

30. ŞİŞECAM CAM SEMPOZYUMU (20 KASIM 2015)  
THE 30TH ŞİŞECAM GLASS SYMPOSIUM (NOVEMBER 20, 2015)  
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ SÜLEYMAN DEMİREL KÜLTÜR MERKEZİ - MASLAK / İSTANBUL

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

Copyright © 2016 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:** UDC666.1(56)“2015”(063)=943.5=20CAMİ2016

**Eser Adı:** 30.Cam Sempozyumu Bildiriler Kitabı

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

**Kapak Foto:** Afiş tasarımı

**Yayın Tarihi:** Nisan 2016

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

**Ölçü / Sayfa:** s.196, 21 x 29,7cm

**Dizi:** Bilim ve Teknoloji Merkezi Kütüphanesi Yayınları  
Sempozyumlar Dizisi: 30

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

**Baskı Bilgisi**

**1.Baskı:** Nisan 2016 (500 adet)

**Yapım:** Dünya Yayıncılık

**Tel.:** (0212) 440 2424

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

**Tel:** (0212) 294 3800

**Yazışma Adresi**

Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş.

Belge Yönetimi Yöneticiliği

Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi

Cumhuriyet Mahallesi Şişecam Yolu Sk.

No: 2 41400 Çayırova - Gebze / Kocaeli

**Tel:** (0850) 206 5550

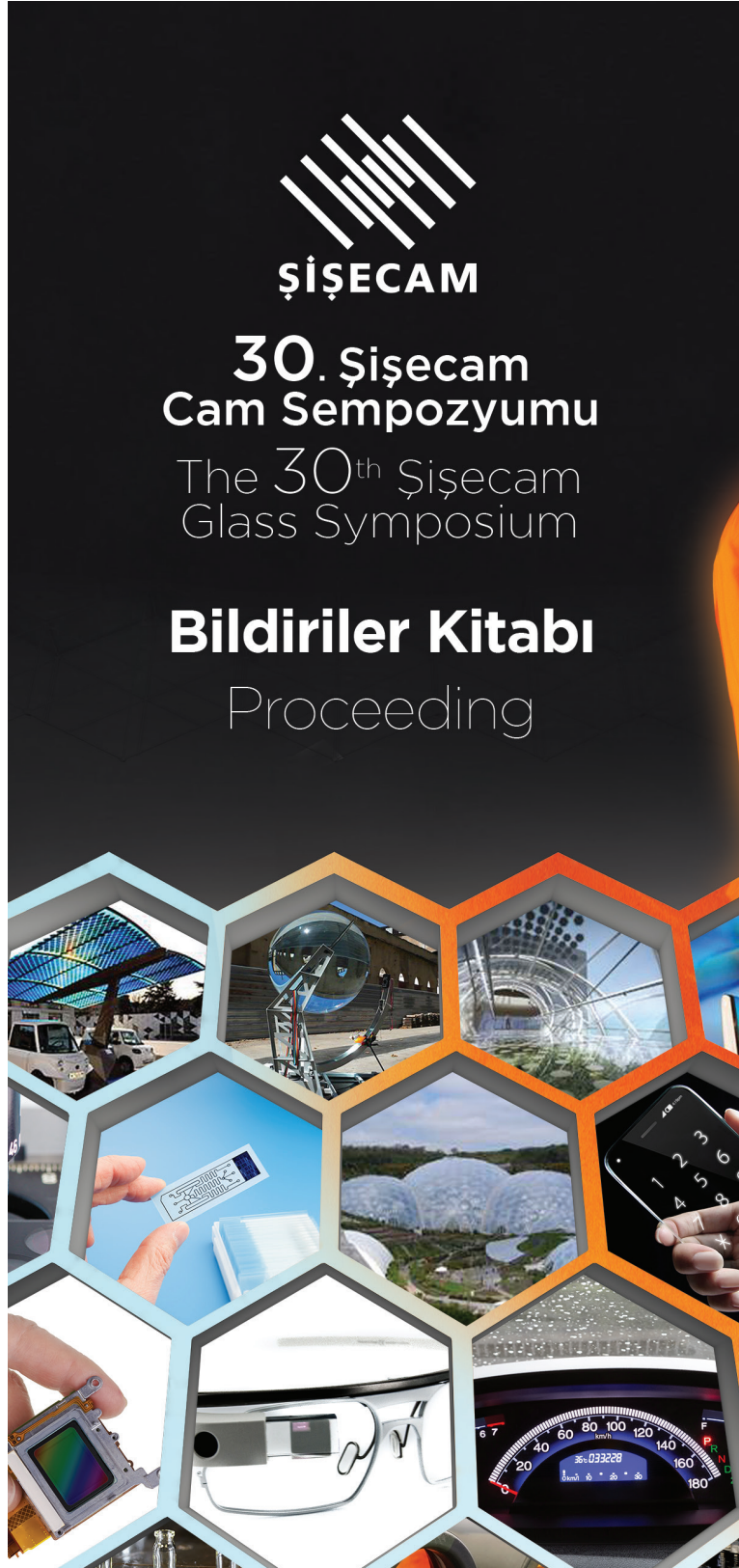
**Faks:** (0212) 459 5773

**e-posta:**

iletisimformu@camsempozyumu.com/sisevi@sisecam.com.tr

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

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



# TEKNİK BÜLTEN

30. Cam Sempozyumu Bildirileri Özel Sayısı

30. CAM SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ ÖZEL SAYISI - MART 2016 CİLT 45 SAYI 226 (1)

## İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	6
YAYIN İLKELERİ	7
PROF. DR. AHMET KIRMAN AÇILIŞ KONUŞMASI	8
PROF. DR. ŞENER OKTİK AÇILIŞ KONUŞMASI	9 - 10
PROGRAM	12 - 21
ORGANİZASYON KURULLARI	22
<b>BİLDİRİLER</b>	
1. SUSTAINABILITY - A TARGETED CORPORATE AND BUSINESS <i>Dr. Mehran Arbab</i>	24
2. THE SURFACE OF GLASS CAN MAKE IT OR BREAK IT <i>Prof. Dr. Himanshu Jain</i>	25
3. BULK METALLIC GLASSES: SIMILARITIES AND DIFFERENCES <i>Dr. Atakan Peker</i>	26
4. EUROPEAN GLASS PACKAGING INDUSTRY - COMPETITIVENESS CHALLENGES AND OPPORTUNITIES <i>Adeline Farrelly</i>	27
5. MEASUREMENTS AND CALCULATIONS FOR THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT HOLLOW WARE <i>Bergmann Gesine, Loeber Nils-Holger, Simon Jonas, Mueller-Simon Hayo</i>	28
6. TRIBOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE GLASS-METAL CONTACT IN GLASS-CONTAINER PRODUCTION - IS NON-SWABBING POSSIBLE? <i>Dominik Orzol, Lothar Wondraczek, Christian Roos</i>	29
7. MILESTONE IN 40 YEARS OF COATING TECHNOLOGY FOR ARCHITECTURAL AND AUTOMOTIVE APPLICATIONS <i>Prof. Bernd Szyszka, Dr. Andreas Pflug, Stephan Ulrich</i>	30
8. TECHNOLOGICAL CHALLENGES IN ARCHITECTURAL AND AUTOMOTIVE LOW-E GLASS COATING <i>Dr. Köckert Christoph, Hagenström Harald</i>	31
9. A NOVEL THIN FILM PREPERATION TECHNIQUE: REACTIVE SPUTTERING FOR HIGH QUALITY OXIDE AND NITRIDE FILMS <i>Prof. Dr. Hüseyin Zafer Durusoy</i>	32
10. INNOVATION IN NANOSTRUCTURED THIN FILMS AND SURFACE COATING TECHNOLOGY <i>Prof. Kwang Leong Choy</i>	33
11. FOAM GLASS IN THE SUSTAINABLE FUTURE <i>Dr. Jakob König</i>	34
12. GÖZENEKLİ CAM MALZEMELER <i>Yrd. Doç. Dr. Ufuk Şentürk, Doğuş Zeren, Mustafa Güden</i>	35
13. ATIK CAM VE NANO BOYUTLU SiC KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ CAM KÖPÜĞÜNÜN POR ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ <i>Abdulkadir Sarı, Burcu Duymaz, Ali Murat Soydan, Prof. Dr. Ali Ata</i>	36



14.	<b>CAM ÜRETİMİNDE ERGİME VE AFİNASYON MEKANİZMALARINI BELİRLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM</b>	41
	<i>Banu Arslan, Dr. Mustafa Oran, Gülin Demirok, Ali Ötken, Dr. Arca İyiel, Barış Demirel</i>	
15.	<b>ALTERNATİF ELEKTRODÖKÜM AZS REFRAKTERLERİN ÖZELLİKLERİNİN VE UYGUNLUKLARININ ARAŞTIRILMASI</b>	53
	<i>Melih Üstün, Burak İzmirlioğlu, Derya Toykan, Erdem Yıldırım, Ali Ötken, Oktay Kılınc</i>	
16.	<b>CAM AMBALAJ ÜRÜNLERİNE YÖNELİK HİBRİD ANTİBAKTERİYEL KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ</b>	57
	<i>Dr. Refika Budakoğlu, Dr. Aref Cevahir, Çağdaş Kadakal, Burak İzmirlioğlu, Sumru Bellici, Cihan Koçak</i>	
17.	<b>CAM AMBALAJ ÜRÜNLERE POLİMERİK KAPLAMA UYGULAMALARI İLE YENİ ÖZELLİKLER KAZANDIRILMASI</b>	58
	<i>Hakan Yavaşlar, M.Taylan Sabaner, Necmi Köse, Prof. Dr. Selim Küsefoğlu, Doç. Dr. Ediz Taylan, Merve Akdemir, Alper Yakan, Akın Cambazoğlu</i>	
18.	<b>HELPING TO OPTIMIZE SOLAR ENERGY-CONVERSION DEVICES WITH SOFT X-RAY AND ELECTRON SPECTROSCOPIES</b>	61
	<i>Prof. Clemens Heske</i>	
19.	<b>ANALYSIS OF MULTI-LAYERED COATING MORPHOLOGY AND CHEMISTRY BY ENERGY-DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY IN AN ABERRATION-CORRECTED SCANNING TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE</b>	62
	<i>Dr. Güliz İnan Akmehmet, Doç. Dr. Cleva Ow-Yang, Saso Sturm, Miran Ceh</i>	
20.	<b>YENİ NESİL KAPLAMALI CAMLARDA MİKROYAPI HATALARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI İLE YÜKSEK BAŞARIMLI SERİ ANALİZİ</b>	63
	<i>Dr. Kerem Gören, Dr. Tuncay Turutoğlu</i>	
21.	<b>MECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF SILICON NITRIDE THIN FILMS ON GLASS</b>	65
	<i>Lukas Šimurka, Dr. Selen Erkan, Dr. Tuncay Turutoğlu</i>	
22.	<b>SANATSAL CAMIN TÜRKİYE'DE PLASTİK SANATLAR İÇERİSİNDE YER ALMA SÜRECİ VE ÖNEMLİ PARAMETRELER</b>	70
	<i>Prof. Dr. Mustafa Ağatekin</i>	
23.	<b>İÇ MEKAN TASARIMINDA KULLANILAN EKOLOJİK CAMLAR</b>	71
	<i>Yrd. Doç. Dr. Emine Yüksel, Doç. Dr. Murat Kılıç, Yrd. Doç. Dr. Onur Ülker</i>	
24.	<b>ANTİK DÖNEMDE CAMIN MİMARİDE KULLANIMI</b>	77
	<i>Yrd. Doç. Dr. Güven Gümgüm</i>	
25.	<b>SANATSAL CAM TASARIMINDA KIRMIZI RENKLİ CAMIN KULLANIMI VE ISIL İŞLEM SÜRECİNDE GÖZLEMLenen ETKİLER</b>	81
	<i>Yrd. Doç. Dr. Göktuğ Günkaya, Amaneh Manafidizaji, Prof. Dr. Mustafa Ağatekin</i>	
26.	<b>GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI CAM ESNEKLİK ÖLÇÜM SİSTEMİ</b>	82
	<i>Yrd. Doç. Dr. İsmail Serkan Üncü, Erdi Kaban, Meltem Duran, Safinur Coşkunso</i>	
27.	<b>ENDÜSTRİYEL SU SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM VE ENERJİ TASARRUF FIRSATLARI</b>	85
	<i>A.Zeki Alimoğlu, Dr. A.Yüksel Soykut</i>	
28.	<b>FOREHEARTH OXY-FUEL DENEMESİ</b>	90
	<i>Özgür Acar, Neşet Naci Arzan</i>	
29.	<b>SODA ÜRETİMİNDE ENERJİ VE SU YÖNETİMİ</b>	92
	<i>Ömer Ünal, Seçkin Dokuzlar, Can İrkörücü</i>	
30.	<b>LOW-E KAPLAMALI CAMLARIN TEMPERLENMESİ</b>	95
	<i>Mustafa Ozan Özer, İsmail Çalışkan, Elçin Çakar</i>	

