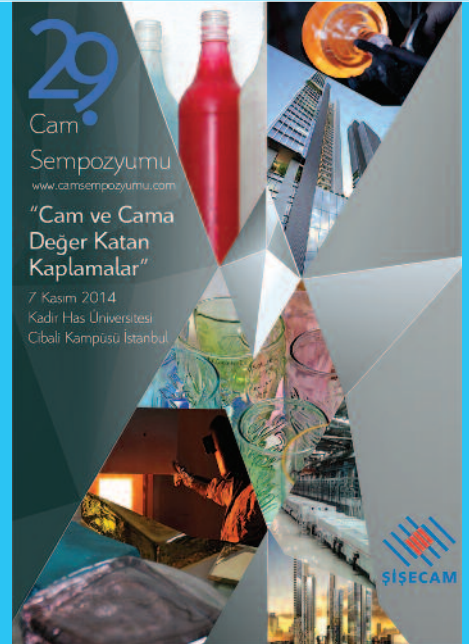


Mart 2015

# Teknik Bülten

Cilt: 44 • Sayı: 1(222)



**29. Cam Sempozyumu  
Bildirileri Özel Sayısı**

Editörler: Semih İşevi, Melek Orhon





**Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.**  
**Araştırma ve Teknolojik Geliştirme**  
**Başkanlığı**

Copyright © 2015 Türkiye Şişe ve  
Cam Fabrikaları A.Ş. (Hizmete Özeldir) /  
Para ile satılmaz

Kaynak göstermek kaydıyla alıntı  
yapılabilir. Bildirilerden yazarları  
sorumludur.

#### **Yayına ait Bilgiler**

**Sınıflama/yer:** UDC 666.1 (56) "2015"  
(063)=943.5=20 CAMİ 2015

**Eser Adı:** 29. Cam Sempozyumu  
Bildiriler Kitabı

**Editörler Adı:** A. Semih İşevi /  
Melek Orhon

**Kapak Foto:** Afiş tasarımı

**Yayın Tarihi:** Mayıs 2015

**Yayınlayan:** T. Şişe ve Cam Fabrikaları  
A.Ş. Araştırma ve Teknolojik Geliştirme  
Başkanlığı

**Ölçü/Sayfa:** s.216, 19x27,5 cm

**Dizi:** Bilim ve Teknoloji Merkezi  
Kütüphanesi Yayınları Sempozyumlar  
Dizisi: 29

**Konu:** 1. Glass Problems 2. Glass  
Technology 3. Congresses

#### **Baskı Bilgisi**

**1. Baskı:** Mayıs 2015 (1000 adet)

**Yapım:** Dünya Süper Veb Ofset A.Ş.

**Tel.:** (0212) 440 24 24

**Baskı:** Fabrika Basım Ticaret Ltd. Şti.

**Tel.:** (0212) 294 38 00

#### **Yazışma Adresi**

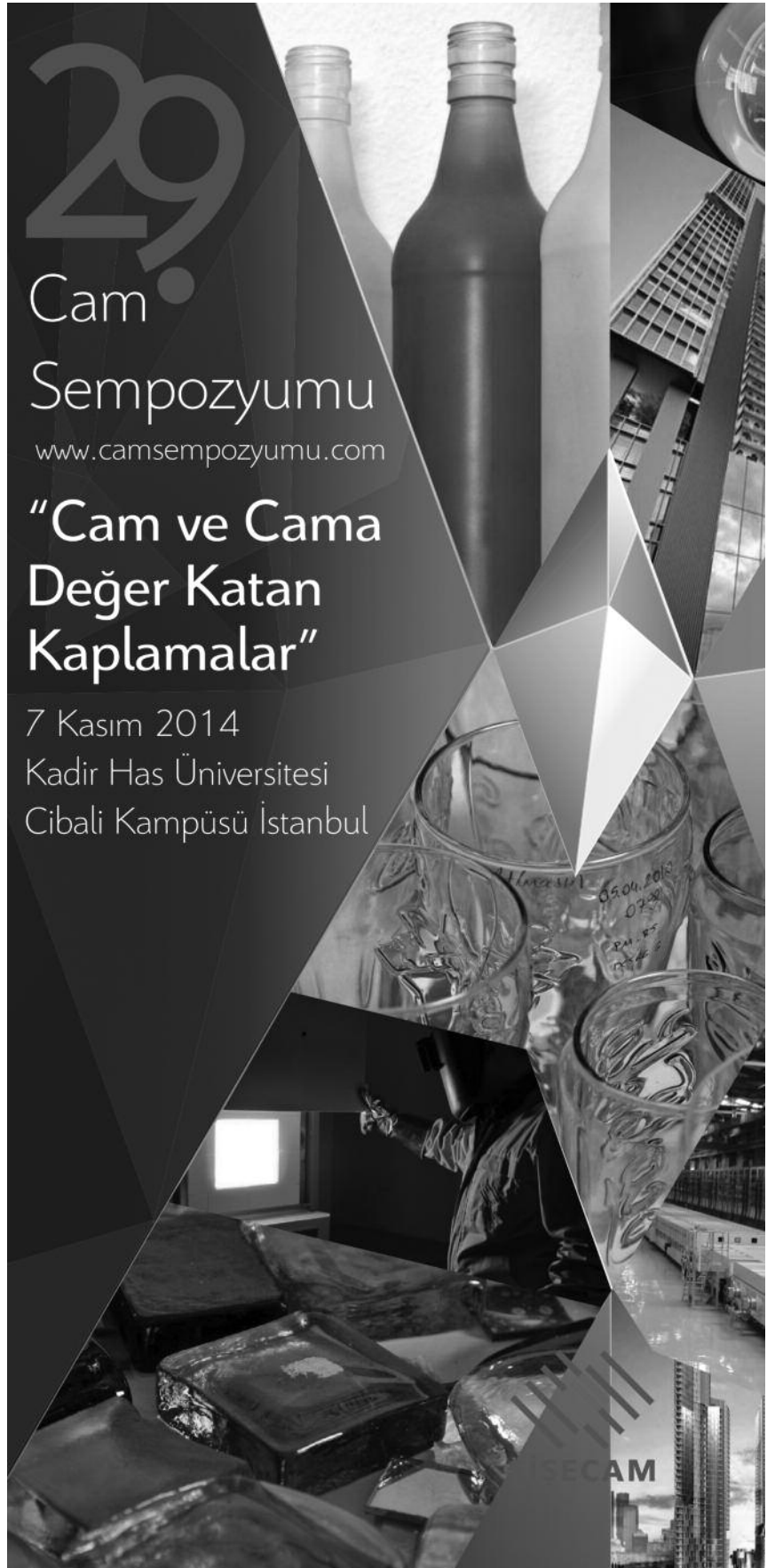
Türkiye Şişe ve Cam Fab. A.Ş.  
Bilgi Belge Yönetimi Yöneticiliği  
Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi  
Cumhuriyet Mahallesi Şişecam Yolu Sk.  
No: 2 41400 Çayırova-Gebze/Kocaeli  
**Tel:** (0850) 206 55 50  
**Faks:** (0212) 459 57 73

#### **e-posta:**

iletisimformu@camsempozyumu.com

**web:** <http://www.camsempozyumu.com>

<http://www.sisecam.com.tr>



**İmtiyaz Sahibi ve Genel Yayın Yönetmeni**  
Prof.Dr. Şener OKTİK

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**  
Semih İŞEVİ

**Editör**  
Melek ORHON

**Yayın Kurulu**  
Anıl ÖZEN  
Banu ARSLAN  
Derya TOYKAN  
Efe ÇAĞLAYAN  
Erdem YILDIRIM  
Fatih Mehmet GÜÇLÜ  
Dr. Hakan SESİGÜR  
Dr. İlkay SÖKMEN  
Murat TELLİ  
Olğan SARIÇALIK  
Selin BİLGİN

**Yazışma Adresi**  
Türkiye Şişe ve Cam Fab. A.Ş.  
Bilgi Belge Yönetimi Yöneticiliği  
Cumhuriyet Mahallesi Şişecam  
Yolu Sk. No: 2 41400  
Çayırova-Gebze/Kocaeli  
Tel: (0850) 206 55 50  
Faks: (0212) 459 57 73  
e-posta: sisevi@siseecam.com  
http://www.siseecam.com.tr  
http://kutuphane.siseecam.com.tr

**Ofset Hazırlık ve Baskı**  
Fabrika Basım Ticaret Ltd. Şti.  
Tel: (0212) 294 38 00

**Basım Yeri ve Tarihi**  
İstanbul, Mayıs 2015

**Yayın Türü:** Yerel Süreli Yayın  
**Yayın Periyodu:** 3 Aylık

Para ile satılmaz  
(1000) adet basılmıştır.

## içindekiler

<b>SEMPOZYUM KURULLARI</b> <i>Danışma Kurulu, Yürütme Kurulu, Hakem Kurulu</i>	12
<b>SEMPOZYUM PROGRAMI</b> AÇILIŞ KONUŞMASI - Prof. Dr. Ahmet Kırmızı AÇILIŞ KONUŞMASI - Prof. Dr. Şener Oktik	14 16
<b>BİLDİRİLER</b> SURFACE AND COATING TECHNOLOGIES: THE DEVELOPMENT OF PLASMA-ASSISTED PVD AND ITS ROLE <i>Prof. Dr. Allan Matthews</i>	18
DEVELOPMENT OF THE INNOVATIVE GLASS MELTING METHOD 'IN-FLIGHT MELTING TECHNOLOGY' FOR ENERGY SAVING <i>Prof. Dr. Tetsuji Yano</i>	19
REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL LARGE AREA PROCESSING <i>Dr. Martynas Audronis</i>	20
VAKUM KAPLAMALI CAM ÜRÜNLERİ VE ŞİŞECAM'DA YAKLAŞIMLAR <i>Dr. Seniz Türküz Ateş Parlar Alperen Sezgin Dr. Öcal Tuna</i>	22
GENİŞ ALAN MIKNATISSAL SAÇTIRMA İLE BÜYÜTÜLEN ITO İNCE FİLMLEİN OPTİKSEL VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ELEKTRİKSEL TAVLAMA İLE <i>Dr. Hasan Köseoğlu, Mutlu D. Yaman, Metin Kurt, Fulya Türkoğlu, Gülşah K. Akça, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer</i>	24
EXTREME SPECTRAL PHOTOCURRENT ENHANCEMENT OF $\alpha$ -Si:H THIN FILM BY EXPLOITING THE SCATTERING POTENTIALS OF TEXTURED Al:ZnO AND SILVER PLASMONIC NANOPARTICLES <i>Hisham Nasser, Engin Özko, Alpan Bek, Prof. Dr. Raşit Turan</i>	25
YÜKSEK KATMA DEĞERLİ KAPLAMALAR İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TAŞARIM VE MODELLEME ÇALIŞMALARINI <i>Dr. Kerem Gören, Faruk Durulmuş</i>	29
ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN CAM YÜZEYİNDE IŞIĞIN YÖNETİLMESİ <i>Prof. Dr. Raşit Turan</i>	35

Cu <sub>2</sub> ZnSnS <sub>4</sub> YARI İLETKEN BİLEŞİĞİNİN GÜNEŞ HÜCRESİ UYGULAMALARI İÇİN CAM ALTTAŞ ÜZERİNDE ELDESİ <i>Şebnem Yazıcı, Mehmet Ali Olgar, Fatime Gülşah Akça, Metin Kurt, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, Ekrem Yanmaz</i>	37
SODA-KİREÇ CAM ALTLIKLARIN İNCE FİLM GÜNEŞ GÖZELERİ İÇİN ALÜMİNYUM İLE DESENLENDİRİLMESİ <i>Mustafa Ünal, Hisham Nasser, Prof.Dr. Raşit Turan</i>	39
CAM YÜZEYİ VE CAM ÜZERİNE YAPILAN KAPLAMALARIN NANOMEKANİK DAVRANIŞLARI <i>Dr. Tuncay Turutoğlu, Lukas Simurka, Anıl Özen, Alperen Sezgin, Dr. Seniz Türküz, Dr.Refika Budakoğlu</i>	44
ANTİ REFLEKTİF KAPLAMALI c-Si FV KAPAK CAMI: ÇÖZELTİ GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI <i>Anıl Özen, Dr. Erdem Arpat, Dr. Tuncay Turutoğlu Gamze Cömert, Can Kaplan, Erhan Sarıca, İlker Ağgöl, Ersin Gökçen</i>	49
CAMLARDA NANO BOYUTTA KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ <i>Prof. Dr.Volkan Özgöz, Dr. Meltem Sezen</i>	51
GÜNEŞ KONTROL ÖZELLİKLİ HELIO TURKUAZ CAM PROJE ÇALIŞMASI, ÜRETİMİ VE DEĞERLENDİRMESİ <i>Duygu Öktem, Dr.Arca İyiel, Hande Sesigür, Tolga Eroğlu, Serhat Artunç</i>	53
PAŞABAHÇE KIRKLARELİ A FIRINI "KRİSTALİN" CAM ÜRETİMİ <i>Banu Çopuroğlu, Lale Önsel, Zeynep Eltutar, Levent Kaya, Burak İzmirlioğlu, Şener Yılmaz, Erkul Efendiler</i>	62
YÜKSEK VERİMLİ DERİN AFİNASYONLU CAM AMBALAJ FIRINININ GELİŞTİRİLMESİ - ANADOLU CAM ESKİŞEHİR B FIRINI <i>Zeynep Eltutar, Lale Önsel, Fatih Güçlü, Levent Kaya, Emre Dumankaya, Cüneyt Kumru</i>	66
CAM ENDÜSTRİSİNDE ALTERNATİF YAKITLAR VE İNOVATİF ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ / ALTERNATIVE FUELS AND INNOVATIVE WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS IN GLASS INDUSTRY <i>Neşet Naci Arzan, Levent Kaya, Emre Dumankaya</i>	70
DESIGN OF ORGANIC ELECTROCHROMIC WINDOWS TOWARDS ZERO-ENERGY BUILDING <i>Prof.Dr. Minoru Taya</i>	76
İÇ MEKAN YÜZEY KAPLAMA MALZEMESİ OLARAK AKILLI CAM ve KAPLAMA MALZEMELERİ / SMART GLASSES AND COVERINGS IN INTERIOR DESIGN <i>Yrd.Doç.Dr. Emine Yüksel</i>	78
MANYETİK ALANDA SIÇRATMA YÖNTEMİ İLE ITO/CAM ALTTAŞ ÜZERİNE KAPLANMIŞ TUNGSTEN TRİOKSİT (WO <sub>3</sub> ) İNCE FİMLERİNİN ELEKTROKROMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ <i>Dr. Öcal Tuna, Alperen Sezgin, Dr. Refika Budakoğlu, Dr. Seniz Türküz, Hüseyin Ateş Parlar</i>	88

# içindekiler

ÇİFT KATMAN MOLİBDENYUM İNCE FİMLERİN ARKA KONTAK OLARAK İNCE FİLM GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARINDA KULLANIMI <i>Metin Kurt, Hasan Köseoğlu, Gülnur Aygün, Mutlu Devran Yaman, Prof.Dr. Lütfi Özyüzer</i>	90
COATINGS ON FLAT GLASS <i>Garry Smith</i>	91
CAM YÜZEYLERDE SAYDAM UV KORUYUCU KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ <i>Doç. Dr. Murat Akarsu, Dr. Ahmet Gençer, Gülşah Kahraman, Dr. Refika Budakoğlu</i>	92
İNCE FİLM KAPLAMALARIN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN ELİPSOMETRİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ <i>Dr. Selen Erkan, Oğuzhan Kafalı, Ali Tufani</i>	99
ARTİSTİK CAM UYGULAMALARINDA ELEKTRO KAPLAMANIN KULLANIMI <i>Yrd. Doç. Dr. Göktuğ Günkaya, Amaneh Manafidizaji</i>	107
KAPLAMA YAPILAN DÜZCAM YÜZEYLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ: TEMİZLEME VE DEPOLAMA SÜREÇLERİNİN ETKİSİ <i>Dr. İlkey Sökmen, Semin Atılgan, Dr. Selen Erkan, Lukas Simurka, Burcu Sekir</i>	115
GLASS MARKET TRENDS – SUMMARY FROM GPD 2013 THIN GLASS TEMPERING – TECHNOLOGY AND BUSINESS POSSIBILITIES TODAY" <i>Jorma Vitkala, Miika Äppelqvist</i>	122 123
İYON YER DEĞİŞTİRME VE ISIL İŞLEM İLE RENKLENDİRİLMİŞ KURŞUN ALKALİ CAMLARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ / INVESTIGATION OF COLORED LEAD ALKALI GLASSES BY ION-EXCHANGE AND HEAT TREATMENT <i>Meryem Sangüzel, Dr. Esin Günay, Prof. Dr. Şenol Yılmaz</i>	124
KURŞUN ALKALİ CAMLARDA İYON YER DEĞİŞİM MEKANİZMASI İLE GÜMÜŞ NANO TANELERİNİN OLUŞUMUNUN VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ <i>Ceren İmer, Prof. Dr. Lütfi Öveçoğlu, Dr. Esin Günay</i>	132
BOĞAZIÇIĞININ "BATMIŞ" CAMLARI: İSTANBUL BOĞAZINDA ŞİŞE DALIŞI VE GÜN IŞIĞINA ÇIKARILAN MARKALAR <i>Hakan Kabasakal, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Teoman Naskaşlı</i>	139
CAM EV EŞYASI TEMPERLEME TEKNOLOJİSİ VE SON JENERASYON OFF-LINE DÖNER ŞOKLAMALI TEMPERLEME HATTI <i>Zeki Alimoğlu, Dr. Yüksel Soykut</i>	150
RADAR SOĞURABİLEN KOMPOZİTLER İÇİN CAM ELYAFLARIN İNCE FİLM KAPLAMALARI <i>Prof. Dr. Lütfi Özyüzer</i>	152
KOROZYON KAPLAMA HATALARININ MINİMİZE EDİLMESİ <i>Osman Bilaloğlu</i>	154

OPTOELEKTRONİK UYGULAMALAR İÇİN SAYDAM İLETKEN KAPLAMALI CAM ALTLIK GELİŞTİRİLMESİ <i>Yrd.Doç.Dr. Ferhat Aslan, İbrahim Boz, Ahmet Tumbul, Prof. Dr. İbrahim H. Mutlu, Dr. Seniz Türküz, Dr. Refika Budakoğlu</i>	158
SODA CAMI ÜZERİNE VANADYUM VE MOLİBDEN KATKILANMIŞ $TiO_2$ VE $AZO/TiO_2$ İNCE FİMLERİN FOTOKATALİTİK <i>Dr. Mehtap Özdemir Köklü, Metin Kurt, Sena Gülen, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer</i>	163
BEYAZ VE ELEKTRONİK EŞYA SEKTÖRÜNDE CAM VE CAM ÜZERİ KAPLAMALAR <i>Dr. Mustafa Sezer</i>	164
ORMOSİL BASKI BOYALARI: ALTINYALDIZ RENK GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI <i>Anıl Özen, Burak İzmirlioğlu, Dr. Arca İyiel, Erdem Yıldırım, Hakan Yavaşlar</i>	165
ÜRÜNLERE KATMA DEĞER KATAN TEZYİNAT İLE İLGİLİ GELİŞTİRMELER <i>Ferdi Keskin</i>	171
CAM AMBALAJ ÜRÜNLERİNİN SOL-JEL $SiO_2-TiO_2$ NANOKOMPOZİT KAPLANARAK MEKANİK DAYANIMLARININ ARTTIRILMASI <i>Dr. Refika Budakoğlu, Dadal Anburnu, Anıl Özen, Gülşah Kahraman, Hakan Yavaşlar, Prof. Dr. Seda Özmutlu</i>	172
YENİ ORGANİK KAPLAMA HATLARI <i>Haluk Erdem, Dr. Yüksel Soykut, Engin İnal, Umut Enkara</i>	178
KALIP YÜZEYİNDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI, BAKIR PARÇACIKLARLA VİBRO POLİSAJ YÖNTEMİNİN CAM YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ <i>Levent Yurdçu, Cenk Günay</i>	179
5"-11" HİDROLİK PRES ÜFLEME MAKİNASI İLE ÜRETİM YAPILMASI <i>Murat Aşkın, Uğur Ergün</i>	186
60 KOLLU AYAK TAKMA, ÇEKME ve PARLATMA MAKİNESİNİN PROJELENDİRİLMESİ VE İMALİ (PK60 ATÇP) <i>Kaan Say, Serkan İnce, Adem Şener, Varol Cinoğlu, Ayhan Gençer</i>	188
'HİBRİD KALIP' - İKİ FARKLI CAM AMBALAJ ŞEKİLLENDİRME MAKİNESİNDE ORTAK KALIP KULLANIMI <i>Karahan Bulut, Leonid Pilat</i>	194
GÜMÜŞ NİTRAT ÖZGÜL TÜKETİMİNİN ARTTIRILMASI <i>Aytaç Öztürk</i>	203
POSTER OTURUMU MIKNATISSAL SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN VANADYUM OKSİT İNCE FİMLERİN YAPISAL KARAKTERİZASYONU <i>Hüriyet Yüce, Sena Gülen, Ayten Cantaş, Gülnur Aygün, Lütfi Özyüzer</i>	210
YAZAR DİZİNİ	211
ANAHTAR SÖZCÜKLER DİZİNİ	212

# SUNUŞ

Şişecam Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı'nın düzenlediği 29'uncu "Cam Sempozyumu", 07 Kasım 2014 tarihinde Kadir Has Üniversitesi Cibali Kampüsü'nde "Cam ve Cama Değer Katan Kaplamalar" teması ile gerçekleştirildi.

Paralel oturumlarla birlikte 10'u davetli, biri poster olmak üzere toplam 46 bildirinin paylaşıldığı sempozyuma, yurtiçi ve yurtdışındaki 5 farklı ülke ve 22 üniversiteden 54 akademisyenle birlikte, toplamda 309 kişi katıldı.

Sempozyumun açılış konuşmasını yapan Şişecam Yönetim Kurulu Başkan Vekili ve Genel Müdürü Prof. Dr. Ahmet Kirman; Temelleri 1934 yılında ülkenin temel cam ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla atılan Şişecam'ın bugün yaklaşık 20 bin çalışanıyla 13 ülkede üretim yapan küresel bir oyuncu haline geldiğini belirterek, "2020 vizyonumuz doğrultusunda dünyadaki en büyük cam üreticisinden biri olmayı hedefliyoruz. Bu zorlu ve onurlu yolculukta ürün ve teknolojiye sahip olmayı araştırma ve teknolojik geliştirmeye gerçekleştireceğimize inanıyoruz. Bu inançla 1976 yılında temelleri atılan kurumsal Ar-Ge faaliyetlerimizin altyapısı ve insan kaynakları bu yıl faaliyete geçirdiğimiz ülkemizin cam alanında en büyük ve en kapsamlı Ar-Ge merkezi olan Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi ile birlikte nitel ve nicel olarak büyüyüp güçlenecektir." Cam sektörünün geleceğinin belirleyicisi yeni ve daha ileri teknolojilere dayalı inovatif ve katma değeri yüksek ürünler olduğuna dikkat çeken Kirman, "Düzcamin, optiksel, elektriksel, mekanik, kimyasal ve dekoratif özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşan dünya kaplamalı camlar pazarı 21 milyar dolara ulaştı. 2015-2019 arası yaklaşık yüzde 9 büyümesi beklenen bu pazarda, yenilikler ancak araştırma ve geliştirme faaliyetleri yoğun olan şirketler tarafından değere dönüştürülebilmektedir" dedi.

Şişecam Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanı Prof. Dr. Şener Oktik ise yaptığı konuşmada;

Bu yıl 29'uncusu düzenlenen Cam Sempozyumu'nun özellikle son yıllarda ulusal ölçekte cam ve cama değer katan bütün alanları kucaklayan bilim insanlarının bulunduğu bir platforma dönüştüğünü ifade etti. Türkiye'de 2013 yılında gerçekleştirilen toplam Ar-Ge harcamasının 14 milyar TL seviyesinde olduğunu belirten Oktik, "Bu yatırımın yaklaşık 6,2 milyar TL'si özel sektör, 6 milyar TL'si kamu kuruluşları ve 1,5 milyar TL ise üniversiteler tarafından yapılmıştır. Ar-Ge'ye ayrılan ülkemiz kaynaklarının etkin kullanılmasının üniversite-sanayi işbirliğiyle mümkün olacağına inanan Şişecam, bugün 12 üniversite ve araştırma kuruluşuyla ortak projeler yürütmektedir" diye konuştu.

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

Topluluğumuzun en önemli bilimsel-teknolojik paylaşım ortamlarından biri olan sempozyumumuza verdikleri destek için başta Yönetim Kurulu Başkan Vekili ve Genel Müdür Prof. Dr. Ahmet Kirman ve Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanı Prof. Dr. Şener Oktik olmak üzere, tüm katılımcılara ve emeği geçenlere şükranlarımızı sunarız.

*A.Semih İşevi / Sorumlu Yazı İşleri Müdürü*  
sisevi@sisecam.com

*Melek Orhon / Editör*  
meorhon@sisecam.com



# yayın ilkeleri



Teknik Bülten'de topluluğumuzun faaliyet alanları içerisine giren konularda teknik ağırlıklı çeviri, derleme, özgün çalışma türünde yazılara yer verilir.

Yayın kurulu, bu kapsamdaki yazılarda kısaltmaların yanısıra, dil ve anlatım yönlerinde de değişiklik yapabilir, yazıların yayınlanmamasına karar verir. Gönderilen çalışmalarda, yazının başlığı ve Türkçe özeti de verilmelidir. Yazar(lar) isimleri ve adresleri bulunmalıdır. Yazılarda kullanılan şekiller, fotoğraflar net ve temiz olmalı, mümkünse orjinalleri gönderilmelidir. Kullanılan kaynaklar, metin için uygun yerlerde parantez içinde numaralandırılarak verilmeli ve metin sonunda numara sayısı ile toplanmalıdır.

Kaynakların verilmiş örnekleri;

#### **Bildiriler için;**

Sesigür, H., "Sıcak Cam ile Temas Eden Metaller ve Malzemelerde Yüzey İyileştirme" 14. Cam Problemleri Kitabı, s.177-180, Eylül 1999, İstanbul.

#### **Makaleler için;**

Nilsson, L., Augstsson, B., "Study examines behaviour of metals in contact with molten glass", Glass, vol.76(1999), no10, p.323-325.

#### **Kitaplar için;**

McMillan, P.W., "Glass-Ceramics", 2nd Ed., Academic Press, London, 1979.

Gönderilen her tür yazının kabul edilip edilmemesinde veya düzeltme istenmesinde Yayın Kurulu yetkilidir.

Dergiye gönderilen yazılar, yayınlansın ya da yayınlanmasın yazara iade edilmez. Özgün ve derleme yazılardaki görüşler yazarın sorumluluğundadır.

Teknik Bülten, daha çok özgün veya derleme türü yazıları teşvik etmektedir.

#### **İnternet Kaynakları için;**

İşevi, A.Semih "Şişecam'da Bilgi Paylaşım Kanalları" (Ekim 2005).  
<<http://www.kaynak.unak.org.tr/bildiri/unak06/u06-26.pdf>>

#### **Birim Sistemleri için;**

Bilim ve uluslararası ticaret alanında farklı ölçü birim sistemleri kullanılmasının yarattığı karmaşıklığı önlemek için bir uluslararası birim sistemi oluşturuldu. "SI" olarak ifade edilen Uluslararası Birimler Sistemi (Système International d'Unités), 1960 yılında yapılan 11. Ağırlıklar ve Ölçü Genel Konferansı'nda kabul edilmiştir. SI Birimler Sistemi; Temel Birimler, Türetilmiş Birimler ve EK Birimler Sistemi'nden oluşmaktadır ( <http://www.bipm.org/en/si> ). BIPM tarafından yayımlanmış SI birimler broşürüne [http://www.bipm.org/en/si/si\\_brochure/](http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/) adresinden ulaşabilirsiniz.

<b>08:00 - 09:00 KAYIT VE KAHVE / REGISTRATION</b>		
<b>D Blok Büyük Salon</b>		
<b>1. AÇILIŞ OTURUMU / OPENING SESSION Oturum Başkanı / SESSION CHAIR: Prof. Dr. Şener Oktik</b>		
09:00 - 09:10	Saygı Duruşu ve İstiklal Marşı / NATIONAL ANTHEM	Prof. Dr. Şener Oktik / Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanı / Research a Technological Development President
09:10 - 09:30	AÇILIŞ KONUŞMALAR / OPENING SPEECHES	Prof. Dr. Ahmet Kırmacı / YK Başkan Vekili ve Genel Müdür / Vice Chairman and CEO
09:30 - 10:00	SURFACE AND COATING TECHNOLOGIES: THE DEVELOPMENT OF PLASMA-ASSISTED PVD AND ITS ROLE	Prof. Dr. Allan Matthews / University of Sheffield
10:00 - 10:30	DEVELOPMENT OF THE INNOVATIVE GLASS MELTING METHOD 'IN-FLIGHT MELTING TECHNOLOGY' FOR ENERGY SAVING	Prof. Dr. Tetsuji Yano / Tokyo Institute of Technology
10:30 - 11:00	KAHVE ARASI	

<b>PARALEL OTURUMLAR (2. OTURUM)</b>		
<b>D Blok Büyük Salon</b>		
<b>2. OTURUM / 2<sup>nd</sup> SESSION Oturum Başkanı/ SESSION CHAIR: Prof.Dr. Süleyman Özçelik</b>		
11:00 - 11:30	REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL LARGE AREA PROCESSING	Dr. Martynas Audronis / Nova Fabrica Ltd.
11:30 - 11:50	VAKUM KAPLAMALI CAM ÜRÜNLERİ VE ŞİŞECAM'DA YAKLAŞIMLAR / VACUUM COATED GLASS PRODUCTS AND APPROACHES IN SISECAM	Dr. Seniz Türküz / Ateş Parlar / Alperen Sezgin / Dr. Öcal Tuna / Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam
11:50 - 12:10	GENİŞ ALAN MİKROYAPILARIN SAÇTIRMA İLE BÜYÜTÜLEN İTO İNCE FİLMİNİN OPTİKSEL VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ELEKTRİKSEL TAVLAMA İLE İYİLEŞTİRİLMESİ / ENHANCING THE ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF THE LARGE AREA COATED ITO THIN FILMS BY POST ANNEALING	Dr. Hasan Köseoğlu / Mutlu D. Yaman / Metin Kurt / Fulya Türkoğlu / Gülşah K. Akça / Gülnur Aygün / Prof.Dr. Lütfi Özyüzer / İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
12:10 - 12:30	EXTREME SPECTRAL PHOTOCURRENT ENHANCEMENT OF a-Si:H THIN FILM BY EXPLOITING THE SCATTERING POTENTIALS OF TEXTURED Al:ZnO AND SILVER PLASMONIC NANOPARTICLES	Hisham Nasser / Engin Özkol / Alpan Bek / Prof. Dr. Raşit Turan / Ortadoğu Teknik Üniversitesi
12:30 - 12:50	YÜKSEK KATMA DEĞERLİ KAPLAMALAR İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE MODELLEME ÇALIŞMALAR / COMPUTER AIDED DESIGN AND MODELLING STUDIES FOR HIGH VALUE ADDED COATINGS	Dr. Kerem Gören / Trakya Glass Bulgarica EAD /Düzcam Grubu / Faruk Durulmuş / Trakya Yenişehir Cam Sanayi A.Ş. /Düzcam Grubu

<b>Sinema A</b>		
<b>2. OTURUM 2<sup>nd</sup> SESSION / Oturum Başkanı / SESSION CHAIR: Prof. Lütfi Özyüzer</b>		
11:00 - 11:30	ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN CAM YÜZEYİNDE IŞIĞIN YÖNETİLMESİ	Prof. Dr. Raşit Turan / Ortadoğu Teknik Üniversitesi
11:30 - 11:50	Cu <sub>2</sub> ZnSnS <sub>4</sub> YARI İLETKEN BİLEŞİMİNİN GÜNEŞ HÜCRESİ UYGULAMALARI İÇİN CAM ALTTAŞ ÜZERİNDE ELDESİ / DEPOSITION OF Cu <sub>2</sub> ZnSnS <sub>4</sub> COMPOUND SEMICONDUCTOR ON GLASS SUBSTRATE FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS	Şebnem Yazıcı / Mehmet Ali Olgar / Fatime Gülşah Akça / Metin Kurt / Gülnur Aygün / Prof.Dr. Lütfi Özyüzer / İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Ekrem Yanmaz / Karadeniz Teknik Üniversitesi
11:50 - 12:10	SODA-KİREÇ CAM ALTIKLARIN İNCE FİLM GÜNEŞ GÖZELERİ İÇİN ALÜMİNYUM İLE DESENLENDİRİLMESİ / TEXTURING OF SODA-LIME GLASS SUBSTRATES BY Al FOR THIN FILM SOLAR CELL	Mustafa Ünal / Hisham Nasser / Prof.Dr. Raşit Turan / Ortadoğu Teknik Üniversitesi
12:10 - 12:30	CAM YÜZEYİ VE CAM ÜZERİNE YAPILAN KAPLAMALARIN NANOMEKANİK DAVRANIŞLARI / NANOMECHANICAL BEHAVIOR OF GLASS SURFACE AND COATINGS ON GLASS	Dr.Tuncay Turutoğlu / Lukas Simurka / Anıl Özen / Alperen Sezgin / Dr.Seniz Türküz / Dr.Refika Budakoğlu / Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam

12:30 - 12:50	ANTİREFLEKTİF KAPLAMALI c-Si FV KAPAK CAMI: ÇÖZELTİ GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI - HAT ÜSTÜ UYGULAMALAR / ANTIREFLECTIVE COATED COVER GLASS FOR c-Si PHOTOVOLTAICS MODULES: COATING SOLUTION - IN-LINE APPLICATIONS	Anıl Özen Dr.Erdem Arpat Dr.Tuncay Turutoğlu Gamze Cömert <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i> Can Kaplan Geliştirme Direktörlüğü / Düzcam Grubu Erhan Sarıca İlker Ağgöl Ersin Gökçen <i>Troky Cam Sanayi A.Ş. Mersin Fabrikası / Düzcam Grubu</i>
---------------	---	---

#### Sinema B

#### 2. OTURUM 2<sup>nd</sup> SESSION / Oturum Başkanı/ SESSION CHAIR: Prof.Dr. Mehmet Ali Gülgün

11:00 - 11:30	CAMLARDA NANO BOYUTTA KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ / NANO SIZED CHARACTERIZATION TECHNIQUES ON GLASSES	Dr. Volkan Özgüz Dr. Meltem Sezen <i>Sabancı Üniversitesi</i>
11:30 - 11:50	GÜNEŞ KONTROL ÖZELLİKLİ HELIO TURKUAZ CAM PROJE ÇALIŞMASI, ÜRETİMİ VE DEĞERLENDİRMESİ / PROJECT STUDY, PRODUCTION AND EVALUATION OF HELIO TURQUOISE GLASS WITH SOLAR CONTROL PROPERTY	Duygu Öktem Dr. Arca İyiel Hande Sesigür Tolga Eroğlu Serhat Artunç <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i>
11:50 - 12:10	PAŞABAHÇE KIRKLARELİ A FIRINI "KRİSTALİN" ÜRETİMİ / PASABAHÇE KIRKLARELİ A FURNACE CRYSTALLINE PRODUCTION	Banu Çopuroğlu - Lale Önsel Zeynep Eltutar - Levent Kaya Burak İzmirlilioğlu - Şener Yılmaz <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i> Erkul Efendiler <i>Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası Grubu</i>
12:10 - 12:30	YÜKSEK VERİMLİ DERİN AFİNASYONLU CAM AMBALAJ FIRINININ GELİŞTİRİLMESİ-ANADOLU CAM ESKİŞEHİR B FIRINI / DEVELOPMENT OF A HIGH PERFORMANCE CONTAINER FURNACE	Zeynep Eltutar - Lale Önsel Fatih Güçlü - Levent Kaya Emre Dumankaya <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i> Cüneyt Kumru <i>Cam Ambalaj Grubu / Şişecam</i>
12:30 - 12:50	CAM ENDÜSTRİSİNDE ALTERNATİF YAKITLAR VE İNOVATİF ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ / ALTERNATIVE FUELS AND INNOVATIVE WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS IN GLASS INDUSTRY	Neşet Naci Arzan Levent Kaya Emre Dumankaya <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i>

#### 12:50 - 14:00 ÖĞLEN YEMEĞİ / LUNCH

#### D Blok Büyük Salon

#### PARALEL OTURUMLAR (3. OTURUM)

#### 3. OTURUM / 3<sup>rd</sup> SESSION Oturum Başkanı/ SESSION CHAIR: Haluk Gürelen

14:00 - 14:30	DESIGN OF ORGANIC ELECTROCHROMIC WINDOWS TOWARD ZERO-ENERGY BUILDING	Prof.Dr. Minoru Taya <i>University of Washington</i>
14:30 - 14:50	İÇ MEKAN YÜZEY KAPLAMA MALZEMESİ OLARAK AKILLI CAM ve KAPLAMA MALZEMELERİ / SMART GLASSES AND COVERINGS IN INTERIOR DESIGN	Yrd.Doç.Dr. Emine Yüksel <i>Gedik Üniversitesi</i>
14:50 - 15:10	MANYETİK ALANDA SIÇRATMA YÖNTEMİ İLE ITO/CAM ALTTAŞ ÜZERİNE KAPLANMIŞ TUNGSTEN TRİOKSİT RİNİN ELEKTROKROMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ / ELECTROCHROMIC PROPERTIES OF TUNGSTEN TRIOXIDE (WO <sub>3</sub> ) LAYERS GROWN ON ITO/GLASS SUBSTRATES BY MAGNETRON SPUTTERING	Dr. Öcal Tuna Alperen Sezgin Dr. Refika Budakoğlu Dr. Seniz Türküz Ateş Parlar <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i>
15:10 - 15:30	ÇİFT KATMAN MOLİBDENYUM İNCE FİLMLEİN ARKA KONTAK OLARAK İNCE FİLM GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARINDA KULLANIMI / UTILIZATION OF BILAYER MOLYBDENUM THIN FILM AS A BACK CONTACT IN THIN FILM PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS	Metin Kurt Hasan Köseoğlu Gülnur Aygün Mutlu Devran Yaman Prof. Dr. Lütfi Özyüzer <i>Izmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü</i>

#### Sinema A

#### 3. OTURUM / 3<sup>rd</sup> SESSION Oturum Başkanı / SESSION CHAIR: Prof. Dr. Volkan Günay

14:00 - 14:30	COATINGS ON FLAT GLASS	Garry Smith <i>British Glass</i>
14:30 - 14:50	CAM YÜZEYLERDE SAYDAM UV KORUYUCU KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ / DEVELOPMENT OF TRANSPARENT UV PROTECTING COATINGS ON GLASS SURFACES	Doç. Dr. Murat Akarsu Ahmet Gençer Akdeniz Üniversitesi Gülşah Kahraman Dr.Refika Budakoğlu <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam</i>

14:50 - 15:10	İNCE FİLM KAPLAMALARIN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN ELİPSOMETRİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ / INVESTIGATION OF THE OPTICAL PROPERTIES OF THIN FILM COATINGS USING SPECTROSCOPIC ELLIPSOMETRY	Dr.Selen Erkan Oğuzhan Kafalı Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam Ali Tufani Sabancı Üniversitesi
15:10 - 15:30	ARTİSTİK CAM UYGULAMALARINDA ELEKTROKAPLAMANIN KULLANIMI / ELECTRO PLATING ON ARTISTIC GLASSES	Yrd. Doç.Dr. Göktuğ Günkaya Amaneh Manafidzaji Anadolu Üniversitesi
15:30 - 15:50	KAPLAMA YAPILAN DÜZCAM YÜZEYLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ: TEMİZLEME VE DEPOLAMA SÜREÇLERİNİN ETKİSİ / PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF FLOAT GLASS SURFACE WHICH IS TO BE COATED: EFFECTS OF CLEANING PROCESSES AND WAREHOUSE CONDITIONS	Dr.İlkay Sökmen Semin Atılğan Dr.Selen Erkan Lukas Simurka Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam Burcu Sekir Trakya Yenişehir Cam Sanayi A.Ş / Düzcamlar

<b>Sinema B</b>		
<b>3. OTURUM / 3<sup>rd</sup> SESSION Oturum Başkanı / SESSION CHAIR: Melek Orhon</b>		
14:00 - 14:30	GLASS MARKET TRENDS – SUMMARY FROM GPD 2013 THIN GLASS TEMPERING – TECHNOLOGY AND BUSINESS POSSIBILITIES TODAY	Dr. Jorma Vitkala Miika Appelqvist Glaston Finland Oy
14:30 - 14:50	İYON YER DEĞİŞTİRME VE ISIL İŞLEM İLE RENKLENDİRİLMİŞ KURŞUN ALKALİ CAMLARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ / INVESTIGATION OF COLORED LEAD ALKALI GLASSES BY ION-EXCHANGE AND HEAT TREATMENT	Meryem Sarıgüzel Dr. Esin Günay TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Prof. Dr. Şenol Yılmaz Sakarya Üniversitesi
14:50 - 15:10	KURŞUN ALKALİ CAMLARDA İYON YER DEĞİŞİM MEKANİZMASI İLE GÜMÜŞ NANO TANELERİNİN OLUŞUMUNUN VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ / STUDY OF Ag NANO-PARTICLES FORMATION MECHANISM BY ION-EXCHANGE IN LEAD-ALKALI GLASSES	Ceren İmer Prof.Dr. Lütfi Öveçoğlu İstanbul Teknik Üniversitesi Dr.Esin Günay TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
15:10 - 15:30	BOĞAZIÇI'NIN "BATMIŞ" CAMLARI: İSTANBUL BOĞAZINDA ŞİŞE DALIŞI VE GÜN IŞIĞINA ÇIKARILAN MARKALAR / SUNKEN BOTTLES OF BOSPHORUS: BOTTLE DIVING IN THE BOSPHORUS STRAIT AND SALVAGED BRANDS	Hakan Kabasakal Bottles of Bosphorus Yrd.Doç.Dr. Ahmet Teoman Naskaşlı Galatasaray Üniversitesi
15:30 - 15:50	CAM EV EŞYASI TEMPERLEME TEKNOLOJİSİ ve SON JENERASYON OFF-LINE DÖNER ŞOKLAMALI TEMPERLEME HATTI / TEMPERING TECHNOLOGY OF PASABAHCCE GROUP OF SISECAM AND LAST JENERATION SPINDLE TYPE TEMPERING LINE WITH ROTARY TEMPERING	Zeki Alimoğlu Dr. Yüksel Soykut Geliştirme Direktörlüğü / Cam Ev Eşyası

<b>15:50 - 16:10 KAHVE ARASI / COFFEE BREAK</b>		
<b>PARALEL OTURUMLAR (4. OTURUM)</b>		
<b>D Blok Büyük Salon</b>		
<b>4. OTURUM / 4<sup>th</sup> SESSION Oturum Başkanı/ SESSION CHAIR: Atilla Ünsal</b>		
16:10 - 16:40	RADAR SOĞURABİLEN KOMPOZİTLER İÇİN CAM ELYAFLARIN İNCE FİLM KAPLAMALARI / THIN FILM COATINGS ON GLASS FIBERS FOR RADAR ABSORPTION	Prof. Dr. Lütfi Özyüzer İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
16:40 - 17:00	KOROZYON KAPLAMA HATALARININ MİNİMİZE EDİLMESİ / MINIMISING THE FAULTS OF ANTI CORROSION COATING	Osman Bilaloğlu Trakya Cam Sanayi A.Ş. Trakya Fabrikası / Düzcamlar
17:00 - 17:20	OPTOELEKTRONİK UYGULAMALAR İÇİN SAYDAM İLETKEN KAPLAMALI CAM ALTLIK GELİŞTİRİLMESİ / DEVELOPMENT OF TRANSPARENT CONDUCTING OXIDE COATED GLASS SUBSTRATES FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS	Yrd.Doç.Dr. Ferhat Aslan İbrahim Boz Ahmet Tumbul Prof. Dr. İbrahim H. Mutlu Harran Üniversitesi Dr. Seniz Türküz Dr. Refika Budakoğlu Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam
17:20 - 17:40	SODA CAMI ÜZERİNE VANADYUM VE MOLİBDEN KATKILANMIŞ TiO2 VE AZO/TiO2 İNCE FİMLERİN FOTOKATALİTİK ÖZELLİKLERİ photocatalytic properties of Vanadium and Molybdenum doped TiO2 and AZO/TiO2 thin film grown on soda-lime glass	Dr. Mehtap Özdemir Köklü Gediz Üniversitesi Metin Kurt Sena Gülen Gülnur Aygün Prof.Dr. Lütfi Özyüzer İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

<b>15:50 - 16:10 KAHVE ARASI / COFFEE BREAK</b>		
<b>Sinema A</b>		
<b>4. OTURUM / 4<sup>th</sup> SESSION Oturum Başkanı: Tuğrul Misoğlu</b>		
16:10 - 16:40	BEYAZ VE ELEKTRONİK EŞYA SEKTÖRÜNDE CAM VE CAM ÜZERİ KAPLAMALAR / COATINGS ON GLASSES FOR WHITE HOUSE HOLD AND ELECTRONIC PRODUCTS	Dr. Mustafa Sezer Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi
16:40 - 17:00	ORMOSİL BASKI BOYALARI: ALTINYALDIZ RENK GELİŞTİRME ÇALIŞMALAR / ORMOSIL SCREEN PRINTINGS STUDIES WITH GOLD EFFECT PIGMENTS	Anil Özen Burak İzmirlioğlu Dr. Arca İyiel Erdem Yıldırım Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam Hakan Yavaşlar Geliştirme Direktörlüğü / Cam Ambalaj
17:00 - 17:20	ÜRÜNLERE KATMA DEĞER KATAN TEZYİNAT İLE İLGİLİ GELİŞTİRMELER / CONTRIBUTIONAL DEVELOPMENTS ON DECORATED SAMPLES	Ferdi Keskin Üretim Başkan Yardımcılığı / Cam Ev Eşyası
17:20 - 17:40	CAM AMBALAJ ÜRÜNLERİNİN SOL-JEL SiO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> NANOKOMPOZİT KAPLANARAK MEKANİK DAYANIMLARININ ARTTIRILMASI / STRENGTH IMPROVEMENT OF GLASS CONTAINER PRODUCTS BY COATING WITH SOL-GEL SiO <sub>2</sub> -TiO <sub>2</sub> NANOCOMPOSITE	Dr. Refika Budakoğlu Dadal Arıburnu Anil Özen Gülşah Kahraman Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı / Şişecam Hakan Yavaşlar Geliştirme Direktörlüğü / Cam Ambalaj Prof.Dr. Seda Özmutlu Yön-Eylem Bilgi Sistemleri
17:40 - 18:00	YENİ ORGANİK KAPLAMA HATLARI / NEW ORGANIC COATING LINES IN PASABAHÇE	Haluk Erdem Dr. Yüksel Soykut Geliştirme Direktörlüğü / Cam Ev Eşyası Engin İnal Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Mersin Fabrikası / Cam Ev Eşyası Umut Enkara Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Eskişehir Fabrikası / Cam Ev Eşyası

<b>15:50 - 16:10 KAHVE ARASI / COFFEE BREAK</b>		
<b>Sinema B</b>		
<b>4. OTURUM / 4<sup>th</sup> SESSION Oturum Başkanı / SESSION CHAIR: Süleyman Koç</b>		
16:10 - 16:30	KALIP YÜZEYİNDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALAR, BAKIR PARÇACIKLARLA VİBRO POLİSAJ YÖNTEMİNİN CAM YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ / IMPROVEMENTS IN MOLD SURFACE STUDIES, EFFECT OF VIBRO POLISHING METHOD WITH COPPER PARTICLES ON GLASS SURFACE QUALITY	Levent Yurdçu Cenk Günay Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Eskişehir Fabrikası / Cam Ev Eşyası
16:30 - 16:50	5"-11" HİDROLİK PRES ÜFLEME MAKİNASI İLE ÜRETİM YAPILMASI / GLASS PRODUCING WITH 5"-11" HYDRAULIC PRESS AND BLOW MACHINE	Murat Aşkın Uğur Ergün Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Eskişehir Fabrikası / Cam Ev Eşyası
16:50 - 17:10	60 KOLLU AYAK TAKMA, ÇEKME ve PARLATMA MAKİNESİNİN PROJELENDİRİLMESİ ve İMALİ (PK60 ATÇP) / DESIGNING AND MANUFACTURING OF STRETCHING@FIRE POLISHING M/C WITH 60 SECTIONS (PK60 ATCP)	Kaan Say Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası
17:10 - 17:30	'HİBRİD KALIP' - İKİ FARKLI CAM AMBALAJ ŞEKİLLENDİRME MAKİNESİNDE ORTAK KALIP KULLANIMI / HYBRID MOLD.USING THE SAME MOULDS FOR TWO TYPE OF DIFFERENT INDIVIDUAL SECTION MACHINES	Karahan Bulut Leonid Pilat Ruscam Ltd. Kirishi Fabrikası / Cam Ambalaj
17:30 - 17:50	GÜMÜŞ NİTRAT ÖZGÜL TÜKETİMİNİN AZALTILMASI / REDUCTION OF Ag-NITRATE USAGE	Aytaç Öztürk Temel Camlar Üretim Başkan Yardımcılığı / Düzcam
<b>18:00 - 20:00 KOKTEYL / COCTAIL</b>		
<b>POSTER OTURUMU / POSTER SESSION</b>		
	MIKNATISSAL SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN VANADYUM OKSİT İNCE FİLMLEİN YAPISAL KARAKTERİZASYONU	Hürriyet Yüce, Sena Gülen, Ayten Cantaş, Gülnur Aygün, Lütfi Özyüzer

# 29. CAM SEMPOZYUMU

## ORGANİZASYON KURULLARI

### Danışma Kurulu

#### **Onursal Başkan**

Prof. Dr. Ahmet Kırman

#### **Üyeler**

Prof. Dr. Şener Oktik

Dr. Reha Akçakaya

Cemil Tokel

Abdullah Kılınç

Burhan Ergene

Alev Yaraman

Dr. Ateş Kut

### Yürütme Kurulu

#### **Başkan**

Prof. Dr. Şener Oktik

#### **Üyeler**

Melek Orhon

Atilla Ünsal

Prof. Dr. Volkan Günay

A.Semih İşevi

Elif Ergün

Günseli Danışman

### Hakem Kurulu

#### **Üniversiteler**

Prof. Dr. Ertuğrul Arpaç

Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa Ürgen

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Raşit Turan

Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Süleyman Özçelik

Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. A. Osman Kodolbaş

Tübitak Ulusal Metroloji Enstitüsü

#### **Şişecam**

Melek Orhon

Atilla Ünsal

Prof. Dr. Volkan Günay

Haluk Güreren

Tuğrul Misoğlu

Süleyman Koç

Hüseyin Parlar

Hande Sesigür

Dr. Hakan Sesigür

Levent Kaya

Lale Önsel

Nadiye Gür

AÇILIŞ  
KONUŞMALARI



**Prof. Ahmet Kırman**  
Genel Müdür

Cam ve cam ürünleri etrafında oluşan sektör asırlar boyu optik, termal, akustik, mekanik, hijyenik ve son dönemde elektronik konforu son kullanıcıya estetik ve ekonomik ölçülerle sürekli geliştirerek sunmaktadır. Küresel ölçekteki bu çabaya Türkiye'nin ilk katılımları Osmanlı döneminde kadar gitmekle birlikte, uluslararası sektörde yarışacak cam sanayi ülkemizde Önderimiz Mustafa Kemal Atatürk'ün direktifleri ile 1935 yılında Şişecam'ın kuruluşu ile başlamıştır. 2014 yılı değerlendirmesi ile küresel cam sektöründe 10.sırada yer alan Şişecam 2020 yılında ilk üçte yer almayı hedeflemektedir. Bu zorlu ve onurlu yolculukta ürün ve teknolojiye sahip olmayı araştırma ve teknolojik geliştirmeyele gerçekleştireceğimize inanmaktayız. Bu inançla 1976 yılında temelleri atılan kurumsal Ar-Ge faaliyetlerimizin altyapısı ve insan kaynakları bu yıl faaliyete geçirdiğimiz ülkemizin cam alanında en büyük ve en kapsamlı laboratuvarı olan Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi ile birlikte nitel ve nicel olarak büyüyüp güçlenmektedir.

Cam Sanayiinde pazarın geleneksel unsurları olan düzcam, cam ambalaj, cam ev eşyası alanlarında büyüme hızı özellikle gelişmiş ülkelerde oldukça düzeylerde seyretmektedir. Düşük katma değer sunan ve düşük gelir sağlayan ancak buna karşın yüksek miktarda finansal kaynak, insan gücü ve çevre kaynağı tüketen düşük teknolojik ürünlerin üretimi az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere kaymaktadır. Bu karşın sektörün geleceğinin belirleyicisi yeni ve daha ileri teknolojilere dayalı inovatif ve katma değer yüksek ürünler gelişmiş ülkeler tarafından üretilmektedir. Örneğin düzcamın, optiksel, elektriksel, mekanik, kimyasal ve dekoratif özelliklerinin değiştirilmesi ile oluşan kaplamalı camlar pazarı 21 Milyar ABD dolarına ulaşmış olup 2015-2019 arası pazarın yaklaşık %9 büyümesi beklenirken bu alanda yenilikler araştırma ve geliştirme faaliyetleri yoğun olan şirketler tarafından değere dönüştürülebilmektedir.

Başlangıçta, Şişecam içinde yürütülen araştırma ve geliştirme yanında üretim gruplarımızda kazanılan bilgi beceri ve yetkinliklerin paylaşıldığı Şişecam Cam Sempozyumları son yıllarda ulusal ölçekte cam ve cama değer katan bütün alanları kucaklayan bilim insanlarının ve teknokratların bir araya geldiği bir platforma dönüşmüştür. 29 yıldır süren bu çabada bu yıl "Cam ve Cama Değer Katan Kaplamalar" teması seçilmiştir. Bu tema çevresinde bizlere bilgi ve birikimlerini aktaracak yurt dışından 7 ve yurt içinden 4 çağrılı konuşmacı ile birlikte 47 bilimsel ve teknolojik çalışmayı sunacak bilim insanlarına Şişecam ve 16 Üniversitelerden ve 7 şirketten katılımcılar adına teşekkür ediyorum.

Rekabet öncesi bilgiyi, beceriyi ve yetkinlikleri paylaştığımız Şişecam Cam Sempozyumlarının gelişim çizgisi bizleri cesaretlendirmektedir. Buna bağlı olarak 2017 yılında düzenleyeceğimiz 32. Şişecam Cam Sempozyumunu, Uluslararası Cam Komisyonu (ICG) ile birlikte Uluslararası platforma taşıma yolunda ilk adımları atarken, 29. Cam Sempozyumu'nun Grubumuza, ülkemiz ve uluslararası cam sektörüne yapacağı katkılar konusundaki inancımı hepinizle bir kez daha paylaşır saygılar sunarım.





**Prof. Dr. Şener Oktik**  
Araştırma ve Teknolojik  
Geliştirme Başkanı

“2014 Küresel İnovasyon İndeksi” 143 ülkenin; kurumları, insan kaynakları, eğitim öğretim yapısı, Ar-Ge kaynakları, iş ve ticaret dünyası, pazar yapısı alanlarında geniş bir çerçevede 81 göstergenin değerlendirilmesi ile oluşturulmuştur. Göstergeler ülkelerin inovasyon sürecinin etkinliği için eko-sistemi tanımlamaktadır. Ülkemiz bu indekste 54.sırada yer almıştır. Araştırma ve teknolojik geliştirmede insan kaynakları, alt yapı ve üretilen bilgi, beceri ve yetkinliklerin eko-sistemdeki yeri kadar üretilen ve geliştirilen bilimsel ve teknolojik yetkinliklerin yaygınlaştırılması ve endüstriye aktarılması da önemli bir belirleyici olmaktadır.

Şişecam Topluluğu, 1976 yılında ülkemizde kurumsal Ar-Ge’yi başlatan öncü kuruluşlardan olup, cam bilimi ve teknolojileri alanlarında uluslararası ölçekte saygın bir yetkinlik platformu olarak büyüyüp güçlenmiştir, güçlenmektedir. Dünya cam sektörü sıralamasında 2013’te onuncu sırada olan ve 2020’de ilk üçe girmeyi hedefleyen Şişecam 13 ülkede üretim yapan uluslararası bir şirkettir. Şirketimizin uluslararası yapısını kucaklayan araştırma ve teknolojik geliştirme faaliyetleri, İstanbul’da Bilim ve Teknoloji Merkezi, yurt içinde beş ve yurtdışında dışında beş bölgesel laboratuvarla sürdürülmektedir. Farklı yerleşimlerde yürütülen ArTeGe ve Mühendislik faaliyetleri 2014 yılının ikinci yarısında tamamlanan Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi çatısı altında toplanmıştır. Cam bilimi ve teknolojileri alanlarında 27 ayrı laboratuvar ve laboratuvarlardaki donanımlarla merkezimiz ülkemizin en büyük ve yetkin laboratuvarı olup, Avrupa’nın sayılı laboratuvarları arasındadır. Merkez ve bölge laboratuvarlarında, üçte biri lisansüstü dereceye sahip 153 ve üretim gruplarında 70 olmak üzere toplamda 223 tam zamanlı ArTeGe personeli, Şişecam Topluluğuna, uluslararası cam sektöründe yarışabileceği yeni ürün ve teknolojileri kazandırma çabası içindedir.

2013 de Ülkemizde gerçekleşen Ar-Ge harcamaları 14 Milyar TL ye yaklaşırken bunun yaklaşık 6,2 Milyar TL kadarı özel sektörde, 6 Milyar kadarı Üniversitelerde ve 1,5 Milyarı kamu kuruluşlarında harcanmıştır. Ar-Ge’ye ayrılan Ülkemiz kaynaklarının etkin kullanılması üniversite sanayi işbirliğiyle gerçekleşeceğine inanan Şişecam ülkemizde 12 Üniversite ve araştırma kuruluşları ile ortak projeler yürütmektedir. Cam bilimi ve teknolojilerinde, rekabet öncesi, birlikte ürettiğimiz bilgiyi beceriyi ve yetkinlikleri ortak akılla harmanlama çabasını Şişecam 29 yıldır Cam sempozyumları ile sürdürmektedir. 29. Cam Sempozyumu için seçtiğimiz "Cam ve Cama Değer Katan Kaplamalar" temasını, 10 ayrı oturumda paylaşmaya çalışacağız. Açılış Oturumunda İngiltere Sheffield Üniversitesinden Prof. Dr. Alan Matthews bizlere “yüzey ve kaplamalar” konusundaki güncel gelişmeleri ve Tokyo Institute of Technology’den Prof. Dr. Tetsuji Yano igitme teknolojilerinde yeni bir ufuk olan “in flight melting” konusunu aktaracak. Açılış oturumu ardından alanlarında uzman bilim insanları ve teknokratlar üç ayrı salonda 45 bildiriyi bizlerle paylaşılacaklar. Şişecam çalışanları ile birlikte 22 Üniversiteden, araştırma kuruluşlarından ve 9 şirketten Sempozyumumuza 410 katılımcı kayıt yaptırmış, 305 katılımcı izlemiştir. 29 yıldır kararlı saygın ve sürekli bir şekilde güçlenen Şişecam Cam Sempozyumlarının ardındaki iradeye, sempozyumların bilimsel çıtasını sürekli yükselten bildiri sahiplerine, sempozyumların mutfağındaki emeği geçen bütün çalışma arkadaşlarıma, kurullarda görev yapan bilim insanlarına ve katılımlarınız ile sempozyuma güç veren sizlere yürekten teşekkür ederim. 2017 yılında Uluslararası Cam Komisyonu (ICG) nin Yıllık Konferansını Şişecam ev sahipliğinde İstanbul’da düzenleyerek, “32. Şişecam Cam Sempozyumunu” uluslararası platforma taşıma yolundaki çabamıza vereceğiniz desteğe olan inancımla saygılarımı sunarım.



# BİLDİRİLER

# SURFACE AND COATING TECHNOLOGIES: THE DEVELOPMENT OF PLASMA-ASSISTED PVD AND ITS ROLE



**Prof. Allan Matthews**

Department of Materials  
Science and Engineering,  
University of Sheffield, UK  
a.matthews@sheffield.ac.uk

*Allan Matthews joined the Department at the beginning of 2003. He spent the previous 21 years at Hull University, where he was Director of the Research Centre in Surface Engineering (now located at Sheffield). Prior to his academic career, he first undertook a sponsored "thin sandwich" Mechanical Engineering degree with a major UK aerospace company. Following graduation, he worked in the aerospace sector in a hi-tech manufacturing project management role. He then returned to academia and joined a research team at Salford University investigating tribological coatings for industrial tooling. He developed a number of innovations in coating technology and spent a period of time as a PostDoc there. He is known as a pioneer in the Surface Engineering field, having established (in 1982) one of the earliest laboratories in the World designated with the Surface Engineering title. He also worked with others on the creation of the first International journal with that title and has been instrumental in establishing and growing several international conferences in the coatings field. Over the past 25 years he has had an Editor role with the Elsevier journal Surface and Coatings Technology and is now Editor-in-Chief for that journal. He has carried out several studies for government agencies and industry bodies into the surface coatings market. These studies have guided governmental and industrial strategies in this important manufacturing field. He specialises in environmentally-friendly plasma-assisted PVD processes and the evaluation and modelling of the processes and of the coatings produced. He is named as an Inventor on eight patents in the field of advanced coatings and has authored or co-authored over 350 publications, including the book, Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering (Elsevier; 2009). He is an elected member of the Board of Directors of the Society of Vacuum Coaters and is a former Chair of the Executive Committee of the Advanced Surface Engineering Division of the AVS and of the British Vacuum Council. He was elected a Fellow of the Royal Academy of Engineering in 2012.*

## ABSTRACT

The theme of this Symposium is Glass and Value Adding Glass Coatings. In the thin film coating field there have been particularly important developments in Physical Vapour Deposition (PVD) processes which use plasma assistance in order to provide enhanced control over coating phase composition and structure. This talk will outline the main developments in plasma assisted PVD, starting with the definition of the "ion plating" process in the 1960s and tracing the development of the process up to the present day, including the breakthroughs in plasma enhancement methods and the development of sputter deposition processes to the level that they are now utilised for high-rate continuous coating. Since several of the processes and coatings which will be described at this symposium will utilise these enhanced sputtering systems, it is intended that this talk will provide a useful introductory background to the technologies involved.

**Keywords:** PVS, Thin Film Coatings

---

# DEVELOPMENT OF THE INNOVATIVE GLASS MELTING METHOD 'IN-FLIGHT MELTING TECHNOLOGY' FOR ENERGY SAVING



**Prof. Tetsuji Yano**

Department of Chemistry and Materials Science, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan  
tetsuji@ceram.titech.ac.jp

---

**Research Field:** Science and Technology of Glass Materials (Inorganic Glasses, Ion-Dynamics and Optical Properties)

**Employment:** Doctor of Engineering (Tokyo Institute of Technology), Assistant Researcher (Tokyo Institute of Technology), Associate Professor (Tokyo Institute of Technology)

**Academic Membership:** The Ceramic Society of Japan, The Japan Society of Applied Physics, American Ceramic Society, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), The Institute of Image Information and Television Engineers (ITE)

---

**ABSTRACT**

New innovated glass melting technology, "In-flight melting" has been developed for reducing energy for melting of glass. Japanese group consisting of university, national institute and companies started the investigation of In-flight melting for glass fabrication with lower energy consumption in 2005. In order to achieve efficient direct energy-transfer of thermal energy from heating source to materials, various categories in glass production process have been covered in the 8-years project; the preparation methods of glass raw materials suitable for In-flight melting, the development of heating sources like oxy-fuel combustion burner, thermal plasma and these combination, the operation of small test plant of 1 ton/day scale, and the characterization of In-flight melted glasses. In this presentation, the important achievements in the development of In-flight melting technology are reviewed, and the prospects of In-flight melting for reducing energy of glass melting are mentioned.

**Keywords:** Meltings Technology, Energy

---

# REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING TECHNOLOGY FOR LARGE AREA PROCESSING



**Dr. Martynas Audronis**  
Nova Fabrica Ltd, Lithuania  
martynas@novafabrica.biz

---

*Dr Martynas Audronis obtained his PhD in Surface Engineering in 2007 from the University of Sheffield where he subsequently worked as a Research Associate at the Research Centre for Surface Engineering. He worked for e2v technologies plc in Chelmsford, a semiconductor manufacturer, in 2008. In 2009 he joined Gencoa Ltd, a planar sputtering cathode manufacturer. In 2012 Dr Audronis went back to the University of Sheffield where he focused on developing a reactive EB evaporation technology. In 2013 he founded Nova Fabrica Ltd. a manufacturer of advanced process control and optical monitoring systems (FloTron™ and OptaTron™). Dr Audronis has over 25 original articles in refereed international journals and 3 patent applications. Dr Audronis has extensive (more than a decade) experience with Reactive Magnetron Sputtering technology. This includes large area (up to 3m) reactive sputter deposition processes and systems, roll-to-roll web and glass coating, fast feedback process control and process optimisation in manufacturing environment, coating quality and production yield improvement.*

---

## ABSTRACT

Costs related to hardware and effort required to run it are often determining factors when selecting a particular coating technology for use in production. This is in addition to ability to meet coating (or coated surface) technical specifications, which are dictated by the specific application (e.g. optical and/or electrical film properties, thickness and property uniformity, etc.). Competition across all supply chain segments and economical pressures drive innovation.

Reactive Sputtering is a well established Physical Vapour Deposition (PVD) technique and is widely used for industrial coating deposition as well as for R&D. Reactive Sputtering is employed for production of thin layers for high added value products, such as

- architectural glass,
- flat panel displays,
- touch screens,
- solar cells,

The driving force behind the widespread use of this technology is the fact that operation in the so called ‘transition’ region (between ‘metal’ and ‘fully poisoned’ sputtering target states) allows high coating deposition rates to be obtained using relatively cheap DC or MF power, thus providing an economically superior alternative to sputtering ceramic compound targets using RF power.

The main advantages of Reactive Sputtering are:

- Higher deposition rates (2-4 times typically),
- Ability to fine tune chemical composition and physical/structure properties of films,
- Improved coating thickness uniformity (1-2 %) via multi-zone gas injection,
- Lower defect levels (less arcing),
- Improved process stability.

Optimal system economy and technical performance are obtained when five key process elements are optimised:

- cylindrical magnetron,
- mid-frequency AC (sine waveform) or symmetric bipolar pulse-DC (rectangular waveform) power supply,
- process chamber pumping design,
- fast response closed-loop process controller and
- multi-zone gas delivery hardware.

Using modern reactive gas control hardware significant

cost savings due to production rate and process stability improvements are obtained routinely in production facilities.

Reactive Sputtering process control hardware developed rapidly over the last few decades. Yet, until recently, it was still regarded largely as

- expensive (multi-zone gas control),
- complicated (multi-zone gas control),
- underdeveloped (lacking quality in some cases) technique thus making Reactive Sputtering processes seem an unnecessary complication and expense.

This paper presents and discusses the state-of-the-art reactive Magnetron Sputtering technology for industrial large area processing, with the emphasis on recent active feedback-based process control hardware developments.

**Keywords:** *Large Area, Magnetron Sputtering, Process Control, Cost Reduction*

# VAKUM KAPLAMALI CAM ÜRÜNLERİ VE ŞİŞECAM'DA YAKLAŞIMLAR



**Dr. Seniz Türküz, Ateş Parlar, Alperen Sezgin, Dr. Öcal Tuna**

Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
sturkuz@sisecam.com  
aparlar@sisecam.com  
asezgin@sisecam.com  
otuna@sisecam.com

*Seniz Türküz, 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı üniversitede, Prof. Dr. Serdar Özgen ve Prof. Dr. Mustafa Ürgen danışmanlığında "Saydam İletken Oksit" konusunda doktora çalışmalarını yürüterek 2010 yılında doktora derecesi almıştır. 2003 yılından bu yana Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde "Vakum Kaplamalar Teknolojileri ile mimari ve otomotive yönelik ürün geliştirme, saydam iletken oksitler, interferans renklendirilen aynalar konularında araştırma çalışmalarına devam etmektedir.*

## ÖZET

Mimariye yönelik güneş ve ısı kontrol kaplamalı ürünler pasif ve dinamik kontrol özellikleri ile enerji tasarrufu ve konforu birlikte sağlayan ürünlerdir. ŞİŞECAM geniş bir düşük emisiviteli ürün yelpazesine sahip olup ayrıca dinamik kontrol kaplamalara yönelik geliştirme çalışmaları yürütmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Düşük Emisivite, Vakum Kaplama, Saydam İletken Oksit, Elektrokromik, Termokromik

## GİRİŞ

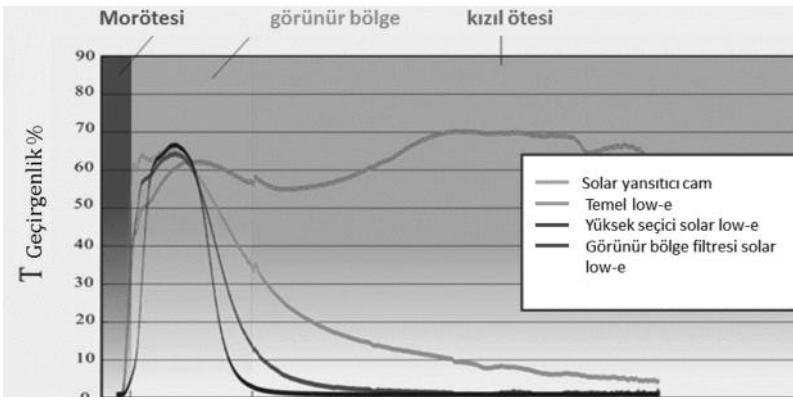
En yalın katman dizilimine sahip ticari uygulamaya yönelik düşük emisiviteli mimari kaplamalı camlarda ortalama 8-16nm kalınlıkta gümüş katmanı bulunmaktadır. Sıcak iklime yönelik güneş kontrol uygulaması için ihtiyaç duyulan düzeyde düşük emisivite için daha kalın gümüş katmanı gerekmektedir. Gereken düzeyde görünür bölge ışık geçirgenliği uygun antireflektif katman dizaynı ile elde edilmekte ancak yansıma rengi tercih edilmeyen kırmızı renge gitmektedir. Prensipte görünür bölgede yüksek geçirgen ve aynı zamanda düşük toplam güneş enerjisine sahip olup 2 ve üstünde üstünde bir seçicilik katsayısı sunarken estetik beklentilere de cevap verebilen bir kaplama birden fazla (en az 3 ve üstü) sayıda gümüş katmanı içeren hassas bir tasarım ve film özelliklerine gereksinim duymaktadır (şekil 1).

Düşük emisiviteli bu ürünlerin güvenlik amaçlı olarak dayanımının artırılması için uygulanan temper ve otomotive yönelik bükme süreçlerinde kararlılığını koruyabilmesi ısıl kararlı katmanlardan oluşturulması ve ayrıca gümüşün ısıl süreç boyunca yaşayacağı difüzyondan korunması amacı ile ara katmanlarca korunması gerekmektedir.

Günümüzde ülkemizde de yaygın olarak kullanılmakta olan güneş kontrol kaplamalı camlar, güneş enerjisinin önemli bir kısmını yansıtarak veya soğurarak iç mekana geçen ısıl yükü azaltır ve böylece soğutma amaçlı kullanılan enerjiyi azaltarak CO<sub>2</sub> emisyonunun azalmasını da sağlar. Ancak güneş kontrol camlarının pasif sistemler



Şekil 1. Mimari Uygulamaya Yönelik Düşük Emisiviteli Kaplamalar



olması, yani ışık ve ısı özelliklerinin değişen iklim koşullarına göre değişmez oluşu, kış mevsiminde ise güneş enerjisinden yararlanamamayı da beraberinde getirmektedir.

Elektrokromik akıllı pencereler, akım uygulandığında ışık ve ısı geçirgenliği değişerek soğutma, ısıtma yüklerini ve aydınlatma için tüketilen enerji tüketimini büyük oranda azaltmaktadır. İnşaat ve otomotiv tasarımları daha fazla cam kullanımına yönelimindeki artış ile birlikte inşaat kurallarındaki değişimler ve yeşil bina standartlarının benimsenmesindeki artış, artan cam kullanım oranında ısı ve

ışık kazancının yönetilmesi için temel tasarım unsurunu oluşturmaktadır. Akıllı camlar bu çeşitli pazar eğilimlerine hitap etmektedir. Şekil 2'de tipik bir EC katman dizilimi yer almaktadır.

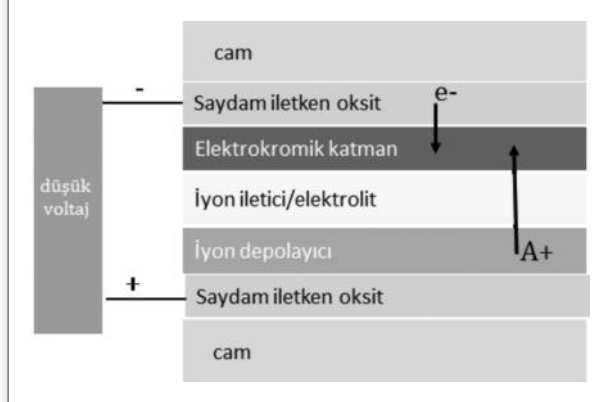
Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi, Vakum Kaplamalar Yöneticiliği bünyesinde mimari kullanıma yönelik pasif sistem düşük emisiviteli ısı ve güneş kontrol kaplamaları, mimari ve otomotiv uygulamalarına yönelik

ısı işlenebilir (temperlenebilir-bükülebilir) kaplamalar, başlıca güneş pilleri, kromik sistem uygulamalarında elektrot olarak kullanılan saydam iletken oksitler (TCO), otomotiv ve estetik kullanıma yönelik interferans aynalar, dinamik güneş kontrolüne yönelik elektrokromik, termokromik ve termo-elektrokromik sistemler çalışılmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. Smoothing of ultrathin silver films by transition metal feedings, Andre Anders, Eungsun Byon, Dong-Ho Kim, Kentaro Fukuda, Solid State Communications 140(2006) 225,229
2. Coalescence of magnetron-sputtered silver islands affected by transition metal seeding(Ni,Cr, Nb,Zn, Mo, W,Ta)and other parameters, Thin Solid Films 516(2008) 4546-4552 Kentaro Fukuda, Sunnie H.N.Linn, Andre Anders
3. Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the art review future research opportunities Solar Energy materials and solar cells 96(2012)1-28 Bjorn Petter Jelle, Andrew Hynd, Arild Gustavsen, Darius Aresteh
4. Oxide Electrochromics: Why, How and Whither, Solar Energy materials and solar cells 92(2008) 203-208 C.G. Granqvist

Şekil 2. Tipik bir EC sistem katman dizilimi



# GENİŞ ALAN MİKNATISSAL SAÇTIRMA İLE BÜYÜTÜLEN ITO İNCE FİLMLERİN OPTİKSEL VE ELEKTRİKSEL TAVLAMA İLE İYİLEŞTİRİLMESİ



**Dr. Hasan Köseoğlu,  
Mutlu D. Yaman, Metin Kurt,  
Fulya Türkoğlu, F. Gülşah Akça,  
Gülnur Aygün,  
Prof. Dr. Lütfi Özyüzer**

*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü,  
Fizik Bölümü  
hasankoseoglu@iyte.edu.tr  
mutluyaman@iyte.edu.tr  
metinkurt@iyte.edu.tr  
fulyaturkoglu@iyte.edu.tr  
fatimeakca@iyte.edu.tr  
gulnuraygun@iyte.edu.tr  
ozyuzer@iyte.edu.tr*

*İYTE Fizik--2006 Mezunu (İkincilik derecesiyle)*

*İYTE Fizik Y. L.--2009 Mezunu*

*İYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Doktora--Ocak 2011:devam ediyor*

*İYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinde Yeterliliği verdi--Ocak 2013*

*İYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinde Araştırma Görevlisi (Fizik Bölümünde Görevlendirildi)--Ocak 2013 devam ediyor*

Geçirgen İletken Oksitler (TCO) optik olarak geçirgen ve elektriksel olarakta iletken olmasından dolayı güneş hücrelerinde, elektrokromik pencerelerde, OLED ekranlarda, ayna/cam yüzeyi ısıtıcı olarak, IR kesme ve elektromanyetik kalkan amaçlı kullanılmaktadır. TCO olan İndiyum Kalay Oksit (ITO) ince filmler düşük öz dirence ve elektromanyetik spectrumun görünür bölgesinde yüksek optik geçirgenliğe sahip olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1]. Miknatissal saçtırma yöntemi, ITO ince filmlerin kolayca tekrarlanabilir olarak üretilebilmesi açısından diğer kaplama yöntemlerine (ısısal buharlaştırma, spray pyrolysis v.b.) göre en çok tercih edilen yöntemdir. Bu çalışmada, ITO ince filmleri düşük vakum seviyesinde çalışan geniş alan miknatissal saçtırma sistemi ile kaplanmıştır [2]. 3 mm kalınlığında, 50 mm genişliğinde ve 60 mm uzunluğuda borosilikat cam ITO ince filmleri büyütme için alttaş olarak kullanılmıştır. Alttaşlar temizlendikten sonra 60 x 90 cm<sup>2</sup> alanındaki malzeme tutucuya yerleştirilmiş ve kaplama sırasında malzeme tutucu ısıtılarak yüzeye iyi tutunmuş ve iyi derecede kristal yapıya sahip ITO ince filmler büyütülmüştür. Miknatissal saçtırma ile büyütülen filmleri tavlama işlemi yaparak istenilen özelliklerde filmler elde etmek mümkündür [2]. Yüksek kaliteli film elde etmek için TCO'ların tavlama için genellikle termal ısıtma yöntemi kullanılmaktadır [3]. Alternatif olarak, son zamanlardaki çalışmalar elektrik akımı ile yapılan ısıtmanın ısı işlem sürecinin verimliliğinin artırıldığını göstermiştir [4-6]. Bu yöntem teknik olarak bir çok avantaj sağlamaktadır. Bu yöntemle herhangi bir harici ısıtıcıya gerek duyulmamaktadır, ayrıca Joule ısı doğrudan filmin içerisinden açığa çıktığı için çevreleyen bileşenlerin ısı yükü ve safsızlıkların oluşumu azalmaktadır. Bu çalışmada, elektriksel tavlama işlemi vakum ve hava ortamlarında ITO ince filmlere 10 dakika süre ile 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 ve 1.5 sabit ac akım uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Hava ve vakum ortamında kristal yapıya sahip ITO ince filmlerden yüksek elektrik akımı geçirerek elektriksel tavlamanın ITO ince filmlerin özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. ITO ince filmlerin yapısal özellikleri XRD ile, 200-2600 nm dalga boyu aralığındaki optik özellikleri spektrofotometre ile, kalınlıkları yüzey profilometre ile ve yüzey dirençleri (Rs) dört nokta yöntemi ile incelenmiştir. Kristal yapıya sahip ITO ince filmlerin optiksel ve elektriksel özelliklerinin elektriksel tavlama ile değişimi tartışılacaktır.

*Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:24  
©Şişecam*

**Anahtar Sözcükler:** ITO İnce Film, Geniş Alan Miknatissal Saçtırma, Elektriksel Tavlama

# EXTREME SPECTRAL PHOTOCURRENT ENHANCEMENT OF A-Si:H THIN FILM BY EXPLOITING THE SCATTERING POTENTIALS OF TEXTURED AL:ZNO AND SILVER PLASMONIC NANOPARTICLES



Hisham Nasser<sup>1,4</sup>, Engin Ozkol<sup>2,4</sup>,  
Alpan Bek<sup>1,3,4</sup>, Prof.Dr.Raşit  
Turan<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Micro and Nanotechnology  
Graduate Program, Middle East  
Technical University

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineering,  
Middle East Technical University

<sup>3</sup> Department of Physics, Middle East  
Technical University

<sup>4</sup> The Center for Solar Energy Research  
and Applications (GÜNAM), Middle East  
Technical University

hisham.nasser@yahoo.com

engin.ozkol@gmail.com

bek@metu.edu.tr

turanr@metu.edu.tr

Hisham Nasser is a PhD candidate at the Micro and Nanotechnology Program of Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University. He is a part of Thin Film Solar Cell group at the Center of Solar Energy Research and Application (GÜNAM). Hisham works on different light managements schemes including surface texturing, plasmonics metal nanoparticles for thin film and wafer based silicon solar cells. He was able to author and co-author several indexed-journal/conference papers in different peer-reviewed scientific journals and conferences in many countries.

## ABSTRACT

The light scattering properties of textured Aluminum doped Zinc Oxide (ZnO:Al) can be used to increase the fraction of diffuse light into the active layer of thin film solar cells (SCs). Silver nanoparticles (AgNPs) act as scattering islands to redirect incident light to propagate within the active layer of SCs due to their Localized Surface Plasmons (LSPs) properties. In this study, we fabricate an optimum chemically textured Al:ZnO using HCl. Our results show that using this feasible texturing method, the textured Al:ZnO provides up to 3- fold enhanced diffuse transmittance over a broad spectral region. We use the simple dewetting technique to fabricate AgNPs atop flat and textured ZnO:Al. As demonstrated by experimental results, AgNPs fabricated on HCl textured ZnO:Al as a single plasmonic scattering interface has the highest optical extinction of a-Si:H thin film at energies near to the band gap of a-Si:H and that the measured spectral photocurrent shows a superior increase over the entire wavelength range.

**Keywords:** Light Trapping, Thin Film SCs, Al:ZnO, Texturing, Haze, Plasmonic

## INTRODUCTION

Light trapping approaches have a vital role in increasing thin film a-Si:H solar cells efficiencies by improving light absorption without employing thicker absorber layers. The most common technique is based on texturing the transparent conductive oxide (TCO) interfaces. Light scattering at textured interfaces on either side of thin film solar cells increases the effective optical path in the absorbing film [1]. Indeed, Yablonovitch and Cody demonstrated that the incident light trapping threshold for randomly textured surfaces was an enhancement in absorption for weakly absorbed photons by a factor of  $4n^2$  [2]. However, according to brightness theorem [3], it is not possible to exceed the  $4n^2$  limit using random texturing due to several experimental errors.

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:25-28

©Şişecam

Another method for increasing the light absorption that has emerged recently is to make use of the scattering potential of small metal nanoparticles excited at their Localized Surface Plasmon Resonance (LSP) [4]. Among different noble metal, Ag is the most effective noble metal for light scattering and has a high eutectic temperature allowing for thermal treatment without compound formation [5].

In this work we design an alternative technique to trap incident light efficiently by exploiting the scattering potentials of chemically textured Al:ZnO and that of metal nanoparticles. Such an interface can be integrated at the front surface of a-Si:H solar cells.

### EXPERIMENTAL DETAILS

1.25  $\mu\text{m}$  Al:ZnO films were deposited on 25 cm x 25 cm Schott glass by mean of RF magnetron sputtering using 2 % aluminum doped zinc oxide target. Textured Al:ZnO layers were prepared by single step HCl texturing process for 30 sec. Average roughness of flat and textured Al:ZnO was extracted using Atomic Force Microscope (AFM). A uniform thin Ag film of 15 nm thickness was deposited on flat and textured Al:ZnO using RF magnetron sputtering at room temperature. To form the AgNPs atop Al:ZnO, the Ag coated Al:ZnO substrates were annealed at 200 °C and 300 °C in  $\text{N}_2$  atmosphere for 1 hour.

Optical measurements were obtained by illuminating the glass side to clone the superstrate configuration of thin film solar cells. In this measurement, optical setup built around an 8-inch, 5-port integrating sphere (Oriol 70679NS), the inside of which is coated with a diffuse reflective material. The light from a 250W QTH lamp is collimated, chopped and sent through the input (transmission) port and the output (reflection) ports of the sphere. The optical Extinction (E) and Haze (H) were obtained using Eq. (1) and Eq. (2), respectively.

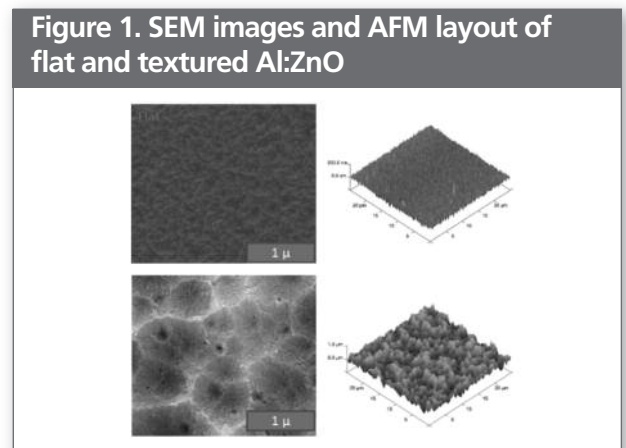
$$E = 1 - R - T \quad (1)$$

$$H = \frac{T_{\text{diffuse}}}{T_{\text{total}}} \quad (2)$$

A device-quality a-Si:H layer was deposited by PECVD technique on the fabricated Al:ZnO/AgNPs interfaces. In order to eliminate any possible contamination and to reduce the surface recombination induced by metal nanoparticles, the a-Si:H absorber layer was separated from AgNPs by 25 nm  $\text{SiO}_2$ . Aluminum electrodes of standard coplanar geometry with 1.0 cm by 0.3 cm rectangles separated by 1.0 mm gaps are evaporated on the a-Si:H side of the structure using a shadow mask.

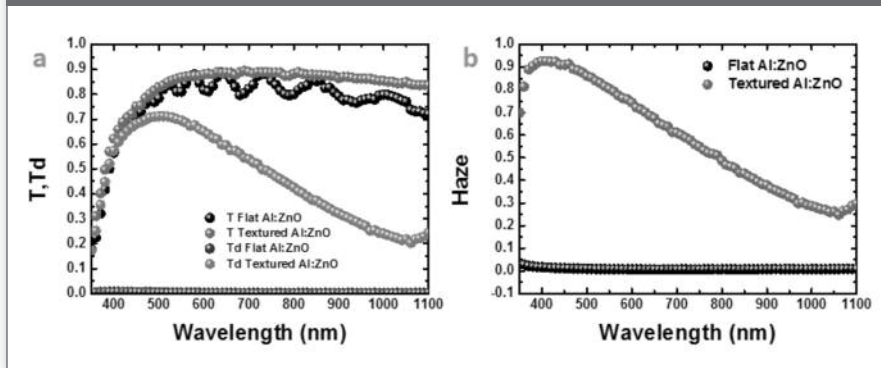
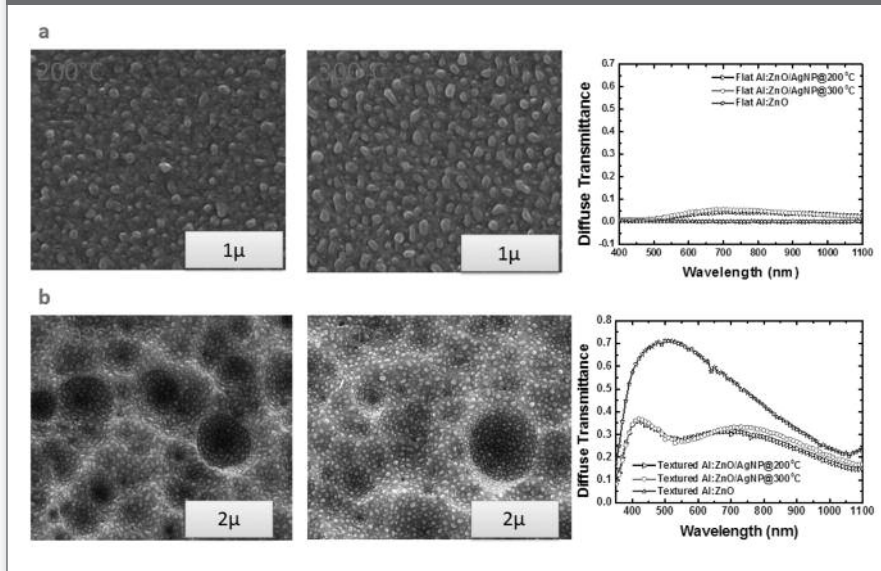
### RESULTS

Figure 1 shows the SEM images and AFM layout of flat and textured Al:ZnO. The average surface roughness is 15 nm and 157 nm for flat and textured Al:ZnO, respectively. Texturing of Al:ZnO using HCl forms crater-like features on the surface of Al:ZnO.



Textured Al:ZnO has a drastic increase in diffuse transmittance and thus in transmittance haze as shown in Figure 2. Flat Al:ZnO exhibits almost no diffuse transmittance. This increase in diffuse transmittance is in parallel with the increase in surface roughness of textured Al:ZnO as compared to flat one.

Figure 3 (a) and figure 3(b) show the SEM images with the corresponding diffuse transmittance of flat and textured Al:ZnO; respectively, with the fabricated AgNPs annealed at 200 °C and 300 °C. Dewetting of Ag thin layer on flat Al:ZnO at 200 °C is incomplete yet results in Ag nano-islands which appear to be connected while dewetting is complete when increasing the annealing temperature to 300 °C forming AgNPs. Diffuse transmittance of Ag nano-islands fabricated

**Figure 2. Total and diffuse transmittance (a) and the calculated haze in transmittance (b) of flat and textured Al:ZnO**

**Figure 3. SEM images and diffuse transmittance of flat (a) and textured (b) Al:ZnO with AgNPs**


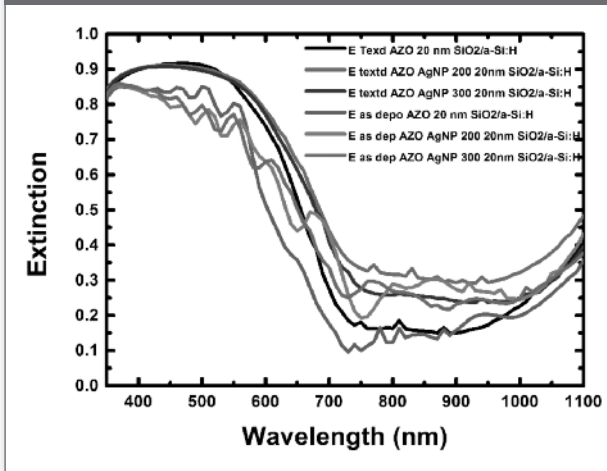
on flat Al:ZnO is higher as compared to bare flat Al:ZnO and this is due to surface roughness induced by Ag nano-islands and due to the fact that Ag nano-islands scatter the incident light in all directions. Dewetting of Ag deposited on textured Al:ZnO at 200°C results in irregularly elongated AgNPs along with smaller spherical AgNPs distributing randomly. Those elongate AgNPs present in the sample annealed at 200°C are quite larger in size than that of the AgNPs formed at 300°C. Decorating textured Al:ZnO with AgNPs reduces diffuse transmittance as seen in fig. 3(b).

Figure 4 shows the optical  $E$  of 250 nm a-Si:H deposited on the interfaces consisting of SiO<sub>2</sub>/AgNPs fabricated on flat and textured Al:ZnO. Decorating flat Al:ZnO with AgNPs

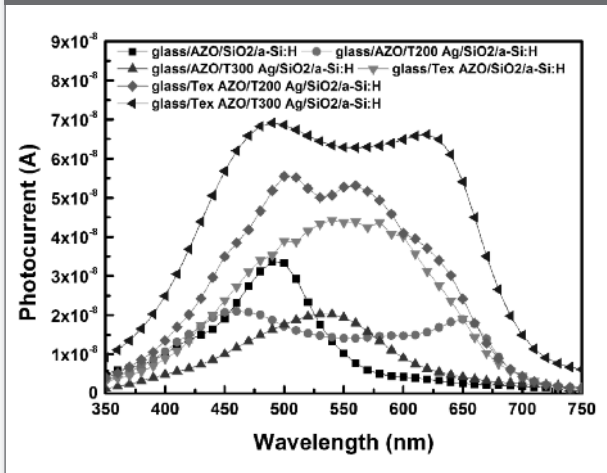
reduces the optical extinction for all wavelengths below 550 nm while it is higher for wavelengths having energies matching or higher than the band gap of a-Si:H. Extinction of a-Si:H deposited on bare textured Al:ZnO and on textured Al:ZnO with AgNPs prepared at 200 °C and 300 °C show a clear enhancement as compared to the extinction of a-Si:H deposited on flat Al:ZnO. Above 550 nm, the optical extinction of a-Si:H deposited on textured Al:ZnO with AgNPs (at 200 °C and 300 °C) exceed that of a-Si:H on bare textured Al:ZnO.

Figure 5 displays the evolution of spectral photo-response of a-Si:H as a function of incident illumination. For all wavelength below 550 nm, spectral photo-current of a-Si:H

**Figure 4. Extinction (E) of a-Si:H deposited on AgNPs on flat and textured Al:ZnO**



**Figure 5. Spectral photo-response of a-Si:H**



on bare flat Al:ZnO is higher as compared to that of a-Si:H on AgNPs prepared on flat Al:ZnO which is in accordance to the optical extinction in figure 4. This can be attributed to the parasitic absorption of AgNPs in this wavelength range. Above 550 nm, the spectral photo-current of a-Si:H on

AgNPs prepared on flat Al:ZnO exceeds that of a-Si:H of bare flat Al:ZnO. Textured Al:ZnO boosts the photo-current much higher than AgNPs fabricated on flat Al:ZnO. Adding AgNPs fabricated at 200 °C on textured Al:ZnO further improves the spectral photo-current. The highest spectral photo-current over the entire wavelength range is measured from a-Si:H deposited on textured Al:ZnO decorated with AgNPs prepared at 300 °C.

## CONCLUSION

We investigated the optical and electrical effect of AgNPs combined with flat and randomly textured Al:ZnO on a-Si:H thin film. High haze textured Al:ZnO scattering potential overcomes the scattering potential of AgNPs prepared on flat Al:ZnO. AgNPs combined with randomly textured Al:ZnO has the highest optical extinction of a-Si:H thin film at energies near to the band gap of a-Si:H and that the measured spectral photocurrent shows a superior increase over the entire wavelength range.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Mr. Sedat Canlı for help in SEM sessions and Mr. Mete Günöven for his support with optical measurements.

## REFERENCES

1. Berginski, M., Hüpkles, J., Reetz, W., Rech, B., Wuttig, M. 2008. *Thin Solid Films* 515: 5836-584
2. Yablonoitch, E., Cody, D.G. 1982. *IEEE Trans. Electron Devices* 29: 300.
3. Boyd, R.W. 1983. *Radiometry and the Detection of Optical Radiation*. Newyork: Wiley.
4. Catchpole, K.R., Polman, A. 2008. *Optics Express* 16: 21793.
5. Nasser, H., Saleh, Z.M., Özkol, E., Günöven, M., Bek, A., Turan, R 2013. *Plasmonics* 8: 1485-1492.

# YÜKSEK KATMA DEĞERLİ KAPLAMALAR İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE MODELLEME ÇALIŞMALARI



## Dr. Behiç Kerem Gören

Şişecam Topluluğu, Düzcamlar Grup Başkanlığı, Trakya Glass Bulgaria EAD  
Düzcamlar Fabrikası  
kgoren@siseccam.com

## Faruk Durulmuş

Şişecam Topluluğu, Düzcamlar Grup Başkanlığı, Trakya Cam Sanayii A.Ş.  
Düzcamlar Grubu  
fdurulmus@siseccam.com

Dr. B. Kerem Gören 1999 senesinde Üniversite giriş sınavında Koç Üniversitesi Kimya Bölümüne burslu olarak kabul edilmiştir. 2002 senesinde Frankfurtta o zamanki adıyla Degussa şirketinde (şu an Evonik) yaz stajı yapmış, Fumed Silikanın sıvıların akışkanlığına olan etkileri üzerinde çalışmıştır. 2003 senesinde sadece 20 üniversite çağında genç bilim insanına verilen bir bursla Virginia Polytechnic Institute'da yaz stajı yapmış, Elektromekanik tepki veren polimer kompozitlerinin yaralanmış ve uzuv kaybı yaşayan askerler için kas yerine kullanılabilmesi için araştırmalarda bulunmuştur. Koç Üniversitesinden mezun olmasının ardından Sabancı Üniversitesinde Malzeme bilimi ve Mühendisliği bölümüne yine burslu olarak kabul edilmiş ve Yangın durumunda kendi kendini söndüren polimerik kompozitler üzerine yüksek lisansını tamamlamıştır. Mezuniyetinin ardından Amerikada NSF'in (National Science Foundation) verdiği bursla Doktora çalışmalarını yürütmek için New York eyaletinde bulunan Rensselaer Polytechnic Institute'a kabul edilmiştir. Doktorası sırasında Malzeme bilimi ve mühendisliği bölümünde tez danışmanları ile çalışmalarını yürütmüş nanoparçacık sentezi, nanoparçacık yüzey kimyası modifikasyonu ve nano ölçekte söz konusu parçacıkların dağılma davranışlarının nanokompozitler içinde kontrol edilmesi için çalışmalarda bulunmuştur. 2011 Senesi Ocak ayında Deneysel Organik Kimya alanında Doktorasını almış ve takiben de Şişecam'a başvurmuştur. Şişecam'da Yenişehir Düzcamlar Fabrikasında Kaplama Hattında İşletme Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2 yıl sonra 2013 senesinde Bulgaristanda kurulan Kaplama Hattına Üretim Şef Mühendisi olarak atanmış ve hala buradaki görevine devam etmektedir.

## ÖZET

Yüksek katma değerli yeni kaplamaların oluşturulması tek başına bu kaplamaları oluşturan katman yapılarının tespiti ile değil, daha bütüncül bir yaklaşımla mümkündür. Birbirini bütünlükçi yaklaşımla yürütülen çalışmalar 3 ana başlıkta devam etmektedir. 3 başlıkta yürütülen çalışmalardan ilki Şişecam'ın kendi kaplama hattının Şişecam tarafından tasarlanması ve kaplama hattı makine parçalarının tasarımı ve üretilmesi için teknik know-how yaratılmasıdır. Bu yaklaşımla yapılan tasarımların hesaplamalı akışkanlar dinamiği destekli proses iyileştirmeye katkıları azami ölçüde olacaktır (Ör: reaktif sputtering'de yan gazın kamara içindeki pozisyonunun target yüzeyinde oluşan zehirlenmeye etkisi). Yapılan çalışmaların ikinci ayağında ise üretilen kaplamaların tekli katmanlarının hat enine homojenitelerinin fiziksel ölçüm alınmadan hesaplamalı yöntemlerle değerlendirilebilmesine çalışılmaktadır. Bu çalışma sayesinde iyileştirilmiş homojenite ile yeni ürün çalışmalarında ve halihazırda

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:29-34  
©Şişecam

üretileen kaplamalı ürünlerde hem denenen katmanın verdiği mekanik ve termal sonuçlardan emin olunabilecek, hem de üretimde cam yüzeyinde bölgesel farklılıklar olmadığı için kaliteye olumlu katkısı olacaktır. Yürütölen çalışmaların son ayağında ise, üretimin takibi ve proses müdahalesi için hızlı reaksiyon gösterilmesine yönelik olarak yeni gözlem metodları oluşturulması için bilgisayar programlama yöntemlerinin geliştirilmesi bulunmaktadır. Böylece üretimin şu ana kadar olduğu gibi sadece tek bir camın enine gözlemlenmesine ek olarak ölçümlere zaman uzayının da katılması ile üretimde trend'i etkileyen faktörlerin daha net gözlemlenebilmesi ve müdahalesi mümkün olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** *Modelleme, Bilgisayar Destekli Tasarım, Magnetron Sputtering, PVD, Fonksiyonel Kaplama, Katma Değerli Ürünler*

## 1. GİRİŞ

Artan şehirleşme ve iş gücünün giderek yüksek binalarda yoğunlaşması, mimarları yaşanan ve çalışılan binaların ağırlıklı olarak duvar ve bunun gibi saydam olmayan yapısal ünitelerden oluşturulduğu projelerden uzaklaştırmaktadır [1]. Bu sebeple insana olumlu katkıları olan, doğayığörebileceği, içeriye doğal ışık alan, enerji kullanımında tutumlu yaklaşımlara sahip yaşam ve çalışma alanları artmaktadır.

Söz konusu mimari uygulamalar için cam üzerine ince film kaplamalar uygulanmaktadır ki, yapısal ünite olarak artan oranda kullanılan cam yerini aldığı yapısal ünitelerin ısı performanslarını yakalayabilsin. İnce filmler camın üzerine kaplanılarak ya camın söz konusu mekandan ısı kaybını engelleyerek ya da dışarıdan gelen ısınmaya sebep olan güneş ışınlarını kontrol ederek söz konusu performans artışı sağlanmaktadır. Bu amaç için üretilen camların büyük bir kısmı hat dışı fiziksel saçılım metodu ile kaplanmaktadır. Söz konusu metod ile üretim yapmak için gerçekleştirilen yatırımların daha çabuk kendini karşılması ve karlılığın fazla olması ise artan üretim hacimleri, artan üretim kalite performansı ve giderek karmaşıklaşan katman yapılarının geliştirilmesi ile mümkündür [2].

Bu noktada, Şişecamda kaplamaların üretildiği hatların

dizayn edilerek proses iyileştirmesi yapılması, olası sorun olabilecek target davranışlarının simülasyonlarla modellenerek daha fiziki denemeler yapılmadan makine/dizayn iyileştirmesi yapılması, yeni katman yapılarının denenirken süreç hızlandırması için fiziki ölçüm yerine hesaplamalı metodların kullanılması, ve üretim sırasında daha hızlı reaksiyon gösterilmesini sağlayacak hesaplamalı gözlem metodlarının oluşturulması yeni, iyi ve gelecek vaad eden katma değerli kaplamaların üretilmesine olanak sağlayacaktır. Bu noktada 3 koldan çalışmalar yürütölmektedir.

## 2. DENEYSSEL METODLAR

Söz konusu panoramik çalışmada her kolda kullanılan metodlar ve detaylar ilgili alt başlıklarda anlatılacaktır.

### 2.1. Kaplama hattı 3 boyutlu katı model tasarımları

Bir sonraki aşamada kaplama hattının içindeki iyon davranışlarının, target erozyonunun ve veriminin, kamara içi gaz dağılımının, soğutma veriminin modellenebilmesi için öncelikli olarak ilgili parçaların 3 boyutlu katı modelleri çizilmektedir. Bu katı model çizimi için Dassault systems'in CATIA V5R21 isimli programı kullanmıştır. Söz konusu programda kompleks sistemler parçalar halinde ayrı ayrı çizilmiş olup daha sonra bir araya getirilmişlerdir.

