Destek Hizmetleri Müdürlüğü / Genel Müdürlük</i> Soner Pulurluoğlu - Ergül Cebecioğlu <i>Kalite Yöneticiliği / Cam Ev Eşyası Grubu</i> Haluk Erdem <i>İş Geliştirme Müdürlüğü / Cam Ev Eşyası Grubu</i> Yasemin Hürpek - Ayşe Güneri - Özkan Kefeli <i>Paşabahçe Cam Sanayii A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
11:20 - 11:50	TENTESOL SERİSİ CAMLARDA VERİM ARTIRMA ÇALIŞMALARI VE YENİ ÜRÜN "TENTESOL - T" Haşim Ekici - Alper Can - Ali Yönden - Osman Bilaloğlu <i>Trakya Cam Sanayi A.Ş. Trakya Fabrikası/ Düzcam Grubu</i> Dr. Yusuf Saraç - Can Kaplan <i>Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / Genel Müdürlük</i>
11:50 - 12:10	28 KOLLU ÇAY BARDAĞI MAKİNESİNİN YERLİ ÜRETİMİ Arif Karahan - Yavuz Gültekin <i>Paşabahçe Cam Sanayii A.Ş. Mersin Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
12:10 - 12:30	BORCAMDA F/H VE FEEDER TASARIM DEĞİŞİKLİĞİ İLE VERİM VE KALİTE ARTIŞI Coşkun Güneri - Muhteşem Mahmutluoğlu <i>Paşabahçe Cam Sanayii A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
12:30 - 13:30	YEMEK

21. CAM PROBLEMLERİ SEMPOZYUMU - 126 -



13:30 - 14:45	CAMIN MUKAVEMETİ OTURUMU III* / SESSION ON GLASS STRENGTH <i>Oturum Başkanı: Gülçin Albayrak</i>
13:30 - 13:45	CAM: TOPLUM İÇİN YENİ MALZEME ÇAĞI - MUKAVEMETİ YÜKSEK CAMLARA ULAŞMAK İÇİN İPUÇLARI (GLASS: INTRODUCING OUR SOCIETY TO A NEW MATERIAL AGE-CLUES TO PRODUCING ULTRA STRONG GLASS) John Brown (Dr. Suresh Gulati tarafından sunulacaktır / to be presented by Dr. Suresh Gulati)
13:45 - 14:00	CAM MUKAVEMETİNİ ARTTIRMAK İÇİN METODLAR (METHODS FOR IMPROVING STRENGTH OF GLASS) Dr. Suresh Gulati
14:00 - 14:15	DÜZCAM VE CAM KAPLARIN MUKAVEMETİ (STRENGTH OF CONTAINERS AND FLAT GLASS) John Bayne
14:15 - 14:30	KAPLAMA İLE CAM MUKAVEMETİNİ ARTIRMA (ALTERING THE FRACTURE TOUGHNESS OF GLASS BY COATING) Prof. Dr. Bülent Yoldaş
14:30 - 14:45	DEĞERLENDİRME / SORU VE CEVAPLAR (QUESTION AND ANSWERS)
14:45 - 15:15	ARA
15:15 - 16:45	OTURUM IV // Oturum Başkanı: Selçuk Gökmenoğlu
15:15 - 15:35	CAM AMBALAJ ÜRETİMİNDE ŞEKİLLENDİRME PROSESİNİN TERMAL KAMERA KULLANIMI İLE İYİLEŞTİRİLMESİ Can Baran Ünal - Levent Dağdelen <i>Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Fabrikası / Cam Ambalaj Grubu</i>
15:35 - 15:55	ÇİFT DAMLA ÇAY BARDAĞI OTOMATİK PAKETLEME HATTININ YERLİ ÜRETİMİ Sönmez Özden - Yasin Ünlüoğlu <i>Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş. Mersin Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
15:55 - 16:15	VAKUMDA İNCE FİLM KAPLAMA YÖNTEMİ İLE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN AYNALARIN ÜRETİMİ Can Akyüz - Faruk Durulmuş <i>Trakya Cam Sanayii A.Ş. Cam İşleme ve Kaplamalı Camlar Fabrikası / Düzcam Grubu</i> Hüseyin Parlar - Seniz Türküz <i>Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / Genel Müdürlük</i>
16:15 - 16:45	ARA
16:45 - 18:00	OTURUM V // Oturum Başkanı: Malik Akray
16:45 - 17:05	DERİN BOMBELİ ÖN CAMLARDA OLUŞAN OPTİK PROBLEMİ VE ÇÖZÜMÜ Özgür Pişirici - Çağatay Suner - Dr. Reha Akçakaya <i>Trakya Cam Sanayii A.Ş. Otocam Fabrikası / Düzcam Grubu</i>
17:05 - 17:25	CAM EV EŞYASI ÜRETİMİNDE SICAK CAM TEMAS MALZEMESİ OLARAK KEVLAR KULLANIMININ PERFORMANSA ETKİLERİ Özgür Pişirici - Çağatay Tuğrul Misoğlu - Yüksel Soykut - Erhan İltir - Zeki Alimoğlu <i>İş Geliştirme Müdürlüğü / Cam Ev Eşyası Grubu</i> Serkan İnce - Kaan Say <i>Paşabahçe Cam Sanayii A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
17:25 - 17:45	CAM FIRINLARINDA NOx EMİSYONU OLUŞUMU VE AZALTMA YÖNTEMLERİ Barış Orhan <i>Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü / Genel Müdürlük</i>
17:45 - 18:00	Kapanış Konuşması ve Değerlendirme / Dr. Yıldırım Teoman
18:00 - 20:00	KOKTEYL