31.	<b>SODA CAMI ÜZERİNE RUTENYUM KATKILANMIŞ <math>TiO_2</math> İNCE FİMLERİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARININ ARAŞTIRILMASI</b>	100
	<i>Dr. Mehtap Özdemir, Metin Kurt, Ayten Candaş, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer</i>	
32.	<b>İNCE FİLM FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN KİMYASAL OLARAK PÜRÜZLENDİRİLMİŞ AL KATKILI ZNO FİMLERİN ÖZELLİKLERİ</b>	101
	<i>Salih Top, Ümmü Mustafaoğlu, Nilüfer Evcimen Duygulu, Ahmet Karaaslan, Ahmet Ekerim, Doç. Dr. Alp Osman Kodolbaş</i>	
33.	<b>OLED'LERDE ALTERNATİF ANOT ELEKTROT OLARAK NİKEL KULLANIMI</b>	105
	<i>Dr. Selin Piravadılı Mucur, Sait Eren Sa, Emine Tekin, Doç. Dr. Fikret Yıldız</i>	
34.	<b>FARKLI ORANLARDA ZN İÇEREN BORAT CAM YAPILAR ÜZERİNE ÇÖKTÜRÜLEN ZNO FİMLERİNİN İNCELENMESİ</b>	109
	<i>Dr. Sadiye Çetinkaya Çolak, İdris Akyüz, Ferhunde Atay</i>	
35.	<b>GLASS AS A BIOMATERIAL</b>	110
	<i>Azade Yelten, Suat Yılmaz</i>	
36.	<b>ELEKTROKROMİK CAMLAR İÇİN İNCE FİLM <math>Li_{0.5-x}La_{0.5}Ti_{1-x}O_3</math> ELEKTROLİT</b>	114
	<i>Sena Gülen, Seda Ulusoy, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, Dr. Mehtap Köklü</i>	
37.	<b>MIKNATISSAL SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN TERMOKROMİK <math>VO_2</math> İNCE FİMLERİN ELEKTRİKSEL VE OPTİKSEL KARAKTERİZASYONU</b>	115
	<i>Hürriyet Yüce, Hakan Alaboz, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, Dr. Mehtap Köklü</i>	
38.	<b>FORMA OCMİ PROSESİ, AYAK ÜRETİM TEKNİĞİ VE DİMPLE FORMLU İMALAT</b>	116
	<i>Hüseyin Şiddet, Varol Cinoğlu, Doğan Kenar, Efkan Dardan</i>	
39.	<b>TR3 FIRINI RENKLİ KAMPANYALARINDA BİRİM ÜRETİM MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİ VE HEMATİT KOMPOZİSYONUNA BAĞLI SORUNLARIN GİDERİLMESİ</b>	117
	<i>Kemal Dinçdölek, Serhat Kolbaşı, Mete Kiray</i>	
<b>POSTER BİLDİRİLER</b>		
1.	<b>KURU BUZ İLE PİROLİTİK KAPLAMA DEPOZİTLERİNİN TEMİZLENMESİ</b>	121
	<i>Remzi Çopuroğlu, Ayhan Çaylıoğlu</i>	
2.	<b>BTP PRES MAKİNASI AĞIZ YAKMA TAMBURLU YÜKLEME SİSTEMİ</b>	124
	<i>Deniz Gürbüz</i>	
3.	<b>AN INVESTIGATION OF SPIN WAVES IN PATTERNED MU-METAL THIN FILM ON GLASS SUBSTRATE</b>	126
	<i>Caner Değer, Mustafa Özdemir, Fikret Yıldız</i>	
4.	<b>BEYAZ/CLEAR CAM ÜRETİMİNDE KULLANILAN CAM KIRIKLARINDAKİ CAMA RENK VERİCİ AĞIR METALLERİN EKSTRAKSİYON İLE AYRILMASI</b>	130
	<i>Merve İşcan, Nur Yeliz Büyükyılmaz, Nuray Hacıoğlu, Ayşegül Merdin, Ayşegül Aşkın, Fevziye Hande Sesigür, Murat Börekçi</i>	

5.	<b>CZTS İNCE FİMLERİN SOĞURUCU KATMAN OLARAK GÜNEŞ HÜCRESİ UYGULAMALARINDA KULLANIMI</b>	135
	<i>Dilara Gökçen Buldu, F. G. Akça, S. Yazıcı, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer</i>	
6.	<b>IDENTIFICATION OF GAS BUBBLES IN GLASS PRODUCTS BY MICRO RAMAN SPECTROSCOPY</b>	138
	<i>Hande Yurdatapan, Ayşen Özel, Elif Akalın, Dr. Mustafa Oran, Ali Ötken</i>	
7.	<b>HEDEF ALTLIK MESAFESİNİN ALÜMİNYUM KATKILI ÇİNKO OKSİT FİMLER (ZNO:AL) ÜZERİNDEKİ ETKİSİ</b>	142
	<i>Ümmü Mustafaoğlu, Salih Top, Nilüfer Evcimen Duygulu, Ahmet Karaaslan, Doç. Dr. Alp Osman Kodolbaş</i>	
8.	<b>SAVURMA ÜRÜNLERDE MÜLDEFONLU KALIP İLE ÜRETİM ÇALIŞMALARI</b>	146
	<i>Mustafa Şen, Uğur Demirkol</i>	
9.	<b>İNDİYUM KALAY OKSİT TEMELLİ OPTİK GEÇİRGEN TERAHERTZ BANT GEÇİRGEN FİLTRELER</b>	148
	<i>Yasemin Demirhan, Hakan Alaboz, Tuğçe Semerci, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, Mehmet Ali Nebioğlu, Taylan Takan, Hakan Altan, Cumali Sabah</i>	
10.	<b>SUBSTRATE HEATED DC SPUTTERED VO<sub>2</sub> THİN FİLM AND İTS ELECTRICAL, OPTICAL CHARACTERİSTİCS</b>	151
	<i>Hakan Alaboz, Hürriyet Yüce, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, Dr. Mehtap Özdemir Köklü</i>	
11.	<b>IONIC CONDUCTIVITY AND ELECTROCHROMIC PROPERTY OF LI<sub>0,5</sub>LA<sub>0,5</sub>ALX<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub> ELECTROLYTE MATERIAL</b>	154
	<i>Seda Ulusoy, Sena Gülen, Gülnur Aygün, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer, Dr. Mehtap Özdemir Köklü</i>	
12.	<b>SODA-KİREÇ-SİLİKA CAMLARDA GEÇİŞ METALLERİNİN OKSİDASYON SEVİYELERİNİN ELEKTRON SPİN REZONANS (ESR) SPEKTROSKOPİ İLE BELİRLENMESİ</b>	162
	<i>Hakan Göktürk, Yaşar Akdoğan, Yrd. Doç. Dr. Ufuk Şentürk, Dr. Arca İyiel</i>	
13.	<b>ŞİŞECAM FABRİKALARININ GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ORTA GERİLİM BAĞLANTI NOKTALARINDA İNCELENMESİ</b>	166
	<i>Dr. Levent Kılıç, Bülent Eren, Gürhan Dural, Okan Sarıkayalar</i>	
14.	<b>OXY - FUEL BOROSİLİKAT CAM FIRINI BACA GAZI ARITMA TESİSİ PROJESİ</b>	178
	<i>Barış Orhan, Erkul Efendiler</i>	
15.	<b>INVESTIGATION OF EFFECTS OF GRINDING MEDIA SHAPES TO THE GRINDING EFFICIENCY IN BALL MILLS</b>	181
	<i>Fatih Dökme</i>	
16.	<b>TRAKYA CAM SANAYİ A.Ş. MERSİN-TARSUS FABRİKASI TR4 FLOAT FIRINI 1. KAMPANYA SONU GÖZLEM VE İNCELEMESİ</b>	184
	<i>Burak İzmirlioğlu, Şener Yılmaz, Melih Üstün, Kemal Dinçdölek</i>	
17.	<b>TERAHERTZ WAVE SENSİTİVE SUPERCONDUCTİNG BOLOMETRİC DETECTOR</b>	189
	<i>Tuğçe Semerci, Y. Demirhan, H. Köseoğlu, N. Miyakawa, H. B. Wang, Prof. Dr. Lütfi Özyüzer</i>	
	<b>YAZAR DİZİNİ</b>	192 - 193
	<b>ANAHTAR SÖZCÜKLER DİZİNİ</b>	193 - 194

# sunuş

*Şişecam Topluluğu'nun bu yıl 30'uncusunu düzenlediği "Cam Sempozyumu", 20 Kasım 2015 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi, Süleyman Demirel Kampüsü'nde "Sürdürülebilir Gelecekte Cam" temasıyla gerçekleştirildi. Cam sektörünün uluslararası ölçekte öne çıkan 12 önemli temsilcisinin konuşmacı olarak yer aldığı ve 56 bildirinin yayınlandığı sempozyuma, yurt içi ve yurt dışındaki 27 üniversiteden 70 akademisyenle birlikte yaklaşık 300 kişi katıldı.*

*Sempozyumun açılış konuşmasını yapan Şişecam Topluluğu Yönetim Kurulu Başkan Vekili ve Genel Müdürü Prof. Dr. Ahmet Kırman, 13 ülkeye yayılan üretim faaliyetleri ve 22 bine yakın çalışanıyla Şişecam Topluluğu'nun artık küresel bir güç haline geldiğini belirterek topluluğun dünya sıralamasında ilk üçe girme hedefiyle büyümeye devam ettiğini de vurguladı.*

*Ekonomilerdeki öngörülemez dalgalanmalara karşın, ilk üçe girme hedefine giden bu yolculukta en önemli taşıyıcıların Şişecam'ın köklü geçmişinin yanı sıra her türlü gelişime ve yeniliklere ayak uydurabilme yeteneği olduğunu dile getiren Prof. Dr. Ahmet Kırman, "Araştırma ve teknolojik geliştirme alanındaki altyapımız, kurumsal ölçekte güçlendirmeye çalıştığımız inovasyon becerimiz ve eko-sistemimiz bizi gelecek hedeflerimize taşıyacak en önemli unsurlardır" diye konuştu.*

*"Şişecam Topluluğu katma değerli, kaliteli ve inovatif ürünler yaratarak ve teknoloji geliştirerek büyüyor"*