### 2.2. Hesaplamalı tek katman kalınlığı ölçümleri

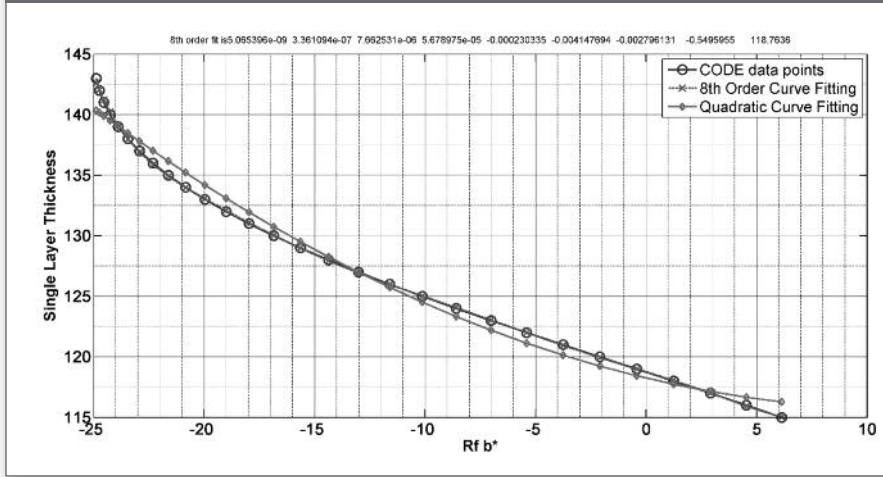
Ex-Situ olarak adlandırdığımız online spektral ölçüm sistemimiz kaplama hattından çıkan her şarjın görünür bölge içerisinde spektral ölçümünü yapar. Ölçümler şarjın belirli bir kısmından enine 10 santimetrelik aralıklarla yapılır ve her bir şarj için toplamda 32 noktanın ölçümü yapılmış olur. Söz konusu 32 noktanın, aynı anda Geçirgenlik, Film tarafı yansıtma ve Cam tarafı yansıtma değerleri ölçölür.

Optik verilerden hareketle fiziksel ölçüm alınmadan katmanın ölçüm yapılan bölgelerinin kalınlık hesabı, CODE simülasyon verileri ve yukarıda anlatılan 32 noktanın kaplama tarafı yansıma  $b^*$  değerleri vasıtasıyla yapılmaktadır.

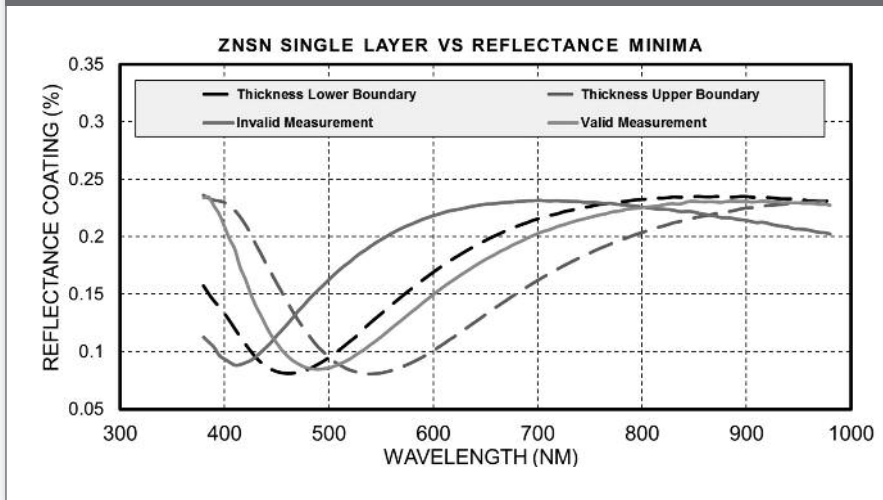
Kullanılan programda herhangi bir katmanın her bir nanometredeki kalınlık ve  $b^*$  değerini karşılaştırmalı olarak saklanır. Saklanan bu veriler incelenerek ilgili katman için



**Şekil 1. Simülasyona parametrik çözümleme yapılmış ve eğri denkleminin elde edilmesi.**



**Şekil 2. ZnSn simülasyonu sınır koşulları**



sınır koşulları oluşturulur. Bu koşullar her katman için farklı kaplama yansımaya miniması ve  $b^*$  değerlerindedir.

Simülasyon ve analiz sonucunda ilgili katman için kullanılacak olan kalınlık aralığında hangi  $b^*$  verisinin hangi kalınlığa denk geldiği simülasyon verisine yapılan eğri parametrik çözümlemesi ile Şekil 1'de sonucu görülen Matlab'da yazılan bir kod ile saptanır. Eğri çözümlemesi yapılırken en yakın sonuçları elde etmek için farklı derecelerden polinomial fit'ler uygulanır. En son aşamada 8. dereceden polinom fit'i iyi sonuç verdiği tespit edilmiş olup, kullanılmaktadır.

Deneme amacıyla hatta cam üzerine tek katman olarak ilgili malzeme kaplanır. Kaplanan bu malzemenin kaplama

tarafı yansımaya davranışının ilgili sınır koşullarında olup olmadığı Ex-Situ makinasında yapılan ölçüm sonrası yapılan analizde tetkik edilir. Eğer tek katman Şekil 2'de istenilen sınır koşullarını karşılıyorsa, söz konusu ölçümün kaplama tarafı yansımaya  $b^*$  verileri eğrifit'ten elde edilen denkleme konular ve her bir nokta için kalınlık hesabi olarak kayıt edilir.

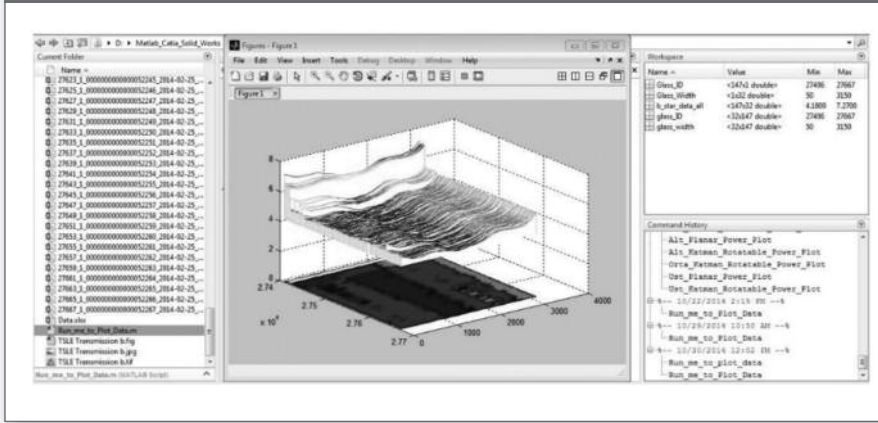
**2.3. Üç boyutlu proses analizi ve gelişmiş üretim refleksi**  
Ex-Situ olarak adlandırdığımız online spektral ölçüm sistemi kaplama hattından çıkan her şarjın görünür bölge içerisinde spektral ölçümünü yapar.

Ölçüm sistemi tüm bu ölçüm sonuçlarını "CSV" (Comma Separated Values) formatında bir dosya olarak saklar.

Şekil 3. Excel dosyasında istenilen formatta işlenmiş veri

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Measurement position x [mm]	50	150	250	350	450	
2				Measurement position y [mm]	400	400	400	400	400	
3	Şarj No	Ölçüm No	Zaman Bilgisi	Ölçülen Değer Başlığı						
4	27292	88015	2014-04-17_22-43-04	b*	3,85	3,65	3,47	3,43	3,45	
5	27293	88016	2014-04-17_22-44-02	b*	3,62	3,46	3,32	3,29	3,37	
6	27294	88017	2014-04-17_22-45-01	b*	3,7	3,51	3,38	3,36	3,4	
7	27295	88018	2014-04-17_22-46-01	b*	3,58	3,37	3,25	3,27	3,33	
8	27296	88019	2014-04-17_22-46-59	b*	3,64	3,47	3,3	3,29	3,34	
9	27297	88020	2014-04-17_22-47-57	b*	3,69	3,48	3,4	3,33	3,4	
10	27298	88021	2014-04-17_22-48-57	b*	3,7	3,49	3,37	3,37	3,39	
11	27299	88022	2014-04-17_22-49-56	b*	3,77	3,61	3,45	3,45	3,47	

Şekil 4. Matlab'da yazılan kod vasıtası ile 3 boyutlu oluşturulan veri



Dosya içeriğinde, ölçümü yapılan şarja ait 32 noktanın, aynı anda Geçirgenlik, Film tarafı yansıtma ve Cam tarafı yansıtma değerleri ölçülmüştür. Her bir ölçüm grubu için L\*, a\* ve b\* olmak üzere üç ayrı değerleri ile birlikte ; şarj numarası, ölçüm numarası, tarih ve zaman bilgisi, ölçüm noktalarının konumları, yüzey direnci değerleri ve veri başlıkları bilgileri bulunur. CSV formatlı bir adet dosyada sadece optik ölçümlerden gelen veri sayısı 11.904 adettir. İşlenmesi gereken veri dosyası sayısının en az yüzlerle ifade edildiğini düşünürsek birkaç milyon adetevaran verinin başka sistemler tarafından kullanılmak üzere formatlanması ve anlaşılabilir hale getirilmesi gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır.

Hazırlanan bir Visual Basic (VBA) uygulaması ile sınırsız sayıda CSV formatlı dosyadan istenilen bilgiyi süzüp bir Excel dosyasına istenilen formatta ve farklı sayfalara yazdırabilmektedir. Uygulama, sırasıyla her bir ham veri dosyasını tek tek açıp, istenilen verileri ayrıştırarak ana Excel dosyası üzerinde bulunan kendine ait sayfaya

yazmaktadır. Böylelikle işlem sonunda elde istenilen yapıda tek bir dosya bulunmaktadır. Verilerin nihai hali Şekil 3'te görülmektedir.

Hazırlanan bir Matlab kodu ile sınırsız sayıda veriyi bir Excel dosyasından istenildiği formatta ve farklı hesaplamalar için çağırabilmektedir. Uygulama aşağıda Şekil 4'te görülebileceği üzere, kendisine tanımlanan kurallar ve parametreleri oluşturmakta ve daha sonra istenen analizi 3 boyutlu olarak ve istenildiği kadar odaklanabilecek kadar oluşturmaktadır.

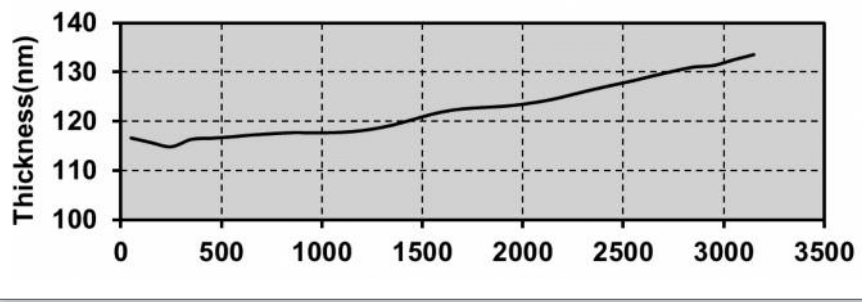
### 3. SONUÇ

Kullanılan CATIA R5V21 programı ile 3 boyutlu katot katı modeli Şekil 5'te görülebileceği üzere oluşturulmuştur. Bu katı model vasıtası ile sonraki kaplama hatları için konsept dizaynı yapmak mümkün olduğu gibi, bu katı modelin hazırlanması halihazırda çalışan katotlardaki iyon transferi, kamara içi gaz dağılımı, target erozyon profili, soğutma verimi, kaplama homojenitesi gibi hesaplamalı

**Şekil 5. Bulgaristan hattındaki katodun birebir replikası olan 3 boyutlu katı model**



**Şekil 6. Optik parametrelerden hareketle tek katman kalınlık hesaplaması**



akışkanlar dinamiği çözümleri için de ön gerekliliktir. Söz konusu çalışmalar fiziki denemelerden çok daha çabuk ve ekonomik açıdan verimli sonuçlar doğuracaktır. Yürütülen çalışma bütün hattaki parçalara yayılıp ileriki safhalar için çalışmalar devam etmektedir.

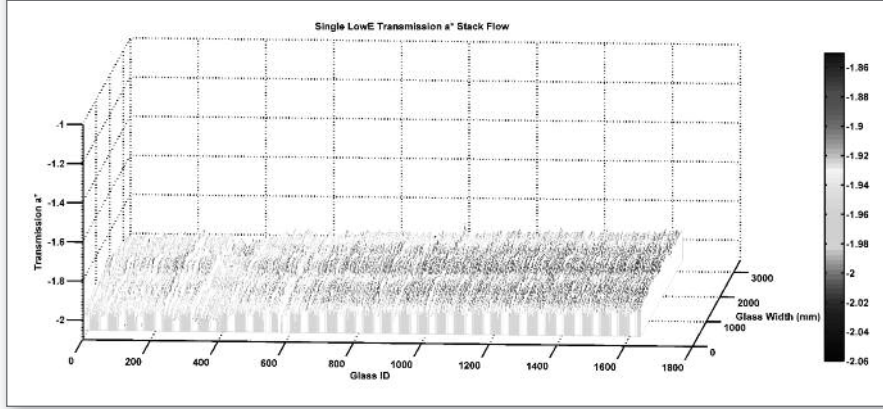
İlk aşamada oluşturulan katot ve kamara katı modeli ile kamara içi gaz dağılımı ve bu dağılımın zor target malzemelerinde (Örnek:SiAl target) yüzey zehirlenmesine etkisi araştırılacaktır. Halihazırda iki kaplama üretim hattında aynı target malzemesi kullanılmakta olup bir üretim hattında azot yardımcı gazı ile yapılan reaktif modda kaplanan katman ilgili targetin yüzeyinde zehirlenmeye sebep olmaktadır. Diğer üretim hattında ise aynı target malzemesi aynı yan gaz ile 2 katı güç ile kullanım ömrünün sonuna kadar sorunsuz çalışmaktadır. Bu karşılaştırmalı durum hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve hazırlanan katı modeller vasıtası ile çözülebilecektir ve çözülmesi ile birlikte hem target malzemeleri kullanım ömrünün sonuna kadar sorunsuz

harcanabilecek hem de ilgili hatta başka katman yapıları ile çalışmalar sorunsuz gerçekleştirilebilecektir. Bir sonraki araştırma konusu olan katman kalınlığının optik ve malzeme bilimi sayesinde fiziki ölçüm alınmadan hesaplanabilmesi için deneme amacıyla hatta cam üzerine tek katman olarak ZnSn kaplanmıştır.

Kaplanan bu malzemenin katman kalınlığı cam eni boyunca hesaplanmıştır. Camdan alınan fiziksel ölçümlerle karşılaştırıldığında en fazla %3 hata payıyla hesaplamaların gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu da genelde kullanılan 20 nm'lik bir kaplamada 0.6 nm hata payıyla ölçüm yapılırken, 32 noktadan fiziki kalınlık analizi 16 saat sürerken bu hesaplamalı yöntem ile 5 dakika mertebesinde yapılabilmektedir. Şekil 6'da görülen hesaplama sonrasında camın eni boyunca gerekli trim ayarları yapılabilmektedir.

Söz konusu katman kalınlığının matematiksel olarak hızlı

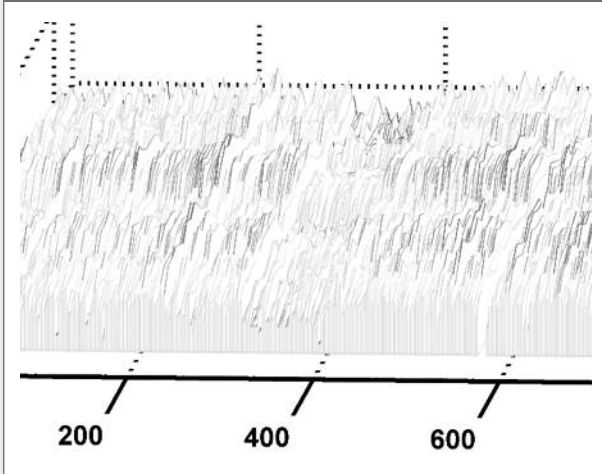
**Şekil 7. Kaplama renk değerlerinin 3 boyutlu analizi. Zaman etkisinin de gözlemlenmesi ve etkilere müdahalenin kolaylaşması**



bir şekilde hesaplanması sayesinde var olan ürünlerde jumbo camın herhangi bir bölgesinde renk farkı olmayacağı için bu konudaki olası reklasyonlar oluşmadan engellenebilecektir. Ayrıca yeni ürün geliştirilmesi çalışmalarında henüz katman yapısına karar verilmesi aşamasında çoklu katmanı oluşturan tek katmanların birbiri ile ilişkisinin net ve doğru analiz edilebilmesi için katman homojenitelerinin hızlı bir şekilde tayin edilebilmesi sayesinde harcanan zaman, enerji ve iş gücünün de optimum yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

Üçüncü ve son araştırma ayağında geliştirilen analiz metodu

**Şekil 8. Şekil 7'deki 3 boyutlu veri detaylı bir şekilde takip edilebilmektedir.**



sayesinde istenilen optik özellik hem camın eni boyunca hem de zaman uzayındaki farklı camlarda incelenebilmektedir. Metodun sağladığı esneklikle yapılan analiz 3 boyutlu olarak döndürülebilmekte (Şekil 6) ve istenilen bölgeye odaklanılabilmektedir (Şekil 7). Böylece üretim trendini etkileyen herhangi bir anomali hemen fark edilip müdahale edilebilmektedir.

Deneme amacıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilen üretim verilerinde 300. Şarj ile 400. Şarj arasında Jumbo ebat cam yerine Makina Ebadı cam alınmış olup geçirgenlik  $a^*$  değerinde 0.14 değer yeşile kaymaya sebep olmuştur. Üretim toleransı söz konusu parametre için yaklaşık 0.5 değer olup üretimde herhangi bir soruna sebep olmayan bu değişim rahatça takip edilebilmiştir. Bu noktada geliştirilen metodoloji çok daha kuvvetli odaklanmalar yapabilmekte olup, burada tek kısıt oluşturulan dosyanın sıradan bir bilgisayar için işlemci yoğun hale gelmesidir.

### 3. KAYNAKLAR

1. Theiss, W. (2004). Looking through walls-Coating on glass for buildings. COSP'04 conference in Berlin, Retrieved february 23, 2014 from the World Wide Web:[http://www.mtheiss.com/download/looking\\_through\\_walls.pdf](http://www.mtheiss.com/download/looking_through_walls.pdf)
2. Hagenström, H., Nauman, K. 2014. Coating plant developments. Glass Worldwide, 55, 64.

# ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN CAM YÜZEYİNDE İŞIĞIN YÖNETİLMESİ



**Prof. Dr. Raşit Turan**

Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (GÜNAM) ve Fizik Bölümü,  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
turandr@metu.edu.tr

*Prof. Dr. Raşit Turan B.Sc. ve M.Sc. derecelerini 1985 yılında ODTÜ Fizik Bölümü'nde tamamladı. Aynı yıl Oslo Üniversitesi'nde Fiziksel Elektronik alanında başladığı doktora eğitimini 1990 yılında tamamladı. İsveç Linköping Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmalarda bulundu. 1991 yılında ODTÜ'ye öğretim üyesi olarak döndü ve o tarihten itibaren bu görevini sürdürüyor. 1995 yılında Kanada Toronto Üniversitesi'nde bir süreliğine misafir öğretim üyesi olarak görev yaptı. Başlıca araştırma konusu yarıiletken malzeme ve aygıtlar fiziği ve güneş gözesi teknolojileri olarak belirtilebilir. Uluslararası dergilerde 130 ün üzerinde makalesi yayınlandı. Çeşitli ulusal ve uluslararası proje yönetti ve yönetiyor. Bu projeler arasında son yıllarda yürüttüğü ve tamamladığı AB 6.Çerçve projeleri SEMINANO ve METU-CENTER projeleri ülkemizin AB Çerçve Programlarına katılımında büyük önem taşıdı. Prof. Turan, DPT tarafından desteklenen ODTÜ Merkezi Laboratuvar projesinde çalıştı. Daha sonra yine DPT tarafından desteklenen Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (GÜNAM) projesini yönetti. Merkezi Laboratuvar ve GÜNAM, ODTÜ'de ulusal çapta hizmet veren mükemmeliyet merkezleri haline geldi. Prof. Turan, halen Merkezi Laboratuvar Yönetim Kurulu üyeliği ve GÜNAM müdürlüğü görevlerini sürdürmektedir.*

## ÖZET

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretimi için kullanılan fotovoltaik (PV) teknolojilerin hemen tamamında cam önemli bir element olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya PV piyasasında %90'ın üzerinde paya sahip kristal silisyum (c-Si) tabanlı sistemlerde cam, hem koruyucu ve taşıyıcı bir rol oynamakta, hem de güneş ışığının içinden geçtiği optik bir fonksiyona sahiptir. İnce film PV sistemlerinde ise, cam, güneş hücresinin üzerine imal edildiği bir alttaş olarak daha kritik bir öneme sahiptir. Camın fiziksel ve kimyasal özellikleri ince film güneş hücrelerinin performansını doğrudan etkiler. Hemen tüm PV uygulamalarında camın geçirgenliğinin artırılması ve/veya yansımayı azaltıcı katmanların kullanılması önemli verim artışına neden olur. Bu alanda önemli başarılar elde edilmiş ve bazı teknolojik ürünler üretim hatlarında yerini almıştır.

Cam yüzeyinin şekillendirilmesi ya da plasmonic metal nanoparçacıklar kullanarak ışığın daha iyi yönetilmesi ve bu yolla cama yeni fonksiyonlar kazandırılması son yıllarda üzerine durulan konulardır. Cam yüzeyinin şekillendirilmesinin özgün bir yolu Alüminyum yardımı ile aşındırma (AIT) yöntemidir. Bu yöntemde cam yüzeyi ince Al metali ile kaplanır ve yüksek

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:35-36  
©Şişecam

---

sıcaklıkta tavlınır. Böylece Al atomları  $\text{SiO}_2$  ile reaksiyona girer ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oluşturur. Daha sonra uygun kimyasal aşındırıcılar kullanılarak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yüzeyden kaldırılır. Bu işlem sonunda geride nanometre boyutlarına sahip şekillerden oluşan bir yüzey kalır. Bu tür bir yüzey, ışığın kontrollü biçimde saçtırılması ile üzerindeki ince filmlerde daha uzun yol almasını sağlar. Benzeri bir etki, cam yüzeyi metal nanoparçacıklarla kaplandığında da ulaşılabilir. Metal nanoparçacıklar, içindeki serbest elektronların ışığın etkisi ile plasmonik salınım yapması sonucu belirli dalga boylarında şiddetli saçtırma özelliği gösterir. Bu saçtırma nedeni ile yüzeyin geçirgenliği, soğurma özellikleri ve ışığın yönü değişir. Bu değişimin yönetilmesi ile camın yüzeyinin

ve yüzeyde yer alan ince filmlerin optik ve elektronik özellikleri geliştirilebilir.

Cam yüzeyinin AIT yöntemi ile şekillendirilmesi ve metal nanoparçacıkların kontrollü biçimde üretilmesi ve ince filmlere uygulanması konusunda ODTÜ GÜNAM da bir süredir çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalarda cam yüzeyinde ışık yönetimi konusunda önemli bir yol alınmış ve bilgi birikimi oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçların bir özetini ve tartışmasını bu sunumda verilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** Enerji, Fotovoltaik, Kaplama, İnce film

# Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> YARI İLETKEN BİLEŞİĞİNİN GÜNEŞ HÜCRESİ UYGULAMALARI İÇİN CAM ALTTAŞ ÜZERİNDE ELDESİ



**Şebnem Yazıcı<sup>1</sup>, Mehmet Ali Olgar<sup>2</sup>, Fatime Gülşah Akça<sup>1</sup>, Metin Kurt<sup>1</sup>, Gülnur Aygün<sup>1</sup>, Ekrem Yanmaz<sup>2</sup>, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü

sebnemyazici@iyte.edu.tr  
malioigar@ktu.edu.tr  
gulsahakca@iyte.edu.tr  
metinkurt@iyte.edu.tr  
gulnuraygun@iyte.edu.tr  
yanmaz@ktu.edu.tr  
lutfiozyuzer@iyte.edu.tr

*Şebnem Yazıcı, Ege Üniversitesi Fizik Bölümü mezunu, Yüksek Teknoloji Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisidir.*

## ÖZET

Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) bileşiği, p-tipi yarı iletkenlik özellik gösteren ve ince film güneş hücrelerinde yüksek soğurucu katsayısı özelliği nedeniyle de soğurucu katman olarak görev yapabilen bir bileşiktir. Günümüz ince film fotovoltaik teknolojisinde %13 verim sağlayan ince film amorf silisyum (a-Si:H) dışında yaygın olarak kullanılan iki tür yarıiletken bileşik vardır. Bunlar, halihazırda %20'lerde verim sağlayabilen CdTe ve CuInxGa1-xS(Se)<sub>2</sub> (CIGS)'dir. Bu bileşiklerin içeriğindeki In, Ga ve Te gibi elementlerin yüksek maliyeti, düşük yeryüzü rezervi ve toksik özellik göstermesi, a-Si:H ince film güneş hücrelerinin ise düşük verimli ve kısa kullanım ömürlü olması sebepleriyle, çevreye dost ve düşük maliyetli CZTS bileşiğinin yeni nesil güneş hücresi teknolojisinde kullanılması, fotovoltaik endüstrisinde oldukça umut vaat etmektedir. CZTS bileşiği direk yasak bant aralıklı bir yarı iletken olup, soğurma katsayısı 104 cm<sup>-1</sup> in üzerinde, yasak bant aralığı ise 1.45–1.6 eV civarındadır ve yüksek verimli ince film güneş hücrelerinde soğurucu katman görevi yapan katmanı oluşturur [1]. 2014 yılında %12.6 verime ulaşılan CZTS ince film güneş hücrelerinin[2], Shockley-Quessier teorik verimlilik hesaplamaları sonucunda maksimum %30 verim alınabileceği hesaplanmıştır [3]. Molibdenyum (Mo), ince film güneş pillerinde en çok kullanılan arka kontak metalidir. Çalışmamızda CZTS yapısı, çift katman Mo kaplanmış soda camı alttaş [4] üzerinde ikili katman haline büyütülmüş Mo ince film arka kontak katman üzerinde büyütülmüştür. Yüksek vakumda dört-kaynaklı miknatıssal saçırma yöntemiyle, Mo ince film kaplı alttaşlar üzerinde sırasıyla Zn/Sn/Cu filmleri belirlenen kalınlıklarda büyütülmüştür. Büyütülen ince filmlerin, 500 °C'nin üzerinde argon (Ar) gazı eşliğinde sülfür buharı kullanılarak sülfürleme işlemi yapılmıştır. Örneklerimizin yapısal karakterizasyonları; XRD, Raman Spektroskopisi, XPS, EDS ve SEM analizleri yapılmıştır. XRD analizinde, kesterit yapıdaki CZTS bileşiğinin öncül olarak 2θ=28.57° de oluşması gereken (112) yüzeyinden gelen kırınım piki ve diğer karakteristik pikler gözlemlenmiştir. Raman Spektroskopi analizi sonucunda ise 338 ve 287 cm<sup>-1</sup>'de görülen pikler XRD analizi sonuçlarını desteklemektedir [5]. SEM görüntülerinde CZTS kristallerin oldukça yoğun, birbirine geçmiş homojen bir yapıya sahip olduğu ve geniş tane büyüklükleri içerdiği gözlemlenmiştir. Sıcaklığa bağlı elektriksel ölçümlerde ise dört nokta metodu ile yüzey direnci ve öz direnci; Van der Pauw metoduyla da p-tipi yarı iletken yapısında olup, deşik taşıyıcı yoğunluğunun 6.8x10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup>, mobilitelerinin ise 0.40 cm<sup>2</sup>/Vs olduğu bulunmuştur.

*\*Bu çalışma 112T068 no'lu TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.*

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:37-38

©Şişecam

---

**Anahtar Sözcükler:** *Czts P-Tipi Yarı İletkeni, Soda Camı Alttaş, Mo Arka Kontak, İnce Film Güneş Hücresi*

#### **KAYNAKLAR**

1. H. Katagiri, et al., Solar Energy Materials and Solar Cells, 49,407, 1997.
2. W. Wang, et al., Advanced Energy Materials, 4(7), 2013.
3. Shockley W, Queisser HJ, J Appl Phys 32, 510, 1961.
4. Teknoma Teknolojik Malzemeler Ltd. Sti (www.teknoma.net)
5. S. Yazıcı et al., submitted to Thin Solid Films.



# SODA-KİREÇ CAM ALTLIKLARIN İNCE FİLM GÜNEŞ GÖZELERİ İÇİN ALÜMİNYUM İLE DESENLENDİRİLMESİ



**Mustafa Ünal**<sup>1,3</sup>,  
**Hisham Nasser**<sup>2,3</sup>,  
**Dr. İlkyay Sökmen**<sup>4</sup>,  
**Prof.Dr. Raşit Turan**<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Fizik Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

<sup>2</sup> Mikro ve Nano Teknoloji, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

<sup>3</sup> Güneş Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (GÜNAM), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

<sup>4</sup> Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi, Şişecam, Kocaeli

mustafa.unal@metu.edu.tr  
hisham.nasser@yahoo.com  
isokmen@sisecam.com  
turanr@metu.edu.tr

*Haziran 2014'te Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu. Şu anda alüminyum ile desenlendirme (AIT) metodu ile ince film a-Si:H güneş gözelerinin verimliliğinin artırılması üzerine çalışmaktadır. Ayrıca Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisans eğitime devam etmektedir.*

## ÖZET

Işığın hapsedilmesi, ince film güneş gözelerinin veriminin artırılması noktasında büyük önem taşımaktadır. Işık, geçirgen-iletken oksidin desenlendirilmesi, cam altlığın desenlendirilmesi ve plazmonik metal nano-parçacıkların kullanılması gibi çeşitli yöntemlerle ince film içine hapsedilebilir. Bu çalışmada, alüminyum ile cam altlık (Şişecam, soda-kireç) desenlendirilmesi metodu üzerinde çalışıyoruz. Çeşitli yüzey şekilleri alüminyum film kalınlığı, fırınlama süresi, fırınlama sıcaklığı, kimyasal aşındırma süresi, kimyasal aşındırıcıların konsantrasyonları gibi parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilebilir. Kendi çalışmamızda, alüminyum kalınlığı ve HF:HNO<sub>3</sub> ile aşındırma süresindeki değişimin, cam altlığın ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $\delta_{rms}$ ) ve camın ışığı saçma eğilimine olan etkisini inceledik. Sonuçlarımız alüminyum ile desenlendirilen camların yüksek  $\delta_{rms}$  değerine sahip olduğunu ve camdan geçen ışıktaki yüksek saçılma değerleri (pus) elde edildiğini gösterdi. Yüzey pürüzlülüğü ( $\delta_{rms}$ ) 117 nm olan desenlendirilmiş camda, 600 nm dalga boyuna sahip ışık için, pus değerinde 2 katı bir iyileşme görüldü. Üzerine a-Si:H film kaplanmış örneklerde, pustaki bu iyileşme kendini fotoakımda artma olarak göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum ile Desenlendirme, Yüzey Pürüzlülüğü, Işığın Saçılması, İnce Film a-Si:H Güneş Gözeleri

## 1. GİRİŞ

İnce film güneş gözeleri, hem güneşten elde edilen enerjinin fiyatının düşürülebilmesi hem de daha kolay üretilmesi için büyük bir potansiyele sahip. Şu anda silikon pul tabanlı güneş gözeleri güneş enerjisi sektöründe üstünlük sağlamalarına rağmen, hem üretimi zor hem de pahalı. Öte yandan ince film güneş gözeleri silikon pul tabanlı gözelerle oranla %1'den az silikona gereksinim duymaktadır [1]. Fakat ince film güneş gözeleri silikon pul tabanlı güneş gözelerine oranlar çok düşük bir verimlilik sağlamaktadır. Verimliliğin artırılması için ışığın ince film içinde hapsedilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için geçirgen-iletken oksidi (GIO) – a-Si:H ara yüzünün desenlendirilmesi, arka yüzeye bir yansıtıcı konulması ve cam – geçirgen-iletken oksidin (GIO) desenlendirilmesi gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir.

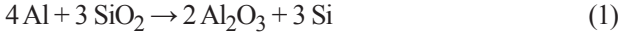
Çalışmamızda cam – GIO ara yüzeyi desenlendirilmesi konusunu inceledik. Cam,

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:39-43

©Şişecam

alüminyum ile desenlendirilme metodu ile desenlendirildi. Cam ile alüminyumun tepkimeye girmeleri için ortam sıcaklığı 400 °C'nin üzerine çıkarılması gerekir. Sıcaklığın eşik değerinin üzerine çıkartılması, Denklem 1'deki gibi bir tepkimenin yüzeyde rastgele noktalarda başlamasına sebep olur [2].

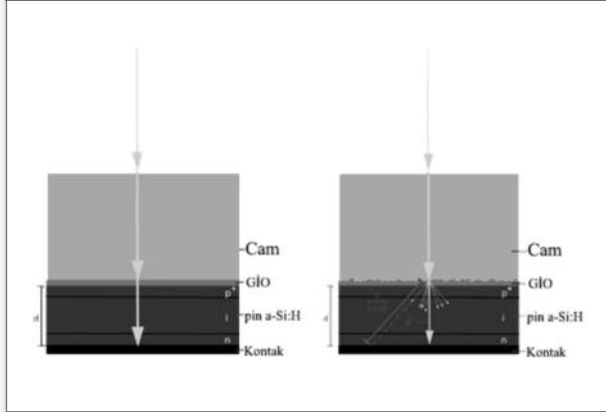


Tepkime sonucu elde edilen ürünler ise yüzeyden herhangi bir aşındırma yöntemi ile uzaklaştırıldıktan sonra elimizde desenlendirilmiş cam kalır. Desenlendirilmiş cam, düz camın aksine geçen ışığın belirli bir miktarını dağıtır. Bu dağılıma ise pus diye tanımlanır.

$$P_{us} = \frac{\text{Saçılacak Geçen Işık}}{\text{Geçen Toplam Işık}} \quad (2)$$

Şekil 2'de de görüldüğü gibi yüzeyin desenlendirilmesi ile ışığın katettiği yol artar ve dolayısıyla emilen ışık miktarında iyileşme görülebilir. Bu iyileşme kendini, fotoakımda artma olarak gösterir [4]

**Şekil 2. Düz cam ile desenlendirilmiş camın a-Si:H ince film güneş gözlerindeki farkının şematik gösterimi (basitlik açısından sadece cam ve geçirgen-iletken oksit ara yüzü desenlendirilmiş olarak gösterilmiştir)**



## 2. DENEYSEL DETAYLAR

Alüminyum ile cam desenlendirilmesi metodu ile birkaç nanometreden birkaç mikrometreye kadar çeşitli boyutlarda kraterler elde edilebilir [5]. Yüzeydeki kraterlerin boyutları ve derinlikleri alüminyum kalınlığı, fırınlama süresi, fırınlama sıcaklığı, aşındırıcı kimyasalların cinsi, bu kimyasalların

yoğunlukları ve aşındırma sürelerine bağlı olarak çeşitlilik gösterir. 3x3 cm boyutlarındaki soda-kireç camlar (Şişecam – 3 mm) çeşitli kalınlıklarda alüminyum ile ısıl buharlaştırma yöntemi vasıtasıyla  $3 \times 10^{-5}$  basınç altında kaplandı. Ardından bu örnekler 600 °C'de fırınlanarak kimyasal tepkimenin başlaması sağlandı. 1 saatlik fırınlama işleminden sonra camların üzerindeki tepkime ürünleri önce sıcak (130 °C) fosforik asit ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )'le 10 dakika, ardından da hidroflik asit-nitrik asit ( $\text{HF}:\text{HNO}_3$ ) 1:1 çözeltisi ile çeşitli sürelerde temizlendi. Hazırlanan örneklere ait bilgiler Tablo 1'de görülebilir.

**Tablo 1. Hazırlanan örnekler ve parametreler**

Örnek Adı	Alüminyum Kalınlığı (nm)	HF:HNO3 1:1 Çözeltisinde Bekletilme Süresi (sn)	Sabit Parametreler
M4a	350	15	1 saat, 600 °C'de fırınlandı. Sıcak (130 °C) fosforik asitte 10 dakika aşındırma işlemi yapıldı.
M4b	350	20	
M4c	350	25	
M6a	120	15	
M6b	120	20	
M6c	120	25	
M7a	150	10	
M7b	150	15	
M7c	150	20	

Optik ve morfolojik ölçümler yapıldıktan sonra fotoakımda bir iyileşme olup olmadığını görebilmek için örneklerden 3 tanesini 300 nm a-Si:H ile kapladık ve spektral tepkilerini ölçtük.

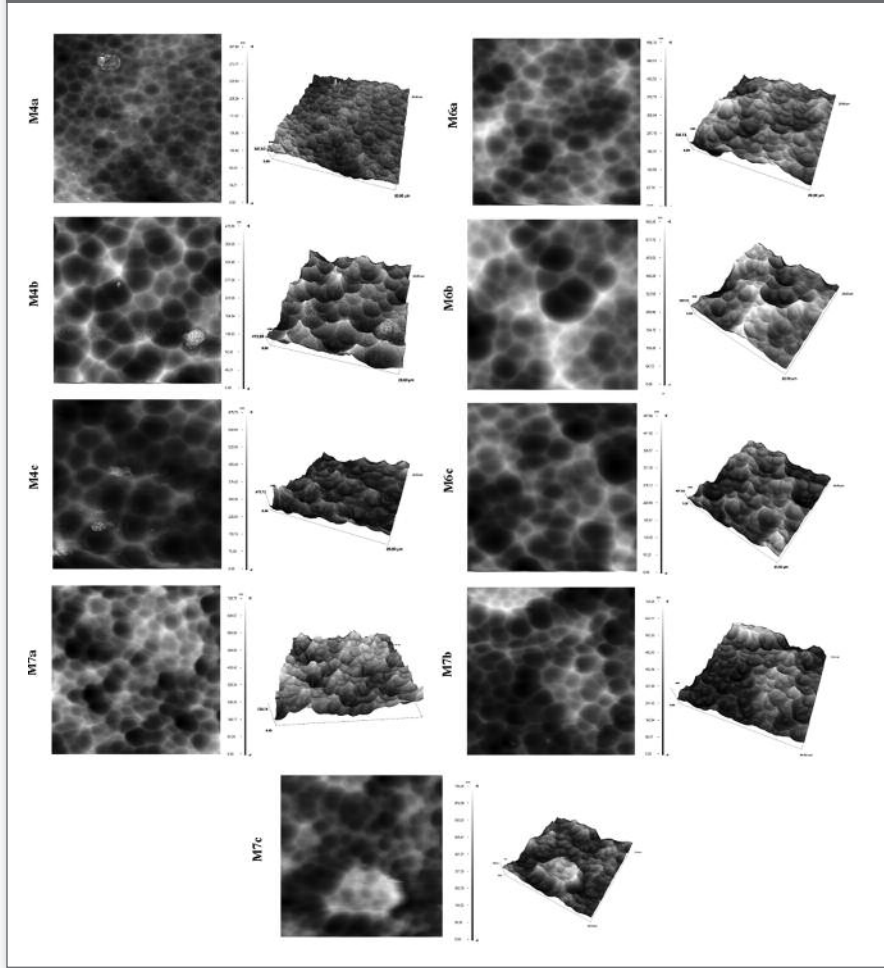
## 3. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Atomik kuvvet mikroskobu ile incelediğimiz yüzeylerde U benzeri, çeşitli derinliklerde krater yapıları gözlemlendi. Tablo 2'de örneklerin pürüzlülük ( $\sigma_{rms}$ ) değerleri görülebilir.

**Tablo 2. Örneklerin pürüzlülükleri**

Örnek Adı	Pürüzlülük ( $\sigma_{rms}$ )
M4a	35 nm
M4b	66 nm
M4c	89 nm
M6a	75 nm
M6b	100 nm
M6c	80 nm
M7a	117nm
M7b	76 nm
M7c	58 nm

**Şekil 3. Örneklere ait, 20 µm x 20 µm alandan alınan atomik kuvvet mikroskobu görüntüleri**



Bu örneklere ait 20 µm x 20 µm alandan alınan ölçümler de yukarıdaki gibidir.

Buna ek olarak, küre eklenmiş fotospektrometre ile hazırlanan cam örneklerin geçirgenlik, saçılma ve soğurma ölçümleri yapıldı. Sonuçlar aşağıdaki grafiklerde görülebilir.

Optik ve morfolojik karakterizasyon işlemi tamamlandıktan sonra referans örneği ile birlikte M4c, M6a, M6c örneklerinin a-Si:H ile kaplandığında spektral tepkilerinin nasıl değiştiği ise Şekil 7'de görülebilir.

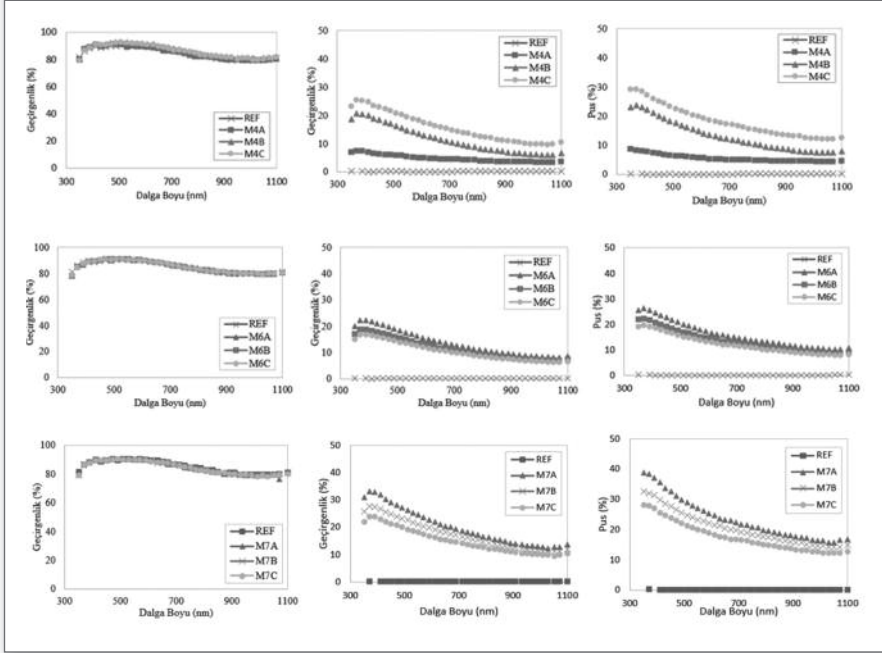
#### 4. DEĞERLENDİRME

Öncelikle M4a, M4b ve M4c setini karşılaştırsak, aşındırma süresinin artmasıyla yüzeyin pürüzlülük değerinin sürekli olarak arttığını görüyoruz. Atomik kuvvet mikroskobunda bu değişimin nasıl olduğunu açıkça görebiliyoruz. M4a

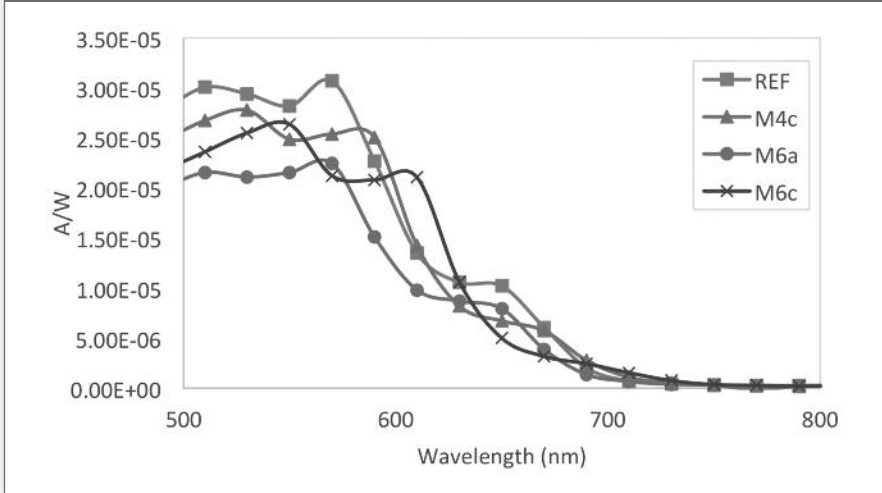
örneği küçük kraterlere sahip iken daha fazla HF:HNO<sub>3</sub> çözeltisine maruz kalması sonucu kraterler birleşmekte, bu da yüzeyin pürüzlülüğünü arttırmaktadır. M4b örneği bu yüzden daha büyük kraterlere sahip fakat Şekil 3'te görüldüğü gibi kraterlerin görece sivri tepeleri mevcut. Aşındırma süresini biraz daha arttırdığımızda ise bu sivri tepelerin de yok olduğunu görüyoruz ve ortalama yüzey pürüzlülüğü 89 nm'ye çıkıyor ki M4c örneği bu 3 örnek içerisinde en yüksek pus değerine sahip. Yüzeyi bu yöntemle desenlendirirken toplan geçen ışıkta ve cam tarafından soğurulan ışıkta bir değişim meydana gelmezken, yüzeyden geçip saçılan ışık miktarı da Şekil 4'te görüldüğü gibi önemli ölçüde artmaktadır.

M6a, M6b ve M6c örneklerini incelersek eğer, önceki örneklerden daha farklı bir tablo ile karşı karşıya olduğumuzu görürüz. Yüzey pürüzlülüğü sürekli artmamakta, önce artıp

Şekil 4. Soldan sağa doğru örneklerin geçirdiği ışık miktarı, saçılarak geçen ışık miktarı ve pus grafikleri verilmiştir.



Şekil 5. M4c, M6a ve M6c örneklerinin spektral tepki grafikleri



sonra azalmaktadır. M6a'nın yüzeyindeki kraterler küçük fakat pus değeri diğer iki örnekten daha fazla. Bunun sebebini diğer iki örneğin atomik kuvvet mikroskobundan alınan resimlerini inceleyerek görebiliriz. Şekil 3'te de görüldüğü gibi M6b örneğinin kraterlerini boyutu, M6a'dan daha büyük. Bu da görece daha düşük açılı yüzeyler meydana getirmektedir. Öte yandan M6c örneğini inceleyince, yüzeydeki krater boyutu neredeyse aynı kalmasına rağmen, yüzey pürüzlülüğü düşmektedir ki zaten M6c en düşük pus değerine sahip.

Son olarak M7a, M7b ve M7c örneklerini inceleyince, bu örnekler içinde M7a'nın en yüksek pus değerine sahip olduğunu görürüz. M7a geçen ışığın (350 nm dalga boyuna sahip) neredeyse %40'nın saçılmasına yol açmaktadır. Şekil 3'teki atomik kuvvet mikroskobundan alınan resimleri inceleyince, M7a'nın yüzeyindeki kraterlerin diğerine göre eşdeğer dağıldığını ve M7a'nın daha küçük kraterlere sahip olduğunu görürüz. Ayrıca Tablo 2'de de görüldüğü gibi, M7a diğerlerine göre yüksek pürüzlülük değerine sahip ve aşındırma süresi arttıkça, pürüzlülük azalmaktadır.

Son olarak, hazırlanan örneklerden 3 tanesinin spektral tepki grafiğini inceleyerek, a-Si:H'nun kesim dalga boyu çevresinde bir artış söz konusu olduğunu görüyoruz. Bu artış, 300 nm kalınlığındaki film için önemli bir değer çünkü aslında bu kalınlık, desenlendirilmiş yüzeylerin spektral tepki ölçümleri için fazla kalın.

## 5. SONUÇ

Çalışmalarımızda gördük ki 150 nm alüminyum ile kaplanmış camların desenleri daha iyi pus değerleri verdi (M7a örneğinde ~%40). Alüminyum film kalın ise artan aşındırma süresi, pus değerini arttırmaktadır. Çalışmalarımızda en fazla 25 saniye aşındırma yaptığımız için bu konuda kesin bir zaman sınırı belirtemeyiz. Öte yandan, ince alüminyum film kalınlıkları için ise 10-15 saniye aşındırma yeterli gelmekte ve daha fazla süre aşındırma, yüzey pürüzlülüğünün ve pus değerinin düşmesine sebep olmaktadır.

Çalışmalarınız gösterdi ki ışığın camdan geçtikten sonra aldığı yolu arttırmak mümkün. Bu da desenlendirilmiş camın ışığın ince film içinde hapsedilmesini sağlayabilecek kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. İnce film güneş gözelerinin verimlilikleri buna benzer yöntemlerle artırılabilir ve daha ucuz, daha kolay güneş gözesi üretimi gerçekleştirilebilir.

## TEŞEKKÜRLER

Proje boyunca yardımlarını esirgemeyen Mete Günöven'e, Engin Özkol'a, projeyi SAN-TEZ kapsamında destekleyen

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve bu çalışmada gerekli bilimsel ortamı sunan GÜNAM ailesine teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Wang, J., Venkataraj, S., Battaglia, C. Vayalakkara, P. and Aberle A.G. 2012. Analysis of Optical and Morphological Properties of Aluminum Induced TExtured Glass Superstrates. *Japanese Journal of Applied Physics* 51(10S): 10NB08
2. Huang, Y., Law, F., Widenborg, P. I. and Aberle, A.G. 2012. Crystalline Silikon Growth in the Aluminum-Induced Glass Texturing Process. *Journal of Crystal Growth* 361: 121-128
3. Jin, G., Widenborg, P.I., Campbell, P and Varlamov, S. 2010. Lambertian Matched Absorption Enhancement in PECVD Poly-Si Thin Film on Aluminum Induced Textured Glass Superstrates for Solar Cell Applications. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 18: 582-589
4. Zhang, W., Bunte, E., Worbs, J., Siekmann, H., Kirchoff, J., Gordijn, A. and Hüpkens, J. (n.d.) Alternative Substrate for Thin Film Solar Cells – Textured Glass. *Physica Status Solidi C* 7: 1120-1123
5. Sahraei, N., Venkataraj, S., Aberle, A.G. and Peters, M. 2014. Optimum Feature Size of Randomly TExtured Glass Substrates for Maximum Scattering Inside Thin-Film Silicon Solar Cells. *SPIE Proceeding Vol 8981: Physics, Simulation, and Photonic Engineering of Photovoltaic Devices III: 89811*

# CAM YÜZEYİ VE CAM ÜZERİNE YAPILAN KAPLAMALARIN NANOMEKANİK DAVRANIŞLARI



**Dr. Tuncay Turutoğlu<sup>1</sup>,  
Lukas Simurka<sup>1</sup>, Anıl Özen<sup>2</sup>,  
Alperen Sezgin<sup>3</sup>,  
Dr. Seniz Türküz<sup>3</sup>,  
Dr. Refika Budakoğlu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Yüzey Teknolojisi Yöneticiliği

<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Atmosferik Kaplama Teknolojileri Yöneticiliği

<sup>3</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Kaplama Teknolojisi Yöneticiliği  
tturutoglu@sisecam.com  
lsimurka@sisecam.com  
anozen@sisecam.com  
asezgin@sisecam.com  
sturkuz@sisecam.com  
rbudakoglu@sisecam.com

*Tuncay Turutoğlu, İstanbul Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde 2001 yılında lisans eğitimini tamamladı. Yüksek lisans ve doktora derecelerini İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği programından 2003 ve 2013 yıllarında aldı. 2008 yılında Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. (Şişecam) Bilim ve Teknoloji Merkezi göreve başlamış olup, uzman araştırmacı olarak görevine devam etmektedir.*

*Dr. Turutoğlu'nun araştırma konuları cam yüzeyi ve cam yüzeyine yapılan kaplamaların yapısal, mekanik ve korozyon özelliklerinin karakterizasyonu ve üretim parametrelerinin bu özellikler üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.*

## ÖZET

Cam ürünlerin yeni kullanım alanlarının ortaya çıkması ile birlikte sadece fonksiyonellikleri değil, aynı zamanda uzun dönem mekanik dayanıklılıkları da büyük önem kazanmaktadır. Mekanik dayanıklılığa duyulan ihtiyaç üretim sırasında başlamakta ve ürün kullanım ömrünü tamamlayana kadar devam etmektedir. Cam ürünlerin mekanik dayanıklılıklarını geliştirebilmek için mekanik özelliklerin iyi şekilde anlaşılması gerekmektedir. Cam yüzeyi için önemli olan mekanik özellikler sertlik, elastik modül, çizilme ve aşınma dayanımıdır. Bu özelliklere ek olarak, cam ürünün kaplamalı olması durumunda yapışma da önemli bir mekanik özelliktir. Nanomekanik karakterizasyon cihazlarında görülen gelişmeler mekanik özelliklerin nanometre skalasında incelenebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bildiriye, kaplanmamış cam yüzeyi ile fiziksel buhar biriktirme (FBB) ve Sol-Jel teknikleri kullanılarak cam üzerine yapılmış kaplamaların nanomekanik davranışlarından bahsedilecektir.

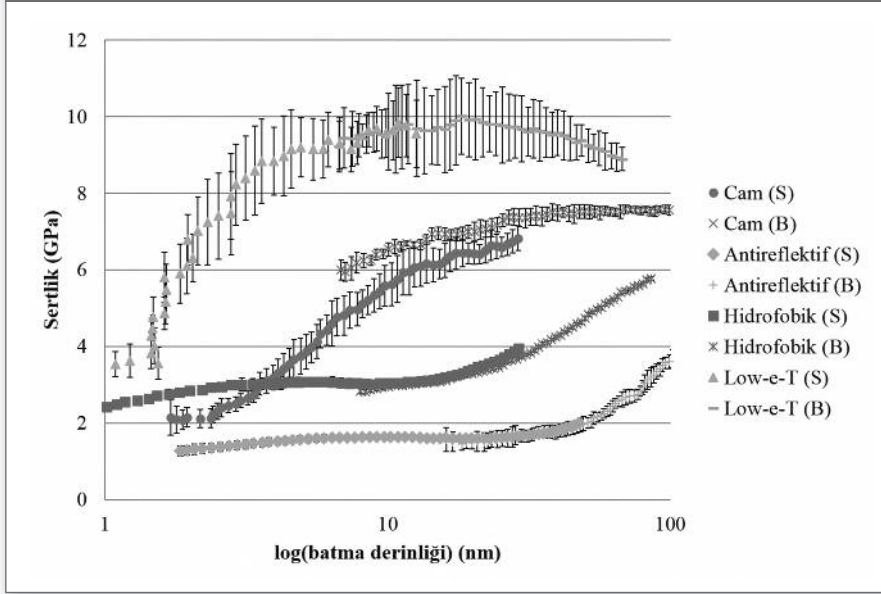
**Anahtar kelimeler:** Cam, Kaplama, Fiziksel Buhar Biriktirme, Sol-Jel, Nanomekanik

## 1. GİRİŞ

Kaplamalar cam ürünlerin mekanik, optik, termal, manyetik ve elektrik özelliklerinin geliştirmek için kullanılmaktadır [1-3]. Örneğin, mimari amaçlı camlara uygulanan düşük yayınlı (Low-e) kaplamalar ile kızıl ötesi radyasyon geçirgenliği ve böylece binaların ısı verimliliği kontrol edilebilmektedir [4]. Benzer şekilde, kapak camı üzerine yapılan antirefleksif kaplamalar ile güneş enerji panellerinin verimliliği artırılabilir [5].

Bununla birlikte, kaplamalı cam ürünlerinin dayanımı ve ömrü mekanik özellikler tarafından belirlenmektedir. Nanometre seviyesinde kalınlığa (<100nm) sahip kaplamaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi oldukça zorlayıcı olabilmektedir. Çok

**Şekil 1. Dinamik ölçüm yönetimi ile elde edilen sertlik-batma derinliği profilleri. Temas alanının hesaplanması için küresel (S) ve Berkovich (B) olmak üzere iki farklı uç alan fonksiyonu kullanılmıştır.**



ince kaplamaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için birçok yaklaşım bulunmaktadır [6].

Bu çalışmanın amacı, dinamik indentasyon, çizilme ve aşınma testleri ile değişik fonksiyonel özelliklere sahip kaplamaların nanomekanik özelliklerinin belirlenmesidir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Referans numunesi ve bütün kaplamalar için taban malzemesi olarak 4mm kalınlığa ve 10x10cm boyutlara sahip soda-kireç-silika camı kullanılmıştır. Kaplama işlemleri öncesi bütün taban malzemeleri dört aşamalı temizleme işlemi ile temizlenmiştir.

SiO<sub>2</sub> esaslı antirefleksif ve hidrofobik kaplamalar Tablo 1’de verilen çözeltiler ve proses parametreleri kullanılarak Sol-Jel yöntemi ile hazırlanmıştır. Antirefleksif kaplama boşluklu bir yapıya sahip iken hidrofobik kaplama boşluksuz bir yapıya sahiptir.

**Tablo 1. Daldırma yönetimi ile üretilen kaplamalar için proses parametreleri**

Kaplama	Çözelti	Sıcaklık (°C)	Kalınlık (nm)
Antirefleksif	Silikon alkoksit	600	100
Hidrofobik	Floroalkilsilan	150	110

120nm toplam kalınlığa sahip çok katmanlı düşük yayınımlı (Low-e) kaplama sistemi, manyetik sıçratma yöntemi ile Balzers Z600 kaplama cihazı kullanılarak üretilmiştir. Kaplama sistemi cam/sert/sert/ara katman/yumuşak/ara katman/sert/sert dizilimine sahiptir.

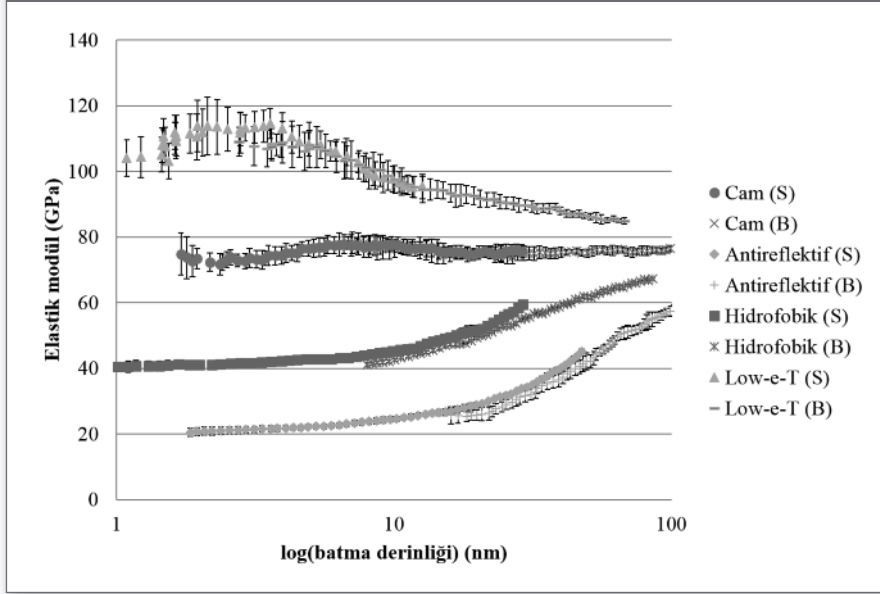
Bu kaplama daha sonra atmosfer ortamında 700°C sıcaklık ve 10 dakika süre ile ısıtılma tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonrası bu numune Low-e T olarak isimlendirilmiştir.

Sertlik, elastik modül, yapışma ve aşınma dayanımlarının belirlenebilmesi için nanoindentasyon, çizilme ve aşınma testleri Hysitron TI 950 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Standart Berkovich uç ile gerçekleştirilen nanoindentasyon testlerinde dinamik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler maksimum yük 30mN olmak üzere 45Hz frekans ile gerçekleştirilmiştir.

Çizilme ve aşınma testleri için keskin (<1µm) konik elmas uç kullanılmıştır. Çizilme testleri çizik boyu 10µm ve maksimum yük 3mN olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri ise kare şeklinde bir alanın üst yarısı 300µN, alt yarısı 150µN sabit yük ile taranarak gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 2. Dinamik ölçüm yönetimi ile elde edilen elastik modül-batma derinliği profilleri. Temas alanının hesaplanması için küresel (S) ve Berkovich (B) olmak üzere iki farklı uç alan fonksiyonu kullanılmıştır.**



### 3. DENEYSEL SONUÇLARI

#### 3.1 Nanoindentasyon

Nanoindentasyon testlerinde çok düşük batma derinliklerinde ölçümler uç geometrisine oldukça hassastır. Bu nedenle hesaplamalar yapılırken düşük batma derinlikleri (1-30nm) için küresel (S), yüksek batma derinlikleri (10-100nm) için klasik Berkovich (B) uç geometrileri kullanılmıştır.

Şekil 1’de cam, antirefleksif, hidrofobik ve ısıtma tabii tutulan düşük yayımlı (Low-e T) kaplamaların sertlik değerleri batma derinliğinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Ucun numuneye batmaya başladığı ilk birkaç nanometre içerisinde sertlik değerinde görülen artış uç ile numune arasında tam bir temas kurulamamasından kaynaklanmaktadır. Batma derinliğinin kaplama kalınlığının 1/10’undan yüksek olduğu durumlarda ise taban malzeme etkisi kendini göstermekte ve sertlik değeri camın sertlik değerine yaklaşmaktadır.

Benzer şekilde elastik modül değerleri de batma derinliğinin artması ile camın elastik modül değerine doğru yaklaşmaktadır (Şekil 2).

Numunelerin sertlik ve elastik modül değerleri derinlik profillerinde görülen plato bölgelerinin ortalaması alınarak hesaplanmış ve Tablo 2’de özetlenmiştir.

**Tablo 2. Cam ve cam üzerine yapılan kaplamaların sertlik ve elastik modül değerleri.**

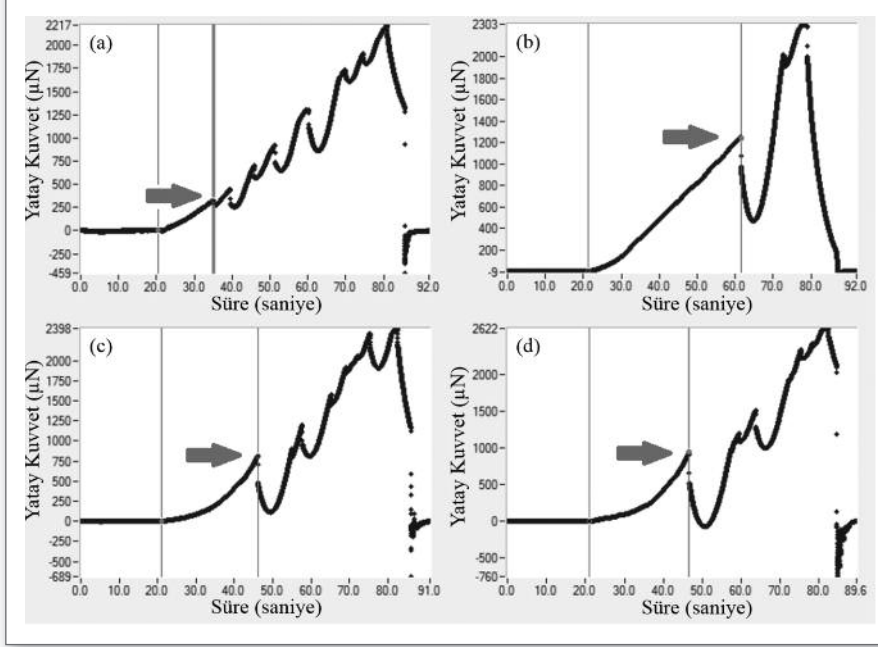
Numune	Sertlik (GPa)	Elastik Modül (GPa)
Cam	7,53 ± 0,04	75,74 ± 0,40
Antirefleksif	1,62 ± 0,01	25,91 ± 0,60
Hidrofobik	2,98 ± 0,06	42,76 ± 0,30
Low-e T	9,75 ± 0,16	113,08 ± 1,53

Sol-Jel yöntemi ile üretilen kaplamaların sertlik ve elastik modülleri cama göre daha düşük olmakla birlikte hidrofobik kaplama antirefleksif kaplamaya göre daha yüksek sertlik ve elastik modül değerine sahiptir. Bunun antirefleksif kaplamanın yapısında bulunan boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Isıtma tabii tutulan çok katmanlı düşük yayımlı kaplama sisteminin (Low-e T) sertlik ve elastik modül değerleri ise cama göre daha yüksektir. Bunun kaplama sisteminin en üst katmanlarında kullanılan sert kaplamalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sertlik ve elastik modül profillerinde kaplama sisteminde bulunan farklı katmanların özelliklerine bağlı olarak fark edilebilir bir değişim gözlenmemiştir. Bunun ise yöntemin hassasiyetinin yeterli olmamasından ve ölçüm sonuçlarının çok katmanlı sistemi bütünsel olarak temsil etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 3.** Kaplamalı cam numunelerinin çizilme testi sırasında ölçülen yatay kuvvet-çizilme süresi grafikleri: (a) antirefleksif, (b) hidrofobik, (c) Low-e ve (d) Low-e T numuneleri. Kırmızı ok işareti kritik kuvvetin belirlendiği noktayı göstermektedir.



### 3.2 Çizilme testi

Kaplamalı cam numunelerinin çizilme testi sonucunda elde edilen yatay yükün zamana göre değişim grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Bu grafiklerde yatay kuvvetin ilk düşüş gösterdiği nokta kullanılarak kritik kuvvet hesaplanmaktadır. Kaplamalı cam numuneleri için hesaplanan kritik kuvvet değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir. Antirefleksif kaplamalı cam  $660,27 \pm 47,3 \mu\text{N}$  kritik kuvvet ile en düşük çizilme dayanımında sahiptir. Hidrofobik kaplamalı cam numunesi ise  $2051,2 \pm 247,3 \mu\text{N}$  değeri ile en yüksek çizilme dayanımına sahip numunedir. Sol-Jel kaplamalı numunelerin çizilme testlerinde elde edilen kritik yük değerlerindeki farkın antirefleksif kaplama yapısında bulunan boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Isıl işlem öncesi (Low-e,  $1086,2 \pm 149,9 \mu\text{N}$ ) ve sonrası (Low-e T,  $1277,9 \pm 29,7 \mu\text{N}$ ) çok katmanlı düşük yayımlı kaplamalarının çizilme testlerinde elde edilen kritik kuvvet değerleri hata payları göz önüne alındığına oldukça yakındır ve anlamlı bir fark ifade etmemektedir.

Çizilme testinde tek katman kaplamalar için tamim edici sonuçlar elde edilse de çok katmanlı kaplama sistemde kritik kuvvet değerinde önemli bir fark görülmemiştir. Bunun

**Tablo 3:** Kaplamalı cam numunelerine ait yatay kuvvet ve kritik kuvvet değerleri.

Numune	Yatay kuvvet ( $\mu\text{N}$ )	Kritik kuvvet ( $\mu\text{N}$ )
Antirefleksif	$303,1 \pm 24,1$	$660,3 \pm 47,3$
Hidrofobik	$1296,6 \pm 215,3$	$2051,2 \pm 247,3$
Low-e	$719,5 \pm 77,0$	$1086,2 \pm 149,9$
Low-e T	$894,6 \pm 35,5$	$1277,9 \pm 29,7$

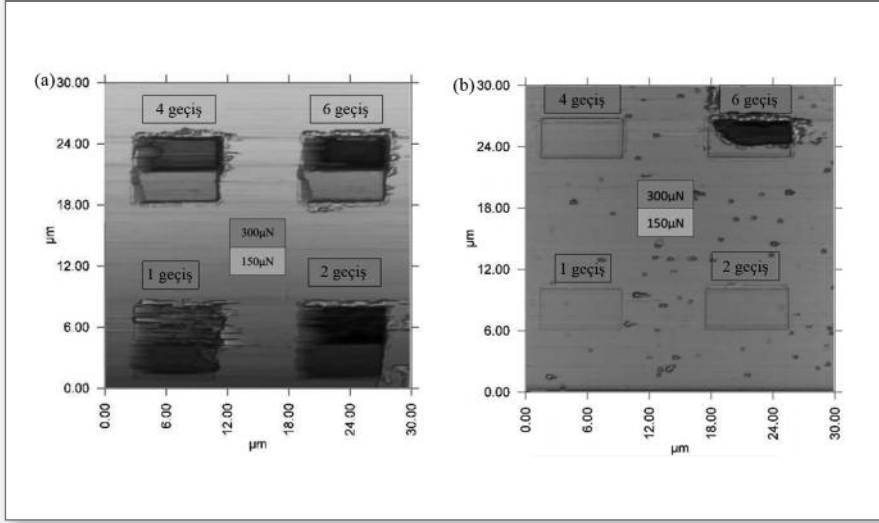
üzerine çok katmanlı sistem için aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.3 Aşınma testi

Şekil 4'te çok katmanlı düşük yayımlı kaplamasının (Low-e) ısıl işlem öncesi ve sonrası (Low-e T) aşınma testi sonrasında yüzey görüntüleri verilmiştir.

Isıl işlem öncesi numunede  $150 \mu\text{N}$  yük uygulanan bölgede birinci geçişte en üst katmanın aşınmaya başladığı görülmektedir. Altıncı geçişten sonra ise en üst sert katman tamamen kalkmaktadır.  $300 \mu\text{N}$  yük uygulanan bölgede ise birinci geçiş sonrasında kaplama sisteminin yumuşak katmandan ayrıldığını görülmektedir. Altıncı geçişten sonra

**Şekil 4. Çok katmanlı düşük yayınım kaplama sisteminin aşınma testi sonrası yüzey görüntüleri: (a) ısıt işlem öncesi, (b) ısıt işlem sonrası.**



ise kaplama sistemini tamamen kalkmakta ve uç cama ulaşmaktadır.

Isıl işlem sonrası numunede  $150\mu\text{N}$  yük uygulanan bölgede altıncı geçişten sonra bile kaplama sisteminin en üst sert katmanında bir aşınma görülmemektedir.  $300\mu\text{N}$  yük uygulanan bölgede ise birinci, ikinci ve dördüncü geçişlerden sonra sadece en üst sert katmanda aşınma görülmekte, altıncı geçişten sonra ise kaplama sisteminin tamamen cam yüzeyinden ayrıldığı görülmektedir. Bu durum ısıl işlem sonrasında katmanlar arası yapışmanın en alt sert katmanın cama yapışmasından daha iyi olduğunu göstermektedir.

Şekil 4. Çok katmanlı düşük yayınım kaplama sisteminin aşınma testi sonrası yüzey görüntüleri: (a) ısıl işlem öncesi, (b) ısıl işlem sonrası.

#### 4. SONUÇ

Nanoindentasyon, çilime ve aşınma testleri ile antirelektif, hidrofobik ve çok katmanlı düşük yayınım kaplamalarının nanomekanik özelliklerini ve davranışlarını belirli limitler içerisinde belirlemek mümkündür. Sertlik ve elastik modül değerleri nanoindentasyon testi, çizilme dayanımının belirlenmesi için kritik kuvvet değerleri çizilme testi ve aşınma davranışları ise aşınma testleri ile belirlenmek mümkündür. Tek katmanlı kaplamalar için nanoindentasyon ve çizilme testleri oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Çok

katmanlı düşük yayınım kaplama sistemleri için ise nanoindentasyon ve çizilme testi ile katmanların ayrı ayrı özelliklerinin belirlenmesi mümkün olmamıştır. Aşınma testi ile ısıl işlemin çok katmanlı sistemin aşınma davranışını geliştirdiği belirlenmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Hashimoto, K., Irie, H., and Fujishima, A. 2005. TiO<sub>2</sub> photocatalysis: a historical overview and future prospects. *Japanese Journal of Applied Physics* 44(12): 8269–8285
2. Wang, X. and Shen, J. 2009. Sol–gel derived durable antireflective coating for solar glass. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 53(2): 322–327.
3. Chen, D. 2001. Anti-reflection (AR) coatings made by sol–gel processes: a review. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 68(3–4): 313–336.
4. Bräuer G. 1999. Large area glass coating. *Surface and Coatings Technology* 112(1–3): 358–365.
5. Raut, H.K., Nair, a.S., Dinachali, S.S., Ganesh, V.A., Walsh, T.M. and Ramakrishna, S. 2013. Porous SiO<sub>2</sub> anti-reflective coatings on large-area substrates by electrospinning and their application to solar modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells* (111) 9–15.
6. Chen, J. and Bull, S.J. 2011. Approaches to investigate delamination and interfacial toughness in coated systems: an overview. *Journal of Physics D: Applied Physics* 44(3): 034001.

# ANTİREFLEKTİF KAPLAMALI c-Si FV KAPAK CAMI: ÇÖZELTİ GELİŞTİRME ÇALIŞMALARINI / HAT ÜSTÜ UYGULAMALAR



**Anil Özen<sup>1</sup>, Dr. Erdem Arpat<sup>1</sup>,  
Dr. Tuncay Turutoğlu<sup>2</sup>,  
Gamze Cömert<sup>3</sup>, Can Kaplan<sup>4</sup>,  
Erhan Sarıca<sup>5</sup>, İlker Ağgöl<sup>5</sup>,  
Ersin Gökçen<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Atmosferik Kaplama Teknolojileri Yöneticiliği

<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Yüzey Teknolojisi Yöneticiliği

<sup>3</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Bölge Laboratuvarları Yöneticiliği

<sup>4</sup> Şişecam Topluluğu, Düzcamlar Grup Başkanlığı, Geliştirme Direktörlüğü

<sup>5</sup> Şişecam Topluluğu, Düzcamlar Grup Başkanlığı, Trakya Cam Sanayi A.Ş. Mersin Fabrikası

anozen@sisecam.com

earpat@sisecam.com

tturutoğlu@sisecam.com

gcomert@sisecam.com

ckaplan@sisecam.com

esarıca@sisecam.com

iaggul@sisecam.com

egokcen@sisecam.com

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:49-50

©Şişecam

*Anil Özen, 2001 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı üniversitede, Prof. Dr. Levent Toppare ve Prof. Dr. Jale Hacaloğlu danışmanlığında "İletken Polimerler" üzerine yüksek lisans çalışmalarını yürüterek 2002 yılında mezun olmuştur. 2002-2005 yılları arasında Şişecam Soda Sanayi A.Ş. Geliştirme Grup Müdürlüğü'nde Geliştirme Uzmanı olarak çalışmış, çoğunlukla Kromsan ve Oxyvit Fabrikaları'na yönelik AR-GE projelerinde görev almıştır. 2005 yılından bu yana Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde "Sol-jel esaslı kaplamalar" konusunda araştırma çalışmalarına devam etmektedir.*

## ÖZET

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için c-Si güneş modüllerinde kapak olarak cam kullanılmaktadır. Modül verimini arttırma seçeneklerinden biri de, güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren yutucu malzemeye en az kayıpla ulaştırmaktır. Cam yüzeyinin optik özellikleri, yüzeyine yapılan kaplamalarla değiştirilebilir. Cam yüzeyinin kırma indisi camdan daha düşük bir malzeme ile kaplanması yoluyla geçirgenlik değeri arttırılan camlar; "antirefleksif kaplamalı camlar" olarak bilinmektedir. Cam üzeri antirefleksif kaplamalar olarak tariflenen uygulamalarda, farklı yaklaşımlar ve üretim teknikleri literatürde ve sektörde mevcuttur. Bu çalışmada tercih edilen rota ise camın kırma indisinden daha düşük bir malzeme ile  $\lambda/4$  mertebelerinde kaplama uygulamasıdır.

Antirefleksif kaplamalı cam geliştirme çalışmaları kapsamında;

- i) cam yüzeyine uygulandığında geçirgenlik artışı sağlayan bir çözeltili geliştirilmiş, Türk Patent Enstitüsü ve European Patent Office'e patent başvuruları yapılmıştır.
- ii) "EN 1096-2 Cam Yapılarda Kullanılan Kaplamalı Cam" standardında yer alan testler açısından incelenmiş, test dayanımlarını arttırmak amacıyla çözeltili kompozisyonunda modifikasyonlar yapılmıştır.
- iii) TM İşlenmiş Camlar Üretim Müdürlüğü'ne bağlı enerji camları temper hattı üzerine kurulan püskürtme sistemi ile 400-1100 nm dalga boyu aralığında en az %1,8 ve üzeri geçirgenlik artışı sağlanan antirefleksif kaplamalı camlar elde edilmiştir.
- iv) kaplamanın karakterizasyonuna yönelik iç ve dış imkânlar kullanılarak optik ölçümler, yüzey ve kesit inceleme çalışmaları yapılmıştır.
- v) modül üreticisi firmada kaplamasız ve antirefleksif kaplamalı camlar kullanılarak hazırlanan modüllerin güç artışı tespit edilmiş olup uzun dönem performans takibi yapılmaktadır.

Bu çalışma ile güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olan ülkemizde; Şişecam'ın

mevcut temper hattı üzerine kurulan kaplama sistemiyle hedeflenen özellikteki camlar temper hattı hızında üretilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Antireflektif, Kaplama, Fotovoltaik

Güneş enerjisi endüstrisinin, yıllık güneşlenme süresinin oldukça yüksek olduğu ülkemizde hız kesmeden gelişeceği öngörülmektedir. Şişecam olarak güneşi yakalamak motivasyonu ile antireflektif kaplamalı cam geliştirme çalışmalarına başlamıştır.

c-Si fotovoltaik modül uygulamalarında genellikle tek yüzü antireflektif kaplamalı düşük demirli desenli camlar, termal uygulamalarda ise genellikle iki yüzü antireflektif kaplamalı düşük demirli desenli camlar kullanılmaktadır.

Modül verimini arttırmak için temel prensip; güneş ışığının elektrik akımının oluşturulduğu tabakaya en az kayıpla ulaştırılmasıdır. Bu nedenle modülün bir bileşeni olan camın geçirgenlik seviyesi enerji camları sektörü için oldukça önemlidir.

Şişecam'ın, harmanda daha saf hammaddeler kullanarak demir oksit miktarını düşürdüğü ve cam yüzeyine desen vererek şekillendirdiği düşük demirli desenli cam üretimi mevcuttur. Yurtiçi ve yurtdışında termal sistemler ve fotovoltaik modül üreticileri için ürettiği düşük demirli desenli camlar; DuraSolar P+ ticari ismiyle Prizma ve Sandy olmak üzere iki farklı desen ve iki farklı kalınlıkta üretilmektedir.

Geçirgenliği arttırmanın bir diğer yolu da; cama antireflektif özellik kazandırmaktır. Camın optik özellikleri, yüzeyine yapılan kaplamalarla değiştirilebilir. Cam yüzeyinin, kırma indisi camdan daha düşük bir malzeme ile kaplanması yoluyla geçirgenlik değeri arttırılan camlar; “antireflektif kaplamalı camlar” olarak bilinmektedir.

Projemizin başında; literatür bilgileri, püskürtme yöntemiyle üretilen pazardaki antireflektif kaplamalı ürünler, püskürtme tekniğindeki deneyimlerimiz ve ön çalışma sonuçlarımıza dayanarak, püskürtme yöntemiyle camın geçirgenliğinin ortalama % 2 kadar arttırılabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle projenin temel hedefi, c-Si FV modüllerde kullanılan kapak camının geçirgenlik değerinin 400-1100 nm dalgaboyu aralığında en az % 1,8 ve üstü arttırılması olarak ortaya konmuştur.

Yüzeyine kaplandığında cama antireflektif özellik kazandıran çözelti geliştirme çalışmalarının detayı 2012 yılında gerçekleşen 27. Cam Sempozyumu'ndaki bildiri ile aktarılmıştır. Çözelti geliştirme çalışmalarının en yenilikçi yanı antireflektif kaplamanın EN 1096-2'de yer alan tuz testine dayanımının katkılama ile sağlanmasıdır. Antireflektif kaplama ile geçirgenlik değeri yaklaşık % 1.9 oranında arttırılan camın, ilgilenilen dalga boyu aralığında, tuz testi sonrası geçirgenlik değerinin, katkılamanın etkisi ile ihmal edilecek kadar az değiştiği görülmüştür.

Çözelti geliştirme çalışmaları kapsamında 2012 yılından bugüne yapılan en önemli ilerleme ise; reaksiyon kinetikleri nedeniyle ölçek büyütmenin oldukça kritik olan sol-jel kimyasında 3 L olan çözelti hazırlama kapasitesinin tek seferde 180 L'ye kadar arttırılmasıdır.

Geliştirilen çözeltinin fikri mülkiyet haklarının korunmasına yönelik çalışmalar tamamlanmıştır.

2013 yılı içerisinde Türk Patent Enstitüsü'ne, 2014 yılı içerisinde de Avrupa Patent Ofisi'ne patent başvurusunda bulunulmuştur.

Temper hattı üzerine kurulan püskürtme sistemiyle parametre optimizasyonuna yönelik çok sayıda hat üstü deneme çalışması yapılmıştır. Ar-Ge çalışmaları için hat üstüne kurulan püskürtme sistemiyle proje hedeflerini karşılayan ürün elde edilmiştir. Hat üstü deneme üretiminden elde edilen numunenin optik performansı, desenli camların ölçümü için uygun sphere çaplı bir spektrofotometre ile ölçülerek belirlenmiş olup 400 – 1100 nm dalgaboyu aralığında geçirgenlik artışı % 2 seviyelerindedir.

Hat üstü deneme üretiminden elde edilen antireflektif kaplamalı ürünün modül üzerindeki performansını görmek amacıyla modül üretici bir firmada antireflektif kaplamalı ve kaplamasız camlarımız kullanılarak fotovoltaik ebatla modüller yapılmıştır. Antireflektif kaplama ile geçirgenlik değeri % 1.8 arttırılan camlar kullanılarak yapılan modüllerin verim ölçümleri, kaplamasız camlar kullanılarak yapılan modüllerden ortalama 5 Watt daha yüksek performans vermiştir ki bu da güç artışında ortalama % 2 bir iyileşmeye işaret etmektedir.

# CAMLARDA NANO BOYUTTA KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ



**Dr. Volkan Özgüz ,  
Dr. Meltem Sezen**

Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji  
Araştırma ve Uygulama Merkezi  
vozguz@sabanciuniv.edu  
meltemsezen@sabanciuniv.edu

*Volkan H. Özgüz, 1974 yılında İstanbul Saint-Joseph Lisesi'nden mezun oldu. Lisans eğitimini, elektronik mühendisliği alanında, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde tamamladı. Bir süre İstanbul Teknik Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Doktorasını, 1986 senesinde elektronik mühendisliği alanında North Carolina Devlet Üniversitesi'nden aldı. 1986'den 1987 yılına kadar North Carolina Üniversitesi'nde ve North Carolina Mikroelektronik Araştırma Merkezinde araştırmalarını sürdürdü. 1987-89 yılları arasında, Teletaş Ind. Inc'de "İleri İşlemler Departmanı"nın yöneticiliğini üstlendi. 1989'dan 1995 yılına kadar, Kaliforniya Üniversitesi, San Diego da öğretim üyesi olarak çalıştı. 1995-2010 arasında yılında NASDAQ ta kayıtlı Irvine Sensor Corp. 'ta, "Senior Vice President" ve "Chief Technology Officer" olarak çalıştı. 2010 yılından beri kuruculuğunu da yaptığı Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde Direktör olarak görev yapıyor.*

*Dr. Özgüz yarıiletken teknolojileri, mikro ve nano elektronik alanlarında, optik bağlantılı sistemlerde ve üç boyutlu entegrasyon konularında öncü araştırmalar yaptı. Özgüz pek çok üniversite, kamu kuruluşu ve ticari kurumla ortak çalışmalar yürüttü. Özgüz 8 yeni teknoloji firmasının kuruluşunda çalıştı ve yönetim kurullarında görev aldı. Özgüz'ün, akademik ve endüstriyel AR-GE merkezlerinin kurulması, yönetilmesi ve bu merkezler için kaynak geliştirilmesi konusunda deneyimi bulunuyor.*

## ÖZET

Nanoteknolojideki hızlı gelişmelerin bir sonucu olarak, yeni geliştirilen camlarda atomik ölçeklere kadar inebilen yapısal karmaşıklık, nanometre boyutlarındaki ince katmanlardan oluşan sistemlerin özelliklerinin mikroyapıya bağlı olarak incelenmesi için çok yüksek büyütme görüntüleme tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Yüksek çözünürlüklü geçirgenlikli elektron mikroskopi (Transmission Electron Microscope –TEM), bu tür camlarda atomik ölçekte morfolojik, kristalografik, kimyasal kompozisyon ve elektriksel özellikler hakkında bilgi sağlayan en etkili ve kesin tekniktir. Odaklanmış iyon demeti (Focused Ion Beam – FIB) ise özellikle malzeme bilimi, kimya, tıp, biyoloji, farmakoloji gibi bilim dallarında bölgesel analiz, görüntüleme, aşındırma, depolama, mikroişleme, prototipleme, manipülasyon ve TEM numunesi hazırlama işlemleri için kullanılan bir yöntemdir. FIB sistemleri içinde en kullanışlı olanı elektron ve iyon kolonlarının ve gaz enjeksiyon sistemlerinin bir arada bulunduğu çift-demet (dual-beam) platformudur. FIB/SEM çift demet platformlarının mümkün kıldığı "kesitleme ve görüntüleme" (slice & view) tekniği kullanılarak, ince film kaplama cam malzeme sistemlerinden üç boyutta in-situ elektron görüntülemesi ve elementer analiz yapılabilmektedir. Bu şekilde TEM'de incelenen numune kesitlerinde nanometre ve altında bilgi sağlarken, aynı malzeme FIB tomografisi ile kesitlendiğinde mikrometreden onlarca nanometreye kadar bilgi toplanabilmektedir.

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:51-52  
©Şişecam

---

Bu metot ile ince film kaplama kalınlıkları tespit edilebilirken, tabakalar arası, ara yüzeyler de görüntülenebilmektedir. Çift demet platformlarında bulunan yüksek çözünürlüklü SEM modülü, 2-3 nm boyutundaki detayları görüntüleme ve bu bölgede kimyasal analiz yapma kabiliyetine sahiptir. Ancak cam gibi yalıtkan malzemelerde, sıklıkla elektron yüklenmesi ve görüntüde parlama sorunu ile karşılaşıldığından, cam malzemelere elektron mikroskopi işlemlerinden önce yapılması gereken numune hazırlama işlemleri büyük önem taşımaktadır.

Bunun yanında, cam yüzeylerin topografik ve morfolojik özelliklerini incelemek için kullanılan AFM tekniği ile

nanometre altı ve atomik çözünürlük elde edilebildiği gibi, özellikle bu ölçeklerde malzemenin pürüzlülük bilgisine ulaşılabilmektedir. İnce film kalınlıklarını tespit edilmesinde kullanılmakta olan diğer bir yöntem ise elipsometredir. Titreşimsel spektroskopisi teknikleri içinde en yüksek uzaysal çözünürlüğüne sahip olan (1 mikrometre civarı) Raman Spektroskopisi ise, bu yöntemlere ek olarak malzemelerin kimyasal bağ yapısı hakkında detaylı bilgi sağlarken, özellikle cam içerisine yapılan katkıların hızlı ve pratik olarak tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

***Anahtar Sözcükler:** Nanoteknoloji*

# GÜNEŞ KONTROL ÖZELLİKLİ HELIO TURKUAZ CAM PROJE ÇALIŞMASI, ÜRETİMİ VE DEĞERLENDİRMESİ



**Duygu Öktem, Dr. Arca İyiel, Hande Sesigür, Serhat Artunc, Tolga Eroğlu**

Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
doktem@sisecam.com  
aiyiel@sisecam.com  
hsengel@sisecam.com  
sartunc@sisecam.com  
teroglu@sisecam.com

*Duygu Öktem, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde 2008 yılında lisans eğitimini tamamladı. Paşabahçe Eskişehir Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş.'de Üretim Planlama Sorumlusu olarak işe başladı. 2011 yılından bu yana Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı bünyesindeki Cam Teknolojisi Yöneticiliği'nde Araştırmacı olarak görev almaktadır.*

## ÖZET

Cam Teknolojisi Yöneticiliği tarafından düzcam fırınlarında üretilen renkler arasında yapılan renk geçişlerinde ara renklerin yeni ürün olarak alınabilmesi ve renk geçiş kayıplarının azaltılması ve bunun yanı sıra yeni düzcam renkleri üretilebilmesine yönelik bir proje çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda, renk geçişlerinde alınan numuneler ile bir dizi deneysel olarak üretilen ara renk numuneleri renk ve optik performanslarına göre değerlendirilmiştir. Daha sonra bu çalışmada hazırlanan numuneler Düzcam Grubu Satış, Pazarlama ve Üretim Başkan Yardımcılıkları ile paylaşılmış, görüş ve talepleri alınmıştır.

Alternatif olarak sunulan cam numuneleri arasından üretilmek üzere seçim yapılırken yalnızca yüksek demir içeren cam üretebilecek fırınlarda değil, donanımında elektrik takviye olmayıp yalnızca bubbler bulunan düzcam fırınlarında da üretimi yapılabilecek bir cam seçilmiştir. Söz konusu camın solar kontrol özelliğinin olması, Trakya Cam Sanayii üretim skalası içerisinde bulunmayan renk ve optik performans değerlerine sahip olması camın tercih edilme nedeni olmuştur. Hedef olarak seçilen camın tek cam, kaplamalı ve low-e camla çift cam olarak performansı hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Satış ve Pazarlama Grupları tarafından beğenilmiş ve sonrasında TR-2 fırınında mavi renkli camdan renksiz cama geçiş sırasında “Helio turkuaz” adıyla, kaplamasız ve tentesol T kaplamalı olarak deneme üretimi yapılmıştır. Helio turkuaz cam, görece yüksek ışık geçirgenliği yanısıra düşük güneş enerjisi geçirgenliğine sahip olup “solar kontrol cam” kategorisindedir.

***Anahtar Sözcükler:** Helio Turkuaz Cam, Solar Kontrol Cam*

## 1. GİRİŞ

Düzcam fırınlarında üretilmekte olan renkler arasında sık aralıklarla yapılan geçişlerde renklendirici oksit ve/ya yardımcı malzeme miktarlarında değişiklik yapılmakta, değişikliğin derecesine göre ve adımın büyüklüğüyle de orantılı olarak fırın koşullarında, fırın ömrünü de etkileyecek değişiklikler yapılmaktadır. Ayrıca mevcut rengin standart renk ve optik performans değerlerinin dışına çıkması ile hedef camın söz konusu değerlerine ulaşılması arasındaki sürede de üretim kaybı yaşanmaktadır.

*Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:53-61  
©Şişecam*

Fırının mevcut durumu (çekiş, sıcaklıklar, yaş, hata yoğunluğu, indirgenliği, refrakterler-korozyon) göz önünde bulundurularak belirlenen kompozisyondaki renk geçiş harmanının fırına girişinin ardından, renk ve optik performans değerlerinin standart değerlerin dışına çıkması ile birlikte mevcut ürün alımı sonlandırılmaktadır. Renk geçişi süresince takibi yapılan sıcaklık, indirgenlik, harman örtüsü pozisyonu, camın kimyasal ve fiziksel homojenitesi, ream seviyesi ve hata yoğunluğu gibi parametrelerde değişiklikler meydana gelmektedir. Bunlara ilaveten boyun soğutucunun batıklığında ve karıştırıcıların yönlerinde değişiklikler yapılmaktadır. Camın kimyasal olarak hedefe gelmesi, şerit eninde geçirgenlik farkının ve renk bantlarının kalmaması, sıcaklık, indirgenlik gibi fırın koşullarının hedefe getirilmesinin ardından ve hedef camın renk ve optik performans değerlerine ulaşılması sonucunda cam alımı yapılmaktadır.

Float üretimimizde yalnızca renksiz, yeşil, yeşil+, yeşil++, mavi, füme ve bronz renkli camlar mevcuttur. Bu renkler arasında yapılan renk geçişlerinde ürün kaybının azaltılması ve yeni renklerin ürün portföyüne eklenerek ürün ve renk çeşitliliğini artırılması, mevcut renklerimiz tonlarında değişiklik yapılarak kolaylıkla mümkündür. Yeni ürün alternatifi olarak, üretimi fazla rahatsız etmeden bir renkten diğer bir renge geçerken ara bir kademede durularak ya da bir süre beklenerek üretim alınabilir.

### 1.1. RENK GEÇİŞ TEORİSİ

Renk geçişi süresince meydana gelen kimyasal değişim, başka bir deyişle bir renklendirici konsantrasyonun cam eriyiği içinde zamana bağlı değişimi, camın makro-karışım tepkisine göre belirlenen bir özelliktir. Dolayısıyla, renklendirici konsantrasyonunun harman+cam kırığı'ndaki değişimi ve konvektif karışım etkisi renk değişiminin kontrol parametreleridir. Bu bölümde bu parametrelerin daha somut ve pratik uygulamadaki tanımlarına değinilecektir.

Harmanda yapılan değişikliğin ilk anından sonra geçen zaman adımları (t), camın fırın içindeki ortalama kalış süresinin (T<sub>r</sub>) fraksiyonları olarak ifade edilir:

$$T_r = (\text{fırın cam kapasitesi, ton} / \text{fırın çekişi, ton/gün}) \times (DF) \times 24$$

Bu eşitlikte, DF fırın içinde dönüşüme katılan cam yüzdesini

vermektedir. Kapasitenin %90'lık bölümünün fırın içinde dolaştığı varsayılmıştır. Zaman birimi saat olarak alındığı için, camın fırın içindeki kalış süresi saat (x24) cinsinden hesaplanmaktadır.

Çekilen camdaki renklendirici konsantrasyonunun seviyesi, fırına beslenen harmandaki konsantrasyonunun eşdeğer cama çevrilmiş miktarının bir fraksiyonu (F) olarak ifade edilir:

$$F = 1 - e^{-t/T_r}$$

Burada fırın içindeki camın homojen bir renklendirici konsantrasyonu dağılımına sahip olduğu ve çekilen cam ile tamamen benzer olduğu kabul edilmiştir.

Belirli bir hedef konsantrasyona ulaşmak için giriş harmanındaki konsantrasyonu (cam eşdeğeri) arttırmak gerekiyorsa, belirli bir artış faktörünü F-Fonksiyonunun içine koymak gerekmektedir. Aşırı yükleme katsayısı (YK) olarak tanımlanan bu faktör ile birlikte F-Fonksiyonu:

$$F = YK \cdot (1 - e^{-t/T_r})$$

Dönüşüm başlangıcında (ilk adımda, t=0) F=0 değerindedir ve zaman adımı arttıkça F-fonksiyonuna bağlı olarak, dönüşüm devam eder ve teorik olarak F=1 olduğunda ise dönüşüm tamamlanmış olur. Giriş harmanına aşırı yükleme yapılarak, konsantrasyon seviyesinin istenilen hedef değere ulaşması için gereken süre veya YK değeri, F değerinin 1'e eşit olması ile bulunur:

$$YK = \frac{(H + CK) - MD}{HD - MD}$$

$$YS = (T_r / YK) \times DF$$

Burada;

T<sub>r</sub> = Camın fırında kalış süresi, saat

H+CK = Yükleme süresince renk verici oksit harman+cam kırığı bazında hedef değeri

MD = Renk verici oksit mevcut durumdaki değeri

HD = Hedef renkteki renk verici oksit değeri

YS = Yükleme süresi

DF = Fırındaki camın dönüşüme katılan kısmı, %

Renk katkı maddelerinin zamana bağlı olarak teorik



**Şekil 1. Yeşil renkli camdan mavi renkli cama geçiş numuneleri (TR-2, 23-25.03.2014)**



konsantrasyon değerlerinin hesabı ise aşağıdaki formül kullanılarak yapılır:

$$C_t = C_{\text{mevcut}} + F_t (C_{(\text{harman}+\text{ck})} - C_{\text{mevcut}})$$

Burada;

$C_t$  = Herhangi bir malzemenin istenilen t zamandaki konsantrasyon değeri

$F_t$  = fırında istenilen t zamandaki değişim faktörü

$C_{\text{mevcut}}$  = Malzemenin başlangıçtaki değeri

$C_{(\text{harman}+\text{ck})}$  = malzemenin harman ve cam kırığı ile birlikte verilen miktarı

Buna göre renk geçiş uygulamasından önce geçişe ait renk katkı maddelerinin zamana bağlı olarak teorik konsantrasyon değişimi elde edilmektedir.

Renk geçişlerinde öncelikle renk geçiş harmanı için yükleme katsayısı ve/ya yükleme süresince renk verici oksit

harman+cam kırığı bazında hedef değeri belirlenmekte, renk geçişi süresince de kimyasal analiz sonuçları ile kütle dengesi kurularak hedefe göre durum değerlendirilmektedir. Bunlara ilaveten renk geçişi boyunca kontrol edilen parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- Renk ve optik performans değerleri ( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %Tv, %Te, x, y, L, a, b) spektrofotometrik analizler ile takip edilmektedir.
- Fırın operasyonları (izolasyon, elektrik takviye miktarı, karıştırıcı hızı ve yönü, soğutucular, taban, kemer, ergimiş cam ve dinlendirme cam sıcaklıkları) yakinen takip edilmektedir.
- Fırın harman örtüsünün, alev formunun, vb. görsel olarak takibi sağlanmaktadır.
- Yükleme süresi, soğutucunun çıkartılmasının ve yerleştirilmesinin zamanlamaları saptanmaktadır.
- Ream tablosu ve striagram ile hataların eğilimi incelenmektedir.

**Şekil 2. Yeşilimsi mavi ara renk için hazırlanan deneysel numuneler**



## **2. HELİO TURKUAZ CAM PROJE ÇALIŞMASI, MAVİ CAMDAN GEÇİŞ UYGULAMASI VE ÜRETİMİ**

TR-2 fırınında 23-25.03.2014 tarihleri arasında gerçekleştirilen yeşil renkli camdan mavi renkli cama geçiş uygulaması süresince 2 saatte bir alınan numunelerin kimyasal analizleri yapılmış, renk ve optik performansları belirlenmiştir (Şekil 1). Bunların yanı sıra deneysel çalışmalar başlatılarak, mevcut üretim koşullarına uygun, alternatif ara renkli numuneler elde edilmiş ve ergitilen ara renk numuneleri renk ve optik performanslarına göre değerlendirilmiştir. Şekil 2’de yeşilimsi mavi ara renk için hazırlanan deneysel numuneler ve Tablo 1’de de bu deneysel eritilerde tartılan  $Fe_2O_3$  ve  $CoO$  miktarları verilmektedir.

Bu çalışmada hazırlanan numuneler Düzcam Grubu Satış, Pazarlama ve Üretim Başkan Yardımcılıkları ile paylaşılmış, görüş ve talepleri alınmıştır. Alternatif olarak sunulan cam numuneleri arasından üretim için seçim yapılırken, yüksek demir içeren cam üretimine olanak sağlayan donanıma sahip fırınların haricinde, elektrik takviye bulunmayıp, yalnızca bubbler donanımı bulunan düzcam fırınlarında da üretimi yapılabilecek özellikte olmasına dikkat edilmiştir. Söz konusu camın solar kontrol özelliğinin olması, Trakya Cam Sanayii üretim skalasında bulunmayan renk ve optik performans değerlerine sahip olması camın seçilmesi üzerinde belirleyici olmuştur. Deneysel numunelerin tek cam, kaplamalı ve low-e camla çift cam olarak performansı hesaplanmış ve bu

kriterler neticesinde hedef olarak seçilen 12 no’lu deneysel numuneye ait sonuçlar Satış ve Pazarlama Grupları tarafından beğenilmiş ve sonrasında TR-2 fırınında mavi renkli camdan renksiz cama geçiş sırasında “Helio turkuaz” adıyla, kaplamasız ve tentesol T kaplamalı olarak, 6mm ve 8mm kalınlıkta deneme üretiminin yapılmasına karar verilmiştir.

29.04.2014, 17:00’da mavi renkli camdan turkuaz renkli cama geçiş harmanı TR-2 fırınına girmeye başlamıştır. Mavi ve turkuaz renkleri arasında  $Fe_2O_3$  ve  $CoO$  farkının fazla olmaması nedeniyle, fırını rahatsız etmeyecek ve iki renk arasında geçiş camı alınabilecek şekilde renk geçiş programı hazırlanmıştır. Dönüşüm faktörünün (DF) %90 olarak kabul edildiği renk geçiş programına ait bilgiler Tablo 2’de gösterilmektedir. Renk geçişinin ilk 30 saatinde  $CoO$  harmandan çıkartılmış,  $Fe_2O_3$  ise ilk 48 saat boyunca 2 Yükleme Katsayısı ile verilmiştir.  $CoO$  içermeyen geçiş harmanına ilaveten, %35 oranında renksiz cam kırığı kullanılmış, turkuaz camın hedef  $CoO$  miktarının verildiği sürede ise %35 oranında, mavi renk cam kırığı kullanımı olmuştur. Renk geçişi süresince fırın çekişi 600t/gün olarak çalışılmıştır.