21. CAM PROBLEMLERİ SEMPOZYUMU - 127 -

ANAHTAR SÖZCÜKLER DİZİNİ

	Sayfa		Sayfa
A, B		O,	
Ağız hatası	17	Optik özellikler	90
Atık gaz	102	Otomotiv	89
Ayna	89	Otomotiv camı	96
Baskı boya	42		
C, Ç		P, R	
Cam dekorasyonu	42	Pirolitik	52
Camın mukavemeti	67, 68, 73	Renklendirme	27
Clad-well	60	Robot kolu	83
Çay bardağı	83		
Çevre	102	S	
Çevre sistemi	52	Sayısal model	27
		Scum	60
D, E		Sülfat	7
Difüzyon katsayısı	27	Satılabilir cam şeridi	52
Emaye	42		
Emisyon	75, 102	T	
Ergitme	7	Termal denge	75
		Ters çevirme vidası	83
F, H		Tooling	83
Fırın	105		
Fırın ağırlık randımanı	60		
Gaz akımları	52		
Geliştirme	54		
Gobbing strirrer	60		
Gün ışığı geçirgenlik	52		
Güneş kontrolü	52		
Glass Strenght	67, 68, 73		
İ, K			
Infrared	75		
Kalite kontrol	17		
Kamera	75		
Kaplama	89		
Kevlar	96		
Know-how	54		
Kükürtdioksit	52		
M, N			
Makine tasarım	54		
Malzeme	96		
NOx	102		

YAZAR DİZİNİ

	Sayfa		Sayfa
A		K	
Akçakaya, Reha	90	Kaplan, Can	52
Akyüz, Can	89	Kefeli, Özkan	42
Alimoğlu, Zeki	96	Karahan, Arif	54
Arıburnu, Dadal	42	Kaya, Levent	102
B		M	
Bayne, John	70	Mahmutluoğlu, Muhteşem	60
Bilaloğlu, Osman	52	Misoğlu, Tuğrul	17, 96
Brown, John			
		O, Ö	
C, Ç		Oran, Mustafa	27
Can, Alper	52	Orhan, Barış	102
Cebecioğlu, Ergül	42	Özden, Sönmez	83
Çorumluoğlu, Orhan	42		
		P	
D, E		Parlar, Hüseyin	89
Dağdelen, Levent	75	Pişirici, Özgür	90
Durulmuş, Faruk	89	Pulurluoğlu, Soner	42
Ekici, Haşim	52		
Erdem, Haluk	42		
		S	
G		Saraç, Yusuf	52
Gulati, Suresh	68	Say, Kaan	96
Gültekin, Yavuz	54	Sengel, Hande	7
Güneri, Ayşe	42	Soykut, Yüksel	17, 96
Güneri, Coşkun	60	Sökmen, İlkay	42
Günertürkün, Esat	42	Suner, Çağatay	90
H, İ		T, U, Ü	
Hürpek, Yasemin	42	Türküz, Seniz	89
İlter, Erhan	96	Ünal, Can Baran	75
İnce, Serkan	96	Ünlügenç, Yasin	83
İyiel, Arca	17		
İzmirlioğlu, Burak	42		
		Y	
		Yılmaz, Şener	73
		Yoldaş, Bülent	52
		Yönden, Ali	42