*Şişecam Topluluğu'nun daima katma değerli, kaliteli ve inovatif ürünler yaratarak ve teknoloji geliştirerek büyüdüğünü ifade eden Prof. Dr. Kırman, şöyle konuştu: "1976 yılından bu yana yürüttüğü Ar-Ge faaliyetleri ile Türkiye'de kurumsal Ar-Ge faaliyetlerinin öncülerinden olan Şişecam Topluluğu, yeni ürün ve yeni teknoloji geliştirme açısından Ar-Ge yeteneği ile dünyadaki birkaç şirketten biridir. Türkiye'de Ar-Ge'ye en fazla yatırım yapan şirketler arasında yer almaktadır. 2014 yılında açılışını gerçekleştirdiğimiz, yaklaşık 40 milyon TL'lik yatırımla hayata geçirilen Bilim ve Teknoloji Merkezimiz, 150'yi aşan araştırmacısıyla topluluğumuzun kurumsal araştırma ve teknolojik geliştirme çalışmalarına öncülük ediyor."*

*Güçlü araştırma ve teknoloji geliştirme altyapısı ve deneyimli insan kaynağıyla büyüyen Şişecam Topluluğu'nun üretilen bilgi, beceri ve yetkinliklerin paylaşılması amacıyla 30 yılı aşkın süredir Şişecam'ın Cam Sempozyumları düzenlediğini ifade eden Prof. Dr. Ahmet Kırman, "2017 yılında cam sempozyumumuzu uluslararası cam komisyonu konferansı ile birleştirerek 4 gün süre ve 500 katılımcı ile gerçekleştirmeyi planlamaktayız. Bu sempozyumu bir adım öteye taşıyacağız" diye konuştu.*

*"Şişecam Topluluğu Ar-Ge faaliyetleri için cirosundan ayırdığı yüzde 1,5'a yaklaşan pay ile dünya ölçeğinde yarışıyor."*

*Şişecam Topluluğu Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanı Prof. Dr. Şener Oktik ise bu yıl 30'uncusu düzenlenen cam sempozyumu etkinliğinde yaptığı konuşmada, şunları söyledi: "Türk cam sanayinde en fazla Ar-Ge harcaması yapan şirket konumundaki Şişecam, araştırma ve teknoloji geliştirme faaliyetleri için her yıl cirosunun yüzde 1,5'ini ayırıyor. Şişecam Topluluğu'nda Bilim ve Teknoloji Merkezi'nin yanı sıra yurt içi ve yurt dışında toplam 13 'Bölge Laboratuvarı'nda yürütülüyor."*

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

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

A.Semih İsevi / 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 yanı sıra, 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 orijinaleri 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 yazarına 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://http://kaynak.unak.org.tr/bildiri/unak06/u06-26.pdf>>

#### **Birim Sistemleri için;**

Bilim ve uluslararası ticaret alanında farklı ölçü birim sistemleri kullanılmasının yarattığı karmaşıklıkla 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.

## 30. ŞİŞECAM CAM SEMPOZYUMU GENEL MÜDÜR AÇILIŞ KONUŞMASI



1935 yılında Büyük Önder Mustafa Kemal Atatürk'ün talimatıyla kurulan Şişecam, düzcamlardan cam ev eşyasına, cam ambalajdan sektörünün ihtiyacı olan kimyasallara ve madencilik faaliyetlerine kadar geniş bir alanda ulusal ve uluslararası ölçekte dünya sıralamasında ilk üçe girme hedefiyle büyümektedir.

Başlangıçta teknoloji transferi yoluyla büyüyen Şişecam, 1976 yılından bu yana araştırma ve teknolojik geliştirme faaliyetleriyle cam endüstrisinde belirleyici olan "know-how"ın ülkemize üretilmesi politikalarını öne çıkarmıştır.

Bugün Şişecam 14 ülkede, 22.000'i aşan çalışanı ve 8 milyar TL'ye yaklaşan cirosu ile cam sektörü değer zincirinin büyük bir bölümünde küresel ölçekte yarışmaktadır. Teknolojilerdeki baş döndürücü gelişmeler ve ekonomilerdeki öngörülemeyen dalgalanmalara karşın, ilk üçe girme hedefine giden yolculukta en önemli taşıyıcıları; bilgi, beceri ve yetkinliklerdeki gücümüz, araştırma ve teknolojik geliştirme alanındaki insan kaynaklarımız ve altyapımız, kurumsal ölçekte güçlendirmeye çalıştığımız inovasyon eko-sistemimiz olarak görmekteyiz. 2014 yılında gerçekleştirdiğimiz, yaklaşık 40 milyon TL büyüklüğündeki altyapı yatırımı ile kazandığımız Bilim ve Teknoloji Merkezimiz 150'yi aşan araştırmacı ile Almanya'dan Hindistan'a 6700 km ve Rusya'nın en kuzey noktasından Mısır'a kadar 3300 km'lik bir coğrafyada topluluğumuzun kurumsal araştırma ve teknolojik geliştirme çalışmalarına öncülük etmekte ve yol göstermektedir.

Araştırma ve teknolojik geliştirme faaliyetlerimize ciromuzdan ayırdığımız yaklaşık %1,5 büyüklüğünde payın itici gücü ile Bilim ve Teknoloji Merkezimiz yanında yurt içi ile yurt dışı bölge laboratuvarlarımızdaki üretim birimlerimizde ürün geliştirme ve kalite kontrol çalışmalarına destek olan tam zamanlı araştırmacımızın sayısı 250'ye yaklaşmaktadır.

Bu altyapı ve insan kaynakları ile 30 yılı aşkın süredir birimlerimizde üretilen bilgi, güçlenen beceri ve yetkinliklerimizin paylaşılması amacıyla gerçekleştirdiğimiz Şişecam Cam Sempozyumları, başlangıçta kurum içi faaliyetler olarak sürdürülmüştür. Ancak fikirden ürüne giden yolculukta, rekabet öncesi araştırma ve teknolojik geliştirmelerin ulusal ve uluslararası işbirlikleri ile daha etkin yürütülebileceğine inanan Şişecam, önce ulusal ardından uluslararası ölçekte sempozyumlarımızın etki alanını genişletmiştir.

30. Cam Sempozyumumuzda cam sektöründe uluslararası ölçekte öne çıkmış 12 çağrılı konuşmacı yanında 39 sözlü ve 17 poster bildiri olmak üzere 56 çalışma paralel oturumlarda sunulacaktır. Bir sonraki büyük adımda, 2017 yılında Cam Sempozyumumuzu, Uluslararası Cam Komisyonu Konferansı ile birleştirerek 4 gün süreli ve 500 katılımcı ile gerçekleştirmeyi planlamaktayız.

Teknolojiye ve ürüne araştırma ve teknolojik geliştirme yoluyla sahip olma çabalarımızın rekabet öncesi çıktılarının paylaşıldığı 30. Şişecam Cam Sempozyumu'na katılımınızın bizlere güç kattığını vurgularken, emeği geçen bütün çalışanlarımıza teşekkür ederim.

**Prof. Dr. Ahmet Kırman**

Yönetim Kurulu Başkan Vekili ve Genel Müdürü

## 30. ŞİŞECAM CAM SEMPOZYUMU AÇIŞ KONUŞMASI



Bu yılın teması “Sürdürülebilir gelecekte cam”.

Cama dayalı ürünlerin inovatif uygulamaları:

- mimaride ve inşaat sektöründe
- otomotiv ve ulaşımda
- bilişim, veri depolama, elektronik, görüntü teknolojileri ve optik sektöründe,
- enerji üretim, dağıtım, depolama sektöründe
- pasif ve aktif kaplamalar sektöründe
- smart / hijenik cam ambalajlarda
- interaktif cam ev eşyasında
- tıp biyoloji ve ilaç sanayinde
- tarımda,
- radyasyondan korunma alanlarında hızla çeşitlenmekte ve yaygınlaşmaktadır.

“Fütüristik” olarak algıladığımız cama dayalı uygulamalar ve yeni ürünler her geçen gün yaşamımıza girmekte. Yaşamımızın konforuna ve estetiğine değer katan uygulamaları ve yeni ürünleri, talebe uygun maliyetlerle pazara sunma yarışı her gün ağırlaşan koşullarla sürmektedir.

Sektörde üretim teknolojileri ve ürün çeşitliliği baş döndürücü bir hızla büyürken harmandan son kullanıcıya kadar uzanan değer zincirinin her halkasında “sürdürülebilir gelecek” bütün kavramların önüne geçmektedir.

Sürdürülebilir geleceği tehdit eden zararlı bileşenlerden arınmış, çevre dostu inovatif ürünler ve üretim teknolojileri ile ilgili rekabet öncesi araştırma ve teknolojik geliştirme çabalarının etkin değeri ulusal ve uluslararası ölçekte kümelenmelerle artırılmaya çalışılmaktadır.

Sektörün en büyük girdilerden olan enerjinin verimli kullanılmasına yönelik çalışmalar; entegre fırın modelleri, ısı transfer verimliliğinin geliştirilmesi, yeni refrakter malzemeler ve yeni cam ergitme teknolojileri, yeni cam üretim teknolojileri ana başlıklarında yoğun bir biçimde sürmektedir.

Sektör oyuncularını ezber bozacak yeni hammaddeler, yeni ürün ve yeni uygulamaların yanında ileri işlem kontrol sistemleri, ileri teknolojilere dayalı ölçüm teknikleri, yeni yüksek sıcaklık malzemeleri ve bütün bu katmanlardaki modelleme ve simülasyon çalışmalarıyla üretimde operasyonel mükemmelliği ve maliyetlerde güçlü rekabeti yakalama maratonunu kesintisiz koşturmaktadır.

1935 yılında kurulan Şişecam başlangıçta teknoloji transferi yoluyla büyürken, 1976 yılından başlayarak ürün ve teknolojiye sahip olma stratejilerinde araştırma ve teknolojik geliştirme faaliyetlerini öne çıkarmıştır. Bugün 13 ülkede 22.000'e yakın çalışanı ve 8 milyar TL'ye doğru giden cirosu ve cirosundan ArTeGe faaliyetleri için ayırdığı %1,5'a yaklaşan pay ile dünya ölçeğinde cam sektörü yelpazesinin büyük bir bölümünde yarışmaktadır.

Şişecam, sektöründe ilk üçe girme vizyonuna giden yol haritasında en önemli taşıyıcıları; “araştırma ve teknolojik geliştirmede insan kaynaklarımızın bilgi, beceri ve yetkinliklerdeki düzeyleri”, “çağdaşlarıyla yarışan alt ArTeGe ve üretim yapımız” ve “kurumsal ölçekte güçlenen inovasyon ekosistemimiz” olarak görmektedir.

2014 yılında gerçekleşen yaklaşık 40 milyon TL büyüklüğündeki alt yapı yatırımı ile kazandığımız Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi, 27 ayrı uzmanlık laboratuvarı ve laboratuvarlardaki donanımlarla ülkemizin en büyük ve yetkin cam bilimi ve teknolojisi laboratuvarı olup, Avrupa'nın sayılı laboratuvarları arasındadır. Merkez ve bölge laboratuvarlarında 150'yi aşan ve üretim gruplarında 80'e yaklaşan tam zamanlı araştırmacılarımızın üçte biri lisansüstü dereceye sahiptir.