Kontrollü ve problemsiz gerçekleşen renk geçişinde, mavi cam alımı turkuaz renge geçiş harmanının fırına girişinden 21.5 saat sonra (30.04.2014, 14:30) renk tonunun standart dışına çıkması nedeniyle sonlandırılmıştır. Geçiş süresince cam kalitesi kısa süreli olarak ream, renk bandı ve ton

**Tablo 1. Yeşilimsi mavi ara renk için hazırlanan deneysel eritiş numunelerine ait Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CoO miktarları**

Numune no	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	CoO (wt%)
1	0.530	0.0068
2	0.530	0.0068
3	0.600	0.0068
4	0.700	0.0068
5	0.530	0.0060
6	0.600	0.0060
7	0.700	0.0060
8	0.530	0.0068
9	0.700	0.0050
10	0.800	0.0050
11	0.700	0.0040
12	0.600	0.0040
13	0.600	0.0030
14	0.600	0.0020
15	0.600	0.0050
16	0.700	0.0030
17	0.400	0.0020
18	0.400	0.0015
19	0.500	0.0020
20	0.500	0.0015
21	0.400	0.0010
22	0.500	0.0010

**Tablo 2. TR-2 fırını mavi renkli camdan turkuaz renkli cama geçiş programı (29.04.2014)**

	MAVİ	GEÇİŞ	TURKUAZ
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.530	0.670 (YS: 48 saat) (YK: 2)	0.600
CoO (%)	0.0068	0 (YS: 30 saat) (YK: -)	0.0040

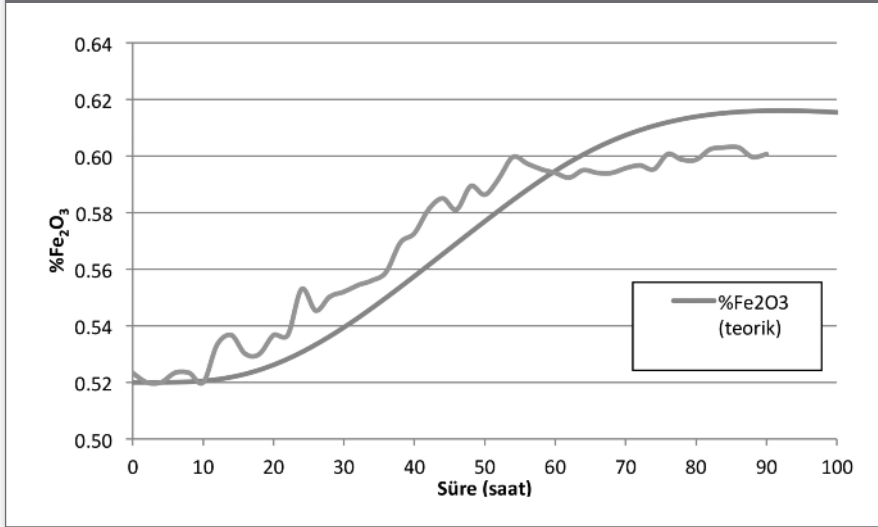
farklılığı sebebiyle kötüleştirmiş, ardından tekrar iyileştirmiştir. Cam kalitesi el verdiği süre boyunca, geçiş camı olarak pirolitik kaplama ile özel müşteri için ürün alınmıştır. Söz konusu rengin ilk kez yapıyor olması nedeniyle daha sonra yapılacak geçişlerde cam kalitesinin tüm geçiş süresince iyi olması konusu değerlendirilmiştir. Renk geçişi süresince boyun soğutuculara iki aşamalı müdahale yapılmış, boyun karıştırıcıların hız ve yönlerinde değişiklikler uygulanmış ve elektrik takviye sadece Zone 1’de bir miktar artırılmıştır. Geçiş başlangıcı ile geçiş sonu arasındaki fırın sıcaklık farkları mümkün olduğunca düşük tutulmuş olup, maksimum sıcaklık farkı dinlendirme çıkışında 15°C olmuştur.

Mavi camdan turkuaz cama geçiş süresince ölçülen camdaki

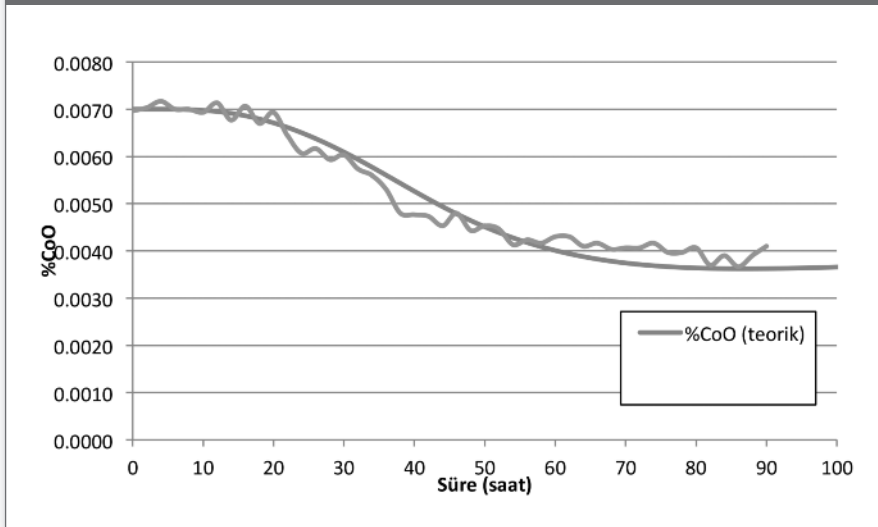
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu, teorik olarak hesaplanan değerler ile karşılaştırmalı olarak Şekil 3’te verilmektedir. Şekil 4’te ise CoO konsantrasyonunun zamana bağlı olarak değişimi yine teorik değerler ile birlikte gösterilmiştir.

02.05.2014, 14:30’da turkuaz ürün alımı başlamış, deneme üretimi 3.5 gün sürmüş ve toplamda 1850 ton Helio turkuaz cam üretimi yapılmıştır. 8mm temperli olarak balkon camlarında, 6mm+6mm lamine mimari dış cephe camı olarak Emlak konutları TEM 2 projesinde ve 6mm temperli olarak Ordu Giresun havaalanı dış cephesinde kullanılmak üzere satışı yapılmıştır. Renk geçişi ve üretim sırasında alınan numunelerin Lab diyagramındaki konumları Şekil 5’te verilmiştir. Düzcama grubumuzda üretimi yapılan renksiz,

Şekil 3.  $Fe_2O_3$  konsantrasyonunun zamana bağlı olarak teorik ve pratik değişim grafiği



Şekil 4. CoO konsantrasyonunun zamana bağlı olarak teorik ve pratik değişim grafiği



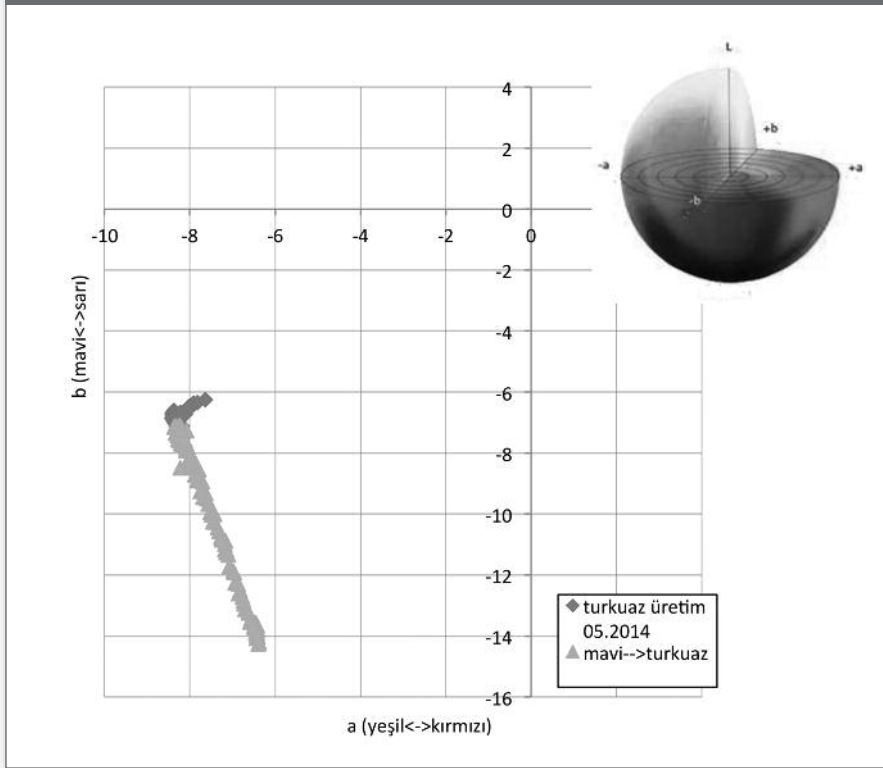
yeşil, turkuaz ve mavi düzcamların renklendirici içerikleri ile optik performansları turkuaz cam ile karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir. Şekil 6'da ise söz konusu düzcamların gösterimleri yer almaktadır. Şekil 6'da gösterilen camların spektrumları Şekil 7'de verilmiş olup, camlardaki  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  ve  $Co^{2+}$  absorpsiyonları görülmektedir.

Helio Turkuaz cama ait renk ve optik performans değerleri 6mm ve 8mm standart kalınlığa göre Tablo 4'te verilmektedir. 6mm Tentesol T Turkuaz camın optik performans değerleri ise Tentesol T Mavi Camla karşılaştırmalı olarak Tablo 5'te gösterilmektedir.

6 mm TRC Ecotherm+12 mm AB (Kuru hava)+6 mm TRC Helio Turkuaz ve 6 mm TRC Helio Turkuaz+12 mm AB (Kuru hava)+6 mm TRC Helio Clear çift camlarının 6mm standart kalınlığa göre hesaplanmış optik performans değerleri Tablo 6'da gösterilmektedir. Söz konusu tabloda "Gün Işığı" ve "Güneş Enerjisi" değerleri, EN 410 standardına uygun olarak "TNO Science and Industry" - WIS 3.01 paket programı ile, ısı geçirgenlik katsayısı olan U değeri ise EN 673 standardına uygun olarak WIS 3.01 programıyla hesaplanmıştır.

Helio turkuaz cam, görece yüksek ışık geçirgenliği yanısıra

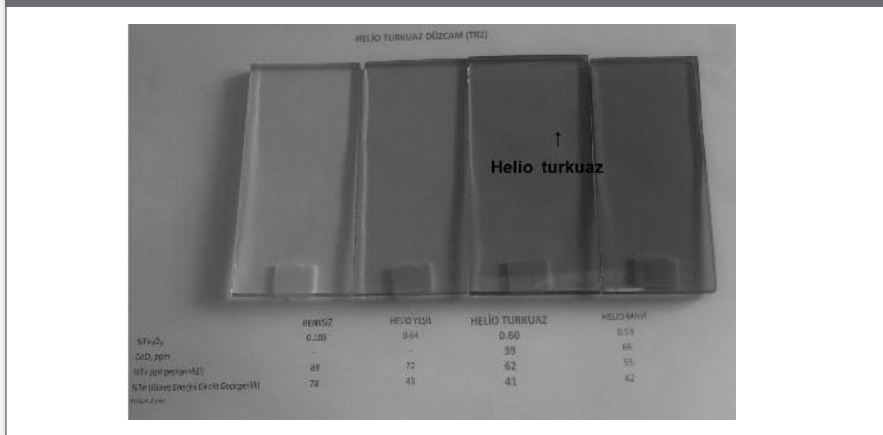
**Şekil 5. Renk geçişi ve üretim sırasındaki numunelerin Lab diyagramındaki konumları (std.kal.6 mm)**



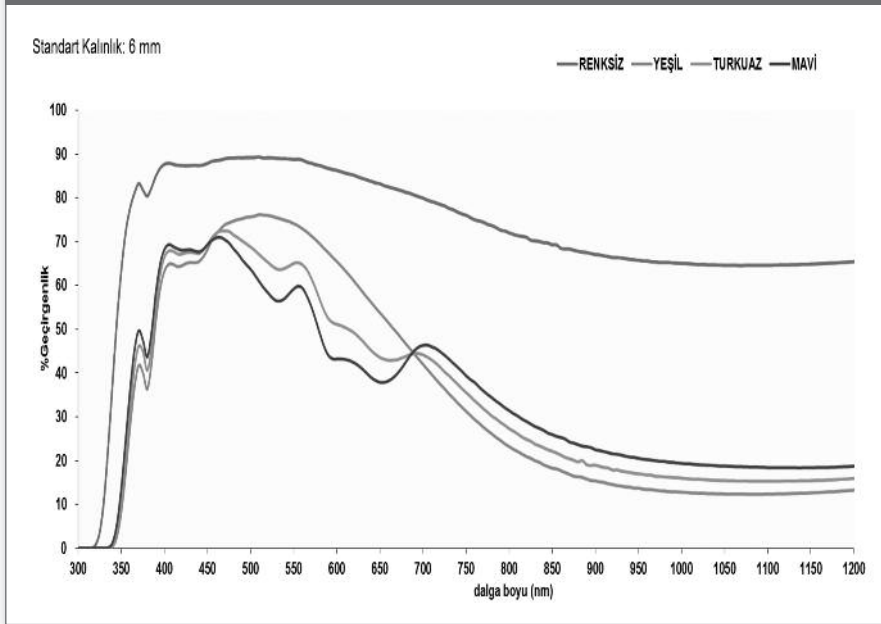
**Tablo 3. Renksiz, yeşil, turkuaz ve mavi camların üretim değerleri (standart kalınlık: 6mm)**

	RENKSİZ	HELİO YEŞİL	HELİO TURKUAZ	HELİO MAVİ
%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.105	0.64	0.60	0.53
CoO, ppm	-	-	39	68
%Tv (Işık geçirgenliği)	88	72	62	55
%Te (Güneş Enerjisi Direkt Geçirgenlik)	78	43	41	42

**Şekil 6. Renksiz, yeşil, turkuaz ve mavi düzcamlar**



**Şekil 7. Renksiz, yeşil, turkuaz ve mavi düzcamların spektrumları (standart kalınlık: 6 mm)**



**Tablo 4. Helio Turkuaz cama ait renk ve optik performans değerleri**

Numunenin Tanımı	Numune Kalınlığı (mm)	Standart Kalınlık (mm)	Gün Işığı		Güneş Enerjisi		UV Geçirgenlik (%)	IR Geçirgenlik (%)	Geçirgenlik Renk		
			Geçirgenlik (%)	Yansıtma (%)	Direkt Geçirgenlik (%)	Yansıtma (%)			L	a	b
8 mm TRC Helio Turkuaz	7.82	8.00	54.0	5.7	33.5	4.9	14.8	15.5	78.4	-10.3303	-9.3791

**Tablo 5. Tentosol T Mavi ve Tentosol T Turkuaz camlara ait renk ve optik performans değerleri**

Numunenin Tanımı	Numune Kalınlığı (mm)	Standart Kalınlık (mm)	Gün Işığı		Güneş Enerjisi			UV Geçirgenlik (%)	Isı Geçirgenlik Katsayısı U değeri W/ m <sup>2</sup> K (EN 673)	Yansıtma Renk			Geçirgenlik Renk		
			Geçirgenlik (%)	Yansıtma (%)	Direkt Geçirgenlik (%)	Yansıtma (%)	Göleleme Katsayısı			L	a	b	L	a	b
Tentosol T Mavi (Kapalı Taraf)	12.4	9.1	43.0	-7.3230	-7.4810										
Tentosol T Turkuaz (Kapalı Taraf)	5.94	5.94	44.6	32.2	31.9	24.3	48.6	15.4	5.7	63.5	-2.3650	-3.3324	72.6	-6.7375	-4.7657
Tentosol T Turkuaz (Kapalı Taraf)				17.7		11.1				49.1	-8.2900	-9.5021			

**Tablo 6. Helio Turkuaz camın Ecotherm ve Clear camlar ile çift cam olarak optik performans değerleri**

Numunenin Tanımı	Gün Işığı (EN 410)			Güneş Enerjisi (EN 410)					Isı Geçirgenlik Katsayısı U değeri W/ m <sup>2</sup> K (EN 673)
	Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	İçe Yansıtma %	Direkt	Dışa	Soğurma	Toplam	Gölgeleme	
				Geçirgenlik %	Yansıtma %	%	Geçirgenlik %	Katsayısı	
6 mm TRC Ecotherm+ 12 mm AB (Kuru hava)+ 6 mm TRC Helio Turkuaz	54.2	10.0	7.6	29.1	21.6	23.5	34.6	59.7	1.3
6 mm TRC Helio Turkuaz+ 12 mm AB (Kuru hava)+ 6 mm TRC Helio clear	54.8	9.0	12.6	34.9	6.6	54.3	47.7	49.9	2.7

düşük güneş enerjisi geçirgenliğine sahip olup “solar kontrol cam” kategorisindedir. Deneme üretiminde alınan numuneler patent başvurusu için değerlendirilmektedir. İlk değerlendirmelere göre, camın patentlenebilirliği konusunda olumlu görüş oluşmuştur.

### 3. SONUÇ

Cam Teknolojisi Yöneticiliği tarafından düzcam firmalarında üretilen renkler arasında yapılan renk geçişlerinde ara renklerin yeni ürün olarak alınabilmesi ve renk geçiş kayıplarının azaltılması ve bunun yanı sıra yeni düzcam renkleri üretilebilmesine yönelik yapılan proje çalışması neticesinde seçilen ve “Helio turkuaz” olarak adlandırılan camın 3.5 gün süresince deneme üretimi yapılmıştır. Toplamda 1850 ton üretilen Helio turkuaz cam, 8mm temperli olarak balkon camlarında, 6mm+6mm lamine mimari dış cephe camı olarak Emlak konutları TEM 2 projesinde ve 6mm temperli olarak Ordu Giresun havaalanı dış cephesinde kullanılacaktır.

Söz konusu cam, renk geçişlerinde alınan ve ayrıca deneysel olarak eritilen ara renk numuneleri arasından seçilirken, Trakya Cam Sanayii üretim skalasında bulunmayan renk ve optik performans değerlerine ve solar kontrol özelliğe sahip bir cam geliştirilmesi amaçlanmıştır. Helio turkuaz cam’ın üretim koşullarımızda fazla değişikliğe neden olmadan, mevcut üretilen renklere kolaylıkla renk geçişi yapılabilecek ve üretimi için fırında çok özel ekipmanlara gerek duyulmayacak bir kompozisyona sahip olmasının yanı sıra, patent başvurusuna uygunluğu da amaçlanmıştır.

Helio turkuaz cam ile sağlanan avantajlar aşağıda özetlenmiştir:

- Pazara yeni ve uzun yıllardır üretimi yapılan renklere alternatif bir ürün sunularak satış artışının sağlanması
- Ara renk olması nedeniyle, geçiş ve üretimde oluşan cam kırıklarının, ana renkli cam üretimlerinde kullanılmasında kolaylık ve esneklik sağlanması, dolayısıyla cam kırığı kullanım olanağının artırılması
- Renk geçişleri arasındaki adımların küçülmesi ile,
  - geçişte kaybedilen ürün miktarının azaltılması
  - hedef cam rengine ve özelliklerine daha kısa sürede ulaşılması
  - fırın koşullarını etkileyecek radikal değişiklikler yapılmaması nedeniyle, fırının daha az rahatsız edilmesi ve dolayısıyla fırın ömrü üzerindeki olumsuz etkinin azaltılması

Helio turkuaz cam, görece yüksek ışık geçirgenliği yanısıra düşük güneş enerjisi geçirgenliğine sahip olup “solar kontrol cam” kategorisindedir ve ilk değerlendirmelere göre patent başvurusu için uygun görünmektedir.

### KAYNAKLAR

1. Hande Sengel, Melek Orhon, Fehiman Akmaz, Dr. Mustafa Oran “İleri Cam Teknolojisi Eğitim Notları” T.Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Eğitim Yayını, Kasım 2004

# PAŞABAHÇE KIRKLARELİ A FIRINI “KRİSTALİN” CAM ÜRETİMİ



**Banu Çopuroğlu<sup>1</sup>, Lale Önsel<sup>1</sup>,  
Zeynep Eltutar<sup>1</sup>,  
Burak İzmirlioğlu<sup>2</sup>,  
Şener Yılmaz<sup>2</sup>, Levent Kaya<sup>1</sup>,  
Erkul Efendiler<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Ergitme Teknolojileri ve Mühendislik Direktörlüğü  
<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Analitik Destek Hizmetleri Merkez Yöneticiliği  
<sup>3</sup> Şişecam Topluluğu, Cam Ev Eşyası Grup Başkanlığı, Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Kırklareli Fabrikası  
bcopur@sisecam.com  
lonsel@sisecam.com  
zeltutar@sisecam.com  
bizmirliooglu@sisecam.com  
syilmaz@sisecam.com  
lkaya@sisecam.com  
eefendiler@sisecam.com

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:62-65  
©Şişecam

*Erkul Efendiler, 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2003-2005 yılları arasında Eczacıbaşı İlaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de Arge mühendisi, 2005-2007 yılları arasında Danone Tikveşli Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de Proses Projeleri Yönetici olarak görev almış olup, Halen Paşabahçe Kırklareli Fabrikasında Fırın Harman Şefi olarak görev yapmaktadır.*

## ÖZET

“Paşabahçe Kırklareli A” fırını son iki kampanyasında soda-kireç cam üretiminden “kristalin” cam üretimine geçmiştir. İlk kampanyası 2006 yılında, ikincisi kampanyası da 2013 yılında soğuk tamir ile devreye alınmıştır.

İlk kampanyada ağırlıklı hata oranının %17 oranına varan ergime kaynaklı “maden düğme” hatası yaşanmıştır. İkinci kampanyada özellikle bu cam hatalarını minimize etmeye yönelik çalışmalar yapılarak pres-üfleme ürünlerde bu değer in kampanya boyunca %10’un altına çekilmesi hedeflenmiştir.

Bu bağlamda özellikle fırın tipi ve refrakter malzeme konusunda çalışmalar yapılmıştır. Elektrikli, rejeneratif ve oxy-fuel fırın tipleri değerlendirilmiş, kendi modelleme ve fizibilite çalışmalarımız yanı sıra Schott firmasından da oxy-fuel fırın için teklif alınmıştır. Değerlendirmeler sonunda 30-60t/g kapasiteli sadece kristalin camı üretimi yapacak Şişecam tasarımı oxy-fuel fırına karar verilmiştir.

Üstyapı ve kemer malzeme kaynaklı hataları önlemek adına da özellikle elektrodöküm refrakter malzemeler için SEFPRO firması ile detaylı çalışmalar yapılmış ve en uygun malzemeler seçilerek fırında uygulanmıştır.

Tüm bu çalışmalar sonucunda fırın refrakter kaynaklı cam hataları yönünden hedeflenen değerlere ulaşılmıştır.

*Anahtar Sözcükler: Cam Ev Eşyası, Kristalin*

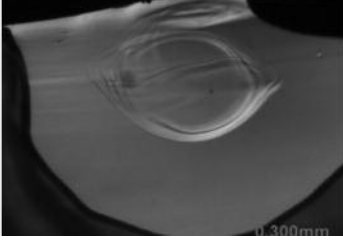
## 1. GİRİŞ

Daha önce soda-kireç camı üretimi yapılan Paşabahçe Kırklareli A fırınında, 2006 yılından itibaren f&d ismiyle bulaşık makinesine dayanıklı kurşunsuz kristal özellikli cam üretimine başlanmıştır. 2013 yılında yapılan soğuk tamir sonrasında, kurşunsuz kristal üretimi “nude” ismi adı altında 2. Kampanyasına devam etmektedir.

### 1.1 FIRIN TASARIMI VE REFRAKTER SEÇİMİ

Fırının ilk kampanyasında ağırlıklı hata oranının %17 oranına varan ergime kaynaklı



**Şekil 1-1 PKA Fırını Refrakter yüzey aşınmaları****Şekil 1-2 Ç/H Kanal taşı aşınmaları****A3 OCMI Dügme (1)****Şekil 1-3 Fırın Üst yapı akıntıları****Şekil 1-4 Üst yapı akıntısı (damla)****A3 OCMI Dügme (2)**

“maden düğme” hatası yaşanmıştır. İkinci kampanyada özellikle bu cam hatalarını minimize etmeye yönelik çalışmalar yapılarak pres-üfleme ürünlerde bu değerın kampanya boyunca %10'un altına çekilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda soğuk onarım çalışmaları kapsamında fırın üstyapı refrakterleri kaynaklı hataların giderilmesine öncelik verilerek “elektrikli fırın”, mevcut arkadan ateşlemeli “rejeneratif fırın” ve “oxy-fuel fırın” olmak üzere üç alternatif fırın tipi değerlendirilmiştir.

### 1.1.1 “COLD TOP” ELEKTRİKLİ FIRIN

Baca gazı emisyonları bakımından sağlamış olduğu avantajlar nedeniyle Opal cam üretimi için sıkça kullanılan “Cold Top” elektrikli fırınlar, üstyapı refrakterleri kaynaklı cam hatalarını minimize etme yönünde, en etkin eğitime yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak, çekiş esnekliğinin olmaması (maks.+/- %10), işletme zorluğu, işletme tecrübesi eksikliği, çil-habbe gibi hataların yüksek oranlarda olması nedenleriyle kurşunsuz kristal üretimleri için elektrikli Cold top fırın dizaynının uygun seçim olmayacağı görüşüne varılmıştır.

#### *Elektrikli Cold Top Fırın Avantajları*

- Üstyapı kaynaklı hataların engellenmesi.

- Fırında sağlanan kimyasal ve termal homojenizasyondan dolayı daha kaliteli cam üretimi  
- Cold top veya Semi cold top – daha yüksek enerji verimliliği

#### *Elektrikli Cold Top Fırın Dezavantajları*

- Yüksek yatırım ve işletme maliyeti  
- Kısa fırın ömrü (4 yıl)  
- Harman örtüsünün kalınlığını ayarlanma zorluğu  
- Günlük çekiş farklılığının %5'le sınırlı olması  
- Yüksek cam kırığı oranıyla çalışılmaması ,  
- Cam kırığı kullanım oranlarının +%2'den fazla değiştirilememesi  
- Çil –fıska hatasının önlenememesi  
- İşletmede üretim esnekliğinin kalmaması  
- İşletim tecrübesinin olmaması

### 1.1.2 OXY-FUEL FIRIN

Çevre emisyon limitleri açısından ileriye dönük beklentileri karşılama yönünde en doğru çözümdür. Oxy-fuel yakmada yüksek alev sıcaklığından dolayı çekiş artışı veya daha kaliteli cam üretimi beklenmektedir. Ancak, oluşan alkali buharlarının rejeneratif fırına göre daha yoğun (azot olmayan ortam) olduğu yanma ortamını, üstyapı ve kemer refrakterleri üzerinde korozif olmasından dolayı hata verme oranı

yüksektir. Hataları azaltılması için daha yüksek kalitede ve daha yüksek maliyette refrakter malzeme kullanılmaktadır.

#### **Oxy-Fuel Fırın Avantajları**

- Çevre Emisyon Limitleri “2020’ye kadar Türkiye’de de zorunlu olması beklenen limitler doğrultusunda en uygun seçimdir.”
- Enerji Tasarrufu : Hava/Gaz yakmalı fırınlara göre ~%10 daha tasarrufludur
- Birim alandan daha yüksek çekiş ve daha kaliteli cam üretimi
- Refrakter aşınmaları kaynaklı hatalarda azalma
- Rejeneratör olmadığından Refrakter malzeme ilk yatırım maliyeti daha düşüktür

#### **Oxy-Fuel Fırın Dezavantajlar**

- Oksijen üretim tesisi yatırımı gereken durumlarda ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Oksijen üretimi için elektrik kullanılmakta olup, elektrik fiyatlarına bağlı olarak işletme maliyeti yükselmektedir.

### **1.1.3 ARKADAN ATEŞLEMELİ REJENERATİF FIRIN (AAR)**

Mevcut arkadan ateşlemeli rejeneratif fırında yaşanan “düğme” hatalarının üstyapı-AZS camı faz ve silika kalite-kemer refrakterlerinin akmasından kaynaklandığı çeşitli kaynaklardan teyit edilmiştir. Yeni fırında tek bir cam kompozisyonu üretimi (kristalin) ile stabil işletme koşulları ve yüksek kaliteli refrakter uygulaması ile hataların hedeflenen seviyelere çekileceği öngörülmüştür.

#### **Arkadan Ateşlemeli Rejeneratif Fırın Avantajları**

- Değişken çekişler için esneklik.
- Doğru malzeme seçimi ile refrakter kaynaklı cam hatalarının azaltımı sözkonusudur

#### **Arkadan Ateşlemeli Rejeneratif Fırın Dezavantajları**

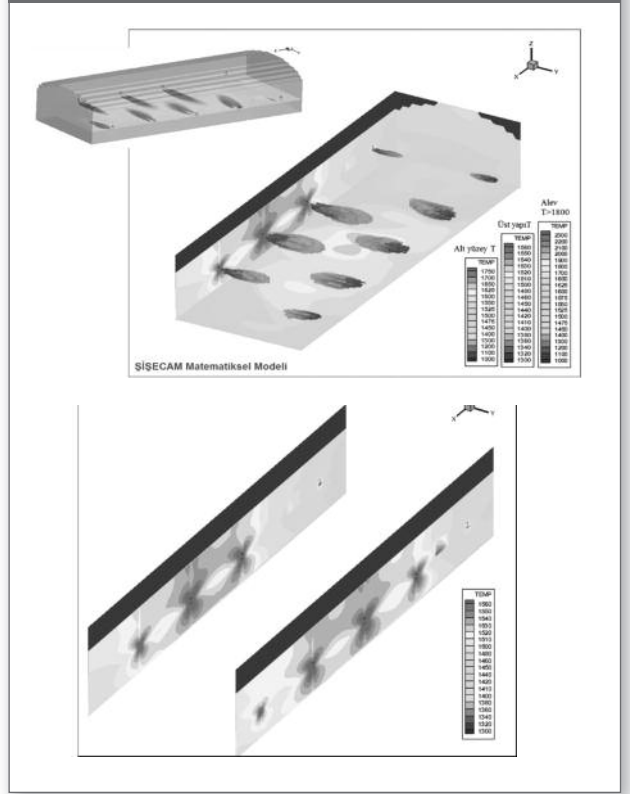
- Fırın Oksidasyon Seviyesinin stabil tutulma sorunları vardır
- Çil habbe sorunları görülebilmektedir

### **1.2 FIRIN TASARIM ÇALIŞMALARI**

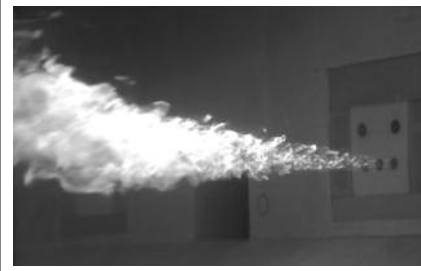
Tüm alternatif fırın tiplerinin fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

Oxy-fuel tasarımı için kendi modelleme çalışmalarımız yanı sıra Schott firmasından da teklif alınmıştır.

**Şekil 2-1-1 Fırın Modelleme Çalışmaları**



**Şekil 2-1-2 Oxy Fuel yakma sistemi**



**Şekil 2-3 Dog House Görüntüsü**



Oxy-fuel fırın için modelleme çalışmalarının sonuçları yakma grubu ile değerlendirilerek fırının genel ölçüleri ve bek

Tablo 1- 1 A Fırını cam hatası oranları

	2.KAMP	3.KAMP	4.KAMP	5.KAMP	Ortalama	Yeni Fırın
Ocme	12%	13%	16%	19%	15%	6%
Forma	11%	8%	13%	23%	14%	6%

yerleşiminin ne olacağı kararlaştırılmıştır. Değerlendirmeler sonunda 30-60t/g kapasiteli sadece kristalin camı üretimi yapacak, Şişecam tasarımı oxy-fuel fırınına karar verilmiştir.

Oxy-fuel yakmalı fırına yönelik refrakter seçimleri için SEFPRO firması ile ortak çalışmalar yürütülerek, kristalin cam kompozisyonuna en uygun refrakterlerin belirlenmesi sağlanmıştır.

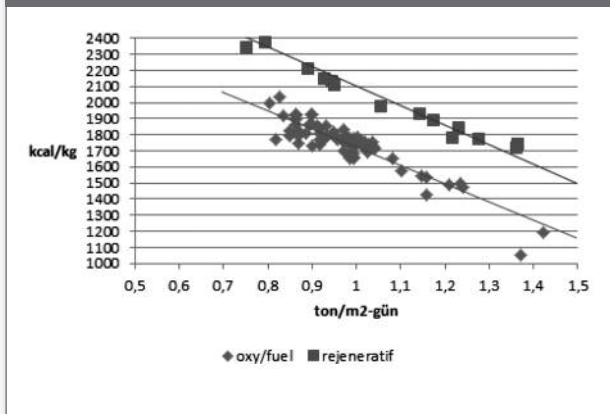
İlgili firmalarla ve geçmiş tecrübelerimize dayanarak, fırının bütün bölümleri için alternatif refrakterler belirlenmiş ve SEFPRO-Cree laboratuvarlarında karşılaştırmalı testler yapılmıştır. Sonuçlar BTM'de yapılan paralel çalışmalarla beraber değerlendirilerek refrakter seçimi tamamlanmıştır.

### 1.3 SONUÇ

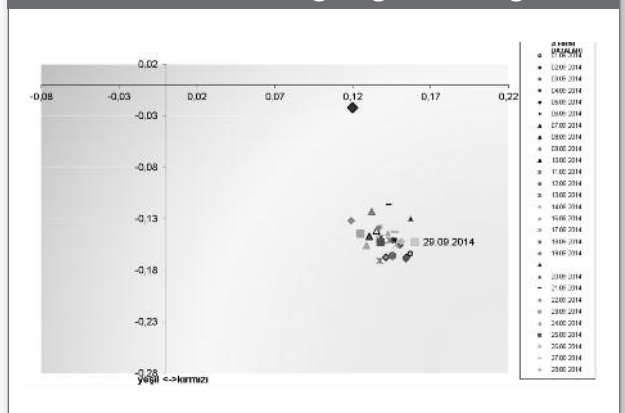
- 04.09.2013 tarihinde Oxy-Fuel dizaynı ile devreye alınmış olan kristal fırınınızın cam hatası oranları hedeflenen seviyelere düşmüştür.

- Oxy-Fuel fırınınızın yakıt tüketim performansı Rejeneratif fırına göre daha iyidir.
- Oxy-Fuel yakma sistemi verilerine göre yaklaşık %20 enerji tasarrufu sağlanmaktadır.
- Oxy-Fuel Fırın işletimi konusunda tecrübe kazanıldıkça tasarruf miktarının artması beklenmektedir.
- Yakıt performansının iyileştirilmesine yönelik optimizasyon çalışmalarına devam edilmektedir
- Oxy-Fuel yakma ile fırın oksidasyon kontrolü kolaylaşmıştır.
- Oxy-Fuel yakma sisteminin avantajı ile cam renk değerlerinde oynaklık olmadan daha kararlı şartlarda üretim yapılır duruma gelinmiştir.
- Yeterli miktarda atıl oksijen kapasitesinin olduğu durumlar ile Oksijen üretim maliyetlerinin düşük olması halinde, çevre emisyon değerleri, ergitme avantajları, fırın işletim kolaylığı ve yüksek cam kalitesi nedenleriyle fırın tipinin oxy-fuel olarak seçilmesi önerilmektedir

Grafik 1- A fırını Yakıt Tüketim değerleri



Grafik 1-2 A fırını Renk grafiği (L.a.b değerleri)



# YÜKSEK VERİMLİ DERİN AFİNASYONLU CAM AMBALAJ FIRINININ GELİŞTİRİLMESİ – ANADOLU CAM ESKİŞEHİR B FIRINI



**Zeynep Eltutar<sup>1</sup>, Lale Önsel<sup>1</sup>,  
Fatih Güçlü<sup>1</sup>, Levent Kaya<sup>1</sup>,  
Emre Dumankaya<sup>1</sup>,  
Cüneyt Kumru<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Ergitme Teknolojileri Direktörlüğü

<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Cam Ambalaj Grubu, Anadolu Eskişehir Cam Sanayi A.Ş.

zeltutar@sisecam.com

lonsel@sisecam.com

fguclu@sisecam.com

edumankaya@sisecam.com

ckumru@sisecam.com

*Zeynep Eltutar, 1984 yılında Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünü bitirmiş, aynı yıl Şişecam Cam Araştırma Merkezi'nde çalışmaya başlamıştır. Halen Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde baş uzman araştırmacı olarak fırın tasarımı ve işletmesinde modelleme konusunda çalışmaktadır.*

*2004 yılından itibaren Uluslararası Cam Komisyonunun 'Cam Eritme Süreçlerinin Modellenmesi' konulu 21 no'lu Teknik Komitesine üyedir.*

## ÖZET

Cam fırınlarında, cam derinliği fırın tasarımındaki önemli parametrelerden biridir. Cam derinliği konusundaki gelişmeler birim alandan cam çekişinin arttırılmasına, cam kalitesinin iyileştirilmesine ve enerji tasarrufu sağlanmasına olanak tanımaktadır. Cam derinliğinin seçimi, üretilen camın cinsine, cam rengine ve türündeki kalite beklentilerine bağlı olarak değişmektedir. Cam banyosundaki konveksiyon akımlarını ve ısı transferini, cam derinliğini değiştirerek kuvvetlendirmek, böylece cam kalitesi ya da fırın kapasitesinde artış sağlamak mümkündür.

Yüksek verim ve kalitede üretim yapılabilecek derin afınasyonlu bir fırın geliştirilmiştir. Fırın atmosferi ve cam banyosuna ilişkin tasarımı matematiksel model çalışmaları ile geliştirilen fırının, atmosferinde yapılan geliştirmeler ve derin afınasyon uygulaması ile fırın enerji ihtiyacı % 7 oranında azaltılmıştır;

- fırın atmosferinde yapılan geliştirmelerle % 4,
- derin afınasyon uygulaması ile % 3 seviyesinde enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Fırın verimliliğinin arttırılmasına yönelik yapılan matematiksel model çalışmaları sonucunda geliştirilen 450 t/g kapasiteli, derin afınasyonlu ambalaj fırını tasarım kriterleri ilk olarak Anadolu Cam Yenişehir D fırınında uygulanmıştır. Bu fırın, enerji verimliliği ve cam kalitesi açısından yüksek performans göstermektedir. Fırın atmosferinde enerji verimliliğinin daha da arttırılması ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının düşürülmesine yönelik devam edilen çalışmalar sonucunda 450 t/g kapasiteli, derin afınasyonlu ikinci ambalaj fırını olan Anadolu Cam Eskişehir B fırını yapılmıştır. Fırının rejeneratörleri, yakma sistemleri, malzeme ve izolasyon tasarımları da proje kapsamında yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir.

Şubat 2013 tarihinde üretime başlayan fırında yapılan incelemelerle, fırında cam kalitesinin hedeflenen değerlerde olduğu (1-60 adet/30 gr) ve enerji tüketiminin 925 kcal/kgcam (% 25 cam kırığı ile) gibi çok düşük seviyelere indirildiği belirlenmiştir. Geliştirilen fırında, daha sonra celcian firması tarafından yapılan benchmark çalışmaları

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:66-69

©Şişecam

sırasında birim enerji tüketimi 902 kcal /kg cam olarak ölçülmüş ve dünya cam ambalaj fırınları ile karşılaştırıldığında incelenen 130 adet arkadan ateşlemeli fırın içinde 5. sırada yer almıştır.

Fırına ilişkin geliştirmeler diğer grup ya da şirketlerde de uygulanabilecek nitelikte olup kazançlar şirket bünyesinde yaygınlaştırılmakta ve fırınların performanslarını arttırmak üzere tasarıma yönelik yapılan yeni geliştirmelere ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Cam Fırını, Matematiksel Modelleme, Cam Derinliği, Fırın Atmosferi, Enerji Tasarrufu

Cam derinliği cam fırını tasarımındaki önemli parametrelerden biridir ve cam derinliği konusundaki gelişmeler;

- birim alandan cam çekişinin arttırılmasına,
- cam kalitesinin iyileştirilmesine ve
- enerji tasarrufu sağlanmasına

olarak tanımlanmaktadır. Cam derinliğinin seçimi, üretilen camın cinsine, cam rengine ve türündeki kalite beklentilerine bağlı olarak değişir. Cam banyosundaki konveksiyon akımlarını ve ısı transferini, cam derinliğini değiştirerek kuvvetlendirmek, böylece cam kalitesi ya da fırın kapasitesinde artış sağlamak mümkündür.

Yüksek verim ile kaliteli üretim yapılabilmesi için, fırın atmosferi ve cam banyosuna ilişkin kapsamlı matematiksel model çalışmaları yapılmış ve derin afinyonlu bir cam

ambalaj fırını geliştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde geliştirilen fırında, cam banyosunda elde edilen sıcaklık ve akım dağılımı görülmektedir.

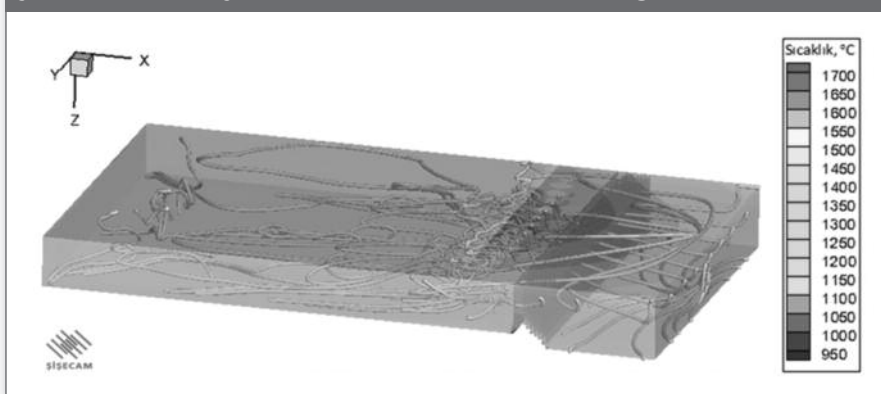
Fırın verimliliğinin arttırılmasına yönelik yapılan matematiksel model çalışmaları sonucunda geliştirilen 450 t/g kapasiteli, derin afinyonlu cam ambalaj fırını tasarım kriterleri ilk olarak Anadolu Cam Yenişehir fabrikasında uygulanmıştır. Bu fırın, enerji verimliliği ve cam kalitesi açısından yüksek performans göstermektedir. Fırın atmosferinde enerji verimliliğinin daha da arttırılması ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının düşürülmesine yönelik devam edilen çalışmalar sonucunda 450 t/g kapasiteli, derin afinyonlu ikinci ambalaj fırını da Anadolu Cam Eskişehir fabrikasında yapılmıştır. Renksiz ve yeşil renkli üretimlerde 450 t/g kapasiteyi sağlamak için gerekli görülen elektrik takviye sistemi de kurulmuştur.

Birim enerji tüketimi ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürmek için yapılan matematiksel model çalışmaları sonucunda yeni fırında,

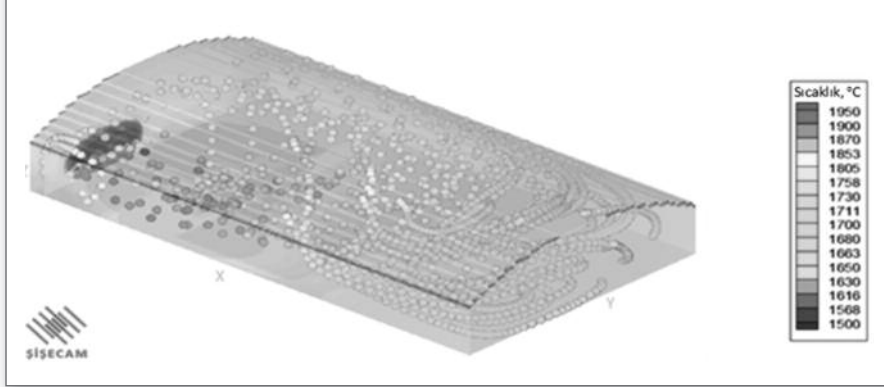
- kemer yüksekliği arttırılmış,
- bek ile cam seviyesi arasındaki mesafe arttırılmış ve
- port yüksekliği azaltılmıştır.

Fırının rejeneratörleri, yakma sistemleri, malzeme ve izolasyon tasarımları da proje kapsamında yapılan çalışmalarla geliştirilmiştir. Anadolu Cam Yenişehir Fabrikası'nda son yapılan fırının taban izolasyonunda taban izole katmanı sayısı bir sıra arttırılmış ve toplam 3 sıra taban izole refrakteri kullanılmıştır. Eskişehir

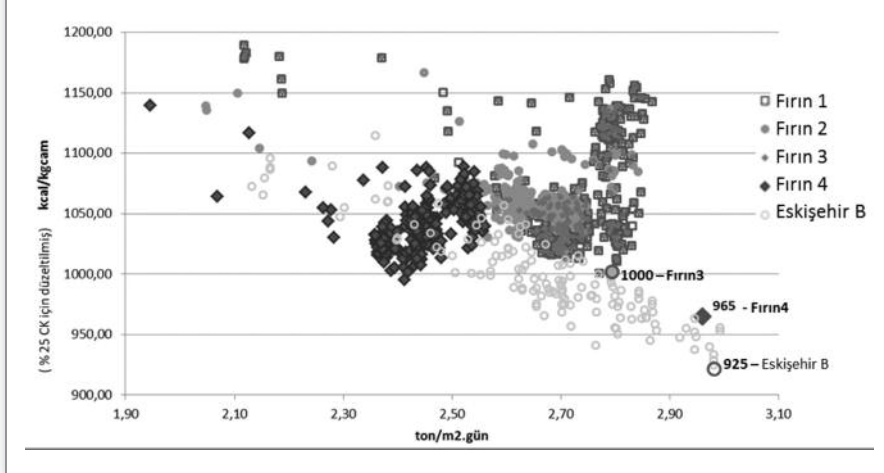
**Şekil 1. Cam banyosunda cam sıcaklık ve akım dağılımı**



Şekil 2. Fırın atmosferinde sıcaklık ve akım dağılımı



Şekil 3. Düz fırın ve derin afinasyonlu geliştirilmiş fırınların birim çekiş ve birim yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması



Fabrikası'nda son geliştirmelerle yapılan fırın projesinde de aynı taban izolasyonu yapısı kullanılmıştır. Ayrıca port boyunlarının ve üst yapının izolasyonu fiziksel yerleşimin ve kullanılan malzemelerin dayanım sıcaklıklarına göre arttırılmıştır. Fırın taban alanı metrekaresine göre yapılan dolgu hacmi hesabının derin afinasyonlu fırınlar için geçerli olmayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle derin afinasyonlu fırınlar için günlük çekiş tonajına göre yeni bir tanımlama yapılmış ve bu tanımlamaya göre rejeneratör dolgu hacmi hesaplanmıştır. Rejeneratör verimini arttırmak amacıyla rejeneratör en boy oranı önceki fırınlara göre değiştirilmiştir. Yapılan ilk ölçümlerde rejeneratör veriminin baz durum olan Yenişehir Fabrikası'ndaki son yapılan fırına göre % 1 ila 1,5 oranında arttığı tespit edilmiştir.

2013 yılında üretime başlayan fırında yapılan incelemelerle fırında cam kalitesinin çok iyi olduğu (1-60 adet habbe/30 gr)

ve enerji tüketiminin 925 kcal/kg cam (% 25 cam kırığı ile) gibi çok düşük seviyelere indirildiği belirlenmiştir.

2013 yılında devreye alınan fırında yapılan bu çalışmaların sonucunda fırın atmosferindeki geliştirmeler, derin afinasyon uygulaması, izolasyonda ve rejeneratör tasarımında yapılan iyileştirmelerle fırın enerji ihtiyacı % 7 oranında azaltılmıştır, renk farkı da düşünüldüğünde % 7'lik getiri daha yüksek olacaktır.

- fırın atmosferinde yapılan geliştirmelerle % 4,
- derin afinasyon uygulaması ile % 3 seviyesinde enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Geliştirilen fırında, üretime alınmasından ve işletmedeki şartların düzenlenmesinden belli bir süre sonra uluslararası benchmark çalışmaları sırasında Celsius firması tarafından yapılan ölçümlerde, birim enerji tüketimi 902 kcal /kg cam

(% 50 cam kırığı ile) olarak belirlenmiş ve dünya cam ambalaj fırınları ile karşılaştırıldığında incelenen arkadan ateşlemeli 130 fırın içinde 5. sırada yer almıştır.

Fırına ilişkin geliştirmeler şirket bünyesinde yaygınlaştırılmakta ve fırınların performanslarını arttırmak üzere tasarıma yönelik yapılan yeni geliştirmelere ilişkin çalışmalar da sürdürülmektedir. Bunun yanında yeni cam eritme tekniklerine ait incelemeler devam etmekte ve bu konudaki uluslararası çalışmalarda da yer alınmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. Eltutar, Z., Önsel, L. ve Oruç, O. “Significance of Glass Depth in Furnace Performance”, 7. ESG Cam Bilim ve Teknoloji Konferansı, Yalos, Greece, Nisan,2004.
2. Eltutar, Z., Ünsal,A., Önsel, L. ve Oruç, O., “400 Ton/Gün Kapasiteli Yeşil Şişe Fırını Tasarım Kriterleri”, 20. Cam Problemleri Sempozyumu, İstanbul, Kasım 2005.
3. Eltutar, Z., Önsel, Özel, S., Yay, E., Çınar, S., Taşçı, S., “Cam Ev Eşyası Fırınında Derin Afinyon Uygulaması PE C Sınai Fırını”, 21. Cam Sempozyumu, İstanbul, Kasım 2008.
4. Önsel, L., Eltutar, Z., Özel, S., “Glass Furnace Modelling”, 4. Balkan Cam Bilim ve Teknoloji Konferansı, Varna, Bulgaristan, Eylül,2008.
5. Eltutar, Z., Önsel, L., Özel, S., “Simulation and Evaluation of NOx in Glass Furnaces”,10. Uluslararası Fırın Tasarımı-İşletmesi ve Simülasyonu Semineri, Velke Karlovice, Çek Cumhuriyeti, Haziran, 2009.
6. Özel Uçar, S., Eltutar, Z., Önsel, L., “An Analysis of the Effect of Combustion Space Design on Glass Furnace Performance and NOx Emissions with Mathematical Modelling”, 11. Uluslararası Fırın Tasarımı-İşletmesi ve Simülasyonu Semineri, Velke Karlovice, Çek Cumhuriyeti, Haziran, 2011.
7. Eltutar, Z., Özel Uçar, S., Önsel, L., “The Use of Mathematical Modelling for Furnace Design with Higher Furnace Performance and Lower NOx Emissions”, V. Balkan Cam Bilim ve Teknoloji Konferansı, Nessebar, Bulgaristan, 25-29th September, 2011.
8. Önsel, L., Eltutar, Z. ve Özel Uçar, S., “A Modelling Analysis of Gas Velocities with respect to Furnace Performance”, 11th ESG Cam Bilim ve Teknoloji Konferansı, Maastricht, 3-6 Haziran, 2012.
9. Önsel,L., Eltutar, Z. ve Özel Uçar, S., “Mathematical Modelling Analysis on Increasing Furnace Performance with Improvements in Design and Operation”, ICG - Glass Trend; Cam Sanayiinde İnnovasyon Semineri ve Cam Üretim Grubu Çalışması, Eindhoven, 10-12 Nisan, 2013.
10. Önsel, L., Eltutar, Z. ve Özel Uçar, S., “Mathematical Modelling Analysis on Increasing Furnace Performance with Improvements in Design and Operation”, Glass International, Kasım, 2013.

# CAM ENDÜSTRİSİNDE ALTERNATİF YAKITLAR VE İNOVATİF ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ



## Neşet Naci Arzan, Levent Kaya, Emre Dumankaya

Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Ergitme Teknolojileri ve Mühendislik Direktörlüğü  
lkaya@sisecam.com  
narzan@sisecam.com  
edumankaya@sisecam.com

Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında lisans 1992 yılında yüksek lisans derecelerini almıştır. 1993 yılında Cam Elyaf Sanayi A.Ş.'de göreve başlamıştır. 1994 yılında da Marmara Üniversitesi İşletme İktisadi bölümünü tamamlamıştır. 2014 yılından itibaren Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı'na bağlı Ergitme Teknolojileri ve Mühendislik Direktörlüğü'nde Baş Uzman Proje Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

## ÖZET

Cam üretiminde enerji, toplam maliyetler içinde önemli bir yer tutmaktadır. Topluluğumuzda en çok tüketilen enerji türü konumunda olan doğal gazın birim fiyatında süregelen artışların, gelecekte de devam etmesi beklenmelidir. Enerji maliyetleri dizginlemek için, enerji tasarrufu önlemlerinin aksamadan sürdürülmesinin yanında, doğal gazı göre daha ucuz olan alternatif enerji kaynakları konusunda yeni arayışlara girilmesi kaçınılmazdır.

Bildiri kapsamında,

- cam ergitme fırınlarında doğal gazı alternatif olabilecek yakıtlar,
- yanma özellikleri ve hava kalitesine etkileri,
- refrakter ve cam kalitesi üzerinde yaratacağı olumsuzluklar ve uygulama zorlukları,
- geliştirme aşamasında bulunan inovatif atık ısı geri kazanım sistemleri

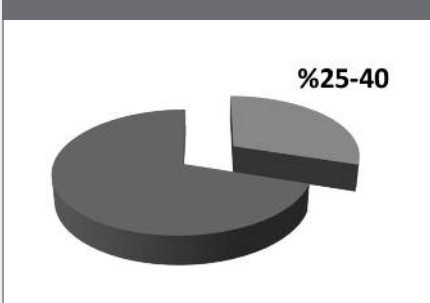
konularında bilgilendirme yapılmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Alternatif Yakıt, Enerji Maliyeti

## ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

Cam üretiminde enerji, toplam maliyetler içinde önemli bir yer tutmaktadır.

**Şekil 1. Enerji Maliyetinin Toplam Maliyet içindeki payı**



Topluluğumuzda en çok tüketilen enerji türü konumunda olan doğal gazın birim fiyatında süregelen artışların gelecekte de devam etmesi beklenmelidir.

Enerji tasarrufu önlemlerinin aksamadan sürdürülmesinin yanında, atık ısının değerlendirilmesinde yenilikçi yaklaşımlar sunan ısı geri



kazanım sistemlerinin hayata geçirilmesi ve ayrıca, doğal gaza göre daha ucuz olan alternatif yakıtların kullanımını önemli maliyet düşürme imkanları sunmaktadır.

Şekil 2. Alternatif Enerji Kaynakları



### Petrokok

Petrokok, ham petrolün artılmasından elde edilen yüksek karbon içerikli, katı hidrokarbon ihtiva eden bir yan üründür.

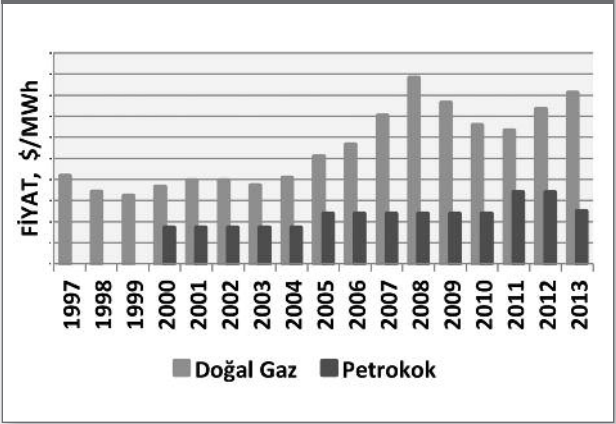
Dünyada ana üretici (%60) A.B.D olup ikinci sırada (%25) Çin gelmektedir.

Tablo 1. Petrokok ve benzer yakıtların içerik karşılaştırması

	Petrokok	Fuel Oil (#6)	Kömür
Sabit Karbon	80 - 95	85	72
Hidrojen	3,0 - 4,5	13	5
Kükürt	1 - 6	2 - 5	0,5
Uçucu Madde	5 - 15	85	41
Nem	0,5 - 10	-	10
Kül	0,1 - 1,0	0,1 - 0,3	10
NCV kWh/t	10 009	11 527	8
			311
<b>Metal İçeriği(ppm):</b>			
Vanadyum	200 - 3000	160 - 450	-
Nikel	100 - 3000	50 - 100	-

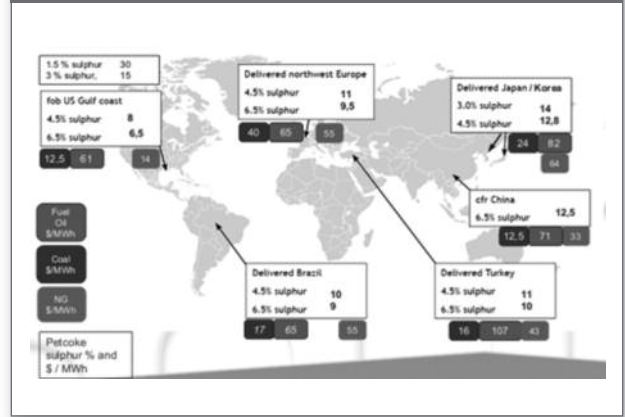
Türkiye şartlarında petrokok (% 5 S), doğal gaza göre 1/3 oranında daha ucuzdur(fabrika teslimi olarak).

Şekil 3. Yıllara göre Doğal Gaz - Petrokok fiyatları



Coğrafi olarak, petrokok fiyatındaki değişimler doğal gaz ve kömüre göre daha azdır.

Şekil 4. Dünya Fuel-oil, Kömür ve Petrokok fiyatları



**Temin ve hazırlama:** Petrokok, dökme olarak dışarıdan temin edilir, ya da kullanıcının sahasında kurulacak bir öğütme tesisinde hazırlanır.

Şekil 5. Örnek bir petrokok öğütme tesisi

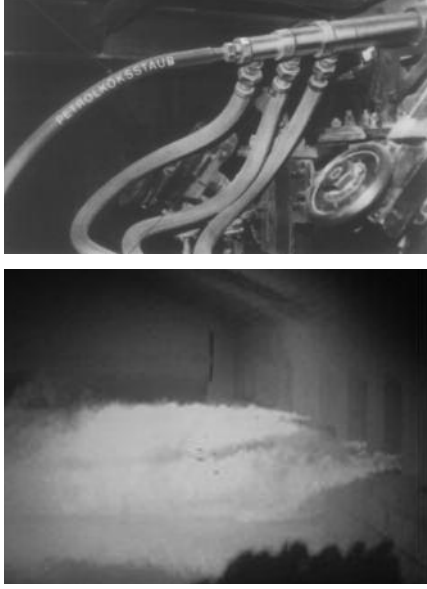


Petrokok hazırlama tesisinin ilk yatırım maliyeti yaklaşık 400-500k€/ton-saat seviyesindedir.

Cam fırınlarında yakma kalitesindeki petrokokun tane iriliği 75-85 $\mu$  (>% 90) seviyesinde olmalıdır.

**Yakma:** Petrokok, hazırlama tesisinden fırın beklerine kadar basınçlı hava taşınır. Isıl kararlılık açısından ideal karışım %80 (max.) petrokok %20 doğalgaz olmalıdır.

Şekil 6. Petrokok beki ve fırın içi alevi



Petrokok yakma sisteminin maliyeti port çifti başına yaklaşık 125-150k€ mertebesindedir.

**Olumsuz etkileri (Refrakter ömrü, cam kalitesi ve çevre):**

Petrokokun, içerdiği yüksek oranlardaki Vanadyum ve Nikel nedeniyle fırın refrakterleri üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (fırın ömrünün ¼ oranında kısalması).

Cam kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri ise, yüksek kükürt içeriği sebebiyle cam rengi olumsuz (indirgen şartlar) etkilenebilir, ihtiva ettiği külün yarısı cama geçer (renksiz camda problem) ve külün geri kalanı rejeneratörlerde birikir (sık temizleme ihtiyacı).

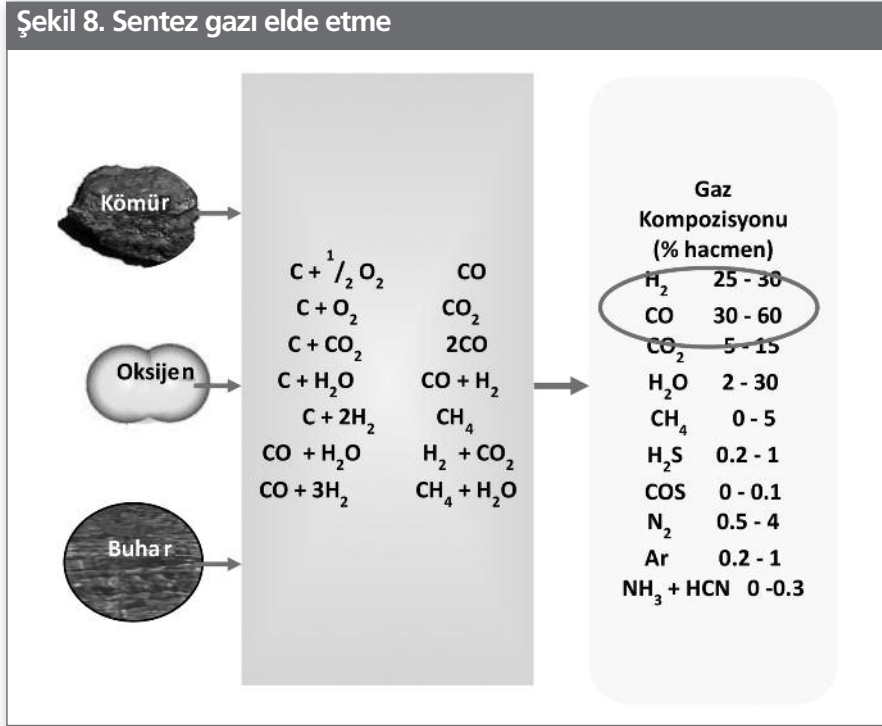
Çimento ve kireç sektörlerinde, petrokokun yakılmasıyla ortaya çıkan SO<sub>2</sub> ve diğer emisyonlar, ürün bünyesinde tutulduğu için, herhangi bir gaz arıtma tesisine ihtiyaç olmamaktadır. Cam üretiminde ise, yanma sonucu oluşacak emisyonların tamamı atmosfere atılacağı için, petrokokun ihtiva ettiği kükürt içeriğine göre, bir arıtma tesisinin yapılması gündeme gelebilir. Cam fırınlarında sadece doğal gaz kullanılması halinde, afinan madde olarak harmana katılan Sodyum Sülfatın neden olduğu SO<sub>2</sub> emisyon miktarı 500 mg/Nm<sup>3</sup> seviyesindedir. Cam fırınlarında düşük kükürt içeren petrokok kullanılsa bile, toplam SO<sub>2</sub> emisyonu bu sınır değerini üzerine çıkacağı için, DeSOx ve Elektro Filtre tesisi kurulması kaçınılmaz olacaktır (750 ton/gün ölçeğindeki bir float fırını için ilk yatırım bedeli yaklaşık olarak 4,500k€ seviyesindedir).

**Syngas (Sentez Gazı):** Sentez gazının ana bileşenleri CO ve H<sub>2</sub> gazlarından oluşur. Düşük kalorili kömür ve biokütellerin gazlaştırılması ile elde edilir. Genel olarak, 270 ton kömürün gazlaştırılması ile 225,000 Nm<sup>3</sup> sentez gazı elde edilir. Gazlaştırılan kömürün kalorifik değerinin (3250-3625 kcal/kg) % 80'i (2600-2900 kcal/Nm<sup>3</sup>) sentez gazına geçer.

Şekil 7. Petrokokun bir fırının kemer, üstyapı ve rejeneratör dolguları üstüne etkileri



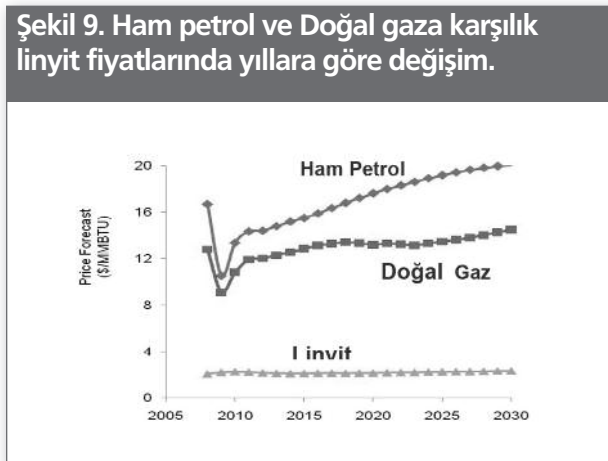
Şekil 8. Sentez gazı elde etme



**Olumlu Yönleri:** Doğal gaza göre daha ucuz-sentez gazının üretim maliyeti (Ülkemizde geçerli \$20/ton linyit fiyatına göre) \$17-25/MWh arasında değişir. Ana hammadde olan düşük kalorili linyit fiyatının gelecekte fazla değişmeyeceği öngörüldüğünden fiyat istikrarına sahiptir. Sistemde kömürün ihtiva ettiği kükürt tamamen ayrıldığından, yanma gazlarını arıtmak için ayrıca bir DeSOx ünitesine gerek olmadığından temiz bir yakıt olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca ayrılan kükürt, ayrı bir ciro kaynağı olarak değerlendirilebilir.

yüksek orandaki su buharı, alkali buharlaşmasında artı ve dolayısıyla silika kemer ve üstü yapı korozyona sebep olabilir. Kalorifik değerinin doğal gazın  $\frac{1}{3}$ 'ü kadarı olması nedeniyle işletme içindeki mevcut ekipmanının (debimetre, kontrol vanası) kullanılamaması ve boru çaplarının yetersiz kalmaktadır.

Şekil 9. Ham petrol ve Doğal gaz karşılık linyit fiyatlarında yıllara göre değişim.



**Olumsuz Yönleri:** Tüketim yerinin, kömürün çıkartıldığı kaynağa yakın olması gerekir. Yanma sonucu açığa çıkan

### İNOVATİF ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Günümüzde en bilinen ısı geri kazanım sistemleri, atık ısıdan buhar üretimi, ve harman ve/veya cam kırığı ön ısıtmadır. Buhar üretimi genellikle mevsimsel talebe göre değişkenlik gösteren ortam ısıtma veya yüksek ilk yatırım maliyetine sahip elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Harman ve/veya cam kırığı ön ısıtma ise yüksek ilk yatırıma sahip olup şişe fırınları ile sınırlıdır ve yüksek cam kırığı oranı (min %40) ile yapılabirlik kazanmaktadır.

İnovatif olarak adlandırılan yeni ısı geri kazanım sistemleri de Termo Kimyasal Reküperasyon (TCR) ve Oxy-fuel fırınlarda reaktantların (doğal gaz ve oksijen) ön ısıtması (Eco-HeatOx) olarak iki başlıkta incelenebilir.

TCR öne çıkan yeni bir teknoloji olup %25'e kadar enerji tasarrufu olanağı vermektedir. Pilot ölçekte çalışmalar mevcut olup cam ergitme fırınlarında henüz bir uygulama yapılmamıştır. Eco-HeatOx olarak adlandırılan doğal gaz ve

oksijen ön ısıtması AGC'nin bir float firmında başarıyla uygulanmıştır. Trakya Glass Bulgaria CEE-B firmında 2015 yılında faaliyete geçirilecek olup AB LIFE+ desteklidir.

**Termo Kimyasal Reküperasyon (TCR):** Doğal gaz, endotermik reaksiyonlar için gerekli ısının fırın atık ısısından sağlandığı bir reformer'da, su buharı ile reaksiyona girerek bileşenleri CO ve H<sub>2</sub>'den oluşan sentez gazına dönüşür. Oluşan sentez gazının yanma ısısı doğal gaza göre % 25 daha yüksektir. Ayrıca, reformatın duyulur ısısı da değerlendirildiğinde toplam tasarruf % 36'ya kadar çıkabilir.

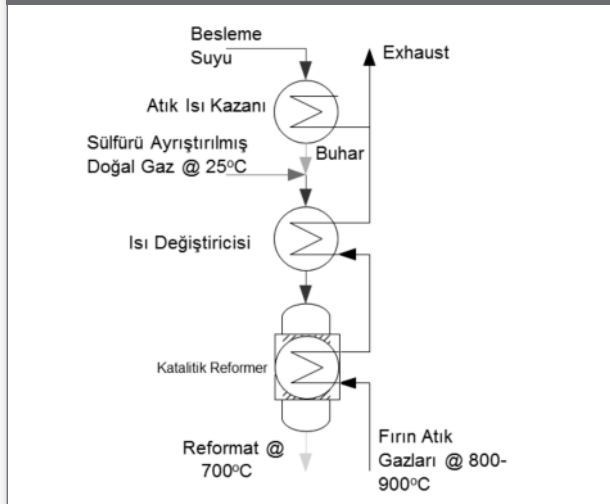
**Tablo2. TCR sonrası Doğal gazın - Syngas enerji karşılaştırması**

	CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O + Isı	CO + 3H <sub>2</sub> O
Mol Sayısı	1	4
LHV(MJ/kmol)	802	283 + 3 X 242
Yanma Isısı(MJ)	802	1009
Duyulur Isı(MJ)	~0 @ 25°C	83 @ 700°C
Toplam Isı İçeriği(MJ)	802	1092

TCR için iki yaklaşım mevcuttur.

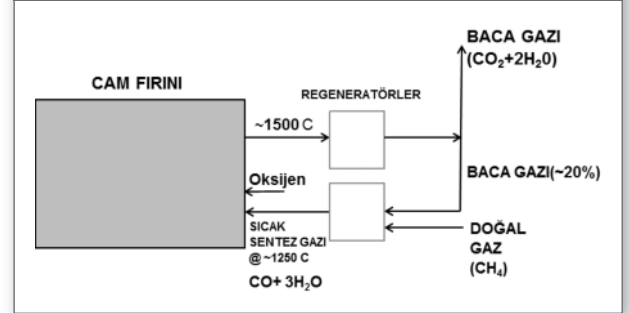
**1. Katalizörlü Yaklaşım:** Besleme suyu atık ısı kazanında buhara buhara dönüştürülür. Buhar doğal gazla birlikte ikinci etap ısı değiştirirde ısıtılarak katalitik reformerda sentez gazına çevrilir. Bütün üç aşamada ısı 800-900°C'daki fırın atık gazlarından elde edilir.

**Şekil 10. Katalizörlü TCR**



**2. Katalizörsüz Yaklaşım:** Baca gazının %20'lik kısmı (buhar kaynağı) ve doğalgaz ısıtılmış rejeneratöre verilerek sentez gazı elde edilir.

**Şekil 11. Katalizörsüz TCR**

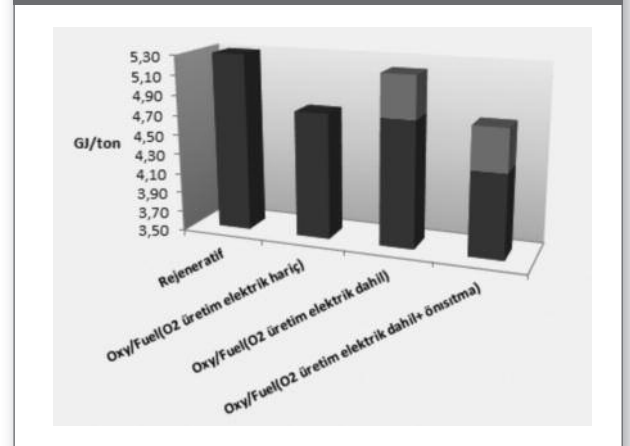


**Olumlu yönleri:** Yüksek oranda yakıt tasarrufu sağlar ve mevcut yapıya entegrasyonun kolaydır.

**Olumsuz yönleri:** Yanma sonucu açığa çıkan yüksek orandaki su buharı camdan alkali buharlaşmasında artırarak silika kemer ve üst yapı korozyonuna sebep olabilir. Bunlara ek olarak cam yüzeyindeki köpük kalınlığının artması sonucu ısı transferinin zorlaşır. Baca gazı sıcaklığının min. 800°C olması ihtiyacı yüzünden, uygulamanın oxy/fuel sistemlerle sınırlıdır.

**Oksijen ve Doğal gazın Ön Isıtılması:** Oxy/Fuel yanmanın ısı verimi, rejeneratif sisteme göre % 8-10 daha yüksektir. Kullanılan oksijenin üretimi(VSA) için tüketilen elektrik hesaba katıldığında, rejeneratif sisteme göre net verim artışı %1.5-2'ye kadar inmektedir. Hava ile yakmaya göre % 75-80 oranında daha az baca gazı açığa çıkmasına karşın; gaz sıcaklığının yüksek olması nedeniyle birim cam başına olan baca gazı ısı yoğunluğu rejeneratif sistemle aynıdır.

**Şekil 12. Yakma sistemleri enerji verimliliği**



Oksijen ve doğal gazın ön ısıtılması ile baca kaybı % 25 oranında azaltılabilir ve geri kazanılan bu enerji, oksijeni üretmek için tüketilen elektriğin eşdeğerine yakındır.

**Tablo 2. Oxy-fuel ve rejeneratif fırınlar karşılaştırması**

	Kullanılabilir Enerji (%)	Baca Gazı Sıcaklığı (°C)	Baca Gazı Enerji İçeriği (GJ/ton cam)
Oxy/Fuel	78	1250-1300	~1.3
Rejeneratif	72	400-450	~1.3

TGB CEE-B fırınında Eco-HeatOx adıyla, Şişecam ve Air Liquid tarafından yapılan ortak proje başvurusu AC Life+ Programı tarafından desteklenmeye layık görülmüştür. 2015 yılının üçüncü çeyreğinde HeatOx sistemin entegrasyonun bitirilmesi planlanmaktadır. Toplamda % 9 doğal gaz tasarrufu hedeflenmektedir.

## SONUÇ

Petrokok ve SynGas alternatifleri CapEx bakımından yüksek

olmasına karşın birim enerji maliyeti olarak ucuz alternatifler olarak ön plana çıkmaktadır.

Petrokokun içeriği itibariyle fırın ömrü ve cam kalitesi üzerinde olumsuz etkileri nedeniyle her cam türüne uygun değildir. Çevre yatırımı yapılması zorunluluğu CapEx'i artıracak diğer bir olumsuz etkidir.

Petrokoka göre daha temiz bir yakıt olmasına karşın SynGas üretiminin kömür kaynağına yakın olması zorunluluğu fabrika konumlandırılmasındaki coğrafi seçenekleri sınırlandırmaktadır.

Henüz geliştirme safhasında olan TCR gelecek için umut veren yeni bir teknoloji olup, Şişecam ATGB tarafından yakından takip edilmektedir.

Oxy-fuel fırınlarda atık gazların enerjisinden faydalanılarak doğal gaz ve oksijenin ısıtıldığı, dünyada 2. olacak Heat-Ox uygulaması TGB-CEE B fırınında 2015 yılı içerisinde hayata geçirilecektir.

---

# DESIGN OF ORGANIC ELECTROCHROMIC WINDOWS TOWARDS ZERO-ENERGY BUILDING



## Prof. Minoru Taya

Director, Center for Intelligent Materials and Systems Department of Mechanical Engineering Nabtesco Enhanced Chair Professor University of Washington Seattle, WA 98915, USA  
tayam@uw.edu

---

*Dr. Minoru Taya has been a Professor of Mechanical Engineering, and Adjunct Professor of Materials Science and Engineering, and Electrical Engineering at the University of Washington since 1986. Most recently he became an Adjunct Professor for the School of Dentistry, Oral Health Science, UW. He received a Bachelor of Engineering in 1968 from the University of Tokyo, Japan; Master of Science in Civil Engineering in 1973 and Doctor of Philosophy in Theoretical Applied Mechanics in 1977, both from Northwestern University.*

*Dr. Taya is currently director of the Center for Intelligent Materials and Systems (CIMS). The intelligent materials that he has been studying are shape memory alloys (SMA), ferromagnetic SMA (FSMA), piezo-composites, electro- and photo-active polymers, and designed actuators based on these materials, including compact ferromagnetic SMA spring actuators, which provides a large stroke and reasonably large force at very high actuation speed. The FSMA actuators are for use in unmanned aircrafts and unmanned ground rover, as well as robotic arms. The electroactive polymers (EAPs) include hydrogels such as Nafion and Flemion, and electrochromic polymers. These EAPs are the key materials for fish fin actuators, smart antenna and smart window technology. In addition, Dr. Taya has been working on design and processing of several energy-harvesting materials and systems; (i) energy-harvesting electrochromic window (NSF-EFRI) and thermoelectric modules with low-cost and light-weight for UAV combustion chambers (AFOSR). Most recently, Dr. Taya has been working on oral implant materials based on toxic-free SMAs.*

*Dr. Taya served as Associate Editor for Materials Science and Engineering-A, and ASME Journal of Applied Mechanics, and chair of the Electronic Materials Committee of ASME Materials Division. Dr. Taya is Fellow of ASME, American Academy of Mechanics, and International Editorial Board member of Advanced Composite Materials.*

*Dr. Taya has written two monograph books, (i) Metal matrix composites with R.J. Arsenault, Pergamon Press, 1989, and (ii) Electronic Composites, Cambridge University Press, 2005, and currently writing third book, "Bioinspired active and sensing materials and systems" in collaboration with several biologists.*

---

## ABSTRACT

Energy consumption within buildings is increasing, due to many factors including the demand for human comfort related to temperature ( $\theta$ ), humidity (H), visual comfort (VC, contrast/glare/luminance ranges), sound/noise (SN), safety (S), and views (V, e.g., connection to the nature outside). To increase comfort while reducing energy

dependence from central/utility generation, we must employ a new concept, “locally harvesting and locally use” which is the norm for biological species, animals and plants.

Among all building components, windows are considered the most influential building component for the improvement of the six comfort parameters, have substantial impact on building energy consumption, and offer great potential for energy harvest. Within this context, Taya’s group has recently developed organic electrochromic windows (ECWs) (Xu et al, 2004) including energy harvesting-ECW that promise substantial improvements over existing and emerging window systems. Further, as thermal energy is a major energy loss for any building, thermoelectrics (TE) systems, offer an un-tapped source for energy harvest. Thus, we propose to move towards zero-energy buildings by combining, organic ECW, EH-ECWs with thermoelectrics systems and sensing/control for power optimization.

I will discuss first organic ECW based on cathodic EC film and inorganic TiO<sub>2</sub>/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> counter electrode which can dynamically control solar heat gain coefficient, thus, reducing cooling energy, then on the organic ECW based on cathodic

and anodic EC films (Kim et al, 2013), which has higher contrast ratio. Finally, I will discuss EH-ECW design which we made most recently first in the world (Amasawa et al, 2014). A typical zero-energy building is equipped with vertically integration of ECWs, EH-ECW, and solar panels on the roof.

**Keywords:** Energy, Electrochromic Windows

## REFERENCES

1. Amasawa, E., Sasagawa, N., Kimura, M. and Taya, M., 2014, “Design of a new energy-harvesting electrochromic window based on organic polymeric dye, cobalt couple and PProDOT-Me2 “, *Advanced Energy Materials*, 8, 2457-2463
2. Kim, S., Kong, X., and Taya, M., 2013, "Electrochromic windows based on anodic electrochromic poly(mesitylenes containing 9H-carbazole-9-ethanol moieties)", *Solar Energy Materials and Solar Cells, Solar Energy Materials & Solar Cells* 117,183–188.
3. Xu, C., Liu, L., Legenski, S., Ning, D. and Taya, M., 2004, “Switchable Window Based on Electrochromic Polymers”, *J. Materials Research*, Vol.19, No.7, 2072-2080.

# İÇ MEKAN YÜZEY KAPLAMA MALZEMESİ OLARAK AKILLI CAM VE KAPLAMA MALZEMELERİ



**Yrd. Doç. Dr. Emine Yüksel**  
Gedik Üniversitesi, Güzel Sanatlar  
ve Mimarlık Fakültesi  
emine.yuksel@gedik.edu.tr

1976 yılında Çorum'da doğdu. 1993 yılında Çorum Atatürk Lisesini bitirdi. 1998 yılında Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümünden 1998 yılında mezun olduktan sonra Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Bölümünde yüksek lisans programını 2001 yılında tamamladı. Daha sonra Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Programından 2008 yılında Sanata Yeterlilik/doktora derecesi aldı. Ziraat Bankası, Lasalle Academy ve çeşitli özel Üniversitelerde çalıştı. 2014 yılında yardımcı doçent unvanını aldı.

## ÖZET

Dış ve iç mekan arasında hava, ışık, ses ve görüntü geçişini sağlayan cam malzeme sırlama tekniğinin geliştirilmesiyle daha şeffaf ve büyük boyutlarda üretilmesi mimari yapıların tasarımını değiştirmiştir. Daha önceleri pencere camı, dekoratif eşyaların ya da özel mobilya yapımında kullanılan cam malzeme günümüzde akıllı cam malzemelerin geliştirilmesiyle iç mekan tasarımında kullanım alanları genişlemiştir. Elektromanyetik ışın, ısı veya çok çeşitli kimyasal maddelerin karışımları ile elde edilen bu malzemeler kullanım alanına göre malzemenin ışığı kırma, geçirme, yansıtma veya dağıtma gibi bir takım özellikleri artırılabilen veya azaltılabilmeye de sağlanmıştır. Üretim yöntemleri arasında elektro kromik, foto kromik, thermo kromik, micro blind, özel parçacıklı, buharlı veya kristalleştirilmiş sıvı gibi çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Cam malzemenin pahalı olması sebebiyle daha çok üretim esnasında malzemenin bünyesine uygulanan likit kristalleştirilmiş sıvılar ve film tabakalarla daha ekonomik çözümler sağlanmaktadır. Film yüzeyinde kullanılan özel koruyucu maddelerle kendi kendini temizleyen camlar, dekoratif filmler, likit kristal camlar, elektro kromatik filmler, SPDs, holografik camlar gibi akıllı cam malzemelerin iç mekanlarda kullanılan türleri arasında yer alır. Bu tür camlar ışık kaynağına göre rengi, yoğunluğu veya yüzeyi değiştirerek mekan içerisinde daha etkileyici atmosferler sağlamaktadır. Özellikle vitrin camlarında iç mekanı direkt olarak yansıtan veya dış ortamın ışığına göre ayarlanabilen ve büyük boyutlarda cam ve cam kaplama malzemelerinin kullanılması ile iç mekanlar daha net ve temiz bir mekan tasarımı sağlamaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Kaplama, Akıllı Cam

## GİRİŞ

Malzeme olarak cam, iç mekan tasarımında mekanların geniş ve ferah görünmesine imkan veren ve daha çok doğal aydınlatma sağlayan bir malzemedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde akıllı camlar, ekolojik camlar, kaplama veya filmler mimari yapıların ve iç mekanların görünümünü değiştirmektedir. Son dönemlerde estetik



kaygılar sonucu özellikle iç mekanlarda camın, hayatımızda daha çok yer aldığını görüyoruz. Camın tarihsel gelişimine baktığımızda ilk olarak nerede üretildiği konusunda çelişkiler vardır. Günümüzdeki en eski cam örnekleri Mısır, Suriye ve Kıbrıs'ta yapılan arkeolojik bulgularda çıkmıştır. Cam üzerine sır kaplama yöntemi; M.Ö. 4000-5000'li yıllarda kullanılan parfüm, yağ, ilaç şişeleri ve dekoratif ev eşyalarının yapımında kullanıldığı görülmektedir. Roma ve sonrası dönemlerde cam renklendirilmiş ve kıymetli bir malzeme olarak iç mekanları süslemiştir. Kristal camın üretimiyle aynalar ve cam mobilya denemeleri saraylarda yer almıştır. 19.yy.da cam artık çelik konstrüksiyonla birlikte kullanılarak mimarinin değişiminde anahtar bir rol oynamıştır.

Cam malzemenin farklı işlev ve özelliklere göre sayısız üretim ve türleri vardır. Işığı geçirme, kırılma, leke tutma camın istenmeyen özellikleri arasında yer alır. Bu tür olumsuzluklara karşı cam yüzeyine uygulanan film kaplamalarının yanı sıra akıllı cam türleri geliştirilmiştir. Akıllı malzemeler ; üretim aşamasında camın bünyesine yerleştirilen (ısı, ses, ışık ve iklim koşullarına göre adaptasyon veya değişebilme özelliğine sahip) özel solüsyonlardır. Bu malzemeler camın şekil ve fonksiyonlarını değiştirerek onun özelliklerini artıran karışımdan oluşmaktadır.

Akıllı camlar teknolojik gelişmeler doğrultusunda ışığın özelliğine göre; yarı-saydamdan tam saydama geçen ya da daha koyulaşabilen malzemeleri kapsamaktadır. Bu camlar kullanım özelliklerine göre; likit kristaller, askı parçacıklı, kendini temizleyen, elektrokromi, halojen gibi türlerden oluşmaktadır. Ancak, yeni teknolojik gelişmeler sayesinde sağlamlığı artırılmış ve cam kalınlığı giderek daha inceltilmiş camlar üretilmiştir. Kaplamalarla ise hem cam içerisine hem de yüzeyine uygulanan özel solüsyonlarla daha dekoratif bir görünüm kazanmış ve fazla ışık geçirgenliği kontrol altına alınmıştır.

Günümüzde cam malzeme sadece mimari alanlarda değil iç mekan tasarımlarında da geniş kullanım alanı bulmuştur. Sadece vitrin, pencere veya dekoratif eşya yapımında kullanılan malzeme olmanın ötesinde iç mekanlarda farklı kullanım alanları bulmuştur. İç mekan tasarımında profil camlar, aynalar, cam tuğla-bloklar, lamine, temperli, dekoratif, dokulu, emniyetli, buzlu, giydirme, akıllı, ekolojik gibi çok sayıda cam türü kullanılmaktadır. İç mekan kullanım alanları olarak toplantı salonları, makam odaları, konut, otel, hastane

ve laboratuvarlar, bankalar, mağazalar, ıslak hacimler, yarı kapalı açık teras alanlar, bölücü elemanlar, mobilya zemin, çatı, cephe gibi çok sayıda konstrüksiyon ve yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılırlar. Bunlara ek olarak dekoratif ve reklam veya görsel iletişimi sağlayan kaplamalarla iç ve dış mekanda kullanılırlar.

Kullanım kolaylığı ve kaplamalara göre daha kalıcı çözümler sağlamış olması nedeniyle, akıllı camlar ışığın maksimum miktarda mekana geçmesini sağladığı veya sağlayamadığı durumlarda da kullanılabilir. Camın ışık geçirgenliği özelliği bu sayede kontrol altına alınmış olur. İç mekanlarda sadece aydınlatma aracı veya boşluğun kapatılması için kullanılan bir malzeme olmayıp günlük eşyalar, ıslak hacimler, oturma alanları veya çalışma mekanları gibi çok sayıda iç mekanda yüzeylerinin daha temiz ve estetik görünümüne için tercih edilen bir malzemedir. İncelediğimiz sistemlerden de anlaşılacağı gibi ışığın geçmesi için ne kadar yol açılırsa açılсын camlar arasında konulan parçacıklar bir miktar ışığın yansımaya yani geçirilememesine neden olur. Dolayısıyla hiçbir akıllı cam tekniğinden normal bir camda olduğu kadar ışığı geçirmesi beklenemez. Ancak yine de bu durum görünürlüğü etkilemez. Bazen güneş pilleri olarak kullanılır ve kışın güneşli günlerde ısıyı toplayarak iç mekanların ısınmasını sağlar.

Her malzemede olduğu gibi cam malzemeler dış cephe ve iç mekanda doğru olarak kullanılmadığı zaman olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin sirkülasyon alanlarında cam paneller üzerine dekoratif veya renkli kaplamalar yapılmadığı zaman algılamayı olumsuz etkileyebilmektedir. Yüksek binalarda kullanılan kaplama lamine camlar gün ışığını yansıttıkları için camın parlamasına veya ışımasına neden olarak gözü kamaştırabilir. Asit veya benzeri malzemelerle temas halinde yüzey kaplamaları bozulabilir.

## CAM

Geniş ve daha fazla doğal ışığa sahip iç mekanların tasarlanmasında cam etkili bir malzemedir. Son yıllarda cam teknolojisinde büyük gelişmeler yaşanmaktadır. Özellikle akıllı ve ekolojik camlar, cam kaplama teknik ve filmlerin tasarımında geniş çaplı ilerlemeler kaydedilmiştir. Son dönemlerde estetik kaygılar sonucu özellikle mimari ve iç mekanda camın kullanım alanı genişlemiştir. Dış cephesi komple (giydirme) cam olan binalar için akıllı cam

teknolojisi bir yeniliktir. Cam malzeme genellikle sıvı durumdan (soğuduktan sonra) katı duruma geçen karışıma soda, kireç ve silisyumun gibi maddelerin yüksek ısıda eritilip, kristalleşmeden içerisine katılan çeşitli metalikoksit malzemelerin hamur şeklindeki ağıdalı karışımından üretilmektedir. (bkz.tablo1) Cam sözcüğü köken olarak ‘amber-kehribar’, ‘glare: yaldız, parlaklık’ ve ‘shimmer: titrek ışık’<sup>1</sup> gibi sözcüklerden gelmektedir. Camın ilk üretim yeri konusunda belirsizlikler vardır. Erken dönemlere ait cam ocakları tesadüfen bulunmuştur. Günümüzdeki en eski cam örnekleri Mısır Medeniyeti olarak tarihlense de Suriye ve Kıbrıs’ta yapılan arkeolojik bulgulara göre bulunan ilk cam eşya örnekleri görülmüş ve cam üzerine sır kaplama yönteminin ilk kez M.Ö. 4000-5000’li yıllarda kullanılan parfüm, ilaç, yağ şişeleri, dekoratif ev eşyaları ve boncuk gibi aksesuar eşyalarının yapımında kullanıldığı görülmüştür.

Bu objelerin arasında görülen amphorikos benzeri kaplarda (bir nevi ilaç şişesi) ilk sırlama örneğidir. Asur Kralı Ashurbanipal’ın kil tabletlerinde de sırlanmış camlara rastlandığı gibi (M.Ö.662-627).<sup>2</sup>(bkz.resim1) Eski çağlardan beri doğada bulunan kristalleşmiş saydam taşlar ve cam benzeri obsiden taşlara benzer camlar üretilmeye çalışılmıştır. Bu sayede cam sırlama tekniği geliştirilmiştir. Cam malzemenin berrak bir görünüm kazanması sağlamıştır. M.Ö 3500’lerde Antik Mısır döneminde yeşilimsi renkteki cam boncuk kolye yapımında, mobilya yüzeylerini kaplama ve duvar süslemesinde yaygın olarak kullanılmıştır. M.Ö. 2.yy.da yüzükler, küçük figürler, aynı kalıptan çıkmış gibi yapılan cam şişeler görülür. Roma döneminde ise cam renklendirilmiş hamamlarda, Pompei ve Herculanyum şehirlerinde yapılan kazılardan bazı villalarda pencere camlarına rastlanmıştır. Bu camlar 3x5 veya 30x50 ölçülerinde yapılmış olan ahşap, bronz döküm betondan yapılan kalıplarla çerçevelenmiştir. Silindir yaprak cam üretiminin bu dönemde yapıldığı bilinmektedir.

Ortaçağ döneminde ise kurşunla birleştirilmiş renkli vitraylar mimari yapıları süslemiştir. Venedik’te bulunan Murano Adası cam atölyesi ve ayna yapımı bu dönemde çok popüler olmuştur. Bu dönemlerde İslam sanatındaysa altın yaldız ve mine kaplama camlar kendilerine özgü geometrik şekilleriyle cam yüzeyleri süslemiştir. Versay Sarayı için ilk kristal cam

mobilya tasarlanmış ve aynalar ile duvar yüzeyleri süslenmiştir. 15ve 16.ncı yüzyılın sonlarına doğru Bohemia kristal yapımı gelişmiş ve kıymetli aynaların korunması için dresuar ve konsollar tasarlanmıştır.

1687 yılında Fransız Bernard Perrot yeni bir cam kaplama yöntemi geliştirmiştir. 1.20x2.00 metre boyutlarında cam üretilmiştir. Bu dönemde pencere camları oldukça pahalıdır. 1600’lerin sonlarında İngiliz Rovencraf kristalleri moda olmuştur. 1790’larda Beilby ve 1880’lerde Bohemya kristalleri moda olmuştur. 18 ve 19.yy’da seri üretimle cam günlük tüketim malzemesi haline gelmiştir. 1919 yılında Max Bicheroux yeni yöntemler geliştirmiştir. 1950’lerde İngiliz Alastair Pilkington yüzdürme cam tekniğini geliştirmiştir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler sayesinde camın iç mekanlarda kullanımı daha da yaygınlaşmıştır.<sup>(3)</sup>

Yaklaşık Rönesans döneminden günümüze cam oldukça çok farklı biçim ve stillerde üretilmiştir. Bu ürünler arasında 180’e yakın cam süsleme türleri ve markaları bulunur. Apron, Backstamp, Bezel, Boule, Cameo, Carded, Carver, Diamante, Enamel, Famille Rose, Frieze, Gesso, Gilt A, Bauhaus, Artnouve, Art Deco, Hallmark, Highboy, Knees, Akno Agate, Amberinna Ysart, West Moreland, Thomas Webb, Tiffany gibi çok sayıda tasarımcı ve cam süsleme teknik ve kesimlerini günün modasına göre kullanım malzemesi olarak kullanmışlar ve kullanmaktadırlar. Bilindiği gibi ülkemizde Paşabahçe, Şişecam gibi kuruluşlar cam üretim alanında önemli bir geleneğin temsilcisi olmuşlardır. Ayrıca cam kullanımı Dolmabahçe Sarayının cam avize ve merdivenlerinin tasarımında kullanılmıştır.

Cam malzeme sıvı halden katı duruma dönüşebilen bir malzemedir. Moleküller tam olarak rastgele bir düzendedir ve kristalleşmesi için içerisine kurşun katılır ve kristal cam ile normal cam farklıdır. Camın şeffaf olması konusunda kimyasal bir formül yoktur. Çok fazla ısıtıldığı zaman sıvı duruma geçer. Normal bir cam soda, kireç ve silisyum içerir. Üretim aşamasına geçmeden önce katı malzeme yüksek ısılarla pişirilir ve kalıplanır. Aşağıdaki tabloda cam malzeme bileşenleri ve camın genel özellikleri verilmiştir.

## AKILLI CAMLAR

Akıllı camlar ısı, ses, ışık ve iklim koşullarına adaptasyon ve

**Resim 1. Suriye ve Kıbrıs, İnk ve İslam sanatlarında cam üzerine ilk sırlama tekniği ve dekoratif kaplamalardan örnekler****Tablo 1. Cam Malzeme ve Özellikleri (3)**

Cam Malzemenin Bileşenleri ve Çeşitli Özellikleri			
<b>Silikon Dioksit</b>	%69-74	<b>Kalınlık</b>	3,4,5,6,7,8,10,12,15,19,25mm
<b>Kalsiyum Oksit</b>	%5-12	<b>Yoğunluk</b>	2200-2500kg/m <sup>3</sup>
<b>Sodyum Oksit</b>	%12-16	<b>Sertlik</b>	6 birim
<b>Magnesium oksit</b>	%0-6	<b>Elastiklik Modulu</b>	6-7 x 10 <sup>10</sup> pa
<b>Alüminyum oksit</b>	%0-3	<b>Isı Kapasitesi</b>	0.8x10 <sup>3</sup> kg/K

değişebilme özelliğine sahiptir. Bu camlar bilinen malzeme özelliklerinin değiştirilmesiyle farklı özellikler kazandırılacak niteliğe sahiptirler. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda ışığın özelliğine göre akıllı malzemeler farklı şekillerde kullanılabilir. Örneğin akıllı camlara yarı-saydamdan tam saydama geçen veya daha koyulaşabilen özellikler kazandırılabilir.

Akıllı camlarda gün ışığının farklı mevsimlerde geliş açısına göre camın görünümü değişir ve camlar hemen ışığa adapte olurlar. Akıllı camlar doğal aydınlatma sağlarken, ısıyı

depolama ve ışığın yoğunluğuna göre farklı akıllı cam tipleri geliştirilmiştir.

Günümüzde cam malzeme konut, kamu binaları, banka, mağaza vitrinleri, okul, ofis gibi binaların dış ve iç mekanlarının daha net, aydınlık ve ferah tasarlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam malzemenin pratik kullanımındaki dezavantajları yanında akıllı camın kullanım kolaylığı cam teknolojisindeki gelişmelerle devam etmiştir. Yaklaşık yüzyıl önce cam duvarlar bir ev için devrim niteliğindedir. Bu camların kullanımıyla iç mekan tasarımı

## Resim 2. Normal ve Akıllı Camların Vitrin Camı olarak Kullanımının Karşılaştırılması



hem fiziksel hem de görsel bir konfora kavuşturuldu. Doğal olarak bu tür camlar görselliği sağlayan vitrin camları gibi iç mekanlarda veya binaların dış cephe kaplamalarında kullanıldı. Ayrıca mimarlar ve tasarımcıların akıllı camları iç mekanlarda bölücü ara elemanlar olarak kullanmaları iç mekanların daha aydınlık ve ferah görünmesini sağlamıştır. Akıllı camların en büyük özelliği gün ışığının değişen zaman ve mevsime göre ayarlanabilir olmasıdır. Görsel yönden sağladıkları netlik, daha aydınlık daha ferah etki yapar. İç mekanda kullanılan akıllı cam türleri aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

### 1. Likit Kristal Kaplamalı Camlar

Cam malzeme her zaman şeffaflığı ile değerlidir ancak bu özellik bazen istemediğimiz durumlara sebebiyet vermektedir. Günümüzde pencerelerin tekstil malzemeleriyle kaplanması yerine yüzeylerin camla kaplanması tercih edilir. Bu durum yarı saydam veya tam saydam cam türlerini tercih etmeye sebep olmuştur. Cam üzerine yapılan likit kaplama ile yarı saydam cama dönüşebilir. Işığın konumuna göre ise cam yarı saydamdan tam saydama geçer.

Likit kristal camlar daha çok lamine olarak üretilen camlar sınıfına girmektedir. İç bünyesinde ince kalınlıkta bir likit kristal tabaka içermektedir. Sandwich şeklinde yerleştirilen film tabakası transparan elektrik metal iletken bir kaplamayla sıkıştırılır. Dış yüzeyler tamamen camdır. Bu iletken kaplamalar bir pres yöntemiyle camın iç yüzeyine bağlanır ve elektro çubuklarla iletkenliği sağlanmış olur. Presleme azaldığında ise likit kristaller rastgele yayılır. Kaplama yarı transparan ve beyaz bir görünüm alır. Preslenme güçlü uygulandığında ise kristaller ışık ortamına uygun olarak

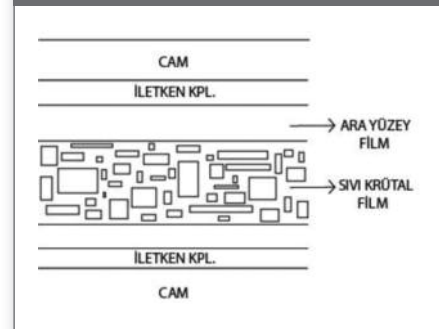
yayılırlar. Askı parçacıklı likit kristaller ise likit olarak camlarla teknik olarak benzer özellikler göstermektedir. Ayrıca bu camlar ısı tasarrufu sağladığı gibi zararlı gün ışınlarına karşı koruyucudurlar.

Bu camların özellikleri arasında hijenik, güçlü ses izolasyonuna sahip olmaları, arka fon sağlama, güvenlik ve eğrisel formlar sayılabilir. Pahalıdır ve kalınlıkları 7-14mm den 3-2mm kalınlığına kadar yan yana paneller şeklinde uygulanabilir. (4) İç mekanlarda kullanımın alanları herhangi bir cilalama veya kaplama malzemesine gerek olmadan, zemin kaplama malzemesi, kapı panel ve pencere doğramaları, dış cephe de ise çatı kaplamaları olarak kullanılmaktadır.

### 2. Askı Parçacıklı (SPDs) Kaplamalar

Akıllı camların bir başka örneği SPDs (askılı parçacıklı) kaplamalardır. Üretim aşaması likit kristalli camlarınkı ile benzerlik taşımaktadır. Işık hemen moleküller ince bir film tabaka ile karşılaşır. Pres uygulandığında parçalar hizalanarak

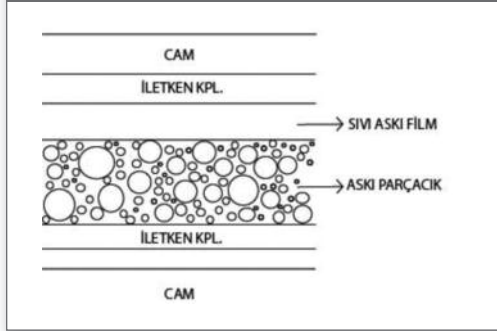
Şekil1. Likit Kristal Camlar  
(www.acikbilim.com)



ve ışık doğrultusunda yayılırlar. Işık azaldığında parçalar ışığı emer ve rengi koyulaşır.

Likit kristaller üzerine uygulanan SPDs'ın (askılı parçacıklar) en büyük avantajı tam olarak ışık seviyesini kontrol etmeleridir. Böylece enerji tasarrufunda fayda sağlanmaktadır. Bu tür camlar ve benzerleri camlar %20 veya %30 oranında enerjinin tasarrufu sağlama özelliğine sahiptir. Teknolojik gelişmeler sayesinde kaplama teknikleri daha da geliştirilebilir ya da daha yeni çalışmalar yapılabilir<sup>(4)</sup>

**Şekil2. SPDs Kaplama (Özel parçacıklı Sistem) (www.acikbilim.com)**



### 3. Elektrokromatik Kaplamalı Camlar

Diğer bir akıllı cam türü ise iç katmanları birkaç tabakadan oluşan sandwich panelli camlardır. Ancak likit kristal ve SPDs esaslı camlardan oldukça farklı özellik gösterir. Düşük voltajda şeffaf renkten çok koyu tonlarda maviye kadar rengi değişebilir ve elektrokromatik tabakaya bir tungsten akım eklenmesiyle cam yüzey üzerinde ince bir kaplama olarak yayılır. Daha çok dış mekanlarda kullanımı yaygındır.

### 4. Holographic Kaplamalı Camlar

Üretim yöntemi yukarıdakilerle benzerdir. Bu camların faydalarından biri de sağlamış olduğu enerji tasarrufudur. Çatı kaplaması olarak tercih edilebilir. Kullanım alanları arasında dış cephe kaplama, iç mekan bölücüler, sergileme üniteleri ve çatı kaplamalarıdır. Özellikleri arasında şunlar sayılabilir; doğru yansıtma açısına ulaşıldığında cam daha temiz gözükür, farklı açılardan bakıldığında cam dekoratif gölgeler oluşturmakta, doğal gün ışığının kalitesini yükseltmekte, her çeşit cama uygulanabilmekte ve enerji tasarrufu sağlamasıdır<sup>(5)</sup>

### 5. Kendini Temizleyen Camlar

Normal bir cam yüzeyinin kir ve leke tutması istenmeyen bir özelliktir. Cam malzemenin geniş yüzeylerde kullanılması sonucu kendi kendini temizleyen camlar üretilmiştir. Bu tür camlarda organik kir ve lekeleri yok eden özel bir kaplama kullanılmaktadır. Üretim esnasında 15 mm kalınlığındaki özel bir kaplama olan titanyum dioksit, ince bir film tabakası şeklinde yüzeye uygulanır. Camın özelliğini yerine getirebilmesi için yağmur ve gün ışığı ile temas etmesi gerekmektedir. Bu tür camlar sadece dış cephe için uygundur. Ultraviyole ışınların kimyasal reaksiyonu sonucunda suyun ve karbondioksitin içerisinde organik kir yok olur ve kaplama bu kiri yok eder. Görünüm olarak daha temiz bir görünüme sahiptir. Çalışma mekanları ve ofislerde için çok uygundur. Standart camlara göre daha pahalıdır. Kumlama yapılamaz. Anti bakteriyeldir. Temperlenmiş veya lamine camla kaplanması gerekir.