Nitel ve nicel anlamda büyüyen ve güçlenen ArTeGe insan kaynaklarımız ve altyapımız, geniş bir coğrafyadaki faaliyetlerimizde Ortak Anlayış, Ortak Metodoloji, Ortak Hafıza (Bütünleşik Veri Tabanı) Bilgi Beceri ve Yetkinliklerden Sağlanan Ortak Yararla, mevcut teknolojilerin ve ürünlerin optimizasyonu ve geliştirilmesi, yeni ürünlere ve teknolojilere sahip olma yanında üretim ve ürün kalite güvencesi için topluluğumuza kurumsal ölçekte öncülük etmekte, yol göstermektedir.

30 yılı aşkın süredir, başlangıçta kurum için bilgi, beceri ve yetkinliklerimizin paylaşımı amacıyla yapılan Şişecam Cam Sempozyumları son yıllarda ulusal ve uluslararası ölçekte üretilen bilgi, beceri ve yetkinliklerin de harmanlandığı bir platforma dönüşmüştür.

2017 yılında 135 üyeli "Uluslararası Cam Komisyonu" (International Commission on Glass) Yıllık Konferansı Şişecam ev sahipliğinde İstanbul'da yapılacaktır. Küresel ölçekte 500 katılımcının beklendiği bu konferansla birlikte yapılacak olan sempozyumumuz gerçek anlamda uluslararası bir platforma taşınmış olacaktır.

30. Cam Sempozyumumuz süresince, cam sektöründe uluslararası ölçekte öne çıkmış bilim insanlarını sunduğu 12 çağrılı konuşma yanında, özetleri kitapçıkta verilen 39 sözlü, 17 poster bildiri paralel oturumlarda sizlerle paylaşılacaktır.

30 yıldır kararlı, sürekli ve saygın adımlarla büyüyen "Cam Sempozyumlarının" ardındaki iradeye, sunumları ile güç katan bütün araştırmacılara ve sempozyumların mutfağında emeğini esirgemeyen bütün çalışma arkadaşlarıma yürekten teşekkür eder, 30. Şişecam Cam Sempozyumu'nun topluluğumuza, ülkemiz ve uluslararası cam sektörüne yapacağı katkılar konusundaki inancımınla, saygıları sunarım...

**Prof. Dr. Şener Oktik**

Şişecam Topluluğu Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanı





ŞİŞECAM

# 30. Şişecam Cam Sempozyumu

The 30<sup>th</sup> Şişecam  
Glass Symposium

## PROGRAM PROGRAM



## SEMPOZYUM PROGRAMI AÇILIŞ OTURUMU

08:00 - :9:00 KAYIT VE KAHVE / <b>REGISTRATION</b>		
KONFERANS SALONU		
1. AÇILIŞ OTURUMU / OPENING SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof. Dr. Şener Oktik		
09:00 - 09:10	SAYGI DURUŞU VE İSTİKLAL MARŞI / <b>NATIONAL ANTHEM</b>	Prof. Dr. Şener Oktik / <i>Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanı / Research a Technological Development President</i>
09:10 - 09:30	AÇILIŞ KONUŞMALARI / <b>OPENING SPEACHES</b>	Prof. Dr. Ahmet Kirman YK Başkan Vekili ve Genel Müdür / <i>Vice Chairman and CEO</i>
09:30 - 10:00	SUSTAINABILITY - A TARGET CORPORATE AND BUSSINESS	Dr. Mehran Arbab <i>PPG Industries</i>
10:00 - 10:30	THE SURFACE OF GLASS CAN MAKE IT OR BREAK IT	Prof. Dr. Himanshu Jain <i>Lehigh University</i>
10:30 - 11:00	BULK METALLIC GLASSES: SIMILARITIES AND DIFFERENCES	Dr. Atakan Peker <i>Washington State University</i>
11:00 - 11:30 KAHVE ARASI / <b>COFFEE BREAK</b>		

## PARALEL OTURUMLAR (2. OTURUM)

KONFERANS SALONU		
2. OTURUM / 2 <sup>nd</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof Dr. Pınar Mengüç		
11:30 - 12:00	EUROPEAN GLASS PACKAGING INDUSTRY - COMPETITIVENESS CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Adeline Farrelly <i>FEVE - EU federation for glass packaging and tableware</i>
12:00 - 12:30	MEASUREMENTS AND CALCULATIONS FOR THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT HOLLOW WARE	Bergamann Gesine Loeber Nils-Holger Simon Jonas Mueller-Simon Hayo <i>HVG-DGG e.V., Glass Technology</i>
12:30 - 13:00	TRIBOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE GLASS - METAL CONTACT IN GLASS - CONTAINER PRODUCTION - IS NON SWABBING POSSIBLE?	Dominik Orzol Lothar Wondraczek Christian Roos <i>Friedrich Schiller University Jena</i>
13:00 - 14:00 ÖĞLEN YEMEĞİ / LUNCH		

## PARALEL OTURUMLAR (2. OTURUM)

SENATO SALONU		
2. OTURUM 2 <sup>nd</sup> SESSION / OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Dr. Cleva Yang		
11:30 - 12:00	MILESTONNE IN 40 YEARS OF COATING TECHNOLOGY FOR ARCHITECTURAL AND AUTOMOTIVE APPLICATIONS	Prof. Bernd Szyszka Dr. Andreas Plug Stephan Ulrich <i>Berlin Institute of Technology</i>
12:00 - 12:20	TECHNOLOGICAL CHALLENGES IN ARCHITECTURAL AND AUTOMOTIVE LOW-E GLASS COATING	Dr. Christoph Köckert Hagenström Harald <i>VON ARDENNE GmbH</i>
12:30 - 13:00	A NOVAL THIN FILM PREPERATION TECNIQUE: REACTIVE SPUTTERING FOR HIGH QUALITY OXIDE AND NITRIDE FILMS	Prof. Dr. Hüseyin Zafer Durusoy <i>Hacettepe Üniversitesi NANOVAK Ar-Ge</i>
13:00 - 14:00 ÖĞLEN YEMEĞİ / LUNCH		



## PARALEL OTURUMLAR (2. OTURUM)

SEMİNER SALONU		
2. OTURUM 2 <sup>nd</sup> SESSION / OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof Dr. Ali Ata		
11:30 - 12:00	INNOVATION IN NANOSTUCTED THIN FILMS AND SURFACE COATING TECHNOLOGY	Prof. Kwang Leong Choy <i>University Collage of London</i>
12:00 - 12:30	FOAM GLASS IN THE SUSTAINABLE FUTURE	Dr. Jacob König <i>Jozef Stefan Institute</i>
12:30 - 12:50	GÖZENEKLİ CAM MALZEMELER	Yrd. Doç. Dr. Ufuk Şentürk <i>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü</i>
12:50 - 13:10	ATIK CAM VE NANO BOYUTLU SİC KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ CAM KÖPÜĞÜNÜN POR ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	Abdulkadir Sarı Burcu Duymaz Ali Murat Soydan Prof. Dr. Ali Ata <i>Gebze Teknik Üniversitesi</i>
13:00 - 14:00 ÖĞLEN YEMEĞİ / LUNCH		

## PARALEL OTURUMLAR (3. OTURUM)

KONFERANS SALONU		
3. OTURUM / 3 <sup>rd</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Hande Sesigür		
14:00 - 14:20	CAM ÜRETİMİNDE ERGİME VE AFİNASYON MEKANİZMALARINI BELİRLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM	Banu Arslan Dr. Mustafa Oran Gülin Demirok Ali Ötken Dr. Arca İyiel Barış Demirel ATGB
14:20 - 14:40	ALTERNATİF ELEKTRODÖKÜM AZS REFRAKTERLERİN ÖZELLİKLERİNİN VE UYGUNLUKLARININ ARAŞTIRILMASI	Burak İzmirlioğlu Melih Üstün Derya Toykan Erdem Yıldırım Ali Ötken ATGB
14:40 - 15:00	CAM AMBALAJ ÜRÜNLERİNE YÖNELİK HİBRİD ANTI-BAKTERİYEL KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ	Dr. Refika Budakoğlu Dr. Aref Cevahir Çağdaş Kadakal Burak İzmirlioğlu Sumru Bellici Cihan Koçak ATGB
15:00 - 15:20	CAM AMBALAJ ÜRÜNLERE POLİMERİK KAPLAMA UYGULAMALARI İLE YENİ ÖZELLİKLER KAZANDIRILMASI	Hakan Yavaşlar M. Taylan Sabaner Alper Yakan Akın Cambazoğlu Prof. Dr. Selim Küsefoğlu Doç Dr. Ediz Taylan Merve Akdemir Cam Ambalaj / Boğaziçi Üniversitesi / ATGB
15:30 - 16:00 KAHVE ARASI / COFFEE BREAK		

## PARALEL OTURUMLAR (3. OTURUM)

SENATO SALONU		
3. OTURUM / 3 <sup>rd</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof. Dr. Zafer Durusoy		
14:00- 14:30	HELPING TO OPTIMIZE SOLAR ENERGY-CONVERSION DEVICES WITH SOFT X-RAY AND ELECTRON SPECTROSCOPES	Dr. Clemens Heske <i>Karlsruhe Institute of Technology</i>
14:30 - 14:50	ANALYSIS OF MULTI-LAYERED COATING MORPHOLOGY AND CHEMISTRY BY ENERGY-DEPENDENT X-RAY SPECTROSCOPY IN AN ABERRATION-CORRECTED SCANNING TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE	Dr. Güliz İnan Akahmet Doç. Dr. Cleva Ow-Yang Saso Sturm Miran Ceh <i>Sabancı Üniversitesi / Josef Stefan Institute</i>
14:50 - 15:10	YENİ NESİL KAPLAMALI CAMLARDA MİKROYAPI HATALARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI İLE YÜKSEK BAŞARIMLI SERİ ANALİZİ	Dr. Kerem Gören Dr. Tuncay Turutoğlu <i>Düzcem / ATGB</i>
15:10 - 15:30	MECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF SILICON NITRIDE THIN FILMS ON GLASS	Lukas Simurka Dr. Selen Erkan Dr. Tuncay Turutoğlu <i>ATGB</i>
15:30 - 16:00 KAHVE ARASI / COFFEE BREAK		

## PARALEL OTURUMLAR (3. OTURUM)

SEMİNER SALONU		
3. OTURUM / 3 <sup>rd</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof Dr. Mustafa Ağatekin		
14:00 - 14:30	SANATSAL CAMIN TÜRKİYE'DE PLASTİK SANATLAR İÇERİSİNDE YER ALMA SÜRECİ VE ÖNEMLİ PARAMETRELER	Prof. Dr. Mustafa Ağatekin <i>Anadolu Üniversitesi</i>
14:30 - 14:50	İÇ MEKAN TASARIMINDA KULLANILAN EKOLOJİK CAMLAR	Yrd. Doç. Emine Yüksel Doç. Dr. Murat Kılınc Yrd. Doç. Dr. Onur Ülker <i>Kırıkkale Üniversitesi</i>
14:50 - 15:10	ANTİK DÖNEMDE CAMIN MİMARİDE KULLANIMI	Yrd. Doç. Dr. Güven Gümgüm <i>Uludağ Üniversitesi</i>
15:10 - 15:30	SANATSAL CAM TASARIMINDA KIRMIZI RENKLİ CAMIN KULLANIMI VE ISIL İŞLEM SÜRECİNDE GÖZLEMLenen ETKİLER	Yrd. Doç. Dr. Göktuğ Günkaya Amaneh Manafidizaji Prof. Dr. Mustafa Ağatekin <i>Anadolu Üniversitesi</i>
15:30 - 16:00 KAHVE ARASI / COFFEE BREAK		