Cam malzeme eğer 800-1100 °C de ısıtılırsa bu sıcaklıkta ağdalaşma olarak bilinen süreç oluşur. Buzlu veya yarı saydam (opak) cam üretimi gerçekleşir<sup>(4)</sup> Camın sağlamlığı için soda, kireç ve silisyum karışımına asitler ve çeşitli solüsyonlar uygulanır. Malzeme yüzeyinin sertleşmesi bu şekilde sağlanır. Çizilme mukavemeti cam yüzeyinde belli olur. Bu nedenle keskin, sert nesnelere küçük tuz parçaları cam üzerinden alınmalıdır.

<sup>1</sup> Schittich Staib Balkow, Schuler Sobek, Glass Construction Manual, 2nd edition, Institutes für International Architecture Press, Munich, 2007

<sup>2</sup> Miller Judith, From Trash to Treasure, 1990

<sup>3</sup> www.acikbilim.com, aylık çevirimiçibilim dergisi, Levent Özkarayel, Sayı 14, 2014

<sup>4</sup> Glass Construction Manual, Schittich Balkow Schuler Sobek, Institutet International architectre, Germany, 2007

<sup>5</sup> Elizabeth Wilhide, The Interior Design Directory, Quadrille Publishing Limited, 2011

## KAPLAMALAR

Fimler cam yüzey üzerine özel solüsyonlarla yapıştırılarak uygulanır. Kaplamalar ise cam malzemenin bünyesine ilave edilerek cama dekoratif ve fiziksel özellikler kazandırır. Cam film ve kaplamalar camın dış görünümünü, performansını etkileyebilir. Cam kaplamaları çok çeşitlidir. Farklı ihtiyaçlara göre her geçen gün cam kaplamaları alanında teknolojik ilerlemeler kaydedilmektedir. Bir kaplama yapı ve

**Tablo 2. Kaplama sınıflandırması**

<b>A türü Kaplama</b>	Hava koşulları ile temas eden cam yüzeyine uygulanan kaplamalar
<b>B türü Kaplama</b>	Hava koşulları ile direkt temas etmeyen ve yüzeye uygulanan kaplamalar
<b>C türü Kaplama</b>	Isı cam üniteleri için kullanılan kaplamalar
<b>D türü Kaplama</b>	Kaplama sonrası derhal ısıcam ünitesi için uygun kaplamalar

bileşenlerine göre camın iç veya dış yüzeyine uygulanabilir. Kaplamalar Avrupa standartlarına göre yukarıdaki gibi sınıflandırılır:

Bir başka şekilde ise kaplama türleri şu şekilde sınıflandırılır.

a-1. Tip Kaplamalar: Düz cam üretim esnasında yapılır. Metaloksit cam sıcakken yüzeye uygulanır ve yüzeye yayılması sağlanır. Metaloksidin yardımıyla cam kaplama gün ışığını yansıtarak bir nevi güneş kontrolü sağlanır, gün ışığının etkisi ayarlanabilir. Yaklaşık olarak %13 oranında azalma sağlar. 12mm ve %95 argon gazı 1.8m<sup>2</sup> lik alanda etkili olur. Kaplama yüzey dayanıklılığı normal cam yüzeyine göre %90 oranındadır.

b- 2. Tip Kaplamalar: Bu tür kaplamalar fiziksel kaplama sürecini içerir. Üretimden sonra belirli ölçülerle cama uygulanan solüsyonlarla kaplanmaktadır. Gaz molekülleriyle çarpışan bir elektrik alanı serbest elektronlarla hızlanmaya başlar. Bu tür kaplamalarda malzemenin özeliğine göre sağlamlık değişir.

Kaplamalar türlerine göre:

- Epoksi kaplamalar; daha çok baskı türü malzemelerin cam üzerine yapıştırılması ile elde edilir.
- Metalik bir görünüm veya yansıma etkisi için mika veya cam çipli kaplamalar,
- Dichrioc kaplamalar daha çok dokulu yüzeylere uygulanan kaplamalar
- Isı geçirimsiz cam kaplama (LGS),
- İndium Kalay oksit Kaplama (ITO),
- Folyo kaplama,
- Metal kaplama, Film Kaplama,
- Koruyucu polimer ve poliüretan kaplamalar diğer kaplama türleri arasında yer alır.
- Film dekoratif ve ışığın kontrolünü sağlama özellikleri vardır. Özellikle yüzeylerin dekoratif görünümü, reklam veya iletişim amacıyla kullanılırlar. Nikel hidroksit ve

titanyum oksit şeffaf filmler cam üzerine özel solüsyonlarla yapıştırılarak, yoğun gün ışığını keserek gün ışığının kontrolünü sağlamaktadırlar.

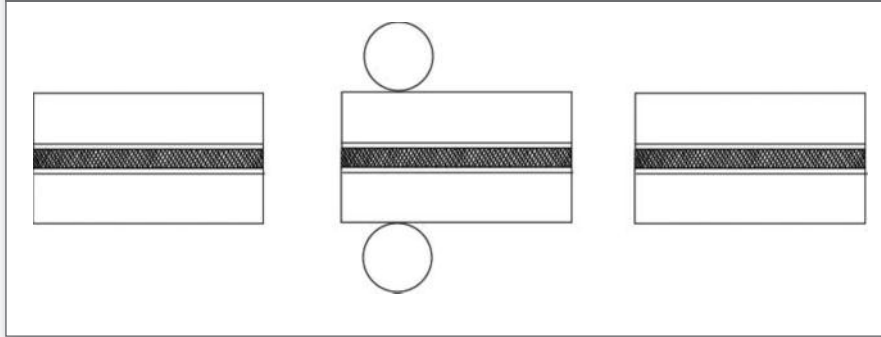
## **YÜZEY KAPLARI OLARAK İÇ MEKANLARDA KULLANILAN AKILLI CAMLAR VE KAPLAMALAR**

20.yy.da cam malzemesinin çelikte birlikte kullanımı, camın mimari de büyük önem kazanmasına neden olmuş iç mekan ve mimari tasarımına büyük yenilikler getirmiştir. Cam malzemelerin kullanılması yapıların daha aydınlık, geniş ve ferah olmasını sağlamıştır. Isıcamlar çift cam tabakasının arasındaki boşlukların kenarlarının metalle çerçevesiyle oluşur. Geri dönüşümlü malzeme içerirler ve enerji kaybını azaltırlar. Düşük emisyonlu camlar radyasyonu çok yansıtılmaktadırlar. Bu tür camlar ısıcamlar içerisine yerleştirilen filmler veya kaplama teknolojisi ile elde edilirler.

Cam tuğlalar veya bloklar dikey ve yatay strüktürdeki taşıyıcı duvar yüzeyi olarak kullanılarak hem görsel hem de statik yönden yapının aydınlatılmasına sağlarlar. Lamine camlar tezgah ve duvar yüzeyleri, banyo vitrifiye ünitelerinin kaplanması tercih edilir. Çok sayıda cam türü farklı işlevler için kaplama ve mobilya malzemesi olarak kullanılmaktadır. Renkli cam kullanımı iç mekan tasarımında çok eski dönemlerden beri vardır. Vitray sanatı yapıların hem dış hem de iç mekanlarını süslemektedir. Cam katmanları arasına yerleştirilen renkli polivinibutrayal (PVB) veya film sayesinde elde edilir. İstenilen renkte cam malzeme iç mekanlarda uygulanabilir. Binlerce farklı renkte saydam veya yarı saydam tonlarda renk ve aydınlık düzeyi elde edilebilir. Pencere, kapı panelleri, bölücü elemanlar, paravanlar, merdiven korkuluk ve balkon , teras gibi yarı açık alanlar için uygundur.

Renkli lamine camlar ultraviyole ışınlar karşı koruma ve akustik izolasyon sağlamaktadır. Çift tabakalı olması sebebiyle farklı genişliklerde ve ölçülerde kullanımı

**Şekil 4. Lamine Camlar (Schittichi Staib, Balkow Schuler Sobel Glass construction Manual, Detail Munich, 2007)**



olanaklıdır. Kırılma durumları için dağılmama özelliği sayesinde güvenlik önlemi sağlar. İstenilen renk parlaklık ve saydamlıkta seçilebilir.

#### **Dekoratif ve Dokulu Camlar**

Camın saydam bir malzeme olması iç ve dış mekan arasında aydınlanmasını sağlar. Bazı durumlarda cam malzemenin saydamlık özelliği istenmeyebilir. Bazı özel durumlarda çeşitli renk, doku ve desenlerde cam malzemenin kullanımı uygundur. Bunların arasında renkli, opak, desenli, dokulu camlar yer alır. Renkli camlar camın çok farklı tekniklerde renklendirilmesiyle mümkündür. En basit cam renklendirme tekniği elle veya özel tekniklerle yapılan boyamalardır. Renk çok belirgin veya istenilen tonlarda olabilir.

Camların renklendirilmesi pahalı olduğu ve malzemenin korunması gerektiği durumlarda dekoratif olması amacıyla film ve folyo kaplamalardan yararlanır. Özellikle reklam alanlarında cam folyo kaplamaları son derece pratik çözüm sağlamaktadır.

Dokulu camlar banyo pencereleri, kapı panelleri gibi alanlarda daha çok tercih edilir. Kaymayan yüzey elde etmek için dokulu yüzeyli camlar tercih edilir. Ancak kullanımda yarattığı sıkıntı nedeniyle günümüzde daha çok kaplamalar yerini almıştır.

#### **Emniyet Camları**

Cam teknolojisinde son yeniliklerin çoğu kırılmazlık ve ışık-yansıma üzerine çalışılmıştır. Çok kolayca kırılan adi camlar tehlikelidir. Ayrıca, bu nedenden dolayı iç mekan bölmeleri, büyük açıklıklar ve hem de dış mekan açıklıklarının daha dikkatli kullanımını gerektirir. Cam bir noktadan kuvvet aldığı anda dağılır. Bu nedenle telli, lamine camlardır. Bu

camlar içerisinde en çok uygun ve ekonomik olan telli camlardır. Ancak tam olarak da güvenilir değildir, sadece kırıldığında cam dağılmaz. Cam iç katmanları arasına iyi kalite çelik örgü tabakası yerleştirilir.

Temperli camlar 650 °C derece pişirilen ısıtılarak üretilen cam türleridir. Cam soğumaya başlarken dış katmanlar preslenir. Temperli camlar standart camlardan 5 kat daha güçlüdür. Lamine camlar temperli camlara göre daha pahalı ve iç tabakasında plastik bir tabaka içermektedir. İlk önce araba camları olarak geliştirilen lamine camlar en iyi güvenlik özelliğine sahiptir.

Camların bir başka tipi ise kurşun geçirmez özellikte olmasıdır. Farklı kalınlık ve boyutlarda üretilen bu camlar çok lamine ve temperlenmiş katmanlardan oluşmaktadır. Buzlu camlar istenilen renk ve boyutlarda üretilebilirler. Zemin uygulamalarında ve strüktürel olarak kullanımları mümkündür. İçerisinde alüminyum olduğu için ışığı iyi iletir ve sağlamdır. Bu tür camlar zemin kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Zemin kaplamanın genel bir özelliği 19mmlik kalınlıkta olması gerekir. Kapı, pencere ve duvar doğramalarında, zemin kaplamalarında, cam kirşer tam olarak çatı kaplamalarında kullanılırlar. Temperli camlar ve lamine camlar daha çok mutfak eviyelerinde ve banyolarında kullanılır. Su kabarcıklarının cam üzerinde durması daha kolaydır. Duş üniteleri, merdiven ve küpeşterlerde çok kullanılmaktadır. İş tezgahları, çalışma üniteleri, masalar, raflar, mutfak adaları için uygun olan cam malzeme kenarlarının pahlanması ile rahat kullanılabilir.

#### **Akıllı Camlar ve Kaplamalar**

Giderek iç mekanlarda kullanımı yaygın olan akıllı camların iç mekamlara görsel konfor yönünden sağladığı rahatlık

Resim 3. İç mekan tasarımdan örnekler (Elizabeth Wilhide, The Interior Design Directory, Quadrille Publishing Limited, 2011)



tartışılmazdır. Kendini temizleyen camlar, Likit kristal ve Askılı parçacıklı camlar her türlü iç mekan yüzey kaplaması için uygundur. Holographic, camların kullanım alanları arasında dış cephe, iç mekan bölücülere, sergileme üniteleri, çatı kaplamalarında kullanımları uygundur. Elektrokromik camlar daha çok dış mekanlarda yaygın olarak kullanılır.

<sup>4</sup> Elizabeth Wilhide, The Interior Design Directory, Quadrille Publishing Limited, 2011

<sup>5</sup> Schittich Balkow Schuler Sobek, Glass Construction Manual, Institutet International Architecte, Germany, 2007

## SONUÇ

Son yıllarda camın tek parça vitrin olarak kullanımı dışında iç mekanlarda geniş yüzeylerin kaplanması gibi hemen hemen her alanda kullanımı karşımıza çıkar. Kullanım kolaylığı ve yarattığı atmosferler nedeniyle akıllı camlar; ışığın maksimum miktarda mekana geçmesinin önem arz ettiği veya etmediği her mekanlarda kullanılabilir. Camın en önemli özelliği olan ışık geçirgenliği bu sayede mekanlara yansıtılabilir. İç mekanlarda sadece aydınlatma elemanı veya boşluğun kapatılması için gereken bir malzeme olarak kullanılmayıp, akıllı camlar sayesinde ıslak hacimler, oturma alanları veya çalışma mekanları gibi çok sayıda mekan için tercih edilebilir. Yüzey kaplamasında yarattığı kolaylık en önemli özelliğidir. Özellikle küçük ölçülü mekanlarda aydınlık olması için mutfak tezgahları ve banyolarda tercih edilmelidir. Ancak, hiçbir akıllı cam uygulaması normal bir camda olduğu kadar ışığı geçiremez. Yine de bu durum yansımanın istenmediği alanlarda kullanımını etkilemez.

Akıllı camlar güneş pilleri olarak kullanılabilir, kışın

güneşli günlerde iç mekanı ısıtmayı sağlar. Her malzemede olduğu gibi cam malzemeler de dış cephe ve iç mekanda doğru olarak kullanılmadığı takdirde olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin sirkülasyon alanlarında cam paneller üzerine dekoratif veya renkli kaplamalar yapılmadığı zaman algılamayı olumsuz etkileyebilmektedir. Yüksek binalarda kullanılan cam kaplama malzemelerin daha çok gün ışığını yansıtması camın parlamasına neden olduğundan gözü kamaştırmaktadır. Kaplamalar asit ve benzeri malzemelerle temas etmesi halinde bozulurlar.

Normal bir cama göre akıllı camlar iyileştirilmiş özellikleri sayesinde belirli avantajlara sahiptir. İç mekanlarda akıllı cam ve kaplamalar geniş kullanım alanı bulurlar. Akıllı camlar sayesinde tüm yüzeyler temiz ve geniş bir şekilde kaplanabilir. Bu camlar görüş alanlarının netleştiği, görsel konforun sağlandığı, eksiz, ferah ve bakımı kolay her türlü doku ve renk seçenekte uygulama alanı bulur. Pencere ve kapı doğraması olarak kullanımının yanı sıra iç mekanlarda herhangi bir cilalama veya yüzey malzemesine gerek olmadan, zemin, duvar, tavan kaplama malzemesi, kapı panel ve pencere doğramaları, çalışma ve dinlenme mekanlarına, mutfak tezgahından mobilyaya kadar her türlü alanda kullanılmaktadır. Kaplamalar ise daha çok ışık yoğunluğu az olan yerlerin aydınlık gözükmesi, dekoratif olma gibi çeşitli desen ve dokularda iç mekanlarda algılama veya vurgulamak istediğimiz yerler için kullanıldığımız malzemelerdir. Desenli film kaplamalar reklamcılık alanında yaygın bir şekilde kullanılır.

Akıllı cam ve kaplamalar mekanların estetik görünüşüne katkıları yanı sıra, bakımı kolay bir malzeme olmasıyla da



tercih edilirler. Bugün akıllı camlar teknoloji sayesinde sınırları zorlayan büyük boyutlarda da kullanılabilir. Ayrıca bu camlar ve kaplamalar sayesinde iç mekanlarda camın yansıma, kırılma, kirlenme gibi olumsuz etkileri giderilmiş ve görsel algılama kolaylaşmış ve ferah atmosferler yaratılmıştır. Kaplama ve film teknolojisinde yapılacak olan yeni gelişmelerle cam malzemenin iç mekanlarda kullanımını daha çok yaygındır. Cam teknolojisi cam kesitlerinin daha inceltilecek üretilmesine yönelmiştir.

#### KAYNAKÇA

1. Bingelli Corky *Materials for interior environment*, ASiD, John Wiley and Sons, 2007
2. Lyons Arthur, *Materials for architecture and building*, Elsevier, 2007
3. Sobel Schittichi Staib, Balkow Schuler *Glass construction Manual*, Detail Munich, 2007
4. Wilhide Elizabeth, *The Interior Design Directory*, Quadrille Publishing Limited, 2011

#### İnternet Siteleri

1. <http://www.jnsglass.com/neutralsdensity.php> ,2014
2. Özkarayel Levent, '*akıllı camlar*' [www.acikbilim.com](http://www.acikbilim.com), aylık çevirimiçibilim dergisi, Sayı 14 ,2014
3. <http://www.sono-tek.com/ultr>
4. [www.bakimmuhendislik.com](http://www.bakimmuhendislik.com)
5. <http://www.ppg.com/corporate/ideascapes/glass/products/interior/Pages/default.aspx>
6. [http://www.bayercoatings.de/BMS/DB-RSC/BMS\\_RSC\\_CAS.nsf/id/COEN\\_Glas](http://www.bayercoatings.de/BMS/DB-RSC/BMS_RSC_CAS.nsf/id/COEN_Glas)
7. [www.materiallibrary.com](http://www.materiallibrary.com),

#### Dergiler

- Ayçam İdil, '*Ekolojik Akıllı Malzemeler*' Bilim Teknik, Tübitak, Kasım 2002

#### Müzeler

- Cambridge Üniversitesi, Arkeoloji Müzesi
- British Müzesi, London
- Filtz William Müzesi Chambridge

# MANYETİK ALANDA SIÇRATMA YÖNTEMİ İLE ITO/CAM ALTTAŞ ÜZERİNE KAPLANMIŞ TUNGSTEN TRİOKSİT (WO<sub>3</sub>) İNCE FİLMLERİNİN ELEKTROKROMİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



**Dr. Öcal Tuna, Alperen Sezgin,  
Dr. Refika Budakoğlu,  
Dr. Seniz Türküz,  
Hüseyin Ateş Parlar**  
Şişecam Topluluğu, Araştırma ve  
Teknolojik Geliştirme Başkanlığı,  
Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
otuna@siseecam.com  
asezgin@siseecam.com  
rbudakoglu@siseecam.com  
sturkuz@siseecam.com  
aparlar@siseecam.com

*Öcal Tuna 1982 Kars doğumlu. Lisans Eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik bölümünde tamamladıktan sonra İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik bölümünde yüksek lisan eğitimini tamamladı. Doktora eğitimini 2009 - 2013 yılları arasında Almanya RWTH Aachen üniversitesi Elektrik - Elektronik mühendisliğinde tamamladıktan sonra Ağustos 2013 tarihinde Şişecam Cam Araştırma Merkezi Kaplama Teknolojisi Yöneticiliğinde Araştırmacı olarak işe başladı. Uluslararası toplam 12 yayını bulunmaktadır.*

## ÖZET

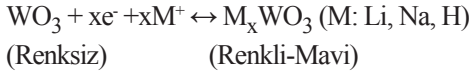
Elektrokromik camlar kullanım alanları itibari ile günümüzde giderek önem kazanmaktadır. Örnek kullanım alanları olarak en temelde enerji verimliliği sağlama ve akıllı cam amacı ile kullanılmaktadır. Literatürde elektrokromik özelliği sağlayan birçok malzeme kullanılmaktadır. Bunların içerisinde elektriksel ve optik özellikleri açısından en uygun ve ilginç olanı Tungsten Trioksit'tir (WO<sub>3</sub>). Bu çalışmada kaplama için uygulanan gücün WO<sub>3</sub> malzemesinin elektrokromik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. X-Ray diffraction (XRD) ve X-Ray reflectivity (XRR) yapısal karakterizasyon incelenmesi için kullanılmıştır. Elektrokromik özellikler Cyclic Voltmeter (CV) (Akım-Voltaj), Chronoamperometry (CA) (akım - Zaman) ve lifetime cycle (Yaşam ömrü) ölçümleri yapılarak incelenmiştir. Kaplamalar 0.7kW ile 1.5kW güç değerleri arasında ve her bir örnek için güç 0.2kW artırılarak hazırlanmıştır. XRD ölçüm sonuçları WO<sub>3</sub> kaplamalarının amorf yapıya sahip olduğunu göstermiştir. CV ölçüm sonuçları değerlendirilmesinde elektrokromik özelliklerin uygulanan güç ile çok fazla değiştiğini göstermiştir. Güc'ün 1.5kW değerinden 0.7kW değerine düşürülmesi ile renklenme verimliliğinin 55 cm<sup>2</sup>/C değerinden 87 cm<sup>2</sup>/C değerine yükseldiği görülmüştür. Buna ek olarak güc'ün azaltılması ile renklenme ve renksizleşme için geçen sürelerin sırası ile 11.75 s den 5.93'e ve 17.35 s'den 9.69 s'ye düştüğü görülmüştür. Renklenme verimliliğinin artması ve renklenme - renksizleşme için geçen sürenin azalması kaplamanın yoğunluğunun azalması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

*Anahtar Sözcükler: Magnetron Sıçratma Yöntemi, Akıllı Camlar*

Elektrokromik camlar bir dış etken ile renk değiştiren dolayısı ile geçirgenlik durumları değişen camlardır. Geçirgenliğin değişmesi ile ısı yalıtımlı camlar sınıfında da değerlendirilmektedir. Bu çalışmada dış etken olarak sistemi uygulanan küçük voltajlar ile elektrokromik özelliği olan film tabakasına iyon ve elektronların girmesi sağlanır ve renklenme meydana gelir. Burada iyon olarak Li kullanılmaktadır. Renklenme ve

*Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:88-89  
©Şişecam*

renksizleşmeyi basit bir kimyasal tepkime ile tanımlamak ister isek şu şekilde yazabiliriz:



Bu çalışmada kaplamalar DC güç kaynağı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Farklı güç değerlerinde kaplanan WO<sub>3</sub> filmlerinin elektrokromik ölçümleri yapılarak gücün kaplamaya olan etkisi ve dolayısı ile hangi kaplama gücünde daha iyi elektrokromik sonuç elde ediliyor araştırılmıştır. Kaplama güç değerleri 0.7 kW, 0.9 kW, 1.1kW, 1.3kW ve 1.5 kW olarak kullanılmıştır ve yaklaşık 200 nm kalınlığa sahip WO<sub>3</sub> filmler ITO/Cam alttaş üzerine kaplanmıştır. Elektrokromik ölçümler sisteme ±1V uygulanarak gerçekleştirildi ve Li iyon kaynağı olarak 0.1 M Lithium Perchlorate-Propylene Carbonate (LiClO<sub>4</sub>-PC) kullanıldı.

Sonuçları özetleyecek olursak kaplama güç değerinin düşmesi ile birlikte renklenme verimliliğinde artış gözlenmiştir ve değer olarak 55 cm<sup>2</sup>/C'den 87 cm<sup>2</sup>/C değerine yükselme ölçülmüştür. Bununla birlikte renklenme renksizleşme için geçen sürede azalma tespit edilmiştir. Renklenme için geçen süre gücün azalması ile yaklaşık 11 sn'den 6 sn'ye düşmüş ve aynı şekilde renksizleşme için geçen süre 17 sn'den 10 sn değerine düşmüştür. Bu düşük kaplama güçlerinde renklenme ve renksizleşme kinetiğinin daha hızlı olduğu anlamına gelmektedir. Bunun nedeni olarak film yoğunluğunun kaplama gücünün azalması ile azalması sonucunda olduğu düşünülmüş ve bunun için film yoğunlukları XRR yöntemi ile ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında yüksek güçte (1.5kW) kaplanan film yoğunluğu 7.59 g/cm<sup>3</sup> iken düşük güçte kaplanan film yoğunluğunun 7.06 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüş ve bu yapılan yorumun doğruluğunun bir göstergesi olarak sunulmuştur.

# ÇİFT KATMAN MOLİBDENYUM İNCE FİMLERİN ARKA KONTAK OLARAK İNCE FİLM GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARINDA KULLANIMI



**Metin Kurt<sup>1</sup>, Hasan Köseoğlu<sup>2</sup>,  
Gülnur Aygün<sup>1</sup>,  
Mutlu Devran Yaman<sup>3</sup>,  
Prof. Dr. Lütfi Özyüzer<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü

<sup>2</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

<sup>3</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü /Tehnoma Teknolojik Malzemeler Ltd.

metinkurt@iyte.edu.tr

hasankoseoglu@iyte.edu.tr

gulnuraygun@iyte.edu.tr

mutluyaman@iyte.edu.tr

lutfiozyuzer@iyte.edu.tr

*Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fizik Bölümünden 2011 yılında bölüm ikincisi olarak mezun olup aynı sene İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü yüksek lisans programına devam etmektedir. Buradaki çalışmaları hem güneş pilleri hem de terahertz görüntüleme sistemleri üzerinedir.*

## ÖZET

Molibdenyum ince filmlerin özelliklerinin anlaşılmasıyla beraber, uygulama alanları günden güne artmaktadır. Molibdenyum, düşük dirence, yüksek erime noktası, yüksek sıcaklıkta film büyütme esnasında istikrarlı kalması, kimyasal bakımdan kolay şekillendirilebilmesi ve emici yüzey ile lamel arasındaki mükemmel tutunmayı sağlaması gibi özelliklerinden dolayı güneş pili hücrelerinde potansiyel arka kontaklardan birisidir. [1]. CuInSe<sub>2</sub> (CIS), Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) ve CdTe gibi ince film güneş hücreleri ticari olarak kullanımda olanlar için Mo tercih edilmektedir. Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) ince film güneş pilleri ise yeni ve doğada çokça bulunan materyaller kullanılarak elde edilen bir film olduğu için yüksek potansiyele sahiptir [2]. Bütün bunlara ek olarak, molibdenyumun düşük direnci ve yüksek erime noktası, GaAs tabanlı metal kapı alan etki transistörlerde (MESFETs), silikon tabanlı metal-oksit yarıiletken cihazlarda (MOS) [3, 4] ve ince film transistör sıvı kristal ekranlarda (TFT-LCD) kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, çift katman Mo ince film, DC miknatıssal saçırma cihazı kullanılarak kaplama parametreleri optimize edilmiştir [5]. İlk olarak tek katman yapılan filmlerde, tutunmanın iyi olmasıyla beraber çok yüksek direnç bulunmaktaydı. Daha sonra ortam basıncını değiştirerek iki katmanlı yapılan ince filmlerde hem iyi tutunma hem de güneş pili uygulamaları için elverişli olan düşük direnç elde edildi. Son olarak yapısal ve elektriksel analizleri ile beraber öz direnç, yüzey direnci, kalınlık ve tutunma çalışmaları yapıldı. Cam üzerine çift katman molibdenyum kaplamalarına alternatif olarak poliiimidler üzerinde de kaplama çalışmaları yapılmaktadır. Aynı şekilde poliiimid üzerindeki molibdenyumların gerekli karakterizasyon testleriyle ilgili detaylar verilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** İnce Film Güneş Hücreleri, Arka Kontakt, Molibdenyum, CZTS

*\*Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 112T068 proje numarası ile desteklenmiştir.*

## KAYNAKLAR

1. S. J. Kwon et al. Applied Surface Science 257 (2011) 9682.
2. Sebnem Yazici et al. Submitted to Thin Solid Films
3. J.S. Lin et al. Thin Solid Films 153 (1987) 359–368.
4. T. Yamaguchi et al. Japanese Journal of Applied Physics V30 (9A) (1991) 2069–2073.
5. O. Tuna et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 43 (2010) 055402.

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:90

©Şişecam

---

# COATINGS ON FLAT GLASS



## Garry Smith

Policy Consultant to British Glass and  
Principal Consultant to Glass Technology  
Services  
g.smith@glass-ts.com

---

*Garry is a flat glass expert with more than 25 years' industry experience and joined Glass Technology Services (GTS) as part of our major investment programme to meet increasing demand for testing and consultancy throughout the supply chain.*

*Joins the team from NSG Group, where as Technical Advisory Service Manager for nearly ten years, he provided specialist advice on the specification and use of glass. He was also responsible for troubleshooting projects and providing support on technical issues for designers, architects, specifiers and end-customers. Previously he was a manager at Pilkington/NSG group manufacturer Plyglass and was responsible for their high performance and technical glass products.*

*Providing technical expertise across all areas of flat glass manufacture, performance and use, including the latest standards, specifications and regulations, Garry will provide advice on the mechanical strength, safety and security of glass, failure analysis and environmental issues. His specialist knowledge also covers specific properties of glass in use including fire safety, acoustics, solar and thermal management.*

*He has regularly provided advice and support to both individual companies and professional associations – including the Flat Glass Manufacturers Association (FGMA), the Glass and Glazing Federation (GGF), the Centre for Window and Cladding Technology (CWCT) and Council for Aluminium in Building (CAB) and is a well-respected industry speaker and training provider.*

---

## ABSTRACT

I will be talking about applications and market opportunities for coated flat glass. This includes:

- How coatings can manage the environment
- Architects aspirations
- Technologies
- Processing considerations

**Keywords:** *Solar Control, Thermochromic Glass, Switchable Glass, Energy and Carbon Savings, Lighting and Glare, Energy Management.*

# CAM YÜZEYLERDE SAYDAM UV KORUYUCU KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ



**Doç. Dr. Murat Akarsu <sup>1</sup>,  
Dr. Ahmer Gençer <sup>1</sup>,  
Gülşah Kahraman <sup>2</sup>,  
Dr. Refika Budakoğlu <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Kimya Bölümü  
<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve  
Teknolojik Geliştirme Başkanlığı,  
Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
akarsu@akdeniz.edu.tr  
ahmet88gencer@gmail.com  
gkahraman@sisecam.com  
rbudakoglu@sisecam.com

*Murat Akarsu lisans eğitimini Akdeniz Üniversitesi Kimya Bölümü'nü 1997 yılında, yüksek lisans eğitimini ise aynı üniversitenin Anorganik Kimya Dal'ında 2000 yılında tamamladıktan sonra doktora eğitimine Almanya'daki Saarland Üniversitesi Malzeme Mühendisliği'nde devam etmiştir. Doktora eğitimini 2006'da tamamladıktan sonra Engineered nano Products Germany AG firmasında 2 yıl araştırmacı olarak çalışmıştır. 2008 yılında doktora sonrası çalışmalar için gittiği Arizona Üniversitesi'nden 2011'de Türkiye'ye dönmüş ve halen Akdeniz Üniversitesi Kimya Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.*

## ÖZET

Güneş ışığındaki UV ışınlarının etkisiyle pigmentler, yağlar, proteinler ve vitaminler bozunup yiyecek ve içeceklerde renk değişimleri, istenmeyen tat değişimi oluşmakta ve vitamin (besin) değerleri azalmaktadır. Saydam cam ambalaj, düşük gaz (hava, O<sub>2</sub>) geçirgenliği ve inert olmasına rağmen UV ışını geçirgen olmasından dolayı içinde saklanan yiyecek ve içeceklerin kullanım ömürleri sınırlanmaktadır. Dolayısıyla, UV ışınlarından etkilenen içecekler için UV geçirgenliği düşük renkli (Örn.yeşil, bal) ambalajlar kullanılmaktadır. UV koruyucu kaplamalar organik bazlı bileşikler veya anorganik bazlı reçineler kullanılarak elde edilmektedir. Anorganik içerikli kaplamaların organik içeriklilere kıyasla UV ışığı ile fiziksel değişime uğramamaları, geniş bir bant aralığında soğurma yapmaları ve ısıl dayanımlarının yüksek olması avantajları bulunmaktadır. Anorganik nanotozlardan yola çıkarak Sol-jel yöntemiyle cam ambalajların ışık geçirgenliği yüksek, UV koruyucu bir katman ile kaplanması hedeflenmiş ve bir proje çalışması (SANTEZ Proje Kodu 1405.STZ.2012-1) başlatılmıştır.

Proje kapsamında, UV soğuran TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CeO<sub>2</sub> anorganik nanopartikülleri içeren fonksiyonel silan kaplama çözeltileri geliştirilmiştir. Kaplama çözeltilerinde kullanılacak nanotozlardan TiO<sub>2</sub> (5nm) ve ZnO (34nm) sentezlenmiş, CeO<sub>2</sub> (20 nm) ise colloidal halde kullanılmıştır. Pilot ölçek kaplama uygulamaları için bir Otomatik Püskürtme Cihazı tasarlanmıştır. Püskürtme cihazında; ayarlanabilir özellikte tabanca hava basıncı (4-7 bar) ve boya miktarı (0-4 bar), şişenin kendi etrafında dönme hızı (35-95 devir/dk) ve otomatik olarak dikey (max.30 cm) hareket edebilen (5-75 mm/dk) tabanca mekanizması bulunmaktadır. Kaplama çözeltilerinin viskozite, çözgen içeriği ve püskürtme şartları optimize edilerek şişe yüzeylerinde görünür bölgede ışık geçirgenliği yüksek ve UV geçirgenliği düşük kaplamalar geliştirilmiştir. Ağırlıkça %10 TiO<sub>2</sub> veya CeO<sub>2</sub> içeren kaplamaların görünür bölgedeki geçirgenliği %88-90 iken ZnO içereninki ise %80 seviyesinde kalmıştır. UV ışığını absorbe etme yönünden en etkin nanopartikülün CeO<sub>2</sub> olduğu saptanmıştır. Tutunmaları 5B (en iyi) olarak saptanan kaplamaların 65°C'deki %0,5'lik asit ve baz ile yapılan testlerde asit-baza

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:92-98  
©Şişecam

karşı dayanıklı olduğu görülmüştür. Kaplamalı şişelere süt konulup güneş simülöründe 2 gün test edildiğinde sütün bozunma süresi %30 daha uzatılmıştır.

Proje kapsamında gelinen proses şartların uygulamaya dönüşmesi amacıyla, Elektrostatik Disk Boyama Tesisinde fabrika denemesi yapılmıştır. Fabrika denemesinde, hem kaplama hem de uygulama optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ölçeğine paralel sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** UV Koruyucu, Püskürterek Kaplama, Elektrostatik Disk Boyama, Cam Ambalaj Ürünleri, Sol-Jel

## 1. GİRİŞ

Yiyecek ve içeceklerin bileşimi çok çeşitli organik maddelerden oluştuğundan UV ışığından kolayca etkilenmektedirler. UV ışığına maruz kalma sonucunda kimyasal yapılarında değişimler meydana gelmesiyle besleyici değerlerini ve orijinal tatlarını kaybetmektedirler. Ortamda bulunan oksijen de yiyecek ve içeceklerin yapısını değiştirmenin yanında UV ışığının istenmeyen etkisini arttırmaktadır. Bu nedenlerle yiyecek ve içeceklerin tazeliğini koruması için UV ışığını ve oksijeni geçirmeyen ambalajlarda saklanması gerekmektedir.

İnsan sağlığına olumsuz etkisi olmadığından saydam cam en sağlıklı ambalaj malzemesidir. Camın oksijen geçirgenliği düşük olmasına rağmen UV ışığını geçirmektedir. Bu durum camın yiyecekler için ambalaj olarak kullanımını sınırlamaktadır. Örneğin süt, cam içerisinde sadece günlük saklanabilmektedir. Bu çalışmada kapsamında geliştirilen UV koruyucu kaplama sayesinde cam ambalaj içerisinde saklanan yiyecek ve içeceklerin kullanım ömürleri uzatılması hedeflenmiştir.

UV koruyucu organik bileşiklerin akrilik, alkid gibi polimer reçinelerinin içinde çözülmesiyle kaplama çözeltileri kolayca hazırlanır. Fakat kullanılan polimerlerin UV ışımına karşı dayanımları zayıf olduğundan bunlara alternatif olarak UV dayanımı organik polimerlere göre daha iyi olan fonksiyonel silan türevlerinden oluşan karışımlar kullanılırlar. UV koruyucu organik bileşiklerin kaplama içerisindeki miktarlarının zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kaplama UV koruma fonksiyonunu zamanla yitirmektedir [1]. Kaplamadaki UV koruyucu

organik bileşiklerin miktarının zamanla azalma problemi anorganik olan metal oksitlerin kullanımında gerçekleşmemektedir [2]. Nano boyuttaki ZnO, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> partiküllerinin akrilik, poliüretan, polistiren ve poliester gibi organik kaplama çözeltilerine ilave edilmesiyle veya silanların bağlayıcı olarak kullanıldığı silika sollarında homojen olarak dispersiyeye edilmesiyle kaplama karışımları hazırlanmıştır [3,4,5]. UV koruyucu organik bileşiklerin ve metal oksitlerin koruma etkinlikleri karşılaştırıldığında anorganiklerin etkinliklerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan partikülün boyutu küçüldükçe UV koruyuculuk performansı artmaktadır [6].

Anorganik nanopartiküller kullanılarak sol-jel yöntemiyle cam ambalajların ışık geçirgenliği yüksek, UV koruyucu bir katman ile kaplanması elde edilmesine yönelik proje (SANTEZ Proje Kodu 1405.STZ.2012-1) başlatılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Partiküllerin sentezlenmesi

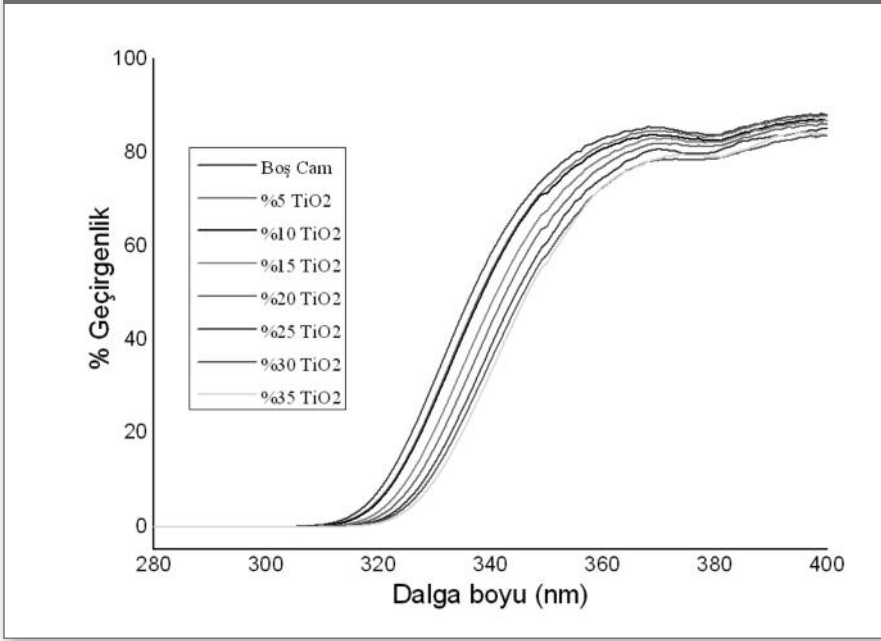
Çalışmada kullanılan anorganik nanopartiküllerden TiO<sub>2</sub> ve ZnO'nun sentezi aşağıda belirtilmiştir. Kullanılan 20 nm boyutundaki CeO<sub>2</sub> partikülleri (ağırlıkça %20'lik, Sigma-Alrich) ise satın alma yoluyla temin edilmiştir.

#### 2.1.1. Titanyum dioksit partiküllerinin sentezi

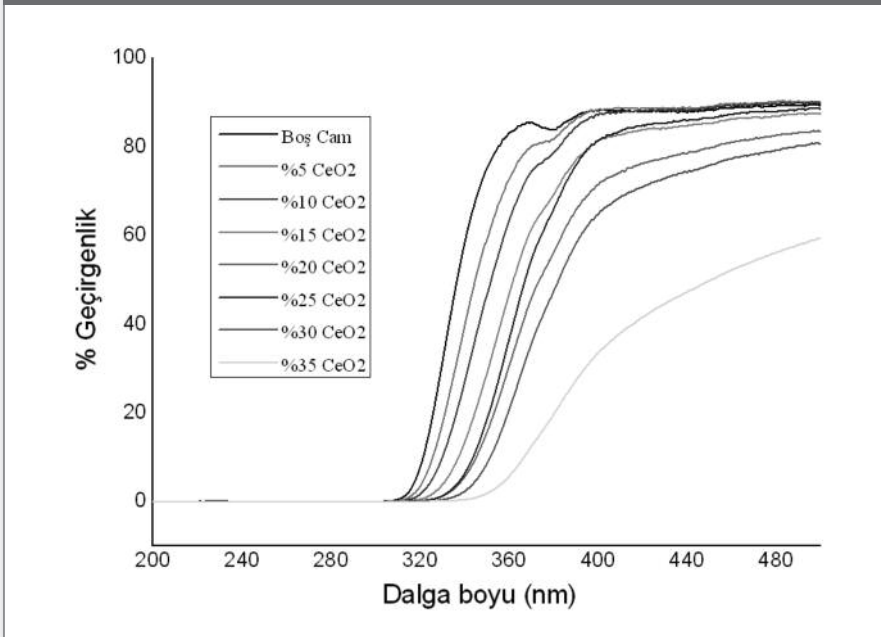
TiO<sub>2</sub> sentezinde titanyum kaynağı olarak titanyum izopropoksit (TPT)'ten yararlanılırken çözgen olarak etanol ve katalizör olarak %37'lik hidroklorik asit kullanıldı. Yapılan denemeler sonucunda istenilen boyut ve dispersiyon kararlılığındaki partiküllerin mol su/mol TPT, mol asit/mol TPT ve mol etanol/mol TPT oranlarının sırasıyla 2, 0,5 ve 2 olduğunda elde edildiği saptanmıştır. Sentez prosedürünün ilk basamağında TPT etanol ile seyreltildi ve karıştırılırken bu çözeltiliye derişik asit damlatıldı. 5 dakika karıştırma süresinden sonra su damla damla ilave edilmesiyle şeffaf sol elde edildi. Şeffaf 90 °C'de sol geri soğutucu altında 16 saat muamele edildiğinde bulanık görümlü karışım elde edildi. Bu sol kaplama çözeltilisine hazırlanmasında doğrudan kullanıldı.

Bulanık sol su ile seyreltildiğinde kararlı şeffaf kolloidal sol elde edildi. Solden Dynamic Light Scattering (DLS) yöntemi ile partikül boyut analizi yapıldığında 15 nm TiO<sub>2</sub> partiküllerinin sentezlendiği tespit edildi.

Şekil 1. Ağırlıkça %5-35 TiO<sub>2</sub> içeren kaplamaların UV-Vis spektrumları



Şekil 2. Ağırlıkça %5-35 CeO<sub>2</sub> içeren kaplamaların UV-Vis spektrumları



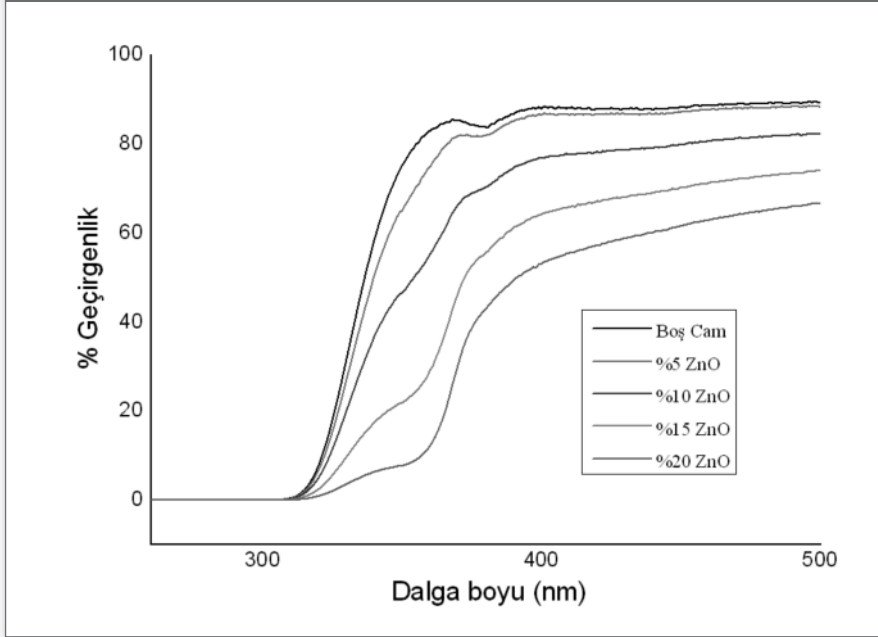
### 2.1.2. Çinko oksit nanopartiküllerinin sentezi

2,72 g ZnCl<sub>2</sub> bir balona tartılarak üzerine 10,02 g etilen glikol ilave edildi ve çözünmeyi gerçekleştirmek amacıyla geri soğutucu altında 60 °C'de bir saat karıştırıldı. Çözünme gerçekleştikten sonra çözeltiye 26,72 g etilen glikol ile daha da seyreltildi. Oda sıcaklığına soğutulmuş seyreltik çinko çözeltilisine bir büret yardımıyla 2M'lik sulu NaOH çözeltisi

damlatılarak ortamın pH'sı 9'a yükseltildi. Daha sonra geri soğutucu altında 80 °C'de iki saat bekletilerek ZnO sentezlendi. Elde edilen ZnO karışımdan santrifüj ile ayrıldı ve daha sonra etanol ile ikişer kez yıkanarak 50 °C'de etüvde 1 gece kurumaya bırakıldı. TEM metodu ile incelendiğinde ZnO'nin partikül boyutunun 34 nm olduğu saptandı. Elde edilen ZnO katısından suda ağırlıkça %5 olacak şekilde



Şekil 3. Ağırlıkça %5-20 ZnO içeren kaplamaların UV-Vis spektrumları

Tablo 1. TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> ve ZnO içeren UV koruyucu kaplamaların kalem sertlik testleri

Kalem Sertlik Testi Sonuçları			
Ağırlıkça % nanopartikül miktarı	TiO <sub>2</sub> içeren kaplamalar	CeO <sub>2</sub> içeren kaplamalar	ZnO içeren kaplamalar
%5	9 H	9 H	9 H
%10	9 H	9 H	8 H
%15	9 H	9 H	8 H
%20	8 H	9 H	8 H
%25	8 H	9 H	-
%30	6 H	9 H	-
%35	6 H	9 H	-

karışım hazırlanıp ultrasonik banyoda bir saat bekletilerek kolloidal sol elde edildi. Bu sol kaplama çözeltilerin üretilmesinde kullanıldı.

## 2.2. Kaplama çözeltilerinin hazırlanması ve uygulanması

2,5 g %30'luk asidik sulu SiO<sub>2</sub> (Obermeir firmasından Levasil 200S/30, 15 nm) çözeltisine 2,5 g 3-glisidiloksipropiltrioksasilan (GLYEO) ilave edilerek 1 gece boyunca karıştırıldı. Bu sole yukarıda belirtilen TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CeO<sub>2</sub> kolloidal sollarından değişik oranlarda ilave edildikten sonra kaplama çözeltisinin katı oranı ağırlıkça %15'e düşürmek için metoksiopropanol ve butil glikol ile seyreltilti. Düzgün kaplama yüzeyi elde etmek için kaplama

çözeltisine ağırlıkça %0,5 oranında silikon esaslı yüzey aktif madde (Byk 306) ilave edildi.

Hazırlanan kaplama çözeltileri proje kapsamında özel yaptırılan püskürtme düzeneği ile düz cama veya şişe yüzeyine uygulanıp 150 °C'de bir saat sertleştirilmiştir. Püskürtme cihazında; ayarlanabilir özellikle tabanca hava basıncı (4-7 bar) ve boya miktarı (0-4 bar), şişenin kendi etrafında dönme hızı (35-95 devir/dk) ve otomatik olarak dikey (max.30 cm) hareket edebilen (5-75 mm/dk) tabanca mekanizması bulunmaktadır. Böylece metal oksit içeriği ağırlıkça %5'den %35'e kadar değişen kaplamalar elde edildi.

**Tablo 2. TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> ve ZnO içeren UV koruyucu kaplamaların tutunma testleri**

Tutunma Testi Sonuçları			
Ağırlıkça % nanopartikül miktarı	TiO <sub>2</sub> içeren kaplamalar	CeO <sub>2</sub> içeren kaplamalar	ZnO içeren kaplamalar
%5	5 B	5 B	5 B
%10	5 B	5 B	5 B
%15	5 B	5 B	5 B
%20	5 B	5 B	5 B
%25	5 B	5 B	-
%30	5 B	5 B	-
%35	5 B	5 B	-

**Tablo 3. TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> ve ZnO içeren UV koruyucu kaplamaların baz dayanım testleri**

Baz Dayanım Testi Sonuçları			
Ağırlıkça % nanopartikül miktarı	TiO <sub>2</sub> içeren kaplamalar	CeO <sub>2</sub> içeren kaplamalar	ZnO içeren kaplamalar
%5	5 çevrim	5 çevrim	5 çevrim
%10	5 çevrim	5 çevrim	5 çevrim
%15	3 çevrim	5 çevrim	3 çevrim
%20	3 çevrim	4 çevrim	3 çevrim
%25	2 çevrim	3 çevrim	-
%30	1 çevrim	3 çevrim	-
%35	1 çevrim	3 çevrim	-

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilen kaplamaların UV-Vis bölgesindeki geçirgenlikleri ölçüldü. Tüm sistemlerde kaplamadaki metal oksit miktarının artışına bağlı olarak UV bölgesindeki geçirgenlik azaldı. Fakat UV ışığının absorplanma miktarı ve absorplanmaya başlandığı dalgaboyu kullanılan metal oksite göre değişmektedir. TiO<sub>2</sub> (bkz. Şekil 1) ve ZnO (bkz. Şekil 3) içeren kaplamalarda UV ışığı absorplanması 370-380 nm ve altında gerçekleşirken CeO<sub>2</sub> içerenlerde (bkz. Şekil 2) 400 nm ve altından itibaren absorplanmaktadır. TiO<sub>2</sub> içeren kaplamaların görünür bölgedeki geçirgenliği TiO<sub>2</sub> miktarına ile fazla değişim göstermez iken ZnO içerenlerde %60'lere kadar düşmekte ve kaplama optik olarak opak gözükmeye başlamaktadır. CeO<sub>2</sub> içerenlerde de görünür bölgede %15'den sonra hızı düşüş meydana gelmekte ve kaplama belirgin şekilde sarı renkli bir görünüm almaktadır.

Kaplamaların sertlikleri kurşun kalem metoduyla belirlendi (bkz. Tablo 1). CeO<sub>2</sub> içeren kaplamaların tümünün sertliği

9H (en iyi seviye) iken TiO<sub>2</sub> içerenlerde %15'te 9H olan sertlik sonraki oranlarda giderek azalarak 6H'a düştü. ZnO'li kaplamalarda %5 oranında 9H iken diğerlerinde 8H olarak ölçüldü. Kaplamaların cama yüzeye yapışmaları cross-cut hatch metoduyla ölçüldüğünde tüm kaplamaların tutunmalarının en üst seviyede (5B) olduğu tespit edildi (bkz. Tablo 2).

Asit ve baza karşı dayanımını belirlemek amacıyla kaplamalar ağırlıkça %0,5 NaOH ve %0,5 HCl çözeltisi ile temas ettirilerek 65 °C'de 5 dakika bekletildi. Bu işlem (çevrim) kaplamada hasar görülene kadar devam edildi. Bu test en fazla 5 çevrim sayısına kadar yapıldı. %5 ve %10 metal oksit içeren kaplamalarda 5 çevrim sonrasında bile hasar yok iken %15 ve daha büyük oranlara çıkıldığında asit-baza karşı dayanım 1 çevrime kadar düştü (bkz. Tablo 3).

Kaplamada şeffaflık, çözelti kararlılığı ve UV koruma performansı gibi kriterler göz önüne alındığında denemisi

**Tablo 4. TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> ve ZnO içeren kaplamaların mikro-organizmaları hayatta tutabilme yüzdeleri**

	Numune	UV ile ışınlandırma	Püskürtme kaplama kat sayısı	Bakteri kolonisi	Mikro-organizmaların hayatta kalma yüzdeleri
<b>Kontrol Gurubu</b>	Kontrol	-	-	320	<b>%100</b>
	Boş cam	+	-	167	<b>%52</b>
	Nanopartikül içermeyen kaplama	+	6	181	<b>%57</b>
<b>CeO<sub>2</sub> katkılanmış numuneler</b>	%5 CeO <sub>2</sub>	+	3	215	<b>%67</b>
	%5 CeO <sub>2</sub>	+	6	219	<b>%68</b>
	%7.5 CeO <sub>2</sub>	+	3	201	<b>%63</b>
	%7.5 CeO <sub>2</sub>	+	6	267	<b>%83</b>
	%10 CeO <sub>2</sub>	+	3	210	<b>%66</b>
	%10 CeO <sub>2</sub>	+	6	313	<b>%98</b>
<b>TiO<sub>2</sub> katkılanmış numuneler</b>	%5 TiO <sub>2</sub>	+	3	130	<b>%16</b>
	%5 TiO <sub>2</sub>	+	6	128	<b>%17</b>
	%7.5 TiO <sub>2</sub>	+	3	150	<b>%39</b>
	%7.5 TiO <sub>2</sub>	+	6	170	<b>%49</b>
	%10 TiO <sub>2</sub>	+	3	224	<b>%72</b>
	%10 TiO <sub>2</sub>	+	6	240	<b>%77</b>
<b>ZnO katkılanmış numuneler</b>	%5 ZnO	+	3	220	<b>%11</b>
	%5 ZnO	+	6	110	<b>--</b>
	%7.5 ZnO	+	3	147	<b>%27</b>
	%7.5 ZnO	+	6	251	<b>%28</b>
	%10 ZnO	+	3	180	<b>%43</b>
	%10 ZnO	+	6	200	<b>%55</b>

olan sistemler arasından %10 katı oranına sahip olan sistemler en iyi olarak belirlenmiştir. Bu kaplamaların UV bloke etme performansları mikrobiyolojik metot ile tayin edilmiştir. Bu testlerde UV ışığına duyarlı olduğu bilinen E. Coli bakterisinden belli koloni sayısında alınarak üzeri test edilecek kaplanmış düz cam ile kapatılmış ve 10 dakika güçlü UV ışığına maruz bırakılmıştır. Kaplama kalınlığı ise püskürtme sayısı ile ayarlanmıştır. Testlerde kaplanmamış ve metal oksit içermeyen malzeme ile kaplanmış camlar kullanıldığında bakterilerin ancak %50-55'i canlılığını sürdürürken bu oran %10 ZnO, TiO<sub>2</sub> ve CeO<sub>2</sub> içeren kaplamalarda sırasıyla %55, %77 ve %98 olarak gerçekleşti. Bu sonuçlar CeO<sub>2</sub>'in en iyi UV absorban performansına sahip olduğu gösterirken TiO<sub>2</sub>'in de oldukça etkin olduğunu göstermektedir. ZnO'li kaplama ise belirgin bir etkinliğe sahip değildir.

#### 4. SONUÇ

Proje kapsamında, UV soğuran TiO<sub>2</sub>, ZnO ve CeO<sub>2</sub> anorganik nanopartikülleri içeren fonksiyonel silan kaplama çözeltileri geliştirilmiştir. Kaplama çözeltilerinde

kullanılacak nanotozlardan TiO<sub>2</sub> (5nm) ve ZnO (34nm) sentezlenmiş, CeO<sub>2</sub> (20 nm) ise koloidal halde kullanılmıştır. Pilot ölçek kaplama uygulamaları için bir Otomatik Püskürtme Cihazı tasarlanmıştır. Püskürtme cihazında; ayarlanabilir özellikte tabanca hava basıncı (4-7 bar) ve boya miktarı (0-4 bar), şişenin kendi etrafında dönme hızı (35-95 devir/dk) ve otomatik olarak dikey (max.30 cm) hareket edebilen (5-75 mm/dk) tabanca mekanizması bulunmaktadır. Kaplama çözeltilerinin viskozite, çözen içeriği ve püskürtme şartları optimize edilerek şişe yüzeylerinde görünür bölgede ışık geçirgenliği yüksek ve UV geçirgenliği düşük kaplamalar geliştirilmiştir. Ağırlıkça %10 TiO<sub>2</sub> veya CeO<sub>2</sub> içeren kaplamaların görünür bölgedeki geçirgenliği %88-90 iken ZnO içereninki ise %80 seviyesinde kalmıştır. UV ışığını absorbe etme yönünden en etkin nanopartikülün CeO<sub>2</sub> olduğu saptanmıştır. Tutunmaları 5B (en iyi) olarak saptanan kaplamaların 65°C'deki %0,5'lik asit ve baz ile yapılan testlerde asit-baza karşı dayanıklı olduğu görülmüştür. Kaplamalı şişelere süt konulup güneş simülatöründe 2 gün test edildiğinde sütün bozunma süresi %30 daha uzatılmıştır.

Proje kapsamında gelinen proses şartların uygulamaya dönüşmesi amacıyla, Elektrostatik Disk Boyama Tesisinde fabrika denemesi yapılmıştır. Fabrika denemesinde, hem kaplama hem de uygulama optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ölçeğine paralel sonuçlar elde edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. DECKER, C., BIRY, S. and ZAHOUILY, K., 1995. Photostabilisation of Organic Coatings. *Polym. Degrad. Stab.*, 49: 111–119.
2. KUBACKA, A., FERNANDEZ-GARCIA, M. and COLON, G. 2011. *Chem. Rev.*, 112: 1555.
3. JEON, I.Y. and BAEK, J.B. 2010. Nanocomposites derived from polymers and inorganic nanoparticles. *Materials*, 3: 3654–74.
4. BREINER, J.M. MARK, J.E. 1998. Preparation, structure, growth mechanisms and properties of siloxane composites containing silica, titania or mixed silica-titania phases. *Polymer*, Vol. 39: 5486–93.
5. RONG, M.Z., ZHANG, M.Q., ZHENG, Y.X., ZENG, H.M. and FRIEDRICH K. 2001. Improvement of tensile properties of nano-SiO<sub>2</sub>/PP composites in relation to percolation mechanism. *Polymer*; 42: 3301–4
6. ZHANG, Z.B., WANG, C.C., ZAKARIA, R. and YING, J.Y. 1998. *Jour. Phys. Chem. B*, 102: 10871.

# İNCE FİLM KAPLAMALARIN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN ELİPSOMETRİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ



**Dr. Selen Erkan<sup>1</sup>,  
Oğuzhan Kafalı<sup>2</sup>,  
Ali Tufani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Yüzey Teknolojisi Yöneticiliği

<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Vakum Kaplama Yöneticiliği

<sup>3</sup> Sabancı Üniversitesi, Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM)

serkan@sisecam.com

okafali@sisecam.com

alitufani@sabanciuniv.edu

*Selen Erkan, İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Mühendisliği bölümünde 2002 yılında lisans, 2005 yılında yüksek lisans, 2012 yılında doktora eğitimini tamamladı. 2009 yılında Şişecam Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı bünyesinde Kaplama Teknolojileri Yöneticiliği'nde göreve başladı. 2012 yılından bu yana ise Yüzey Teknolojisi Yöneticiliği'nde görev yapmaktadır.*

## ÖZET

İnce filmlerin optik özelliklerinin karakterizasyonunda kullanılan önemli optik tekniklerden biri elipsometridir. Elipsometri, ince filmler için çok hassas ve yüzeye zarar vermeyen bir ölçüm tekniğidir. Dalga boyu ve polarizasyonu bilinen monokromatik ışın kullanılan bu teknikte, dielektrik, metalik, yarıiletken ve polimer malzemeler olmak üzere birçok farklı ince film çeşidinin optik karakterizasyonu yapılabilmektedir. Elipsometri, örnek yüzeylerinden ölçüm alır. Malzemenin yüzeyinden yansıyan ışık ve polarizasyon değişimini ölçerek çalışır. Bu ölçüm tekniği ile filmin kalınlığı, kırma indisi, sönmüm katsayısı, yüzeyin yapısı gibi özellikler analiz edilebilmektedir.

Bu çalışmada; manyetik sıçratma tekniği ile renksiz düzcam üzerine 100 nm kalınlığında kaplanmış ZnSnOx kaplamasının optik özellikleri (kırma indisi, söndürme katsayısı, kalınlık (doğrulama) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM) bünyesindeki elipsometrede alınan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve bulunan sonuçların literatür ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** İnce Film, Elipsometri, Kırma İndisi, Optik Karakterizasyon

## 1. GİRİŞ

Elipsometri, ince filmlerin optik özelliklerinin karakterizasyonunda kullanılan, temel ilkesi eliptik polarize ışığın ölçümüne ve analizine dayanan hassas bir optik tekniktir. Elipsometri tekniğinde bir elektromanyetik dalganın iki farklı ortamı ayıran arayüzeyden yansması veya geçmesi durumunda ışığın polarizasyonundaki değişim ölçülmektedir. Bu değişimi ölçen cihaz ise elipsometredir [1].

İnce filmler için çok hassas bir karakterizasyon tekniği olan elipsometri, dielektrikler, yarı iletkenler ve polimerler olmak üzere bir çok farklı ince film çeşidinde kullanılır. Numune yüzeyine normal ile 50° – 80° eğimli bir açıyla gelen doğrusal polarize ışık, numune ile etkileştikten sonra eliptik polarize olarak yansımaktadır. Polarizasyondaki bu değişim ile kimyasal kompozisyon, pürüzlülük, film kalınlığı, kristalinite, elektriksel iletkenlik ve diğer optik sabitler (kırma indisi, söndürme katsayısı) belirlenebilir.

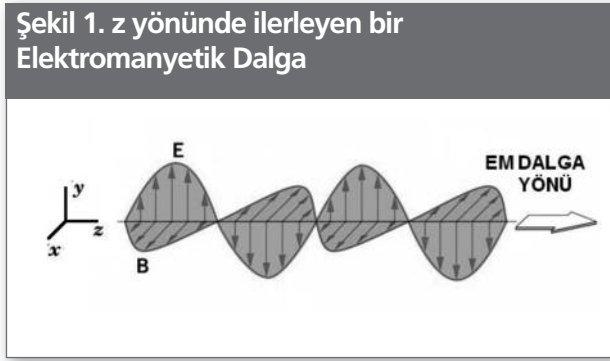
Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:99-106

©Şişecam

## 2. IŞIĞIN POLARİZASYONU - KUTUPLANMA

Işık boşlukta ilerleyen bir elektromanyetik dalga olarak tanımlanır. Yani uzayda salınan manyetik ve elektrik alanların bileşimi olarak ele alınabilir. Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine dik vektörel büyüklükler olup, her ikisi de kendi yönlerinde salınım yaparlar (ilerlerler). Polarizasyon, elektromanyetik dalganın spesifik bir yönde salınım yapması özelliği olarak açıklanabilir. Uygunluk ve kolaylık açısından ışığın polarizasyonu dendiğinde elektrik alanın polarizasyonu alınmaktadır. Elektrik ve manyetik alanlar dalganın ilerleme yönüne dik olarak hareket ederler. Işığın x ve y bileşenleri ve fazı tamamen rasgele olduğu durumda, ışığa kutuplanmamış (polarize olmayan) ışık denir [2].



Bir elektromanyetik dalganın elektrik alanının yönü daima ilerleme yönüne diktir. Bu sayede z yönünde ilerleyen bir elektromanyetik dalga x ve y bileşenleri cinsinden tanımlanabilir. İki bileşenli ve z yönünde ilerleyen bir elektromanyetik dalga ele alalım. Bu denklemlerde  $E_{0x}$  ve  $E_{0y}$  sırasıyla x ve y yönünde salınım yapan dalgaların genlikleridir.  $\varepsilon$  ise iki dalganın arasındaki faz farkıdır.

$$\vec{E}_x(z, t) = E_{0x} \cos(kz - \omega t) \vec{x} \quad (1)$$

$$\vec{E}_y(z, t) = E_{0y} \cos(kz - \omega t + \varepsilon) \vec{y}$$

1 no'lu eşitlikte : Genlikler, : Dalga sayısı,  $\omega$ : Açısal Frekans,  $\varepsilon$ : Faz farkı olarak verilmiştir [3-5].

### 2.1. Eliptik Polarizasyon

Birbirine dik bir şekilde salınan yukarıda verilmiş bu iki dalganın toplamı, trigonometrik eşitlikler ve birkaç matematiksel işlemin yardımıyla eliptik polarizasyonu ifade edecek bir denklem haline getirilebilir. Ortaya çıkan denklem aslında bilindik elips denkleminin oldukça genel bir halidir. Eğer elektrik alanın x ve y bileşenleri birbirine eşit değilse,

arada bir faz farkı varsa, o zaman bu dalgalar kendi maksimum ve minimum değerlerine farklı zamanlarda ulaşırlar, dolayısıyla elektrik alan vektörünün ucu zamana bağlı olarak değişir. Bu durumda bileşke elektrik alan vektörünün ucu eliptik bir yörünge izler. Bu durum «eliptik polarizasyon» olarak adlandırılır. Özel koşullarda elips denklemini bir doğru denklemine ya da daire denklemine indirgenebilir. Dolayısıyla hem matematiksel olarak hem de fiziksel olarak eliptik polarizasyon, doğrusal ve dairesel polarizasyonların toplamı olarak gösterilebilir [3-5].

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\frac{E_x}{E_{0x}}\frac{E_y}{E_{0y}}\cos\varepsilon = \sin^2\varepsilon \quad (2)$$

### 2.2. Doğrusal Polarizasyon

Elektrik ve manyetik alanların salınımları bazı durumlarda tek bir yönde olabilir. Elektrik alanın x ve y bileşenlerinin arasında faz farkının olmaması veya aynı fazda olmaları durumuna doğrusal polarizasyon adı verilir. Doğrusal polarizasyonda, elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörü, uzayda belli bir noktada hep aynı yönde titreşmektedir. Doğrusal polarizasyon, matematiksel olarak bir doğru denklemini ile ifade edilebilir. Elips denkleminde faz farkı 0 olacak şekilde işlemler yapılırsa doğrusal polarizasyonun matematiksel ifadesini veren (3) no'lu “Doğru Denklemi” elde edilir [3-5].

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}} \pm \frac{E_y}{E_{0y}}\right) = 0 \quad (3)$$

### 2.3. Dairesel Polarizasyon

Eliptik polarizasyonun dairesel ve doğrusal polarizasyonları içerisinde barındırması sebebiyle, genel elips denkleminde yola çıkılarak hem doğrusal hem dairesel polarizasyonu veren matematiksel ifadeler ulaşılabilir. Eğer elektrik alan vektörünün x ve y bileşenlerinin genlikleri birbirine eşitse ve aralarında  $\pi/2$  ve katları şeklinde bir faz farkı var ise oluşan ışık dairesel polarize ışıktır. Dairesel polarizasyonda, elektrik vektörü, dalga yol alırken ilerleme eksenini çevresinde dönmektedir.

Elips denkleminde yola çıkılarak faz farkının  $\pi/2$  ve genliklerin birbirine eşit olması koşulları ele alınarak işlem

yapılırsa eşitlik 4 ile verilen dairesel polarizasyonun matematiksel ifadesi elde edilir[3-5].

$$E_x^2 + E_y^2 = E_{0x}^2 \propto x^2 + y^2 = a^2 \quad (4)$$

### 3. MADDE VE IŞIK ETKİLEŞİMİ

Maddenin ışık ile etkileşimi incelendiğinde ele alınacak ilk büyüklük kırma indisidir. Optik ortamlar kırma indisi cinsinden ifade edilmektedir. Kırma indisi, ışığın bir ortama girdiğinde ne kadar yavaşladığını gösteren bir büyüklüktür. (5) no'lu eşitlikte de görüldüğü gibi ışığın boşluktaki hızının madde içerisindeki hızına oranı ile verilir. Boyutsuz bir büyüklüktür [6].

$$n = c/v \quad (5)$$

Eğer ortam absorblayıcı bir ortamsa (metaller gibi), ışık ortama girdiğinde bir kısmı absorblanır. Absorblanmanın ifade ise «kompleks kırma indisi» ile verilir. (Bkz. Eşitlik 6)

$$\tilde{n} = n + ik \quad (6)$$

Burada n kompleks kırma indisinin reel kısmını, ise sanal (kompleks) kısmını simgelemekte olup söndürme katsayısıdır.

#### 3.1. Snell Yasası

Snell Yasası, optiğin en temel denklemlerinden biridir. Bu denkleme göre ortamların kırma indisleri, ışığın o ortamdaki hızıyla ters orantılıdır. Kırma indisi ne kadar büyükse ışık o kadar yavaş hareket eder. Yüze gelen ışığın bir kısmı geldiği açıyla yansır, bir kısmı ise kırılarak malzemenin içinde

hareketine devam eder. Kırılan ışığın yeni yönelimi Snell yasası ile verilir (Eşitlik 7). Kırma indislerinin büyüklüklerine göre ışık, ortamlar arasında farklı hızlarda yol alır [6].

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (7)$$

### 4. ELİPSOMETRİ – DENEY DÜZENEGİ VE VERİ ANALİZİ

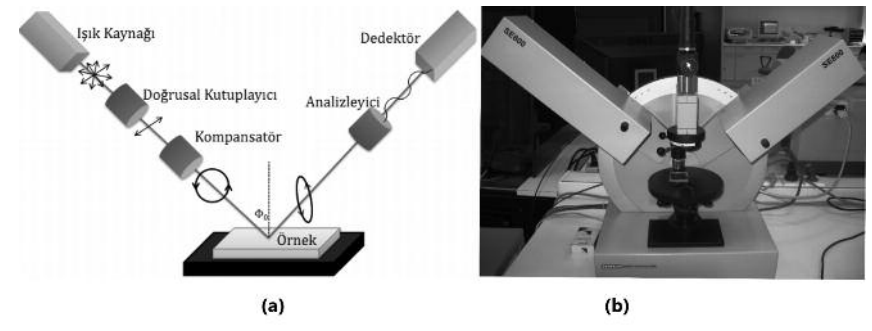
Elipsometre tekniğindeki ölçüm aracı ışık olup, ölçülen değerler genlik oranı  $\psi$  ile p ve s polarize ışık arasındaki faz farkı  $\Delta$  değerleridir. Uygulama alanları, Yarıiletken (Taşıyıcılar, ince filmler, dielektrikler), Kimya (Polimer filmler,proteinler, DNA), Görüntüleme (TFT filmler, TCO, organik LED), Optik Kaplamalar (Anti-reflektif kaplamalar...) olarak verilebilir.

Elipsometri tekniğinin avantajları, yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik (Kalınlık hassasiyet :  $\sim 0.1 \text{ \AA}$ ), numune yüzeyine hasar vermemesi, saçılma ve ışık kaynağındaki düzensizliklerden etkilenmemesi, hızlı ölçüm imkanı, yaygın uygulama alanları ve her dalga boyunda iki değer ( $\psi$ ,  $\Delta$ ) ölçülmesi sebebiyle numune hakkında daha çok bilgi vermesi olarak özetlenebilir [2,7].

#### 4.1. Elipsometre Bileşenleri

Elipsometre deney düzeneğini oluşturan bileşenler Şekil 2'de gösterilmiştir. Düzenekte, bir ışık kaynağı, 2 adet çizgisel kutuplayıcı (polarizör ve analizör), bir adet kompensatör (çeyrek dalga geciktiricisi), tabla, numune ve dedektörden oluşmaktadır. Sistemin temelinde, ışık kaynağından çıkan

Şekil 2. Elipsometre ölçümlerinde kullanılan deneysel düzenek [8]  
(a), Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi bünyesindeki Elipsometre (b)



polarize olmamış ışık ilk önce bir çizgisel kutuplayıcıdan geçirilerek çizgisel kutuplanmakta, daha sonra bir çeyrek dalga geciktiricisinden geçirilerek eliptik olarak kutuplanmaktadır. Numune üzerine gelen eliptik polarize ışık daha sonra analizörden geçerek dedektör üzerine düşürülmektedir. [1,8]

#### 4.2. Elipsometrede Ölçüm Almak

Ölçüm alınacak yüzeye kutuplanmış ışık gönderilerek yansıyan ışığın kutuplanması ölçülür. Elde edilen veriler, malzemenin optik özelliklerine ve ölçülen filmin kalınlığına bağlıdır. Bir düzlem dalganın, gelme düzlemi içerisinde yer alan ve gelme düzlemine dik olan bileşenler arasındaki faz farklılığı eliptik polarizasyona yol açmaktadır. Genel olarak yansıma, paralel ve dik bileşenlerin bağıl fazlarında ve genliklerinin oranlarında bir değişmeye sebep olur. Yansımanın etkisi, bağıl faz değişimi olarak tanımlanan  $\Delta$  açısı ve genlik oranları ile ilişkili  $\psi$  açısı ile belirlenir. Bu elipsometrik parametreler arasında eşitlik (8)'deki gibi bir ilişki bulunmaktadır [9-11].

$$\rho = \tan\psi e^{-i\Delta} = \frac{r_p}{r_s} \quad (8)$$

Eşitlik (8)'de  $\rho$ , bağıl yansımayı yani p polarize yansıma katsayısının, s polarize yansıma katsayısına ( oranını göstermektedir. Elipsometrede ölçüm alma adımları sırasıyla, seçilecek ölçüm moduna göre analiz yönteminin belirlenmesi, geliş açısının belirlenmesi, spektral aralığın seçilmesi ve uygun optik modelin kullanılması olarak verilebilir. Elipsometrede alınan ölçüm sonucunda  $\psi$  ve  $\Delta$  değerleri elde edilmektedir. Ölçüm sonucu elde edilen bu değerler, uygun bir optik modele fit edilerek film kalınlığı ve optik sabitler (kıırma indisi, söndürme katsayısı, pürüzlülük...) bulunabilir. Elipsometrenin kullanım amacı da budur [8].

#### 4.3. Veri Analizi

Elipsometre ile ölçüm alınıp,  $\psi$  ve  $\Delta$  değerleri elde edildikten sonra ölçüm yapılan numunenin birebir yapısının elipsometreye ait programın içerisinde oluşturulması gerekmektedir.

Bu yapı numune içerisindeki katmanların kalınlığı ve optik parametreleri girilerek oluşturulmaktadır. Dolayısıyla parametrelere ait girilecek bu bilgiler malzemeye bağlı olarak

değişmektedir. Veri analizinin temelinde şu sıralama bulunmaktadır: öncelikle numuneden ölçüm alınmalı ve ölçüm neticesinde  $\psi$  ve  $\Delta$  değerleri elde edilmelidir. Daha sonra ölçümü alınan numunenin sanal yapısı (katmanlar, taşıyıcı seçimi, vs...) cihaz içerisindeki programda oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu yapıya uygun bir optik model seçilerek, ölçülen  $\psi$  ve  $\Delta$  değerleri ile seçilen optik model fit işlemine tabi tutulur. Fit işlemi başlangıcında, optik model içerisindeki parametrelerin seçilen sayısal değerleri (başlangıç parametreleri) bu parametrelerin tanımlı aralıkları içerisinde olmalıdır. Burada yapılan işlem esas olarak, deneyde elde edilen ölçüm sonuçlarının, cihaz içerisinde oluşturulan yapıya uygulanan model ile karşılaştırılıp, optik sabitlerin belirlenmesidir. Fit işlemi sonucunda, ölçüm değerleri ile model değerlerinin ne kadar örtüştüğü kontrol edilir. Bu değerler birbirlerinden uzaksa fit işlemi iyi değildir ve parametreler değiştirilerek fit işlemi tekrarlanır. Bu kontrol, fit işleminden en iyi sonuç alınmaya kadar (best fit) devam eder [2].

Fit işleminin doğruluğu kontrol edilirken, ölçüm ile modelin (teorinin) çakışmasının yanı sıra “ortalama karesel hata” değerinin küçük olmasına (sıfıra yakın olmasına) dikkat edilir. “Ortalama karesel hata” (MSE) değeri, fit işleminin aslında bir sağlaması olup, fit işleminin ne kadar doğru yapıldığını gösterir. Büyük MSE değerleri fit işleminin kötü olduğunu, küçük ve hatta sıfıra yakın MSE değerleri fit işleminin iyi olduğunu gösterir (best fit). MSE değerinin formülü, eşitlik (9) ile verilmektedir.

$$MSE = \frac{1}{2N-M} \sum_{i=1}^N \left[ \left( \frac{\psi_i^{mod} - \psi_i^{exp}}{\sigma_{\psi,i}^{exp}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta_i^{mod} - \Delta_i^{exp}}{\sigma_i^{exp}} \right)^2 \right] = \frac{1}{2N-M} \chi^2 \quad (9)$$

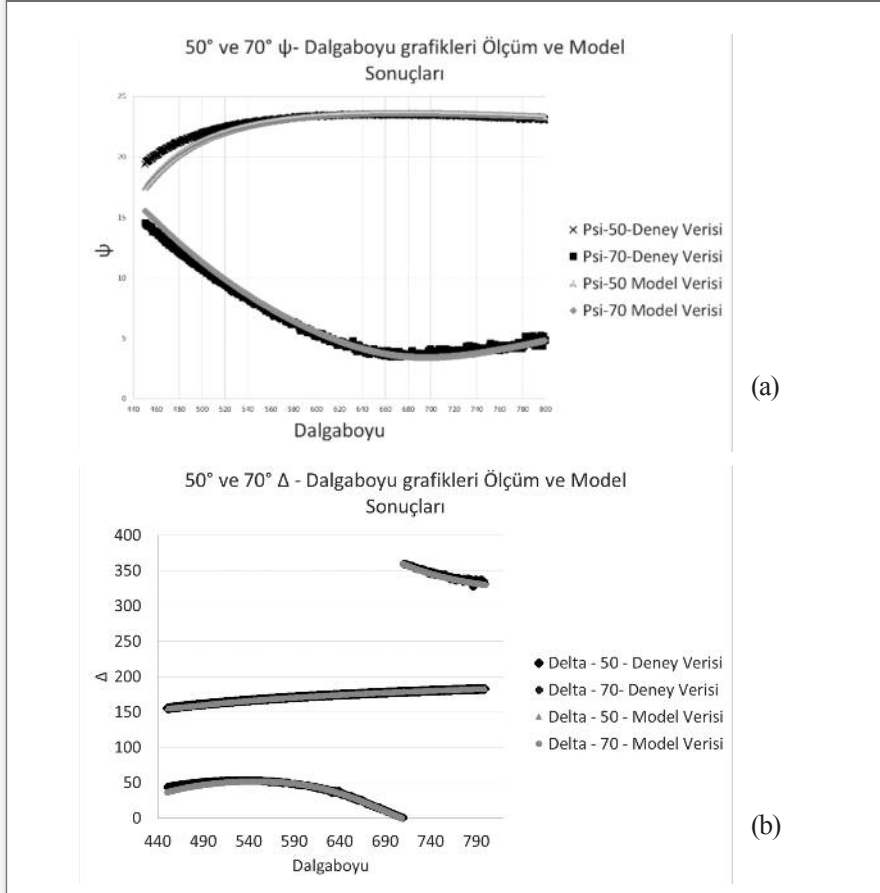
Eşitlik (9)'da i: tek dalga boyunu ve gelme açısını,  $\sigma$ : standart sapmayı, N:  $\psi$  ve  $\Delta$ 'nın toplam sayısını, M artırılan parametre sayısını, exp ve mod. indisleri sırasıyla deneysel ve teorik verileri simgelemektedir[8].

#### 5. UYGULAMA

Sputter tekniği ile Vakum Teknolojileri Yöneticiliğinde 6 mm renksiz düzcam üzerine kaplanmış ZnSnOx kaplamasının kıırma indisi ve kalınlığı Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi bünyesinde bulunan SENTECH SE800 Elipsometre ile



**Şekil 3. (a)  $\psi$  – değerleri ( $50^\circ$  ve  $70^\circ$  açıda ölçülmüş  $\psi$  değerleri (sırasıyla üstteki ve alttaki siyah spektrumlar) ile  $50^\circ$  ve  $70^\circ$  için (sırasıyla üstteki ve alttaki gri spektrumlar) modelden elde edilen fit eğrileri (b)  $\Delta$  – değerleri ( $50^\circ$  açıda ölçülmüş (lineer siyah spektrum) ve modelden türetilmiş fit eğrisi (lineer gri spektrum) ile  $70^\circ$  açıda ölçülmüş (üst ve alttaki siyah spektrumlar) ve modelden elde edilmiş fit eğrileri (üst ve alttaki gri spektrumlar)**



belirlenmiştir. Kaplama sonrasında Veeco Dektak D150 mekanik profilometre ile kalınlık ölçülmüş ve 100 nm olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM) bünyesinde bulunan elipsometrede (Woollam) alınan ölçümler ile karşılaştırılmıştır.

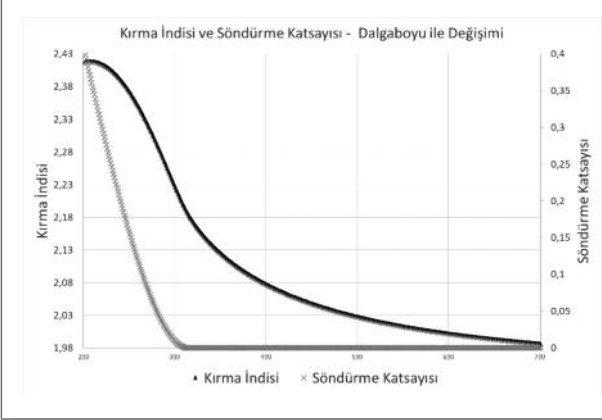
SENTECH SE800 elipsometrik ölçümleri sırasıyla  $50^\circ$  ve  $70^\circ$ 'lik açılarda alınmıştır. Ölçüm sonuçlarında elde edilen  $\psi$  ve  $\Delta$  değerlerine Tauc-Lorentz modeli alınarak fit işlemi gerçekleştirilmiştir. Tauc Lorentz modeli, absorplama özelliği gösteren amorf yapıdaki malzemeler, oksitler için kullanılan gelişmiş bir dispersiyon modelidir. Tauc-Lorentz modeli kompleks kırma indisinin sanal kısmıyla ifade edilmekte olup matematiksel ifadesi Eşitlik 10'da verilmiştir.

$$\varepsilon_2(E) = 2n(E)k(E) = \frac{A(E-E_g)^2}{(E^2-E_0^2)^2+C^2} \frac{\Theta(E-E_g)}{E} \quad (10)$$

Fit sonuçları ise Şekil (3-4)'de verilmiştir [12].

Şekil 3, ZnSnOx kaplamasının  $50^\circ$  ve  $70^\circ$ 'lik açılarda ölçülmüş  $\psi$  elipsometrik parametresinin ve  $\Delta$ 'nın dalgaboyuna göre değişimini göstermektedir. Her iki açıda alınmış elipsometrik parametrelere uygulanan fit modeli Tauc-Lorentz model olup modelden elde edilen spektrumların ölçüm eğrileriyle uyduğu gözlenmektedir. Fit sonuçlarından elde edilen kırma indisi ve söndürme katsayısının dalgaboyu ile olan değişimi Şekil 4'te, fit parametreleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

**Şekil 4. Fit işlemleri sonucunda elde edilmiş kırma indisi (n) ve söndürme katsayısının (k) dalgaboyuna göre değişimi**



**Tablo 1. Fit işlemleri sonucunda elde edilen kalınlık ve kırma indisi değerleri**

Katman Adı	Kalınlık (nm)	Kırma İndisi (632.8 nm)
Hava	-	1.000
ZnSnOx - TL	99.70	2.016
6 mm renksiz düzcam	-	1.508 + i 0.000

Tablo 1'de ZnSnOx kaplamasının kırma indisi ve kalınlığı verilmiştir. Fit sonuçlarına bakıldığında kalınlığın, Veeco Dektak D150 profilometre ile ölçümünün uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

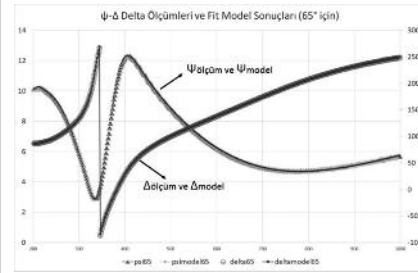
Tauc-Lorentz model ile fit edilmiş verilerin sonucunda ZnSnOx kaplamasının yüksek kırma indisine sahip olduğu tespit edilmiş ve kırma indisi, fit sonucunda 632.8 nm dalgaboyunda 2.016 olarak belirlenmiştir. Tespit edilen kırma indisi değeri literatür ile uyumludur [13].

Yukarıda verilmiş olan sonuçların karşılaştırmaları Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM) bünyesinde bulunan Elipsometrede (Woollam) alınan ölçümler ile yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarında elde edilen  $\psi$  ve  $\Delta$  değerlerine Cauchy modeli kullanılarak fit işlemi gerçekleştirilmiştir.

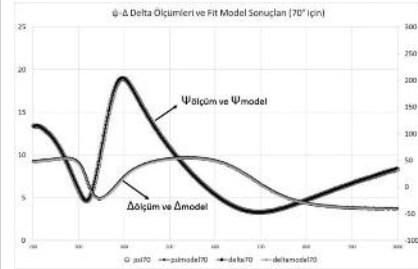
$$n(\lambda) = n_0 + C_0 \frac{n_1}{\lambda^2} + C_1 \frac{n_2}{\lambda^4} \quad (11)$$

Cauchy modeli saydam malzemeler (örneğin  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ ...) için elipsometri tekniğinde oldukça sık kullanılan basit bir dispersiyon modelidir[14]. Eşitlik 11'de verilen Cauchy modeli esas olarak kırma indisinin dalgaboyuna göre dispersiyonunu (dağılımını) gösteren bir modeldir. Ölçüm ve fit sonuçları Şekil (5)'te verilmiştir.

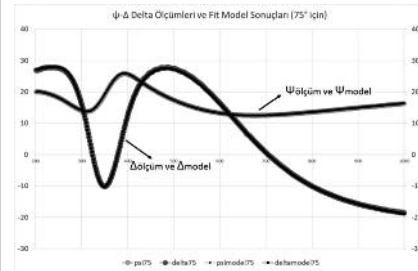
**Şekil 5. (a) 65°  $\Psi$  -  $\Delta$  ölçüm ve fit model sonuçları (b) 70°  $\Psi$  -  $\Delta$  ölçüm ve fit model sonuçları (c) 75°  $\Psi$  -  $\Delta$  ölçüm ve fit model sonuçları (d) Fit işlemleri sonucunda elde edilmiş kırma indisi (n) ve söndürme katsayısının (k) dalgaboyuna göre değişimi**



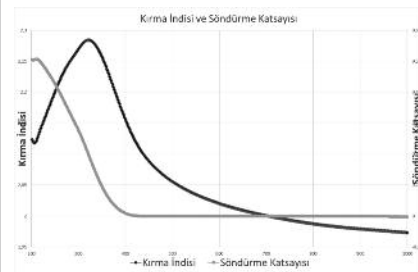
(a)



(b)



(c)



(d)

**Tablo 2. Fit işlemleri sonucunda elde edilen kalınlık ve kırma indisi değerleri**

Katman Adı	Kalınlık (nm)	Kırma İndisi (632.8 nm)
Hava	-	1.000
ZnSnO <sub>x</sub> - Cauchy	97.80	2.013
6 mm renksiz düzcam	-	1.49642

Şekil 5 (a-b-c), 6 mm renksiz düzcam üzerine sputter yöntemiyle kaplanmış ZnSnO<sub>x</sub> kaplamasının 65°, 70° ve 75°'lik açılarda ölçülmüş  $\psi - \Delta$  elipsometrik parametrelerinin deneysel ölçümleri ile Cauchy modeli uygulanarak fit işlemi sonucu elde edilmiş değerlerini göstermektedir. Her üç açıda ölçümü alınan elipsometrik parametrelerin, Cauchy modeli ile fit işlemi sonucu elde edilen eğrilerle uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir. Şekil 5(d)'de ise fit işlemleri sonucunda elde edilmiş kırma indisi (n) ve söndürme katsayısının (k) dalgaboyuna göre değişimi verilmiştir. Fit sonuçlarının parametreleri de Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de ZnSnO<sub>x</sub> kaplamasının 632.8 nm dalgaboyundaki kırma indisi ve kalınlığı verilmiştir. Fit sonuçlarına bakıldığında kalınlığın, Veeco Dektak D150 profilometre ile ölçümüne yakın sonuç verdiği görülmüştür. Cauchy model ile fit edilmiş verilerin sonucunda ZnSnO<sub>x</sub> kırma indisi fit sonucunda 632.8 nm dalgaboyunda 2.013 olarak tespit edilmiş olup elde edilen kırma indisi değeri literatür ile uyumludur [13].

## SONUÇ

Güneş/ısı kontrol camları, yüksek yansıtıcı/anti-reflektif kaplamalı camlar gibi optik camların performanslarını etkileyen tek ve/veya çok katmanlı ince filmlerin kaplama kalınlıklarının ve bu kaplamaların optik özelliklerinin karakterize edilmesi (kırma indisi, söndürme katsayısı, kalınlık, pürüzlülük tayinleri vb.) özellikle laboratuvar denemeleri öncesi kaplamalı cam yapılarında kullanılacak malzemelerin seçimiyle oluşturulacak modelleme çalışmalarında oldukça önem kazanmaktadır. Kullanılacak bu malzemelerin optik özelliklerinin karakterizasyonunda

elipsometri çok güçlü bir tekniktir. Bu makalede elipsometri tekniğinin teorisi, cihazın çalışma prensibi anlatılmış ve örnek bir uygulama yapılmıştır. Sputter yöntemi ile 6 mm renksiz düzcam üzerine 100 nm kalınlığında kaplanmış ZnSnO<sub>x</sub> kaplamasının Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi bünyesinde bulunan elipsometre ve Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM) bünyesinde bulunan elipsometre ile elipsometrik ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sonucunda iki farklı dispersiyon modeli kullanılarak fit işlemleri gerçekleştirilmiş, kaplamanın kırma indisi elde edilmiş ve kalınlıklar fit sonucunda doğrulanmıştır. Her iki elipsometrede fit işlemleri sonucunda 632.8 nm'de elde edilen kırma indisi ( $n_{\text{SENTECH}}=2.016$ ,  $n_{\text{WOOLLAM}}=2.013$ ,  $n_{\text{LİTERATÜR}}=2.03$ ) literatür verisiyle uyumludur [13].

## KAYNAKLAR

1. Çelik, G.; Şafak, H.: Bir Cam Malzemenin Kırılma İndisinin Elipsometrik Yöntemle Belirlenmesi. S.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (2002) no.20, s. 39-47
2. Fujiwara, H., "Spectroscopic Ellipsometry – Principles and Applications", Wiley, 2007.
3. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>
4. [www.cfht.hawaii.edu/~manset/PolarizationLightIntro.ppt](http://www.cfht.hawaii.edu/~manset/PolarizationLightIntro.ppt)
5. [http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/akder\\_086bb0ee83e98231893aeab383670789.pdf](http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/akder_086bb0ee83e98231893aeab383670789.pdf)
6. [http://en.wikipedia.org/wiki/Refractive\\_index](http://en.wikipedia.org/wiki/Refractive_index)
7. Çiftçi, A: Diazonyum Tuzu İndirgemesi ile Hazırlanan Yüzeylerin Elipsometrik ve Elektrokimyasal Metotlarla İncelenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2009)

- 
8. <http://omag.ankara.edu.tr/Elipsometre.pdf>
  9. Çelik, G.; Şafak, H.: İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Elipsometrik Yöntemle Belirlenmesi. S.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (2002) no.19, s. 31-39
  10. Nee, F.S.S., Cole, T. "Effects of Depolarization of Polarimetric Component on Null Ellipsometry", Thin Solid Films, (1998), 313-314:90-96
  11. Gustin, K.M. "Optical Characterization of Low-Index Transparent Thin Films on Transparent Substrates by Spectroscopic Ellipsometry" Applied Optics, (1987), 18-26
  12. Cain, J., Robie, S., Zhang, Q., Singh, B., Emami, I., "Combined use of X-ray reflectometry and spectroscopic ellipsometry for characterization of thin film optical properties" Proceedings of SPIE, Vol. 6155, 61550P, 2006
  13. Yu W.J., Mizutani A., Kikuta H., Konishi T. Reduced wavelength-dependent quarter-wave plate fabricated by a multilayered subwavelength structure. Appl. Opt. 2006;45:2601–2606.
  14. Peters, S.: SpectraRay II and Application Tutorial, (2010) Version 1.29

# ARTİSTİK CAM UYGULAMALARINDA ELEKTROKAPLAMANIN KULLANIMI



**Amaneh Manafidizaji<sup>1</sup>,  
Yard. Doç. Dr. Gökтуğ Günkaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Anadolu Üniversitesi

Cam Anasanat Dalı,

<sup>2</sup> Anadolu Üniversitesi

Seramik-Cam Bölümü

amaneh\_art@yahoo.com

ggunkaya@anadolu.edu.tr

*Gökтуğ Günkaya 1976 yılında Eskişehir 'de doğdu. 1998 yılında Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2001 yılında Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. Doktora sırasında TÜBİTAK bursiyeri olarak projede görev aldı. 2008 yılında Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında doktor unvanını aldı. 2008-2010 yılları arasında Anadolu Üniversitesi, Cam Bölümünde misafir öğretim görevlisi olarak derslere girdi. 2010-2013 yılları arasında Anadolu Üniversitesi, Cam Bölümünde öğretim görevlisi olarak görev yaptı. 2013 yılından bu yana Anadolu Üniversitesi, Seramik Cam Bölümünde yardımcı doçent olarak görev yapmaktadır*

*Çalışma alanları, cam teknolojisi, kaplama (EPD, Elektro kaplama), camların kimyasal dayanımı, ileri teknoloji seramikleri ve cam bünyelerin renklendirilmesidir.*

## ÖZET

Günümüzde teknolojiye gelişmeler ve yenilik arayışı sayesinde sanat ile bilimin ortak payda da bulunduğu alanlar gitgide artmaktadır. Bu konulardan biri artistik cam ve seramik üzerinde elektro kaplama yöntemi ile istenilen deseni metal yüzeyi gibi iletken olmayan, cam gibi hedef malzeme yüzeyi üzerine kaplayarak yeni bir tasarım yaratmaktır.

Elektro kaplama yöntemi tanımında; bir metal madde üzerine veya iletken hale getirilmiş yalıtkan madde yüzeyine başka bir tabaka metal vb. oluşturmak demektir. Cam ve seramik iki yalıtkan madde ve aynı zamanda günümüzde artistik amaçla kullanılan malzemeler olarak elektro kaplama dekorlama tekniğinde kullanılabilir. Bu çalışmada ana bünye olarak sadece cam tercih edilmiştir. Sıcak cam üfleme, açık alevde şekillendirme vb. cam şekillendirme teknikleri ile yapılmış olan sanatsal cam eserler, elektro kaplama yöntemiyle çeşitli yüzeyler oluşturacak biçimde kaplanmıştır. Bu yöntemde çalışan en iyi kaplama malzemelerinden ve cam ile termal genişmesi açısından uyumlu malzeme olan bakır, kaplama malzemesi olarak tercih edilmiştir.

Elektro kaplama tekniği çeşitli ülkelerde cam alanındaki sanatçılar tarafından uygulanmaktadır. Tekniğin, ülkemizde cam malzemesi üzerine sanatsal kaplama şeklinde, akademik anlamda kullanımına rastlanmamıştır. Bu anlamda yapılan çalışma, tekniğin sanatsal anlamda cam yüzeyini kaplamak ve dekorlamak için alternatif bir yöntem olduğunu gösteren önemli bir aşamadır. Ayrıca akademik anlamda sanatı ve bilimi buluşturan bir basamaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Cam, Kaplama, Elektro Kaplama, Dekorlama

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:107-114

©Şişecam

## 1. GİRİŞ

1810 yılında Prof. Maritz van Jacobi tarafından keşfedilmiş olan elektro kaplama yöntemi metal yüzeyleri korozyona karşı korumak için veya dekoratif amaçlı kaplamalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Gelişen teknoloji ve yenilik arayışı sayesinde sanat ve bilimin ortak paydada bulunduğu noktalar gitgide artmaktadır. Bu noktalardan biri de sanatsal seramikler ve camların yüzeyinin istenilen deseni gerek dekoratif gerekse de tasarım olarak tamamlamak için elektro kaplama yöntemi ile kaplanmasıdır. Bu çalışmada sadece cam kaplanacak yüzey olarak tercih edilmiştir.

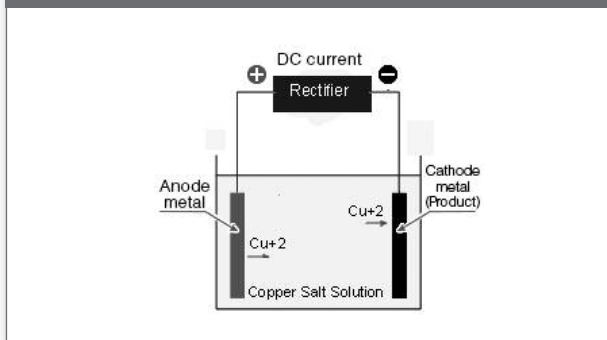
Elektrokaplama tekniği genellikle iletken maddeler yüzeyinde uygulanabilir ancak bir yalıtkan madde iletken hale getirilirse bu yöntem ile kaplanabilir. Kaplanacak obje iletken hale getirilince asit içeren kimyasal solüsyon ortamında uygun voltaj yada akıma maruz bırakılarak kaplama işlemi gerçekleştirilir. Özgün eserler ortaya koymak için farklı şekillerde, farklı zeminler oluşturularak ayrıca voltaj yada akım değerini değiştirerek çeşitli dokular ve yüzeyler yaratılmıştır.

Mevcut çalışmada yüzeyi metalize etmek için grafit kullanılmış ve farklı voltaj ve akım uygulayarak pürüzlü ve pürüzsüz kaplamalar elde edilip sanatsal cam yüzeyinde istenilen doku ve bazı renk tonlarına ulaşılmıştır.

## 2. ELEKTROKAPLAMANIN TANIMI

Elektrokaplama ve elektroplating olarak adlandırılan tekniklerin tanımlaması: “genel olarak iletken bir malzemenin yüzeyini ince bir metal tabaka ile kaplanması yöntemidir. Bu yöntemde pozitif yüklenmiş metal parçacıkları (iyonları), bir çözelti içerisinde ve elektrik akımı altında negatif yükü verilmiş nesne üzerine biriktirilmesi işlemidir”(Şekil 1)[1,8].

Şekil 1. Elektrokaplama prosesi



Çoğu referanslara göre elektrokaplama ve elektroplating yüzey kaplamak için benzer yöntemlerdir[1,2,5,8,9]. Ancak ASTM komitesi B8’de, “Elektrokaplama bir objenin model veya mandrel üzerinde üretimi ve/veya yeniden üretimidir ve işlem sonunda kaplanmış yüzey modelden ayrılır ancak elektroplating bir metalin yüzeyini korumak veya mukavemetini artmak amacıyla, esas metalden farklı bir metalle kaplama işlemidir.” [2,5,14]. Bu sisteme göre elektrokaplamanın tanımı yaratılan objenin modelden ayrılmasını vurgulamaktadır ancak bu yapılan çalışmada kaplama alt yüzey birbirinden ayrılmadan bütün olarak sanatsal ürün olarak hedeflenmektedir. Bazı sanatçılar bu tekniğin esnekliğini kullanarak daha az zaman ve çaba ile daha ucuz bir şekilde sanatsal heykeller yaratmaktadır (Şekil 2)[3]. Elektrokaplamanın en büyük avantajı farklı boyutların, kompleks şekillerin ve yüzeylerin, diğer kaplama yöntemleri ile kaplanması mümkün olmayan yüzeylerin kaplanabilmesidir[5]. Ayrıca elektrokaplama yöntemi iletken malzemelere ilave olarak çoğu cam sanatçıları tarafından metalize edilmiş yalıtkan malzemelerin (cam vb.) yüzeyinde sanatsal eserler yaratmak için uygulanmaktadır.

Şekil 2. Kalıp üzerine nikel ile elektrokaplama



## 3. ELEKTRO KAPLAMADA TERCİH EDİLEN GENEL EKİPMANLAR ve SÜREÇLER

### 3.1. Ekipmanlar ve kimyasallar

Elektrokaplama ile üretilen eserlerin kullanılan kimyasallar ve ekipmanlara göre özellikleri değişebilir.

Güç kaynağı(redresör); alternatif akımı direk akıma çevirir ve farklı güçte olanları bulunmaktadır (10 amp - 10 V, 25 amp - 6 V, 50 amp - 6 V).

Elektrokaplama solüsyonu; farklı metaller için farklı kompozisyonların kullanılması gerekmektedir ve bu sistemlerin çoğu ticari olarak temin edilebilir ancak bakır kaplama için en kolay ve en yaygın solüsyonlar; asit esaslı solüsyon bakırsülfat ( $\text{CuSO}_4$ ), sülfirik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), klor ( $\text{Cl}^-$  iyonları) ve saf su içermektedir. Siyanit esaslı solüsyon kompozisyonunda bakır siyanit ( $\text{CuCN}$ ), sodyum siyanit ( $\text{NaCN}$ ), sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) bulunmaktadır[5,6,9].

Bu temel kimyasallara ek olarak, bazı diğer kimyasallar aktivatör ve parlatici olarak solüsyona eklenir. Bu yan kimyasalların rolü kaplanan maddenin yüzeyinde çekirdeklenmeyi etkileyerek pürüzlenmeyi önleyip, parlak bir yüzey oluşmasını sağlar ayrıca kaplama (biriktirme) işlemini hızlandırır[7].

Bahsedildiği gibi metalik olmayan malzemeler elektriği iletmez ve aslında bu nedenle elektrokaplamanın gerçekleşmesi imkansızdır dolayısıyla bu tür maddelerin yüzeyinin öncelikle iletken bir tabaka ile kaplanması gerekmektedir. Bu iletken maddeler, bir dizi yöntem ile uygulanabilir, ancak belki de en yaygın yöntem yüzeyde indirgenmiş gümüş tabakası oluşturmaktır. Bu zor bir süreçtir ve tehlikeli gümüş bileşiklerinin meydana gelmesini önlemek için tüm çözümler dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır.

Yalıtkan yüzeyleri metalize etmek için çeşitli farklı yöntemler vardır ve bazıları günümüzde sanatçılar tarafından kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden:

Sıvı bakır pasta; akrilik esaslı suda çözünür iletken sıvı pasta dır. Yüzeyi pürüzsüz ve iletken hale getirmek için çoğu cam sanatçıları tarafından kullanılan en yaygın pastadır [10].