## PARALEL OTURUMLAR (4. OTURUM)

KONFERANS SALONU		
4. OTURUM / 4 <sup>th</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof. Dr. Bedir Özdemir		
16:00 - 16:20	GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI CAM ESNEKLİK ÖLÇÜM SİSTEMİ	Yrd. Doç. Dr. İsmail Serkan Üncü Erdi Kaban Meltem Duran Safinur Coşkunso <i>Süleyman Demirel Üniversitesi</i>
16:20 - 16:40	ENDÜSTRİYEL SU SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM VE ENERJİ TASARRUF FIRSATLARI	A. Zeki Alimoğlu Dr. A. Yüksel Soykut <i>Cam Ev Eşyası</i>
16:40 - 17:00	FOREHEARTH OXY-FUEL DENEMESİ	Özgür Acar Neşet Arzan <i>Cam Elyaf Sanayi A.Ş. ATGB</i>
17:00 - 17:20	SODA ÜRETİMİNDE ENERJİ VE SU YÖNETİMİ	Ömer Ünal Seçkin Dokuzlar Can İrkörücü <i>Kimyasallar</i>
17:30 - 19:00 KOKTEYL / COCKTAIL		

## PARALEL OTURUMLAR (4. OTURUM)

SENATO SALONU		
4. TOURUM / 4 <sup>th</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Doç. Dr. Fikret Yıldız		
16:00 - 16:20	LOW-E KAPLAMALI CAMLARIN TEMPERLENMESİ	Mustafa Ozan Özer <i>Düzcam</i>
16:20 - 16:40	SODA CAMI ÜZERİNE RUTENYUM KATKILANMIŞ TiO <sub>2</sub> İNCE FİMLERİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARININ ARAŞTIRILMASI	Mehtap Özdemir Metin Kkurt Ayten Candaş Gülnur Aygün Prof. Dr. Lütfi Özyüzer <i>Gediz Üniversitesi</i>
16:40 - 17:00	İNCE FİLM FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN KİMYASAL OLARAK PÜRÜZLENDİRİLMİŞ AL KATKILI ZNO FİMLERİN ÖZELLİKLERİ	Salih Top Ümmü Mustafaoğlu Nilüfer Evcimen Duygulu Ahmet Karaarslan Ahmet Ekerim Doç. Dr. Alp Osman Kodolbaş <i>Yıldız Teknik Üniversitesi</i>
17:00 - 17:20	OLED'LERDE ALTERNATİF ANOT ELEKTROT OLARAK NİKEL KULLANIMI	Dr. Selin Pravadılı Mucur Sait Eren Sa Emine Tekin Fikret Yıldız <i>TÜBİTAK</i>
17:20 - 17:40	FARKLI ORANLARDA ZN İÇEREN BORAT CAM YAPILAR ÜZERİNE ÇÖKTÜRÜLEN ZNO FİMLERİNİN İNCELENMESİ	Dr. Sadiye Çetinkaya Çolak İdris Akyüz Ferhunde Atay <i>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi</i>
17:30 - 19:00 KOKTEYL / COCKTAIL		

## PARALEL OTURUMLAR (4. OTURUM)

SEMİNER SALONU		
4. OTURUM / 4 <sup>th</sup> SESSION OTURUM BAŞKANI / SESSION CHAIR: Prof. Dr. Esra Özkan Zayim		
16:00 - 16:20	GLASS AS A BIOMATERIAL	Azade Yelten Suat Yılmaz <i>İstanbul Üniversitesi</i>
16:20 - 16:40	ELEKTROKROMİK CAMLAR İÇİN İNCE FİLM $Li_{0.5}-x-La_{0.5}Ti_{1-x}O_3$ ELEKTROLİT	Sena Gülen Seda Ulusoy Doç. Dr. Gülnur Aygün Prof. Dr. Lütfi Özyüzer Dr. Mehtap Köklü <i>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü</i>
16:40 - 17:00	MIKNATISSAL SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN TERMOKROMİK $VO_2$ İNCE FİMLERİN ELEKTRİKSEL VE OPTİKSEL KARAKTERİZASYONU	Hürriyet Yüce Hakan Alaboz Doç. Dr. Gülnur Aygün Prof. Dr. Lütfi Özyüzer Dr. Mehtap Köklü <i>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü</i>
17:00 - 17:20	FORMA OCMİ PROSESİ, AYAK ÜRETİM TEKNIĞİ VE DİMPLE FORMLU İMALAT	Hüseyin Şiddet Varol Cinoğlu Doğan Kenar Efkan Dardan <i>Cam Ev Eşyası</i>
17:20 - 17:40	TR3 FIRINI RENKLİ KAMPANYALARINDA BİRİM ÜRETİM MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİ VE HEMATİT KOMPOZİSYONUNA BAĞLI SORUNLARIN GİDERİLMESİ	Kemal Dinçdölek Serhat Kolbaşı Mete Kiray <i>Düzcam</i>
17:30 - 19:00 KOKTEYL / COCKTAIL		

# 30. Cam Sempozyumu Organizasyon Kurulları

## DANIŞMA KURULU

**Onursal Başkan**  
Prof. Dr. Ahmet Kirman

**Üyeler**  
Prof. Dr. Şener Oktik  
Dr. Reha Akçakaya  
Cemil Tokel  
Abdullah Kılınc  
Burhan Ergene  
Sabahattin Günceler  
Serdar Gencer

## YÜRÜTME KURULU

**Başkan**  
Prof. Dr. Şener Oktik

**Üyeler**  
Melek Orhon  
Atilla Ünsal  
Hande Sesigür  
Semih İşevi  
Sezgi Kaynak

## HAKEM KURULU

**Üniversite**  
Prof.Dr.Ali Ata  
Gebze Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Şefik Süzer  
Bilkent Üniversitesi

Prof.Dr. Raşit Turan  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Pınar Mengüç  
Özyeğin Üniversitesi

Prof.Dr. Ali Serpengüzel  
Koç Üniversitesi

Prof. Mehmet Ali Gülgün  
Sabancı Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer Durusoy  
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Lütfi Özyüzer  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Prof. Dr. Esra Özkan Zayim  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bedii Özdemir  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Özgür Birer  
Koç Üniversitesi

Doç. Dr. Fikret Yıldız  
Gebze Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Osman Kodolbaş  
Tübitak

Yrd.Doç.Dr. Ufuk Şentürk  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Yrd.Doç.Dr. Özlem Duyar Coşkun  
Hacettepe Üniversitesi

Dr. Cleva Ow Yang  
Sabancı Üniversitesi

Volkan Özgüz  
Sabancı Üniversitesi

Ömer İlday  
Bilkent Üniversitesi

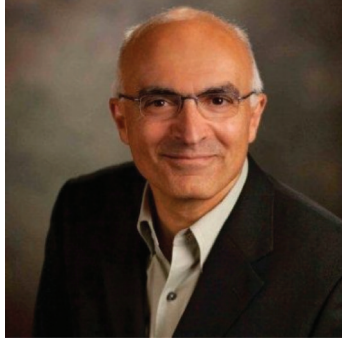
**Şişecam**  
Melek Orhon  
Atilla Ünsal  
Hande Sesigür  
Dr. Hakan Sesigür  
Dr. İlkay Sökmen  
Dr. Seniz Türküz  
Dr. Adnan Karadağ  
Dr. Mustafa Oran  
Haluk Güreren  
Süleyman Koç  
Taylan Sabaner  
Nadiye Gür





KONFERANS  
SALONU  
09:30 - 10:00

## SUSTAINABILITY - A TARGETED CORPORATE AND BUSINESS



**Dr. Mehran Arbab**  
Glass Science &  
Technology, PPG  
Industries, Inc  
[arbab@ppg.com](mailto:arbab@ppg.com)

*Director, Glass R&D PPG Industries  
2007 - Present (8 years) Pittsburgh, PA  
Associate director, Manager, Project manager  
PPG Industries  
1989 - 2007 (18 years)  
Research Associate  
Case Western Reserve University  
1987 - 1989 (2 years) Cleveland, Ohio  
Physics and Materials S&E departments*

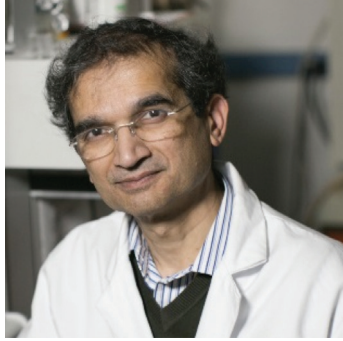
### ABSTRACT

The global economic and population growth requires a rational approach to manufacturing and product development for social, political and ecological sustainability. The necessary reduction in energy use, carbon footprint and environmental pollution, can follow only if the international community at the government, NGO, business and individual levels are committed to achieving it. In this talk, I will provide an example at the corporate level on our goals at PPG. I will emphasize the development and commercial use of value added products, particularly flat glass, that can positively impact environmental sustainability through reduction in energy use in the construction and transportation.

**Keywords:** *sustainability, energy, environment*



## THE SURFACE OF GLASS CAN MAKE IT OR BREAK IT



**Dr. Himanshu Jain**  
Lehigh University,  
Materials Science and  
Engineering, USA  
h.jain@lehigh.edu

*Himanshu Jain is the T.L. Diamond Distinguished Chair in Engineering and Applied Science, Professor of Materials Science and Engineering, and Director of International Materials Institute for New Functionality in Glass at Lehigh University. After receiving D.Eng.Sc. degree from Columbia University in 1979, he conducted research at Argonne and Brookhaven National Laboratories before joining Lehigh in 1985. His current research interests include: functionality in glass through fundamentals; glass surfaces; corrosion of glass in relation to manufacturing; light-induced phenomena in glass; nano-macro porous glass bioactive scaffolds for bone regeneration; point defects, electrical relaxation, conductivity and dielectric properties of amorphous and crystalline ceramics; glasses for IR biosensors, photo- and nano-lithography, and photonics; active single-crystal architecture in glass; and metal-glass nano-composites.*

*Dr. Jain is a recipient of the Otto Schott Research international prize for 2007, Zachariasen international award for outstanding contribution to glass research, Alfred University's Scholes Lecture award, Lehigh University's Libsch award for research and Hillman award for long-term excellence, Fulbright Fellowship for lecturing and research at Cambridge and Aberdeen universities in UK, and a Humboldt Fellowship for research in Germany. An author of over 350 research publications, editor or author of nine books, inventor of four patents, a Principal Editor of Journal of Materials Research, he is a Fellow of the American Ceramic Society.*

### ABSTRACT

The surface is where literally a glass breaks, almost always. This has been known for some time, but it is being recognized increasingly that many other functional properties and performance of glass needed for advanced applications are also strongly affected by the nature of its surface. These advanced applications of glass in energy, information and biomedical technologies rely strongly on specific surface characteristics. In the area of energy technology, for example, high light efficiencies depend on anti-reflecting surfaces, patterned surfaces, self-cleaning surfaces, etc. Besides the direct structuring of the surface, the performance of coatings is a sensitive function of the underlying surface. The chemistry and morphology of glass surface, and their variability under the conditions of use are crucial for the long term performance and sustainability of a glass product. The simultaneous presence of mechanical stress and aggressive chemical species, even the common water vapor, can complicate the understanding of glass surface and predictability of its performance.

This presentation will first demonstrate how a typical high quality glass product, presumably manufactured under well controlled conditions, can perform poorly over extended periods of time. The origin of such poor sustainability will be traced in the manufacturing conditions, besides the composition of glass. Future development of higher quality and longer lasting products will require suitable methods of surface characterization. Therefore, we will examine the state of the art experimental tools with pros and cons of each for characterizing the surface, specifically X-ray photoelectron spectroscopy, low energy ion scattering spectroscopy, surface probe microscopy and scanning electron microscopy. Examples will be presented to describe how real, as-manufactured glass surface may differ from pristine surface produced by fracture under high vacuum.

**Keywords:** glass surface, characterization techniques, role of manufacturing, corrosion

## BULK METALLIC GLASSES: SIMILARITIES AND DIFFERENCES



**Dr. Atakan Peker**  
Washington State  
University  
[atakanpeker@gmail.com](mailto:atakanpeker@gmail.com)

*Atakan Peker is a graduate of Boğaziçi University (Mech. Eng. & Physics) and received his Ph.D. in Materials Science from Caltech in 1994. His Ph.D. studies resulted in the development of first commercially feasible bulk metallic glasses which led to a start-up company and ultimately to its IPO. Following his Ph.D., Dr. Peker worked on the commercial development of bulk metallic glass and lead the corporate intellectual property. Atakan Peker developed and contributed to over 40 patents resulting in product sales and licensing revenues of over \$100. A major portion of these patents were licensed to Apple Inc in 2010. Dr. Peker has been director of advanced materials and senior scientist at Applied Sciences Laboratory of Washington State University since 2007.*

### ABSTRACT

Metals and glasses are two dramatically different materials with almost nothing in common. Metals are malleable, resistant to fracture, electrically conductive and virtually opaque. On the other hand, glasses are prone to fracture, non-conductive and transparent. The distinction between two materials is further amplified with their different processing and fabrication methods. However, both materials have been extensively used in structures and making objects with functional or aesthetic features. In numerous instances both materials are used together to construct structures and objects. For example, metals and glasses are combined to form the frames and bodies of most popular objects, from vehicles to smartphones. The distinction between two materials is getting bridged somewhat with the development of Bulk Metallic Glasses (BMGs). First, the atomic structure is becoming very similar, having a non-lattice amorphous structure, in both materials. Second, BMGs also exhibit a glass transition, becoming a highly viscous liquid at temperatures far below their melting temperatures. In this presentation, Bulk Metallic Glasses will be introduced and their similarities with conventional oxide glasses will be examined. The structural, processing and fabrication aspects of the BMGs will be discussed. The properties of BMGs will be presented in conjunction with potential applications. Finally, the use and combination of BMGs and modern glasses will be discussed for the development of next generation design and structures of mobile electronic devices.

**Keywords:** glass, metals, metallic glass, amorphous, glass transition, smartphone

KONFERANS  
SALONU  
11:30 - 12:00

## EUROPEAN GLASS PACKAGING INDUSTRY - COMPETITIVENESS CHALLENGES AND OPPORTUNITIES



**Adeline Farrelly**  
FEVE - EU federation  
for glass packaging and  
tableware,  
Belgium  
[a.farrelly@feve.org](mailto:a.farrelly@feve.org)

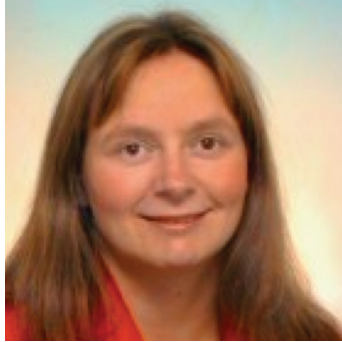
*Adeline Farrelly is the Secretary General of the European Container Glass Federation (FEVE) since 2008. Prior to that Ms. Farrelly served as the Communications Director for EuropaBio - the European biotechnology industry association in Brussels. Over the last 25 years, she has worked for a number of organizations, including both the European Commission and the European Parliament.*

The European Union is an increasingly challenging context for the manufacturing industry which on the one hand has to struggle with stringent regulatory pressure, particularly on environment, and on the other hand has to ensure solid social and economic contribution to the EU economy. Only real sustainably sound business models will continue to be considered important powerhouses in which to invest in the future EU.

For the container glass industry, there are some important opportunities for growth in this EU society of the future which needs to seriously reconsider the way in which we source, produce and consume goods and where increasingly recycling is considered as a fundamental step towards this goal. There is the pressing objective to switch from a linear economy model to a circular one which upgrades waste to a precious resource for a new production loop and boosts the competitiveness of the EU manufacturing industry.

**Keywords:** *EU politics, EU regulations, EU policies, competitiveness, growth*

## MEASUREMENTS AND CALCULATIONS FOR THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT HOLLOW WARE



**Bergmann Gesine,  
Loeber Nils-Holger,  
Simon Jonas,  
Mueller-Simon Hayo**  
HVG-DGG e.V., Glass  
Technology  
[bergmann@hvg-dgg.de](mailto:bergmann@hvg-dgg.de)  
[loeber@hvg-dgg.de](mailto:loeber@hvg-dgg.de)  
[simonj@hvg-dgg.de](mailto:simonj@hvg-dgg.de)  
[mueller-simon@hvg-dgg.de](mailto:mueller-simon@hvg-dgg.de)

*Date & Place of Birth: 1974; Sonneberg (Thuringia)*  
*1996-2001: Technical University Bergakademie Freiberg, Ceramic, Glass and Construction Materials, Certified Engineer, thesis: Optimisation of feeder-control and mould temperature for the production of crystal glass*  
*2001-2002: Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems, Dresden; Soot filter made of foam ceramics*  
*2002-2005: German Aerospace Center, Institute of Materials Research, Cologne*  
*High temperature corrosion of ceramic matrix Composites*  
*since 2005: Research Association of the German Glass Industry (HVG-DGG e.V.), Offenbach*  
*Hot forming of glass: temperature measurement; temperature distribution of the glass between feeder channel and blank; interactions between mould materials, glass, and swabbing materials; strength and fracture of glass; Emission Measurements in the flue gas of glass furnaces; quality control based on DIN EN ISO/IEC 17015*

### ABSTRACT

The decrease in the weight of glass bottles and jars is on top of the wishlist of customers all over the world. Especially for the blow-blow-process a more uniformly distributed wall thickness distribution is a key for lightweight bottles. Due to the fact that viscosity is inseparably linked to the temperature, a basic requirement therefore is a known and adapted temperature distribution of the gobs before loading. The resulting temperature distribution of the gob just before the blank is affected by the flow conditions in the feeder channel and especially in the bowl as well as by the movement pattern and the thermal conditions in the delivery.

The paper deals with the experimental work and the modeling of the feeder system on the one hand and with industrial data and model based interpolations of the gobs changes in the delivery on the other hand. In the first part effects such as influence of pull rate and the direction of the tube rotation on the temperature distribution of the pristine gobs will be discussed. The second part focuses on the delivery system. The influences of different delivery properties and the gobs movement are discussed. Some experimental data and calculations illustrate this topic. As one result of the research we are able to characterize the inside temperature distribution of the gobs after cutting. We are also able to predict the resulting temperature distribution after the gobs leaving of the delivery system.

**Keywords:** gob, feeder, spout, delivery, temperature distributio

KONFERANS  
SALONU  
12:30 - 13:00



**Dominik K. Orzol**  
**Lothar Wondraczek**  
Friedrich Schiller  
University Jena, Otto  
Schott Institute of  
Materials Research, Glass  
Chemistry II, Germany  
*dominik-karl.orzol@uni-  
jena.de*

**Christian Roos**  
International Partners in  
Glass Research  
*christian.roos@ipgr.com*

## TRIBOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE GLASS-METAL CONTACT IN GLASS-CONTAINER PRODUCTION - IS NON-SWABBING POSSIBLE?

*Dominik Orzol was born in Nuremberg, Germany. In 2007 he started his studies in material science at the Friedrich Alexander University Erlangen Nuremberg and finished 2012 his Master's degree. His Master Thesis focused on anti-reflective coatings for solar glass in cooperation with the Linde AG, Munich.*

*In March 2013 he joined Prof. Wondraczek and his research group at the Friedrich Schiller University Jena for a PhD study. The PhD is a cooperation between the university and IPGR, a Swiss research association of the container glass industry. His research considers the glass metal contact during blank mold loading.*

Glass-metal-contact occurs at several steps during glass container production, for example during forming of the container. Different solid and liquid lubricants are used in the industry for improving the conditions in the glass-metal-contact, but many of them introduce more problems to the container glass forming process. The loading of the gob into the blank mold is a crucial step, which can be facilitated by swabbing. During the swabbing an oil and graphite based lubricant is applied in short intervals manually on the blank molds.

There is still a lack of fundamental understanding in glass-metal-contact, which prohibits the avoidance of swabbing. Therefore it is of interest, to investigate the glass-metal-contact to understand the fundamentals of that process and to find new to improve glass metal surface interaction and to enable a production without swabbing.

Different materials have been tested on a special test bed and fundamental understandings of the glass-metal contact in gob-loading have been derived. A realistic simulation of the gob loading regarding the gob weight, temperature state and gob speed can be used with a quantification of the friction at the same time.

The fundamentals of the interactions and corresponding material parameters will be discussed, supported by trials on afore mentioned test bed and suggestions for non-swabbing production of glass containers.

**Keywords:** tribology, glass container, bottle, lubricant



SENATO  
SALONU  
11:30 - 12:00

## MILESTONE IN 40 YEARS OF COATING TECHNOLOGY FOR ARCHITECTURAL AND AUTOMOTIVE APPLICATIONS



**Prof. Dr. Bernd Szyszka**  
Berlin Institute  
of Technology,  
Materials Chemistry,  
Nanotechnology, Surface  
Chemistry  
[b.szyszka@t-online.de](mailto:b.szyszka@t-online.de)

**Dr. Andreas Pflug,  
Stephan Ulrich**  
Fraunhofer IST

*Professor TU Berlin, Chair Technology for Thin Film Devices  
TU Berlin*

*July 2012 - Present (3 years 3 months) Berlin*

*Head of Department Large Area Coating*

*Fraunhofer IST*

*March 2003 - November 2012 (9 years 9 months)*

*Head of Group Large Area Coatings*

*Fraunhofer IST*

*July 2000 - February 2003 (2 years 8 months)*

### ABSTRACT

In the recent decades, the design concepts in architecture and for vehicles for transportation have been subject to substantial changes. On the one hand side, the improvement of energy efficiency is getting more important year by year. On the other hand side, customers appreciate the benefits in large area usage of glass a lot. To meet these requirements, more and more sophisticated design concepts have been implemented such as high performance spectral selective coatings with multiple silver layers for Sun-Control, bendable layers, durable coatings for usage on the outside of the glazing to provide anti-reflection, easy-to-clean and low emissivity of the glazing to prevent condensation of moisture and ice formation.

The R&D work towards industrial implementation of these products is enabled by innovations in material and process technologies. We outline the most important achievements and breakthroughs with main emphasize on plasma process technologies, e. g. reactive mid frequency transition mode pulse sputtering of highly insulating dielectrics such as SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>, ceramic target sputtering on industrial scale, high power impulse magnetron sputtering of bendable, extremely durable nanocrystalline films. Furthermore the model based layout of coating processes has shown to be an enabling factor for breakthroughs in coating technology. This addresses improvements regarding the layout of the vacuum chambers for improved gas separation and improved coating homogeneity and reproducibility, new approaches in magnetron technology, e. g. to suppress the cross-corner-effect in magnetron sputtering and to implement rotatable magnetron serial co-sputtering for tailored doping and sputter yield amplification. Within this paper, we'll give an overview on the current status of these technologies and implemented layer stacks.