Toz metal; bu süreçte çok ince taneli metal tozu (örneğin bakır tozu) kullanılması gerekmektedir. Yüzeyde iki yöntemle uygulanabilir: birinci yöntemde, cilalanmış yüzeye serpererek veya fırça ile kullanılabilir. İkinci yöntemde, belirli miktarda toz metal ve cila karışımı yüzeye spreylenecek, fırça ile veya objeyi karışıma daldırarak cam yüzeyini iletken hale getirmek için uygulanmaktadır[4].

Toz grafit; aynı metal tozu gibi iki farklı yöntem ile yüzeye uygulanmaktadır. Ayrıca grafitlenmiş yüzeyin iletkenliğini

arttırmak için grafitlenmiş yüzey belirli sürelerde bakır sülfat solüsyonuna daldırılıp sonra yüzeye ince taneli demir tozu serpilip kuruma işlemi gerçekleştirilip sonra kaplama işlemi ile devam edilir. Bu yöntemde kaplama işlemi sırasında asitli solüsyon içerisinde, grafit yüzeyden kopup desenin bozulmasına ve solüsyonun kirlenmesine neden olmasından dolayı genellikle kullanılmamaktadır[8].

Bu çalışmada cam yüzeyinde doku yaratmak ve yüzeyi iletken hale getirmek amacıyla grafitlendirme işlemi için yukarıda anlatılan ikinci yöntem (belirli miktarda toz grafit ve cila karışımı) kullanılmaktadır.

Kimyasal reaksiyon: cam yüzeyini iletken hale getirmek için gelişmiş bir yöntem, kimyasal reaksiyonlarla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde kalay klorür  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ve metanol ile hazırlanan solüsyon  $600^\circ\text{C}$  sıcaklıkta bulunan cam yüzeyine spreylenebilir. Bu sürecin tekrarlanmasıyla yüzey iletkenliği artırılabilir[8].

Elektrokaplama bu kimyasal ve ekipmanların yanısıra bazı diğer kimyasallar ve malzemeler kullanılmaktadır bunlar; kısıkaç ve tutucu seti, bakır kablo, bakır levha, cam veya plastik beherler, cila, termometre, kağıt filtre ve laboratuvarda kullanılması gereken diğer malzemeler. Bu kimyasallar ve malzemelerin bazıları elektrokaplama işlemi sırasında ve bazıları da işlemin ardından kullanılır.

### 3.2. Elektrokaplama Süreci

Sanatçının isteğine göre, kullanılan malzeme ve bazı aşamalar değişebilir ancak temelde elektrokaplama süreci aşamaları nispeten birbirine benzer ve aşağıdaki gibidir:

Yüzey hazırlama; cam yüzeyi çok düz olduğu için, kullanılan iletken madde yüzeye yeterli derecede bağlanmayabilir. Bu nedenle öncelikle yüzeyin uygun yöntemlerle hazırlanıp ve daha sonra yukarıda belirtilen yöntemlerle yüzey metalize edilir.

Elektrokaplama; kaplanacak olan cam yüzeyi, uygun solüsyonlar ve gereken malzemeler hazırlandıktan sonra elektrokaplama işlemi başlatılabilir. İşlemi başlatmak için anot(bakır levha) ve katod (cam obje) solüsyona daldırılması ve güç kaynağına bağlanarak voltaj yada akım olarak gücün anot ve katoda iletilmesi gerekmektedir. Elektrokaplama sürecinde anot güç kaynağının pozitif terminaline ve katod

negatif terminaline bağlanmaktadır. Pürüzsüz ve parlak bir yüzey elde etmek için kaplama işleminin düşük hızda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kaplama sürecinde uygun voltaj veya akım, solüsyonda kullanılan kimyasallar, yüzeyde kullanılan iletken madde, istenilen doku ve renge göre ayarlanmaktadır. Objenin boyutu, istenilen et kalınlığı ve yüzeyin dokusuna göre kaplama süreci 10 saat veya daha fazla sürebilir.

Kaplama sonrası işlemler; istenilen doku ve kalınlık elde edilince obje solüsyondan çıkarılıp önce soğuk su ve sonra sıcak su ile yıkanır. Kaplanmış yüzey mat bir yüzeydir. Mekanik yöntemler veya kimyasal maddeler kullanılarak parlak yüzey elde edilebilir. Yüzeyi geliştirmenin diğer yöntemi, yüzeyde çeşitli parlatma ve yaşlandırma yöntemlerini uygulayarak eski obje etkisi yaratılabilir veya eğer istenilirse diğer metallerle kaplama işlemine devam edilebilir[4,11].

#### 4. CAM YÜZEYİNDE TERCİH EDİLEN SÜRECİN UYGULANMASI

Bu çalışmada öncelikle sanatsal cam eserleri yaratmak için düz ve pürüzlü cam yüzeyleri çeşitli iletken malzemelerle metalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Toz grafit yeterince iletken ve yüzeyde doku oluşturmak için uygun olması nedeniyle, cam yüzeyini iletken hale getirmek için tercih edilmiştir. Bakır piyasada kolayca bulunması nedeniyle ve düşük maliyeti dolayısıyla kaplama metali olarak seçilmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi istenilen yüzey (zemin) oluşturulup ve diğer ekipmanlar hazırladıktan sonra elektrokaplama süreci, voltaj yada akım ve zaman değerleri değiştirilerek gerçekleştirilmiştir ve ayrıca istenilen etki ve dokuyu yaratmak için tüm parametreler optimize edilmiştir.

Bu çalışmada, başlangıç cam yüzeyinde elektrokaplama

denemeleri aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir:

İlk denemeler 3 cm x 3 cm x 5 mm boyutunda cam yüzeyinde yapılmıştır. Camlar grafitle kaplanıp kaplama solüsyonu hazırlanmıştır. Voltaj veya akım ve zaman parametrelerinin etkisini izlemek için diğer değişkenler sabit tutulmuştur. Deneyin ilk kısmı, belirli zaman aralıklarında voltajın değiştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar aşağıdaki gibidir:

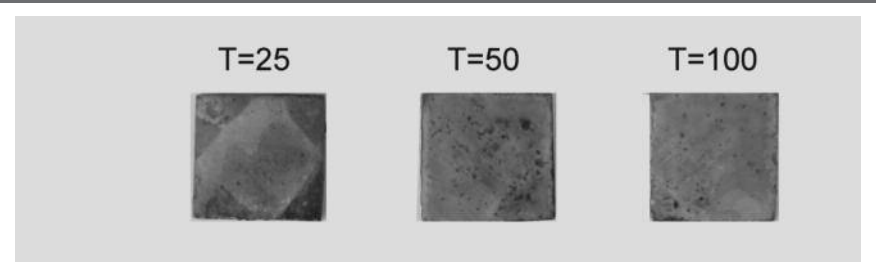
Başlangıç denemeleri voltaj değiştirilerek yapılmıştır. İlk önce kaplamalar 0,1 V uygulanarak ve 25, 50 ve 100 dakika süre boyunca yapılmıştır. Yüzeyin homojen bir şekilde kaplanması için işlem kontrol altında ve belirli zamanlarda kaplama yüzeyi - kısaç temas bölgesi değiştirilerek yapılmıştır.

0,1 V'da 25 dakikada süre kısa olduğu için yüzeyin homojen kaplanması için yeterli olmamıştır, grafit tabaka tamamen kaplanmamıştır. 50 dakika sonunda yüzey neredeyse tamamen kaplanmış bazı kaplanmamış bölgeler görülmüştür ve 100 dakika sonra yüzey çok daha homojen kaplanıp ve kalınlaşmaya başlamıştır ve parlak bir yüzey elde edilmiştir(Şekil 3).

0,2 V uygulanarak yapılan elektrokaplama denemelerin sonucu birinci denemeler serisi ile kıyaslandığında çok farklı değildir ve sadece kaplama kalitesinde ve renk homojenliğinde ufak değişiklikler olmuştur. 0,2 V ile 25 dakika süre boyunca kaplanan yüzey, aynı zaman aralığında 0,1 V ile yapılan kaplamadan biraz daha parlak olmuş ve 100 dakikada yüzey rengi biraz daha koyu olmuştur ayrıca köşelerde bazı kaynama ve pürüzlenme belirtileri görülmüştür (Şekil 4).

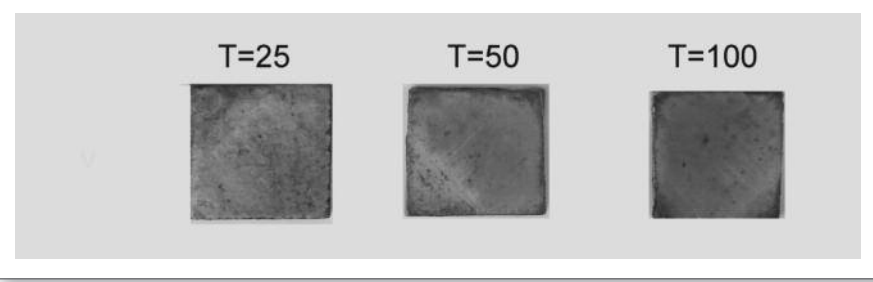
Voltaj deneylerinin 3. serisi 0,3 V uygulanarak yapılmıştır.

Şekil 3. 0,1 V uygulanarak yapılan denemelerin sonucu ( T= zaman; 25, 50 ve 100 dakika)

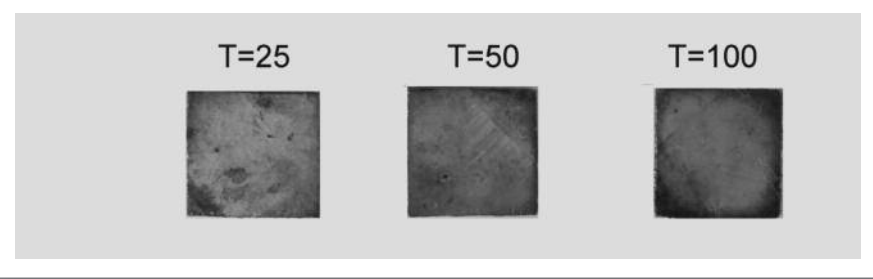




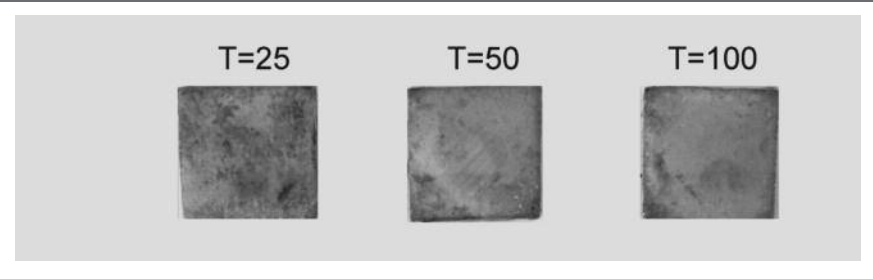
**Şekil 4. 0,2 V uygulanarak yapılan denemelerin sonucu**  
( T= zaman; 25, 50 ve 100 dakika)



**Şekil 5. 0,3 V uygulanarak yapılan denemelerin sonucu**  
( T= zaman; 25, 50 ve 100 dakika)



**Şekil 6. 0,1 A uygulanarak elde edilen denemelerin sonucu**  
( T= zaman; 25, 50 ve 100 dakika)

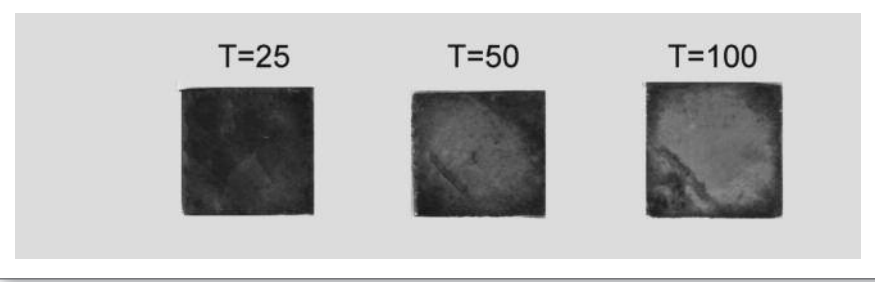


Sonuçlar genelde 0,1 V ile elde edilen kaplamadan daha parlak ve homojen olmuştur ancak parlaklığı 0,2 V'ta elde edilen kadar değildir ve kaplama rengi daha koyu olmuştur. 0,3 V ile 25 dakikada yüzey tamamen kaplanmıştır ancak homojen kalınlık elde edilmemiştir. 50 dakika boyunca yapılan kaplamanın sonucunda pürüzlü bir yüzey oluşmuştur ve bazı bölgelerde homojen olmayan kalınlık nedeniyle alt tabaka gözükmektedir. Beklenildiği gibi 100 dakika boyunca biriktirme sonucunda önceki kaplamalara göre daha uzun sürede ve daha yüksek voltaj ile yapılan kaplama nedeni ile köşelerde daha pürüzlü bir doku, koyu renk ve merkezde daha parlak ve homojen yüzey elde edilmiştir(Şekil.5).

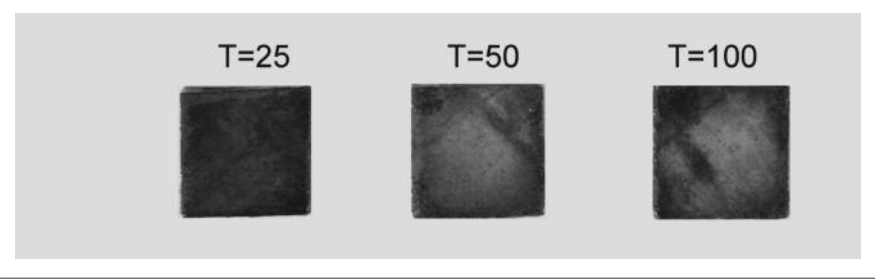
Voltaj üzerinden yapılan denemelerde en iyi sonuçların 0,2 V uygulanarak 50 ile 100 dakika süre boyunca yapılan

kaplamalarda olduğu görülmüştür. İkinci grup denemeler akım ve zaman parametreleri değiştirilerek yapılmıştır. Denemeler aynı süre boyunca ve aynı şartlarda farklı akım değerlerinde yapılmıştır. Akım uygulanarak gerçekleştirilen denemelerde genellikle daha koyu ve pürüzlü yüzeyler elde edilmiştir. En parlak, homojen ve düz yüzey 0,1 A denemelerinde 50 ve 100 dakika süre boyunca yapılan kaplamalarda elde edilmiştir. 0,1 A uygulanarak ve 25 dakika kaplama sonunda; yüzeyde patina etkili ve homojen olmayan tabaka oluşmuştur. 0,1 A uygulanarak yapılan denemede 50 dakika boyunca kaplama sonunda yüzey tamamen kaplanmış ancak tam homojen ve parlak yüzeye ulaşılammıştır ancak aynı akım değerinde 100 dakika boyunca kaplama yapıldığında daha parlak ve daha homojen yüzey elde edilmiştir(Şekil 6).

**Şekil 7. 0,2 A uygulanarak elde edilen denemelerin sonucu  
( T= zaman; 25, 50 ve 100 dakika)**



**Şekil 8. 0,3 A uygulanarak elde edilen denemelerin sonucu  
( T= zaman; 25, 50 ve 100 dakika)**



Akım parametresi değiştirilerek yapılan denemelerde en ilginç olay; yüzeyde çeşitli koyu renk tonlarının oluşması şeklindedir ve ilk siyah yüzey oluşumu 0,2 A ve 0,3 A değerlerinde 25 dakika boyunca yapılan kaplama sonucunda elde edilmiştir. 0,2 A'de yapılan kaplamalarda zamanla merkezde daha parlak yüzeye ulaşılmış ve köşelerde daha fazla pürüzlenme görülmeye başlanmıştır(Şekil.7).

Akım değişimi üzerinden 3. seri denemeler 0,3 A değerinde yapılmıştır. İlk dakikalardan başlayarak kaplanan yüzey pürüzlü ve koyu olmuştur. 50 dakika sonunda pürüzlenme artmış ve yüzeyin rengi kahverengimsi tona dönüşmüştür. 100 dakika sonunda kaplanan örnekte ise daha büyük porlu yüzey ve daha koyu renk elde edilmiştir(Şekil 8).

0,3 V ve 0,3 A değerlerinin üzerinde voltaj ve akım değerlerinde kaplama denemeleri yapılmamıştır bunun nedeni ise 0,3 V ve 0,3 A'de yapılan kaplamalarda daha koyu ve daha pürüzlü yüzeyler oluşmasıdır. Akım değeri değiştirilerek yapılan denemelerde optimum sonuçlar 0,1 A'de 50 ve 100 dakika boyunca yapılan kaplamalarda ulaşılmıştır. Akım denemelerinden elde edilen sonuçlara göre, sanatsal cam eserler üretmek için istenilen doku ve bazı renk tonları elektrokaplama yöntemi ile hiç kimyasal kullanmadan ve sadece akım değişimi ile gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 9. Doğa A2, serbest üfleme tekniği ile şekillendirilmiş olan cam üzerinde bakır elektrokaplama, Amaneh Manafidizaji, 2014**



**Şekil 10. "Nedensiz", düz ve üflenmiş cam yüzeyinde bakır elektrokaplama, 25 cm x 25 cm x 15 cm, Amaneh Manafidizaji, 2014**



Denemelerden elde edilen tecrübeleri kullanarak bazı sanatsal eserler oluşturulmuştur. Bu eserlerde alt tabakayı hazırlarken veya kaplama sürecinde voltaj ve akım değiştirilerek istenilen doku ve renk bakır elektrokaplama yöntemi ile elde edilmiştir (Şekil.9). Bu eserde sıcak cam üfleme tekniği ile hazırlanmış olan cam yüzeyi metalize edilerek yaratılan doku üzerine elektrokaplama yöntemi ile bakır kaplanmıştır ve Şekil 9'daki doğa ana temalı sanatsal ürün elde edilmiştir.

Aşağıdaki sanatsal çalışmada ise grafit yüzey pürüzsüz olacak şekilde yüzeye uygulanmış ve kaplama bu şekilde kaplama sırasında yüzeyin daha düz olması sağlanmıştır. Bu sayede yüzeyin tamamında aynı doku ve renk elde edilmiştir (Şekil.10). "Nedensiz" isimli bu çalışma suyun akışı teması işlenerek düz ve üflenmiş camlar üzerine bakır elektrokaplama yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada cam yüzeyinde bakır kaplama başarı ile gerçekleştirilmiştir. Tekniğin esnekliğini kullanarak düz ve pürüzlü camlar kaplanmıştır.

Cam yüzeyi toz grafit ile iletken hale getirilmiştir. Metal kaplama işleminin optimizasyonu geliştirilmiştir. İstenilen doku, metalizasyon ve elektrokaplama işlem sürecinde elde edilebilmektedir bu da cam sanatçısı tarafından cam üzerinde

farklı etkilere ulaşmak için yaratıcı bir teknik olarak kullanılmıştır. Elektrokaplama için bakır solüsyonu tercih edilerek ve kaplama esnasında voltaj veya akım ve zamanı değiştirerek son derece pürüzsüz ve parlak veya pürüzlü ve koyu ayrıca patina edilmiş (yaşlandırılmış görüntülü, eski eser gibi) yüzeyler yaratılabilir. Ayrıca sanatçının duyguları ve hisleri teknikteki bu ayrıntılar ile cam yüzeyine aktarılabilir.

Çalışmanın yeniliği yüzeyi iletken hale getirmek için sıvı gümüş, bakır ve diğer yöntemler yerine toz grafitin başarıyla uygulanmasıdır. Dolayısıyla istenilen doku, kalınlık ve bazı renk tonları, sanatsal cam üzerinde elde edilmiştir.

Elektrokaplama işlemi bitince yüzeyin sürekli olarak parlak kalması için önce kaplanmış yüzeyi kimyasal maddeler veya mekanik yöntemler ile parlatıp ardından yüzeyi cila ile kaplayarak oksitlenmesi önenebilmektedir. Ayrıca kaplama yüzeyine cila uygulamayıp bakır canlı ve yaşayan bir madde olarak kullanıp bakır yüzeyinin zamanla renk değişimini izlenmesini sağlayacak zemin oluşturarak bazı sanatsal duyguları aktarılabilir tekniğin ve kaplamada kullanılan malzemenin bir diğer avantajı olarak değerlendirilebilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Electroplating 101 metal anodizing plating, 2.

- 
- <http://bookzz.org/book/672401/b9551c>. Access date:29.10.2014
2. Durney L., Electroplating engineering handbook, fourth edition, 2010, New York, 15,474-479
  3. Miller P., Making sculpture by means of copper electroforming, Leonardo, Vol. 12, No. 2 (Spring, 1979), The MIT Press, 129-131
  4. Untracht O., Metal techniques for craftsman, New York 1975, 388-390
  5. Kanani N., Electroplating basic principles, process and practice, Berlin, 2006,12-13,59-64
  6. Bray Ch., Dictionary of glass, materials and techniques, London A & Black 2001, 108
  7. Dini J., The material science of coating and substrate, New Jersey, 1993, 200-212
  8. JWhitcraft C., Electrodeposition of metal onto glass, Thesis, New York, 1975, 17-22
  9. J.Sole M., Electroforming: methods, materials and merchandise, Volume 46, 1994, 29-35
  10. Pasquale M.A., Gassa L.M., Copper electrodeposition from an acidic plating bath containing accelerating and inhibiting organic additives, science direct Volume 53, Issue 20, 20 August 2008, Pages 5891-5904
  11. Fowle Meleney K., Small scale electroforming for the studio artist, 2009
  12. Fowle Meleney K., Electroforming on beads, [www.katefowle.com](http://www.katefowle.com). Access date:28.10.2014
  13. [http://breath-taking.org.uk/uploads/makers/work-samples/Anna\\_Dickinson11.jpg](http://breath-taking.org.uk/uploads/makers/work-samples/Anna_Dickinson11.jpg). Access date: 28.10.2014
  14. Lowenheim F.A, Guide to selection and use of electroplated and related finishes, ASTM STP 875. <http://books.google.com/>. Access date:13.09.2014

# KAPLAMA YAPILAN DÜZCAM YÜZEYLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ: TEMİZLEME VE DEPOLAMA SÜREÇLERİNİN ETKİSİ



**Dr. İlkay Sökmen <sup>2</sup>,**  
**Semin Atılğan<sup>1</sup>,**  
**Dr. Selen Erkan <sup>2</sup>,**  
**Lukas Simurka <sup>2</sup>,**  
**Burcu Sekir <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Analitik ve Destek Hizmetleri Direktörlüğü

<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
<sup>3</sup> Şişecam Topluluğu, Düzcamlar Grup Başkanlığı, Trakya Yenişehir Cam Sanayi A.Ş.

seatilgan@sisecam.com  
serkan@sisecam.com  
lsimurka@sisecam.com  
isokmen@sisecam.com  
bsekir@sisecam.com

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:115-121  
©Şişecam

*İlkay Sökmen, Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü'nde 1997 yılında lisans, 2000 yılında yüksek lisans, 2005 yılında doktora eğitimini tamamladı. 2003 yılında Şişecam Cam Araştırma Merkezinde göreve başladı. 2010 yılında Kavrakoğlu Yönetim Enstitüsü'nün e-MBA programını tamamladı. Melek Orhon ve Gülçin Albayrak ile beraber hazırladığı "Cam ev eşyalarının bulaşık makinesi dayanımı" konulu makale, Advanced Materials Research isimli dergide yayımlandı.*

## ÖZET

Cam yüzeyinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin detaylı bir şekilde bilinmesi önemlidir.

## Çünkü

- Yüzeğe yapılan nanometre kalınlığındaki kaplamanın altlığı camın ilk birkaç nanometresidir. İki yüzey arasındaki bağlanmayı sağlamak için cam yüzeyinin yani ilk birkaç nanometrenin kimyasal ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yüzeydeki atomların enerjisi yüksektir ve koordinasyonlarını en üst düzeye çıkararak enerjilerini minimize etmeye çalışırlar. Bunun yolu da cam yüzeyine uygulanan işlemler ve/ya cam yüzeyinin maruz kaldığı ortam sayesinde cam yüzeyinden bazı bileşenlerin uzaklaşması ve/veya cam yüzeyine bazı bileşenlerin fiziksel veya kimyasal adsorpsiyonudur. Bunun sonucu olarak yüzeyin kimyasal ve fiziksel özellikleri değişebilir, yüzey korozyona uğrayabilir, yüzeye uygulanacak kaplamanın yapışması olumsuz etkilenebilir, kaplamanın özellikleri değişebilir.

Buradan yola çıkarak yapılan bu çalışmada;

- Kaplama yapılan yeni üretilmiş cam yüzeyinin kimyasal ve fiziksel özellikleri,
- Depolama şartlarının süreye bağlı olarak cam yüzeyinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine olan etkisi,
- Kaplama öncesi cam yüzeyine uygulanan yıkama süreci incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Cam yüzeyi, Depolama süreci, Temizleme süreci, Kaplama

## 1. GİRİŞ

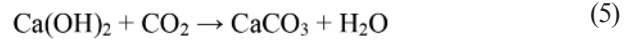
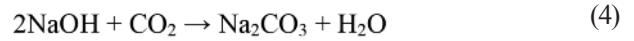
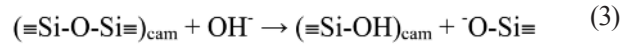
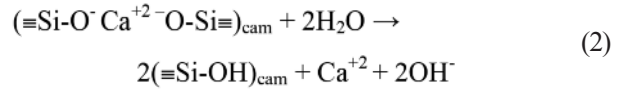
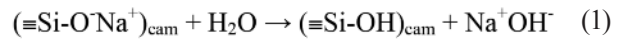
Cam yüzeyine sıçratma yöntemi ile biriktirilen çok katmanlı güneş ve ısı kontrollü kaplama sistemleri, sprey veya daldırma gibi yöntemler kullanılarak yapılan antireflektif kaplamalar için altlık olarak soda kireç silikat cam kompozisyonuna sahip düzcamlar

tercih edilir. Çünkü büyük alana yapılan kaplamalar için yüzey kalitesi, fiyat ve bulunabilirliği açısından oldukça avantajlıdır. Fakat diğer taraftan en büyük dezavantajı nem veya su ile kolayca etkileşime girmesidir. Daha üretim aşamasında yüzeyde bir su filmi oluşur. Uygun olmayan şartlarda bekletildiği veya transfer edildiği zaman ise yüzeyde kabul edilemez kimyasal ve fiziksel değişimler meydana gelir.

Yeni üretilmiş cam yüzey yapısının şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir [1]. Cam yüzeyi üretimde şekillendirme süreci sırasında oluşur. 1050 °C’den 600°C’ye kadar yüzeyden hidroksit ve oksit şeklinde sodyum buharlaşması gerçekleşir ve cam yüzeyindeki sodyum içeriği cam kütlesine göre azalır. Cam yüzeyinin atmosferde bulunan nem ile reaksiyonu ise 600°C’de başlar ve oda sıcaklığına kadar devam eder. Bu süreçte su molekülleri yüzeye kimyasal adsorpsiyon yolu ile bağlanır ve yüzeyde reaktif hidroksil grupları oluşur. Bu bölgenin kalınlığı yaklaşık 1,5 nm’dir. Cam yüzeyinin hidrofilik olmasının sebebi bu reaktif hidroksil gruplarıdır ve kaplamanın yüzeye iyi tutunmasında önemli rol oynarlar. Fakat dezavantajı da vardır. Atmosferde bulunan nem bu silanol gruplarına zayıf Van Der Waals kuvvetleri ile kolayca tutunur. Yani suyun yüzeye fiziksel adsorpsiyonu gerçekleşir. Bu su filminin kalınlığı ortam nem ve sıcaklığına bağlı olarak 50 nm’ye kadar ulaşabilir. Kaplamanın yüzeye yapışmasında olumsuz etkisi vardır. Diğer yandan bu su filmi yüzeyden ısıtma yolu ile kolaylıkla uzaklaştırılabilir.

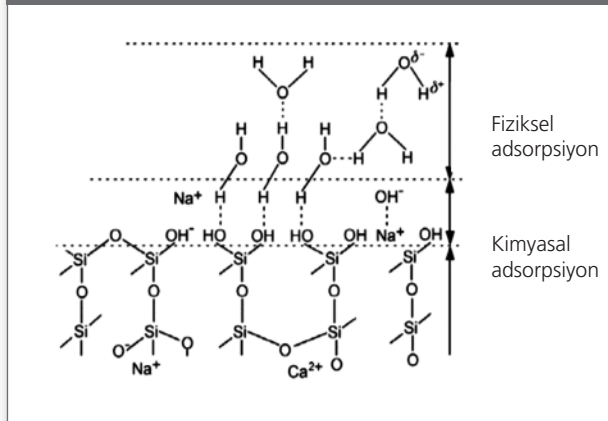
Depo şartlarında bekleme sürecinde ise cam yüzeyi nem veya çiyeye maruz kaldığı zaman korozyon reaksiyonları derhal

başlar [1-5]. İki aşamalı olarak gerçekleşir: 1. Aşama olan ve suyun hidrojeni ve cam yapısında bulunan alkaliler arasında gerçekleşen iyon yer değiştirme reaksiyonu (1 ve 2 numaralı reaksiyonlar) ile cam yüzeyinde Na ve OH iyonlarının konsantrasyonu artmaya başlar dolayısıyla yüzeyin pH değeri artmaya başlar. Bu aşamada yüzeyde liçlenmiş hidrate tabaka oluşur. pH 9’un üzerine çıktığı zaman hidroksil iyonları siloksan bağlarına saldırır ve silika ağ yapı çözülmeye başlar (3 numaralı reaksiyon). Ayrıca yüzeyde oluşan alkali ve toprak alkali hidroksitler ortamda bulunan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi gazlar ile reaksiyona girebilir, bunun sonucu olarak yüzeyde karbonat bileşikler gibi korozyon ürünleri oluşabilir (4 ve 5 numaralı reaksiyonlar). Reaksiyonlar şu şekildedir:

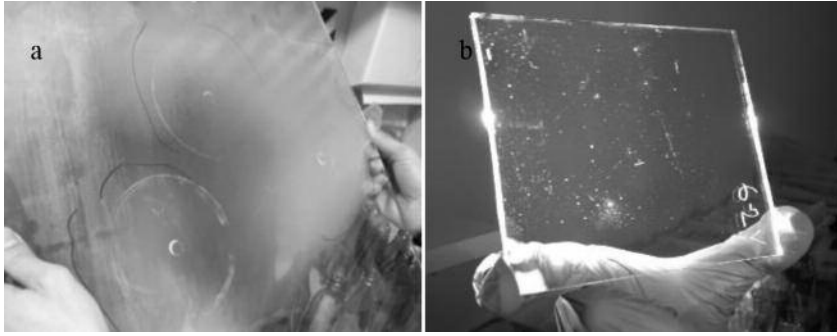


İleri aşama korozyon yüzeyde bulutlu bir görüntüye neden olur. Diğer yandan korozyon henüz başlangıç seviyesinde ise çıplak göz bunu fark edemeyebilir (Şekil 2). Bu tehlikeli bir durumdur. Göz fark edemez fakat yüzeyin kimyasal ve fiziksel özellikleri değişir. Pürüzlülük artmaya başlar. Yüzeyin kırma indisi, sertlik gibi nanomekanik özellikleri farklılık gösterir. Şekil 3’te orijinal cam yüzeyinin ve başlangıç seviyesinde korozyon olan cam yüzeyinin atomik kuvvet mikroskop görüntüsü verilmiştir. Orijinal cam yüzey pürüzlülüğü 0,2 nm’dir. Görüldüğü üzere pürüzlülük yaklaşık 5 kat artmıştır. Böyle bir camın yüzeyine toplam kalınlığı neredeyse 100 nm olan çok katmanlı optik ince filmlerin yapılması kesinlikle tercih edilmeyen bir durumdur. Özellikle hat dışı yapılan kaplamalarda bu tip camların kullanılma riski vardır. Kaplamanın biriktirilmesi sırasında yüzeyde nanoskopik korozyon ürünü kristallerinin bulunması, cam yapısında bulunan mobil Na<sup>+</sup> iyonlarının camdan kaplamaya doğru difüzyonu kaplamada oyuk, çatlak gibi hatalara, optik bozulmalara neden olur. Kaplamanın cam yüzeyine yapışması, kaplamanın fonksiyonu olumsuz etkilenir. Faz

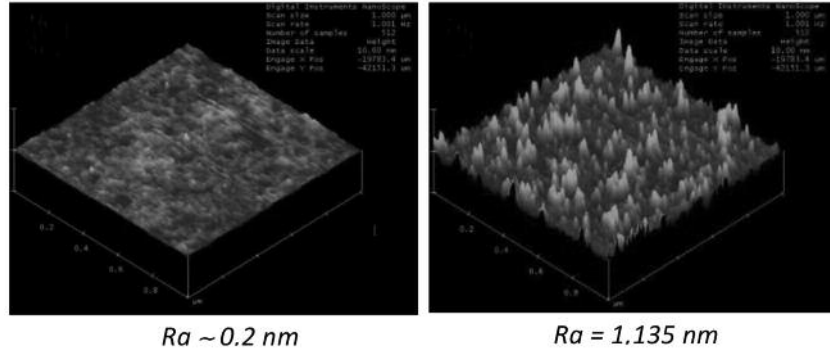
**Şekil 1. Cam yüzey yapısının şematik gösterimi [1]**



Şekil 2. (a) İleri aşama korozyon, (b) Başlangıç seviyesinde korozyon



Şekil 3. AFM görüntüleri (a) Orijinal cam yüzeyi, (b) Başlangıç seviyesinde korozyon olan cam yüzeyi



değişimine neden olabileceği için kaplamanın kimyasal ve mekanik güvenilirliği etkilenir, özellikle kaplamaya uygulanan temperleme, bükme gibi ısı işlem zaten mobil olan alkali iyonlarının mobilitesini daha da arttıracığı için kaplamanın bozulmasına neden olur.

Meszaros 2013 senesinde farklı nem şartlarında belli bir süre boyunca beklettiği camlara low-e kaplama uygulamış ardından kaplanmış camları temperleme sürecine maruz bırakmıştır [7]. Şekil 4'te ilk sırada kaplama yapılan cam yüzeylerinin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) görüntüleri verilmiştir. Sadece %5 nem ortamında bekleyen cam yüzeyinde bile boyutları küçükte olsa korozyon ürünlerine rastlanmıştır. %45 ve özellikle %95 bağıl nem ortamında bekleyen cam yüzeylerinde ise önemli oranda bozulmalar tespit etmiştir. Bu camlara kaplama yaptıktan sonra optik mikroskop ile inceleme yapmış ve %95 bağıl nem ortamında bekleyen cam yüzeyine yapılan kaplamada hatalar tespit edilmiştir. Ardından kaplamalı camları temperleme sürecine maruz bırakmış ve yapılan

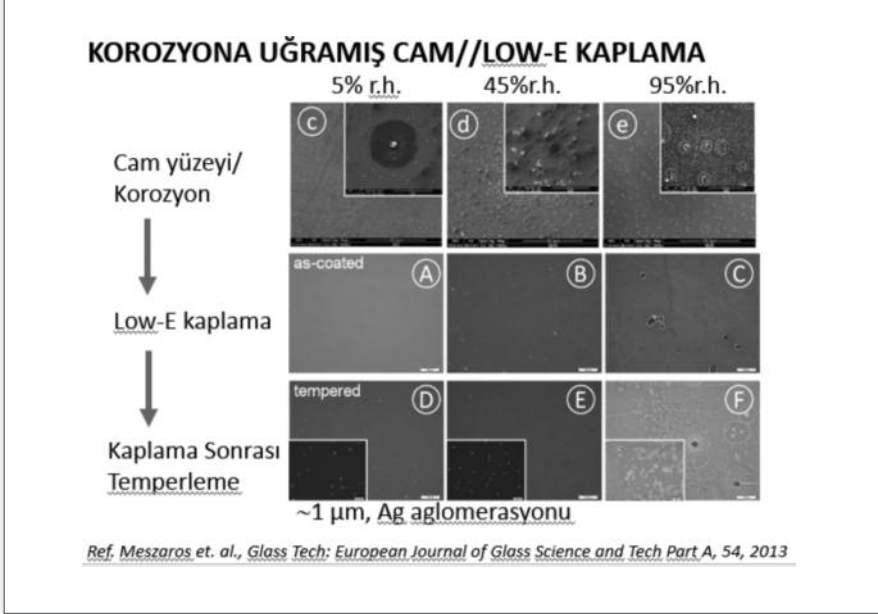
incelemelerde %95 bağıl nem ortamında bekleyen cam yüzeyine yapılan kaplamada şiddetli olmak üzere tüm kaplamalarda bozulma tespit edilmiştir. Yüzeyde görülen 1 mikron boyutundaki partiküllerin metalik Ag aglomeratlarına ait olduğu tespit edilmiştir. İnce gümüş filminin bu katmana olan difüzyon nedeniyle oluşan aglomerasyonu temperlenebilir low-e kaplamaların çok sık rastlanan bir sorundur.

Buradan yola çıkarak bu çalışmada 1 ay süren depolama süreci boyunca kaplama yapılan cam yüzeyinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinde oluşan değişiklikler incelenmiştir.

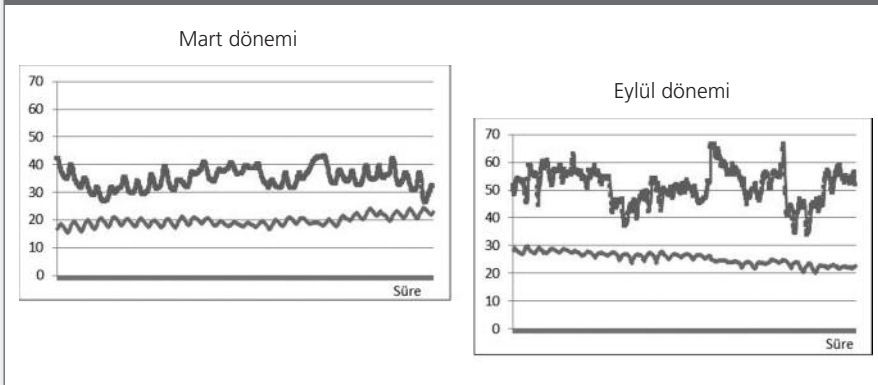
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma, kaplama hattının bulunduğu Trakya Cam San. A.Ş. Yenişehir Fabrikasında yapılmıştır. Mart ve Eylül olmak üzere 2 farklı iklim şartında 4 haftalık depolama süreci incelenmiştir. Aynı gün üretim tarihli 40 adet cam

Şekil 4. Farklı nem şartlarında belli bir süre boyunca bekletilen camların SEM görüntüleri (c,d,e), bu camlara uygulanan low-e kaplamaların optik mikroskop görüntüleri (A,B,C), low-e kaplamaların temperleme süreci sonunda alınan optik mikroskop görüntüleri (D,E,F) [7]



Şekil 5. Depolama süreci boyunca nem ve sıcaklık ölçüm değerlerini gösteren grafikler



paketlenerek depolama süreci başlatılmıştır. Nem ve sıcaklık sensörleri paket üzerine yerleştirilmiş ve saat başı nem, sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Depolama sürecinin başlatıldığı gün yeni üretilmiş camı temsil etmesi amacıyla üretim hattından numune alınmıştır. Ardından her hafta paketin orta bölgesinde bulunan cam plakadan numune kesilerek alınmış ve tüm numunelerin yüzey karakterizasyonu yapılmıştır. X-Işınları Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) tekniği kullanılarak numunelerin yüzey kompozisyonu ve yüzeyden cam kütlelerine doğru derinlik profilleri incelenmiştir. X-Işınları Reflektivite (XRR) tekniği

kullanılarak yüzeyde oluşan liçlenmiş tabakanın yoğunluğu ve kalınlığı incelenmiştir. Beyaz Işık İnterferometresi (WLI) ve AFM ile numunelerin yüzey morfolojisi ve pürüzlülüğü incelenmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

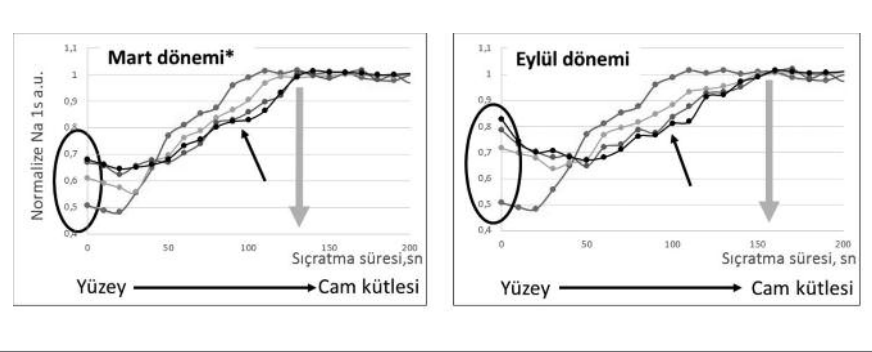
Şekil 5'te Mart ve Eylül dönemi depolama süreçlerinin sıcaklık ve nem grafikleri verilmiştir. Tablo 1'de ise ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri verilmiştir.



**Tablo 1. Ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri**

°C	T ort	Tmax	Tmin	(Tgü-Tge)max
Mart*	19,7	24,4	15,4	2,4
Eylül	25,4	29,8	20,2	1,5
%	RH ort	RHmax	RHmin	(RHgü-RHge)max
Mart*	34,7	43,1	26,2	7,7
Eylül	51,4	66,3	33,8	13,7

gü: gündüz, ge: gece

**Şekil 6. Na Derinlik Profili (Yüzeyden → Cam kütesine doğru)**

2 farklı iklim şartı için dikkat çeken veriler aşağıda özetlenmiştir:

- Eylül dönemi ~ 5 °C daha sıcak,
- Eylül döneminde gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkı daha düşük,
- Eylül döneminde bağıl nem ~ %15 daha fazla,
- Maksimum bağıl nem mart döneminde %43,1, eylül döneminde %66,3,
- Eylül döneminde gece ile gündüz arasında bağıl nem farkı mart dönemi için %7,7, eylül dönemi için %13,7.

Yeni üretilmiş ve depoda 1 hafta (1H), 2 hafta (2H), ve 4 hafta (4H) beklemiş numunelerin yüzey kompozisyonu ve derinlik profili (cam yüzeyinden cam kütesine doğru) XPS ile incelenmiştir. Numuneler yıkama işlemi uygulanmadan analize alınmıştır. Numunelerin Na ve Si yüzey kompozisyonu ve derinlik profili sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.

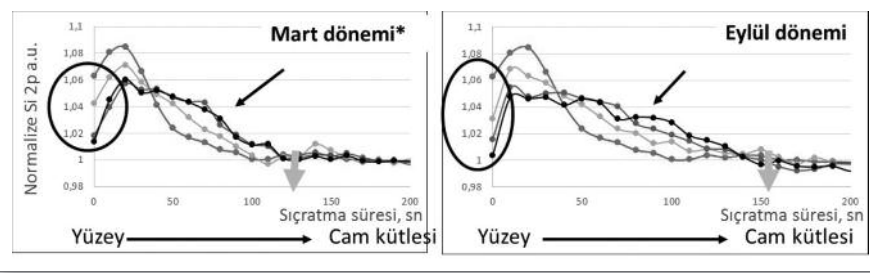
Her iki dönemde yapılan çalışmada, yeni üretilmiş numuneye göre 1H, 2H, ve 4H numunelerinde yüzeyde Na açısından zengin, yüzey ile cam kütesi arasında (Şekil 6'da siyah ok ile gösterilen bölgeler) Na açısından fakir bir tabaka (liçlenmiş

hidrate tabaka) oluşmuştur. Daha yüksek sıcaklık ve nem değerlerinin gözlemlendiği eylül depolama süreci sonunda 1. haftadan itibaren yüzeyde tespit edilen Na miktarı mart dönemine göre daha fazladır. Ayrıca eylül döneminde cam kütesi değerlerine ulaşana kadar geçen sıçratma süresi daha uzundur (Şekil 6, gri ok). Bu durum yüzey ile cam kütesi arasında oluşan liçlenmiş hidrate tabakanın daha kalın olduğunu göstermektedir.

Her iki dönemde yapılan çalışmada, yeni üretilmiş numuneye göre 1H, 2H, 4H numunelerinde yüzeyde Si açısından fakir, yüzey ile cam kütesi arasında (Şekil 7'de siyah ok ile gösterilen bölgeler) Si açısından zengin bir tabaka (liçlenmiş hidrate tabaka) oluşmuştur. Daha yüksek sıcaklık ve nem değerlerinin gözlemlendiği eylül depolama süreci sonunda 1. haftadan itibaren yüzeyde tespit edilen Si miktarı mart dönemine göre daha azdır. Ayrıca eylül döneminde cam kütesi değerlerine ulaşana kadar geçen sıçratma süresi daha uzundur (Şekil 7, gri ok). Bu durum yüzey ile cam kütesi arasında oluşan liçlenmiş hidrate tabakanın daha kalın olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, numunelerde 1. haftadan itibaren Na açısından

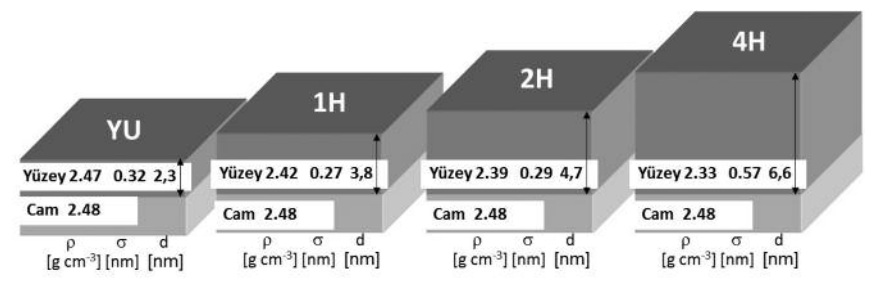
Şekil 7. Si Derinlik Profili (Yüzeyden → Cam kütesine doğru)



Tablo 2. Yüzey yoğunluğu, yüzeyde oluşan tabakanın kalınlık ve pürüzlülüğü

Numune	Cam yoğunluğu	Yüzey		
		Yoğunluk ( $\rho$ ), g/cm <sup>3</sup>	Kalınlık (d), nm	Pürüzlülük ( $\sigma$ ), nm
YU	2,48000	2,46932	2,3220	0,3165
1H	2,48000	2,41776	3,8448	0,2702
2H	2,48000	2,39145	4,7276	0,2871
4H	2,48000	2,33566	6,5614	0,5700

Şekil 8. Yüzey yoğunluğu, yüzeyde oluşan tabakanın kalınlık ve pürüzlülük bilgilerinin şematik gösterimi



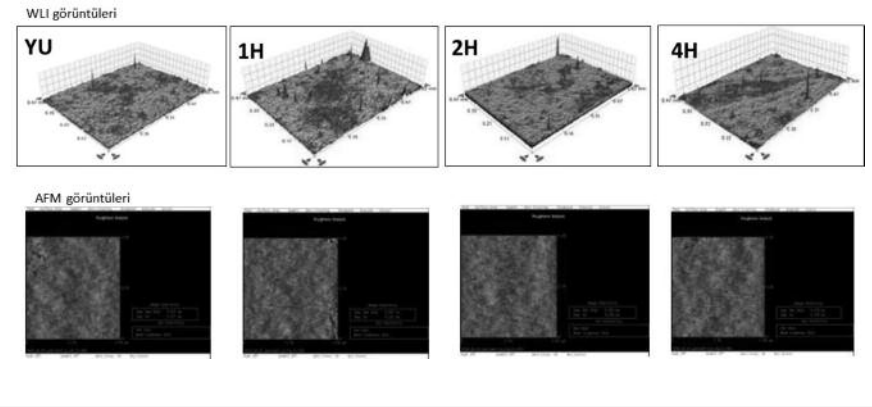
zengin ve Si açısından fakir bir yüzeyin oluşması ve yüzey ile cam kütesi arasında liçlenmiş hidrate bir tabakanın oluşması cam yüzeyinde iyon-yer değiştirme reaksiyonunun başladığını göstermektedir.

Yeni üretilmiş ve depoda 1, 2 ve 4 hafta beklemiş numunelerin yüzey yoğunluğu, yüzeyde oluşan tabakanın kalınlık ve pürüzlülüğü XRR tekniği ile incelenmiştir. Numuneler yıkama işlemi uygulandıktan sonra analize alınmıştır (analiz yönteminin yüzey pürüzlülüğüne karşı çok hassas olması nedeniyle). Sonuçlar Tablo 2’de ve Şekil 8’de verilmiştir. Her iki dönem için depolama süreci ilerledikçe yüzeyde oluşan tabakanın yoğunluğu azalmış, kalınlığı artmıştır. XPS sonuçları ile paralel incelendiği zaman;

depolama süreci ilerledikçe cam kütesinden yüzeye doğru oluşan Na difüzyonu sonucunda yüzey ile cam kütesi arasında oluşan liçlenmiş tabakanın (yeni üretilmiş numuneye göre Si açısından zengin, Na açısından fakir) yüzey yoğunluğunu azalttığı görülmüştür.

WLI ve AFM kullanılarak sırasıyla 0,47mmx0,62mm ve 5µmx5µm boyutlarındaki alanlarda camların nanometre seviyesinde yüzey morfolojileri incelenmiştir. İncelemeler yüzeyler yıkandıktan sonra yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3’de, yüzey görüntüleri Şekil 9’da verilmiştir. Numunelerde süreye bağlı olarak açıklanabilen anlamlı bir değişiklik tespit edilmemiştir. Yüzeyde oluşan nanoskopik kristaller yıkama ile temizlenerek yüzeyden uzaklaşmış, silika

Şekil 9. Numunelerin WLI ve AFM görüntüleri

Tablo 3. Yüzey pürüzlülük değerleri,  $R_A$  (nm)

Numune	WLI 0,47mmx0,62mm	AFM 5 $\mu$ m x 5 $\mu$ m
YU	0.225	0.177
1 H	0.264	0.211
2 H	0.228	0.204
4 H	0.280	0.200

ağ yapı bozulmamıştır. Yüzey morfolojisi açısından değerlendirildiği zaman iyi bir temizleme işlemi yapıldıktan sonra yüzeyine kaplama yapılması açısından olumsuz bir durumun olmadığı görülmüştür.

#### 4. SONUÇ

Sıcaklık ve nem açısından depo şartlarının kaplama yapılan cam yüzeyine olan etkisi incelenmiştir. Cam yüzeyinde 1. haftadan itibaren Na açısından zenginleşme tespit edilmiş, yüzey ile cam kütlesi arasında liçlenmiş hidrate tabakanın varlığı görülmüş ve yüzey yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum cam yüzeyinde iyon-yer değiştirme reaksiyonunun başladığını göstermektedir. Bu sonuç,

kaplama sürecinde yeni üretilmiş cam kullanılmadığı sürece cam yüzeyinin kaplama öncesi kontrolünün ve iyi bir temizleme sürecinden geçirilmesinin oldukça önemli olduğunu göstermiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Glaser, H. J.: Large area glass coating, Von Ardenne Anlagentechnik GmbH, Dresden (2005) p. 25
2. Douglas, R. W.; El-Shamy, T. M. M.: Reactions of glasses with aqueous solution. J. Am. Chem. Soc. 50 (1967) no. 1, p. 1-8
3. Bange, K.; Rauch, F.: Surface hydration of glasses and compositional changes. Glass Res. 9 (1999) no. 1, p. 4-17
4. Hench, L. L.: Glass surface, J. Phys. Colloque C9. Suppl. 12 (1982) p. C9-625 – C9-646
5. Lanford, W. A.; Davis, K.; Lamarche, P.: Hydration of soda-lime glass. J. Non-Cryst. Solids 33 (1979) p. 249-266
6. Scholze, H. J.: Glass-water interactions. J. Non-Cryst. Solids 102 (1988) p. 1-10.
7. Meszaros, R., Wild, M., Wondraczek, L.: Effects of substrate and long term corrosion on PVD-multilayer coatings for architectural glazing, Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol. A, October 2013 (5), p. 177-184

---

# GLASS MARKET TRENDS – SUMMARY FROM GPD 2013



**Jorma Vitkala**

Chairman of the Organizing Committee  
Glass Performance Days / Glaston  
Finland Oy  
Jorma.Vitkala@glaston.net

---

*Jorma Vitkala, the originator and chairman of the Glass Performance Days (est. 1992), has more than 33 years of industrial experience from the safety glass industry both at Glaston and its predecessor Tamglass. The world-leading glass specialist conference GPD – The Glass Performance Days – was organized under his leadership for the 13th time in 2013.*

*He has written numerous articles for leading publications in the trade. He is also a specialist on LowE glass tempering and has filed and been granted a number of patents related to this field. He is a member of several international specialist committees, i.e. ICG, ICGTC, ICCG, SVC-TAC, DGG.*

---

**ABSTRACT**

Glass industry developments and trends by reviewing the state-of-the-art as reflected by the Glass Processing Days - GPD 2013 Conference are analyzed. The future challenges facing glass industry solutions especially in glass tempering - what kind of sizes, shapes and solutions are used today and in the near future are given.

The GPD has developed into the hub of the international glass industry as the leading forum for the presentations of innovations, new technologies, new industrial practices and above all energy-efficient solutions in the service of construction, design and interior decorating applications.

**Keywords:** *Glass Performance Days, Glass Market Trends*

---

# THIN GLASS TEMPERING – TECHNOLOGY AND BUSINESS POSSIBILITIES TODAY



**Miika Äppelqvist (MSc)**  
Director, Business Solutions  
Glaston Finland Oy  
miika.appelqvist@glaston.net

---

*Miika Äppelqvist is a glass tempering specialist who has worked in different management positions in glass tempering and product management during the past 7 years. During the years he has been involved in the development and market launch of the latest tempering technology. Currently he is leading GlastonAir business in Glaston which is the specialised in thin and highest quality glass heat treatment.*

---

## ABSTRACT

The glass industry globally is buzzing about thin glass and thin glass possibilities. Different players in the industry value chain are looking for lighter, cheaper, better quality solutions to provide more convenient and sustainable solutions to the end consumers. Currently the thinnest commonly available heat treated glass is 3mm, but the market is looking towards thinner solutions. There are however, limited number of solutions and actual real life cases where very thin heat treated glass is used.

This presentation goes through the challenges related to thin glass heat treatment and tempering and presents latest alternative solutions to overcome those challenges. The presentation also covers the most talked use cases for thin glass and where glass processors can find significant value addition with thin glass

**Keywords:** *Thin Glass Tempering*

# İYON YER DEĞİŞTİRME VE ISIL İŞLEM İLE RENKLENDİRİLMİŞ KURŞUN ALKALİ CAMLARININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



**Meryem Sarıgüzel<sup>1</sup>,**  
**Prof. Dr. Şenol Yılmaz<sup>2</sup>,**  
**Dr. Esin Günay<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi,  
Malzeme Enstitüsü,

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve  
Malzeme Mühendisliği  
meryem.sariguzel@tubitak.gov.tr  
symaz@sakarya.edu.tr  
esin.gunay@tubitak.gov.tr

1982 yılında Sakarya'da doğdu. Lisans derecesini 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden aldı. 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Seramik Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamladı. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde başladığı doktora eğitimine devam etmektedir. Aynı zamanda, 2008 yılından beri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsünde araştırmacı olarak çalışmaktadır.

## ÖZET

Yüksek kuvars esaslı bünye üzerinde kurşun alkali esaslı sırların (cam tabakası) renklendirilmesi gümüş ve bakır ilavesi ile gerçekleştirilmiş ve sonucunda metalik parlaklığa ve renk geçişlerine sahip cam kaplama tabakası elde edilmiştir. Kaolen, bakır sülfat ve gümüş karbonat içeren karışım cam tabakası yüzeyine uygulandıktan sonra oksitleyici-redükleyici atmosferde ısıl işlem gerçekleştirilmiştir. İyon yer değiştirme olarak bilinen bu metod ile kurşun alkali esaslı cam içerisinde gümüş nano kümeleri oluşturulmuştur. UV-visible spektrometre ile yapılan ölçüm ile elde edilen absorpsiyon spektrumunda, cam kaplama içerisindeki gümüş nano kümelerinin yüzey plazmon rezonansından kaynaklı olarak 410 nm'de absorpsiyon bandı gözlemlenmiştir. X-Işını Difraksiyonu (XRD) ile bu camsı yapı içerisindeki metalik gümüş fazı, X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ise elementel kompozisyon belirlenirken, Geçirimli Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı Spektrometre (TEM-EDS) ile nano-tanelerin ortalama boyutunun 5-10 nm olduğu ve yüzeyden başlayarak, yaklaşık 300-750 nm derinliğe kadar dağılım gösterdiği saptanmıştır. Cam ürünlerin renklendirilmesi, cam üzeri desen uygulamaları ve optik camların üretimine kadar çok farklı alanlarda kullanılabileceği öngörülen bu teknik ile elde edilmiş renklerin -10 °C kış, +40 °C yaz koşullarında atmosferik şartlara dayanımlı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Cam Kaplama, Gümüş Nano Kümeleri, İyon Yer Değiştirme

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda; Dünyada özel amaçlara yönelik olarak, 1) renklendirici iyonların ilavesi 2) cam içerisinde nanoboyutlu kolloidlerin çökeltilmesi /proses esnasında oluşturulması (altın rubi camları veya selenyum rubi camları) 3) iyon yer değiştirme ve ısıl işlem uygulanması (renkli nanotaneler içeren cam) 4) renklendirici inklüzyonlar (dumanlanmış/sisli görünümlü camlar), 5) ışık saçınımı ile (faz ayrıştırılmış camlar) 6) dikroik kaplamalar (ör. dikroik camlar) veya renklendirici kaplamalarla, renkli cam üretimi yapılabilmektedir [1, 2].

Camsı fazı modifiye etmek için kullanılan tekniklerinin en önemlilerinden bir tanesi

iyon yer değiştirme tekniğidir. Son yıllardaki araştırma eğilimi, eriyik ve cam yüzey arasındaki ilişkiyi anlamak, iyon yer değiştirme prosesi ile camın renklendirilmesi, mekanik ve kimyasal dayanımın artırılması konularında yoğunlaşmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda; iyon yer değiştirme prosesi ile öncelikle camda bulunan tek değerlikli iyonların, ergimiş tuz banyoları veya özel hazırlanmış macun (boya) karışımlarındaki iyonlarla yer değiştirilmesi, devamında ise ısı işlem uygulanmasıyla nanotaneler içeren farklı renk tonlarında cam üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

Cam matrisin yapısı ve kompozisyonu kontrol edilerek, yeni camsı malzemeler elde etmek mümkün olduğundan, günümüzde nanotaneler içeren renkli düz camlar; özellikle optik cihazların üretiminde çok önemli bir yere sahip olmuştur. Eriyik ve cam yüzeyi arasındaki iyon yer değiştirme prosesi, camın mekanik ve kimyasal dayanımını arttırmak, fotokromik, optik absorblama özelliklerini modifiye etmek ve renklendirme için kullanılabilir [1-6].

Camların; gümüş (Ag) ve bakır (Cu) gibi kolloidal metalik taneler ile renklendirilmesi yüzyıllardır bilinmekte ve uygulanmaktadır. Renklenmenin nedeni, Ag için 390-420 nm ve Cu için 570 nm civarında absorpsiyon bandına neden olan metal tanelerindeki yüzey plazmon rezonansıdır. Bu proseste; cam ve/veya seramik yüzeylere, gümüş/bakır esaslı tuzlardan oluşan karışım, kil bağlayıcı ve su ile karıştırılarak, macun halinde bir fırça yardımıyla sürülmektedir. Cam yumuşama sıcaklığının hemen altında yapılan ısı işlemle gümüş ve/veya bakırın temas yüzeyinden, camın içerisine girmesi sağlanmaktadır. İyon yer değiştirme işlemi; camdaki alkali iyonlar ile cam yüzeyini kaplayan karışımdaki gümüş ya da bakır iyonlarının yer değiştirmesi ile gerçekleşmektedir. İlk ısı işleminden sonra, camlar, fırın içerisinde organik maddelerin yakılması ile oluşturulan indirgen ortamda kısa süreli ikincil bir ısı işleme tabi tutulmaktadır. Bu işlem redoks tepkimelere neden olmakta, gümüş ve bakır iyonları indirgenirken, camdaki diğer iyonlar oksitlenmektedir [7,8].

Tarihsel gelişim süreci içinde; nanometal içeren renkli camlara ilk örnek olan Lycurgus kupası (M.S. 4.yüzyıl); eski çağlardaki cam endüstrisinin en önemli başarılarındandır. Geç Roma dönemi camlarından olan bu kupa; dikroiktir. Direkt ışıkta (ışığı yansıttığında) opak ve açık yeşil, ışık cam içinden geçtiğinde (ışığı geçirdiğinde) yarı saydam ve yakut kırmızısı

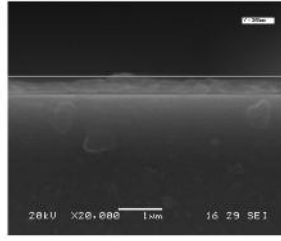
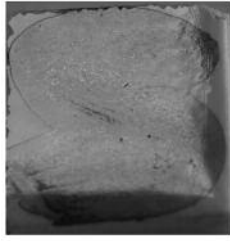
(rubi) renkte görünmektedir [9]. Nanotane içeren camsı yapılara diğer bir örnek ise lüster /macun tekniği olarak bilinen ve ilk olarak, 9. yüzyılda Irak'ta uygulanmaya başlayıp, 20. yüzyılın ilk yarısına kadar bütün Akdeniz'e yayılmış olan, sırlanmış seramik altlık üzerine uygulanan, boyutları 5-50 nm arasında değişen Ag ve Cu tanelerinin heterojen bir şekilde dağıldığı, kalınlığı 100 nm-1µm arasında olan cam ince film tabakasıdır. Lüster tekniği, tarihte özellikle kilise camlarının renklendirilmesinde de kullanılmış olup bu camlar "stained glass" olarak tanınmaktadır [1-4].

Bu çalışmada; kurşun alkali esaslı cam tabakaları (sır) üzerine lüster macunu uygulanarak, iyon yer değiştirme işlemi takiben oksitleyici-redükleyici atmosferlerde gerçekleştirilen ısı işlemler ile cam içerisinde Ag ve Cu nanokümelere oluşturularak, renklendirme yapılmıştır. XRD, XPS, TEM ve UV-Vis. spektrometre ölçümleri ile metal nanotanelerin yapıları, boyutları ve şekilleri incelenmiştir.

## 2. KULLANILAN CİHAZLAR VE YÖNTEM

Çalışmalarda öncelikle; yüksek kuvars esaslı seramik bünye, kompozisyonu ağı. %31,39 SiO<sub>2</sub>, %0,84 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %2,34 Na<sub>2</sub>O, %1,34 CaO, %0,47 MgO ve %63,22 PbO olan kurşun alkali esaslı sır karışımıyla kaplanmış ve 950°C'de sır pişirimi gerçekleştirilmiştir. Pişirim sonrası yüksek kuvars esaslı seramik bünye üzerinde, yaklaşık 350-400 µm kalınlığında amorf yapıdaki cam tabakası elde edilmiştir. Bu cam tabakasının renklendirilmesi için kullanılan macun karışımı ağı. %7 gümüş karbonat, %27 bakır sülfat ve %66 kaolenden oluşmaktadır [10]. Macunu hazırlamadan önce kaolen, bünyesindeki moleküler suyun ve karbon gibi diğer yanıcı maddelerin uzaklaştırılması için 1000°C'de kalsine edilmiştir ve öğütülmüştür. Renklendirici macun karışımı su ile karıştırılıp, fırça ile cam yüzeyine uygulandıktan sonra, sırın kısmen yumuşaması için, oksijen atmosferindeki fırında, 550°C'de 5 dakika süre ile ısı işlem uygulanmıştır. Bu işlem, metalik iyonların ayrışmasına sebep olmuş ve sırın içindeki sodyum ile gümüş ve bakır iyonları arasında iyon yer değişimi gerçekleşmiştir. Oksitleyici atmosferde yapılan pişirimi takiben, soğumaya geçildiğinde, gül ağacı ilavesi ile fırın ortamı indirgen hale getirilmiş ve bu esnada gümüş iyonları nanotaneler halinde çökelmiştir. Soğuma işlemi tamamlandıktan sonra, fırın dışına çıkarılan numune yüzeyinde kalan boya suyla ve bir sünger yardımıyla temizlenmiş ve Şekil 1'de görülen metalik parlaklıkta yüzeye sahip renkli cam yüzey elde edilmiştir. Kurşun alkali esaslı

**Şekil 1. Renklendirilmiş numune, cam kaplama tabakası SEM görüntüsü ve EDS analizi**



Element	% Ağırlık
O	34,242
Al	0,681
Si	34,827
Cu	2,949
Ag	6,918
Pb	20,384
Toplam	100,00

camın yüzeyinde, yaklaşık 360 nm kalınlığa sahip renkli cam kaplama tabakasının SEM-EDS spektrometre ile elde edilen görüntüsü ve kompozisyonu verilmiştir.

Cam (sır), macun ve kaplama sonrası cam tabakasının elementel içerikleri Philips PW 2404 model dalgaboyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre ile gerçekleştirilmiştir. Görünür bölgedeki (380-800 nm dalga boyu) absorpsiyon spektrumlarının elde edilmesi için Perkin Elmer Lambda 750S model UV-Vis-NIR spektrometre kullanılmıştır. Mineralojik analizler, Shimadzu XRD-6000 XRD cihazı (bakır tüp, dalga boyu=1,5405Å) ile gümüşün ve bakırın formunun (metal ya da oksit) belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Renklendirilmiş camların dış yüzeylerinin elementel kompozisyonu PHOIBOS HSA3500 cihazında, monokromatik Al-K $\alpha$  radyasyonu ile gerçekleştirilirken (enerji 1486,6 eV), tekrarlayan taramalar yapılmış ve sinyallerin ortalama değerleri hesaplanmıştır. Analizler 0-1200 eV değerleri arasında geniş bir aralıkta gerçekleştirilmiş, ayrıca C 1s, O 1s, Cu 2p, Ag 3d bölgeleri dar aralıkta da analiz edilerek elementler spektrumdan bulunmuştur. Bağlanma enerjileri C 1s sinyalleri referans alınarak hesaplanmıştır. Sır yüzeyindeki kaplama tabakası JEOL JEM-ARM200CFEG UHR model TEM-EDS cihazı ile belirlenmiştir. Renklendirilmiş camların iklim koşullarına dayanımının belirlenmesi için iklimlendirme testi yapılmıştır. İklimlendirme şartlarını belirlerken, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün, Marmara Bölgesi için verdiği istatistiklerden, son 20 yıllık kış koşulları hava sıcaklık verileri ortalaması -10°C, yaz koşulları için hava sıcaklık verileri ortalaması 40°C olarak hesaplanmıştır. Yaz ve kış koşulları dikkate alınarak, 1 yıllık süreye karşılık gelen 37 çevrim için program oluşturulmuş, renklendirilmiş camlar Atlas marka SC MGH model solar iklimatik test kabini bu çevrimler süresince bekletilerek özellikleri kontrol edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

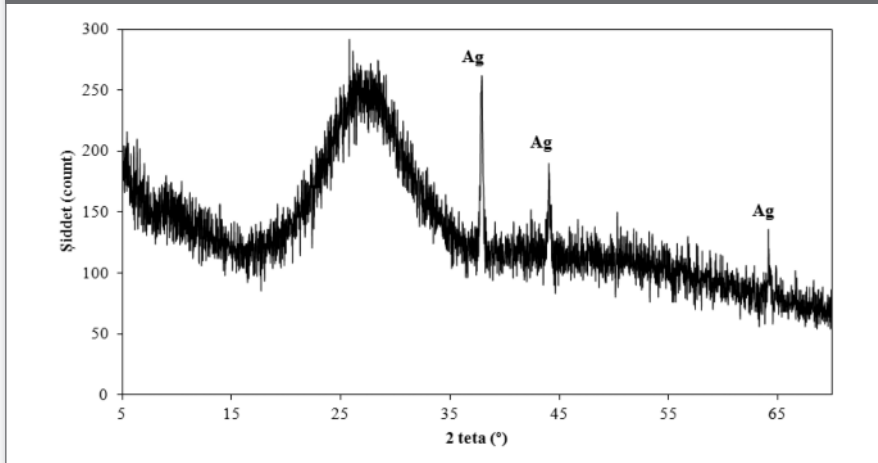
Farklı bileşimlerdeki camlarda yapılan ön denemeler, nano-metal taneler içeren renkli cam kaplama tabakasının oluşması için, başlangıç camının (sırın) bileşiminde iyon yer değişimi için sodyum ve potasyumun olması gerektiğini göstermiştir. Tablo 1'de deneylerde kullanılan camın, cam üzerine uygulanan macunun ve pişirim sonrası cam yüzeyinin elementel analizi verilmiştir. Cam kaplama tabakasının yüzeyinden yapılan elementel analiz sonuçları, camın sodyum miktarında iyon yer değiştirme sonrasında azalma olduğunu, renklendirilmiş cam kaplama tabakasında ise iyon yer değiştirmenin sonucu olarak gümüş ve bakırın varlığını göstermektedir. Gümüş ve bakırın bir kısmının camın içerisinde çözündüğü ve yüzey analizi ile belirlenemediği düşünülmektedir. Renklendirilmiş kurşunlu alkali esaslı camlara ait XRD paterni Şekil 2'de verilmiştir. Difraksiyon paterninde metalik gümüş fazı ve camın kendisinden (sırdan) kaynaklanan amorf faz elde edilmiştir. Metalik bakır fazı saptanmamıştır. Bu durum, literatürde verilen; gümüşün, Ag<sup>+7</sup>dan metalik forma indirgenirken, aynı zamanda bakırın metalik forma (Cu<sup>+</sup>) indirgenmesine engel olduğu, bazı durumlarda ise gümüşün indirgenmesinin, bakırın Cu<sup>+2</sup>ya oksitlenmesine neden olabileceği sonucuyla örtüşmektedir [11].

İyon yer değiştirme prosesi sonrasında indirgenen elementlerin değerliklerinin belirlenebilmesi ve cam kaplama tabasında yer alan bakırın tespit edilebilmesi için numunelerin yüzeyleri iyon ışını temizlemesi ile temizlenerek, XPS ile incelenmiştir. 0-1200 eV bağlanma enerjisi aralığındaki geniş spektrumunda kurşun ve silisyuma ait piklerin şiddeti yüksek iken, gümüş ve bakır iyonların piklerinin şiddetleri oldukça düşük olduğu görülmüştür (Şekil 3a). 925-970 eV arasında dar bantta bakır için yapılan analiz sonucu Şekil 3b'de verilmiştir. Farklı literatürlerde Cu



**Tablo 1. Cam, cam kaplama tabakası ve macun karışımına (toz) ait kimyasal kompozisyon**

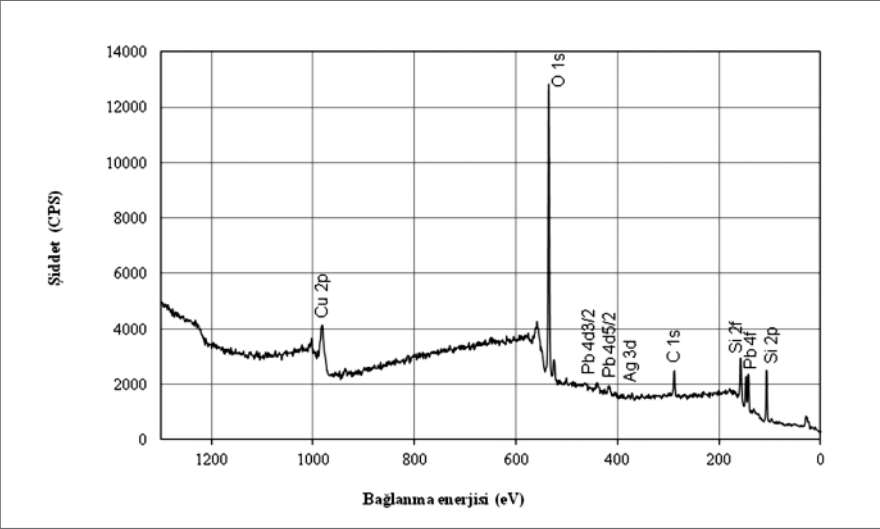
Element	Kimyasal kompozisyon (% ağı.)		
	Cam (Sır)	Macun karışımı	Cam kaplama tabakası
Ag	-	6,274	0,883
Al	0,442	11,786	0,256
Ca	0,955	0,134	1,037
Cu	0,012	11,822	1,357
Fe	0,055	0,515	0,077
K	0,111	0,168	0,144
Mg	0,284	-	0,332
Na	1,735	-	0,504
O	40,020	44,788	38,749
Pb	geri kalan	0,014	geri kalan
S	-	6,739	-
Si	14,671	17,246	18,334
Zr	0,087	0,009	0,094
Ba	-	0,008	-
Cr	-	0,032	-
Mn	-	0,006	-
P	-	0,098	-
Sr	-	0,075	-
Ti	-	0,274	-
Zn	-	0,012	-

**Şekil 2. Renklendirilmiş kurşun alkali esaslı cama ait XRD paterni**

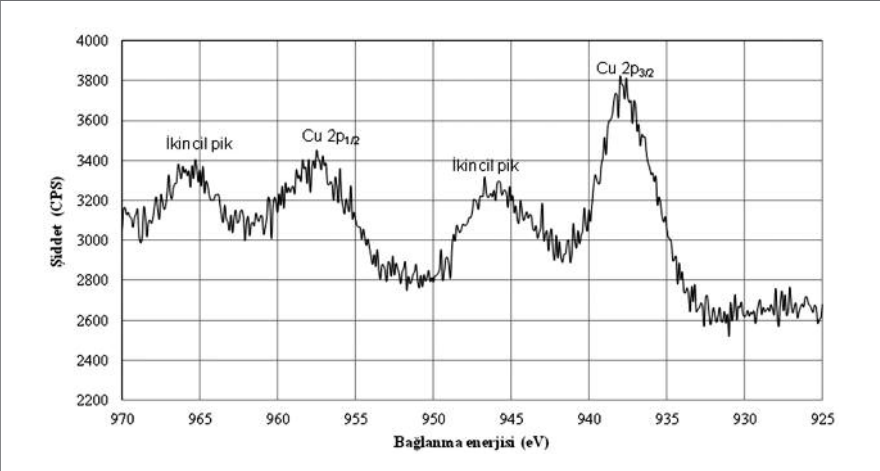
$2p_{1/2}$  ve  $Cu\ 2p_{3/2}$  pik konumları bağlanma enerjileri 19,8-20 eV değeri arasında değişmektedir [12]. Elde edilen spektrum üzerinden yapılan hesaplama sonucunda da bağlanma enerjisi olarak yaklaşık 20 eV değeri elde edilmiştir. Spektrumda ayrıca, ikincil pikler görülmüştür. Bu piklerin varlığı bakırın kısmen indirgenmiş ve oksit yapıda olabileceğini göstermektedir [13]. Gümüş için; 3d

yörüngesinde bulunan elektronların farklı toplam açıl momentum kuantum sayılarındaki  $Ag\ 3d_{5/2}$  ve  $Ag\ 3d_{3/2}$  pik konumları için bağlanma enerjileri, sırasıyla 368.2 eV ve 374.2 eV değerindedir (Şekil 3c). Bu değerler NIST XPS veritabanı ile uyumludur.  $Ag\ 3d$  pikleri arasındaki bağlanma enerjisi farkı 6 eV değerindedir ve bu değer literatürdeki çalışmalar ile uyumludur [12, 14].

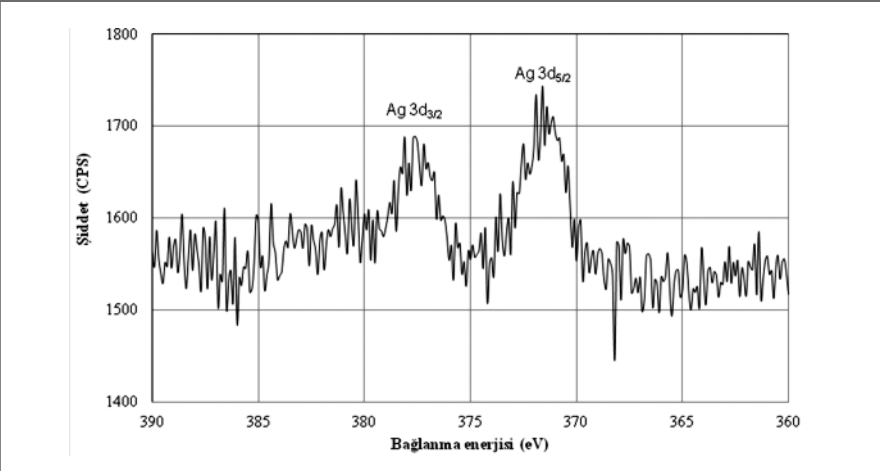
**Şekil 3a. Renklendirilmiş kurşun alkali esaslı cama ait geniş spektrum XPS analizi**



**Şekil 3b. Renklendirilmiş kurşun alkali esaslı camda Cu dar alan spektrumu**



**Şekil 3c. Renklendirilmiş kurşun alkali esaslı camda Ag dar alan spektrumu**



UV-Vis absorpsiyon spektrumlarında, camı matriks içerisindeki metal nanotanelerinden ışığın saçılması ve absorbe edilmesinden kaynaklı olarak tipik yüzey plazmon rezonans (SPR) pikleri ortaya çıktığından, bakır ve gümüş nanokristalleri ayrıca UV-Vis spektrometre ölçümleri ile belirlenebilmektedir. Literatüre göre saf gümüş ve bakır için SPR pikleri sırasıyla  $\approx 400$  ve  $\approx 560$  nm civarındadır [15]. Şekil 4'te 300-800nm dalga boyu aralığında renklendirilmiş kurşunlu cama ait UV-Vis absorpsiyon spektrumu verilmiş olup, spektrumda gümüşe ait karakteristik SPR piki 410nm civarında görülmektedir.

Absorpsiyon piklerinin, maksimum şiddetinin yarısının genişliğinden (FWHM) Denklem 1'de verilen eşitlik kullanılarak, cam içerisindeki nanotanelerin ortalama

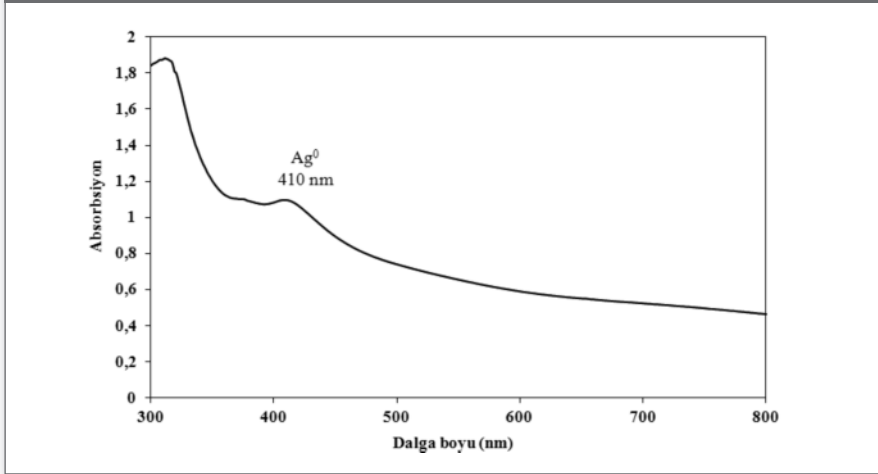
yarıçapı hesaplanabilmektedir [16]:

$$R = \frac{Vf\lambda_p^2}{2\pi C\Delta\lambda} \quad (1)$$

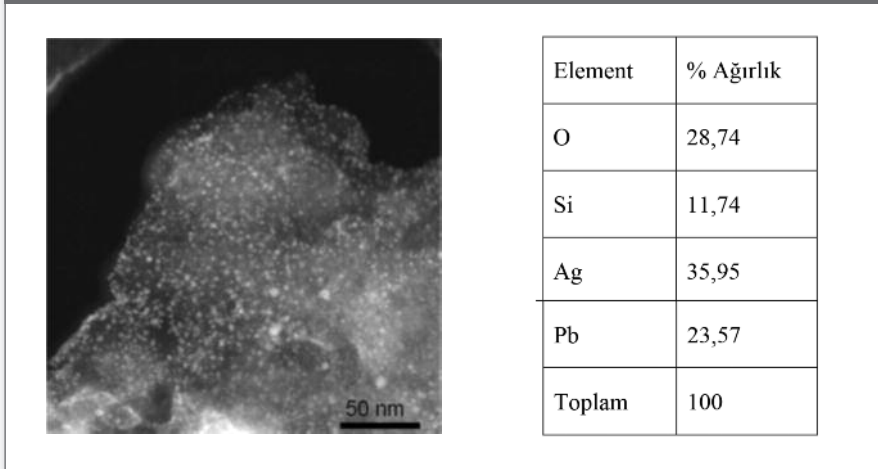
Formülde; R ortalama tane yarıçapını,  $\Delta\lambda$  absorpsiyon pikinin maksimum şiddetinin yarısının genişliğini,  $Vf$  elektronların Fermi hızını (Gümüş= $1,39 \times 10^8$  cm/s),  $\lambda_p$  SPR pikinin karakteristik dalga boyunu ve c ise ışık hızını göstermektedir.  $\lambda_p$  ve  $\Delta\lambda$  değerlerinin her ikisi de camın ve nanokümenin boyutlarına bağlıdır. Formül kullanılarak hesaplanan ortalama küme yarıçapı 4,13nm'dir.

X-ışını faz analiziyle uyumlu olarak cam matriks içerisinde, küresel nano boyutlu gümüş tanelerinin dağılmış halde olduğu Şekil 5'teki TEM görüntüsünde mevcuttur. Gümüş

**Şekil 4. Renklendirilmiş kurşunlu alkali esaslı sıra ait absorpsiyon spektrumu**



**Şekil 5. Nanotane içeren renkli cam kaplama tabakasındaki gümüş nanokümelerinin TEM görüntüsü ve EDS analizi**



tek başına olduğundan, serbest bir bulut şeklinde görüntü sergilemektedir. TEM görüntüsünde ayrıca; nanotane yarıçaplarının, UV-Vis. spektrometreden elde edilen absorpsiyon grafiklerinden hesaplanan değer ile örtüştüğü ve 5-10 nm arasında olduğu belirlenmiştir. Cam içerisindeki nanotanelerin boyutları, indirgen ortamın yanı sıra renklendirici macun ve sır içerisindeki indirgeyici ajanların varlığına da bağlıdır. Macun içerisinde hem gümüş, hem de bakır bulunması durumunda, bakır, gümüş için indirgeyici ajan olarak etki eder ve daha büyük gümüş nanotanelerinin oluşmasına neden olur. Bu durum aynı zamanda UV-Vis. spektrumunda gümüş SPR pikinin kırmızıya kaymasını da açıklamaktadır.

Çalışmanın sonunda elde edilen nanotaneli ve amorf yapılı renkli numunelerin, zaman ve sıcaklığa bağlı performansını ölçmek için iklimlendirme testi yapılmıştır. Numuneler; 1 yıllık süreye denk gelecek şekilde yapılan program çerçevesinde solar klimatik test kabini içinde kış için 10°C’ta, yaz için ortalama 40°C’de 37 çevrim süresince bekletilmiştir. İklimlendirme testi öncesinde ve sonrasında UV-Vis-NIR spektrometre cihazı ile yapılan ölçümlerde; absorpsiyon spektrumundaki karakteristik gümüş pikinin, 410 nm’de olduğu ve değişmediği belirlenmiştir. İklimlendirme testi sonrasında ayrıca numunelerin renklerinde de bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, kurşun alkali esaslı camlar, Ag ve Cu tuzlarından oluşan macunun cam yüzeyine uygulanması takiben 550°C’ye kadar oksitleyici atmosferde, 550°C’de 5 dakika süresince indirgen atmosferde yapılan ısıl işlem esnasında meydana gelen iyon yer değiştirme prosesi ile renklendirilmiştir. Uygulanan macun hem Ag, hem de Cu içeriyor olmasına rağmen, XRD analizi sonucunda sadece metalik Ag fazı ve camdan kaynaklanan amorf faz elde edilmiştir. TEM görüntülerine göre boyutları 5-10 nm arasında olan nanotaneler, UV-Visible spektrometresi ölçümü sonucu elde edilen absorpsiyon grafiğinden yapılan nanoküme ortalama yarıçapı hesaplaması ile de örtüşmektedir. Ayrıca, absorpsiyon grafiğinde 410 nm’de gümüşe ait karakteristik SPR pikinde kırmızıya kayma olduğu görülmüştür.

Genel olarak; cam eriyiği içerisine renklendirici pigment katılarak veya renkli pigment içeren boyalarla cam yüzeyi boyanarak, renkli cam elde edilmekte olup, ülkemizde henüz

iyon yer değiştirme yöntemiyle renkli ve nanotaneli cam üretimi yapılmamaktadır. Renklendirici pigmentler el yapımı cam eşya üretiminde, yüzeyden fırça ile uygulanmakta veya düz cam ve diğer sofraya eşyası camlarda üretim bandına yapılan eklemelerle, renkli fritler olarak, eriyik cama eklenmektedir. Bu tekniklerle üretilmiş camlarda; hem üretimde (her renk için ayrı kanal ilavesi), hem üründe (boyanmış cam eşya bulaşık makinasında yıkanamamakta, kimyasal dayanım göstermemekte veya çizilmeye karşı dayanıksız olabilmekte) ve hem de ürün çeşidinde (pigmentlerle sarı ve kırmızı tonlarında sorun yaşanabilmekte) dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında uygulanan macun tekniği ve cam yüzey arasında gerçekleştirilen iyon yer değiştirme prosesi ile nanotaneler içeren renkli cam eldesinin mümkün olduğu görülmüştür. Macun tekniği ve iyon yer değiştirme prosesi kullanılarak, camın kendi bünyesi tamamen macundan renklendirildiğinden, elde edilen nihai ürünlerin aşınma ve yıkamaya karşı daha yüksek dayanım göstereceği öngörülmektedir. Kullanılan cam ve macun bileşimine bağlı olarak; farklı renk tonlarında camların elde edilebileceği bu yöntemin; özellikle kurşun içeren alkali cam kullanıldığında, ışığın gelme yönüne göre renk efektleri/geçişleri oluşturduğundan dolayı, dekoratif cam üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 (ARDEB) projesi olan “Nanobilim ve İleri Nano-Yapılı Malzeme Sistemleriyle İznik Çinileri Kültür Mirasımızın 21. Yüzyıla Taşınması” kapsamında gerçekleştirilmiştir. Finansal destek için TÜBİTAK’a ve değerleri fikirleri, önerileri, paylaşımları için Dokuz Eylül Üniversitesi’nden Prof. Sevim Çizer’e teşekkür ederiz. TEM incelemeleri için Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi’nden Prof. Dr. Mehmet Ali Gülgün’e ve Dr. Meltem Sezen’e, XPS analizleri için Gebze Yüksek Teknoloji Nanoteknoloji Araştırma Merkezi’nden Dr. Melek Türksöy’a, XRD ve WDXRF analizleri için TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü’nden Emre Karabeyoğlu’na XRD analizleri için teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

1. Colomban, P. 2009. The use of metal nanoparticles to produce yellow, red and iridescent colour, from Bronze age to present times in lustre pottery and glass. *Solid*

- State Chemistry, Spectroscopy and Nanostructure, J. Nano Research*, 8, 109-132.
2. Gonella, F. and Mazzoldi, P. 2000. *Handbook of nanostructured materials and nanotechnology*. Academic.
  3. Norris, E. 1980. *Making stained glass*, *Glass*, 57(219).
  4. Vogel, W. 1994. *Glass Chemistry*, Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co.
  5. Povey, W. R. 1980. *Vitreous enamelling on glass*, *Glass*, 57, 204-207.
  6. Deeg, E. W. 1977. Ion exchange strengthened silicate glass filter for ultraviolet light, U. S. Patent, 4, 022, 628.
  7. Takeda, S, Yamamoto, K. and Matsumoto, K. 2000. Coloration due to colloidal Ag particles formed in float glass, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 265, 133-142.
  8. Puche-Roig, A., Primo Martin, V.P., Murcia-Mascaros, S. and Puchades, R.I. 2008. Float glass colouring by ion exchange, *Journal of Cultural Heritage*, 9, 129-133.
  8. Freestone, I., Meeks, N., Sax, M. and Higgitt, C. 2007. The Lycurgus Cup – A Roman Nanotechnology, *Gold Bulletin*, 40(4): 270-277.
  10. Çizer, S. 1995. *Lüster Tarihi, Tekniği, Sanatı*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
  11. Pradell, T., Molera, J., Smith, A.D., Font, A.C. and Tite, M.S. 2008. Technology of Islamic lustre, *Journal of Cultural Heritage*, 9, 123-128.
  12. Malins, J.P. and Tonge, K.H. 1999. Reduction processes in the formation of lustre glazed ceramics, *Thermochimica Acta*, 340-341, 395-405.
  13. Wagner, C.D., Naumkin, A.V., Kraut-Vass, A., Allison, J.W., Powell, C.J. and Rumble, J.R., 2003. NIST Standard Reference Database 20.
  14. Crist, B.V. 1999. *Handbook of Monochromatic XPS Spectra*, California: 1st edn. XPS International.
  15. Borgia, I., Brunetti, B. Sgamellotti, A., Cariati, F., Fermo, P., Mellini, M., Viti, C. And Padeletti, G. 2002. Nanoparticles in lustre reconstructions, *Applied Surface Science*, 185, 206-216.
  16. Manikandan, D., Mohan, S., Magudapathy and Noir, K.G.M. 2003. Blue shift plasmon resonance in cu and ag ion-exchanged and annealed soda-lime glass: an optical absorption study, *Physica B*, 325, 86-91.

# KURŞUN ALKALİ CAMLARDA İYON YER DEĞİŞİM MEKANİZMASI İLE GÜMÜŞ NANO TANELERİNİN OLUŞUMUNUN VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



**Ceren İmer<sup>1</sup>, Dr. Esin Günay<sup>2</sup>, Prof. Dr. Lütfü Öveçoğlu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü /İstanbul Teknik Üniversitesi  
<sup>2</sup> TÜBİTAK-MAM, Malzeme Enstitüsü  
dutdibi@itu.edu.tr  
esin.gunay@tubitak.gov.tr  
ovecoglu@gmail.com

1987 Eskişehir doğumlu Yük. Müh. Ceren İmer 2009 yılında Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Toz metalurjisi konusunda gerçekleştirdiği “Mekanik Alaşım ve Sinterleme Süreçleriyle  $Al_2Si-xSiC$  ve  $Al_2Si-xB_4C$  ( $x$ = ağırlıkça %5, %10 ve %15) Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyon Çalışmaları” isimli tezi ile 2011 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2012 yılında başladığı doktora eğitimine İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği programında devam etmektedir. Bilimsel çalışmalarında partikül esaslı malzemelerin üretilmesi ve karakterizasyonu, metal matris kompozit malzemeler, nano tane içeren camlar, iyon yer değişim mekanizmaları bulunmaktadır.

## ÖZET

6.-15. yüzyıllar arasında Avrupa katedralleri camlarının renklendirilmesinde rol oynayan, iyon yer değişimi tekniği ile oluşturulan metal nano tane kümeleri, bu çalışmada yüksek kuvars esaslı bünye üzerine uygulanan kurşun esaslı cam kaplamasının renklendirilmesinde kullanılmıştır. Kurşun alkali esaslı cam kaplamalar üzerinde, metalik yansımalar ve parlaklık gibi eşsiz optik özelliklere sahip, metal-cam nanokompozit kaplama tabakasının oluşumu ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kaolen, okr, bakır sülfat ve gümüş karbonat macun karışımı cam kaplama yüzeyine uygulanmış ardından ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıtma sırasında meydana gelen iyon yer değişimi mekanizması ile metalik gümüş nano kümeleri elde edilmiştir. X-Işını difraksiyonu (XRD) ile amorf yapıdaki metalik gümüş fazı, X-Işını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile elementel kompozisyonun tayini, UV-görünür bölge spektrometre ile yapılan analiz sonucunda yüzey plazmon rezonansı etkisi ile gümüş nano kümeleri ve boyutları belirlenmiştir. Geçirimli elektron mikroskobu-Enerji Dağılımlı Spektrometre (TEM-EDS) ile nano tanelerin ortalama boyutları ve yüzeyden uzaklıkları tayin edilmiştir. Metal-cam nanokompozit kaplama tabakası renginin; uygulanan macun karışımının elementel kompozisyonu, metalik nano küme boyutları, ısıtma koşulları, cam kaplama kompozisyonu gibi pek çok etkene bağlı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Cam Kaplama, İyon Yer Değişimi, Gümüş Nano Kümeleri

## 1. GİRİŞ

Avrupa’da ortaçağdan başlayarak Rönesans dönemine ve günümüze kadar olan zaman diliminde pek çok katedralde bulunan camların renklendirilmesi iyon yer değişim tekniği ile camın yapısına metal tanelerinin gömülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Cam yapısı içerisine metal nano tane içeren ilk cam ürünün 4.yy’da yapılan antik Roma camı Lycurgus Kupası olduğu düşünülmektedir. Yapısında bulunan altın ve gümüş

nano tanelerinin sağladığı eşsiz optik özellikler, bu kupayı günümüzde ilgi çekici kılmaktadır. Renklendirilmiş camların ilk ortaya çıkışından günümüze kadar olan periyottaki örnekler genel olarak bakıldığında renklendirme için gümüş ve bakır kullanımı ile sıkça karşılaşmaktadır. Renklendirilmiş camların yapılarında bulunan metal taneler, boyutları, dağılımları, iyonik durumları ile camların renklendirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu metal nano taneler ışığın kırınımını ve geçirimini etkileyerek kilise ve katedrallerin iç kısımlarına farklı bir aydınlatma sağlamaktadırlar. Tarihin eski dönemlerinden günümüze ulaşan bu eserlerin incelenmesi ile elde edilen bilgiler; özellikle cama mukavemet kazandırmak ve renklendirmek için günümüzde iyon yer değiştirme prosesini nanoteknoloji açısından önemli bir konuma taşımaktadır [1-5].

İyon yer değiştirme prosesi Dünyada alkali-silikat camlar içinde nano taneler oluşturmak ve optik camlar elde etmek için oldukça sık kullanılan bir tekniktir. Bu teknik kullanılarak yapı içerisinde bakır ve/veya gümüş nanotaneleri oluşturulmakta ve metal-cam nanokompozit tabaka elde edilmektedir. Bu metal-cam nanokompozit tabakanın optik özellikleri; gümüş ve bakırın nanotane/nanoküme olma durumları, dağılımları ve boyutları gibi pek çok parametreden etkilenmektedir. Yapıdaki bakır ve gümüş nano taneleri UV-görünür absorpsiyon spektrumunda yüzey plazmon rezonansına (SPR) sebep olmakta ve camın renklenmesini sağlamaktadırlar. SPR pikleri nanotanelerin boyut, şekil ve yapısına göre karakteristik bir absorpsiyona yol açmakta ve bu absorpsiyonlar incelenerek, yapı içerisindeki nano tanelerin özellikleri hakkında bilgi edinmek mümkün olmaktadır [6-10].

Bu çalışmanın amacı; iyon yer değiştirme tekniği kullanılarak kurşun alkali cam kaplama içerisinde gümüş nano tanelerinin oluşum mekanizmasını incelemek, gümüş nano tanelerinin karakterizasyonlarını gerçekleştirerek, cam kaplamaya kazandırdığı özellikleri karakterize etmektir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kurşun alkali camlarda gerçekleştirilecek iyon yer değiştirme mekanizması ile gümüş nano tane oluşumu için yüksek kuvars esaslı seramik bünye, kurşun alkali esaslı cam tabakası ile sırlanmış ve 950°C’de sır pişirimi gerçekleştirilmiştir. Pişirim sonrası yüksek kuvars esaslı seramik bünye üzerinde yaklaşık 350-400 µm kalınlığında cam tabakası (sır) elde edilmiştir. Bu cam tabakasının renklendirilmesi için iki farklı reçeteye su

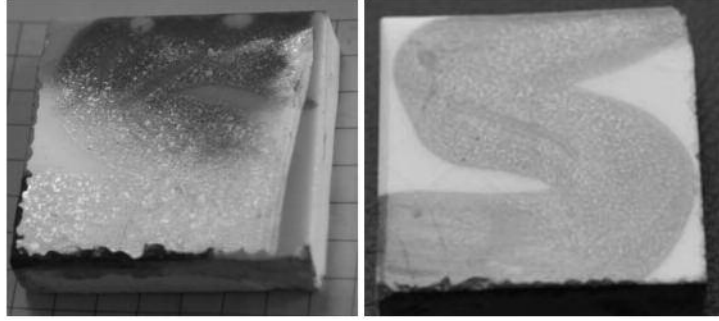
ilavesi ile macun karışımı hazırlanmıştır. 1 numaralı reçete ağ.%7 gümüş klorür, %27 bakır sülfat ve %66 kaolen, ikinci reçete %7 gümüş karbonat, %27 bakır sülfat ve %66 okr içermektedir [11]. Macun karışımına taşıyıcı olarak ilave edilen kaolen bünyesindeki moleküler suyun ve karbonun uzaklaştırılması için 1000°C’de kalsine edilmiş ve öğütülmüştür. Hazırlanan macun karışımı bir fırça yardımı ile kurşun alkali esaslı cam kaplama yüzeyine uygulanmış ve kurutulmuştur. Numuneler öncelikle kurşun alkali esaslı cam kaplamanın kısmen yumuşadığı sıcaklık olan 550°C ye kadar gaz ısıtmalı fırında atmosfer koşullarında ısıtılmıştır. Devamında; iyon yer değiştirme prosesi kurşun alkali esaslı cam kaplamanın kısmen yumuşadığı sıcaklık olan 550°C de, 5 dk süresince fırında indirgen ortam sağlanarak redüklemeye yapılmıştır. Redükleyici olarak gül ağacı çırısı kullanılmıştır. Yapılan işlem metalik tuzların iyonlarına ayrışmasına sebep olarak, cam tabaka içindeki sodyum ile gümüş ve bakır iyonları arasında iyon yer değiştirme prosesinin gerçekleşmesini ve gümüş iyonlarının nanotaneler şeklinde çökmesi sağlanmıştır.

Macun ve sır reçeteleri ile elde edilen numunelerin yüzeyden kimyasal analizleri Panalytical PW2404 model WDXRF Spektrometresiyle belirlenmiştir. İyon yer değiştirme yapılan numunelerde mineralojik analizler; Shimadzu XRD-6000 cihazı ile CuKα (dalga boyu=1.5405Å) tüp kullanılarak, X-Işını difraksiyonu (XRD) analizleri ile gerçekleştirilmiş, yapıdaki gümüş nano tanelerinin metalik ya da oksit formları tespit edilmiştir. Perkin Elmer Lambda750S model UV-Visible-NIR Spektrometre (UV-VIS-NIR) ile karakteristik dalga boyuna dayanarak, gümüş nano tanelerinin görünür bölgede (800-300 nm dalga boyunda) absorpsiyon spektrumları elde edilmiş ve tane boyutları hesaplanmıştır. PHOIBOS HSA3500, SPECS model X-Işını fotoelektron spektrometresi (XPS) ile AlKα radyasyonunda (1486,6 eV) ve bağlanma enerjileri karbon 1s sinyalleri referans alınarak var olan gümüş nano tanelerinin iyonik durumları incelenmiştir. JEOL JEM-ARM200CFEG UHR model geçirimli electron mikroskobu TEM ile 200 kV koşulunda nano tane kümelerinin yapıları, dağılımları ve ortalama boyutları belirlenmiştir.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kurşun alkali cam kaplama yüzeyinde iki farklı reçete kullanılarak iyon yer değiştirme prosesi uygulanmış ve gümüş nano taneleri içeren ve gelen ışığın açısına göre renk geçişleri olan metalik parlaklığa sahip nihai ürünler elde edilmiştir (Şekil 1).

**Şekil 1. İyon yer değişim prosesi sonrası metalik parlaklığa sahip nihai ürünler**



**Tablo 1. Cam, pişirim sonrası cam kaplama tabakası ve macun karışımlarının kimyasal bileşimleri**

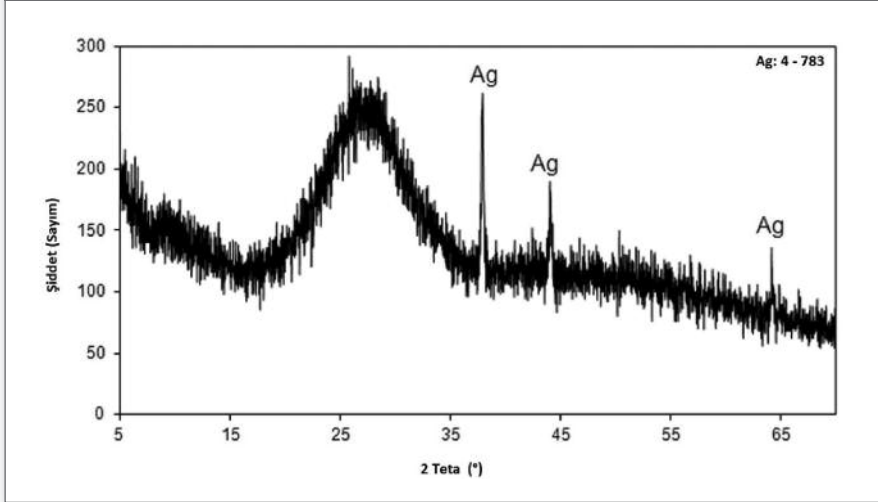
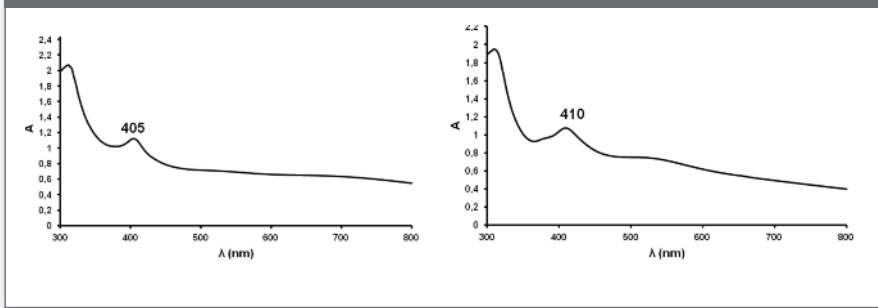
Element	Kimyasal kompozisyon (% Ağırlık)				
	Cam	1.Reçete Macun Karışımı	1.Reçete ile cam kaplama tabakası	2.Reçete macun Karışımı	2.Reçete ile cam kaplama tabakası
Ag	----	5.537	1.523	7.980	1.160
Al	0.442	11.601	0.208	5.728	0.237
Ca	0.955	0.125	1.118	1.182	1.097
Cu	0.012	11.602	1.679	14.620	1.162
Fe	0.055	0.495	0.074	3.293	0.073
K	0.111	0.227	0.169	1.163	0.213
Mg	0.284	0.042	0.310	0.951	0.325
Na	1.735	----	0.447	0.130	0.817
Ni	0.008	----	----	----	----
O	40.020	44.766	30.870	41.914	30.014
Pb	geri kalan	geri kalan	geri kalan	geri kalan	geri kalan
S	----	6.548	----	8.921	0.139
Si	14.671	17.696	18.378	13.587	19.281
Zr	0.123	0.008	0.105	0.013	0.112

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda; iyon yer değişim prosesi ve son ürün özelliklerini, sıcaklık, redükleme zamanı, redükleyici miktarı, kullanılan reçetelerin bileşimi gibi pek çok faktörün etkilediği görülmüştür. İyon yer değişim prosesinin gerçekleşmesi ve metal nano tane içeren cam kaplamanın oluşması için; cam bileşiminde, sodyum ve potasyum iyonlarının bulunması gerekmektedir. Tablo 1’de başlangıç cam tabakasının yüzeyinden (sır), iki farklı macun karışımından ve işlem sonrası metal iyonları içeren cam kaplama tabakasının yüzeyinden WDXRF Spektrometre ile gerçekleştirilen elementel analiz sonuçları görülmektedir. Analizlerde; camın bileşimindeki sodyum miktarında iyon yer değiştirme sonrasında azalma olduğu ve cam kaplama

tabakasının yüzeyinde de iyon yer değiştirmenin sonucu olarak gümüş ve bakırın varlığı belirlenmiştir.