**Keywords:** magnetron sputtering, coating



SENATO  
SALONU  
12:00 - 12:30

## TECHNOLOGICAL CHALLENGES IN ARCHITECTURAL AND AUTOMOTIVE LOW-E GLASS COATING



**Dr. Christoph Köckert**  
**Hagenström Harald**  
VON ARDENNE GmbH  
*koeckert.christoph@  
vonardenne.biz*  
*hagenstroem.harald@  
vonardenne.biz*

*After graduated in Low Temperature Physics at the Technical University of Dresden in 2001, Dr. Christoph Köckert is working at VON ARDENNE GmbH as lead technologist for Thin Film Applications, Processes and Components and Chief Technologist for Architectural Glass Coating.*

*His work on optical simulations and layer stack development covers the whole range of PVD-applications from optical multi layer systems, CSP relevant coatings like absorbers and mirrors on different substrates up to large area coatings like heat treatable Low-E and Solar Control systems on glass or web for architectural and automotive glazing's.*

*He is author of publications about magnetron sputtering and PVD technology and co-owner of several related patents.*

### ABSTRACT

The markets and supply channels for automotive and architectural glazing are very distinct and not related. However, the related coating technologies for modern glass facades and automotive windshields with solar control have a lot in common. In both cases it is of outmost importance to control the color appearance and even more so the color appearance under an inclined viewing angle. The coating stacks also have a lot in common because Double or Triple Low-E multilayers are employed to achieve solar selectivity that is low intake of solar energy into the office or passenger cabin respectively. We will show how to tailor and control these optical requirements for the architectural double glazing in comparison with the automotive laminate.

When we think about coating, we typically consider the above mentioned optical properties of the end product. But during the development of such coating recipes we will soon encounter another very important aspect, which is referred to as the "processing properties". A product with wonderful optical appearance may be convincing to the architect or designer, but the producers of the glazing will have a close look on production yield and related cost due to losses. We will discuss several aspects that need to be considered not only to make a beautiful but also commercially successful product.

In the field of automotive glazing we would finish our discussion with a special comparison of coatings on glass and plastic foil, which are both employed to produce infrared reflective (IRR) coatings.

**Keywords:** *architectural glass coating, automotive glass coating, low-E, web coating*

SENATO  
SALONU  
12:30 - 13:00

## A NOVEL THIN FILM PREPERATION TECHNIQUE: REACTIVE SPUTTERING FOR HIGH QUALITY OXIDE AND NITRIDE FILMS



**Prof. Dr. Hüseyin Zafer Durusoy**  
NANOVAK Ar-Ge Ltd.  
Hacettepe University  
Technopark, 3.ArGe  
Building,  
Beytepe 06800 Ankara  
[bilgi@nanovak.com](mailto:bilgi@nanovak.com)

*Prof.Dr. H.Zafer Durusoy was born in 1953 in Ankara. After completeting his BS at Hacettepe Physics department, he studied at California University to complete his PhD degree. Later, he took up a faculty position at Hacettepe Physics department and studied magnetic thin films, high Tc superconducting thin films and multi-layered optical coatings during his research activities. In the years, 1993-1994 he was a visiting scientist at Stanford University Applied Physics department where he studied YBCO and BISSCO high-Tc superconductors. Currently he works at Hacettepe University Physics department as full time professor. In 2006, he was one of the co-founder of NANOVAK Ar-Ge Ltd. at Hacettepe University Technopark. Dr. Durusoy has been managing this start-up company where evaporation systems, space simulators and vacuum brazing system are designed and manufactured.*

### ABSTRACT

Thin Films can be prepared using various techniques such as thermal evaporation, e-beam evaporation, laser ablation and plasma sputtering. Magnetron sputtering is one of the most popular plasma techniques, as it is clean, simple, stable and inexpensive. Magnetron sputtering produces higher quality thin films compared to some other techniques. Films are clean, dense, adherent to surface and closely packed yielding good physical properties.

However, when Oxide or Nitride films are sputtered using oxide or nitride targets, several problems may occur. First of all, it is more difficult to find high purity compound targets compared to simple metals. Next, due to high dielectric constant of tagets plasma-formation is difficult, arcing and debris accumulation frequently cause interruption of deposition process. Finally, only RF sputtering can be employed for these processes.

In many cases, Reactive Sputtering offers a solution. A reactant gas such as O<sub>2</sub> or N<sub>2</sub> is mixed with Ar is used for plasma generation. Furthermore, in many cases, DC sputtering can be used to obtain high quality dielectric films using Metallic targets. The process is simpler, inexpensive and more stable. High quality dielectric films such as ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, NiO, WO and SiN, TiN can be obtained. It is crucial to use the correct ratio of the reactant gas to Argon gas. Higher gas concentrations may cause what is called "Target poisoning" which occurs when much higher reactant gas concentrations are used. For example, very high quality TiO<sub>2</sub> films can be obtained for 3% O<sub>2</sub> and 97% Ar gas mixture while 18%N<sub>2</sub> and 82% Ar gas mixture is needed for TiN films.

Theoretical and experimental results will be presented in order to show advantage of this technique to produce high quality films

**Keywords:** thin films, magnetron sputtering, coatings

SEMİNER  
SALONU  
11:30 - 12:00**INNOVATION IN NANOSTRUCTURED THIN FILMS  
AND SURFACE COATING TECHNOLOGY**

**Prof. Kwang Leong Choy**  
Institute for Materials  
Discovery, University  
College of London,  
London, WC1E 7JE  
k.choy@ucl.ac.uk

*Prof Kwang Leong Choy was a Violette and Samuel Glasstone Research Fellow at Oxford where she has developed flame assisted vapour deposition (a variant of CVD) of films, before joining Imperial College in 1994 as a Governor's Lecturer. In 2001, she was promoted to Reader for her pioneering research on the innovative non-vacuum Electrostatic Spray Assisted Vapour Deposition (ESAVD) method at Imperial College London. She has been the recipient of the Grunfeld Medal and Prize from Institute of Materials (UK) for the recognition of her contribution to innovative coating materials/processes and later she has founded a spin-out company known as IMPT Ltd to exploit the ESAVD technology. ESAVD is capable of addressing the increasing industrial demand in cost-effective and environmentally friendly manufacturing of high performance ceramic films with fine structural and composition control at the nanoscale level for high value added engineering applications. ESAVD has been exploited and being scaled-up by industry for the manufacture of functional films for capacitors, selective gas separation, reforming catalyst and thermal barrier coatings for gas turbine blades, bio-compatible thin films, and transparent conducting oxide films for display and solar cell applications. She has been invited to publish her work on ESAVD and edited a book on "Innovative Processing of Films and Nanocrystalline Powders" by Imperial College Press (2002).*

*She came to Nottingham in October 2002 to take up a Professorship in Materials. She was the research director of University Innovation Centre in Aero Engine with AVIC. While at Nottingham, her team has invented a novel Aerosol-Assisted Ion Deposition (AAID) process and developed super thin polymeric films and nanocomposite coatings with unique physical and chemical properties. The method is being exploited to put sub-micron/micron thick high performance polymeric coatings on steels to create high value added products, as well as developing solid lubricant coatings and high performance nanocomposite coatings for tribological applications, ceramic coatings and next generation multifunctional films for deicing, antifogging and anti-lightning applications in aerospace. She is working closely with numerous leading research institutions and industrial companies to exploit the sustainable and cost-effective ESAVD and AAID technologies, as well as novel coating materials for engineering applications. Over the past four years, Professor Choy's work has led to her participation in numerous multimillion pounds interdisciplinary research programmes. These include EU, EPSRC and government flagship grants, as well as research contracts and collaboration to develop new engineering products with particular characteristics with industrial companies such as Rolls-Royce, Aero Engine Control, EADS, Oxford Instruments, QinetiQ, DSTL, BG/Advantica and IMPT. She has been the international expert reviewer for Ontario Research Fund, Hong Kong Productivity Council and Greek Ministry of Education/European Commission. She has been awarded Guest Professorships at the University of Uppsala (2001/03), Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering (NIMTE, 2010/2012), and Chinese Academy of Sciences (CAS) Visiting Professorship for Senior International Scientist (2011/2013).*

**ABSTRACT**

This paper presents an overview on the use of an emerging non vacuum, sustainable and cost-effective chemical vapour deposition (CVD) based process for the manufacture of high quality functional thin films and coatings, with a special focus for glass coating applications. The scientific and technological significant of the process for the deposition of ultrathin/thin/thick coatings with well controlled structure and composition at molecular scale level and at low processing temperatures will be reviewed and presented. The use of the promising non vacuum CVD based deposition technology for the creation of potential high value added glass products will be discussed. The technical viability and the potential of the novel process to be scaled up or large area and large scale production will be presented.

**Keywords:** thin films, coatings

SEMİNER  
SALONU  
12:00 - 12:30

## FOAM GLASS IN THE SUSTAINABLE FUTURE



**Dr. Jakob König**  
Advanced Materials  
Department,  
Jožef Stefan Institute,  
Ljubljana, Slovenia  
[jakob.konig@ijs.si](mailto:jakob.konig@ijs.si)

*Jakob König received master's degree in Chemical Engineering in 2004 from University of Ljubljana, Slovenia and PhD degree in Nanosciences and Nanotechnologies in 2009 from Jožef Stefan International Postgraduate School, Slovenia. The main focus of his research is solid state synthesis of environmentally friendlier dielectric and piezoelectric materials and structure-properties relationship. His second research interest are glassy thermal insulation materials, where his work since 2012 is focused on development of new foam glass preparation recipes. Within this field he cooperates with the Glass group from Aalborg University, Denmark. In their work a new approach to the analysis and designing of a foaming process is used, which is focused on understanding the foaming mechanism, which includes several chemical and physical processes, and tailoring the gas-releasing reaction to obtain foam glasses with superior thermal insulation properties.*

### ABSTRACT

Foam glass is a less known thermal insulation material. It exhibits several advantages in comparison to conventional insulation materials like organic foams and mineral fibers, e.g., water and steam resistance, freeze-thaw cycle tolerance, excellent chemical and thermal stability, vermin resistance, full reusability or recyclability, and superior mechanical properties. The combination these properties and the production from waste glass add to the great sustainability of the foam glass. However, in order to increase the use of foam glass its thermal insulation properties need to be improved and the price decreased.

Since 2000 the interest in foam glass has increased considerably and the production capacities in Europe have increased greatly. The main foam glass product is in a form of aggregate, mainly used as ground insulation in building and road construction. However, the full sustainability potential of foam glass can be exploited if foam glass is used as thermal insulation for the buildings envelope as the lifespan of the foam glass is similar to lifespan of bricks and concrete. For this purpose foam glass needs to be produced in boards which production is more demanding in comparison to aggregates. Currently there are only two suppliers of foam glass boards in Europe using very different technologies. Both have their advantages and disadvantages, while our work is focused on overcoming the disadvantages and designing a new foam glass production procedure that will allow preparation of cheap foam glass with better insulation properties than the best currently on the market. In this presentation the sustainability potential of foam glass will be presented and analyzed and the possibilities for further improvement of foam glass and its production discussed.