İyon yer değişim prosesi sonrasında elde edilen X-ışını kırılım paterni Şekil 2’de görülmektedir. Analiz sonucu incelendiğinde cam kaplamanın amorf yapısının yanı sıra kaplama içerisine gömülen gümüş tanelerinden difraksiyon alınmış ve bunun metalik gümüş nano kümelerine ait olduğu saptanmıştır. Reçetelerde bulunmasına rağmen, analiz sonuçlarında görülmeyen bakırın camsı faz içinde çözülmüş olabileceği düşünülmektedir. Bu düşünce; literatürde verilen, gümüşün,  $Ag^{+}$  dan metalik forma indirgenirken, aynı zamanda bakırın metalik forma ( $Cu^{+}$ ) indirgenmesine engel



**Şekil 2. İyon yer değişimi sonrası cam kaplamanın X-ışını difraksiyon paterni****Şekil 3. Kurşun alkali cam kaplama üzerine uygulanmış a) 1 numaralı b) 2 numaralı reçetelerin iyon yer değişimi sonrası UV-görünür bölge absorpsiyon spektrumları**

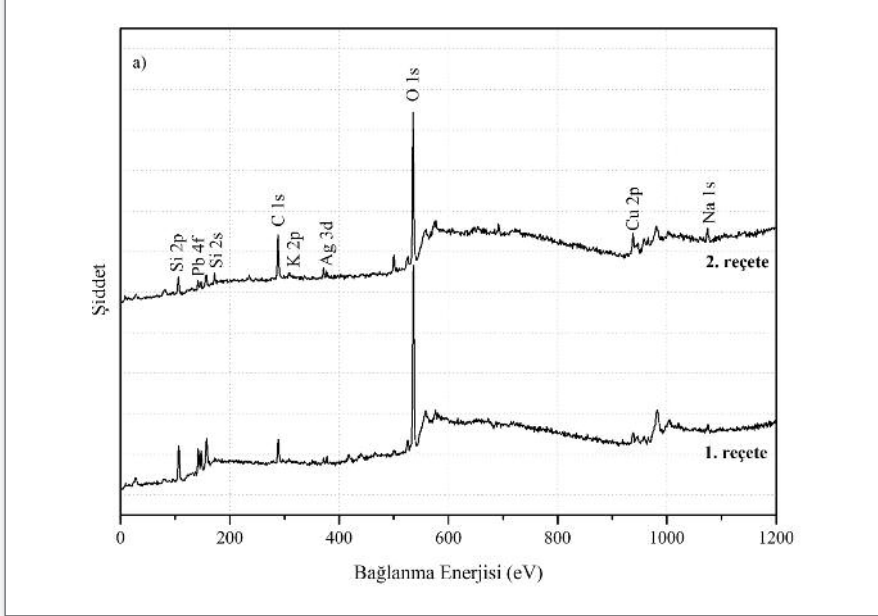
olduğu, bazı durumlarda ise gümüşün indirgenmesinin, bakırın  $\text{Cu}^{2+}$ ya oksitlenmesine neden olabileceği sonucuyla örtüşmektedir [12].

Kurşun alkali esaslı numunelerde nano gümüş ve bakır tanelerinin bulunmasından dolayı UV-görünür bölge absorpsiyon spektrumlarında yüzey plazmon rezonans (SPR) piklerinin görülmesi beklenmektedir. Bundan yola çıkılarak iyon yer değişimi yapılmış numunelerin UV-görünür bölge absorpsiyon spektrumları incelenmiştir. Kurşun alkali cam kaplama üzerine uygulanan 1 ve 2 numaralı reçetelere ait UV-görünür bölge absorpsiyon grafikleri Şekil 3a ve Şekil 3b'de görülmektedir. 1 numaralı reçetede görülen yaklaşık 405 nm değeri 2 numaralı reçeteye bakıldığında yaklaşık 410 nm değerinde ölçülmüş ve literatür ile uygunluk göstermiştir [13,14]. Kurşun alkali sır üzerine uygulanan 1 ve 2 numaralı reçetelerde bakır ve gümüş tuzlarının aynı anda bulunması bakırın gümüş için indirgeyici olarak görev almasına sebep

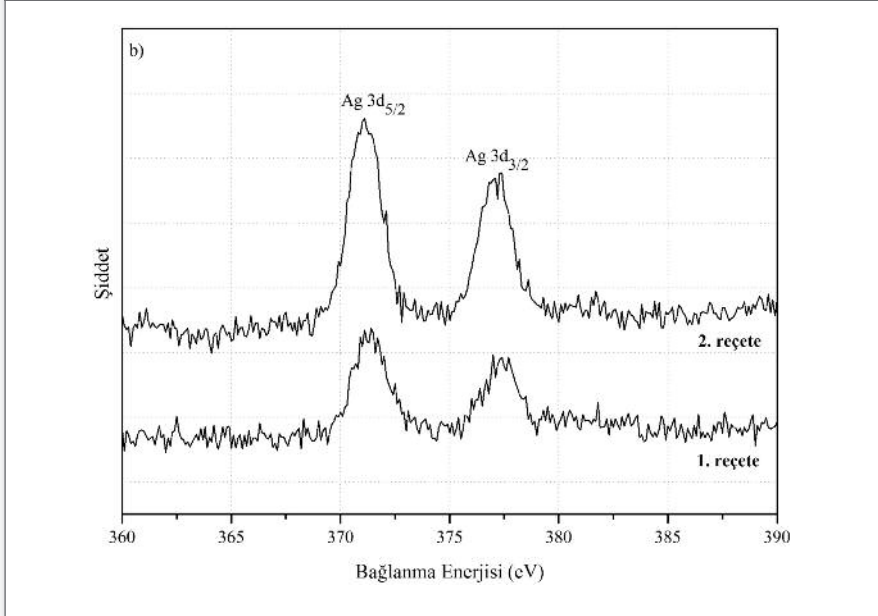
olabilmektedir. Bu da daha büyük gümüş nanotanelerinin oluşmasına sebep olmakta ve UV-görünür bölge spektrumunda gümüşün absorpsiyon pikinin kızıla kaymasına yol açmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda spektrumda gözlemlenen kızıla kaymanın kurşun alkali esaslı camı tabakanın dielektrik değerinin artmasıyla da gerçekleşebileceği belirtilmektedir [15]. Küçük metal kümeler için iletkenlik elektronlarının saçılması ve elektron yoğunluğunun düşmesi SPR pik pozisyonunun değişimine sebep olmaktadır. SPR pik konumlarında gümüş kümelerinin boyutlarının küçülmesi ile daha büyük dalga boyuna kayma (kızıla kayma) gözlenmektedir [16].

UV-görünür bölge spektrumlarındaki karakteristik dalga boylarından yola çıkarak ve 1 numaralı denklem kullanılarak cam kaplama içine gömülen nano tanelerin ortalama yarıçapları hesaplanmıştır. Bu denklem ile nano boyutlu malzemelerin ortalama yarıçapı bulunurken, her element için özel olarak tanımlanmış bir Fermi hızı (gümüş için,

Şekil 4a. Kurşun alkali esaslı cam kaplama üzerine uygulanan 1 ve 2 numaralı reçetelerin iyon yer değişimi sonrası XPS spektrumu



Şekil 4b. Kurşun alkali esaslı cam kaplama üzerine uygulanan 1 ve 2 numaralı reçetelerin iyon yer değişimi sonrası XPS spektrumu



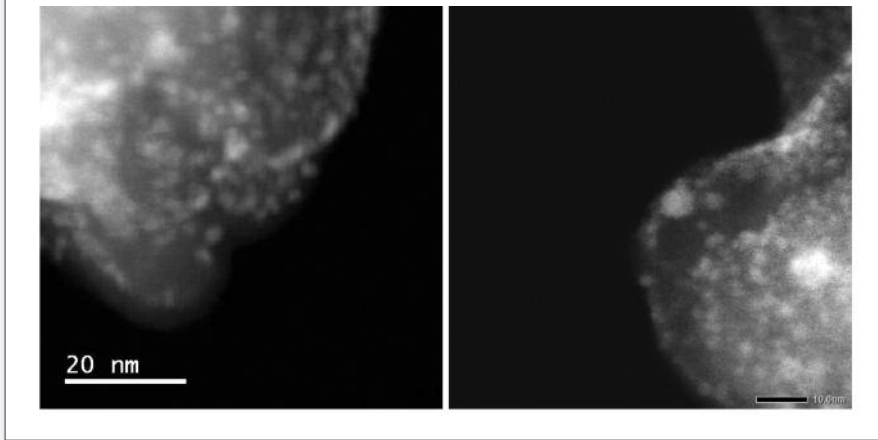
$V_f=1,39 \times 10^8$  cm/s) ile bu malzemenin deneysel olarak ölçülen yüzey plazmon titreşim değerinin karesi ( $\lambda_p^2$ ) çarpılır. Bu değerler ışık hızı (C), deneysel olarak ölçülen optik absorpsiyon pikinin maksimum şiddetinin yarısının genişliği ( $\Delta\lambda$ ) gibi denklemde bulunan değişkenlerin çarpımına bölünerek ortalama bir yarıçap elde edilir [10,16]. Denkleme göre yapılan hesaplamada; deneysel olarak belirlenen SPR pikleri, tane boyutunun belirlenmesinde en önemli

parametredir. Absorpsiyon piklerinden yola çıkılarak yapılan hesaplamalarda 1 numaralı reçeteyle oluşturulan gümüş nano tanelerinin ortalama yarıçapı 4.65 nm iken; 2. Reçeteyle oluşturulanların ortalama tane yarıçapları 3.26 nm' dir.

$$R = \frac{V_f \lambda_p^2}{2\pi C \Delta\lambda} \quad (1)$$

X-Ray fotoelektron spektrometresiyle yapılan deneylerin

**Şekil 5. İyon yer değişimi sonrası kurşun alkali cam kaplama içine gömülen gümüş nano kümelerinin TEM görüntüsü**



sonuçları Şekil 4a ve Şekil 4b’de görülmektedir. Şekil 4a’da görülen geniş alan spektrumunda (0-1200 eV) kurşun alkali cam kaplama tabakası içerisinde bulunan Si, Pb, Na, K elementleri ve Ag ve Cu elementleri belirlenmiştir. Elde edilen gümüş piklerinin dar aralıktaki analiz sonuçları Şekil 4b’de bağlanma enerjilerine bağlı olarak gösterilmiştir. Bağlanma enerji değerleri elementler için karakteristik değerlere sahiptir. Yapılan analiz sonucunda bağlanma enerji farkı gümüş için 3d yörüngesinde bulunan elektronların farklı toplam açısal momentum kuantum sayılarındaki Ag 3d<sub>5/2</sub> ve Ag 3d<sub>3/2</sub> pik konumları için bağlanma enerjileri sırasıyla 371 ve 377 eV olup bağlanma enerjisi farkları yaklaşık olarak 6 eV olarak bulunmuştur. Bu sonuç, literatürdeki metalik gümüşün karakteristik özelliği olduğundan, piklerin metalik gümüşe ait olduğu doğrulanmıştır [17,18].

Şekil 5’te yüksek kuvars esaslı bünye üzerine uygulanan kurşun alkali cam tabaka üzerinde 1 numaralı reçete kullanılarak iyon yer değişim prosesi ile oluşturulan nano tanelerin TEM görüntüsü verilmiştir. X-ışını faz analizleriyle uyumlu olarak gümüş varlığı ve gümüşün serbest bir bulut şeklinde görüntü verdiği görülmüştür. Nano tane yarıçaplarının ise UV-Vis. spektrometreden elde edilen absorpsiyon grafiklerinden hesaplanan ortalama değerler ile örtüştüğü ve 3-10 nm arasında olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇ

Yapılan çalışmada; kurşun alkali esaslı cam tabakalar, gümüş ve bakır tuzlarından oluşan iki farklı macun karışımının yüzeye fırça ile uygulanmasının ardından 550°C’ye kadar atmosferik koşullarda ısıtılma sonrası, soğuma sırasında firm

içerisinde oluşturulan indirgen ortamda iyon yer değişim prosesinin gerçekleştirilmesi ile renklendirilmiştir. Uygulanan macun karışımının içerisinde metalik gümüş fazı ve cam kaplamadan kaynaklanan amorf faz XRD analizi ile tespit edilmiştir. UV-görünür bölge spektrometresi ölçümleri ile gümüşe ait karakteristik dalgaboyunda absorpsiyon elde edilmiş, bu absorpsiyon pikinin maksimum şiddetinin yansının genişliğinden yola çıkılarak ortalama tane yarıçapları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerleri TEM görüntüleri ile uyumluluk göstermektedir. XPS analiz sonuçları cam kaplama içine gömülen nano tanelerin, metalik gümüşe ait olduğunu göstermiş ve bu sonuçlar XRD analizleri ile desteklenmiştir. Macun başlangıç reçetelerinde gümüşün klorür veya karbonat şeklinde kullanımı, nihai üründe farklı renk tonlarının elde edilmesini sağlamıştır. Seramik bünye üzerindeki cam tabakasının renklendirilmesinde kullanılan bu yöntemin, tarihte olduğu gibi bugün de dekoratif camların renklendirilmesinde kullanılabileceği, cam bileşimine ve uygulanan reçeteye bağlı olarak metalik parlaklığa ve gelen ışığa göre renk geçişlerine sahip cam ürünler elde edilebileceği öngörülmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma; TÜBİTAK 1001 (ARDEB) projesi olan “Nanobilim ve İleri Nano-Yapılı Malzeme Sistemleriyle İznik Çinileri Kültür Mirasımızın 21. Yüzyıla Taşınması”nın bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Finansal destek için TÜBİTAK’a ve değerleri fikirleri, önerileri, paylaşımları için Dokuz Eylül Üniversitesi’nden Prof. Sevim Çizer’e teşekkür ederiz. TEM incelemeleri için Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi’nden Prof.

Dr. Mehmet Ali Gülgün'e ve Dr. Meltem Sezen'e teşekkür ederiz. Gebze Yüksek Teknoloji Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nden Dr. Melek Türksoy'a XPS analizleri için, TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'nden Emre Karabeyoğlu'na XRD analizleri için teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

1. Brill, R.H. 1970. *Chemical studies of Islamic luster glass. Scientific methods in medieval archaeology*, chapter XVI. Berkeley, CA: University of California Press.
2. Simmons, C.T., Mysak, L.A. 2010. Transmissive properties of Medieval and Renaissance stained glass in European churches. *Architectural Science Review* 53(2): 251-274.
3. Blee, A., Matison, J.G. 2008. Nanoparticles and the conservation of cultural heritage. *Materials Forum* 32: 121-128.
4. Arletti, T., Dalconi, M.C., Quartieri, S., Triscari, M., Vezzalini, G. 2006. Roman coloured and opaque glass: a chemical and spectroscopic study. *Applied Physics A* 83: 293-245.
5. Freestone, I., Meeks, N., Sax, M., Higgitt, C. 2007. The Lycurgus Cup - A Roman nanotechnology. *Gold Bulletin* 40(4): 270-277.
6. Molera, J., Mesquida, M., Perez-Arantegui, J., Pradell, T., Vendrell, M. 2001. Lustre receipts from a medieval workshop of Paterna. *Archeometry* 43 (4): 455-460.
7. Kingery W.D., Vandiver, P.B. 1985. *Ceramic Masterpieces, Art Structure and Technology. An Islamic Lusterware from Kashan*. New York: The Free Press.
8. De, G., Tapfer, L., Catalano, M., Battaglin, G., Caccavale, F., Gonella, F., Mazzoldi P., Haglund, R.F. 1996. Formation of copper and silver nanometer dimension clusters in silica by the sol-gel process. *Applied Physics Letters* 68(26): 3820-3822.
9. Bamford, C.R. 1977. *Colour Generation and Control in Glass*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Co.
10. Kreibig U., Vollmer, M. 1995. *Optical Properties of Metal Clusters*. Springer 25, Springer Verlag.
11. Çizer, S. 1995. *Lüster Tarihi, Tekniği, Sanatı*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
12. Pradell, T., Molera, J., Smith, A.D., Font, A.C. and Tite, M.S. 2008. Technology of Islamic lustre, *Journal of Cultural Heritage*, 9, 123-128
13. Creighton, J.A., Eadon, D.G. 1991. Ultraviolet-Visible Absorption Spectra of the Colloidal Metallic Elements, *J. Chem Soc. Faraday Trans.* 87(24): 3881-3891.
14. Borgia, I., Brunetti, B. Sgamellotti, A., Cariati, F., Fermo, P., Mellini, M., Viti, C. And Padeletti, G. 2002. Nanoparticles in lustre reconstructions, *Applied Surface Science*, 185, 206-216.
15. Molera, J., Baye'S, C., Roura, P., Crespo, D., Pradell, T. 2007. "Key Parameters in the Production of Medieval Luster Colors and Shines", *J. Am. Ceram. Soc.* 90(7): 2245-2254.
16. Manikandan, D., Mohan, S., Magudapathy, P., Nair, K.G.M. 2003. "Blue Shift Plasmon Resonance In Cu And Ag Ion-Exchanged And Annealed Soda-Lime Glass: An Optical Absorption Study", *Physica B.* 325: 86-91.
17. Wagner, C.D., Naumkin, A.V., Kraut-Vass, A., Allison, J.W., Powell, C.J., Rumble, J.R.Jr. 2003. Nist Standard Reference Database 20.
18. Crist, B.V. 2000. *Handbook Of Monochromatic XPS Spectra, Vol.1: The Elements And Native Oxides*. California: XPS International, LLC.

# BOĞAZIÇI'NİN “BATMIŞ” CAMLARI: İSTANBUL BOĞAZI'NDA ŞİŞE DALIŞI VE GÜN IŞIĞINA ÇIKARILAN MARKALAR



**Hakan Kabasakal**  
Bottles of Bosphorus  
kabasakal.hakan@gmail.com

**Yrd.Doç.Dr. Ahmet Teoman Naskali**  
Galatasaray Üniversitesi,  
Bilgisayar Mühendisliği  
tnaskali@gsu.edu.tr

*Hakan Kabasakal 1970 yılında Ceyhan'da (Adana) doğdu. Beş yaşındayken ebeveynleri tarafından hediye edilen dalgıç maskesi, sessiz dünya ile tanışmasını sağladı. İlk dalış eğitimini, İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'nde 1. sınıf öğrencisiyken, Rumeli Feneri'nde Kenan Şeker dalgıç teknesinde nargilecilerden aldı. Bir süre onlarla sahyangoz topladı, ama daha da önemlisi, deniz insanlarının kendine has kültürünü, bu yaşamın gözüpek insanlarından tanıma fırsatı buldu. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde hazırladığı “İSTANBUL BOĞAZI VE BATI KARADENİZ'DE YAŞAYAN RAJIDAE FAMILİYASI'NIN (VATOZ BALIKLARI) TÜRLERİNİN SAPTANMASI VE DAĞILIMLARI” başlıklı yüksek lisans teziyle, Deniz Biyolojisi dalında uzman Su Ürünleri Yüksek Mühendisi ünvanını aldı. Japonya Uluslararası İşbirliği Kurumu'nu tarafından verilen JICA bursu ile, Japonya'da Kouchi Üniversitesi'nde Balıkçılık Hedefli Stok Yönetimi kursuna katıldı ve balık ekolojisi konusunda araştırma yaptı. 2000 yılında İhtiyoloji (Balıkbilimi) Araştırmaları Topluluğu'nu kurarak köpekbalığı konusundaki çalışmalarına bağımsız araştırmacı olarak devam etti. Hakan Kabasakal'ın yayın listesine [www.derintakip.blogspot.com](http://www.derintakip.blogspot.com) adresinden erişilebilir.*

## ÖZET

Kadim çağlardan bu yana gerek önemli bir deniz ticaret yolu olması gerekse Asya ve Avrupa yakalarında kurulmuş ve yoğunluğu zamanla artmış yerleşim alanları nedeniyle İstanbul Boğazı, insan kaynaklı atıkların değişmeyen boşaltım alanı olmuştur. Söz konusu atıklar yani insan çöpleri içinde önemli bir yer oluşturan cam şişeler, geçmişte kent yaşayanlarının tüketim alışkanlıklarını, kentte ticareti yapılan ürünleri ve markaları, en nihayetinde bir ambalaj malzemesi olarak cam şişenin üretim teknolojisinde asırlar içinde yaşanan değişimlerin / gelişmelerin izlenmesine olanak veren değerli birer ipucu niteliğindedirler. Dünya genelinde dalgıçlar arasında yaygın bir faaliyet olan “şişe dalgıçlığı” eski şişelerin deniz dibinden çıkarılması uğraşı olarak özetlenebilir. Türkiye’de dalgıçlar arasında bugüne kadar çok fazla ilgilenilmemiş olan şişe dalışı, 2008 yılından bu yana bir avuç İstanbullu dalgıç tarafından boğazın akıntılı, derin ve karanlık sularında keyifle sürdürülmektedir. Son 6 yıldır 200’de fazla dalışın ve dipte geçen uzun saatlerin karşılığı olarak yüzlerce şişe ve düzinelerce marka gün ışığına çıkarılmıştır. Dünün cam şişe üretim teknolojisine ilişkin ilginç fikirler veren Boğaziçi'nin “batmış” camları, özellikle 20. yüzyılın ilk yarısında hem Türkiye'nin cam şişe ihtiyacının karşılanmasına soluguyla destek vermiş hem de cam endüstrimizin çekirdeği olan Şişe Cam'ın üretimine “fasoncu imalathaneler” olarak katkı yapmış üreticilerin yeniden hatırlanmalarını da sağlamışlardır. Boğazın batmış camlarının peşinde yıllardır sürdürülen arayış, boğazın kıyısında üretilmiş ya da denizasırlı ülkelerden İstanbul'a gönderilmiş şişelerin yeniden hatırlanmalarını sağlamış olan uzun soluklu bir

çabadır. Bu sunumda, 1800 yılından günümüze kadar boğazın sularında bulunan cam şişeler, üretim teknikleri ve tarihçeleri ile sunulacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** *Tarihi Cam Üretim Teknikleri, Şişe Dalışı*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde şişe üretmek için metalden seramiğe, camdan plastiğe kadar genişleyen zengin bir ham madde yelpazesine sahip olsak da, başlangıçta elimizdeki seçenekler sadece cam ve toprakla sınırlıydı. Üstelik kadim ustaların şişe ve benzeri kapları yaparken kullandıkları bu kısıtlı ham maddelerin saflığı, günümüzde kullanılan arıtma teknolojileriyle saflıkta neredeyse mükemmelliğe ulaşan ham maddelerin yanına bile yaklaşamazdı.

Camın ilk kez nerede ve ne zaman üretildiğine dair çeşitli görüşler olmakla birlikte, Mezopotamya sınırları içerisinde kalan Mitanni ya da Hurri bölgelerinde M.Ö. 5000’lerde, fayansları kaplamakta kullanılan sır üretiminin bir yan ürünü olarak cam benzeri ilk maddenin üretildiğine işaret eden arkeolojik bulgular var (Rasmussen, 2012). Mezopotamya’da gün ışığına çıkarılan bulguların yanı sıra, Suriye’de M.Ö. 2500’lere tarihlenen cam nesnelere bulunmuş olması Orta Doğu coğrafyasının cam üretiminin beşiği olduğunu akla getiriyor (Rasmussen, 2012). M.Ö. 1500’lerde kadim Mısır’da cam üretiminin önemli bir zanaat koluna dönüşmüş olmasıysa, camın doğuşunu Orta Doğu’yla özdeşleştiren bir başka kanıt (Rasmussen, 2012).

Camın bulunuşunu açıklamaya ilişkin çeşitli efsaneler ya da söylenceler olmakla birlikte, bunlar arasında en ünlüsü hiç şüphesiz birinci yüzyılın ünlü tarihçisi Yaşlı Plini veya Gaius Plinius Secundus’un (M.S. 23-79) *Naturalis Historia* (Doğa Tarihi) isimli eserinde kaleme aldığı hikâyedir (Rasmussen, 2012):

Plini’nin aktardığı söyleneceye göre Suriye’de Fenike denilen bir bölgede Karmel Dağı’nın eteklerindeki vadiler arasında Cendebia adında bataklıklarla kaplı bir yer vardır. Buradaki vadilerden akan Belus nehrinin taşıdığı alüvyonlar nehrin kıyılarında çok derin birikintiler oluşturmuştur. Günün birinde güherçile yüklü bir Fenike gemisi bu kıyıda sahile yanaşır. Denizciler kıyıda taş bulamadıklarından geminin yükünü oluşturan güherçile topraklarından bir ocak yapar ve kazanlarını bu ocağa yerleştirirler. Derken kocaman bir ateş

yakılır, alevlerin harareti incecik kumu eritir. Ocağın kenarından sızan şeffaf akıntı sertleştiğinde geride tarihin belki de ilk camı kalır.

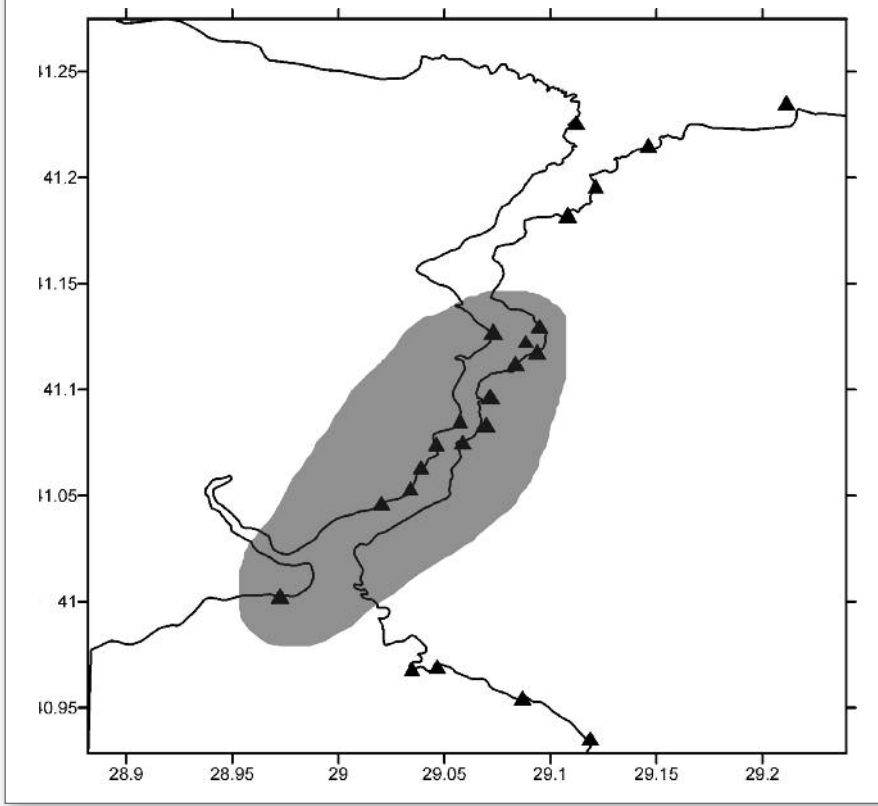
Camın yukarıdaki hikâyede anlatıldığı gibi keşfedilmesinin mümkün olup olmadığını araştıran Amerikalı cam üreticisi William L. Monro 1920’lerde bir dizi deney tasarladı. Bunlardan birinde Monro, eşit miktarda cam kumunu bir zamanlar Fenikeli denizcilerin gemilerinde taşıdıkları güherçile ile karıştırır. 1200 santigrat dereceyi biraz aşan bir sıcaklıkta yatak karışımını ısıttığında bir miktar camlaşma kaydetmiş olsa da, tarihçi Plini’nin bahsettiği erimiş cam akıntısı meydana gelmez (Rasmussen, 2012).

Keşfine ilişkin söylenceleri kaplayan belirsizliklere rağmen cam, günümüzde olduğu gibi geçmişte de çeşitli kapların üretiminde kullanılan önemli bir malzemeydi. Isı yardımıyla akışkanlığını koruduğu sürece cam ustasının maharetine boyun eğen bu itaatkâr malzemeyi üfleterek şişe haline getirmeyi ise, M.S. 50 yılı civarında Romalı ustalar başardı (Cable, 1999). Roma İmparatorluğu sırasında cam üfleme sanatı Avrupa’da giderek yayıldı, ancak 1903 yılında Michael J. Owens tarafından ilk tam otomatik şişe üfleme makinesinin icadına kadar, üretim tekniği açısından neredeyse yok denecek kadar az değişikliğe uğradı.

Her yeni icatla daha da gelişen cam şişe endüstrisinin güncel ürünlerini geçmişin ürünleriyle kıyasladığımızda, şişelerin kusursuzlaştıkça bireysel kimliklerini yitirdiklerini görürüz. Çok değil 100 yıl önce, renk ve biçim olarak birbirinin tıpatıp aynısı kabarcıksız şişeler üretmek belki imkânsız değildi ama çok zordu. Zanaatkârın sabahtan akşama yorgunluğu, ruh hali, çalışma istekliliği ve benzeri faktörler, üflenen cama kabarcık, eğrilik gibi üretim kusurları olarak yansıtılabiliyordu. Sıcak cama kabartma marka basıldıktan sonra şişe ticari bir kimlik de kazanıyor ve ardından yakın veya uzak ülkelere doğru yola çıkıyordu.

İnsanoğlu içini birşeylerle doldurmak için asırlardır şişe yapmakta. Kullanılan malzemenin kalitesi ve uygulanan tekniğin hassasiyeti zamanla çok değişmiş olsa da değişmeyen bir şey var: içi boşalan şişeyi at gitsin, ama nereye olursa. İster doğrudan denize atılmış olsun isterse karada biriktirilen ve sonradan denize dökülen çöplerle dibe batsın işi

Şekil 1. İstanbul kıyıların da şişe dalışı yapılan başlıca bölgeler.



Şekil 2. Şişe dalgıçları Ahırkapı'da bir dalış öncesinde.



bitmiş şişeler denize ulaşmanın yolunu bir şekilde bulurlar. Tabii sabırla ararsanız siz de onları.

Bu yazı, 2008 yılından bu yana bir avuç İstanbullu dalgıcın boğazın akıntılı, derin ve karanlık sularında 200'den fazla dalışın ve dipte geçen uzun saatlerin karşılığı olarak buldukları yüzlerce şişe ve düzinelerce markanın hikâyesidir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Şişe Dalışı Nedir?

Dünyanın farklı yerlerinde dalgıçları cezbeden keyifli bir uğraştır şişe dalışı. İlla ki şurada yapılmalıdır diye bir sınırlaması da yok! Deniz, göl ya da akarsuda, derinde ya da sığda kolaylıkla uygulanabilir. Aslında işin temelinde insanların asırlardır değişmeyen bir alışkanlığı yatıyor:

içindeki bitirdiyse, artık işine yaramıyorsa elindeki şişeyi, kavanozu, vs.'yi at denize gitsin. Deniz yoksa göl de olur dere de. Mutlaka bir gemi enkazına dalınmasına gerek yok; hamallar eskiden de suya bir şeyler düşürürlerdi, vinçlerin halatları eskiden beri kopmakta tıpkı bugün olduğu gibi. Öyle ya da böyle şişeler eskiden beri denizin dibini boyluyorlar. Aradan zaman geçtikçe geçmişin çöprü bugünün kıymetlisi oluveriyor. Bu proje sırasında 07/09/2008 ve 12/10/2014 tarihleri arasında başta Ahırkapı, Ortaköy, Çubuklu ve Beykoz sahilleri olmak üzere, İstanbul Boğazı'nın her iki yakasında 200'ün üzerinde şişe dalışı gerçekleştirildi (Şekil 1&2). Dalış derinliği 5 m'den 60 m'ye kadar değişiyordu. Tüm dalışların toplam dip zamanı yaklaşık 250 saattir. Şişe dalışı yapılan istasyonların boğaz kıyısındaki konumları Şekil 1'deki haritada gösterilmektedir.

## 2.2. Şişelerin Tarihlenmesi

Boğazın "Batmış" Camları projesi kapsamında gün ışığına çıkarılan şişelerin tarihlendirilmelerinde Berg (2011), Steel Newman (1970) ve Şimkütü (2011) yayınlarında geçen tarihlendirme şemalarından faydalanıldı. Söz konusu

şemalarda şişeyi oluşturan bölümlerin varlığı veya yokluğu temelinde ikili karşılaştırma ya da dikotomik çatalanma yöntemi benimsenmiştir. Buna göre, çok farklı şişe tiplerinin ortak bir özelliğinden başlayarak, belirli şişelerde veya şişede bulunan çok nadir bir özelliğe ulaşmaya kadar "xxx özelliği var / yok" gözlemiyle ilerlenerek şişenin yaklaşık tarihine ulaşılabilmektedir. Şişelerin tarihlendirilmelerinde başvuru ve zaman zaman tarihlendirme şemalarına destek olarak kullanılan bir başka kaynak ise dönem reklamlarıdır. Özellikle dış kaynaklı cam şişelerin ve markaların yaklaşık tarihlerinin belirlenmesinde dönem reklamları güvenilir bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Söz konusu reklamlara çoğunlukla Google aramasıyla ulaşılmıştır.

## 3. BULGULAR

İstanbul Boğazı'nın boğaziçi ve boğaz ağzı bölgelerinde yer alan farklı noktalarda gerçekleştirilen dalışlarda 100 kadar marka ve 1000'e yakın muhtelif cam şişe gün ışığına çıkarıldı (Tablo 1; Şekil 3). Söz konusu markaların ve şişelerin bulunduğu yerler ağırlıklı olarak Ahırkapı, Ortaköy, Çubuklu Koyu ve Paşabahçe Koyu'dur.

**Tablo 1. İstanbul Boğazı'ndaki dalışlarda çıkartılmış olan şişelerin üzerindeki markalar, dalış tarihi ve yeri.**

No	MARKA	TARİH	YER	NOTLAR
1	ED PINAUD	05.10.2008	Ahırkapı	19. yüzyıl sonlarından ilaç şişesi
2	LIQUID VENEER	05.10.2008	Ahırkapı	20. yüzyıl başlarından vernik şişesi
3	GALBRUN	16.07.2011	Ahırkapı	20. yüzyıl başlarından ilaç şişesi
4	LYSOFORM		Ahırkapı	
5	NEURINASE	21.03.2010	Ahırkapı	Fransız malı sakinleştirici ilaç, kahverengi şeffaf şişe, 1940'lardan kalma
6	EUGENE DELLA SUDA PHARMACIEN CONSTANTINOPE	05.10.2008	Ahırkapı	19. yüzyıldan kalma ilaç şişesi. Kabartma markada görülen ezane eskiden İstiklal Caddesi 318 numaralı binadaymış
7	L. STEINER	21.03.2010	Ahırkapı	Kahverengi ilaç şişesi
8	CYTOBIASE	19.07.2009	Ahırkapı	Kahverengi, balık yağı şişesi
9	GASTRO-SODINE	12.09.2009	Ahırkapı	Şişenin altında üretici damgası olarak HH 2891 yazıyor
10	COMPRIMES DE VICHY	06.09.2009	Ahırkapı	Şişenin altında üretici damgası olarak VR1 yazıyor
11	CAULK'S IMPROVED PETROID CEMENT	05.07.2009	Ahırkapı	Diş doldurmada kullanılan yapıştırıcı, 1800'lerin sonlarından kalma
12	GELLE FRERES PARIS	08.08.2009	Ahırkapı	Şeffaf parfüm şişesi
13	EXTRAIT MOUCHOIR	08.08.2009	Ahırkapı	Minyatür parfüm şişesi
14	MONPELAS PARIS	12.09.2010	Ahırkapı	Minyatür parfüm şişesi
15	PARFUMERIE EGYPTIA	12.09.2010	Ahırkapı	Minyatür parfüm şişesi
16	CREME SIMON	30.07.2011	Ahırkapı	Opalin beyaz şişe
17	HOUBIGANT PARIS	30.07.2011	Ahırkapı	Opalin beyaz şişe
18	CREME TOKALON	29.05.2010	Ahırkapı	Opalin beyaz şişe
19	MELLIN'S FOOD	05.11.2011	Ahırkapı	Vida kapaklı kavanoz
20	MOUTARDE DIAPHANE LOUIT FRERES & Co	23.08.2009	Ahırkapı	Hardal kavanozu



21	MOUTARDE AMIEUX FRERES	12.09.2010	Ahırkapı	Hardal kavanozu
22	MOUTARDE FRANCAISE TIVOLI	05.11.2011	Ahırkapı	Su camından ince hardal kavanozu
23	MOUTARDE FRANCAISE TIVOLI	05.11.2011	Ahırkapı	Şeffaf camdan tombul hardal kavanozu
24	MOUTARDE SURFINE DELIZIA LE PIREE TSIAKOS & FRERES & CIE	05.07.2009	Ahırkapı	Su camından hardal kavanozu
25	MAGGI	05.11.2011	Ahırkapı	Kahverengi camdan minyatür şişe
26	BRASSERIE BOMONTI CONSTANTINOPLE SOCIETE ANONYME	05.07.2009	Ahırkapı	Seramik şişe tıpası
27	LES ETABLISSEMENTS POULENC FRERES PARIS	05.11.2011	Ahırkapı	Seramik şişe tıpası
28	THE NECTAR BREWERY Co CONSTANTINOPLE	19.05.2011	Ahırkapı	Seramik şişe tıpası
29	BRAUEREI LIESING	13.03.2011	Ahırkapı	Seramik şişe tıpası
30	SALONIQUE BRASSERIES OLYMPOS NIAUSSA	16.08.2009	Ahırkapı	Seramik şişe tıpası
31	N. ANTOINE PARIS	16.08.2009	Ahırkapı	Şeffaf mürekkep şişesi
32	N. ANTOINE PARIS	12.09.2010	Ahırkapı	Kahverengi seramik mürekkep testisi
33	N. ANTOINE PARIS	20.11.2011	Ahırkapı	Gri seramik mürekkep testisi
34	FIELD'S INK & GUM	23.12.2012	Ahırkapı	Yeşil camdan mürekkep şişesi
35	OZİYER	19.05.2011	Ahırkapı	Bardak şeklinde şeffaf camdan hardal şişesi
36	E. MERCK DARMSTADT	05.06.2011	Ahırkapı	Seramik şişe tıpası
37	DENBY BOURNE	23.12.2012	Ahırkapı	Seramik mürekkep testisi
38	J&E ATKINSON LONDON	23.12.2012	Ahırkapı	Şeffaf camdan mürekkep şişesi
39	NECİP BEY	20.04.2013	Beykoz	Şeffaf camdan losyon şişesi
40	VEL-ÇİT	07.08.2013	Beykoz	Alman tipi yağlı saç boyası, yeşil cam şişe
41	AKIF BEY ÇAMAŞIR SUYU	17.03.2013	Beykoz	Kadın bacağı boyunlu, su yeşili cam şişe
42	KIZILAY MADEN SUYU	29.01.2013	Beykoz	Koyu yeşil, kabartma yazılı cam şişe
43	KIZILAY MADEN SUYU	15.08.2013	Beykoz	Koyu kahverengi, kabartma yazılı cam şişe
44	ENBİL	30.03.2013	Beykoz	Koyu kahverengi camdan ilaç şişesi
45	BİRİCİK	19.05.2013 30.06.2013	Beykoz	Koyu kahverengi camdan ilaç şişesi
46	BENEDICTEN	13.04.2013	Beykoz	Koyu yeşil camdan likör şişesi
47	İNHİSARLAR	19.05.2013 02.06.2013 07.08.2013 15.08.2013	Beykoz	Rakı şişesi
48	SEK	17.03.2013	Beykoz	Kabartma yazılı cam süt şişesi
49	YENİ LABORATUVAR	13.04.2013 29.12.2013	Beykoz	Kabartma yazılı cam kavanoz
50	TONOVIT	04.01.2014	Beykoz	Koyu kahverengi şurup şişesi
51	SEVİLEN İSTANBUL	20.01.2013	Kanlıca	Şeffaf camdan reçel kavanozu
52	NEURINASE	13.04.2013	Beykoz	Kabartma yazılı koyu kahverengi ilaç şişesi
53	ÇUBUKLU MEMBA SUYU	24.05.2013 25.01.2014 05.08.2014	Beykoz	Kabartma yazılı su şişesi
54	BOEHRINGER ARSENFERRATOSE	07.08.2013	Beykoz	1880 tarihli koyu kahverengi camdan kabartma yazılı zehir şişesi
55	DE SCHIENS HEMOGLOBINE	02.11.2013 09.11.2013	Beykoz	1910 tarihli koyu kahverengi camdan kabartma yazılı kan şurubu şişesi
56	DR. ROUSSEL HEMOSTYL PARIS	03.06.2014	Beykoz	Kabartma yazılı camdan kan şurubu şişesi
57	GOLDEN İSTANBUL	21.06.2014	Beykoz	Üzerinde üç yapraklı yonca kabartması ve kabartmalı yazı bulunan şeffaf kavanoz
58	BURSA PAZARI ANKARA	21.06.2014	Beykoz	Kabartma yazılı şeffaf camdan kavanoz
59	SCABIN	14.09.2013	Beykoz	Su yeşili camdan bit ilacı şişesi

60	MİTOL BURUN DAMLASI	09.11.2013	Beykoz	Kahverengi camdan kabartmalı ilaç şişesi
61	PURTS CELEBRATED DOUBLE SODA WATER	09.11.2013	Beykoz	Kalın yeşil camdan kabartma yazılı torpil şişe
62	NEOLİKROL	15.12.2013	Beykoz	Yeşil camdan kabartma yazılı ilaç şişesi
63	İKAN	04.01.2014	Beykoz	İçki testisi, 1860'lardan kalma
64	NEO PASSİFLORİNE	11.01.2014	Çubuklu	Kabartma yazılı şeffaf cam ilaç şişesi
65	İLERİ KİMYA SANAYİ A.Ş. PEREJA	14.06.2014	Çubuklu	Dibi kabartma yazılı, gövdesi uzun kabartma çizgili klasik kolonya şişesi
66	FAHRETTİN KERİM RAKISI	10.05.2013 07.08.2013	Beykoz	Üzeri nokta nokta kabartmalı bodur şişe
67	A. MAZON	17.07.2013	Beykoz	Yanları kabartma yazılı su yeşili camdan meyva tuzu şişesi
68	PERRIER	28.07.2013	Beykoz	Dibinde yıldız şeklinde kabartma marka bulunan, koyu yeşil camdan soda şişesi
69	NUJOL	09.07.2013	Beykoz	Şeffaf camdan kabız ilacı şişesi, 1918, İngiliz malı
70	MUHAYYER HASAN ŞEVKİ KOLONYA VE LOSYONLARI	09.07.2013	Beykoz	Şeffaf camdan kabartma yazılı, gövdesi dikdörtgen prizması şeklinde, ince uzun boyunlu şişe
71	ZİYA BOYER ECZANESİ	07.08.2013	Beykoz	Kabartma yazılı şeffaf cam şişe
72	EPHEDRYL BİOFARMA	30.03.2013	Beykoz	Kabartma yazılı şeffaf cam şişe
73	S. FERİT	30.06.2013	Beykoz	Kabartma yazılı şeffaf cam şişe
74	BEBAK	20.08.2013	Beykoz	Dibi kabartma yazılı, gövdesi kabartma çizgili badem yağı şişesi
75	PİPERAZİN ENVER	20.08.2013	Beykoz	Kabartma yazılı şeffaf cam şişe
76	LABORATOIRE A. BAILLY	02.06.2013	Beykoz	Kabartma yazılı yeşil cam şişe
77	ABBOTT	25.05.2014	Beykoz	Dibi kabartma yazılı kahverengi ilaç şişesi
78	CHROMEKTO	25.05.2014	Beykoz	Kabartma yazılı, üzeri nokta kabartmalı minyatür cam şişe
79	BRASSERIE BOMONTI CONSTANTINOPE	31.08.2013	Beykoz	Dört yapraklı yonca kabartmalı ve kabartma yazılı, koyu yeşil cam şişe
80	LİON MELBA	31.08.2013 16.10.2013	Beykoz	Üzeri aslan kabartmalı ve kabartma yazılı şeffaf camdan çikolata kreması kavanozu
81	QUINA LAROCHE	21.09.2013	Beykoz	Kabartma yazılı, kahverengi camdan ilaç şişesi
82	MİKAŞ	17.05.2014	Beykoz	Kabartma yazılı, kahverengi camdan şellak yapıştırıcı şişesi
83	ETABLISSEMENTS CHATELAIN	13.10.2013	Beykoz	Kabartma yazılı, 1920'lerden ya da daha öncesinden ilaç şişesi, Paris menşeli
84	EHTHIELLAY LONDON	29.10.2013	Beykoz	1880'lerden kalma saç beyazlatıcı şişesinin üzerinde kabartma Davut yıldızı ve kabartma yazı var
85	MALT FRANÇAISE DE JARDIN	02.11.2013 30.08.2014 28.09.2014	Beykoz	Koyu yeşil camdan kabartma yazılı malt içeceği şişesi
86	BAYER	02.11.2013	Beykoz	Koyu kahverengi camdan, eğri boyunlu, üzerinde kabartma marka bulunan ilaç şişesi
87	SCHWARZKOPF	29.05.2013	Beykoz	Üzeri kabartma enine çizgili, dibinde kadın başı amblemlili, şeffaf cam şişe
88	HASSAN BEY GAZOZU	01.08.2014	Beykoz	Codd şişesi
89	BÜYÜKDERE NECTAR BREWERY CONSTANTINOPE	01.08.2014	Beykoz	Büyükdere Bira'nın amber rengi kabartma yazılı şişesi
90	SCHADE & BUYSING	13.07.2014	Beykoz	Hollanda malı içki testisi, 1800'lerin sonlarından kalma
91	ROSS BELFAST	05.08.2014	Beykoz	Yuvarlak dipli kabartma yazılı şişe, 1800'lerin sonlarından kalma
92	PHARMACIE BRITANIQUE CONSTANTINOPE EAU DE ZANZIBAR	01.08.2014	Beykoz	Koyu mor ilaç şişesi

92	LABORATOIRES A. BAILLY	26.07.2014	Ahırkapı	Yeşil ilaç şişesi
93	OPODELDOGH	06.07.2014	Beykoz	Kabartma yazılı ilaç şişesi, 19. yüzyıl sonu 20. yüzyıl başları
94	LA REINE REMES BOSSARD LEMAIRE	26.07.2014	Ahırkapı	1885 tarihli seramik krem kabı
95	KEMO	13.07.2014	Beykoz	Kabartma markalı kahverengi kanyak ya da ilaç şişesi
96	HEINRICH MATTONI MINERALWASSER	29.06.2014	Beykoz	Karlsbad menşeli maden suyu testisi, 1830'lardan kalma
97	VAN MEERTEN & ZOONS	29.06.2014	Beykoz	İçki testisi, 1850'lerden kalma
98	VİN KİNYÜM	29.06.2014	Beykoz	Amber rengi kabartma yazılı kuvvet şurubu şişesi, 1930'lardan kalma
99	A. MAZON LABORATUVARI	29.06.2014	Beykoz	Plastik kapağında horoz amblemi bulunan, kabartma yazılı ilaç şişesi, 1950'lerden kalma
100	CREME TOCALONE	29.05.2010	Ahırkapı	Opalin camdan krem şişesi
101	İNİSARLAR KOLONİYASI	02.06.2013	Beykoz	Üzeri kabartma markalı, dikdörtgen prizması şeklinde, kısa boyunlu şişe, 20. yüzyılın ilk yarısı
102	DEMETROKAPOULO KARDEŞLER RAKISI	30.06.2013	Beykoz	Yuvarlak matarayı andıran kısa boyunlu şişe, 19. yüzyılın sonları ya da 20. yüzyılın başı
103	PİPERAZİN ENVER	20.08.2013	Beykoz	Üzeri kabartma markalı, 20. yüzyılın başlarından kalma ilaç şişesi
104	PARKER	14.09.2013	Beykoz	Şişecam yapımı mürrekkep şişesi
105	ELIXIR GREZ PARİS	17.11.2013	Beykoz	Mide ilacı şişesi, 19. yüzyıl sonları
106	İNGİLİZ KANZUK ECZANESİ – PHARMACIE BRITANIQUE	23.11.2013	Beykoz	Levanten Nicola Canzouc tarafından kurulan eczaneye ait kabartma markalı şişe
107	İBRAHİM ETHEM	25.05.2014	Beykoz	Kabartma markalı kahverengi şişe
108	BAYARD HAMPTON	10.08.2014	Beykoz	Amber rengi kabartma yazılı ilaç şişesi
109	KLEİNOL	16.08.2014	Beykoz	Alman malı saç boyasının kahverengi şişesi
110	GASTRO	06.09.2014	Ortaköy	Kabartma yazılı, koyu kahverengi, kaba vida kapaklı ilaç şişesi
111	ŞEMPANZE ŞARABI	07.09.2014	Beykoz	İnce uzun, kahverengi, üzerinde sarılmış maymun kabartması bulunan şarap şişesi
112	MANTOLÜJOL KANSUK	12.10.2014	Beykoz	Kanzuk Eczanesi tarafından üretilen ve ruhsatı eczaneye ait olan 31 farklı müstahzardan biri de 'mantolüjol' dür. Müzmin kabızlık tedavisinde kullanılan bu ilacın şişesi "✦" amblemlili usta tarafından yapılmış
113	P&H KUTCHUKIAN FRERES CONSTANTINOPE	12.10.2014	Beykoz	Muhtelif ecza ya da kimyasal şişesi

Buluntular arasındaki en eski şişeler 1800'lerin başlarına kadar geriye gitmektedir. Renk, şekil, kalıp izi, ağız yapısı, taban izleri gibi yapısal özellikler açısından boğazın batmış şişeleri dikkate değer bir çeşitlilik sergilemektedir.

Buluntular farklı şişe şekilleri açısından ele alındıklarında, aralarında "bilyalı gazoz" da denilen Codd şişesinin de bulunduğu farklı şekil ve et kalınlığındaki şişeler dikkat çekmektedir (Şekil 4). 1872'de Londralı mucit Hiram Codd tarafından icat edilen, kapak yerine lastik conta ile desteklenen cam bilya kullanılmış olan Codd Şişesi, icat edildiği yıldan 1900'lerin başlarına kadar olan dönemde gazoz ve soda gibi

gazlı içeceklerin doldurulmasında sıkça kullanılmış olan çok karakteristik bir şişe tipidir.

Aynı şekilde "torpido şişesi", "yarım torpido" ve "yuvarlak tabanlı" şişelerin Avrupa menşeli markalar taşıyan, 1800'lerden kalma örnekleri de yine buluntular arasında yer almaktadır (Şekil 5). Codd şişesi de dahil olmak üzere bu şişelerin en önemli ortak özelliği, içlerindeki yüksek basınca dayanabilmeleri için şişenin et kalınlığının oldukça fazla olması ve bu nedenle şişelerin ağırlaşmasıdır.

Şişelerin kalıp izleri üretim teknikleri hakkında fikir verebilen

Şekil 3. Şişelerin sualtında ve temizlenmeden önceki görünüşleri.



Şekil 4. Codd şişesinin sualtında ve temizlendikten sonraki görüntüsü.



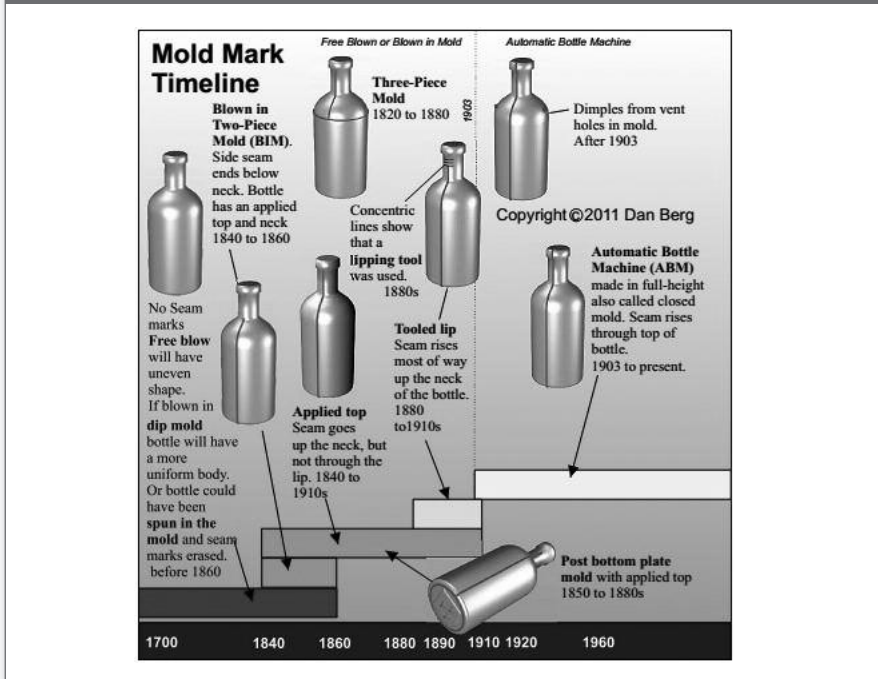
Şekil 5. PURTS CELEBRATED BOUBLE SODA WATER'ın 1800'lerden kalma torpido şişesi.



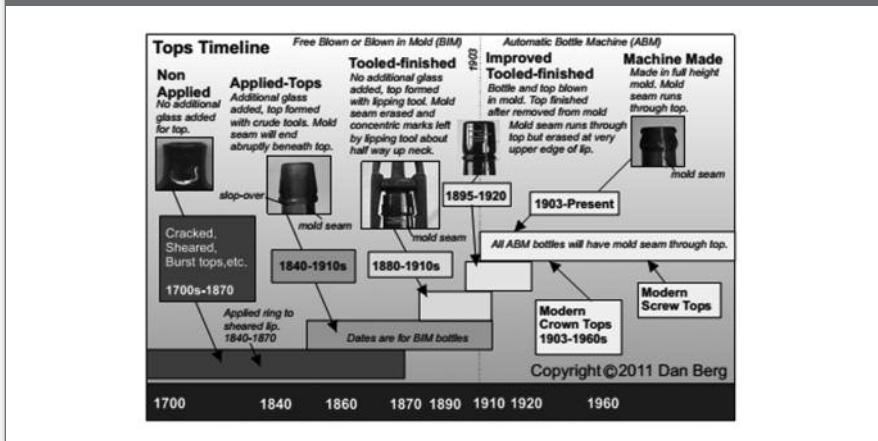
önemli ipuçları olarak değerlendirilmektedir. Proje sırasında şişelerin yaşları hakkında yaklaşık bir fikir edinmek için bu ipuçlarından sıkça faydalanıldı. “İkili kalıp” içerisinde üfleme ve ekleme boyun tekniği, “üçlü kalıp” içerisinde üfleme tekniği, “eklenmiş dudak” tekniği ve “işlenmiş dudak” tekniği, “dip plakası” tekniği kullanımı, Avrupa menşeli şişelerde 1800’lerin başlarından 1910’lara kadar olan dönemdeki üretime dair fikir veren ipucu niteliğinde kalıp izleri bırakmaktadır (Şekil 6).

Ancak söz konusu yöntemlerin el emeği ile üretim yapan 20. yüzyıl cam zanaatkarları tarafından yüzyılın ortalarına kadar kullanılmış olma olasılığının, yerli şişelerin tarihlendirmesinde bir karmaşa yaratabileceği ihtimali de her zaman akılda tutulmalıdır. Şişenin dibinden dudak kenarına kadar kesintisiz devam eden bir kalıp iziyle kendini belli eden otomatik şişe üfleme makinesi kullanımına Avrupa ve

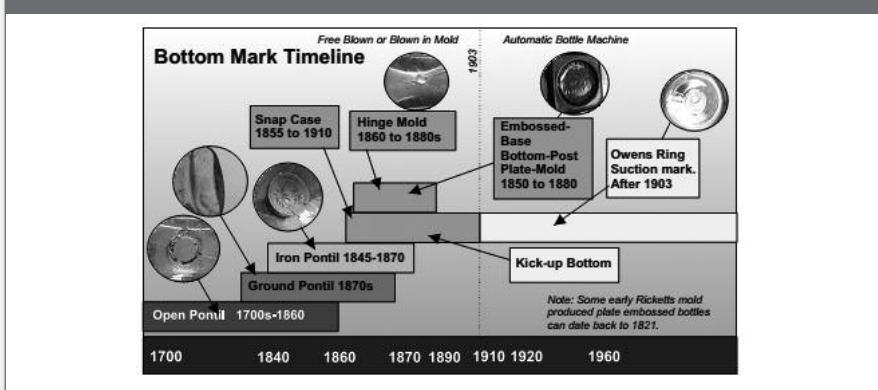
Şekil 6. Farklı kalıpların şişe üzerinde bıraktığı izler ve karşılık geldikleri tarih aralıkları (Berg, 2011).



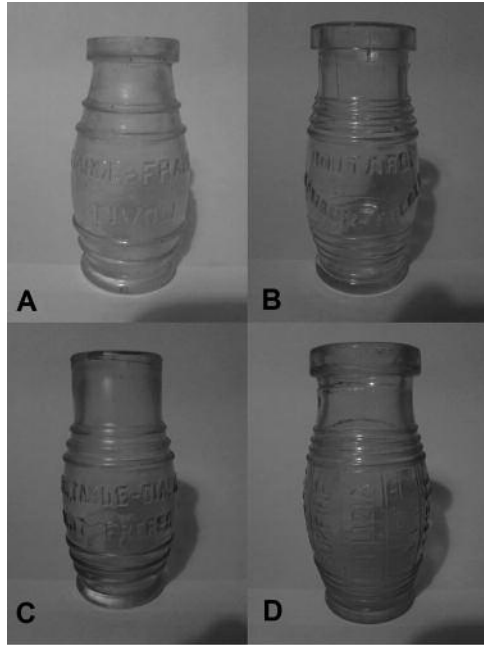
Şekil 7. Şişelerin ağız biçimleri ve karşılık geldikleri tarih aralıkları (Berg, 2011).



Şekil 8. Şişe dipleri ve karşılık geldikleri tarih aralıkları (Berg, 2011).



**Şekil 9. Farklı hardal şişelerinin fıçıyı andıran benzer biçimleri.**



- (A) MOUTARDE  
FRANCAISE TIVOLI,  
(B) MOUTARDE AMIEUX  
FRERES,  
(C) MOUTARDE  
DIAPHANE LOUIT FRERES  
(D) MOUTARDE SURFINE  
DELIZIA .

Amerika'ya kıyasla, gerek Osmanlı gerekse Cumhuriyet'in erken dönemlerinde geçilememiş olması, dolayısıyla eski tekniklerin devam eden kullanımı bu karmaşanın en güçlü olası nedeni olarak görülmektedir.

Tarihleme sırasında başvuru bir başka önemli özellik de şişelerin dudak şekilleridir. Boğazın derinliklerinden çıkarılan farklı şişelerde göze çarpan başlıca dudak biçimleri; “koparma”, “kesme”, “içeriye kıvrık”, “dışarıya kıvrık”, “halkalı ya da yakalı dudak”, “çift yakalı dudak”, “crown dudak” ve “kabarık dudak” tipleridir (Şekil 7).

Avrupa menşeli şişelerde söz konusu dudak tiplerinden yola çıkarak şişenin 1700'lerden 1800'lerin sonlarına kadar olan bir döneme tarihlenmeleri mümkün olabilirken, Cumhuriyet'in erken dönemlerinde eski üretim tekniklerinin kullanılmış olma olasılığı tarihlendirmede yine bir karmaşaya yol açabilmektedir.

Ek olarak şişenin taban izleri de farklılık göstermekte ve şişelerin tarihlendirilmesinde kullanılabilen ipuçları verebilmektedir (Şekil 8).

Boğazın “batmış” camları projesinde, eski şişe üretim tekniklerine ve eski şişe tiplerine ilişkin fikirler veren

bulguların yanı sıra, geçmişte Türkiye'de cam şişe üretimine emekleriyle, nefesleriyle destek vermiş olan ustaların, fason şişe imalathanelerinin varlığına dair kanıtlara da ulaşılmıştır. Bir zamanlar farklı kullanım amaçlarına yönelik sıvıların doldurulduğu, dönemin genel maksat şişesi olarak tanımlanabilecek 20 santilitrelik şişelerin tabanlarındaki farklı üretici amblemleri, söz konusu fason üretim katkısını gösteren önemli bulgulardır. Aynı durum Avrupa menşeli bazı şişelerde, mesela Fransız malt içeceği “MALT FRANCAISE DE JARDIN” şişelerinde de göze çarpmaktadır. Farklı cam kalitesinde üretildikleri görülen Fransız malt şişelerinde aynı şekilde farklı ağız yapıları ve farklı üreticilerin sembolleri göze çarpar. Benzeri bir durum 19. yüzyıl hardal şişelerinde ve 20. yüzyılın ortalarına tarihlenen reçel ve çikolata kreması kavanozlarında da görülmektedir. Hardal şişelerinin ufak tefek farklılıklara rağmen ana hatlarda benzer olan fıçı biçimi ve şekerleme kavanozlarında göze çarpan arı formu, benzer ürünlerin farklı markaları için ortak bir tasarım aklının ürünleri olabileceğini çağırıyor (Şekil 9).

#### 4. SONUÇ

Boğazın derinlerinden çıkarılan markalar ve şişelerin çeşitliliği, Osmanlı imparatorluğunun son birkaç yüzyılında ve Cumhuriyet döneminde toplum yaşamında kendisine yer bulmuş olan ürünlerin çeşitliliği hakkında değerli fikirler

vermektedir. Diğer yandan, artan ihtiyaca hızla yanıt verilmesi amacıyla üretimin hızla makineleştiği ve buna bağlı olarak üretimde el emeğinin yerini makine marifeti aldıkça şişelerin nasıl tek tiplşerek bireysel karakterlerini yitirmeye başladığı da ayrıca dikkat çekmektedir. Asırlardır insan yaşamına sahne olan İstanbul, gerek kendi içinde üretilen gerekse insanların farklı coğrafyalardan getirdikleri şişelerin malzeme ve biçim zenginliği ile dikkat çekiyor. Boğazın "batmış" camları projesinde, çöp olarak tanımlanan bu kültürel zenginliğin sadece çok ama çok küçük bir bölümü su yüzeyine çıkartıldı. Ancak bu sınırlı koleksiyon bile ortaya koyduğu çeşitlilikle günümüzün cam tasarımcılarına, en azından şişe tasarımcılarına ilham verebilir. Geçmişin unutulmuş camlarının verebileceği fikirlerle yeni tasarımlara yön vermek, neden olmasın?

*Bu çalışmaları <https://www.facebook.com/pages/Bottles-of-Bosphorus/482300295212040> sayfasından takip edebilirsiniz.*

## KAYNAKLAR

1. Berg, D. (2011). Hunting Antique Bottles in the Marine Environment. New York: Aquaexplorers.
2. Cable, M. (1999). Mechanization of Glass Manufacture. J. Am. Ceram. Soc., 82, 1093-1112.
3. Newman, S. (1970). A dating key for post-eighteenth century bottles. Historical Archaeology, 4, 70-75.
4. Rasmussen, S. C. (2012). Origin of Glass: Myth and Known History. In: How Glass Changed the World, SpringerBriefs in History of Chemistry, 11-19. DOI: 10.1007/978-3-642-28183-9\_2
5. Šimkutė, I. (2011). Glass bottles from the 16th century to the 19th century in the old town of Klaipėda: Data from archaeological excavations. Archaeologia Baltica, 16, 152-167.

# CAM EV EŞYASI TEMPERLEME TEKNOLOJİSİ VE SON JENERASYON OFF-LINE DÖNER ŞOKLAMALI TEMPERLEME HATTI



**Ahmet Zeki Alimoğlu**  
**Dr. A. Yüksel Soykut**

Şişecam Topluluğu, Cam Ev Eşyası Grup  
Başkanlığı, Geliştirme Direktörlüğü  
zalimoglu@sisecam.com  
ysoykut@sisecam.com

İTÜ Makina Fakültesinde 1984 yılında lisans, 1987 yılında ise Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 1987 yılında Paşabahçe Cam Sanayi Ticaret A.Ş. Teknik Hizmetler Müdürlüğünde proje mühendisi olarak topluluğa katıldı. 1999 yılında CEE Temperleme Teknolojisi Geliştirme grubunda proje lideri olarak görev aldı. Döner şoklamalı, bant tipi, rulolu bant tipi olmak üzere farklı teknikte 30'a yakın temperleme hattının devreye alınmasında proje lideri ve tasarımcı olarak katkı yaptı. Tuğrul Misoğlu ile birlikte Grup adına 'Rulolu Şoklama Ünitesine Sahip Bant tipi Cam Temperleme Sistemi' konusunda patenti mevcuttur. Cam Ev Eşyası Grubunun (CEE) toplam elektrik tüketimini %13 azaltan özgün bir teknoloji olan "Düşük Basınçlı Hava Tekniğini" geliştirdi (2004). Bu tekniğin tüm CEE Grup Fabrikalarında uygulamasında görev aldı. Yeni Savurma Section Tasarımı (2010) ve elektronik huni hareket mekanizmasına sahip "Yeni Savurma Makinası" (2012) tasarımına Proje Lideri ve tasarımcı olarak katkı yaptı. 2013 yılında Cam Ev Eşyası Grubu sıcak uç makine fanları için reform önerisini geliştirmiştir. Cam Ev Eşyası Üretim proseslerde birçok özgün enerji tasarruf projelerinin ve makine tasarım projelerinin geliştirmesine doğrudan katkı yapmıştır. CEE Grubu Geliştirme Müdürlüğünde Geliştirme Uzmanı olarak çalışmaktadır.

## ÖZET

1999 yılında başlatılan AR-GE çalışmasının bir sonucu olarak oluşan temel üzerinde Paşabahçe Grubu, günümüzde kendi tasarımı olan 30 temperleme hattı ile temperli cam ev eşyası ve çamaşır makinası gözetleme camı pazarlarında ikinci en yüksek paya sahip şirkettir. Paşabahçe, cam üreticileri arasında en önemli teknoloji geliştirebilen firmalardan biridir.

Dekorlu bardakların temperlenmesine yönelik olarak yeni bir döner şoklamalı temperleme hattı 2013 yılında devreye alınmıştır. Yeni temperleme hattı,

- İlk kez uygulanan radyant yakıcılı tünel fırın tasarımı,
  - Yeni yalıtım uygulaması,
  - Yeni döner şoklama ünitesi,
  - Yeni palet zincir konveyör grubu,
  - Yeni tahrik sistemi,
- ile birçok teknolojik yeniliği grubumuza kazandırmıştır.

Radyant yakıcılar, sıcaklık kontrol sistemi ve fırın yalıtımı ile bardakların homojen olarak temperleme sıcaklığına ısıtılmasında verimli şartlar elde edilerek;

- yakıt tüketiminde önceki sisteme göre %50'ye varan tasarruf,

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:150-151  
©Şişecam



- ısıtma ve temperleme sırasında kırık oranında azalma ile %10 verim artışı sağlanmaktadır.

Aynı tekniklerin uygulandığı 2. temperleme hattı, Bulgaristan Fabrikamızda in-line ve off-line olarak üretim yapacak şekilde Temmuz 2014'te devreye alınmıştır.

2013-2014 döneminde 8 adet komple temperleme hattının

tasarımı yapılarak devreye alınmıştır. Bu yeni hatlar düşük enerji tüketimleri ve toplam verimleri ile grubumuza maliyet avantajı sağlamaktadır.

Paşabahçe Grubu, kendi temperleme teknolojisinin bir sonucu olarak pazarda oluşan taleplere hızlı tepki verebilmesi nedeniyle rekabet avantajına sahiptir.

***Anahtar Sözcükler:** Temperleme*

# RADAR SOĞURABİLEN KOMPOZİTLER İÇİN CAM ELYAFLARIN İNCE FİLM KAPLAMALARI



**Prof. Dr. Lütfi Özyüzer**  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü,  
Fizik Bölümü, Urla, İzmir  
ozyuzer@iyte.edu.tr

1968 yılında Çorum'da doğan Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, 1991 Yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı yıl Hacettepe Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimine başlayan ve Araştırma Görevlisi olan Lütfi Özyüzer 1993 yılında kazandığı burs ile Amerika Birleşik Devletlerine gitmiştir. 1995 yılında Illinois Teknoloji Enstitüsünde Master eğitimini 1999 yılında da aynı üniversitede doktora eğitimini tamamlamıştır. Doktora çalışmalarını Şikago'da Argonne Ulusal Laboratuvarında Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Tünelleme Spektrokopisi üzerine yapan Dr. Özyüzer aynı laboratuvarında bir yıl doktora sonrası araştırmacı olarak çalışmıştır. 2000 yılında Türkiye'ye dönen ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümünde Yardımcı Doçent olarak göreve başlayan Dr. Özyüzer, 2004 yılında Doçent, 2011 yılında Profesör olmuştur. 2002 Yılında Türkiye Bilimler Akademisi GEBİP ödülü, 2006 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülü alan Dr. Özyüzer, 2008 yılında Almanya Alexander von Humboldt Deneyimli Araştırmacı ödülünü almıştır. 2008-2010 yılları arasında Almanya Erlangen Üniversitesi'nde Ziyaretçi Bilim adamı olarak çalışmıştır. Yürütücüsü olduğu 4'ü tamamlanmış 5 TÜBİTAK projesi, yürütücü olduğu tamamlanmış 3 DPT projesi, 2'i tamamlanmış 3 SANTEZ projesi ve tamamlanan 1 KOSGEB projesi vardır. Süperiletkenler, vakumda ince film malzeme büyütülmesi, malzemelerin elektriksel, manyetik ve optik özellikleri, mikroelektronik ve nanoelektronik aygıtlar, terahertz ışımada konularında Science Citation Index'e giren 70 üzeri makalesi, 1700'den fazla atfı ve bir patenti vardır.

Radar sistemlerindem yayılan mikrodalgaların soğurulması için, elektromanyetik dalgaları emme (absorplama) özelliklere sahip dielektrik ve manyetik malzemeler geliştirilmiştir. Emilimin frekans aralığını (bant genişliğini) arttırmak için, bu güne kadar araştırmacılar tarafından birçok malzeme önerilmiştir. Geline nokta, cam elyaf katkılanmış polimerik kompozit malzemeler kullanılarak geliştirilen radar soğurabilen yapılar (RSY), popüler araştırma alanı olmaya başlamış ve üzerinde araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. Bu çalışma da, 2-18 GHz aralığındaki dalgaları emebilen, tekyönlü cam elyaf katkılanmış epoksi bağlayıcı kompozitlerin tasarım, üretim ve karakterizasyonları yapılmıştır. Kompozit üretimlerimizde radar dalgası soğurulması için, farklı özelliklerde Jaumann tipi kompozit yapılar üretilmiştir. Bu Jaumann yapılarda, farklı direnç değerine sahip katmanlar ya da farklı sayıda direnç katmanları kullanılarak değişik tasarımlar yapılmıştır. Buna ek olarak, farklı kalınlık ve farklı oranlarda katkı maddelerine sahip yapılar üzerinde de durulmuştur. Cam elyaf / epoksi sistemi temel yapı olarak kullanılmıştır. Kompozit yapının elektrik ve manyetik geçirgenlik katsayıları ile empedansının değiştirilmesi için demir karbonil tozları kullanılmıştır. Cam elyafların fonksiyonelleştirilmesi ve iletkenlik özelliğinin kazandırılması için de, geniş alan düzlemsel vakumda miknatıssal saçırma yöntemi kullanılarak yüzeyleri ince film

ile kaplanmıştır. Bu iletken yüzeyler, kompozit yapı içerisinde direnç katmanı olarak davranırlar. Direnç değerleri çeşitlilik göstermekle beraber, yapıdaki sayısı, aralarındaki kalınlık ve yapının elektrik ve manyetik geçirgenlik değerlerine göre de farklılık gösterir. Çalışmamızda ise yüzey direnci 377 ohm'dan başlayarak minimum 35 ohm olan direnç katmanları kullanılmıştır. Bu değerlerin elde edilmesi ya da kompozit malzemenin elektrik ve manyetik geçirgenlik katsayılarının ne olabileceği hakkında bilgi edinebilmek için, transmission line theory'deki formülizasyonları kullanarak, maksimum emilimi sağlamak için gerekli değerlere ulaşabilmek açısından MatLab ve Labview programlarını kullanılmıştır. Elde ettiğimiz veriler kullanılarak, emilimde çok önemli olan kalınlık, direnç, elektrik ve manyetik geçirgenlik gibi parametrelere uygun kompozitler üretilmiştir. Katmanlar arasındaki en ufak bir kalınlık değişiminde ya da dirençteki küçük bir oynamada, emilim değerleri oldukça farklılık gösterebilmektedir. Üretilen kompozitlerin elektromanyetik soğurma testleri yapıldığında, geniş bir bant aralığında soğurma yapan ve 15 dB'ye ulaşan bir emilim elde

edilmiştir. Cam elyaf takviyeli kompozitler, mekanik özelliklerinin avantajlarında dolayı taşıyıcı yapı olarak birçok alanda kullanılmaktadırlar. Fonksiyonelleştirilen ve radar emebilme özelliği kazandırılan kompozit plakaların aynı zamanda mekanik özelliklerinde değişme olup olmadığına da incelenmiştir. Bunun için bazı mekanik testler uygulanıp, karşılaştırmalar yapılmıştır. Gemi, uçak, rüzgar tribün vb. de taşıyıcı olarak kullanılan bu kompozit plakaların mekanik özelliklerinde değişiklikler gözlenmiştir. Fakat bu değişiklikler plakanın taşıyıcı yapısını kökten bozacak bir etkide olmayıp, kullanım alanlarında bir kısıtlama yaratmamaktadır. Bu davetli konuşmada elde edilen sonuçlar tartışılarak yorumlanacak ve ileriki hedefler verilecektir.

*\*Bu çalışma Teknoma Teknolojik Malzemeler Ltd. Şti. bünyesinde yapılmış olup 2012-2014 yılları arasında KOSGEB tarafından desteklenmiştir. Araştırmacılar M. Tanoğlu (İYTE), Mutlu D. Yaman(Teknoma), S. Kangal(Teknoma).*

**Anahtar Sözcükler:** Cam Elyaf, İnce Film Kaplama, Kompozit

# KOROZYON KAPLAMA HATALARININ MİNİMİZE EDİLMESİ



## Osman Bilaloğlu

Şişecam Topluluğu, Düzcem Grup  
Başkanlığı, Trakya Cam Sanayi A.Ş.  
Trakya Fabrikası  
obilaloglu@sisecam.com

06.03.1976 Bulgaristan' da doğdu. İlk ve ortaokulun bir kısmını Bulgaristan' da okuduktan sonra 1991 yılında Türkiye' ye göç etti. Sakarya Üniversitesi Metalürji Mühendisliği bölümünden 1999 yılında mezun oldu. 1999-2000 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalürji Enstitüsünde yüksek lisans yaptı. 2002 yılından bu yana da TCS Trakya Fabrikasında çalışmaktadır.

## ÖZET

2011 yılı Kasım ayından itibaren Trakya Cam Sanayi A.Ş. Trakya Fabrikası' nda Otocama yönelik alınan camlara korozyona karşı kaplama uygulaması başlatılmıştır. Korozyona karşı kaplama camın üst yüzeyine spreyci şekilde uygulanarak stoktaki camın zamanla korozyona uğramasını önlemektedir. Kaplama kimyasalının yapısı gereği cama püskürtülmesi, camın kesilmesi, elleçlenmesi ve işlenmesi sırasında çeşitli hatalara neden olmaktadır. Bu hataların önüne geçmek için daha önce uygulaması olmayan değişik kimyasallar denenerek yeni ve hata üretmeyen bir kaplama geliştirmeye karar verilmiş. Konu bir yalın 6 sigma projesi olarak ele alınmıştır.

*Anahtar Sözcükler:* Korozyon, Kaplama

## 1 GİRİŞ

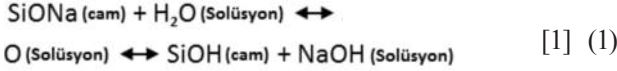
Düzcem, yaygın olarak bilinenin aksine özel şartlar altında kolayca korozyona uğrayabilmektedir. Özellikle stok ambarında paket halinde bekleyen cam; eğer ambar içinde kontrollü iklimlendirme şartları oluşturulmamışsa havadaki nemin cam yüzeyinde yoğunlaşmasıyla birlikte korozyon neredeyse kaçınılmaz hale gelir. Eğer ambar şartları tam olarak kontrol edilemiyorsa korozyonu önlemenin diğer bir yöntemi düz cam plakalarının korozyondan koruyan bir kaplamayla kaplanmasıdır. Kaplamalar, cam yüzeyinde neme karşı, türüne göre fiziksel ve/veya kimyasal bir zırh oluşturarak koruma sağlamaktadır. Yaygın olarak bilinen ve uygulanan yöntem, camın hava yüzeyinin asidik karakterli bir çözeltiyle kaplanmasıdır. Nihai müşteri açısından, bu kaplama camın sonraki işlemlerinde yıkama makinelerinde kolayca uzaklaştırılabilir, yıkama makinesine zarar vermeyen, çevreye zararsız ve cam yüzeyinde kalıntı bırakmayan nitelikte olmalıdır.

## 2 KOROZYON KAPLAMA HATALARININ MİNİMİZE EDİLMESİ

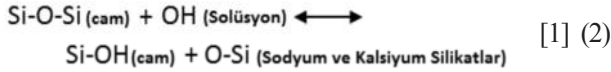
### 2.1. Camda Korozyon Nedir?

Düz camın korozyona uğrayabilmesi için; nem ve nemin yeterince uzun bir süre kalabileceği bir ara yüzey olması gerekmektedir. Korozyon iki aşamada gerçekleşir:

Birinci şamada iki plaka arasındaki bu ara yüzeyde nemin varlığıyla birlikte cam yüzeyinden suya doğru Na<sup>+</sup>, sudan cam yüzeyine H<sup>+</sup> iyon değişimi gerçekleşir.



İkinci aşama korozyon, cam ara yüzeyindeki nemin pH değeri 9' un üstüne çıkınca başlar ve cam yüzeyindeki Si-O-Si tetrahedral bağları kırılmaya başlar. Bu aşamada camın yüzeyi geri dönülmez bir şekilde bulutsu bir görünüm alır.



Düz camın üretim yöntemi gereği; renk dönüşlerinin 2 - 7 gün arasında sürmesi, çok ince ve çok kalın cam üretimlerinde üretim parametreleri değişikliği için zaman gereksinimi ve planlamadaki kısıtlardan dolayı üretimler kampanya bazında yapılmaktadır. Kampanyalarda alınan cam miktarı müşteri ihtiyaçlarını 7 – 180 gün karşılayacak miktarlarda alınabilmektedir. Bunun anlamı üretilen cam stok ambarında 6 ay boyunca beklemesi demektir. Bu bekleme süresince eğer ambar sıcaklıkları çiğlenme noktasının altına düşerse cam paketlerinin üzerinde yoğunlaşma olmakta ve yukarıda bahsedilen 1. ve 2. aşama korozyon gerçekleşebilmektedir.

Ambarda oluşturulacak kontrollü koşulların yanı sıra korozyonu önlemenin diğer bir yöntemi de cam plakalarının bir yüzeyini (hava yüzeyini) kaplayarak nem ile temasını kesmektir. Kaplamalar başlıca ikiye ayrılabilir.

Birinci tür kaplamalar fiziksel koruma sağlayarak cam-nem temasını önleyen kaplamalardır. PVA (Poli Vinil Alkol), suda çözülebilen plastik olarak da bilinmektedir, bunlara örnek olarak verilebilir.

Diğer ve yaygın olarak kullanılan kaplamalar ise cam yüzeyinde asidik bir zırlı oluşturarak birinci aşam korozyonun önüne geçmekte ve cam-nem-cam arayüzeyinde pH değerinin < 7 olarak kalmasını sağlayarak korozyon mekanizmasını kırmaktadır.

## 2.2. Yapılan Çalışmalar ve Geliştirilen Yeni Anti Korozyon Kaplama Kimyasalı

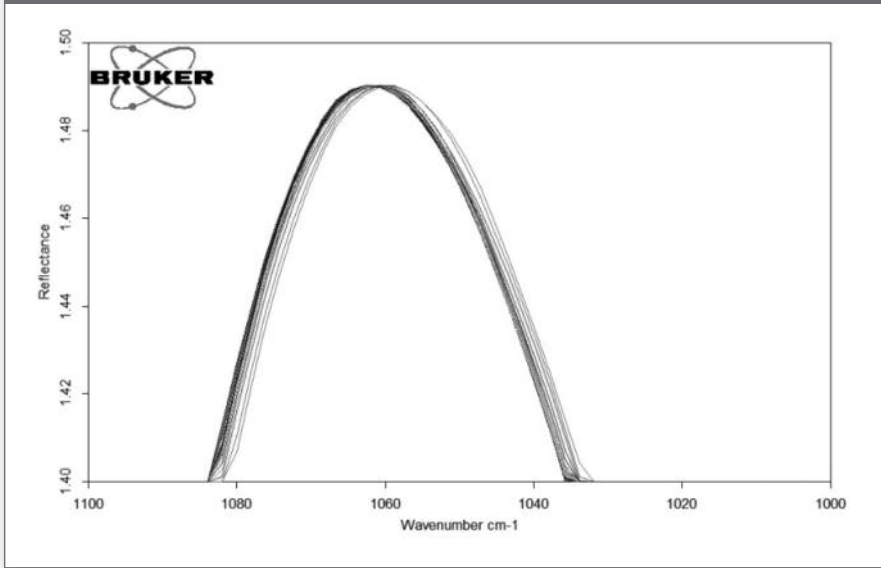
Trakya Cam Sanayii A.Ş. Trakya Fabrikasında, Şubat 2014 itibariyle, mevcut kullanılmakta olan korozyon kaplama kimyasalının olumsuz etkilerinden kurtulmak amacıyla bir yalın altı sigma projesi başlatılmıştır. Proje başlangıcında yapılan “Müşterinin Sesi” ve İşin Sesi” çalışmalarında yeni bir korozyon kaplama kimyasalı geliştirme ihtiyacı ön plana çıkmıştır. Yeni kimyasaldan beklenen başlıca özellikler:

- 1- Mevcut kimyasala alternatif,
  - 2- Yıkama makinesinde kolayca çıkabilen,
  - 3- Yıkama makinesi suyunda ve cam yüzeyinde kalıntı / tortu bırakmayan,
  - 4- Ucuz ve kolay temin edilebilir,
  - 5- İSG ve çevreye zararsız,
  - 6- Cam çapaklarının kaplama yüzeyine yapışmasına imkan vermeyen,
  - 7- Hızlı kuruyan bir kimyasal
- olarak kaşımıza çıkmıştır.

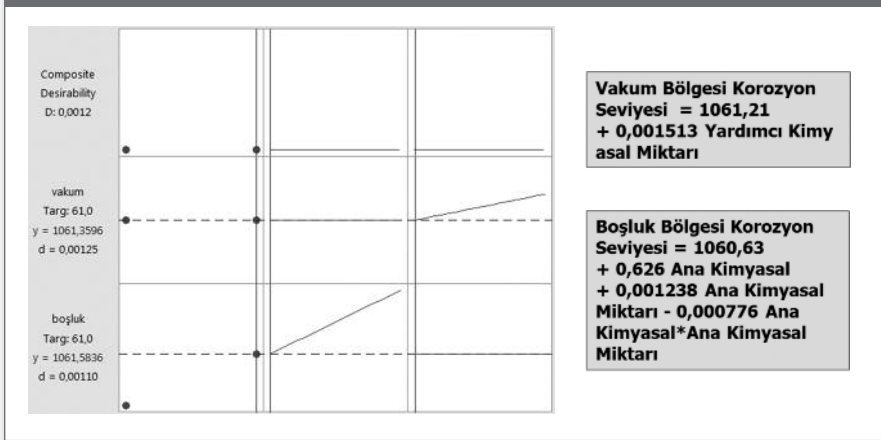
Geliştirme aşamasında önce, kullanılacak kimyasallarla ilgili literatür araştırması ve rakiplerin kullandıkları kaplama kimyasalları araştırılmıştır. Kimyasalın cam yüzeyine tutunma etkinliği, tutunmayı arttıran yardımcı kimyasallar, bu kimyasalların korozyondan koruma, yıkama makinesinde çıkma etkinlikleri ve kimyasalların birbiriyle etkileşimleri yalın altı sigma araçlarından biri olan “deney tasarımı” metoduyla araştırılarak ortaya konmuştur. 16 farklı deney kombinasyonu oluşturularak kimyasal miktarı-kimyasal tipi-yardımcı kimyasal tipi arasındaki ilişkiler net olarak ortaya konmuştur. Deneysel çalışma sonuçları %96 nem 40 °C sabit sıcaklık koşullarındaki nem kabininde 21 günlük standart ve 40 günlük ağırlaştırılmış koşullarda korozyon testine alınarak sonuçları Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezindeki FTIR’ de (Fourier Transform Infrared Spektrofotometresi) incelenmiştir. 21 günlük test numunelerinden 16 değişik kombinasyonun hiç birinde korozyona rastlanmamıştır. 40 günlük teste deneyler iki tekrarlı ve camı elleçlemede kullanılan vantuzların temas ettiği bölge ile vantuzun temas etmediği bölgelerin korozyona karşı davranışları da incelenmiştir.

Bilindiği gibi, korozyona uğramış camın IR spektrumunda Si-O-Si bağ titreşimine ait yaklaşık 1050 – 1060 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında bir adet pik görülmektedir. Korozyona

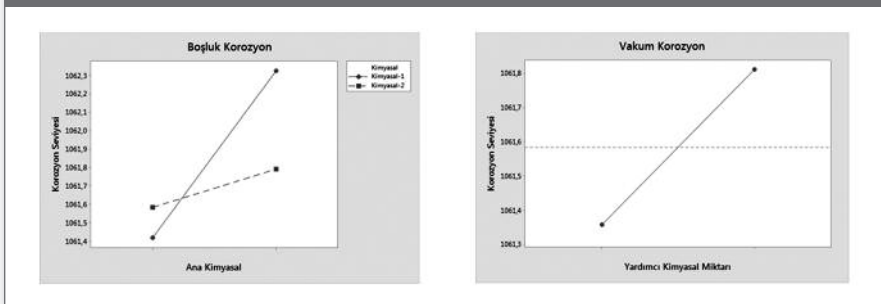
Şekil 1. 16 adet deneysel numunenin FTIR sonuçları



Şekil 2. Vantuz bölgesi – boşluk – kimyasal miktarı etkileşimi ve formülleri



Şekil 3. Kimyasal tipi – Yardımcı kimyasal tipi – Vakum - Boşluk etkileşimleri



uğrayan camlarda ise bu pik spektrumda sola doğru kaymakta ve Si-O-Si bağının kırılması ile oluşan Si-O- bağ titreşimine ait yaklaşık 960 cm-1 dalga sayısında omuz şeklinde yeni bir pik ortaya çıkmaktadır.

### 2.3. Korozyona Etki Eden Kaplama Parametrelerinin Optimizasyonu

Deneysel çalışmaların sonuçlarının netleşmesinden sonra faktörlerin çıktısı üzerindeki etki seviyeleri matematiksel olarak

modellenmiş ve formüle edilmiştir.

Kimyasal tipi – Yardımcı kimyasal tipi – Vakum - Boşluk etkileşimleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Ana kimyasal miktarı koruyuculuğunun, prosesteki diğer uygulama parametrelerinin etkisine açık olduğu tespit edilmiştir.
- 2- Vakum bölgesinde korozyon riskinin minimize edilmesi için kimyasal miktarının minimum olması gerekmektedir.

### 3 SONUÇ

Sonuç olarak:

Çevreci

Ucuz

Yurt içinden ve hızlı bir şekilde temin edilebilen

İkincil işlemler öncesi yıkama makinesinde kolaylıkla çıkabilen

Katma değersiz kullanımın olmadığı

Korozyona karşı koruması yüksek

Yeni bir korozyon kaplama kimyasalı geliştirilmiş ve ideal çıktıyı elde edebilmek için proses parametreleri analitik bir yaklaşımla optimize edilmiştir.

### Kaynak

1. Paul F. Duffer, November 15, 1986 “How To Prevent Class Corossion” Glass Digest.

# OPTOELEKTRONİK UYGULAMALAR İÇİN SAYDAM İLETKEN KAPLAMALI CAM ALTLIK GELİŞTİRİLMESİ



**Yrd.Doç.Dr. Ferhat Aslan<sup>1</sup>,  
İbrahim Boz<sup>1</sup>, Ahmet Tumbul<sup>1</sup>,  
Prof. Dr. İbrahim H. Mutlu,  
Dr. Seniz Türküz,  
Dr. Refika Budakoğlu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi, Fizik Bölümü  
<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve  
Teknoloji Geliştirme Başkanlığı,  
Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
ferhataslan@harran.edu.tr  
iboz663@hotmail.com  
sturkuz@sisecam.com  
rbudakoglu@sisecam.com

*Ferhat Aslan, 2002 yılında Harran Üniversitesi'nde Fizik dalında lisans derecesini aldı. Harran Üniversitesi'nde 2005 yılında "Sol-Jel Metodu ile YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> Süperiletken elde edilmesi" başlıklı tezi ile yüksek lisansını ve 2011 yılında "Sol-jel Metodu ile Polikristal Heteroeklem Güneş Pili Üretilmesi, Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı tezi ile doktorasını tamamladı. Doktora eğitimini 2011'de tamamladıktan sonra YÖK'ün öğretim üyesi yurtdışı araştırma bursu ile 2013 yılında araştırmacı olarak Johannes Kepler Üniversitesi, Organik Güneş Hücreleri Enstitüsü'nde (LIOS) bulundu. Halen Harran Üniversitesi Fizik bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.*

## ÖZET

Günümüzde, saydam iletken oksitlerin (tco) inorganik ve organik fotovoltailer, akıllı pencereler, sıvı kristal ekranları (lcd), plazma ve organik ışık yayan diyot (oed) ekranları, dokunmatik ekran sensörleri, gaz sensörleri ve düşük emisyonlu yüzey (low-e) uygulamalarında kullanımının hızlı bir şekilde yaygınlaşması, bu tür malzemelere olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. En çok kullanılan saydam iletken oksitler arasında kalay katkılı indiyum oksit (ito) ve alüminyum katkılı çinko oksit (azo) örnek olarak verilebilir. Ito ve katkılı-zno filmlerin üretimi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında, başlıca dc veya rf magnetron saçırma, lazer atması (pld), kimyasal buhar (cvd) ve moleküler demet epitaksi (mbe) yöntemleri örnek verilebilir. Özellikle, günümüz teknolojisinde en çok kullanılan yöntemler; magnetron saçırma ve cvd yöntemleridir. Bu yöntemlerin, yüksek maliyetli ve karmaşık sistemlere dayalı olmalarından dolayı, alternatif yöntemlerin araştırılması ve teknolojiye kazandırılması önem taşımaktadır. Sol-jel yöntemi, geniş yüzeyli ince film üretim teknolojilerine katkıda bulunabilecek bir yaş kaplama tekniğidir. Bu yöntemle, istenilen homojenlik ve kalınlıkta filmler elde etmek mümkündür. Özellikle geniş ve karmaşık yüzeyli uygulamalar için film üretebilir olması bu yöntemin en önemli avantajlarından biridir. Sunulan çalışmada, kalay katkılı indiyum oksit (ito) ve alüminyum katkılı çinko oksit (azo) filmler cam altlıklar üzerinde sol-jel yöntemiyle üretilmiştir. Filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri, x-ışını kırınımı (xrd), taramalı elektron mikroskobu (sem), uv-görünür bölge spektrometresi (uv-vis) ve hall etkisi ölçüm yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Bu çalışma bilim, sanayi ve teknoloji bakanlığı tarafından 0128.STZ.2013-1 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnce Film, Saydam İletken Oksit, ITO, AZO

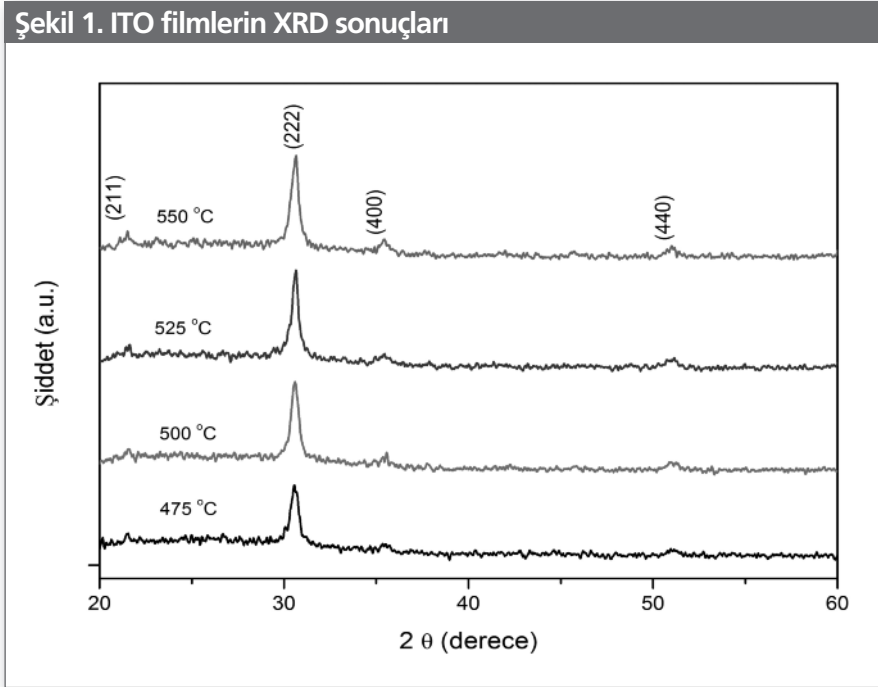
## GİRİŞ

Güneş hücreleri gibi optoelektronik uygulamalarda saydam iletken oksit katmanın

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:158-162  
©Şişecam



Şekil 1. ITO filmlerin XRD sonuçları



ışığın aktif tabakaya iletilmesi ve aynı zamanda bir elektrot rolü üstlenmesi bu tür malzemeleri önemli kılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni akıllı malzemelerin ürün olarak ortaya çıkması ve bu malzemelerin katmanlarının geliştirilmesi söz konusu olmaktadır. Özellikle saydam iletken oksit tabakalar günümüzde birçok uygulama alanı bulmaktadır. Bu malzemeler arasında ITO en çok araştırılan ve uygulama alanı bulunan saydam iletken oksittir. İndiyum kalay oksit (ITO) filmlerde yüksek elektriksel iletkenlik ve optiksel geçirgenliğin gözlenmesi, bu alanda çalışmaların artmasına neden olmuştur [1].  $In_2O_3$ -tabanlı ikili saydam iletken oksitlerde başlıca kullanılan katkı elementleri kalay (Sn), germanyum (Ge), molibden (Mo), titanyum (Ti), zirkonyum (Zr), hafniyum (Hf), niyobyum (Nb) ve talyum (Ta) örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte katkılı-ZnO filmlerin en önemli avantajı kullanılan elementlerin kaynak probleminin olmaması ve dolayısıyla düşük maliyetli olmasıdır. Ayrıca, zehirli element içermemektedirler. Saydam iletken oksit filmler birçok yöntemle üretilmektedir. ITO, FTO, AZO ve GZO gibi filmler için kullanılan yöntemler arasında püskürtme (spray pyrolysis) [2,3], saçtırma (sputter) [4,5,6], lazer atmasıyla büyütme (PLD) [7,8], kimyasal buhar yöntemi (CVD) [9,10], moleküler demet epitaksi (MBE) [11,12] ve Sol-jel [13,14] teknikleri örnek olarak verilebilir. Bu yöntemler arasında çözelti tabanlı sol-jel tekniği ile geniş yüzeyli filmler elde etmek mümkündür.

## 1. MATERYAL VE METOD

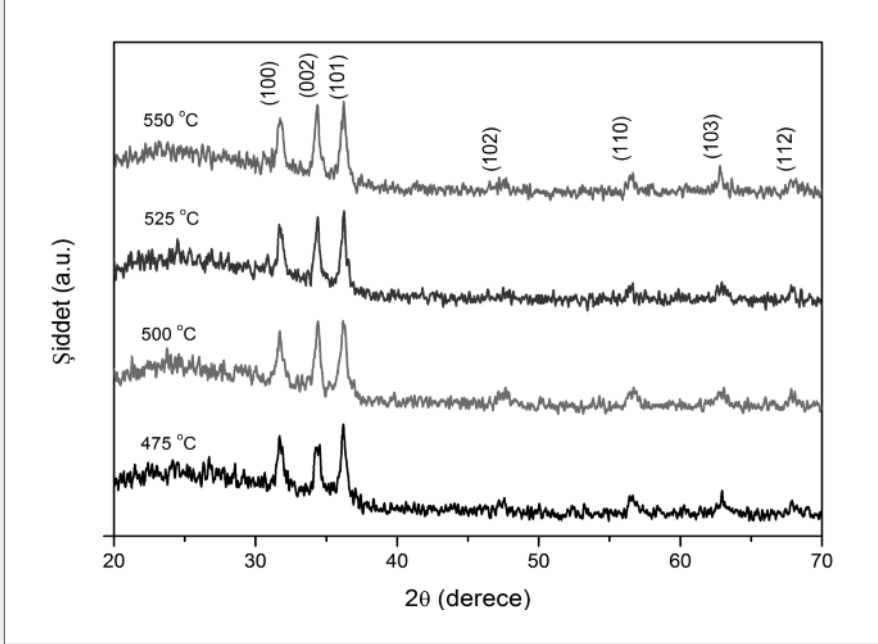
Bu çalışmada ITO filmleri hazırlamak için indiyum kaynağı olarak indiyum (III) nitrat pentahidrat ve kalay kaynağı için kalay (II) 2-etilhekzaonat kullanılmıştır. İndiyum ve kalay kimyasalları farklı beherelerde oda sıcaklığında glasiyel asetik asit ve etanol de çözülmüştür. Çözeltideki Sn/In molar oranı 1/10 olarak alınmıştır. Ayrıca çözeltinin pH değerini ve viskozitesini ayarlamak için trietanolamin kullanılmıştır. AZO filmlerin hazırlanmasında ise çinko kaynağı olarak çinko asetat hidrat ve alüminyum kaynağı olarak ta alüminyum nitrate 9- hidrat kullanılmıştır. Çinko kimyasalı 2-metoksietanol de oda sıcaklığında çözüldükten sonra alüminyum kimyasalı aynı çözeltiliye eklenmiştir. Al/Zn molar oranı 1/100 olarak alınmıştır. AZO ve ITO çözeltileri 24 saat karıştıktan sonra daldırarak kaplama yöntemiyle camlara kaplanmıştır. Tüm filmler 475, 500, 525 ve 550 °C' de argon ortamında 30 dk süre ile tavlannmıştır.

## 2. SONUÇ

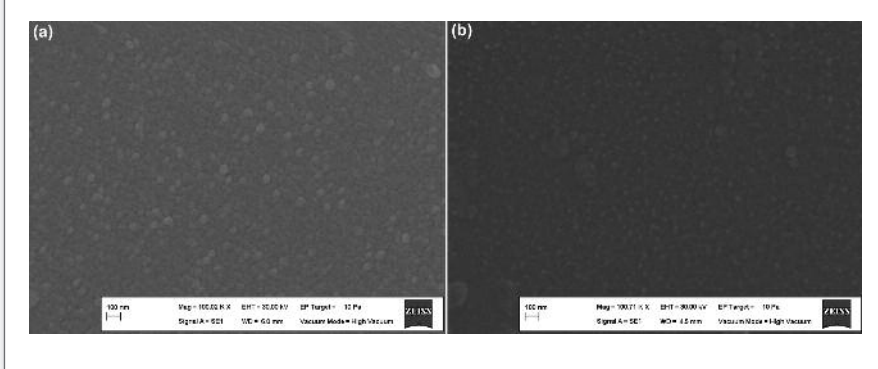
### 2.1. Yapısal Özellikler

Şekil 1' de sol-jel yöntemiyle hazırlanmış ITO filmlerin XRD sonuçları verilmiştir. Şekil 1' deki XRD sonuçlarına göre ITO filmler kübik biksbyat yapıda kristalleşmektedirler. Tavlama sıcaklığı arttıkça XRD pik şiddetleri de artmaktadır. Bu sonuç filmlerin kristalleşmelerinin yüksek sıcaklıklarda arttığını göstermektedir.

Şekil 2. AZO filmlerin XRD sonuçları



Şekil 3. a) AZO filmlerin b) ITO filmlerin SEM görüntüleri



Şekil 2’de AZO filmlere ait farklı sıcaklıklardaki XRD sonuçları verilmiştir. AZO filmlerin XRD sonuçlarına göre filmler hekzagonal yapıda kristalleşmektedirler. Ayrıca bu filmlerde de sıcaklık arttıkça pik şiddeti artmakta ve buna bağlı olarak ta kristalleşme artmaktadır.

Şekil 3’te AZO filmlerin ve ITO filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerine göre filmler homojen yapıda ve çatlaksızdır.

## 2.2. Optiksel Özellikler

Şekil 4’te yaklaşık olarak 200 nm kalınlığındaki sol-jel yöntemiyle üretilmiş ITO filmlerin 200 nm ile 1100 nm dalga boyu aralığındaki optiksel geçirgenlikleri verilmiştir. ITO

filmler görünür bölgede % 80 üzeri optiksel geçirgenlik sergilemektedirler.

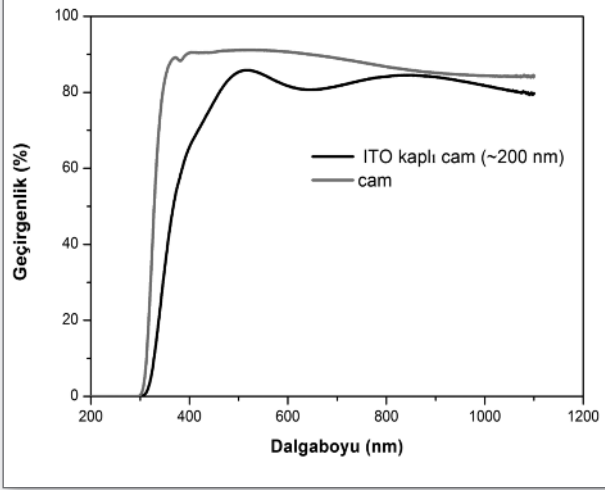
Şekil 5’te AZO filmlere ait farklı sıcaklıklardaki optiksel geçirgenlikleri verilmiştir. AZO filmlerde de görünür bölgede % 80 üzeri optiksel geçirgenlik gözlenmiştir.

## 2.3. Elektriksel Özellikler

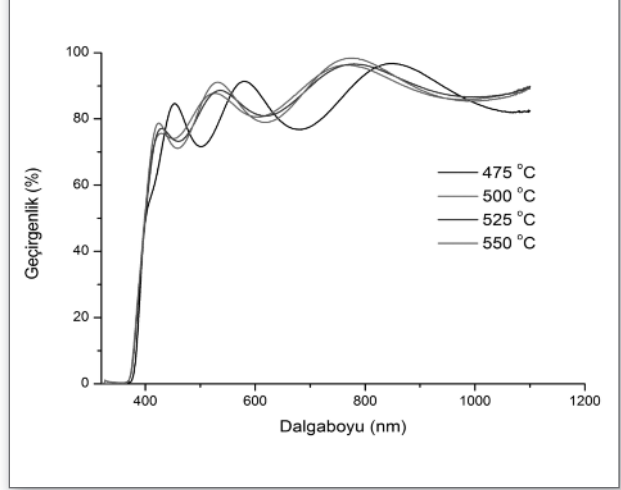
Farklı sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulan cam üzerine kaplı ITO filmlerin elektriksel özdirençleri Şekil 6’ da verilmiştir. Bu çalışmada ITO filmlerde en düşük elektriksel özdirenç 525 °C de tavllanmış filmlerde  $\sim 2.3 \times 10^{-3}$  W.cm olarak ölçülmüştür.

Şekil 7’ de AZO filmlerin elektriksel ölçüm sonuçları

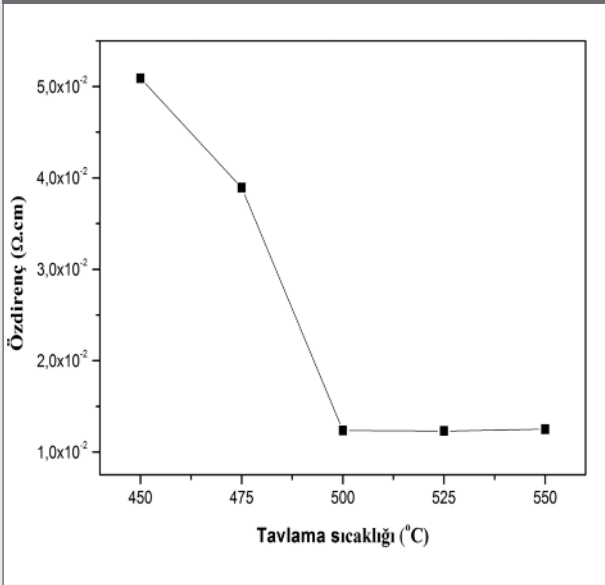
Şekil 4. ITO filmlerinin optiksel geçirgenlikleri



Şekil 5. AZO filmlerinin optiksel geçirgenlikleri



Şekil 6. Farklı sıcaklıklarda tavllanmış ITO filmlerin elektriksel özdirençleri

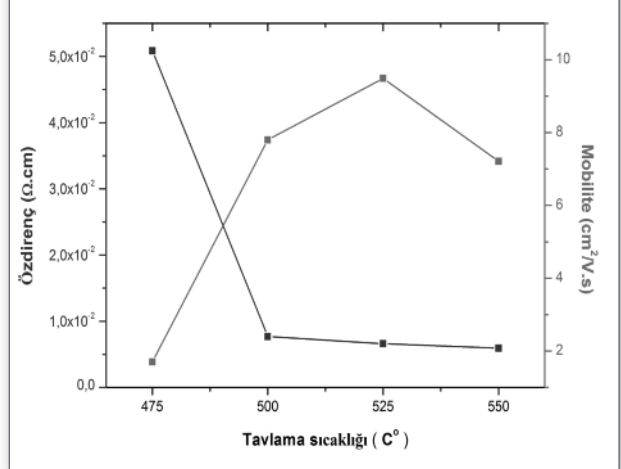


verilmiştir. Sıcaklık 475 °C' den 500 °C'ye çıktığında özdirençte önemli bir düşüş gerçekleşmektedir. Bununla birlikte sıcaklığın daha da artırılmasıyla özdirençte önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. AZO filmlerde en düşük direnç  $\sim 5.9 \times 10^{-3} \Omega.cm$  olarak ölçülmüştür. Ayrıca Şekil 7' de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça örneklerin mobiliteside artmaktadır. Bunun nedeni tavlama sıcaklığının artmasıyla filmlerin kristal yapılarında iyileşme gerçekleşmesidir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 0128.STZ.2013-1 nolu proje ile desteklenmiştir.

Şekil 7. Farklı sıcaklıklarda tavllanmış AZO filmlerin elektriksel özdirençleri



## KAYNAKLAR

1. L. Holland, G. Siddall, Vacuum 3 (1953) 375–391.
2. Y. Sawada, C. Kobayashi, S. Seki, H. Funakubo, Thin Solid Films 409 (2002) 46–50.
3. A.I. Martínez, L. Huerta, J.M. O-Rueda de León, A. Acosta, O. Malik, M. Aguilar, J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) 5091–5096.
4. O. Tuna, Y. Selamet, G. Aygun, L. Ozyuzer, J. Phys. D: Appl. Phys. 43 (2010) 055402-7.
5. F. Ruske, M. Roczen, K. Lee, M. Wimmer, S. Gall, J. Hüpkens, D. Hrunski, B. Rech, J. Appl. Phys. 107 (2010) 013708-8.
6. J.-K. Sheu, M.-L. Lee, Y.S. Lu, K.W. Shu, IEEE J. Quantum Electron. 44 (2008) 1211–1218.

- 
7. A. Suzuki, T. Matsushita, T. Aoki, A. Mori, M. Okuda, *Thin Solid Films* 411 (2002) 23–27.
  8. A. Suzuki, T. Matsushita, N. Wada, Y. Sakamoto, M. Okuda, *Japan. J. Appl. Phys.* 35 (1996) L56–L59.
  9. B.M. Ataev, A.M. Bagamadova, V.V. Mamedov, et al., *J. Cryst. Growth* 198–199 (1999) 1222.
  10. J.G. Lu, S. Fujita, *J. Appl. Phys.* 101 (2007) 083705-7.
  11. T. Ohgaki, Y. Kawamura, T. Kuroda, N. Ohashi, Y. Adachi, T. Tsurumi, F. Minami, H. Haneda, *Key Eng. Mater.* (2003) 91–94.
  12. K. Nakahara, K. Tamura, M. Sakai, D. Nakagawa, N. Ito, M. Sonobe, H. Takasubel, H. Tampo, Matsubara, K. Iwata, A. Yamada, S. Niki, *Japan. J. Appl. Phys.* 43 (2004) L180–L182.
  13. M. Rydzek, M. Reidinger, M. Arduini-Schuster, J. Manara, *Progress in Organic Coatings*, volume 70, Issue 4, April 2011, Pages 369-375.
  14. H. Wang, M. Xu, J. Xu, M. Ren, L. Yang, *J. Mater. Sci., Mater. Electron.* 21 (2010) 589–594.

# SODA CAMI ÜZERİNE MOLİBDEN KATKILANMIŞ $TiO_2$ İNCE FİLMLEİN FOTOKATALİTİK ÖZELLİKLERİ



**Dr. Mehtap Özdemir Köklü <sup>1</sup>,  
Metin Kurt <sup>2</sup>, Sena Gülen <sup>2</sup>,  
Gülnur Aygün <sup>2</sup>,  
Prof. Dr. Lütfi Özyüzer <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Gediz Üniversitesi, Elektrik-Elektronik  
<sup>2</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik  
mehtap.koklu@gediz.edu.tr  
metinkurt@iyte.edu.tr  
senagulen@iyte.edu.tr  
gulnuraygun@iyte.edu.tr  
lutfiozyuzer@iyte.edu.tr

1979 Afyon Dinar doğumluyum, 2002 yılında Ege üniversitesi Fizik Bölümünden mezun oldum. 2006 yılından İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünden masturumu aldım. 2012 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi'nden doktora derecem aldım. 2009 yılında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladığım Gediz Üniversitesi Elektrik elektronik Mühendisliği bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaktayım.

## ÖZET

Önemli bir inorganik bileşik olan  $TiO_2$ ; ekonomik oluşu, yüksek foto iletkenliği, kolay elde edilebilmesi, yüksek kırma indisi, geniş bant aralığı gibi özelliklerinden dolayı en çok kullanılan yarıiletken malzemelerden biridir. Bu özelliklerinden dolayı da yüksek sıcaklık gaz sensörleri, güneş hücreleri, lityum pillerinde anot olarak, anti bakteriyel olarak, kemik implantlarında biosensör ve biyoyoumlu malzeme olarak kullanılmasının yanı sıra son zamanlarda  $TiO_2$ 'nin fotokatalitik özelliğinden de faydalanılmaktadır [1-3].

Fotokatalitik özellik, ultraviyole (UV) ışığın etkisi ile yüzeyde kuvvetli yükseltgen (oksitleyici) ortam oluşturan bir yarı iletken olduğundan bu etkiye sahip malzemeler ışığı absorbe ederek yüksek enerjili bir hale getirir ve bu enerjiyi reaktif maddelere transfer ederek kimyasal tepkimeyi başlatır. Böylece içinde temas ettiği organik yapıyı parçalar.  $TiO_2$ 'nin fotoaktivitesini artırmak amacıyla içerisine Pt (Platinyum), Au (Altın), Ag (Gümüş), Ru (Rutenyum), V (Vanadyum) ve Mo (Molibden) gibi metaller ilave edilmiştir [4]. Bu elementler  $TiO_2$ 'nin bant aralığının değişmesi ve normal güneş ışığında da fonksiyonel olarak görevini yerine getirebilmesini sağlarlar. Bu çalışmada 50 nm kalınlığında  $TiO_2$  ince filmler vakumda mıknatıssal saçırma yöntemi kullanılarak soda camları üzerine üretilmiştir. Üretilen ince filmler fotokatalitik özelliğini arttırmak için Mo ile katkılandırılmıştır. Üretilen filmlerin karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mo katkılı  $TiO_2$  Üretilen  $TiO_2$  ince filmlerin fotokatalitik özellikleri UV/Vis spektrofotometre yardımıyla belirlenmiştir. Sonuçlar endüstriyel uygulamalar açısından irdelenerek sunulacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** İnce Film,  $TiO_2$ , Mo

1. Lee, S.H., Tekmen, C. ve Sigmund, W.M. Materials Science and Engineering A, 398, 77-81 (2005).
2. Madhugin, S., Sun, B., Smirniotis, P.G., Ferraris, J.P., Balkus Jr, K.J. Microporous and Mesoporous Materials, 69, 77-83, (2004).
3. Wathanaorun, J., Pavaram, V. ve Supaphal, P., Science and Technology of Advanced Materials, 6, 240-245, (2005).
4. M. Ratova, P.J. Kelly, G.T. West, I. Iordanova. Surface & Coatings Technology, 228 544-549, (2013)

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:163  
©Şişecam

# BEYAZ VE ELEKTRONİK EŞYA SEKTÖRÜNDE CAM VE CAM ÜZERİ KAPLAMALAR



## Dr. Mustafa Sezer

Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme  
Merkezi, İstanbul, Türkiye  
mustafa.sezer@arcelik.com

*Dr. Mustafa Sezer; 1986 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği'nden mezun olduktan sonra, aynı Fakültenin Malzeme ve İmalat Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. 1991 yılından beri ise çalışma hayatına Arçelik A.Ş.'de devam etmektedir. Arçelik'te farklı departmanlarda uzman ve takım lideri olarak görev aldıktan sonra, 2013 yılında Ar-Ge Merkezi'nde Malzeme Teknolojileri Yöneticiliği'ne atanmıştır.*

*Dr. Sezer; İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği'nden, 1998 yılında Yüksek Lisans ve 2000 yılında Doktora derecelerini almıştır. Altı Sigma Kalite Yönetim Sistemi'nin Uzman Kara Kuşak sertifikasına sahiptir. Malzemelerin mekanik özellikleri ve yorulma davranışları üzerine çok sayıda yayını bulunmaktadır.*

*Dr. Sezer 2000 yılında, takviyeli plastiklerin yorulma davranışı üzerine yayınladığı makale ile Society of Plastic Engineers'den "Best Paper" ödülü almıştır.*

## ÖZET

Hijyenik ve yüksek dayanım özellikleri, estetik duruşu ve yüksek kalite algısı nedeni ile cam yüzeyler, beyaz ve elektronik eşya sektöründe oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Cam yüzeylerden beklentiler uygulamaya göre farklılıklar göstermekte olup; mukavemet, çizilme dayanımı, yansıtıcılık, estetik ve ısı dayanım en önemlileri olmaktadır.

Mevcut ihtiyaçlara ek olarak, cam yüzeyler türünlere yeni fonksiyonlar eklemek anlamında da umut vaat eden malzemelerdir. Bu yeni özelliklerin kazandırılmasında kaplamaların rolü de büyüktür. Kaplama teknolojilerinin de gelişimiyle birlikte özellikle beyaz ve elektronik eşya sektöründe fark yaratıcı ürünler ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca cam yüzeyler, görünüş gruplarında mevcutta kullanılmakta olan malzemelerin yerini alabilecek potansiyeldedir. Değişik mukavemetlendirme ve yüzey modifikasyon yöntemleri ile sektör için uygun maliyetlere erişilmesi de mümkün olacaktır.

Konuşmada, cam yüzeyler ve cam üzeri kaplama uygulamalarının sektördeki mevcut uygulamalarına örnekler verilerek, beyaz ve elektronik eşya sektörünün geleceğe yönelik bu yöndeki ihtiyaçlarına da değinilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** Kaplama

# ORMOSİL BASKI BOYALARI: ALTINYALDIZ RENK GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI



**Anıl Özen <sup>1</sup>, Burak İzmirlioğlu <sup>2</sup>,  
Dr. Arca İyiel <sup>3</sup>, Erdem Yıldırım <sup>4</sup>,  
Hakan Yavaşlar <sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Analitik ve Destek Hizmetleri Direktörlüğü

<sup>3</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü  
<sup>4</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı, Analitik ve Destek Hizmetleri Direktörlüğü

<sup>5</sup> Şişecam Topluluğu, Cam Ambalaj Grup Başkanlığı, Geliştirme Direktörlüğü  
anozen@sisecam.com  
bizmirlioglu@sisecam.com  
aiyiel@sisecam.com  
erdyyildirim@sisecam.com  
hyavaslar@sisecam.com

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:165-170  
©Şişecam

Anıl Özen, 2001 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı üniversitede, Prof. Dr. Levent Toppare ve Prof. Dr. Jale Hacaloğlu danışmanlığında "İletken Polimerler" üzerine yüksek lisans çalışmalarını yürüterek 2002 yılında mezun olmuştur. 2002-2005 yılları arasında Şişecam Soda Sanayi A.Ş. Geliştirme Grup Müdürlüğü'nde Geliştirme Uzmanı olarak çalışmış, çoğunlukla Kromsan ve Oxyvit Fabrikaları'na yönelik AR-GE projelerinde görev almıştır. 2005 yılından bu yana Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde "Sol-jel esaslı kaplamalar" konusunda araştırma çalışmalarına devam etmektedir.

## ÖZET

2001-2002 yılları arasında Prof. Dr. Volkan Günay önderliğinde TİDEB desteği alınarak yürütülen "Ormosil Baskı Boyaları" projesi kapsamında; boya kompozisyonu geliştirilmiş, uygulama şartları belirlenmiş, ilgili kimyasal ve fiziksel testler yapılmıştır. Beyaz ve kırmızı renk için kompozisyonun modifikasyonu ve uygulama şartlarının tespitine yönelik çalışmalar ise Dr. Refika Budakoğlu tarafından yürütülmüş olup çok sayıda üretim denemesinin ardından beyaz renk, İtalyan geri dönüşsüz Coca-Cola şişelerinde dolun hattı denemesini de başarıyla geçmiştir. Altınyaldız renkli ormosil baskı boyaları geliştirilmesine yönelik çalışmalarda; büyük ölçüde öncül proje çalışmaları sonucunda geliştirilen temel kompozisyon ve belirlenen uygulama şartları esas alınmıştır.c Altınyaldız renkli ormosil baskı boyaları geliştirme çalışmaları kapsamında;

- hem renk hem ışıltı etkisi veren efekt pigmentlerin karakterizasyonu yapılmıştır.
- boya hazırlama tekniği efekt pigmentlere uygun olan yeni bir yaklaşımla ele alınmıştır.
- renk açısından hedeflenen termoplastik esaslı altınyaldız boya spektrofotometrik ölçümlerle tanımlanmıştır.
- farklı nitelik ve oranlarda efekt pigmentler kullanılarak hazırlanan çok sayıda kompozisyon çalışılarak ideal kompozisyon tespit edilmiştir.
- termoplastik esaslı altınyaldız boya ile altınyaldız renkli ormosil baskı boyalarının maliyet kıyaslama çalışması yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Boya, Ormosil, Altın Yaldız

Çalışma kapsamında; inorganik esaslı "Altın yaldız" rengi boyanın kullanıldığı referans olarak seçilen bir şişede aynı renk ve ışıltı etkisinin ORMOSİL (ORGanik MODifiye SİLan) baskı boyaları ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Temel hedef; mekanik özellikleri termoplastik boyalara, uygulama kolaylıkları da organik boyalara benzer yeni bir boya elde edilmesidir.

İnorganik esaslı termoplastik boyalar; yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal dayanıklılık, aynı anda birden fazla baskı yapabilmeleri ve geri dönüşlü ürünlerde kullanılabilme avantajları ile öne çıkmaktadır. Dezavantajları ise yüksek sıcaklıkta pişme gereklilikleri ve ağır metal içerikleridir. Organik esaslı polimerik boyaların avantajları ise; düşük sıcaklıklarda sertleşmeleri, ağır metal içermemeleri ve sınırsız sayıda renk seçeneği olarak özetlenebilir. Dezavantajları ise düşük aşınma dirençleri, geri dönüşlü ürünlerde kullanılmamaları, yüzey temizliği ve soğuk kaplamasız şişe kullanımı gerekliliği olarak sıralanabilir. Ormosil boyalar, inorganik ve organik boyalara alternatif olması amacıyla üretilen organik ve inorganik yapılar içeren hibrid malzemelerdir. Bu malzemelere pigment, inorganik ve organik katkıları ilave edilebilir.

Renklendiriciler, renk pigmentleri ve boyalar olmak üzere kabaca ikiye ayrılırlar. Renk pigmentleri, organik ve inorganik yapıya olabirler, opaktırlar, medium içerisinde çözünmezler. Boyalar ise organik yapıdadır, transparan olup su ve yağda çözünürler. Sadece renk değil ışığı da istendiğinde, temelde renk pigmentlerinin özelliklerini gösteren efekt pigmentler devreye girer.

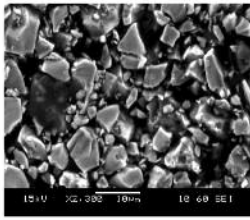
Klasik pigmentler izometrik parçacıklardan oluşur, bu parçacıklara düşen ışık seçici olarak absorblanır ve saçılma dağılımı olur. Metal efekt pigmentlerde ise plaka yapılı

pigmentler üzerine düşen ışık ayna etkisi yaratan bu plakalardan olduğu gibi yansır. Sedef efekt pigmentler ise taşıyıcı bir plaka üzerine metal oksitlerin kaplanmasıyla elde edilirler ve üzerlerine düşen ışık kırma indisleri farklı tabakalar arasından birden fazla yansımayla geri döner. Böylece ışığı etkisi oluşur.

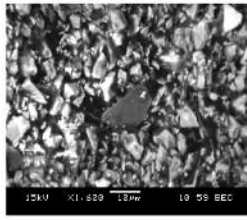
Ormosil esaslı altın yıldız renk geliştirme çalışmaları kapsamında öncelikle hedef renk irdelenmiştir. Hedef renk, kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) içeren termoplastik esaslı bir boya ile elde edilmektedir. Bu boyanın Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntülerinde (Şekil-1) farklı parlayan taneler tespit edilmiştir. Boyanın genel Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) analizinde Pb ve Cd içerdiği görülmüştür. Parlayan tanelerin ayrı ayrı EDS analizlerinden ise parlayan tanelerin alüminyum (Al), titanyum (Ti) ve demir (Fe) oksit içeriklerinin yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo-1). X-Işını Floresans (XRF) spektrometresi analiz sonuçları ile de boyanın Pb ve Cd içeriği teyit edilmiştir (Tablo-2).

Hedef renk 200 mesh çelik şablonla bal rengi şişelere uygulanmakta ve maksimum 625 °C'ye çıkan kademeli bir ısı rejimle 2-2,5 saat süreyle pişirilmektedir. Baskılı yüzeyi ve baskı kesitinin SEM görüntülerinde plaka şeklinde parçacıklar olduğu görülmüştür (Şekil-2). EDS analizleri sonucunda plakaların Al, Fe ve Ti oksit içeriklerinin boyadaki gibi yüksek

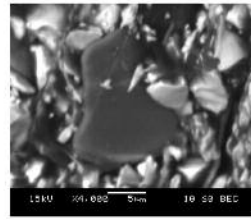
**Şekil 1. İnorganik esaslı hedef altın yıldız boya - SEM görüntüleri**



1) Boyanın genel görüntüsü



2) Boyanın genel görüntüsü



3) Boyanın genel görüntüsü

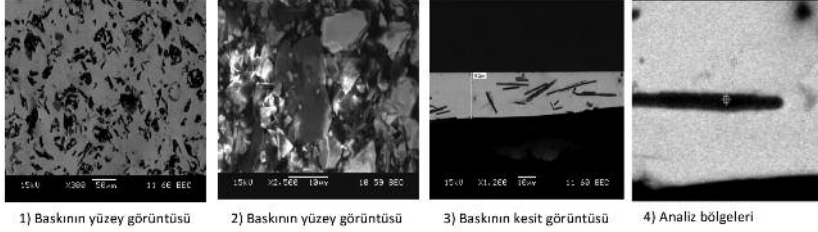
**Tablo 1. İnorganik esaslı hedef altın yıldız boya - EDS analiz sonucu (% Ağırlık)**

Boya	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CdO	PbO
1) Genel analiz	2.38	-	31.14	0.75	9.10	3.50	5.85	47.28
2) Parlayan tane	-	10.69	35.38	2.67	26.64	15.87	-	8.74
3) Parlayan tane	-	12.12	38.41	3.24	26.39	12.15	-	7.69



**Tablo 2. İnorganik esaslı hedef altınyıldız boya - XRF analiz sonucu (% Ağırlık)**

Boya	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	ZnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CdO	PbO
Analiz	0.93	1.19	13.1	1.74	0.18	9.26	0.28	2.98	1.99	7.99	60.00

**Şekil 2. İnorganik esaslı hedef altınyıldız boya uygulanan dekor - yüzey kesit SEM görüntüsü****Tablo 3. İnorganik esaslı hedef altınyıldız boya uygulanan dekor - EDS analiz sonucu (% Ağırlık)**

Baskı kesiti	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rh <sub>2</sub> O	CdO	PbO
1. bölge	1.82	0.45	14.16	37.75	0.31	3.84	-	12.24	13.44	-	-	15.99
2. bölge	2.84	-	0.51	29.97	0.00	0.16	0.67	5.24	-	1.10	6.22	53.29

**Tablo 4. İnorganik esaslı hedef altınyıldız boya uygulanan dekor - XRF analizi sonucu (% Ağırlık)**

Baskı yüzeyi	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	ZnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CdO	PbO
Genel analiz	2.68	3.36	33.1	2.44	0.25	11.20	0.21	3.26	0.99	2.11	40.10

**Tablo 5. İnorganik esaslı hedef altınyıldız boya uygulanan dekorun yansıma renk ölçümleri**

Hedef renk - mesh	%R	L	a	b
Hedef renk - 230	34,9	65,9	3,5818	38,7526
Hedef renk - 300	31,2	62,9	2,6683	34,8472

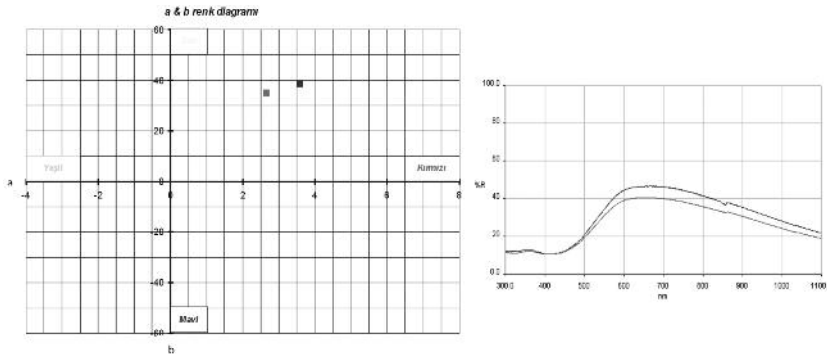
olduğu dikkat çekmiştir (Tablo-3). Baskılı yüzeyde yapılan XRF sayımı da EDS sonuçları ile paralel olup Pb ve Cd içeriğine işaret etmektedir (Tablo-4).

Bal rengi şişeye uygulanan hedef renk, fabrika ortamında 230 ve 300 mesh çelik şablonlarla düşük demirli float cama

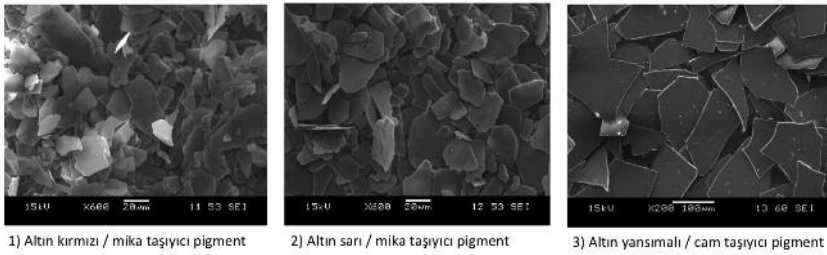
basılmış ve yansıma renk ölçümleri alınmıştır. L,a,b değerleri tespit edilerek a,b renk uzayında rengin yeri belirlenmiştir (Tablo-5) (Şekil-3).

Ormosil baskı boyları ile altın yıldız rengin elde edilmesi çalışmalarında öncelikle farklı firmalardan, çeşitli tane

**Şekil 3. İnorganik esaslı hedef altınyaldız rengin a,b renk uzayındaki yeri**



**Şekil 4. Efekt pigmentler - SEM görüntüleri**



**Tablo 6. Efekt pigmentler - EDS analiz sonuçları (% Ağırlık)**

Pigmentler	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	CdO	PbO
1) Altın kırmızı	0.26	-	19.14	26.85	5.97	-	27.31	20.48	-	-	-
2) Altın sarı	0.21	-	12.92	33.54	3.74	-	29.80	19.78	-	-	-
3) Altın yansımali	7.03	1.90	3.21	64.44	0.84	6.85	11.29	-	4.44	-	-

boyutlarında ve farklı taşıyıcı plakalar içeren efekt pigmentler temin edilmiştir. Pigment içerikleri, pigment ve dolgu malzemesi oranları değiştirilerek farklı kompozisyonlar çalışılmıştır.

Boyanın klasik dispersiyon tekniği ile hazırlandığında; pigment plakalarını kırıldığı ve renk hedefine ulaşılsa da ışıltı efektinin yok olduğu fark edilmiştir. Bunun üzerine pigmentsiz medium, dispersiyon tekniğiyle hazırlanmış ardından pigment ilave edilerek kesici uçları olmayan, yuvarlak hatlı teflon uçla düşük devirde sisteme yedirilmiştir.

Mika ve cam taşıyıcılı 3 farklı efekt pigmentin SEM görüntülerinden mikalara benzediği (Şekil-4), EDS ve XRF

analizleriyle de Pb ve Cd içermediği, Ti ve Fe oksit içerdiği tespit edilmiştir (Tablo-6) (Tablo-7).

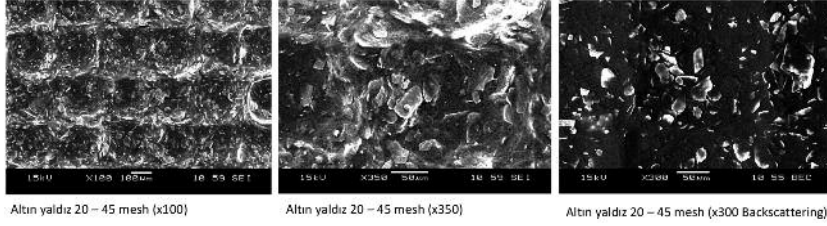
Laboratuvar şartlarında farklı meshlerdeki poliester şablonlarla Ormosil baskı boya uygulanan ve 1500°C'de 30 dk. kürleştirilen dekorlu yüzeylerin SEM görüntülerinde de plaka yapılar net olarak görülmüş (Şekil-5), EDS sonuçlarından da Pb ve Cd içermediği, Ti ve Fe oksit yapılar içerdiği tespit edilmiştir (Tablo-8).

Laboratuvar şartlarında çalışılan 50'ye yakın kompozisyonla elde edilen numunelerin tamamının spektral ölçümleri alınarak sonuçlar a-b renk uzayında değerlendirilmiştir (Tablo-9) (Şekil-6). İki kompozisyonda hedef renge oldukça yaklaşıldığı,

Tablo 7. Efekt pigmentler - XRF analiz sonuçları (% Ağırlık)

Pigmentler	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	CdO	PbO
1) Altın kırmızı	0.39	0.21	21.10	22.00	6.59	-	27.10	21.50	-	-	-
2) Altın sarı	0.33	0.17	13.80	28.80	4.47	-	31.00	20.80	-	-	-
3) Altın yansımali	6.33	1.72	3.39	57.50	1.78	11.80	7.94	0.16	8.23	-	-

Şekil 5. Ormosil esaslı altınyıldız boya uygulanan dekor yüzeyi - SEM görüntüleri



Tablo 8. Ormosil esaslı altınyıldız boya uygulanan dekor yüzeyi - EDS analiz sonucu (% Ağırlık)

Altın yıldız 20 – 45	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	CdO	PbO
Matris	-	-	9.32	79.93	-	-	5.57	5.17	-	-	-
Tane 1	-	-	24.71	40.67	7.99	-	12.93	13.71	-	-	-
Tane 2	-	-	13.11	39.05	3.94	-	22.77	21.13	-	-	-

Tablo 9. Ormosil esaslı altınyıldız boya uygulanan dekorun yansım renk ölçümleri

Kompozisyonlar - mesh	%R	L	a	b
Altın yıldız 20 - 45 mesh	26,1	58,4	3,2057	37,8060
Altın yıldız 33 - 45 mesh	29,0	61,1	3,0105	35,6645

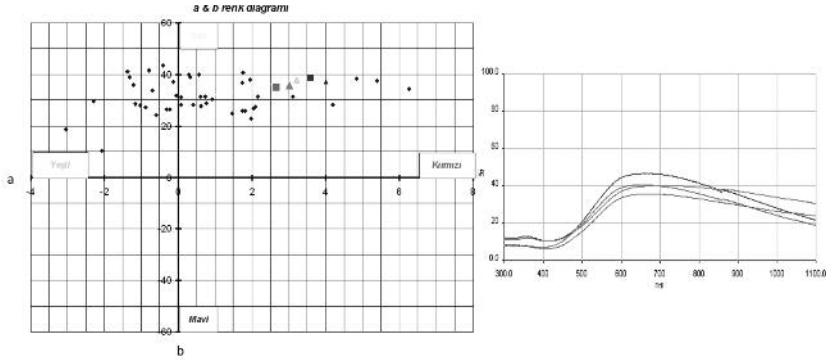
sadece örtücülüğün biraz daha iyileştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Çok sayıda fabrika denemesi sonucunda elde edilen numunelerin mekanik ve kimyasal dayanım testleri sonucunda istenen seviyede dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Boyanın cam yüzeyine olan yapışma kuvvetini ortaya koyan yapışma testi, boyanın sertlik değeri ile ilgili bilgi veren kalem testi sonuçları ve kimyasal dayanım sonuçları beklentileri karşılayacak seviyede elde edilmiştir.

Proje çalışması kapsamında olmasa da fabrika denemelerinden elde edilen ormosil altınyıldız baskılı şişeler bulaşık makinesi dayanımı açısından da irdelenmiştir. 1000 çevrim sonunda numunelerde herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Bulaşık makinesi testinde, zücciyeye ürünlerinde kullanılan gerçek altın içeren altın yıldız boyalarda 20 çevrim sonunda gözle görülür şekilde değişim gözlenirken sahte altın boyalar ise 500 çevrime kadar dayanmaktadır.

Ormosil esaslı altınyıldız boyanın tüketim miktarları fabrika denemeleri sırasında belirlenmiş ve 1 gram boya ile 15 adet

**Şekil 6. Ormosil esaslı hedef altınyaldız rengin a,b renk uzayındaki yeri**



referans şişenin boyanabileceği tespit edilmiştir. Öte yandan 1 gram termoplastik boya ile 10 adet referans şişe boyanabilmektedir. Ormosil esaslı boyanın birim maliyetinin, termoplastik boyanın birim fiyatından yarı yarıya daha düşük olduğu da hesaba katıldığında; Ormosil altınyaldız boyanın ekonomik bir çözüm yaratacağı değerlendirilmektedir.

Düşük sıcaklıklarında sertleşen Ormosil esaslı altınyaldız boyaların enerji tüketimleri de düşüktür. Yüksek sıcaklıkta pişirilen inorganik esaslı termoplastik boyalarla kıyaslandığında sadece enerji maliyetinde % 73 oranında bir azalma sağlamaktadır.

# ÜRÜNLERE KATMA DEĞER KATAN TEZYİNAT İLE İLGİLİ GELİŞTİRMELER



**Ferdi Keskin**

Şişecam Topluluğu, Cam Ev Eşyası Grup Başkanlığı, Üretim Başkan Yardımcılığı  
fkeskin@sisecam.com

*Ferdi Keskin 2005 yılında Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliğinden mezun olmuştur. Halen Paşabahçe Kırklareli fabrikasında, Soğutma Sonu Mühendisi olarak görev yapmaktadır.*

## ÖZET

Son dönemlerde; katma değeri yüksek, süslemeli ürünlere talep giderek artış göstermektedir. Bu kapsamda, Kırklareli Fabrikasında yapılan geliştirme, maliyet düşürme ve müşteri taleplerinin karşılanması yönünde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Tabak baskıda kullanılan ve hurdaya ayrılan baskı silikonlarının üzerine kaplama yapılarak tekrar kullanılmaya kazandırılması sağlanmış, bunun sonucunda silikon maliyetlerinde % 50 tasarruf sağlanmıştır. ~50.000 Euro / Yıl
- 2) Alt Yapımcılarda manuel olarak fırça ile yapılan ağız bant uygulaması, otomatik baskı makinası ile on line yapılmaya başlanmıştır. Maliyet avantajı, kalite artışı ve taleplere daha hızlı cevap verebilir hale gelinmiştir. Bunun sonucunda, Alt yapımcıya ödenen altın bant uygulamalı ürün maliyetlerinden % 30 maliyet avantajı karşılığı ~850.000 TL/ Yıl tasarruf sağlanmıştır.
- 3) Termoplastik organik boya ile kabartma baskı numuneleri yapılmış, talep olması halinde seri üretim yapılabilceği Satış Pazarlama gurubuna aktarılmıştır.
- 4) Bardak baskılarda ürünün tabanına 7-10 mm olan baskı mesafesi tabana 1-2 mm ölçüsüne kadar düşürülerek, müşteri talepleri karşılanabilir hale gelmiştir.
- 5) Tabak baskılarda organik boya ile baskı denemeleri yapılmış, geliştirme çalışmalarına devam edilmektedir.
- 6) Kare ürünlere baskı denemeleri olumlu sonuçlanmış, talep olması halinde seri üretim yapılabilceği Satış Pazarlama grubuna aktarılmıştır.
- 7) Radyal beklili ikinci off line temperleme ünitesi devreye alınmış, off line temperleme verimleri ~% 10 mertebelerinde artırılmıştır.
- 8) Cam ambalaj ürünlerine Off-line temperleme yapılarak ürünlerin dayanımının artırılması çalışmaları olumlu olmuş, deneme ve test çalışmalarına devam edilmektedir.
- 9) T.P Altın yıldız boya, üretici firma ile birlikte geliştirilmiş ve bulaşık makinası dayanımlarında 3 kata varan artış sağlanmıştır.
- 10) Borcam ürünlere baskı ve baskı sonrası temperleme çalışmaları yapılmış. Talep olması halinde seri üretim yapılabilceği Satış Pazarlama gurubuna aktarılmıştır.
- 11) Opal tabaklara tampon baskı ve of line temperleme çalışmaları yapılmıştır. 340 mm uzunluğunda oval tabağa ve 310 mm çapında yuvarlak tabağa seri olarak baskı çalışmaları yapılmıştır.

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:171  
©Şişecam

**Anahtar Sözcükler:** Süsleme, Dekor, Temperleme

# CAM AMBALAJ ÜRÜNLERİNİN SOL-JEL SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> NANOKOMPOZİT KAPLANARAK MEKANİK DAYANIMLARININ ARTTIRILMASI



**Dr. Refika Budakoğlu<sup>1</sup>,  
Dadal Arıburnu<sup>1</sup>, Anıl Özen<sup>1</sup>,  
Gülşah Kahraman<sup>1</sup>,  
Hakan Yavaşlar<sup>2</sup>,  
Prof. Dr. Seda Özmutlu<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Araştırma ve  
Teknoloji Geliştirme Başkanlığı,  
Araştırma ve Teknoloji Direktörlüğü

<sup>2</sup> Şişecam Topluluğu, Cam Ambalaj Grup  
Başkanlığı, Geliştirme Müdürlüğü

<sup>3</sup> Yön-Eylem Bilgi Sistemleri  
rbudakoglu@sisecam.com  
dariburnu@sisecam.com  
anozen@sisecam.com  
gkahraman@sisecam.com  
hyavaslar@sisecam.com  
s.ozmutlu@yon-eylem.com

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:172-176  
©Şişecam

*Lisans eğitimini Doğu Akdeniz Üniversitesi, Kimya İşletmeciliği Bölümü'nden 1996 yılında, Yüksek Lisans eğitimini ise Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Bölümü'nden 1998 yılında tamamladıktan sonra T. Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Cam Araştırma Merkezi'nde Araştırma Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. Araştırma Merkezi'nde çalıştığı süreç içerisinde 2003-2007 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nde 'Cam yüzeylere Sol-Jel prosesiyle hidrofobik ve oleofobik özelliklerin kazandırılması ve aşınmaya karşı dirençlerinin incelenmesi' başlıklı tezi ile doktorasını tamamlamıştır. Dr. Refika Budakoğlu, ŞİŞECAM Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde Yönetmen Uzman Araştırmacı olarak çalışmaktadır.*

## ÖZET

Cam ambalaj, içerdiği malzemeleri uzun süre sağlıklı şartlarda muhafaza etmesine rağmen ağır olmasından dolayı, ikame ürünlere göre kullanımı sınırlanmaktadır. Şişelerin, nanokompozit SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> kaplanarak mekanik dayanımlarının %20 artırılması hedefiyle TÜBİTAK 1501 destekli 3130174 no'lu bir proje çalışması başlatılmıştır. Sol-jel prosesiyle hazırlanan SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> nanokompozit kaplama çözeltileri şişelere daldırma yöntemiyle kaplanmıştır. Laboratuvar ölçeğinde tekli şişe kaplama uygulamasından başlayıp pilot ölçeğinde çoklu şişe daldırma prosesiyle tamamlanması hedeflenen proje çalışması; kaplama geliştirme, uygulama ve testlerden oluşan döngüleri içermektedir. Kaplama geliştirme çalışmalarındaki proses parametrelerinin etkinliğinin belirlenmesi amacıyla, optimal veya optimale yakın parametre kombinasyonlarının tespit edilmesi için bir deneysel tasarım çalışması ve çok sayıda şişeden elde edilen dayanım test verilerinin istatistiksel analizi yapılmıştır.

Proje kapsamında geline proses şartlarının uygulamaya dönüşmesi amacıyla, Elektrostatik Disk Boyama Tesisinde fabrika denemesi yapılmıştır. Fabrika denemesinde, hem kaplama hem de uygulama optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ölçeğine paralel sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Cam Ambalaj, Sol-Jel Nanokompozit, Daldırarak Kaplama, Elektrostatik Disk Boyama, Deneysel Tasarım.

## 1. GİRİŞ

Camın mukavemeti, yoğunluk ya da iletkenlik gibi malzemeye özgü bir özellik olmadığı için kendi içinde uzanım ve çeşitlilik gösterir. Temel olarak; camın mukavemetini Bükülmezlik (megapaskal), Gerilim kuvveti (gigapaskal) ve Kırılma tokluğu (jul/m<sup>2</sup>) oluşturmaktadır. Cam, diğer malzemelerle (örn. tahta, metal) kıyaslandığında daha yüksek Bükülmezlik ve Gerilim kuvvetine sahip olmasına rağmen Kırılma tokluğu oldukça düşük olduğundan kırılma tokluğunun artırılması

gerekir. Camın kullanım esnasındaki mukavemeti yüzey şartlarıyla belirlenen ve istatistiksel bir dağılım gösteren dışsal bir özelliktir. Sol-jel kaplama yöntemi, camda önceden bulunan veya daha sonra oluşabilecek hataların giderilmesini sağlayan bir yöntemdir. Mukavemet artmasını sağlayan mekanizmalar, mikroçatlakların tamamen veya kısmen doldurulması, yüzeyde basma gerilimleri oluşturulması ve çatlak uçlarının kaplama çözeltisiyle dağlanmasıdır. 1980 yılından itibaren camın mukavemetini artırıcı özellikte kaplamaların geliştirilmesi hız kazanmıştır. Kaplamalar, Anorganik (cam, seramik), Polimerik (organik), Ormosil (ORanik MODifiye edilmiş SİLanlar) Polimerik ve Ormosil tanımları altında sınıflandırılmaktadır. Anorganik camsı kaplamalarla cam yüzeyinin birbirine çok iyi kimyasal bağ oluşturması nedeniyle mekanik yüklenme sonrasında kaplama içerisinde mikro-çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar cam içerisinde kolayca ilerleyebilmektedir. Polimerik kaplamaların (1,2) ise kalınlıkları 50 mikron civarında olduğu için bu kaplamalar cam geri dönüşümünde tolere edilen karbon çıkışı aşmaktadır. Ormosil polimerik kaplamalar, hem polimerik kaplamalardan daha düşük kalınlıklarda üretilebilmekte hem de cam ile arasındaki kimyasal bağ ve elastik modülü istenilen şartlara getirilebilmesinden dolayı kullanım potansiyeli olan kaplamalardır. Bu kaplamaların bilinen en büyük dezavantajı yeterince sert olmamaları nedeniyle kolay çizilmeleridir. Ormosil (3,4) kaplamalar ise, Ormosil Polimerik kaplamalara benzer avantajlarının yanında polimer-reçine içerikli olmadıkları için çizilme dayanımları daha yüksektir (5).

Söz konusu avantajlardan yola çıkarak düzcamlar örneklerle daldırarak kaplama yöntemiyle ormosil esaslı nanokompozit SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> kaplamalar uygulanmış ve kaplama bileşenlerinden gelen optik ve fiziksel özellikler dikkate alınarak kaplama optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kaplama kürleşme şartları, cam yüzey özellikleri ve kaplama kalınlıklarının mukavemete olan etkisi ROR (Ring-on-Ring) testi ile elde edilen mukavemet dağılım verileriyle değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar 8. PacRIM Konferansının 24. Sempozyumunda 'Cam Mukavemeti' konulu Atölye çalışmasında Dr. Bülent Yoldaş ve Dr. Refika Budakoğlu tarafından sunulmuştur (6). Ayrıca, optimum kaplama prosesiyle düzcamlar kaplanarak elde edilen örnekler ROR teste kıyasla yüzey şartlarına daha çok hassas olan Hertzian testi ile test edilmiştir (7). Geline aşamada, şişelerin, nanokompozit SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> kaplanarak mekanik

dayanımlarının %20 artırılması hedefiyle TÜBİTAK 1501 destekli 3130174 no'lu bir proje çalışması başlatılmıştır.

## 2. MALZEME VE METOD

Sol-jel prosesiyle sıvı halde hazırlanan çeşitli kompozisyonlardaki hibrid SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> nanokompozit kaplama çözeltilerine daldırarak düzcamlar kaplanmış ve mukavemet değerleri Instron Mekanik Test cihazına monte edilen ROR (Ring-on-Ring) ve Hertzian testleri ile ölçülmüştür.

Düzcamlar yüzeyler için optimize edilen kaplama prosesinden yola çıkarak farklı yüzey özelliklerindeki (sıcak ve soğuk kaplama uygulanmamış, sıcak kaplamalı, soğuk kaplamalı) şişelere yönelik deneysel tasarım planları yapılmış ve şişeler daldırarak kaplanmıştır. Şişelerin mukavemet bilgileri Darbe ve İç Basınç test değerleriyle belirlenmiştir.

### 2.1. Mekanik Testler

#### 2.1.1. ROR Test

Şişecam Cam Araştırma Merkezi Sol-Jel Laboratuvarında düzcamlar örneklerine kaplama uygulamaları yapılmış ve kaplama bileşenlerinden gelen optik ve fiziksel özellikler dikkate alınarak kaplama optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Kaplama kürleşme şartları, cam yüzey özellikleri ve kaplama kalınlıklarının mukavemete etkisi çeşitli mukavemet dağılım grafikleriyle belirlenmiş ve PacRIM konferansında sunulmuştur (Tablo 1, Çizelge 1).

#### 2.1.2. Hertzian Test

ROR testi yapılan ve benzer mukavemet artışları veren kaplamalardan optiksel ve fiziksel direnci en yüksek kaplama kompozisyonu ile düzcamlar kaplanmış ve camların hava ve kalaya maruz kalan yüzeyleri Hertzian testi ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2, Çizelge 1). Düzcamların kalay banyosundan geçen yüzeyi rulolara temas sonucunda hava yüzeyine kıyasla daha derin mikroçatlaklara sahip olduğu varsayıldığından, nanokompozit SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> kaplamasının mikroçatlakları dağlayarak yüzeyi iyileştirdiği şeklinde yorumlanmıştır.

### 2.2. Deneysel Tasarım ve Veri Analizi

Şişeler için 3 değişken (kaplama kompozisyonu - şişe yüzeyi - kürleşme süreleri) ve 3 seviyeli (SG1,SG2,SG3 - kaplamasız, sıcak kaplamalı, sıcak ve soğuk

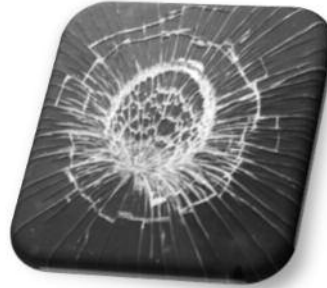
**Tablo 1. Farklı kaplama kompozisyonlarıyla kaplanmış ve kaplanmamış çentikli düzcam örneklerinin ROR test verileri**

İstatistiksel Veriler	Çentikli Örnekler				
	Kaplamasız (MPa)	Kompozisyonu optimize edilen örnekler (MPa)			
		1	2	3	4
<b>Mukavemet (MPa)</b>	77,9	225,2	229,0	233,1	228,7
<b>Standart Sapma (MPa)</b>	6,5	30,3	29,8	24,2	23,1
<b>Varyasyon Katsayısı</b>	8,4	13,5	13,0	10,4	10,1
<b>% Artış</b>	-	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>200</b>	<b>190</b>
<b>Weibull m</b>	13,5	7,7	8,4	11,0	10,9

**Çizelge 1. Kaplanmamış (a) ve kaplanmış (b) yüzeylerin ROR testi sonrası kırılma paternleri**



(a. Kaplanmamış)



(b. Kaplanmış)

**Tablo 2. Hava ve kalay tarafı kaplanmış düzcam örneklerinin Hertzian test değerleri**

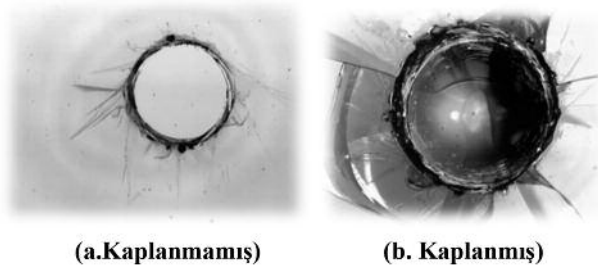
Örnek	Camın Hava Tarafı		Camın Kalaylı Tarafı	
	Ortalama Yük (N)	Standart Sapma	Ortalama Yük (N)	Standart Sapma
1.1 Kaplamsız	566.9	52.2	539.1	39.2
1.2 Kaplamalı	<b>1123.9</b>	75.8	<b>1337.2</b>	75.4

kaplamalı(LP25), 150°C-170°C, 190°C) ilk Deneysel Tasarım Planı oluşturulmuş ve kaplanan şişelerin mukavemet değerleri Darbe ve İç Basınç Testleri sonucunda belirlenmiştir. Deneysel tasarımdan yola çıkılarak yapılan veri analizi sonucunda, kaplama kompozisyonu olarak SG1, şişe yüzeyi

olarak sıcak ve soğuk kaplamalı şişelerle en yüksek mukavemet artışları elde edildiği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, verilerin açıklayıcılığını artırmak amacıyla, daha önce göz önüne alınmayan parametrelerin dahil edileceği yeni bir deneysel tasarım yapılmıştır.



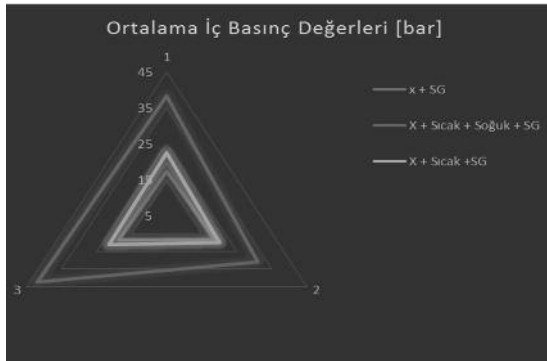
**Çizelge 2. Kaplanmamış ve kaplanmış yüzey örneklerin Hertzian testi sonrası kırılma paternleri**



(a.Kaplanmamış)

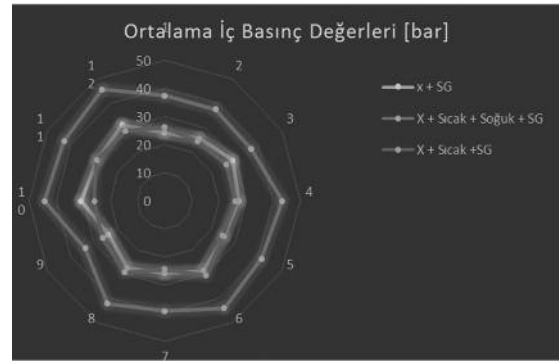
(b. Kaplanmış)

**Çizelge 3. İkinci Deneysel Tasarım Planı kapsamında kaplama uygulanan farklı yüzeylerin ortalama iç basınç test sonuçları**



Referans Değerler	[bar]
(x: kaplamasız şişe)	
x	15,2
x + sıcak	16,2
x + sıcak + soğuk	28,5

**Çizelge 4. İkinci Deneysel Tasarım Planı kapsamında kaplama uygulanan farklı yüzeylerin ortalama iç basınç test sonuçları**



Referans Değerler	[bar]
(x: kaplamasız şişe)	
x	19,0
x + sıcak	21,2
x + sıcak + soğuk	34,5

İkinci Deneysel Tasarım çalışmasından sonra üretim parametrelerinin etkinliği belirlenmiş ve kaplama proses parametreleri daha çok netleştirilmiştir. Darbe sonuçlarında, maksimum %20, İç Basınç sonuçlarında ise, maksimum %30 artış veren kombinasyonlar belirlenmiştir (Çizelge 3).

Üçüncü Deneysel Tasarım çalışması sonucunda ise x+sıcak+soğuk+kaplama kombinasyonunun en etkili değişken seviyesi olduğu görülmektedir. Bu kombinasyonla elde edilen kaplamalarla birlikte tavlama öncesi iç basınç değerlerinde ortalama %30, darbe değerlerinde ortalama %7 artış, şişeler temas ettikten sonra ise, iç basınç değerlerinde ortalama %24 ve darbe değerlerinde ortalama %9 artış tespit edilmiştir (Çizelge 4).

### 3. SONUÇ

Sol-jel prosesiyle hazırlanan SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> nanokompozit kaplama çözeltileri düzcam ve şişelere daldırarak kaplama yöntemiyle uygulanmıştır. Düzcamlara uygulanan kaplamaların mukavemetleri ROR ve Hertzian testleriyle, şişelere uygulanan kaplamaların mukavemetleri ise iç basınç ve darbe testleriyle belirlenmiştir. Gelişen aşamada, kaplama uygulamasının çok sayıda şişede birçok parametrenin birarada etkinliğinin belirlenmesi amacıyla deneysel tasarım ve veri analizi çalışmaları yapılmış ve optimum kaplama proses şartları ile şişe yüzey şartları belirlenmiştir. Laboratuvar ölçeğinde belirlenen proses şartlarının uygulamaya dönüşmesi amacıyla, Elektrostatik Disk Boyama Tesisinde bir kaplama denemesi yapılmıştır. Elektrostatik kaplama denemesinde

120 gr lık şişelere kaplama uygulanmış ve %30-50 mukavemet artışları elde edilmiştir. Ürün Tasarım Müdürlüğü tarafından yapılan ağırlık analizi çalışmasında 127 gr lık şişenin mukavemeti kaplama ile % 30 arttığı durumda 145 gr'lık şişenin mukavemetine denk gelmiş ve dolayısıyla %17 hafifleme getirmiştir.

## TEŞEKKÜR

Şişelerin temini ve iç basınç, darbe, kayma testlerinin yürütülmesini sağlayan Sn.Bülent Eren, Sn.Oya Saçar, Sn.Haldun Berkkan, Sn.Ferai Süzgün ve Sn.Müge Koca'ya, proje çalışmalarına yönlendirici bilgiler sunan Sn. Hüseyin Bekçi, Sn. Tamer Öztürk ve Sn. Seda Yılmaz'a, hafifletme analiz çalışmalarını yürüten Sn. Alp Aruca ve Sn. Levent Bozkurt'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Parlar H. A.(Çeviren), 'Yeniden doldurulan bilir cam kaplarda polimer kaplama', Teknik Bülten, s7-10, 1994.
2. Meyer H. ' Lightweight glass technology: weight reductions and surface coatings', Glastech. Ber. Glass Sci. Technology, Vol. 67, No.7, s 207-209, 1994
3. Verganelaksi V., Nicolaou P, D. ve Kordas G. "Processing and properties of glass strengthened by ormosil coatings", Glass Technology, Vol. 41, s22-29, 2000.
4. S. Kırtay, E. Oktay, V. Gunay, "Glass strenthening by SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> organically modified silica coating", Thin solid Films, Vol :515, No:4, Dec.5, pp ;2145-2152, 2006.
5. Budakoğlu R., 'Camın Mukavemetini Artırmaya Yönelik Mevcut Teknolojiler ve Gelişmeler', Cilt:39, Sayı:3, Syf: 204, Teknik Bülten (ŞİŞECAM), Eylül 2010
6. Budakoğlu R., Levent Özen A., Arıburnu D, Yoldaş, B. ' The Improvement of Fracture Toughness of Glass by a Surface Modifying Coating ' (Invited), 8<sup>th</sup> Pacific RIM Conference on Ceramic and Glass Technology, Vancouver, Canada.
7. Contrubition to NSF-supported project: PI/co-PI(s): Carlo Pantano, Himanshu Jain  
Project Title: International Materials Institute for New Functionality in Glass (IMI-NFG) - Phase II (2009-2014)

# YENİ ORGANİK KAPLAMA HATLARI



**Haluk Erdem<sup>1</sup>,  
Dr. Yüksel Soykut<sup>1</sup>,  
Engin İnnal<sup>2</sup>, Umut Enkara<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Şişecam Topluluğu, Cam Ev Eşyası  
Grup Başkanlığı, Geliştirme Direktörlüğü

<sup>2</sup> Cam Ev Eşyası Grup Başkanlığı,  
Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
Mersin Fabrikası

<sup>3</sup> Cam Ev Eşyası Grup Başkanlığı,  
Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
Eskişehir Fabrikası

herdem@sisecam.com

ysoykut@sisecam.com

einnal@sisecam.com

uenkara@sisecam.com

*Haluk Erdem, Lisans eğitimini ODTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde 1994 yılında tamamladı. 2000 yılında İşletme yüksek lisans derecesini "Üretim çizelgelemede bilgisayar kullanımının irdelenmesi: Paşabahçe Fabrikası örneği" konulu tezıyla Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden aldı.*

*Pres üfleme ürünlerin temperleme teknolojisinin geliştirilmesine yönelik 1999 yılında başlatılan teorik ve deneysel proje çalışmasında deneysel çalışmaları yürüttü. Bu çalışmanın ilk sonucu olarak Döner Şoklamalı Temperleme Sisteminin tasarımına katkıda bulundu. Bu projenin sonucunda gerçekleştirilen ilk üretim hattı 2001 yılında Kırklareli Fabrikasında devreye alındı.*

*Cam Ev Eşyası Grubunu temperli cam ev eşyası üretiminde kendi tasarımı temperleme hatları ile dünyada en önde gelen lider üretici konumuna yükselten adımların birçoğuna katkıda bulundu. Bunlar arasında Eskişehir Fabrikasında OCMI hattında üretilen ayaklı bardaklar için temperleme tekniğinin geliştirilmesi (2001) ve ilk ayaklı bardak temperleme hattı (2004)sayılabılır.*

*2004 yılında Tuzla Tezyinat İşletmesinin kuruluşunda önemli rol aldı. Çok sayıda dekor makinası satınalma, geliştirme, devreye alma çalışmasında aktif rol aldı. Şirket bünyesinde gerçekleştirilen tüm organik boyama hatlarının projelendirilmesi, tedariği ve devreye alınmasında önemli roller üstlendi.*

*Büyüme yatırımlarında ihtiyaç duyulan şekillendirme makineleri, tavlama ve dekor fırınları, kesme-yakma, soğuk kesme makineleri, baskı makineleri vb. teklif alma, detaylandırma, seçim süreçlerinde aktif rol aldı.*

## ÖZET

CEE Grubu 2014-2018 Stratejik planında yer alan ikincil işlemler ürünlerin toplam üretiminin %38'e yükseltilmesi, organik dekorlu ürün satış artırma hedefleri doğrultusunda PK, BP ve Posuda fabrikalarına dip, kısmi ve full organik hatları 2014 yatırımı için önerilmiştir. Grubumuz ayrı ayrı ve birbirinden yapı olarak oldukça farklı özelliklere sahip bu organik boyama hatlarında yapılan boyama işlemlerinin aynı hatta yapabilmek üzere bir çalışma yapmıştır. Böylece hat standartlaşması sağlanması ve her fabrikamıza birbirinden farklı yetenekte 2-3 farklı makine yatırımı yapmak yerine, esnek üretim yapabilen tek bir hat ortaya konarak yatırım tasarrufu ve gereksiz istihdamın önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Öte yandan bu hatlarda tüm yüzey boyalı ürünlerde elektrostatik disk yerine boya tasarrufu getirileceği düşünülen elektrostatik bell ve ayrıca ısıtılan hava ile bardağın ısıtılması prensibi yerine enerji tasarrufuna yönelik infared ısıtma ile kütleme gibi

Teknik Bülten (Mart 2015):

Cilt:44, No:1, sy:177-178

©Şişecam

---

yenilikçi teknolojilerin kullanılması yoluna gidilmiştir. Bildiri; eski ve yeni teknolojilerin karşılaştırmasını yaparak avantaj ve dezavantajları tartışmayı hedeflemektedir. Proje devam etmekte olup ilk hat Temmuz sonunda BP'de devreye alınacaktır. Sonuçların sempozyuma dek netleşeceği öngörülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** *Cam Ev Eşyası Organik Yaş Boyama, Organik Boya İnfrared Kürleme, Bell ile Tüm Yüzey Organik Boyama*

# KALIP YÜZEYİNDE YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI, BAKIR PARÇACIKLARLA VİBRO POLİSAJ YÖNTEMİNİN CAM YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ



## Levent Yurdçu, Cenk Günay

Şişecam Topluluğu, Cam Ev Eşyası Grup  
Başkanlığı, Paşabahçe Cam Sanayi ve  
Ticaret A.Ş. Eskişehir Fabrikası  
lyurdcu@sisecam.com  
cgunay@sisecam.com

*Levent Yurdçu 1967 yılında Ankara'da doğdu. Yıldız Üniversitesi Gemi Makinaları Mühendisliği bölümünden 1990 yılında mezun olmuştur. 1993 yılında Paşabahçe Beykoz Fabrikasında Şişecam ailesine katılan Levent Yurdçu, 1998 yılından beri Paşabahçe Cam Eskişehir Fabrikasında çalışmaktadır. 2001 yılından beri Kalıp İşleri Şefi olarak görevine devam etmektedir.*

## ÖZET

Pres üretimlerinde ürün kalitesi kalıp yüzeyi ile doğrudan ilişkilidir. Kalıp yüzeyi ne kadar hassas hazırlanırsa müşterilerimizin çok önem verdiği ürün yüzey kalitesi de o kadar parlak ve pürüzsüz elde edilebilmektedir. Klasik kalıp hazırlama ve parlatma yöntemlerinin çeşitli dezavantajlarını iyileştirme amaçlı bir dizi çalışma başlatılmıştır. Bu sunuşta yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar hakkında bilgi verilecektir.

Sıcak camın kalıp yüzeyinde ilerlemesi esnasında, kalıp yüzeyindeki mikro çizik ve depozitlerin belirli bir süre sonucunda oluşturduğu korozif etkiler kalıp yağ lekesi olarak tanımlanan hatayı oluşturmaktadır. Yüzey pürüzlülük değeri ve morfolojisi iyileştirilerek hazırlanan kalıplarda kalıp yağ lekesi hatasının azaltılması hedeflenmiştir.

Öncelikle klasik polisaj yönteminde kullanılan malzemeler ve kalıp yüzeyleri ARM ile ortak çalışma yapılarak incelenmiştir. Cam yüzeyinde yağ lekesi hatasına sebep olabilecek malzemelerin tespitine, yüzey pürüzlülük değeri ve morfolojisi ile kalıp yağ lekesinin ilişkisi çıkarılmaya çalışılmıştır.

Çalışmaların devamında yüzey pürüzlülüğünü azaltacak teknolojiye sahip firmalar araştırıldı ve içlerinden SPM/İtalya firması ile temasa geçilmiştir. Firma ile yapılan bir dizi toplantı sonucunda 6 ay deneme süreli polisaj makinası tedarik edilip deneme çalışmaları Ocak 2014'te EP Fabrikamızda başlatılmıştır.

Yöntemi kısaca tarif edecek olursak, özel şekle sahip bakır parçacıklar ve kalıp boyutuna bağlı oranda polisaj tozu ile parlatma sıvısı kalıpların içine eklenmektedir. Kalıplar yaklaşık 2,5 saat süresince vibrasyonla çalıştırılıp el değmeden polisaj yapılması sağlanmaktadır. Klasik yöntem ve bakırlı vibro polisaj yöntemlerinin karşılaştırılması sonucunda,

- Kalıp yağ lekesi oranlarının yaklaşık % 50 ve kalıp değişim sayısının %70 azaldığı tespit edilmiştir.
- Geçmişte krom kaplanarak çalışılan paslanmaz çelik malzemeli 7 adet kalıp setinin

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:179-185  
©Şişecam

krom kaplanmadan çalışılmasının sağlanmıştır.

- Kişiye bağlı olmadan polisaj yapıldığı için yüzey kalitesi tüm kalıpların yüzeyinde standart olarak elde edilebilmektedir.
- İki parçalı kalıplar kapalı olarak polisaj yapıldığı için profil köşeleri korunmakta ve ekyeri izi kalitesi bozulmamaktadır.
- Bakır parçacıklar kalıp yüzeyindeki gravürlere zarar vermediğinden polisaj kaynaklı kalıp aşınması minimum seviyelere düşmüştür. Kalıp ömürlerinin artması hedeflenmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Kalıp Yağ Lekesi, Yüzey Pürüzlülüğü, Vibro Polisaj, Kalıp Ömrü

## 1. GİRİŞ

Rekabetin gün geçtikçe arttığı her geçen gün daha fazla hissedilmektedir. Çalışma alanımızda önem verdiğimiz tüm konularda bir adım daha ileri gitmek için sürekli çaba sarf etmekteyiz. Sonu gelmeyecek bu çalışmalar kapsamında camın yüzey kalitesinin iyileştirilmesi vazgeçilmez hedeflerimizden bir tanesidir. Camı şekillendirdiğimiz kalıplarımızın yüzey kalitesi ile cam yüzey kalitesi arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır.

Kalitemizin aynası olan kalıplarımız yılların verdiği birikimler ile üretime hazırlanmaktadır. Sunuşumuzda klasik yöntemler ile kalıp hazırlama süreci ve tespit ettiğimiz dezavantajları kısaca açıklanacaktır. Ayrıca yeni uygulamaya koyduğumuz vibro polisaj yöntemi ile kalıp hazırlama sürecimiz hakkında bilgi aktarılacaktır.

Kalıp yüzey pürüzlülüğü ile kalıp yağ lekeleri hatasının oluşumu arasındaki ilişki de incelenecektir. Yüzey pürüzlülüğünde elde edilen iyileştirmelerin sonucunda kalıp yağ lekeleri olarak tanımlanan hatada belirli oranlarda gelişme kaydedilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen gelişmeler avantajlar bölümünde özetlenecektir.

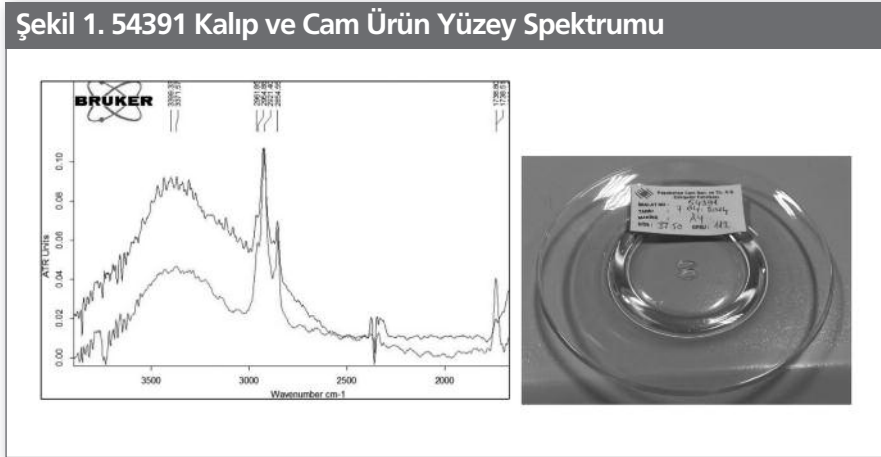


## 2. KLASİK YÖNTEMLERLE KALIP HAZIRLAMA PROSESİ

Bu bölümde Paşabahçe Eskişehir Fabrikasında uyguladığımız kalıp hazırlama yöntemleri hakkında bilgi aktarılacaktır. Cam Ev Eşyası üretiminde kalıp yüzey kalitesi ile cam yüzey kalitesi arasındaki en kuvvetli ilişkinin pres prosesinde kullanılan kalıplarda olduğunu belirtmek yanlış olmayacaktır. Proseste kullanılan yüksek presleme kuvveti kalıp yüzeyindeki en küçük detayların cam yüzeyine yansımaya sebep olmaktadır. Bu sebeple pres kalıplarının hazırlanmasında kullanılan proses açıklanacaktır.

- a. Üretimden çıkan kalıplar atölyeye gelir. Kalıba ait türün numunesi ve kalıp incelenir.
- b. Kalıp yüzeyinde camın vermiş olduğu hasar, yaralanma varsa onarım ustası kalıba ne işlem yapılacağına karar verir. Kalıptaki yaralı bölgeleri kalıp onarım tezgahının hemen yanında bulunan toz kaynak ile doldurarak tamir eder ve tesviyesini yapar.
- c. 0,1 mm kalınlıkta paslanmaz tel fırça ve/veya beyaz macun kullanılarak kalıp yüzeyindeki karbon tabakası temizlenir. Bu işlem esnasında yağ çözücü solvent ve Japonya'dan tedarik edilen alüminyum alaşımlı beyaz macun kullanılır (Rath lime)
- d. Kalıptaki yaralanmanın derinliğine ve yağ lekelerinin şiddetine göre 320 mesh zımparadan başlanarak sırasıyla 400, 600 ve 800 meshe kadar olan zımparalar kalıp yüzeyine uygulanır. Zımparanın uygulama yönü, camın kalıpta ilerleme yönü ile aynıdır. Tezgahtaki rulmanlı aparat ile havalı spiralin döndürme kuvvetinden faydalanılarak kalıbın düşük devirde kendi eksenini etrafında dönmesi de sağlanır. Bu şekilde kalıbın tek yönlü oyulmamasının önüne geçilmiş olunur. Proses zamanını kısaltabilmek amaçlı kalıp onarım tezgahlarında, kullanılan zımpara ve keçeler spirallere bağlı kullanıma hazır olarak bulunmaktadır. Quick kaplin yardımıyla uygulanacak donanımın hızlıca değiştirilmesi sağlanır. Dönerek uygulanan zımpara ya da keçe, kalıbın keskin olarak korunması gereken köşelerine yanlışlıkla gelirse kolayca bu bölgelerdeki keskinliğin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu da çapak, cam kırığı gibi hataların oluşumuna zemin hazırlamaktadır. İki parçalı kalıplarda profil köşelerinin bozulmasını önlemek amaçlı profille uygun yaptırılmış aparatların kullanımına başlanmıştır.
- e. Klasik polisaj prosesinde yarı otomatik çalıştırılan dikey polisaj tezgahı da bulunmaktadır. Yüzeyi çoğunlukla sade

Şekil 1. 54391 Kalıp ve Cam Ürün Yüzey Spektrumu



- olan ve genellikle tek parça kalıpların polisajı bu tezgahta yapılabilmektedir. Elle uygulanan zımparaların her zaman eşit kuvvette tatbik edilmesi mümkün olmamaktadır. Yukarı aşağı hareket servo motor, yatay baskı kuvveti ise pnömomatik silindir ile sağlanmaktadır. İşlem görece kalıp kendi eksenini etrafında yavaşça dönen aynaya bağlanır. Kalıba uygun seçilen kauçuk pedin üzerine uygun zımpara yapıştırılır. Islatılarak çalışan zımparaların belirli sürelerle kalıp yüzeyine tatbik edilmesi sağlanır. Kalıbın dip kısımlarına, faset ve gravürlü bölgelere zımpara ile müdahale etmek mümkün olmamaktadır. Elle yapılan polisaja göre proses süresi bir miktar fazladır. Elle yapılan polisajdan daha homojen yüzey kalitesi elde edilmektedir.
- f. Tezgahta elle hazırlanan ya da dikey polisaj tezgahından çıkan kalıplardaki zımpara izlerinin giderilebilmesi için dönen spiralle uygulanan keçe yardımıyla rath lime (beyaz macun) uygulanır.
- g. Son işlem olarak yağ çözücü solvent ve parça bez ile kalıp yüzeyi silinerek tekrar imalata hazır hale getirilir.

### 3. CAM YÜZEY KALİTESİ, KALIP YAĞ LEKESİ HATASI

Bu bölümde, ürün yüzeyindeki yağ lekesi hatasına sebep olan bazı etkenlerin içinden kalıp yüzey kalitesi ile kalıp yüzey pürüzlülük değerinin etkisi incelenecektir.

#### a. Kalıp Yüzeyinde Kalan Depozitlerin Yağ Lekesi Hatasına Etkisi

Yağ lekesi problemi yaşadığımız 54391 ürünleri cam araştırma merkezine gönderilerek analiz ettirilmiştir.

Yapılan araştırmalar sonucunda, yağ lekeli cam yüzeyinde C=O grubu içeren organik bir malzemenin cam yüzeyine

bağlandığı tespit edilmiştir. Polisaj işlemi yapılmış olan 54391 kalıp malzemesinden parça kesilerek IR spektrumu ile incelenmesi sağlanmış ve cam ürün ile kalıp yüzeyinde benzer spektrum gözlenmiştir. Kalıp polisajının son aşamalarında kullanılan beyaz macun (Rath lime) malzemesinin içeriğinde C=O grubundan olan %11 oranında stearik asit ve %1 oranında kalsiyum stearat bulunmaktadır. Yağ lekeli kaynağının beyaz macun olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

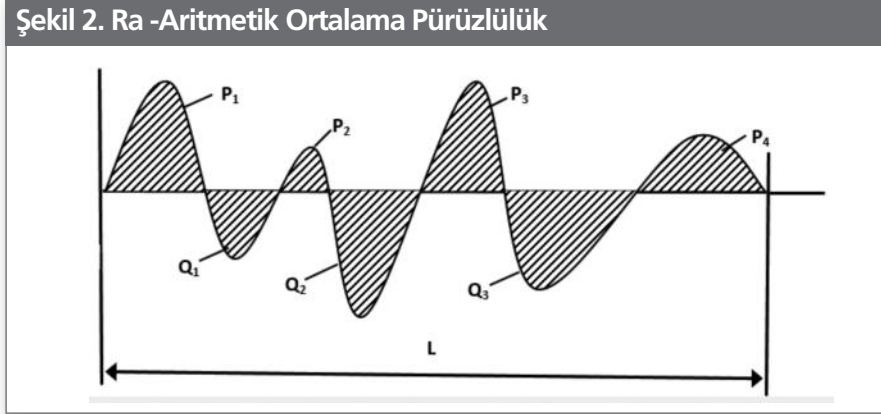
#### b. Yüzey Pürüzlülüğünün Kalıp Yağ Lekesi Hatasına Etkisi

Yüzey pürüzlülüğü kalıp gibi ağır koşullarda çalışan şekillendirme elemanları için yakından takip edilmesi gereken bir uygunluk durumudur. Yüzey pürüzlülüğünün şekillendirilen mamul doğasını etkilediği bilinen bir gerçektir. Bu açıdan kalıbın yüzey ve yüzeye yakın bölge uygunluklarını ölçmek ve değerlendirmek büyük önem taşımaktadır. Hazırlanan kalıpların kontrollerinin yapılabilmesi amaçlı yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı tedarik edilmiş ve yüzeyin Ra değerleri ölçülerek sonuçların değerlendirilmesine karar verilmiştir.

$$Ra(\mu m) = \left( \frac{P_{ALANI} + Q_{ALANI}}{L} \right) \cdot \frac{1000}{V_q} \quad (1)$$

Yeni tedarik ettiğimiz bazı kalıpların üretim makinasında daha uzun süre yağ lekesi hatası yapmadan çalıştığı, kalıp değişim periyotlarının bir miktar uzadığı tespit edilmiştir. Bu konuyu detayda incelemek amacıyla kalıp alt yapımcılarımıza çeşitli ziyaretler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2. Ra -Aritmetik Ortalama Pürüzlülük



Dikkatimizi çeken konu polisaj işlemlerini kendi firma bünyelerinde değil, dışarıdan hizmet satın alarak yaptırılmaları oldu. Polisaj işleminin yapıldığı atölyeler de ziyaret edildi ve temelde bizim elle yaptığımız klasik polisaj yönteminden farklı olmadığı görülmüştür. En önemli fark polisaj süresidir. Tek parçalı pres kalıplarında yaklaşık 2 saat/kalıp, sınav pres kalıplarında ise bu sürenin 8 saat/kalıba çıkabildiği gözlemlenmiştir.

Alt yapımcı firmalardan tedarik edilen malzemelerle atölye şartlarında da polisaj işlemi yapılmış ve aynı sürelerde tatbik edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile sonuçlar ölçülmüştür. Çok uzun süre polisaj işlemi yaptığımız kalıpların makine şartlarında yağ lekesi yapmadan çalışma süreleri klasik yöntemle kıyasla uzamıştır.

Polisaj süresinin uzamasının yüzey pürüzlülük değerine olumlu etki ve yüzey morfolojisinin iyileşmesine katkı sağladığı sonucuna ulaşıldı.

Klasik polisaj yöntemi ile elde edilen	Ra= 0,09 - 0,30
Uzun süre polisaj yapılan kalıplarda elde edilen	Ra= 0,07 - 0,15

Bu çalışmalar neticesinde yüzey pürüzlülük değerini belirli Ra değerlerinin altında tutmak, klasik yöntemle yapılan polisajın süresini azaltmak ve yapılan polisajın kalitesini arttırabilmek amacıyla çeşitli yöntem arayışlarına girilmiştir. Bu süreçte görüşülen ve deneme çalışmaları olumlu sonuçlanan firmalar aşağıda belirtilmiştir.

Bakırlı Vibro polisaj firması/ İtalya Bakır parçacıkların vibro polisaj yöntemiyle kalıp yüzeyine tatbik edilmesi yöntemi.

Firma ile temaslarımız 2013 yılı başında başlamıştır. Deneme amaçlı bazı gravürlü mono blok ve iki parçalı kalıplarımız İtalya'ya gönderilip polisaj yaptırılması sağlanmıştır. Deneme çalışmalarının olumlu olması sonrasında firma fabrikaya davet edilmiştir.

Haziran 2013'te Eskişehir'de toplantı yapılmıştır. Toplantı sonucunda LS 4 480/800 S16 modeli 6 ay test çalışması yapılması amacıyla makinanın fabrikada hazır hale getirilmesi ve eğitimlerin verilmesi şartlarıyla makinanın tedarik edilebileceği konularında mutabakat sağlanmıştır.

Deneme için makinanın transfer edilmesi, deneme süresince iki kere eğitim verilmesi ve kullanılacak sarf malzemeleri de dahil olmak üzere 15.000 Euro deneme bedeli ödenmesine, 6 aylık süreç sonunda polisaj yönteminin onaylanması akabinde 48.000 Euro makine bedelinin ödenmesi konularında anlaşılmiştir. Makinanın patentinin firmaya ait olması ve sarf malzemelerinin 3 yıl boyunca firmadan tedarik edileceğine dair anlaşma imzalanmıştır.

Bakırlı vibro polisaj yönteminde elde edilen ortalama Ra değeri = 0,05 - 0,10



Tezgah fotoğrafı



#### 4. KALIP HAZIRLIKLAMA YÖNTEMİNDEKİ UYGULAMA DEĞİŞİKLİKLERİ

Bu bölümde de yaptığımız analizler ve farklı polisaj yöntem araştırmaları sonucunda klasik kalıp hazırlama yöntemimizdeki değişiklikler açıklanacaktır. Ayrıca bakırlı vibro polisaj yönteminin uygulama detaylarından bahsedilecektir.

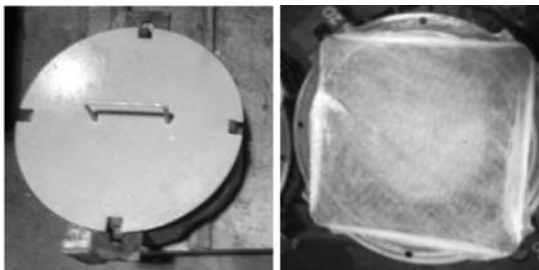
##### a. Klasik Yöntemle Kalıp Hazırlamadaki Yöntem Değişiklikleri

1. Alüminyum oksit alaşımli bir macun olan “rath lime” ile kalıp yüzeyinde bulunan zımpara izleri kolaylıkla silinebilmektedir. Hem kalıp yüzeyinde hem de mamul yüzeyinde tespit edilen C=O bileşiği sonrası kullanmış olduğumuz beyaz macunun kullanımı kısıtlanmış ve azaltılmıştır. Bunun yerine krom oksit alaşımli “Green ace” tanımlı macunun kullanımı artırılmıştır. Green ace kalıp yüzeylerindeki zımpara izlerini daha uzun sürede almaktadır. En iyi sonucu alabileceğimiz macun araştırmaları devam etmektedir. Ayrıca son işlemde kullanılan yağ çözücü solventin polisaj işlemindeki kullanım miktarı da artırılmıştır. Kalıp yüzeyinin her türlü depozitten arındırılması hedeflenmiştir. Olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir.



Green Ace-Solvent fotoğrafı

2. Polisajı hazır kalıplar üretim sahasına gönderilirken yüzeylerin toz, kir vb. etkilenebilmesi için üzerleri saç, plastik, bez gibi malzemelerle kapatılarak işletme içi kirliliğinden mümkün olduğunca uzak tutulması hedeflenmiştir.



Yüzeyleri korunmuş kalıplar

3. Klasik polisaj yönteminde özellikle çift parçalı kalıplarda kullanılan zımpara ve keçelerin kalıp keskin köşe profil bölgelerini döndürmesini engelle amaçlı aparatların sayısı artırılmıştır. Aparat kullanılarak polisajı yapılan çift parça kalıpların profil köşelerinin daha uzun süre korunabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut kalıplarda kullanım sıklığına göre, yeni set kalıp siparişlerinde ise set ile beraber aparat yaptırılma kararı alınmıştır.



Çeşitli iki parçalı kalıp polisaj aparatları

##### b. Bakırlı Vibro Polisaj Yöntemi Standart Olarak Uygulanmaya Başlandı

Ocak 2014 itibarıyla 4 section olan makine ile test çalışmalarına başlandı. Sistemin çalışma prensibini kısaca açıklamak gerekirse, vibro-polishing yöntemine dayanır ve özel bakır parçacıklar, polisaj sıvısı, aşındırıcı toz ve sudan oluşan bir karışım ile kalıbın iç bölgesi doldurularak bu kalıpların belirli bir süre titreşime maruz bırakılmasıyla yüzeyin hazırlanması sağlanır. Kalıplar mekanik bağlayıcılar ile hızlı bir şekilde sabitlenmektedir. Dört adet bağımsız programlanabilen tanktan oluşur. Aynı anda orta boy 24 adet kalıba kadar parlatma kapasitesine sahiptir.

1. Üretimden gelen kalıplar klasik yöntemde bahsettiğimiz a, b, c maddelerindeki ön temizlik, kontrol, yara alma ve tesviye işlemlerin uygulanmasından sonra zımpara aşamasına gelindiğinde vibro-polisaj bölgesine gönderilir.

2. Kalıba özel olarak polietilen malzemeden ağız ve müldefon yuvasını koruma amaçlı aparatlar yaptırılmaktadır. 2 – 2,5 saat boyunca kalıplar polisaj işlemine tabi tutulur.

3. Polisaj işleminin bitmesinin ardından sıvı ve bakır tanecikler vakumlu temizleyici ile birlikte makinenin bakır yıkama bölümüne alınır.

4. Kalıplar içerisindeki tüm bakırlardan arındırılarak, yüzeyi basınçlı hava ile kurutulup bez ile temizlenir. Klasik polisaj yöntemindeki e ve f maddelerinde belirtilen keçe,

solvent kullanımına gerek kalmadan kalıplar imalata yedeklenecek hale getirilmiş olunur.

## 5. AVANTAJLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde ölçülerek tespit edilen avantajlar hakkında kısa bilgiler aktarılacaktır.

Kalıp yağ lekesi oranlarının yaklaşık % 50 ve kalıp değişim sayısının %70 azaldığı tespit edilmiştir.

Vibro polisaj makinesi tarafından yapılan parlatma işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri Ra 0,05-0,10 seviyelerine düştüğü ölçülmüştür. Klasik polisaj yönteminde elde edilen Ra 0,09-0,30 değerinden oldukça düşük bir değerdir. Yüzey pürüzlülük değerinin azaltılması ile doğru orantılı olarak kalıp değişim sayıları da azaltılmış ve yağ lekesi oranları düşürülmüştür. Vibro polisaj yapılan kalıpların daha önceki klasik yöntemle hazırlanan çalışmalarındaki kalıp değişim sayıları ve kalıp yağ lekesi oranları ile sonraki çalışmaları kıyaslanarak sonuca ulaşılmıştır.

**Tablo 1. Vibro polisaj-Klasik polisaj yağ lekesi farkının kıyaslaması**

SPM - KLASİK POLİSAJ YAĞ LEKESİ HATA ORANI KARŞILAŞTIRMA						
		Çalışılan Gün	Yağ lekesi için kalıp değişim (ad/g)	Yağ lekesi (%)	Kalıp değişimi kıyaslama (%)	Yağ lekesi kıyaslama (%)
52052	SPM	11,93	7	4,3	68 ↓	34 ↓
	Normal	5,99	22	6,5		
52437	SPM	2,92	8	3	60 ↓	55 ↓
	Normal	4,97	20	6,6		
52555	SPM	5,03	5	0,2	64 ↓	94 ↓
	Normal	4,87	14	3,3		
53532	SPM	3,04	4	1,3	67 ↓	48 ↓
	Normal	3,34	12	2,5		
53563	SPM	6,97	4	2,7	73 ↓	36 ↓
	Normal	3,81	15	4,2		
53743	SPM	2,81	2	5,1	83 ↓	50 ↓
	Normal	9,05	12	10,1		
55049	SPM	1,6	3	0,7	73 ↓	30 ↓
	Normal	2,95	11	1		
55251	SPM	2,58	5	1	64 ↓	41 ↓
	Normal	7,85	14	1,7		
				<b>Ortalama</b>	<b>69% ↓</b>	<b>48% ↓</b>

- Geçmişte krom kaplanarak çalışılan paslanmaz çelik malzemeli 7 adet kalıp setinin krom kaplanmadan çalışılması sağlanmıştır.

53056, 53066, 53076, 53298, 53493, 53553, 53593 kalıplarının malzemeleri cam üretiminde kullanılabilen paslanmaz çelik alaşımlı malzemelerden imal edilmiş olmasına rağmen kalıp yağ lekesi ve yaranma gibi hatalar sebebiyle krom kaplanarak çalışılmak zorunda kalmaktadır.

Vibro polisaj yöntemi uygulanarak bu kalıpların yüzey pürüzlülüğü azaltılmış ve krom kaplama ihtiyacı olmadan çalışabilmeleri sağlanmıştır. Henüz üretime girmeyen ve krom kaplayarak çalıştığımız başka kalıplarımız da bulunmaktadır. Bu kalıplar da vibro polisaj yöntemi ile hazırlanacaktır.



Krom kaplama ünitesinden kesitler

- İki parçalı kalıpların köşe keskinliklerinin kalıp tamiri esnasında bozulmasını önleyecek çalışmalar uygulamaya alınmıştır.

Elle yapılan klasik polisaj yönteminde kalıp profiline uygun aparat kullanımına başlanmıştır. Kalıp tamiri esnasında kolaylıkla bozulabilecek keskinlikler bu sayede koruma altına alınmıştır. Kalıp profil keskinliklerinin yanlışlıkla bozulması ihtimali oldukça azaltılmıştır. Sık çalıştığımız 20 adet iki parçalı kalıba ait aparatlar yaptırılmakta/ kullanılmaktadır. Vibro polisaj yönteminde ise iki parçalı kalıplar birbirine bağlı olarak polisaj yapılmaktadır. Ağız ve müldefon yuvalarında da koruyucu aparatlar kullanılmaktadır. Vibro polisaj yapılan iki parçalı kalıpların keskinliklerinin bozulmaması proses gereği kesin garanti altına alınmaktadır.

Her iki yöntemde de kullanılan aparatlar dip sallantı, ağızda gaganma, ek yeri izinin belirgin gözükmesi, çapak gibi kalite hatalarına olumlu etki sağlamıştır.

Bakır parçacıklar kalıp yüzeyine minimum seviyede zarar verdiği için kalıp aşınmasını da minimum seviyede etkilemektedir. Ömür artışı beklentisi vardır.

Kalıp yüzeyini az aşındırdığı için gravürlü kalıplarda da rahatlıkla kullanılabilir. Klasik yöntemle yapılması çok güç olan gravür araları vibro polisaj yöntemi ile kolaylıkla temizlenmekte ve parlatılabilmektedir. İlerleyen zamanlarda kalıp ömür artışına da etkisi olacaktır. Hatta klasik yöntemle hiç parlatılmayan kulp iç bölgeleri bile parlatılabilmektedir.

## 6. SONUÇ

1935 yılından bu yana faaliyet gösterdiğimiz cam üretim sektöründe; kalıp hazırlama ve yedeklenmesi işi, insan faktörünün ön planda olduğu ve son derece hassas yürütülmesi / yönetilmesi gereken bir süreç olarak işlemektedir.

Bu işleğin çarkları süreç esnasında yıpranmaya açıktır. Bu sebeple kalıp onarım ustalarımızın yetenek ve tecrübeleri her zaman en üst seviyede tutularak, kalitemizin gözbebeği olan kalıplarımızın her daim daha iyi şartlarda korunması ve muhafaza edilmesi tüm çalışanlarımızın ortak bilinci olmuştur.

Yeni uygulamaya alınan vibro polisaj yöntemi ile insan faktöründen bağımsız, tekrarlanabilir ve hep aynı yüzey pürüzlülük değerlerine haiz sonuçlar elde edilmektedir. Kalıp hazırlama süresi klasik yöneme göre daha uzun sürse de, kalıp yağ lekesi hata oranlarının azaltılarak daha az kalıp değiştirilmesi bu yöntemin kısa sürede kendini kanıtlanmasına sebep olmuştur. Kalıp ve üretim servisi çalışanları yeni

sisteme kolayca adapte olmuş, sürecin işleyişine hakim konuma gelmişlerdir. Sistemin kısa sürede kendi iç işleyişimize kolayca entegre olması sebebiyle 2015 yılı yatırımına ikinci vibro polisaj tezgahı konulmuş ve kullanımının yaygınlaştırılması kararı alınmıştır. Sistemin tam kapasite ile çalışması durumunda 300.000 Euro/yıl tasarruf sağlanacağı hesaplanmıştır.

Ayrıca klasik kalıp hazırlama yönteminde kullanılmaya başlanan aparatlar kalıplarımızın daha emniyetli hazırlanmasını sağlamış, insan faktörü kaynaklı olumsuzlukların kronik bir sorun olmaktan çıkmasını sağlamıştır.

89 yıllık köklü ve başarılarla dolu geçmişimizin bizlere katmış olduğu kurumsal değerler çerçevesinde, bugün varmış olduğumuz nokta, gelecekte ulaşmayı hedeflediğimiz başarılar için bir ara basamaktır. Yenilenecek ve gelişerek, öngördüğümüz hedefler doğrultusunda emin adımlarla yürümek bu çatı altında çalışan bizlerin en kıymetli vazifesidir.

# 5"-11" HİDROLİK PRES ÜFLEME MAKİNASI İLE ÜRETİM YAPILMASI



## Murat Aşkın, Uğur Ergün

Şişecam Topluluğu, Cam Ev Eşyası Grup Başkanlığı, Paşabahçe Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş. Eskişehir Fabrikası  
maskin@sisecam.com  
uergun@sisecam.com

*Murat Aşkın, 1970 İstanbul doğumlu. Anadolu Ünv. Makina Mühendisliği Bölümü'nde 1992 yılında lisans eğitimini tamamladı. 1997 yılında Şişecam Cam Ev Eşyası Grubu Paşabahçe Eskişehir Fabrikası'nda göreve başladı. 2003 yılından bu yana aynı fabrikada Gnl. Bkm. Onr. Şefliği ve İşl. Bkm. Onr. Şefliği görevlerinde bulundu. Önceki yıllarda cam üretiminde alçak basınç blower sistemleri geliştirmesi, sıcak uç cam temas malzemeleri uygulamaları, pres üretim makinelerinde hibrid hidrolik sistemler geliştirilmesi ve yerli tork motor endeksli pres üretim makinası yapılması projelerinde yer aldı.*

## ÖZET

Paşabahçe Eskişehir Fabrikası tarafından mekanik ve elektronik kontrol sistemi tasarımı yapılarak projelendirilen dünyanın ilk 11" ile 5" kalıp kolları gerektiren ürünlerin aynı makinada üretilebildiği, hidrolik akışkan gücü ile hareket alan 12 kollu pres üfleme makinası ve bu makinadan çıkan geniş ağızlı mamulleri kesme özelliğine sahip 24 kollu ağız kesme makinası hayata geçirilerek fabrikamızın B8 hattında üretime başlamıştır.

Hidrolik üfleme makinası devreye alınmadan önce 11" ile 7" arasındaki kalıp kolları ile üretilebilen büyük pres üfleme mamulleri, 10 sectiona sahip IGC tipi mekanik üretim makinası ile yapılmakta, büyük ürünler ile ilgili gelen müşteri talepleri doğrultusunda 9" makinanın yılda iki defa hatta montajı ve demontajı yapılmakta bu durum büyük verimsizlik kaynağı olarak ortaya çıkmaktaydı. Büyük ürünlerle ilgili gelen deneme talepleri hatta uygun makine bulunmadığından dolayı 6-7 ay gibi uzun süreler yapılamamakta, bu da satış sorunlarına neden olmaktaydı.

Yukarıda bahsedilen sorunların giderilmesi amacı ile Eylül 2012'de yeni makina tasarımı için start verilmiş olup yapılacak yeni makinada 11" ile 5" arasındaki kalıp kolları ile üretilebilen pres üfleme mamulleri üretimine uygun olması, basınçlı hava yerine hidrolik sistem kullanımı, mekanik kamlar ile hareket eden sistemlerin silindir ve elektronik kontrol sistemi ile sağlanması ve 12 section ile üretim yapabilmesi proje kriteri olarak belirlenmiştir.

Belirlenen kriterlere göre prototip section oluşturulmuş, hidrolik silindirler ve hidrolik silindirleri kumanda edecek hidrolik valf ve devreler tasarlanmıştır, Elektronik kontrol sistemi projelendirilmiş ve makine üretimi Asmaş ile işbirliği yapılarak tamamlanmıştır.

Hayata geçirilen tüm üretim hattının mekanik ve elektronik olarak toplam maliyeti 750.000 EU olarak gerçekleştirilmiş olup, aynı özelliklere sahip bir üretim hattının yurtdışından temin edilmesi durumundaki maliyeti min 2.500.000 EU olacaktı. Türk

teknik elemanlarının çalışmaları ile tamamı yerli olarak üretilen bu makinalar ile dışa bağımlılığı ortadan kaldırılmış, şirketimize büyük miktarlarda yatırım maliyeti kazancı sağlanmıştır.5"-11" arasındaki kalıp kolları ile çalışan tüm ürünlerin imalatları bu makinede yapılabildiğinden dolayı montaj demontaj çalışmalarında kaybedilen günler kazanılmış, Geniş aralıkta ürün yapabileme kabiliyeti geniş ürün denemelerinin kısa sürede yapılabilmesi imkanı yaratmakta, ürün çeşitliliğini artırma avantajı sağlamıştır. Bunlara ilave olarak silindirlerde 6 bar basınçlı hava kullanımı yerine 70 bar hidrolik yağ basıncı kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Paşabağçe Eskişehir Fabrikası dünyada bir ilk olan Hidrolik Pres Üfleme Hattını tasarlayıp hayata geçirmenin gururunu yaşamaktadır.

Fabrikamızdaki 5"-11" arası kalıp kollarıyla 2 farklı makinede üretim yapılan imalatları 12 kollu tek bir makinede ve hidrolik akışkan gücüyle üretebilmek için Dünya'da ilk defa uygulanan yeni bir makine geliştirdik ve 26.07.2013 tarihinde devreye aldık.

Bu makineyi devreye almadan önce 5"-11" kalıp kollarında üretilen imalatlar IGC tipi denen 2 ayrı mekanik hareketli makinede üretilmekteydi.2 farklı makinenin yıldaki değiştirilme süresi ortalama 2 idi ve bir makine montajı 6 gün sürmekteydi. Bu makine sayesinde makine değişimi olmadan üretim kayıpları, devreye alma kayıpları gibi verimsizlikler ve montajla geçen iş gücü kayıpları engellendi. Ayrıca 9" gibi büyük imalatların denenmesi için bu imalatların üretim yapıldığı makinenin montajı beklenmekteydi ve buda denenecek olan bir imalatın bazen 6-7 ay deneme yapılamamasına sebep olmaktaydı. Deneme yapılamayan ürünlerden dolayı satışlar olumsuz olarak etkilenmekteydi.

Ayrıca daha önce makine üzerinde kalıp kolu değişimleri yapılmaktaydı ve 12 kollu bir makinede kalıp kolu değişimleri merkez ayarlarıyla birlikte yaklaşık 4 saat sürmekteydi. Yapılan bu makinede ise kalıp kolu değişimi yerine insert değişimleri yapılmaktadır ve merkez ayarları

dahil 2 saatlik bir çalışmayla insertler makineye bağlanabilmektedir. Ayrıca insertlerin kalıp kollarına kıyasla çok daha hafif olması iş yükü açısından önemli bir kazanç sağlamaktadır.

Daha önceki üretim makinelerinde silindir hareketleri 6 bar hava ile sağlanmaktaydı. Süflaj, kalıp kolu açma-kapama, müldebak döndürme, müldebak açma hareketleri mekanik kamlar ile sağlanmaktaydı.

Yeni makinede tüm hareketler hidrolik akışkan gücü ile sağlanmaktadır. Mekanik kamla hareket eden mekanizmalar ise elektronik kontrol sistemleri ile kontrol edilebilmektedir. Elektronik kontrol sistemi sayesinde hassas ayar imkanı sağlanmıştır. Müldebakları iki tarafa döndürebilme özelliği sayesinde de ağız hataları minimize edilmesinde bir avantaj sağlanmaktadır.

Ayrıca daha geniş ağızlı mamullerin kesimi içinde yeni bir BOM makinası yapılmıştır.

Daha önce kullanılan makinelere göre %50 oranında daha az kablo kullanılmıştır. Daha önce kendi ürettiğimiz tork motorlu pres makinasında kullandığımız ekipmanlarla kontrol sistemi oluşturulduğundan stok maliyeti azalmıştır.

Ekrandan tüm servo motorların sıcaklık, yük, akım bilgileri kontrolü ve makineyi durdurmadan ekrandan mekanizmaların redüksiyon oranları değiştirilme imkanı sağlanmıştır. Hidrolik pompa çıkışlarının 24 saatlik trendi izlenerek olası arızaların önüne geçilmektedir.

Silindirlerde 6 bar basınçlı hava kullanımı yerine 70 bar hidrolik yağ basıncı kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. Hidrolik güç 1 ad. 22 Kw motora bağlı pompa ile sağlanırken pnömatikte 100 KW enerji tüketimi vardır.

En önemlisi mekanik ve elektriksel olarak kendi yaptığımız makinede dışa bağımlılık ortadan kaldırılmıştır. Herhangi bir arıza veya yapılacak geliştirme durumunda tamamen kendi ekibimizle olaylara müdahale edebilmekteyiz.

# 60 KOLLU AYAK TAKMA, ÇEKME VE PARLATMA MAKİNESİNİN PROJELENDİRİLMESİ VE İMALİ (PK60 ATÇP)



**Kaan Say, Serkan İnce,  
Adem Şener, Varol Cinoğlu,  
Ayhan Genç**

*Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş.  
Kırklareli Fabrikası / Cam Ev Eşyası*  
ksay@sisecam.com  
since@sisecam.com  
adsener@sisecam.com  
vcinoglu@sisecam.com  
agencer@sisecam.com

*Kaan Say, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. 1999 yılında OMG firmasında kısa bir süre surveyor'lük yaptı. 2001 yılında Paşabahçe Kırklareli Fabrikasında üretim mühendisi olarak Şişecam ailesine katıldı. 2001-2002 yılları arasında Pres Üfleme Üretim Mühendisliği, 2002-2005 yılları arasında Geliştirme Mühendisliği yaptı. 2005 yılından itibaren de İşletme Bakım Onarım Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2002 yılında İTÜ Kimya Metalürji Fakültesi Malzeme bölümünde, kaplama teknolojileri araştırması ile başlayıp 2004 yılı Cam Problemleri Sempozyumunda ilk ve geçen yıl ikinci kez sunuşu yapılan "Gelişmiş Camla Temas Malzemeleri" üzerine araştırmaları oldu.*

*18 kollu H28 IGC makinesi, O90-18 section imali, 60 kollu çekme-parlatma makinesi, Milli Temperleme gibi tamamen yerli olarak dizayn edilen makinelerin proje ve imalat safhalarında ve buna benzer birçok irili ufaklı proses geliştirme çalışmalarında aktif olarak rol aldı. 2007 yılında Bilkent Üniversitesi bünyesinde yer alan Ulusal Nanoteknoloji Merkezi (UNAM) ile Paşabahçe ortaklığında kurulan malzeme ekibinin içinde yer aldı. Yine UNAM ile birlikte Paşabahçe Bulgaristan fabrikasının atık kalıp sularının arıtılmasına yönelik, 2011 yılı Cam Problemleri Sempozyumunda da sunulan "Cam Ev Eşyası Üretiminde Deterjanlı Suların Arıtılması" konulu projede çalıştı.*

*2009 yılından beri Cam Ev Eşyası fabrikalarında enerji tasarrufu sağlamak, maliyetleri düşürmek, verimliliği artırarak çevre etkilerini azaltmak adına aralıksız olarak çalışan Malzeme Çalışma grubunun içinde aktif olarak bulunmaktadır.*

**Anahtar Sözcükler:** Küresel Konjektör, Know-How, Kristalin

Cam; sürdürülebilir, tamamen geri dönüştürülebilir değerli doğal kaynak tasarrufuna katkıda bulunduğu gibi büyük çevresel yararlar sağlayan bir malzemedir. Ayrıca doğal yapısı sebebiyle insan sağlığını korumaya katkılarından dolayı birçok uygulamada kullanılabilen sınırsız ve yenilikçi bir üründür.

Cam ürünlerinin kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

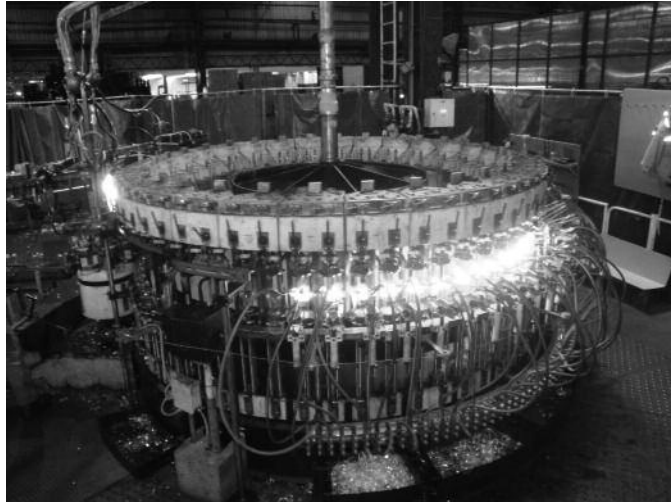
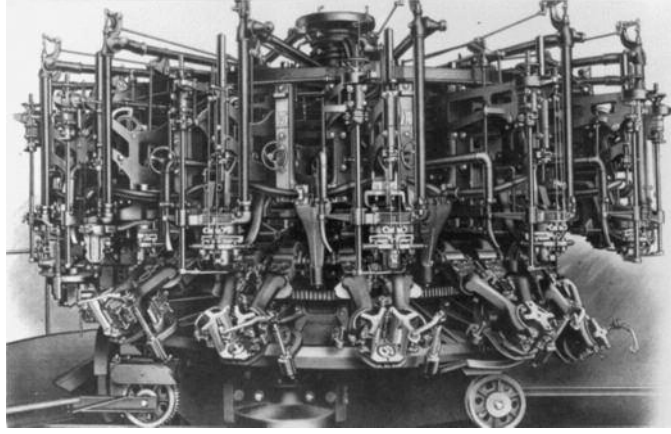
- Paketleme (gıda için kavanozlar, içecekler için şişeler, kozmetik ve ilaç için flakon)
- Sofra (bardaklar, tabak, kase)
- Konut ve binalar (pencereler, bina cepheleri, konservatuvar, yalıtım, takviye yapılar)
- İç tasarım ve mobilya (aynalar, bölmeler, korkuluklar, masa, raflar, aydınlatma)
- Ev Aletleri ve Elektronik (fırın gözetleme camları, TV, bilgisayar ekranları, akıllı telefonlar)

- Otomotiv ve ulaşım (otomobil ön camları, arka ışıklar, hafif ama yapısal bileşenlerini takviyeli araba aksesuarları, uçak, gemi v.b.)
- Tıbbi teknoloji, biyoteknoloji, yaşam bilimleri mühendisliği, optik cam
- X-Işınları (radyoloji) ve gama ışınlarından, radyasyondan korunma (nükleer)
- Fiber optik kablolar (telefon, TV, bilgisayar, bilgileri taşımak için)
- Yenilenebilir enerji (güneş enerjisi camı, rüzgar türbinleri)
- Tüm bu ürünler cam maddenin sayısız özellikleri ile mümkün olmaktadır.

%100 geri dönüşümlü bir ürün olması sebebiyle cam, sürdürülebilir bir ekonomi için çok önemli bir örnektir. Cam ev eşyası ürünlerinde de kaliteyi artırıp fark yaratan ürünler ortaya koyarak piyasaya girmek rekabetin kaçınılmaz olduğu bir ortamda zorunluluk haline gelmiştir.

Çok hızlı teknoloji değişimleri her sektörü olduğu gibi cam sektörünü de etkilemiş ve büyük bir rekabet ortamına itmiştir. 21.yy'da üretime değer katabilmek için inovasyonu bir yol haritası olarak seçmek gerekir. İnovasyonun desteklenmesi gelişmekte olan ülkelerin büyüme kapasitelerinde önemli bir rol oynar.

Şekil 1. PK 60 ATÇP Makinesi



Cam ürünlerin bir çeşidi olan sofa serilerinin üretildiği Cam Ev Eşyası üretiminde, global konjonktürde artan rekabet koşulları ile ürün kalitemizi artırmak ve rakiplerle daha iyi yarışabilmek adına üretim makinelerimizin iyileştirilmesi ve daha fonksiyonel hale getirilmesi zorunluluğu doğmuştur.

Bu proje, gelişmiş ülkelerde kullanılan birçok teknolojiyi rahatlıkla uygulayabilir hale gelmiş olan insan ve bilgi gücümüzü birleştirip know-how yaratmak ve hem tamamen yerli teknoloji hem de daha uygun bütçe ile makinemizi kendimizin üretmesi adına önemli bir mihenk taşı olmaktadır.

Bu farkı yaratan ürünleri de üretim makineleri veya ikincil işlem makinelerinde ortaya koyabilmek mecburiyeti doğmuştur. “ 60 Kollu Ayak Takma, Çekme ve Parlatma” makinesinin yerli olarak projelendirilmesi ve imali de bu ihtiyaçlar sebebiyle ortaya çıkmıştır.

Pazarda öncü olmak ve fark yaratmak amacıyla başlatılan geliştirme çalışmalarımızdan olan projemiz, müşterilerimizin farklı ürün beklentilerine cevap verme doğrultusunda şekillendirilmiştir.

Bu kapsamda izlenilen yol haritasını vermeden önce dizayn etmiş olduğumuz makinemizin çalıştığı Forma ve OCMI hatlarındaki proseslerle ilgili birkaç bilgi şu şekildedir;

#### • Forma hattı ayaklı bardak prosesi

- Cam damlası bir ön şekillendirme için iki plaka arasında sıkıştırılarak, belirli kalınlıkta yuvarlak bir disk haline getirilir. Bu cam disk, makina üzerindeki uygun çapta delik bulunan ring üzerine bırakılır. Cam disk,

ring deliği içinden süzülerek sarkarken, içine çok düşük basınçlı hava üflenerek döndürülmeye başlanır.

- Pres makinasında üretilen ayak, gövde makinasının ayak taşıyıcısına gönderilir. Ayak taşıyıcı yukarı kalkar. Kalıplar kapatılır. Kalıp içindeki cama, döndürülerek hava üflenmesi neticesinde mamul, kalıp şeklini alır.
- Sıcak halde temas neticesinde ayak ve gövde birbirlerine yapışır. Kapelli Forma ürünü birleşim yerleri parlatılmak üzere PK60 makinesine yüklenir. Daha sonra mamul, tansiyonu alınmak için soğutmadan geçirilerek soğuk kesme makinasına gelir. Mamulün, kapel adı verilen fazlalık parçası kesilip atılır. Bardakların ağızları, ağız yakma makinasında alevle parlatılır.

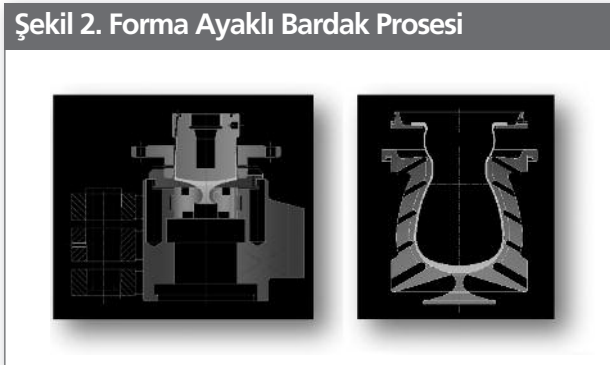
#### • OCMI hattı ayaklı bardak prosesi

- Pres-üfleme (O90) makinasından gelen gövde ile pres (PV28) makinasından gelen ayağın üçüncü bir makinada ısıtılarak yapıştırılması veya yapıştırılıp çekilmesi şeklindedir.

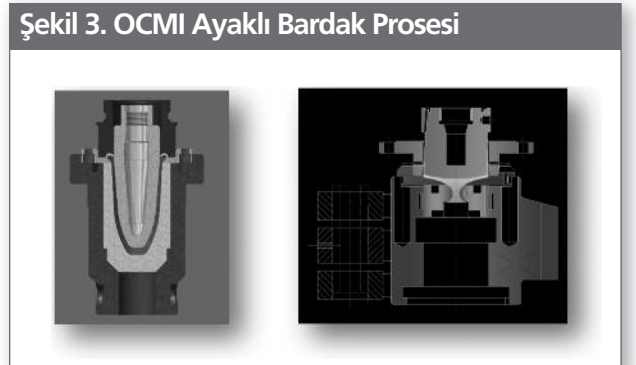
O90 makinasından gelen gövde, ağız kesilerek hazırlanır. PV28 pres makinasında üretilen ayak, tablası yakılarak hazırlanır. Gövde ve ayak, 60 kollu PK60 ATÇP makinasına yüklenir. Gövdenin dibi ve ayağın üstü kuvvetli alevlerle ısıtılarak yapışmaya hazırlanır. Daha sonra gövde ile ayak birleştirilerek birleşim yeri alevle tavllanır. Mamul tansiyonu alınmak üzere soğutmaya verilir.

- F&D cam kompozisyonunda bütün mamullerin

Şekil 2. Forma Ayaklı Bardak Prosesi



Şekil 3. OCMI Ayaklı Bardak Prosesi





ağızları soğuk kesme makinasında kesilir ve ağız yakma ile mamullerin ağızları parlatılır.

### Üretim Şekilleri:

#### Yapıştırma

- Gövde ve ayak yapışma yüzeyleri ısıtıldıktan sonra mekanik baskı uygulanarak yapışma sağlanır. Yapıştırılan yüzey ve ayaktaki düğme, bekler ile tavlansak mamule son şekli verilir.

#### Gövdeden çekme

- Çekilecek kısım gövdede bırakılır. PK60 makinasında tabla ve gövdenin yapışacak kısmı bekler ile ısıtılır. Yapışmadan sonra gövde aşağı doğru çekilerek uzatılır ve istenilen son form verilmiş olur.

#### Ayaktan çekme

- Çekilecek kısım ayakta bırakılır. PK60 makinasında ayak ve gövdenin alt kısmı bekler ile ısıtılır. Yapışmadan sonra gövde aşağı doğru çekilerek uzatılır ve istenilen son form verilmiş olur.

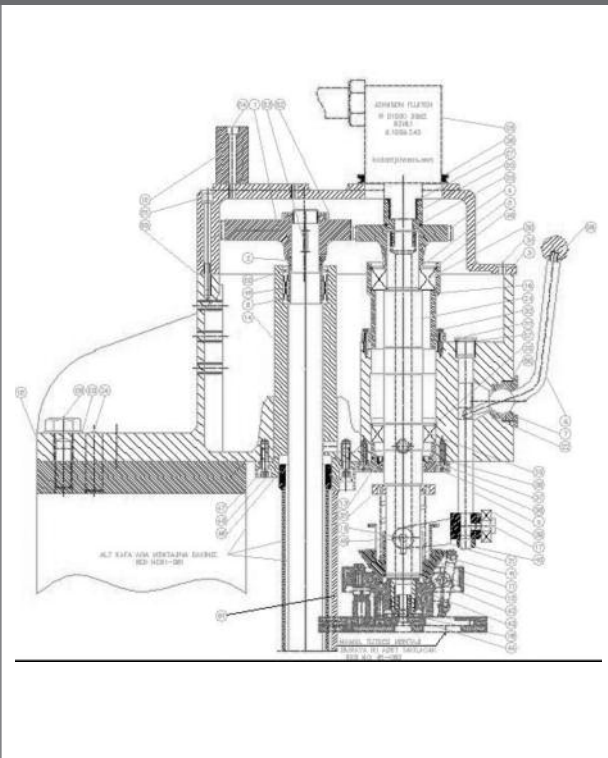
Ayaksız

İzlenen yol haritası aşağıdaki başlıklar altında verilebilir;

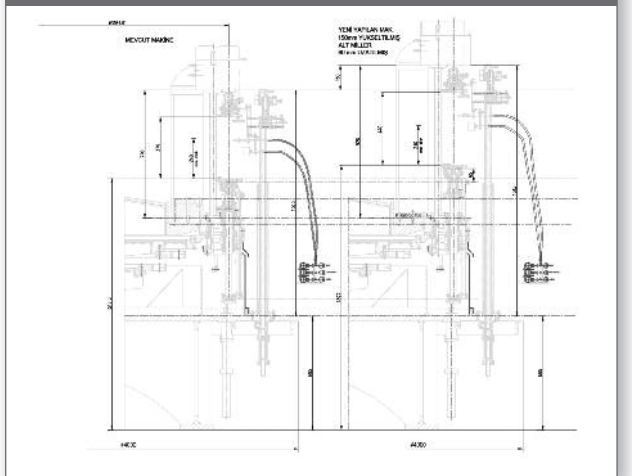
#### Tasarım ve Projelendirme

- İşlem görecek ürün tiplerine göre section tasarımı ve projelendirilmesi;
  - Orijinal OCMI section'da alt ve üst kafa arası mesafe 370 mm'dir. Makinenin üretim esnasında çok sık olarak alt kafa emniyetine yakalanması sebebiyle alt millere kelepçeler konularak çözüm bulunmuştur.
  - Bu tecrübeyle PK60 ATÇP makinesinde alt mil boyu 80 mm uzatılmıştır. Bunun yanında kapelli Forma ürünlerinde en yüksek mamul boyu olan 365 mm'nin yapılabilmesi için alt ve üst kafa arası 150 mm daha açılarak mesafe 440 mm'ye çıkarılmıştır.
- Alt kafalarda Forma ürünlerinin içten kape tutma ihtiyacı sebebiyle yeni tip kafaların tasarımı ve projelendirilmesi,
  - Orijinal OCMI makinesinde yapılan üretimlerde bu makineye kapesi kesilmiş ürün yüklenmesi sebebiyle mamuller vakumla tutulabilmektedir. Ancak PK60 makinesinde Forma ürünlerinin kapesi olması sebebiyle içten yakalama ve merkezleme ihtiyacı doğmuştur. Bu sebeple yeni tip kafalar dizayn edilmiştir.

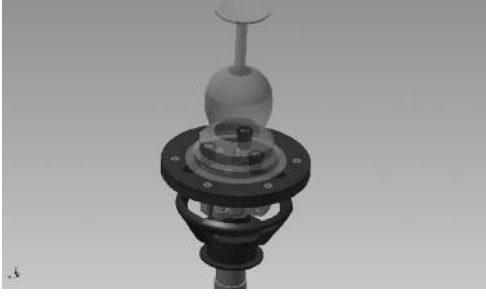
Şekil 4. Section Üst Kafa Tasarımı



Şekil 5. 150 mm. Yükseltmiş Sectionlar

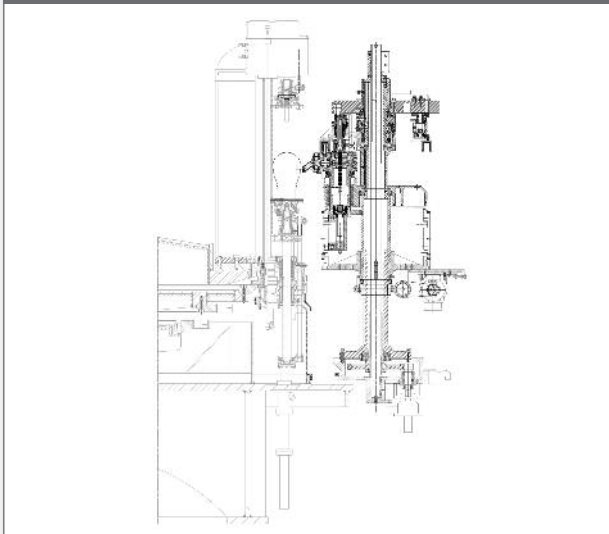


**Şekil 6. İçten Merkezlemeli Kafa**



- Lay-out'a göre ana makine dönüş yönü belirlenmesi, buna göre alt kamların tasarımı ve projelendirilmesi,
  - Forma hattının yerleşimi sebebiyle mamul yükleme pozisyonunda farklılık olmuştur. Buna bağlı olarak makine dönüş yönü saat yönüne çevrilmiştir. Çekme ve yapıştırma kamlarının giriş yönleri de değiştirilerek olası arızaların önüne geçilmiştir.
- Yükleyicilerin ve boşaltıcının projelendirilmesi,
  - Ayak yükleme mekanizması orijinal OCMI makinesi ile aynı kalmasına rağmen, gövde yükleme ve boşaltma mekanizmaları Forma ürünlerinin kapelli olarak yüklenmesi ve içten yakalamalı kafa uygulaması sebebiyle kolların aşağı-yukarı strokları 15 mm'den 30 mm'ye çıkarılmıştır. Konveyör açılına ve çalışma pozisyonlarına bağlı olarak yükleyici ve boşaltıcı üst kamları ile gövde kamları yeniden dizayn edilmiştir.

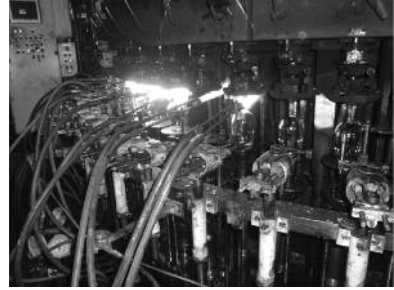
**Şekil 7. Yükleyici Mekanizması Yandan Görünüşü**



- Hareketli Beklerin Projelendirilmesi

- Orijinal OCMI makinesi ile benzer hareketli bek grubu yerli olarak imal edilerek makinede kullanılmıştır.

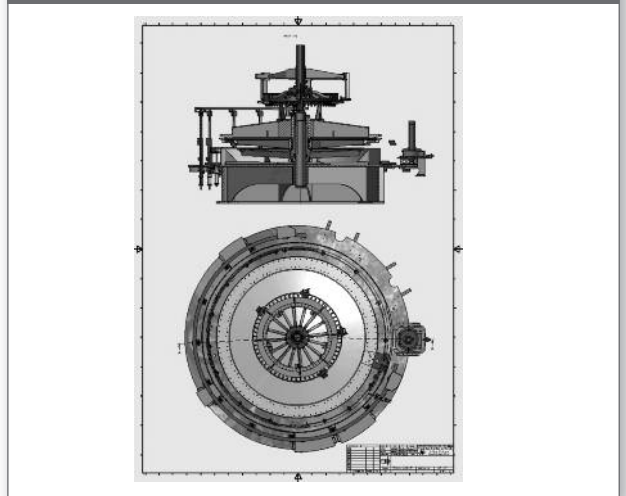
**Şekil 8. Hareketli Bek Mekanizmasından Bir Görünüş**



- Makinenin İmali

- Detaylı imalat projelerinin firmalar ile ön görüşmeleri esnasında firmalara tam olarak hangi yetenekte bir makine istendiği, özellikleri anlatılmış, kullanılacak olan malzeme kalitesi ve hassasiyet noktaları paylaşılmıştır. Prensiplerimiz gereği makinenin tüm projelerinin tek bir firmada toplanmaması için ana makine, sectionlar ile yükleyiciler ve boşaltıcıların ayrı ayrı firmalara ihale edilmesine karar verilmiştir.

**Şekil 9. Ana Makine Şase ve Gövde Projesi**



- Ana makine ve kamların imali

- Ana makine ile kamların imalatı tek bir firmaya ihale edilmiştir. Belirli dönemlerde imalatın ilerleme durumuna göre firmaya çeşitli ziyaretler yapılarak varsa eksik ve aksayan noktalar tespit edilmiştir.

- Revize projelerle bu noktalar düzeltilmiştir. Ticari malzemeler Paşabahçe tarafından tedarik edilerek firmaya verilmiş geri kalan tüm imalat parçaları yerli olarak firma tarafından imal edilmiştir.

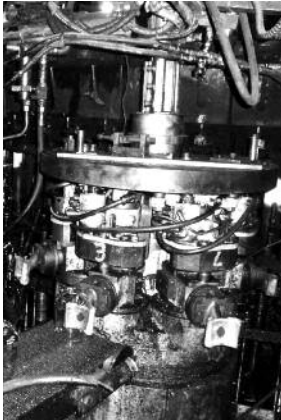
**Şekil 10. Makine Kamlarından Bir Görünüş**



- Sectionların imali

- Sectionların imalatı tek bir firmaya ihale edilmiştir. Belirli dönemlerde imalatın ilerleme durumuna göre firmaya çeşitli ziyaretler yapılarak varsa eksik ve aksayan noktalar tespit edilmiştir. Revize projelerle bu noktalar düzeltilmiştir. Ticari malzemeler Paşabahçe tarafından tedarik edilerek firmaya verilmiş geri kalan tüm imalat parçaları yerli olarak firma tarafından imal edilmiştir.

**Şekil 11. Makine Üzerinde Sectionların Yerleşimi**



- Yükleyicilerin ve boşaltıcının imali

- Yükleyiciler ile boşaltıcının imalatı tek bir firmaya ihale edilmiştir. Belirli dönemlerde imalatın ilerleme

durumuna göre firmaya çeşitli ziyaretler yapılarak varsa eksik ve aksayan noktalar tespit edilmiştir. Revize projelerle bu noktalar düzeltilmiştir. Ticari malzemeler Paşabahçe tarafından tedarik edilerek firmaya verilmiş geri kalan tüm imalat parçaları yerli olarak firma tarafından imal edilmiştir.

**Şekil 12. Yükleyici Mekanizması**



- Kazanımlar

- Yerli tasarım
- Maliyet avantajı
- Yeni ürün kazancı
- Know-how'ın Şişecam bünyesinde kalması
- Yeni makine tasarımları yapmak için özgüven
- Yeni makinelerde kullanılabilecek proje kazanımı
- Paşabahçe'de sürekli gelişim içerisindeki standartlaşmanın bir örneği

**Sonuç olarak;** Bu proje, müşteri odaklılığı kendine göre seçmiş bir Cam Ev Eşyası üreticisi olarak bizlerin, daha kaliteli ve katma değeri yüksek ürünler üretmek için %100 yerli olarak tasarlanmış olduğu, maliyet avantajının yanında portföyümüze yeni tip ürünler eklememizi, yeni makine tasarımları için özgüven kazanmamızı sağlayan ve Paşabahçe'de sürekli gelişim içerisindeki standartlaşmanın bir örneği olan ikincil işlem cam üretim makinesidir.

#### KAYNAKLAR

1. <http://bloginabottle.com/tag/sustainable-development>
2. <http://continuingeducation.construction.com/article.php?p?L=168&C=604&P=4>
3. <http://www.glassallianceeurope.eu/en/environment>
4. <http://tr.wikipedia.org>

# “HİBRİD KALIP” - İKİ FARKLI CAM AMBALAJ ŞEKİLLENDİRME MAKİNESİNDE ORTAK KALIP KULLANIMI



## Karahan Bulut , Leonit Pilat

Şişecam Topluluğu Cam Ambalaj Grubu  
Ruscam Ltd. Kirishi Fabrikası  
Rusya Federasyonu  
kbulut@sisecam.com  
lpilat@sisecam.com

*Karahan Bulut 2002 senesinde Boğaziçi Üniversitesi inşaat mühendisliğini bitirdikten sonra, 2004 senesinde Sabancı Üniversitesinde malzeme bilimleri ve mühendisliği üzerine master yapmıştır. 2005 yılında Ruscam Pokrovsky-ufa fabrikalarında inşaat kontrol mühendisi olarak Şişecam'daki hayatına başlamıştır. 2006-2009 yılı arasında ruscam ufa üretim mühendisliği, 2009-2011 yılı arasında Ruscam Kuban-Kirishi üretim şefliği ve 2012 Ağustos'tan bu yana Ruscam Kirishi Fabrikasında üretim müdürlüğü yapmaktadır.*

## ÖZET

Cam ambalaj şekillendirme makineleri kendi kalıp eksenli mesafelerine uygun şekilde kalıp ekipmanları ile çalışmaktadır. Cam ambalaj üretiminde kullanılan kalıp ekipmanları, toplam üretim maliyetlerinin %8'i gibi yüksek rakamlara ulaşabilmektedir. Bu yüzden aynı şekillendirme makinesinde, daha küçük eksenli kalıp ekipmanları zaman zaman kullanılabilir. Ancak farklı tip kalıp soğutması olan makinelerde bu uygulama yaygın değildir. Bu uygulama ile yaygınlaşmanın önü açılabilir.

Son yıllarda dünya genelinde, üretim tekniklerinin hızlı şekilde gelişmesi nedeni ile pazarlarda arz fazlalığı ciddi şekilde artmış olup, yoğun rekabette dolayı üreticiler, çok düşük kar marjlarını geliştirebilmek için ciddi bir yarışa girmişlerdir. Bu çalışmada 6 ¼” eksenli mesafeli Emhart marka iki damla şekillendirme makinesi ile, 5 ½” eksenli mesafeli Sklostroj makinesinde aynı anda çalışabilecek “hibrid tipi kalıp” hedeflenmiştir. Bahsi geçen makinelerdeki ebişör tarafı soğutma tipi sırasıyla dikey (vertiflow) ve yatay (radyal) tip soğutmadır. Farklı tip soğutmaların zorluğu, kalıpların et kalınlıklarının yüksek olması ve uygun şekilde soğutma kanalları dizayn edilmesi ile birlikte çözülmüştür.

Şu an itibari ile 3 hibrid kalıp setinde çalışma başarılı şekilde denenmiştir. Bahsi geçen çalışma tüm kalıp setlerine yaygınlaştırılması planlanmıştır. Geliştirilen kalıp sayesinde yıllık 600,000 euro civarındaki kalıp amortisman tutarları sıfıra indirilmesi hedeflenmektedir. Böylece, fabrika içinde kalıp esnekliği artacak ve amortisman maliyetleri düşerek, şirket pazarda daha rekabetçi konuma bir adım daha atmış olacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Kalıp, Soğutma Tipi, IS Makinesi, Maliyet Düşürme

## 1. GİRİŞ

Cam ambalaj üretiminde farklı boyut ve gramajlardaki ürünlerin üretilmesi için yine değişik eksenli ve değişik kalıp soğutma tipine sahip IS makineleri gereklidir. Yaklaşık olarak 1100-1200 derece arasında kesilen cam damlası kalıba düşerek, kalıpları 350-500 derece arasında ısıtır. Bu aşamada kalıbın dışından ya da içinden verilen soğutma havası kalıp sıcaklıklarının belli bir seviyede sabit şekilde kalmasını sağlar. Farklı tip

makinelere ve soğutma sistemleri için yine farklı tipte kalıp ekipmanı mevcuttur.

Bu çalışmada iki farklı tip eksenli ve farklı tip soğutma tipine sahip IS makinesindeki kullanılan kalıpların ortaklaştırılması ile yıllık 400,000-600,000 euro civarında ekstra verilen kalıp ekipmanının ortaklaşması ile bu tutarın minimize edilerek zor pazar şartlarındaki şirketinin konumunun daha da güçlendirilmesi hedeflenmektedir.

Uygulama şu ana kadar 5 adet kalıp setinde başarılı bir şekilde faaliyete geçirilmiştir. Hibrid tipi kalıp setleri uzun vadede maliyet avantajı dolayısıyla yaygınlaştırılacaktır.

## 2. ÜRETİM PROSESİ VE CAM ŞEKİLENDİRME MAKİNESİ TİPLERİ

Farklı boyut ve gramajlardaki cam ambalaj ürünleri, teorik cidar kalınlığı, kafa tipi, ve ürün şekline göre farklı tip üretim proseslerinde imal edilir. Yine bahsi geçen ürün parametrelerine göre, farklı ihtiyaçlar için piyasada değişik tipte IS Makineleri bulunmaktadır.

Bu bölümde üretim prosesleri, IS makine tipleri ve fabrikamız

Ruscam Kirişi'deki makine parkından bahsedilecektir.

### 2.1. Üretim Prosesi Tipleri

Cam Ambalaj prosesinde genel olarak üç tip üretim süreci mevcuttur. Üfleme üfleme (BB) sürecinde ağız içi genişliği 8-38 mm arası ürünler, Presleme Üfleme sürecinde (PB) ağız içi genişliği 38-81,3 mm arası ürünler ve Dar Boyunlu Presleme Üfleme sürecinde (NNPB) ise ağız içi 16-24 mm arası ürünler üretilir[1].

#### 2.1.1. Üfleme Üfleme(BB) Prosesi

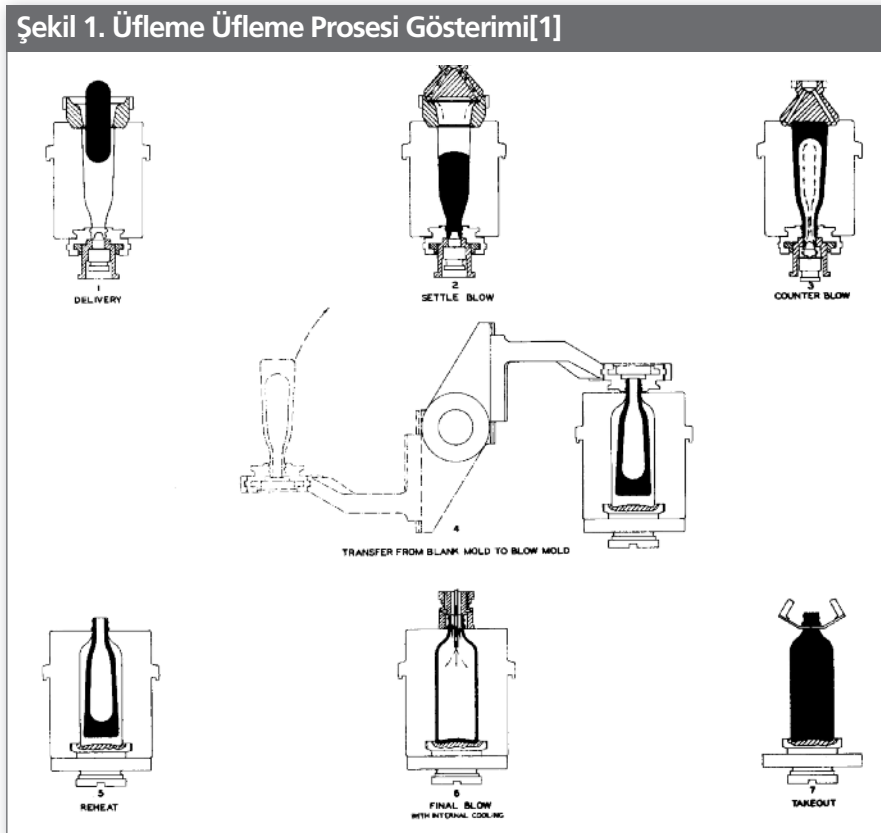
Hazırlayıcı kalıp tarafında damlanın içine hava üflenerek şişirmeye hazırlanan parizondan dolayı üfleme üfleme olarak adlandırılan bu proses NNPB prosesinden önce tüm şişelerin üretiminde kullanılan prosesdir. Genellikle geri dönüşlü şişe üretiminde kullanılır.

Aşağıdaki resimde üfleme üfleme sürecindeki aşamalar görülebilir.

#### 2.1.2. Presleme Üfleme(PB) ve Dar Boyunlu Presleme Üfleme(NNPB) Prosesi

Bu iki proses genel itibarıyla yüksek makine devri, hafif

Şekil 1. Üfleme Üfleme Prosesi Gösterimi[1]



gramaj ve dolayısıyla ince teorik cidar kalınlığı istenen üretimlerin yapılmasında kullanılır. Genel itibari ile cam dağılımı üfleme üfleme prosesinden daha iyi olduğu için aynı hacimdeki ürünler daha hafif ağırlıkta aynı kalite dayanımları ile üretilebilir. Presleme Üfleme prosesi yukarıda bahsedildiği üzere genel olarak ağız içi geniş kavanoz üretimlerinde kullanılmaktadır. Son dönemde şişe üretiminin genel olarak bu proses tiplerine kaydığı görülmektedir.

Aşağıdaki resimde presleme üfleme prosesindeki aşamalar görülebilir.

## 2.2. IS Makinesi Tipleri ve Kirişi Fabrikasındaki IS Makine Parkı

Farklı tip ürünleri üretmek için değişik tipte IS makineleri mevcuttur. Bazı makine tipleri Tablo 1’de görülebilir. Ürün çapına göre farklı tipte eksen mesafeleri mevcuttur. Makinede kalıp koluna oturan kalıpların merkezi arasındaki kalan

mesafeye eksen mesafesi denir. Bu çalışmada 5 ½” inç ve 6 ¼” inç iki farklı merkez mesafeli makinede kalıp ortaklaştırılması hedeflenmiştir.

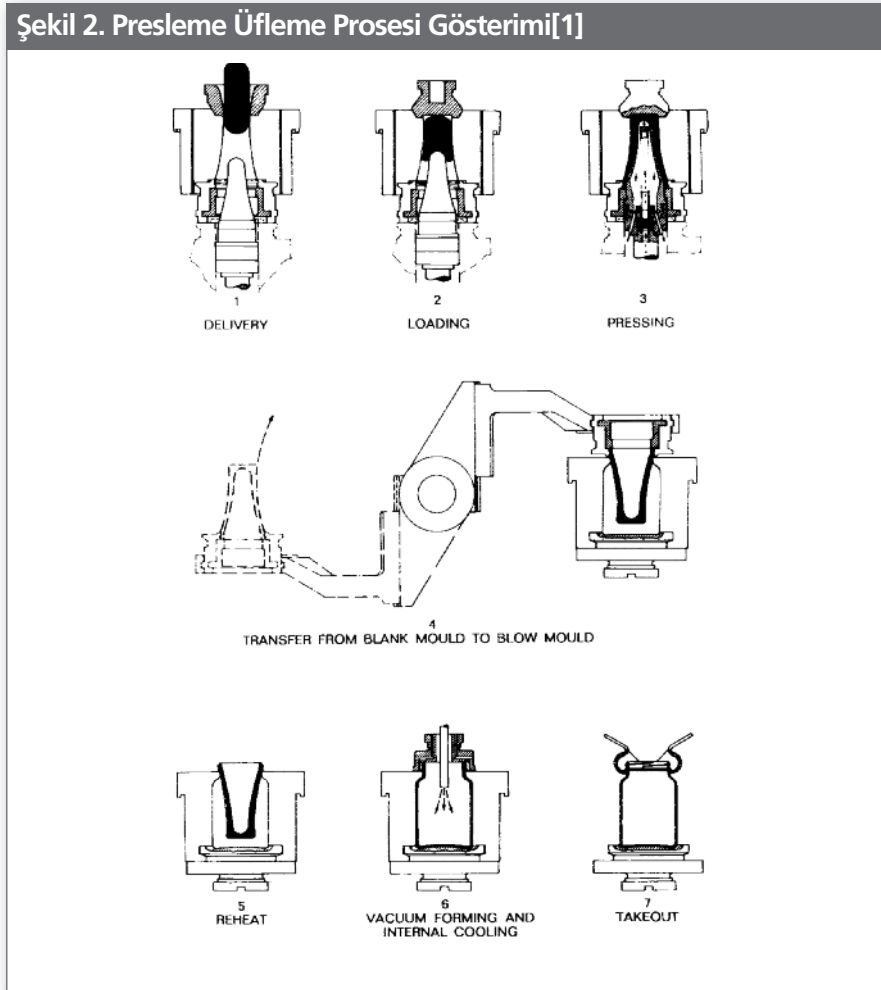
Kirişi fabrikası, 240 ton/gün ve 320 ton/gün kapasitesine sahip iki firmı, ve yaklaşık 145 çeşit farklı ürün üretebilen altı hatta sahip, Anadolu Cam Sanayi’nin Rusya Federasyonu Leningradskaya Bölgesinde kurmuş olduğu tesislerinden biridir. Fabrikada kullanılan IS makinesi tipleri Şekil 4’te görülmektedir.

Bu projenin amacı A hattı ve B2 hattındaki farklı tip IS makinelerinde kullanılan farklı tip kalıp ekipmanlarının ortaklaştırılmasıdır.

## 2.3. Kalıp Soğutma Tipleri

IS makinesinde yaklaşık 1100 derece sıcaklıktaki damlanın kalıba düşmesi ile kalıp sıcaklıkları 350-500 dereceye kadar çikabilir. Kalıp sıcaklıklarının kontrol altında tutulabilmesi

Şekil 2. Presleme Üfleme Prosesi Gösterimi[1]



Tablo 1. Farklı IS makinesi tipleri[2]

IS - AIS - NIS MACHINES WARE RANGES															
Ware Range	Type IS 4 1/4"			Type IS 5"			Type IS 5 1/2"		Type IS 6 1/4"		Type AIS		Type NIS		
	SG	DG 4 1/2"	TG 3"	SG	DG 5"	TG 85	SG	DG 5 1/2"	DG 6 1/2"	TG 4 1/4"	DG 6 1/4"	TG 4 1/4"	DG 6 1/4"	TG 5"	QG 95
<b>Blow &amp; Blow</b>															
Max. Height Under Finish	341 (358)	301	276	341	325	244	380 (352) <sup>1</sup>	343	342	287	347	304	365	365	250
Min. Height Under Finish	61	58	59	74	73	55	121	68	115	105	110	110	95	95	70
Max. Body Diameter :															
- with Stack Cooling	178	90	52	178	102	62	178	111	130	90	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
- with Vertiflow Cooling	156	76	51	156	95	60	156	102	121	76	121	76	121	95	65
Max. Finish Diameter	48	48	30	48	48	30	48	48	48	48	48	48	48	48	35
<b>Press &amp; Blow</b>															
Max. Height Under Finish	265 (282)	282	266	265	290	212	326 (296) <sup>2</sup>	302	301	268	300	285	345	345	250
Min. Height Under Finish	74	40	47	74	55	50	121	58	105	86	80	80	75	75	70
Max. Body Diameter :															
- with Stack Cooling	178	90	52	178	102	62	178	111	130	90	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
- with Vertiflow Cooling	156	76	51	156	95	60	156	102	121	76	121	76	121	95	65
Max. Finish Diameter	120	83 <sup>3</sup>	38	120	90	55	120	90	90	70	105	70	83	70	55
<b>Narrow Neck Press &amp; Blow</b>															
Max. Height Under Finish	N.A.	262	268	N.A.	285	212	N.A.	296	296	268	295	285	345	345	250
Min. Height Under Finish	N.A.	40	47	N.A.	55	50	N.A.	57	105	86	80	80	75	75	70
Max. Body Diameter :															
- with Stack Cooling	N.A.	90	52	N.A.	102	62	N.A.	111	130	90	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
- with Vertiflow Cooling	N.A.	76	51	N.A.	95	60	N.A.	102	121	76	121	76	121	95	65
Max. Finish Diameter	N.A.	38	38	N.A.	38	38	N.A.	38	38	38	38	38	50	50	38

The specified ware ranges are valid when using standard mold equipment, Q.C. Plunger Mechanisms, Series 9700 Vertiflow Mechanisms and blank molds stack cooling (excluding AIS and NIS which have Vertiflow only).

Notes:

- 1) With blow mold stack cooling using Non Vertiflow Adapter
  - 2) With blow mold stack cooling, with or without Non Vertiflow Adapter
  - 3) 70 mm max. finish with Vertiflow blow mold cooling
- N.A. = Not Available

Tablo 2. Kirişi Fabrikası IS makinesi parkı ve proses tipleri

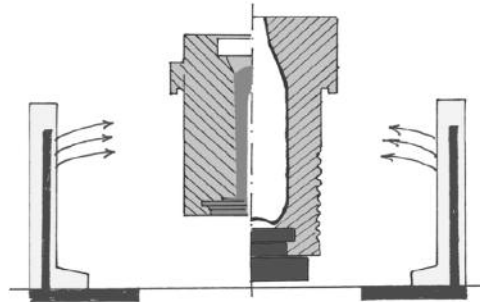
#### A FIRINI

- A1- Sklostroj 5 1/2" – DG – 10 kol- NNPB-PB-BB
- A2- Sklostroj 5 1/2" – DG – 10 kol- NNPB-PB-BB
- A3- Sklostroj 5 1/2" – DG – 10 kol- BB

#### B FIRINI

- B1- Emhart 4 1/4" – TG – 12 kol- NNPB – PB - BB
- B2- Emhart 6 1/4" – DG – 12 kol- NNPB-PB-BB
- B3- Emhart 4 1/4" – TG – 12 kol- NNPB – PB - BB

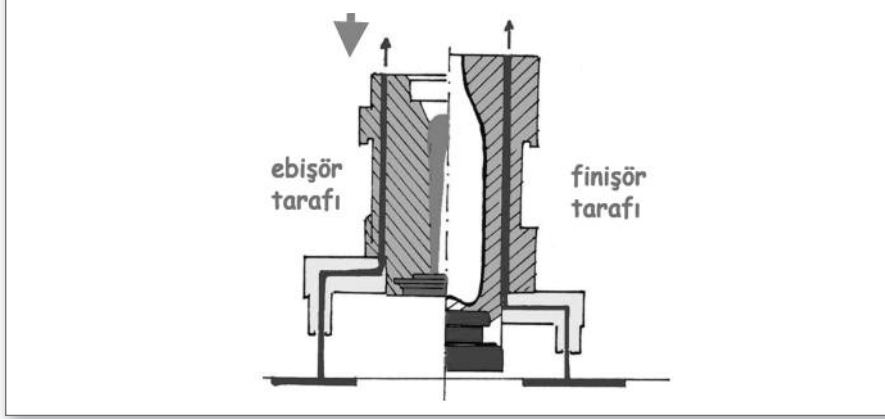
Şekil 3. Yandan(Radyal) tip kalıp soğutma



İçin kalıplara soğutma havası verilmesi gereklidir. Soğutma havaları yandan ve dikey olacak şekilde iki türlü verilebilir. Son yıllarda yüksek devir ve homojen kalıp sıcaklıklarının

sağlanması için özellikle dikey tip soğutma tercih edilmektedir. Aşağıdaki resimlerde bu iki farklı soğutma tipinin genel gösterimi yapılmıştır.

Şekil 4. Dikey(Axial) tip kalıp soğutma



### 3. ÜRETİM PROSESİ VE CAM ŞEKİLLENDİRME MAKİNESİ TİPLERİ

Hibrid kalıp uygulaması iki farklı tip kalıp soğutma sistemi olan iki farklı eksenli makinedeki kalıpların ortaklaşmasıdır. Bu sebeple öncelikle damlanın ilk düştüğü ebişör tarafı dediğimiz bölgede gerekli hesaplar ve çizimler yapılarak kalıp resimleri masa başında oluşturulup gerekli denemeler yapılmıştır. Finaşör tarafında iki makinede de vertiflow sistemi kullanıldığından bu bölgede çok fazla bir zorluk çıkmamıştır. Aşağıda uygulama detayları anlatılacaktır.

#### 3.1. Ebişör Tarafı Uygulama

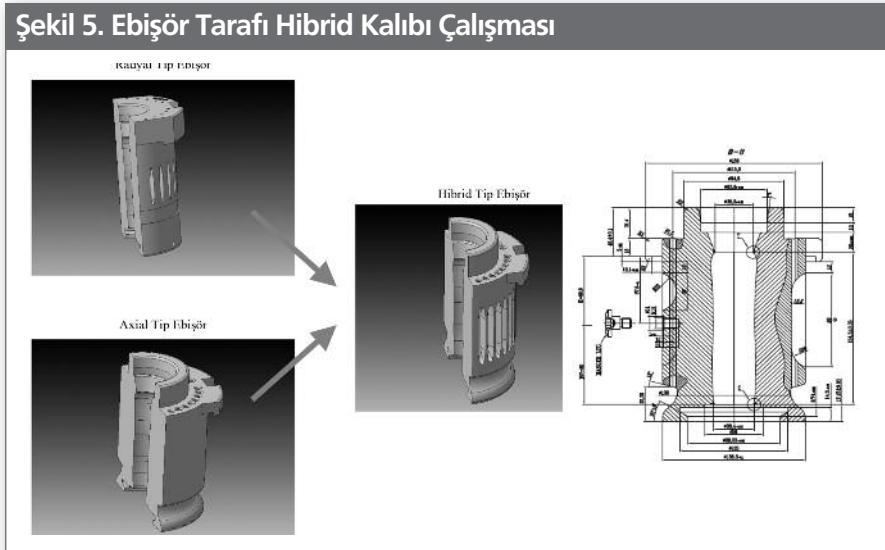
Radyal tip ebişörlerde kalıbın dışarıdan soğutulması dolayısıyla fin dediğimiz soğutma kanalları mevcuttur. Axial tip kalıpta ise kalıp soğutma havasının kalıp içinden geçmesi dolayısıyla, soğutma delikleri kalıp içinden dikey

şekilde geçmektedir. Aşağıda Şekil 5'ten görülebileceği üzere Hibrid tip kalıpta, kalıbı her iki tip IS makinesinde soğutabilmek için iki tip soğutma kanalının da bulunabilmesi gereklidir. Projelendirme aşamasında gerekli hesaplar yapılarak fin kanallarının genişlikleri ve boyları, ayrıca dikey kanalların da çapları hesaplanmıştır. İlk denemelerde kalıpların fazla ısınmasından dolayı gerekli optimizasyonlardan sonra Hibrid Kalıbı aşağıdaki resimde görüleceği üzere son şeklini almıştır.

#### 3.2. Finaşör Tarafı Uygulama

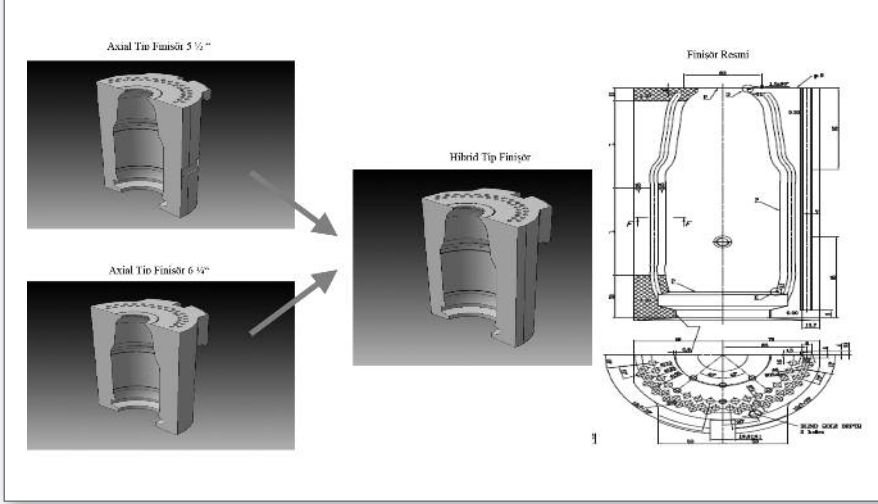
Finaşör tarafında her iki makinenin de vertiflow sistemine sahip olması dolayısıyla buradaki adaptasyon daha kolay olmuştur. 6 ¼" kalıplarının 5 ½" kalıplardan daha büyük olması dolayısıyla kalıplardan bir miktar kesme yapılmak zorunda kalınmıştır. Yapılan kesme işlemi kalıp et kalınlığının büyük olmasından dolayı, kalıp sıcaklarında ters bir etkiye

Şekil 5. Ebişör Tarafı Hibrid Kalıbı Çalışması

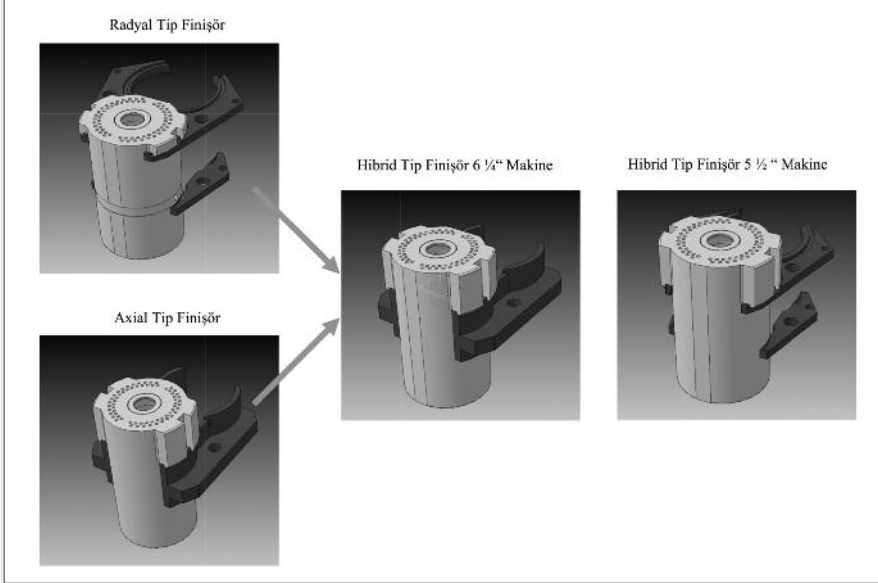




Şekil 6. Finişör Tarafı Hibrid Kalıbı Çalışması



Şekil 7. Finişör Kalıp Kolu ve İncert Yerleşimleri



yol açmadığı gözlenmiştir. Şekil 6'da finişör tarafındaki uygulama detaylarıyla beraber görülebilir.

### 3.3. Kalıp Kolu ve İncert yerleşimi

Sklostroj ve Emhart IS makinelerinin incert tipleri farklı olduğundan, ortak geliştirilen hibrid kalıpta da bağlantı şekilleri aşağıda Şekil 7'de görüleceği üzere farklı şekilde olacaktır. Normal radyal kalıbın axial tipdeki kalıba uyması için finişör kulak mesafesi arttırılarak H mesafesi değiştirilmiştir. Kalıbın alt takozu da buna göre ayarlanmıştır. Ayrıca kavanoz kalıplarda hem ebişör hem de finişörlerin oturması için incert altına ekstra bir parçaya gerek duyulmuştur.

### 3.4. Hibrid Kalıp Çalışma Sonuçları

Şu ana kadar iki farklı makinede 3 tip hibrid kalıp başarılı şekilde çalışmıştır. Çalışma sonuçları aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır.

#### 3.4.1. 5 1/2" Makine Çalışma Sonuçları

Breeze isimli litrelik NNPB imalat ve 250 ml Standart Kavanoz hibrid kalıp şeklinde sipariş edilmiş olup, 5 1/2" Sklostroj makinesinde başarılı şekilde üretilmiştir.

Şekil 8'de hibrid kalıp ile çalışan litrelik NNPB imalatından bazı kesitler görülmektedir. Yukarıdaki sonuçlardan da görüleceği üzere kalıp sıcaklıklarında herhangi bir sorun

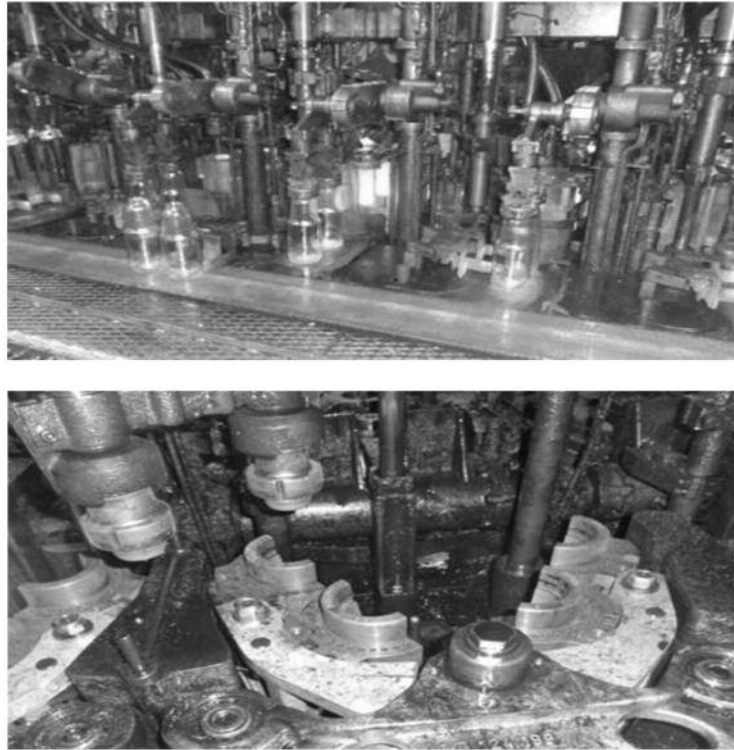
**Tablo 3. Hibrid Kalıp ile yapılan litrelik NNPB imalatı çalışma sonuçları**

Tarih : 22.09.2014 – 10.10.2014  
Ürün ve Kod: Breeze 1 lt - 481999  
Üretim Yapılan Makine: Sklostroj 5 ½ “ (A2)  
Ağırlık: 376,8 g  
Renk : Flint  
F/H Sıcaklıkları: Spout:1125, Zone1: 1201,  
Zone2: 1179, Zone3: 1170, Zone4:1161,  
Zone5: 1128  
Devir: 138 şişe/dakika  
Ağırlık Randımanı : %82.8  
Kalıp Sıcaklıkları :  
Ebişör : 450±10  
Finişör : 490±10

**Tablo 4. Hibrid Kalıp ile 250 ml kavanoz imalatı çalışma sonuçları**

Tarih : 16.10.2014 – 23.10.2014  
Ürün ve Kod: 250ml Standart Kavanoz - 169528  
Üretim Yapılan Makine: Sklostroj 5 ½ “ (A1)  
Ağırlık: 155,9 g  
Renk : Flint  
F/H Sıcaklıkları: Spout:1014, Zone1: 1213, Zone2:  
1204, Zone3: 1186, Zone4:1175,  
Zone5: 1174  
Devir: 186 şişe/dakika  
Ağırlık Randımanı : %91.0  
Kalıp Sıcaklıkları :  
Ebişör : 440±10  
Finişör : 460±10

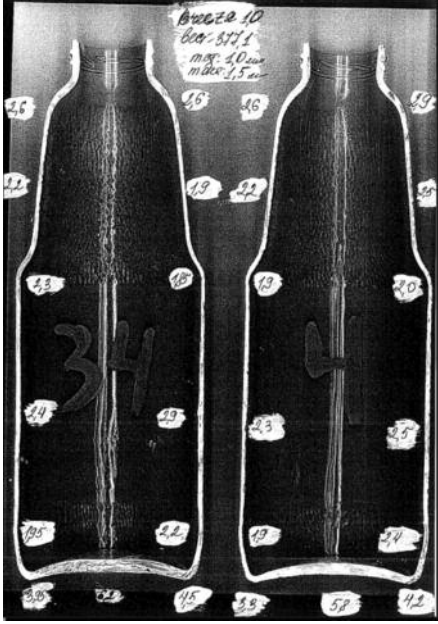
**Şekil 8. 5 ½” makede Hibrid kalıptan bazı görüntüler**



olmadan 440-490 derece arasında hem finişör hem de ebişör sıcaklıkları rahat şekilde ayarlanabilmektedir. Proje başlangıcında özellikle radyal soğutma ile çalışan 5 ½” merkez mesafeli Sklostroj makinesinde ebişör tarafında soğutma sıkıntısı ortaya çıkabileceği öngörülmüştür. İlk denemelerde de bu öngörü gerçekleşmiştir. Ancak kalıp

soğutma finlerinin optimizasyonu ile ebişörlerde homojen bir kalıp sıcaklığı elde edilerek sorun giderilmiştir. Yukarıda da anlatıldığı üzere finişör tarafında iki sistemin de vertiflow olmasından dolayı burada pek fazla bir çalışma yapılmadan homojen kalıp sıcaklıkları elde edilmiştir. İki üründe de yüksek randımanlı çalışılması hibrid tipi kalıplarda uzun

Şekil 9. 5 1/2" makinede Litrelik NNPB imalatın cam dağılımı kesiti



vadede sorun çıkmadan çalışabileceğini göstermektedir. Şekil 9'da litrelik NNPB imalatın cam dağılımı kesiti görülmektedir.

### 3.4.2. 6 1/4" Makine Çalışma Sonuçları

Emhart 6 1/4" makinede soğutma tipinin dikey olmasından dolayı ebişör tarafında daha rahat ve

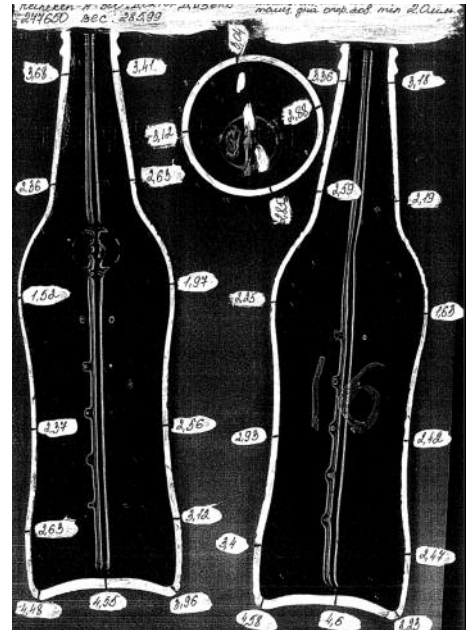
Tablo 5. Hibrid Kalıp ile 500 ml NNPB imalatı çalışma sonuçları

Tarih : 20.08.2014 – 04.09.2014
Ürün ve Kod: 500ml Dr.Diesel Beer Bottle - 277650
Üretim Yapılan Makine: Emhart 6 1/4" (B2)
Ağırlık: 287,4 g
Renk : Green
F/H Sıcaklıkları: Spout:1091, Zone1:1197, Zone2:1189, Zone3:1162, Zone4:1159
Devir: 206,4 şişe/dakika
Ağırlık Randmanı : %87.6
Kalıp Sıcaklıkları :
Ebişör : 465±10
Finişör : 495 ±10

Şekil 10. 6 1/4" makinede 0,5 hibrid kalıptan bazı görüntüler



Şekil 11. 6 1/4" makinede 500 ml NNPB imalatın cam dağılımı kesiti



homojen soğutma elde edilmiştir. Tablo 5'te 500 ml NNPB imalatın rahat ve randımanlı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Şekil 10'da Emhart makineden hibrid kalıplarla bazı kesitler görülebilir. Şekil 11'de çok

---

homojen bir cam dağılımı elde edildiği görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Şu ana kadar 5 hibrid seti sipariş edilmiş olup, iki makine için ayrı ayrı kalıp seti siparişine gerek kalmamıştır. Yapılan tasarruf 2014 yılında 247.295 dolardır. A firmı flint, B firmı ise hem yeşil hem de flint renk kampanyası yapmaktadır. Dr. Diesel ve Tuborg gibi hem flint hem de yeşil renk çalışan şişeler için artık tek kalıp seti ile iki fırında üretim yapılacak hale gelmiştir. Eskiden iki farklı renk çalışan şişeler için iki farklı kalıp seti siparişi verilmekteydi.

Bu proje ile Kirişi fabrikasında bulunan 3 tip cam

şekillendirme makinesi için iki tip kalıp siparişi yeterli olacaktır. Kalıpları saklamak için kullanılan ambardan senede 30 m<sup>2</sup> kadar yer tasarrufu sağlanacaktır. Ebişör ve finişör sıcaklıklarında herhangi bir sapma yoktur, şu ana kadar 5 adet kalıp seti siparişi verilmiş ve 3 adet set üretimi yapılmıştır. Şu ana kadar PB,NNPB proseslerinde üretim yapılmıştır. BB prosesinde çalışmasında da herhangi bir engel yoktur. Yapılan çalışma literatürde ilktir.

#### KAYNAKLAR

1. Light Weight Technology, 2002, Heye International, 35-60
2. Mould design manual, 2001, Emhart Glass

# GÜMÜŞ NİTRAT ÖZGÜL TÜKETİMİNİN AZALTILMASI



## Aytaç Öztürk

Şişecam Topluluğu, Düzcam Grup  
Başkanlığı, Temel Camlar Üretim Başkan  
Yardımcılığı  
aytozturk@sisecam.com

1977 mersin doğumluyum. YTÜ elektronik ve haberleşme mühendisliği mezunuyum. 2005 yılından beri Trakya cam san. A.Ş. Trakya fabrikasında görev yapmaktayım. Son 1 yıldır, işlenmiş camlar üretim müdürlüğü bünyesinde ayna ve lamine üretim şefi olarak çalışmaktayım.

## ÖZET

Yüzyıllardan beri çeşitli yöntemlerle üretilmekte olan ayna, günümüzün modern tesislerinde gelişmiş tekniklerle ve daha büyük kapasiteli üretimlerle insanlığa hizmetini sürdürmektedir. Bu çalışmada ele alınan üretim tekniği; yıkama, polisajlama, cam yüzeyini hassaslaştırma, gümüş kaplama, bakır kaplama ve çift kat boya uygulama adımlarından oluşmaktadır. Yansıtma katmanı olarak gümüş nitrat kullanılmaktadır. Aynanın önemli bir girdisi olan ham cam hariç tutulduğunda; üretim prosesinden gelen kaplama maliyetinin yaklaşık %50'sini gümüş nitrat oluşturmaktadır. Bu çalışma ile ürün kalitesinden taviz vermeden gümüş nitrat özgül tüketiminin azaltılması ve böylece ayna üretim maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Ayna, Gümüş Nitrat, Özgül Tüketim, Maliyet, Altı Sigma

## 1. GİRİŞ

“Gümüş Nitrat Özgül Tüketiminin Azaltılması” projesi, bir “Yalın Altı Sigma” projesi olarak ele alınmıştır. Projenin başlamasıyla birlikte, “Sarı Kuşak” ve “Yeşil Kuşak” eğitimleri alınmaya başlanmış ve projenin matematiksel analizlerle desteklenerek sağlıklı bir şekilde başarıya ulaştırılması hedeflenmiştir.

İlk adımda; amaç, kazanımlar ve proje hedefleri belirlenerek projenin omurgası kurulmuştur. İhtiyaçların anlaşılması ve ölçme altyapısı tasarımı çalışmalarının ardından problemi önceliklendirme çalışması başlatılmıştır. Ayna üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanan projede; düşük üretim maliyetinin yanı sıra düşük stok maliyeti ve kapasite kullanım oranının artırılması da birer kazanım olarak elde edilmiştir.

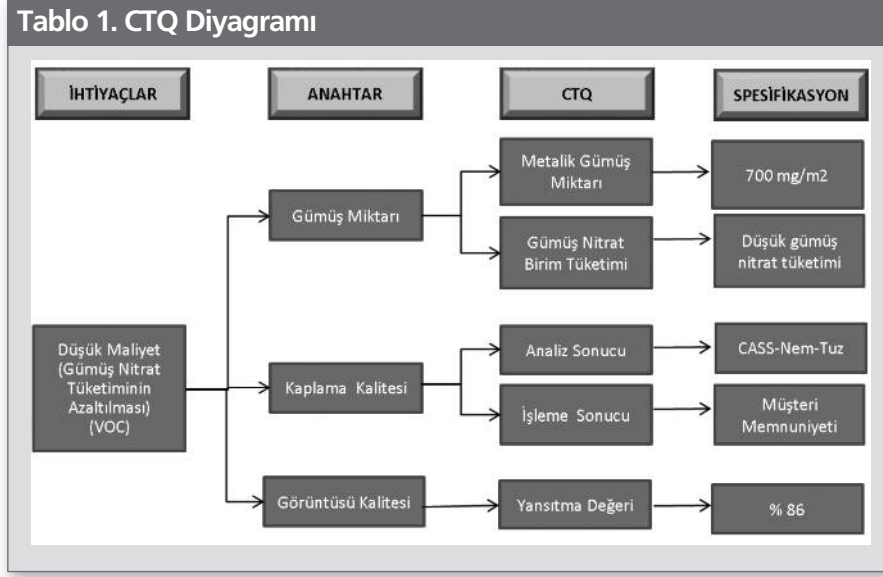
Projenin geliştirilmesi ve sonuçlandırılması aşamalarında, ürün kalitesinden taviz vermemek temel prensip olarak belirlenmiştir. Ayrıca, aynı ayna plakası üzerindeki ve diğer plakalar arasındaki metalik gümüş dağılımının homojen hale getirilmesi ve daha efektif üretim reçetesinin oluşturulması diğer önemli proje hedefleridir.

## 2. YÖNTEM

İhtiyaçların doğru anlaşılabilmesi ve projeye yön verilebilmesi için, bir CTQ diyagramı (kalite kritikleri) hazırlanmıştır. “Müşterinin Sesi” (Voice of Customer) çalışmasının ardından, anahtar, CTQ ve spesifikasyonlar belirlenmiştir. CTQ diyagramı Tablo-1’de verilmiştir.

Teknik Bülten (Mart 2015):  
Cilt:44, No:1, sy:203-209  
©Şişecam

Tablo 1. CTQ Diyagramı



Ayna plakası üzerindeki metalik gümüş ölçümü için, ölçme altyapısı tasarımı yapılmış ve ölçümler için otomatik titrasyon cihazı kullanılmaya başlanmıştır. Bu cihazın kullanılmasıyla birlikte şu avantajlar elde edilmiştir: Daha güvenilir sonuçlar, kişiden bağımsız ölçümler, ekran üzerinden dijital görüntüleme, daha hızlı sonuç elde etme, ölçüm yeterliliği ve ölçüm hassasiyeti, daha az titrasyon kimyasalının kullanılması.

### 3. PROBLEMİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

Gümüş tüketim kayıplarının temel bileşenleri belirlenmiş ve çözüm yolları aranmıştır. Buna göre 3 temel bileşen belirlenmiştir: Hat tasarımı kaynaklı kayıplar, katma değersiz tüketim kayıpları ve parametrik optimizasyon kayıpları. Kayıp detayları, çözüm yolları ve yapılan çalışmalar aşağıdaki maddelerde detaylandırılmıştır.

#### 3.1. Hat Tasarımı Kaynaklı Kayıplar

Hattın çalışması ve tasarımı nedeniyle oluşan kayıplar ve gereksiz kullanım noktaları tespit edilmiştir. Eksiklerin giderilmesiyle ilgili aksiyon planları oluşturulmuş ve çözüm yöntemleri bulunmuştur.

Hat herhangi bir nedenle durduğunda, gümüş pompasının otomatik olarak kapanmasını sağlamıştır. Bu duruşlarda, tüm operatörlerin dikkatini çekecek ve gümüş konsoluna müdahale edilmesini sağlayacak 'uyarı' sistemi kurulmuştur. Konvoy halinde hareket eden plakaların arasındaki boşluk azaltılarak gümüş kayıpları minimize edilmiştir.

Prosesin önemli parametrelerinden olan 'iletkenlik' ve 'slikat' değerlerinin stabil olabilmesi için, demi su sistemi revize edilmiştir

Hat çalışanlarına; sürekli iyileştirme konusunda farkındalığı yükseltmek için eğitimler verilmiştir. Proje Lideri 'Yalın Altı Sigma – YEŞİL KUŞAK', Proje Ekip Üyeleri 'Yalın Altı Sigma – SARI KUŞAK' eğitimlerine katılmıştır. Gümüş nitrat tüketimi takip alt yapıları ve yöntemleri, matematiksel analizler uygulanabilecek şekilde iyileştirilmiştir.

#### 3.2. Katma Değersiz Tüketim Kayıpları

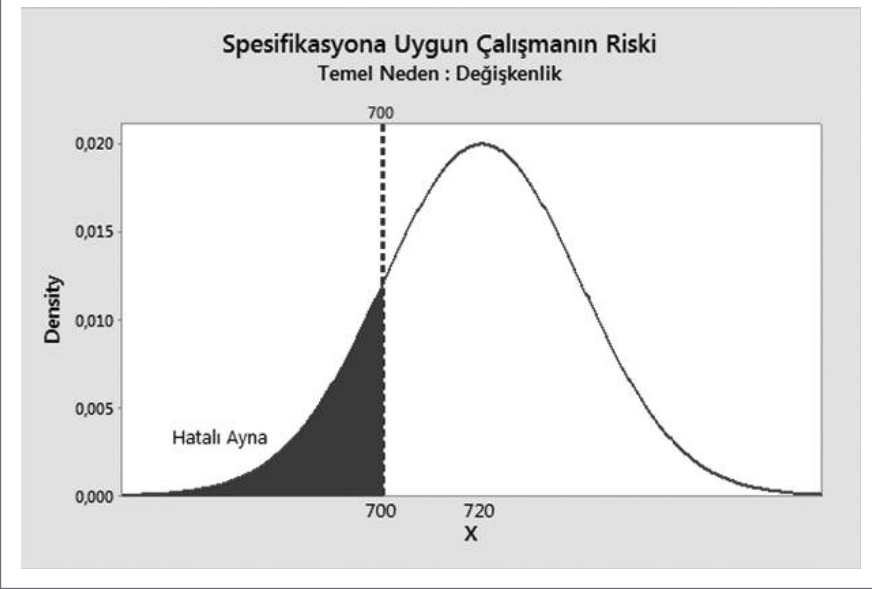
Gümüşün, hareketli nozullar yardımıyla püskürtülmesi ve plakalar arasındaki açıklıklar nedeniyle; 'plaka üzerinde' ve 'plakalar arasında' homojen olmayan bir metalik gümüş dağılımı mevcuttu. Bu durum, birim üretim başına daha fazla gümüş nitrat kullanılmasına neden olmaktadır.

Hareketli nozul grubu yerine alternatif tasarım denemeleri yapılmış ve plakalar arasındaki açıklık en aza indirilmiştir.

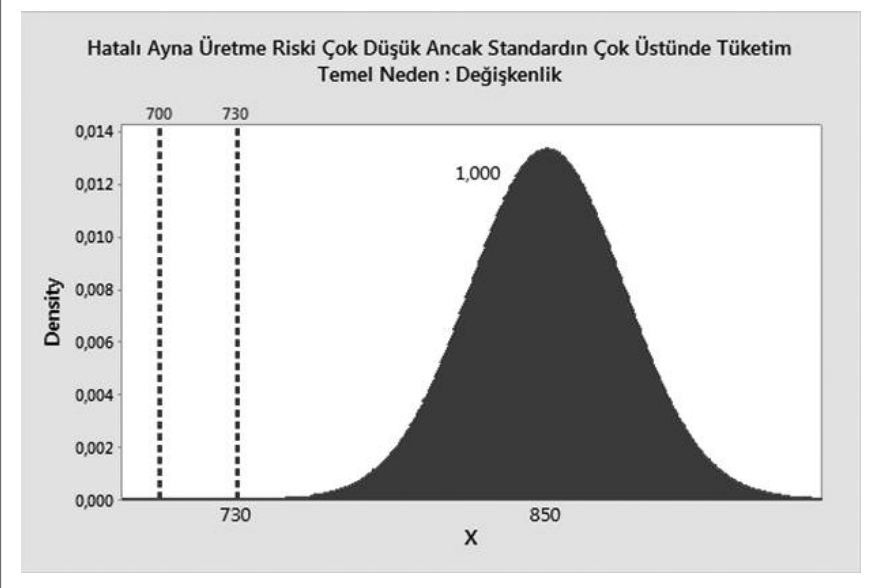
Böylece, plaka üzerinde dalgalanma gösteren gümüş miktarı daha homojen bir hale getirilerek, standardın emrettiği minimum seviyenin elde edilmesi için, gereksiz tüketim engellenmiştir.

Aynalar arası ve ayna üzerindeki değişkenlik grafikleri Şekil 1., Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir.

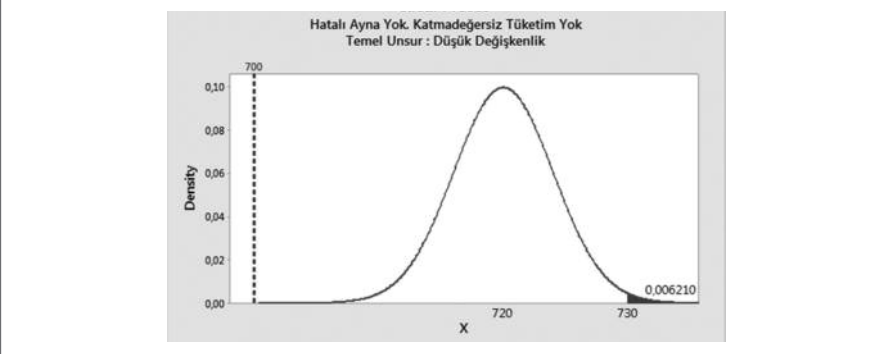
Şekil 1. Spesifikasyona Uygun Çalışmanın Riski Grafiği



Şekil 2. Yüksek Ortalama İle Çalışmanın Riski Grafiği



Şekil 3. İdeal Proses Grafiği



**Tablo 2. Süreç Şeması**

Temelik ve polijajın değeri ve ölçümü	Kalay elbütün Uygulanması	Gümüş kaplamanın Zamanında ve Doğru Olması	Bakır kaplamanın Zamanında ve Doğru Olması	Perde Yürütme Yararlı Miktarla Boya Uygulanması	Perde Yürütme Yararlı Miktarla Boya Uygulanması	Müşteriye Hızlı ve Güvenli Gönderilmesi
<b>Hıncam Yıkama ve Polijajlama</b>	<b>Kalay Klorür Uygulama</b>	<b>Gümüş Kaplama</b>	<b>Bakır Kaplama</b>	<b>Astar Boya Uygulama</b>	<b>Koruyucu Boya Uygulama</b>	<b>Gözetim</b>
<b>Faktörler</b>	<b>Faktörler</b>	<b>Faktörler</b>	<b>Faktörler</b>	<b>Faktörler</b>	<b>Faktörler</b>	<b>Faktörler</b>
• Detarjan Reçetesi	• Kalay Hazırlama Reçetesi	• Cam Kalınlığı	• Bakır Kargımı Pompa Ayarı	• Boya Pompa Ayarı	• Boya Pompa Ayarı	• Aynanın Rengi
• Seroks Reçetesi	• Kalay Pompa Ayarı	• Cam Ebadı (Boy1 * Boy2)	• Asit Kargımı Pompa Ayarı	• Gramaj	• Gramaj	• Ayrış Tipi
• Detarjan Pompa Ayarı	• Operatör	• Demisu Silikat Değeri	• Sulu Amonyak Pompa Ayarı	• Viskozite	• Viskozite	• Operatör
• Seroks Pompa Ayarı	• Kalay Kullanma Talimatı	• Demisu pH Değeri	• Kompleks Renk Kontrolü	• Fırın Çıkış Sıcaklığı	• Fırın Çıkış Sıcaklığı	• Günün Saati
• Operatör	• Kalay Klorür Standartı	• Demisu İletkenlik Değeri	• Operatör	• Perde Yürütme	• Perde Yürütme	• Ayna Gözetim Talimatı
• Seroks Fırça Yüksekliği		• Kabine Giren Cam Sıcaklığı	• Nozul Tıkanıklığı	• Operatör	• Operatör	
• Detarjan Standartı		• Konsol Su Sıcaklığı	• Bakır Sülfat Standartı	• Filtre Tıkaması	• Filtre Tıkaması	
• Seroks Standartı		• Gümüş Pompa Ayarı	• Bakır İndirgeyici Standartı	• Boya Standartı	• Boya Standartı	
• Detarjan Kullanma Talimatı		• Gümüş 0 Pompa Ayarı	• Sitrinik Asit Standartı	• Ksilan Standartı	• Ksilan Standartı	
• Seroks Kullanma Talimatı		• Tüketilen Gümüş Solüsyonu	• Sülfonik Asit Standartı	• Boya Kullanma Talimatı	• Boya Kullanma Talimatı	
		• Tüketilen Gümüş 0 Solüsyonu	• Sulu Amonyak Standartı			
		• Operatör	• Bakır Kaplama Talimatı			
		• Plaka Sayısı				
		• Duruşlar				
		• Araç Tipi				
		• Ay				
		• Gün (Nozul Tıkaması)				
		• Vardiya				
		• Gümüş Nitrat Safiyeti				
		• Gümüş Nitrat Standartı				
		• Sulu Amonyak Standartı				
		• Gümüş İndirgeyici Standartı				
		• Gümüş Kaplama Talimatı				

**Tablo 3. Sebep Sonuç Matrisi**

Faktör	Çıktılar				Toplam Puan
	GÜMÜŞ NİTRAT BİRİM TÜKETİMİ	YANSITMA DEĞERİ	ANALİZLER (CASS-NEM-TUZ)	İŞLEME SONUCU	
	7	9	8	10	
Gümüş Pompa Ayarı	9	9	5	3	214
Gümüş 0 Pompa Ayarı	9	9	5	3	214
Kabine Giren Cam Sıcaklığı	9	5	5	3	178
Konsol Su Sıcaklığı	9	5	5	3	178
Tüketilen Gümüş Solüsyonu	9	5	3	3	162
Tüketilen Gümüş 0 Solüsyonu	9	5	3	3	162
Gümüş Nitrat Safiyeti	9	9	1	1	162
Demisu Silikat Değeri	0	5	3	3	99
Demisu İletkenlik Değeri	0	3	5	3	97
Demisu pH Değeri	0	3	3	3	81
Duruşlar	9	0	0	1	73
Cam Ebadı (Boy1 * Boy2)	9	0	0	0	63
Operatör	5	0	1	1	53
Araç Tipi	5	0	0	0	35
Cam Kalınlığı	1	3	0	0	34
Gün (Nozul Tıkaması)	1	1	1	1	34
Ay	3	0	1	0	29
Plaka Sayısı	1	0	0	0	7
Vardiya	1	0	0	0	7



### 3.3. Parametrik Optimizasyon Kayıpları

Yalın Altı Sigma DMAIC metodolojisine uygun olarak ayrıntılı süreç analizi yapılmış ve potansiyel parametreler belirlenmiştir. Tüm proses adımlarının ele alındığı Süreç Şeması, Tablo 2’de gösterilmiştir.

Prosesle ait faktör belirlenerek çıktılarla olan ilişkisi üzerinde çalışmalar yapılmış ve metodolojiye uygun olarak puanlama yapılarak Sebep Sonuç Matrisi oluşturulmuştur. Bu çalışmada çıktılar; gümüş nitrat birim tüketimi, yansıtma değeri,

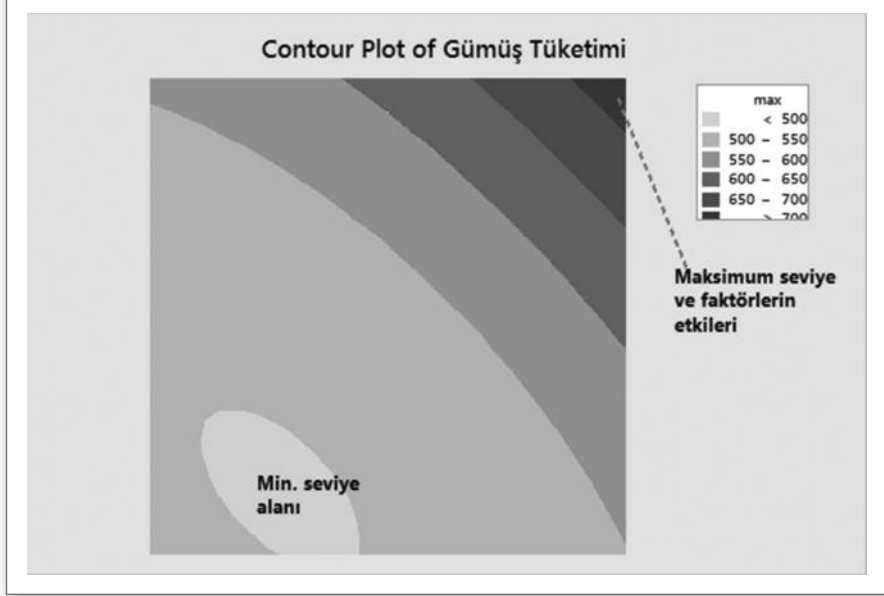
analizler ve işleme sonucu olarak belirlenmiştir. Sebep Sonuç Matrisi Tablo 3’te verilmiştir.

### 4. ANALİZLER – BULGULAR

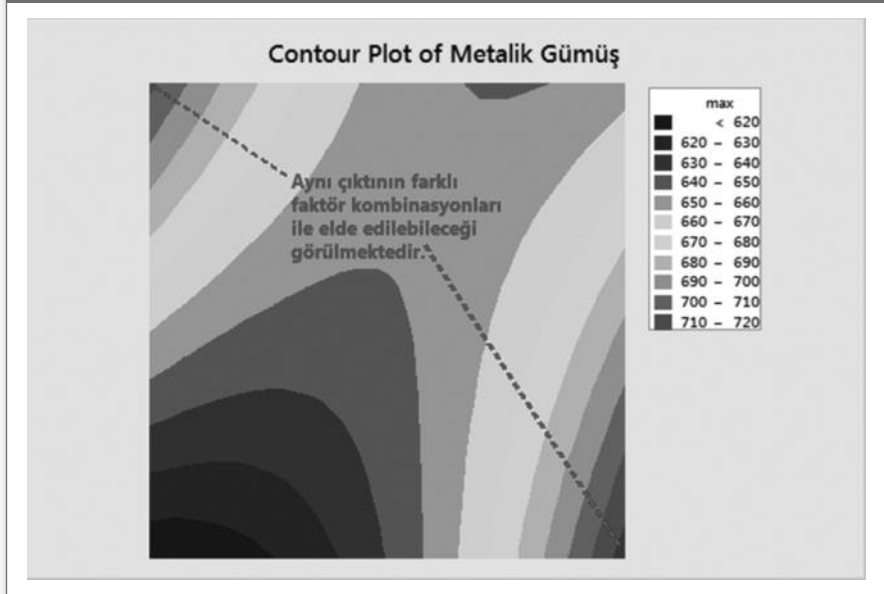
Proje kapsamında yapılan çalışmaların ardından, ayna üretimine katkı sunacak çok değerli analizler ve bulgular elde edilmiştir.

Metalik gümüş çıktısını etkileyen proses parametrelerinin matematiksel olarak modellenmesi ve ideal çıktıyı elde

Şekil 4. Gümüş Tüketim Alanları Grafiği



Şekil 5. Farklı Kombinasyonlarla Çalışma Alanı Grafiği



edebilmek için, faktörlerin optimizasyonu ile birlikte Gümüş Tüketiminin Minimizasyonu, optimizasyon stratejisi olarak belirlenmiştir.

Yalın Altı Sigma (DMAIC) metodu ve Deneysel Tasarım teknikleri (Kesirli Faktöriyel Tasarım, Cevap Yüzeyi Tasarım) kullanılmıştır. Maksimum seviye ve faktörlerin etkileri ile minimum seviye alanı elde edilmiştir. Gümüş tüketimi alanları Şekil 4'te gösterilmiştir.

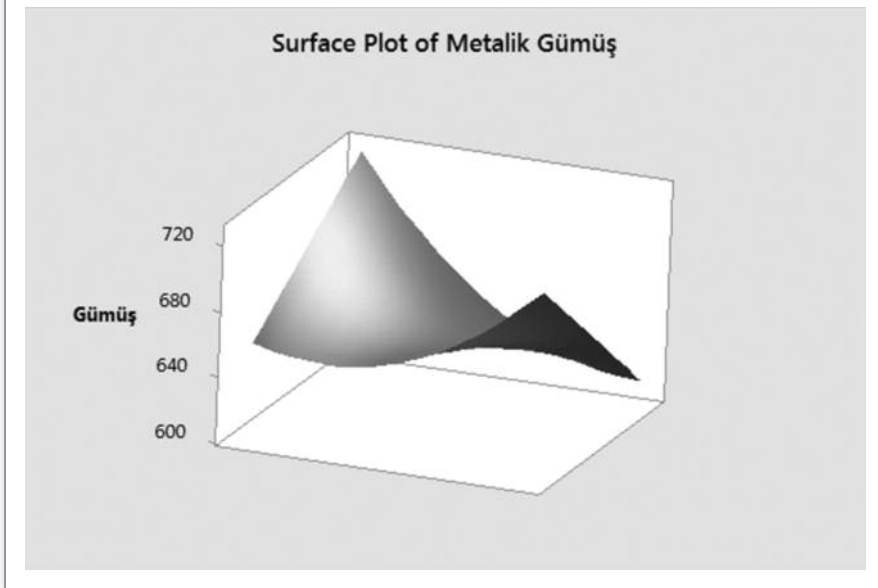
Aynı çıktının farklı faktör kombinasyonları ile elde edilebileceği, bu projeye ortaya çıkan diğer önemli bir bulgudur. Böylece, hangi faktörlerle hangi sınırlar içinde kalınabileceği belirlenmiş ve daha efektif üretim reçeteleri tasarlanabilmiştir. Farklı faktör kombinasyonlarının belirlendiği çalışma alanı grafiği Şekil 5'te, bu çalışma alanına ait cevap yüzey grafiği Şekil 6.'da gösterilmiştir.

Elde edilen ikinci dereceden matematiksel model ile, spesifikasyon limiti olan 700 mg/m<sup>2</sup> seviyesi referans alınarak parametreler optimize edilmiştir. Elde edilen bulgularla dizayn edilen optimizer grafiği Şekil 7.'de gösterilmiştir. Böylece, hedef değere ulaşabilmek için ilgili faktörler için gereken set değerleri çözümlenmiştir.

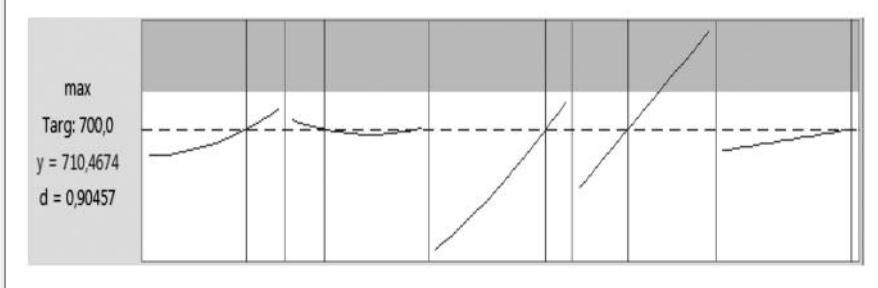
## 5. KALICI KILMA

Herhangi bir projede olduğu gibi, bu projede de elde edilen sonuçların kalıcı kılınması, projenin başarılı sonuçları kadar önemlidir. Bu kapsamda; metalik gümüş formülü belirlenen matematiksel model doğrultusunda değiştirilmiş, değişkenliği minimize etmek için eldeki matematiksel model de kullanılarak hatta eklemeler yapılmış, kritik parametrelerin zaman içinde yaratacağı riskleri anlık değerlendirmek ve elde edilen sonucu sürdürülebilir kılmak için İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) araçları planlanmıştır.

Şekil 6. Cevap Yüzey Alanı Grafiği



Şekil 7. Optimizer Grafiği



## 6. SONUÇ

Proje çalışmalarıyla birlikte, gümüş nitrat özgül tüketimi aylar bazında takip edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. 2 farklı iyileştirme adımıyla, aylar bazındaki tüketimlerde kırılma noktaları net olarak gözlenmiştir. Böylece sonuç olarak; Trakya Fabrikası Ayna Hattının tam kapasite çalıştırılmasıyla; 2.236.000 TL/Yıl maliyet tasarrufu sağlanmış olacaktır. Proje göstergesinin gelişim grafiği Şekil 8.'de gösterilmiştir.

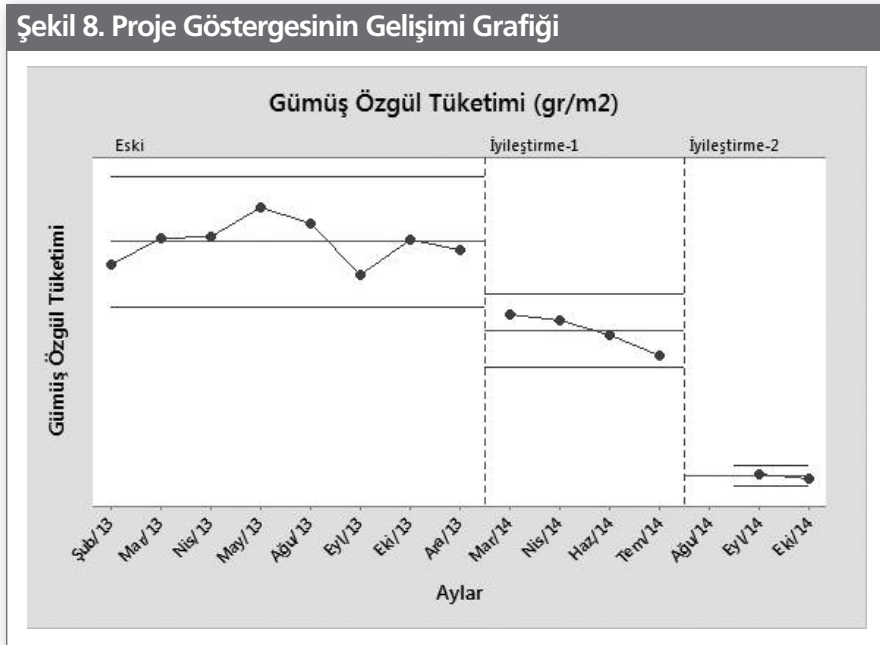
## TEŞEKKÜR

Verdiği değerli öneriler için Fabrika Müdürümüz Sn. Kaan Ertaş'a, Proje danışmanı Yalın Altı Sigma Uzman Kara Kuşak Sn. Summani Karalar'a ve Trakya Bölge Laboratuvar Araştırmacısı Sn. Gürkan Yiğiter'e teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

1. Summani Karalar, APEC Danışmanlık, Yalın Altı Sigma Yeşil Kuşak Kitabı (2014), Bölüm-1, Bölüm-2, Bölüm-3, Bölüm-4
2. TS EN 1036-1 Standartı (Mart 2010), Cam Yapılarda Kullanılan - Gümüş Kaplamalı Yüzdürme Cam Aynalar – İç Mekanda Kullanım İçin – Bölüm:1 Tarifler, Gereklere ve Deney Yöntemleri
3. TS EN 1036-2 Standartı (Mart 2010), Cam Yapılarda Kullanılan - Gümüş Kaplamalı Yüzdürme Cam Aynalar – İç Mekanda Kullanım İçin – Bölüm:2 Uygunluk Değerlendirmesi/Ürün Standardı

Şekil 8. Proje Göstergesinin Gelişimi Grafiği



## MIKNATISSAL SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN VANADYUM OKSİT İNCE FİMLERİN YAPISAL KARAKTERİZASYONU

Hürriyet Yüce, Sena Gülen,  
Ayten Cantaş, Gülnur Aygün,  
Lütfi Özyüzer

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü,  
Fizik Bölümü, Urla, İzmir  
hurriyetyuce@iyte.edu.tr

### ÖZET

Vanadyum oksit ( $VO_2$ ) oda sıcaklığından itibaren ısıtıldığında yalıtkan fazdan metalik faza geçiş (MIT) özelliği göstermektedir.  $VO_2$ 'nin belirtilen MIT geçişi  $\sim 68$  °C'de gerçekleşmektedir [1]. MIT geçişi ile direnci 104 mertebesinde azalmakta ve optik özellikleri de metalik faza uygun şekilde değişmektedir [2]. Termal olarak gerçekleşen bu geçiş, termokromik akıllı camlarda kullanılmasının yanı sıra optik sensörlerde ve alan etkili transistör (FET) yapılarak elektronik aygıtlarda da kullanılmaktadır [3,4]. Düşük sıcaklık  $VO_2$  fazının kızılötesi geçirgenliği, oksijen akış miktarının artmasıyla artış gösterirken soğurma oranı azalmaktadır [5]. Buna karşılık yüksek sıcaklık  $VO_2$  fazının kızılötesi geçirgenliği, oksitleme esnasında sistemden geçirilen oksijen akış oranına bağlı olmaksızın düşüktür. Bu özellik sebebiyle  $VO_2$  termokromik camlarda yüksek kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada, cam üzerine  $VO_2$  ince filmler rf reaktif miknatissal saçtırma tekniği kullanılarak büyütülmüştür.  $VO_2$ 'nin kristal yapısının daha iyi olması için saçtırma süresince cam sıcaklığı 450 °C'de tutulmuştur. Üretilen filmlerin faz yapısını anlamak için X ışınları kırınımı (XRD), atomlar arası titreşim modlarını belirlemek için Raman mikroskopu ve kimyasal durumlarıyla birlikte atomik konsantrasyonu tespit etmek için X-ray fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılmıştır. Bununla birlikte  $VO_2$ 'nin elektriksel özellikleri incelenmiş olup ticari kullanım alanları tartışılacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** İnce Film Kaplama, Vanadyum Oksit

Bu çalışma 113F349 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir.

1. J.-P. Fortier et al, Solar Energy Materials & Solar Cells, 125, 291-296 (2014)
2. J. Wu et al, Nano Letters, 6, 10 (2006)
3. M.Tangirala et al, ECS Journal of Solid State Science and Technology, 3, N89-N94 (2014)
4. D. Ruzmetov et al, Journal of Applied Physics, 107, 114516 (2010)
5. M. Jiang et al, Thin Solid Films, 562, 314-318 (2014)

# YAZAR DİZİNİ

Soyad, Ad	Sayfa No
Ağgöl, İlker	49
Akarsu, Murat	92
Akça, Gülşah	24,37
Alimoğlu, Zeki	150
Äppelqvist, Miika	123
Ariburnu, Dadal	172
Arpat, Erdem	49
Artunç, Serhat	53
Arzan, Neşet Naci	70
Aslan, Ferhat	158
Aşkın, Murat	186
Atılğan, Semin	115
Audronis, Martynas	20
Aygün, Gülnur	24,37,90,163,210
Bek, Alpan	25
Bilaloğlu, Osman	154
Boz, İbrahim	158
Budakoğlu, Refika	44,88,92,158,172
Bulut, Karahan	194
Cantaş, Ayten	210
Cinoğlu, Varol	188
Cömert, Gamze	49
Çopuroğlu, Banu	62
Dumankaya, Emre	66,70
Durulmuş, Faruk	29
Efendiler, Erkul	62
Eltutar, Zeynep	62,66
Enkara, Umut	177
Erdem, Haluk	177
Ergün, Uğur	186
Erkan, Selen	99,115
Eroğlu, Tolga	53
Gençer, Ahmet	92,188
Gökçen, Ersin	49
Gören, Kerem	29
Güçlü, Fatih	66
Gülen, Sena	163,210
Günay, Cenk	179
Günay, Esin	124,132
Günkaya, Göktuğ	107
İnce, Serkan	188
İnnal, Engin	177
İmer, Ceren	132
İyiel, Arca	53,165
İzmirlioğlu, Burak	62,165
Kabasakal, Hakan	139
Kafalı, Oğuzhan	99
Kahraman, Gülşah	92,172
Kaplan, Can	49
Kaya, Levent	62,66,70
Keskin, Ferdi	171
Köseoğlu, Hasan	24,90
Kumru, Cüneyt	66

Soyad, Ad	Sayfa No
Kurt, Metin	24,37,90,163
Manafidizaji, Amaneh	107
Matthews, Allan	18
Mutlu, İbrahim	158
Nasser, Hisham	25,39
Naskalı, Ahmet Teoman	139
Olgar, Mehmet Ali	37
Öktem, Duygu	53
Önsel, Lale	62,66
Öveçoğlu, Lütfü	132
Özdemir, Köklü Mehtap	163
Özen, Anıl	44,49,165,172
Özgüz, Volkan	51
Özkol, Engin	25
Özmutlu, Seda	172
Öztürk, Aytaç	203
Özyüzer, Lütfi	24,37,90,152,163,210
Parlar, Ateş	22,88
Pilat, Leonid	194
Sarıca, Erhan	49
Sarıgüzel, Meryem	124
Say, Kaan	188
Sekir, Burcu	115
Sesigür, Hande	53
Sezen, Meltem	51
Sezer, Mustafa	164
Sezgin, Alperen	22,44,88
Simurka, Lukas	44,115
Smith, Garry	91
Soykut, Yüksel	150,177
Sökmen, İlkay	39,115
Şener, Adem	188
Taya, Minoru	76
Tufani, Ali	99
Tumbul, Ahmet	158
Tuna, Öcal	22,88
Turan, Raşit	25,35,39
Turutoğlu, Tuncay	44,49
Türkoğlu, Fulya	24
Türküz, Seniz	22,44,88,158
Ünal, Mustafa	39
Vitkala, Jorma	122
Yaman, Mutlu D.	24,90
Yanmaz, Ekrem	37
Yano, Tetsuji	19
Yavaşlar, Hakan	165,172
Yazıcı, Şebnem	37
Yıldırım, Erdem	165
Yılmaz, Şener	62
Yılmaz, Şenol	124
Yurdçu, Levent	179
Yüce, Hürriyet	210
Yüksel, Emine	78

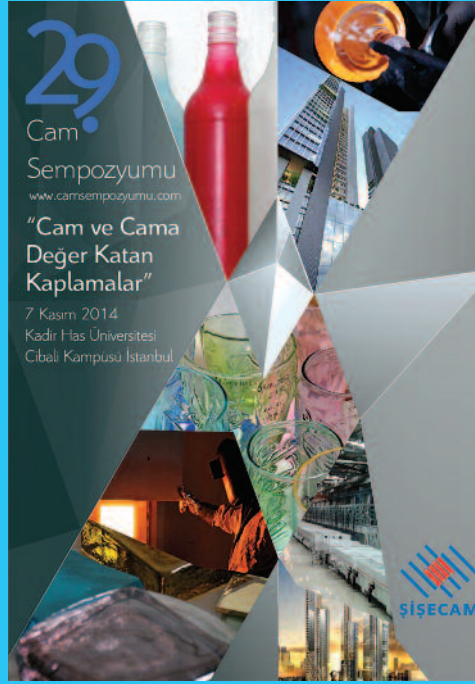
# ANAHTAR SÖZCÜKLER DİZİNİ

Anahtar Sözcükler	Sayfa No	Anahtar Sözcükler	Sayfa No
5"-11" Hidrolik Pres Üfleme Makinası		İnce Film Güneş Hücresi	38
İle Üretim Yapılması	186	İnce Film Kaplama	153,210
Akıllı Cam	78,88	İyon Yer Değiştirme	124,132
Al:Zno	25	Kalıp	194
Alternatif Yakıt	70	Kalıp Ömrü	180
Altı Sigma	203	Kalıp Yağ Lekesi	180
Altın Yıldız	165	Kaplama	36,44,50,78,107,115,154,164
Alüminyum İle Desenlendirme	39	Katma Değerli Ürünler	30
Antirefleksif	44	Kırma İndisi	99
Arka Kontak	90	Know-How	188
Ayna	203	Kompozit	153
Azo	158	Korozyon	154
Bell İle Tüm Yüzey Organik Boyama	178	Kristalin	62,188
Bilgisayara Destekli Tasarım	30	Küresel Konjektör	188
Boya	165	Large Area	21
Cam	44,107	Light Trapping	25
Cam Ambalaj	172	Lighting And Glare	91
Cam Ambalaj Ürünleri	93	Magnetron Sıçratma Yöntemi	88
Cam Derinliği	67	Magnetron Sputtering	21,30
Cam Elyaf	153	Maliyet	203
Cam Ev Eşyası	62	Maliyet Düşürme	194
Cam Ev Eşyası Organik Yaş Boyama	178	Matematiksel Modelleme	67
Cam Fırını	67	Melting Technology	19
Cam Kaplama	124,132	Mo	163
Cam Yüzeyi	115	Mo Arka Kontak	38
Cost Reduction	21	Modelleme	30
Czts	90	Molibdenyum	90
Czts P-Tipi Yarı İletkeni	38	Nanomekanik	44
Daldırarak Kaplama	172	Nanoteknoloji	52
Dekor	171	Optik Karakterizasyon	99
Dekorlama	107	Organik Boya İnfrared Kürleme	178
DeneySEL Tasarım	172	Ormosil	165
Depolama Süreci	115	Özgül Tüketim	203
Düşük Emisivite	22	Plasmonic	25
Electrochromic Windows	77	Process Control	21
Elektriksel Tavlama	24	Püskürterek Kaplama	93
Elektro Kaplama	107	Pvd	18
Elektrokromik	22	Pvs	30
Elektrostatik Disk Boyama	93,172	Saydam İletken Oksit	22,158
Elipsometri	99	Soda Camı Alttaş	38
Energy	19,77	Soğutma Tipi	194
Energy And Carbon Savings	91	Solar Control	91
Energy Management	91	Solar Kontrol Cam	53
Enerji	36	Sol-Jel	44,93
Enerji Maliyeti	70	Sol-Jel Nanokompozit	172
Enerji Tasarrufu	67	Süsleme	171
Fırın Atmosferi	67	Switchable Glass	91
Fiziksel Buhar Biriktirme	44	Şişe Dalışı	140
Fonksiyonel Kaplama	30	Tarihi Cam Üretim Teknikleri	140
Fotovoltaik	36,50	Temizleme Süreci	115
Geniş Alan Miknatıssal Saçırma	24	Temperleme	151,171
Glass Market Trends	122	Termokromik	22
Glass Performance Days	122	Texturing	25
Gümüş Nano Kümeleri	124,132	Thermochromic Glass	91
Gümüş Nitrat	203	Thin Film Coatings	18
Haze	25	Thin Film Scs	25
Helio Turkuaz Cam	53	Thin Glass Tempering	123
Is Makinesi	194	Tio2	163
Işığın Saçılımı	39	Uv Koruyucu	93
İto İnce Film	24,158	Vakum Kaplama	22
İnce Film	36,99,158,163	Vanadyum Oksit	210
İnce Film A-Si:H Güneş Gözeleri	39	Vibro Polisaj	180
İnce Film Güneş Hücreleri	90	Yüzey Pürüzlülüğü	39,180



# Teknik Bülten

Cilt: 44 • Sayı: 1(222)  
Mart 2015



**29. Cam Sempozyumu  
Bildirileri Özel Sayısı**