**Keywords:** *foam glass, insulation material*



## GÖZENEKLİ CAM MALZEMELER



**Yrd. Doç. Ufuk Şentürk**  
**Doğuş Zeren**  
**Mustafa Güden**  
İzmir Yüksek Teknoloji  
Enstitüsü, Malzeme Bilimi  
ve Mühendisliği  
ufuksenturk@iyte.edu.tr

*Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği bölümünden 1990 yılında lisans ve 1993 yüksek lisans derecelerini almıştır. 1997 yılında Alfred Üniversitesinden Seramik Bilimi alanında doktorasını almıştır. 1997-1999 yıllarında Stony Brook Üniversitesi Center for Thermal Spray Research merkezinde seramik kaplamalar alanında doktora sonrası çalışmalar yapmıştır. 1999-2014 arasında PQ Corporation şirketinin Ar-Ge merkezinde çalışmıştır. 2014 yılından itibaren İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır. Mayıs 2014 tarihinden itibaren Enstitünün Malzeme Araştırma Merkezi müdürlüğünü yürütmektedir.*

### ÖZET

Malzemelerde değişik boyut ve yapısal niteliklerde oluşturulabilecek gözenekler vasıtasıyla özgül ağırlığı düşüren ve yüzey alanı artıran özellikler sağlanabilmektedir. Bu sayede malzemeye yalıtım, hafiflik, molekül ve parça filitreleyebilme gibi fonksiyonel özellikler kazandırılması mümkün olabilmektedir. Cam malzemelerde de, özellikle silika bazlı camlarda, gözenek oluşumu vasıtasıyla değişik tane boyutlarında partiküller ve yapısal bloklar halinde üretilen ticari ürünler bulunmaktadır. Ticari camlarda habbe olarak da bilinen gaz boşluklarının varlığı genelde hata olarak kabul edilir ve bu tür oluşumların camın üretimi safhasında giderilmesine gayret edilir. Gözeneklerin, camın fırın içerisindeki oluşumunda harman içerisindeki ham maddelerde mevcut kimyasal bağlı gazlardan ötürü oluştuğu bilinmektedir. Eriyik içerisinde fiziksel olarak hapsedilmiş ve kimyasal olarak çözünüp kritik bir ısının üzerinde tekrar gaz fazına geçerek oluşmuş kabarcıkların kontrolü kimyasal olarak homojen bir eriyik elde etmek ve kaliteli cam üretimi için önemli bir safhadır. Cam teknolojisinde gözenekli yapıların elde edilmesinde gaz kabarcık oluşumunun temel bir mekanizma olduğu varsayılarak, bu tür yapıların camın yüksek sıcaklıklarda eriyik fazında, daha düşük sıcaklıklarda yumuşama noktasında ve cam geçiş noktasının altındaki sıcaklıklardaki oluşumu tartışılacaktır. Bu yöntemlerle elde edilen gözenekli camların yapısal ve fiziksel özelliklerinin de tartışılacağı sunumda, bu tür malzemelerin değişik kullanım alanları hakkında bilgi verilecektir.

**Anahtar Sözcükler:** cam, gözenek, yalıtım dönüşümleri

## ATIK CAM VE NANO BOYUTLU SiC KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ CAM KÖPÜĞÜNÜN POR ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



**Abdulkadir Sarı**  
**Burcu Duymaz**  
**Ali Murat Soydan**  
**Prof. Dr. Ali Ata**  
Gebze Teknik  
Üniversitesi,  
Malzeme Bilimi ve  
Mühendisliği  
kadorsari21@gmail.com  
bduymaz@gyte.edu.tr  
asoydan@gyte.edu.tr  
aliata@gyte.edu.tr

*Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik bölümünden 2012 senesinde mezun oldu. Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa devam etmektedir.*

*Nanoteknoloji bölümünün katı oksit yakıt hücresi (Solid Oxide Fuel Cell) laboratuvarında araştırmacı öğrenci olarak çalışmıştır. Son olarak bitirme tezi kapsamında cam köpüğü malzemesi üzerine araştırmalara devam etmektedir.*

### ÖZET

Bu çalışmada SiC tozunun atık cam içine eklenerek cam köpüğü üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Atık camların öğütülmesiyle elde edilmiş cam tozlarının kimyasal yapısı belirlenmiş, SiC' ün ve camın tane boyutu belirlenmiştir. Çalışmada ana hammadde olarak farklı tane boyutlarında SiC ve atık cam tozları kullanılmıştır. Ana hammaddelere ek bağlayıcı olarak Karboksi-Metil-Selüloz (CMC) kullanılmıştır. SiC tozunun birim hacim ağırlığını azaltmak ve gözenek oluşturmak amacıyla ağırlıkça % 1 - 7 arasında atık cam tozuna katılmıştır. SiC ve atık cam değişik oranlarda birleştirilmiş ve önce kuru karışım yapılarak homojen karışması sağlanmıştır. Karışıma 1 lt suda 20 gr olarak çözülmüş CMC eklenerek nemlendirilmesi sağlandıktan sonra kalıplara dökülerek preslenmiştir. Preslenmiş ürünler fırında sinterlenmiştir.

Deney örnekleri üzerinde yapılan incelemelerde, kendi grubuna giren malzemeler ile karşılaştırıldığında nitelikli bir yalıtım malzemesi üretilebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Cam köpüğü, SiC, nano malzeme

### ABSTRACT

In this study, the use of SiC powders with glass waste powders in foamglass materials manufacturing was investigated. Chemical analysis, particle size distribution and physical properties of the Glass and SiC powders were determined. Glass waste and different particle size SiC were used as main raw materials. In addition to raw materials we used Karboksi- Metil-Cellulose (CMC) as binder in mixture. In order to decrease the bulk density and increase the porosity SiC was added to glasswaste powders used in range of wt. %1 - 7. SiC and waste glass by dry mixture was combined in different proportions before and homogenous mixing is achieved. After the mixture, as the binder dissolved in water to 1 liter by adding 20 g CMC is pressed ensuring dampened poured into molds. Pressed samples were sintered in the furnace.

The investigations carried out on test samples, it was determined that a qualified insulation materials produced within its group compared with the materials.

**Keywords:** Foamglass, SiC, Nanomaterials



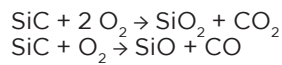
## 1. GİRİŞ

Düşük yoğunluğu, düşük ısı iletim katsayısı, su geçirmezliği ve yüksek mekanik dayanımı ile cam köpüğü uzun süredir özellikle inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Atık camların, cam köpük üretiminde hammadde olarak kullanılması 1940-1950'lerden beri uygulanmaktadır. Hem atıkların kullanımının arttırılması hem de cam köpük üretimine uygun atıkların belirlenmesi için geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır.

Cam köpüğü; cam veya cam benzeri malzeme eriyiklerine bir takım gazlar veya gaz oluşturmaya maddeler eklenerek oluşturulmuş yüksek kabarcık içeriğine sahip camdır. Sonuç olarak ortaya çıkan gözenekli cam çok hafif olup yüksek basınç dayanımına ve boyutsal stabiliteye sahiptir. Bu özelliği cam köpüğünün özellikle termal ve akustik yapısal malzemesi olarak kullanılmasını sağlar [1].

Cam köpüğünün üç ana çeşidi mevcuttur. Bunlardan ilki gevşek cam köpüğü agregası olup devamlı levhalar halindeki cam köpüğü ürününün daha sonra istenilen büyüklükte gevşek agrega elde etmek üzere kırılması ile elde edilir. İkinci tipi kalıp yardımıyla üretilmiş devamlı ürünlerin meydana getirdiği bloklar oluşturur. Peletleme işlemi ile üretilen ve daha sonra blok, panel, döşeme yapımında kullanılan küresel cam köpüğü pelletleri de üçüncü çeşittir [2].

Bu çalışmada peletleme yöntemi ile oluşturulmuş cam köpüğü üretilmiştir. Birçok köpük yapıcı madde olmasına rağmen SiC kullanıldığı zaman cam köpüğün mikro yapısı tam olarak kontrol edilebilir olması ve farklı elde edilebilir olduğundan oldukça etkili bir köpük yapıcı maddedir. SiC, cam atığına ağırlıkça % 0.1 ila birkaç oranında ilave edildiğinde oldukça etkili bir köpük yapıcı madde olarak görev yapmaktadır. SiC, oksitlenme reaksiyonundan kaynaklı olarak, cam içinde habbeler oluşturarak camın köpükleşmesine sebep olmaktadır. Reaksiyon sıcaklığı, karbonatlar, karbon, organik bileşikler gibi diğer bileşikler ile kıyaslandığında genellikle yaklaşık 1000 °C'den yüksektir. Saf SiC'ün DTA/TGA analiz sonuçlarına göre aşağıdaki reaksiyon 900 °C'nin üzerinde gerçekleşmektedir.



Başka bir olası reaksiyon ise,  $\text{SiC} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{Si}$ , ancak 1500 °C'nin üzerinde gerçekleşmektedir [3].

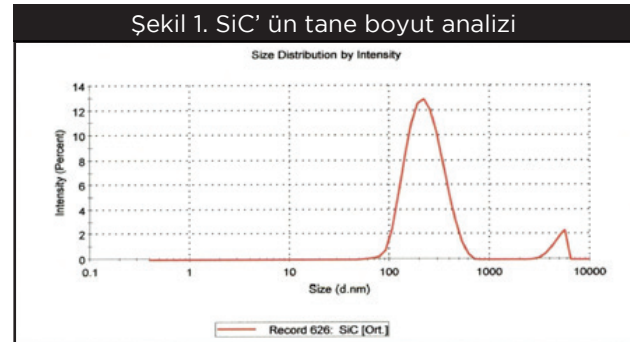
## 2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada 3 farklı deney düzeneği tasarlanmıştır. Birincil olarak aynı kompozisonda 700 - 900 °C aralığında iki farklı sinterleme sıcaklığı araştırılmıştır. İkinci deney düzeneği, A1: 4 Q % 1 wt SiC, A2: 4 Q < % 5 wt, B1: 232 nm < % 5 wt, B2: 880 nm < % 5 wt. olarak tasarlanmış ve oluşan gözeneklerin özellikleri incelenmiştir. Üçüncü deney düzeneği 880 nm'lik SiC kullanılarak farklı presleme basınçları ile üretilmiş cam köpüklerin incelenmiştir.

## 2.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

Çalışmada ana hammadde olarak atık cam tozu, ve SiC kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak Karboksi-Metil-Selüloz (CMC) kullanılmıştır.

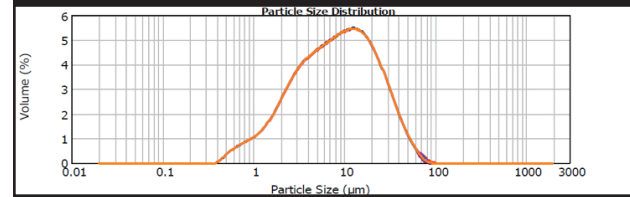
Kullanılmış olan hammaddelerin kimyasal ve fiziksel analizleri aşağıda belirtilmiştir.



Tablo 1. SiC'ün kimyasal bileşimi

Bileşen	PDF No:
Moissanite, SiC	29-1129
Silicon, Si	27-1402
Graphite, C	4-13-290
Ferrihydrite, FeO(OH)	46-1315
Silicon Carbon, SiC	4-7-2139
Aluminum Silicate, Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	25-21
Silicon Oxide, SiO <sub>2</sub>	18-1170

Şekil 2. Öğütülmüş camın tane boyut analizi



Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan camın kimyasal % bileşimi

Bileşen	%
Na <sub>2</sub> O	8,871
MgO	5,336
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,600
SiO <sub>2</sub>	73,527
SO <sub>3</sub>	0,358
Cl	0,028
K <sub>2</sub> O	0,353
CaO	9,761
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,151
SrO	0,006
ZrO <sub>2</sub>	0,010

## 2.2. TEST VE DENEYLERDE KULLANILAN ALET VE CİHAZLAR

Deneylerin uygulanmasında kullanılan araç ve cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

Cam ve SiC tozlarının elek analizi "Master sizer" tane boyutu analiz cihazında yapılmıştır. Cam ve SiC tozlarının kimyasal analizlerinin belirlenmesi için XRF cihazı kullanılmıştır. Camın öğütme işlemi bilyalı değirmen ile yapılmıştır. Numunelerin kurutulması işlemi sırasında 300 °C' lik sıcaklık değerlerine sahip 35 °C etüv kullanılmıştır. Presleme için PKM marka OKC-1671-M3 modellenli rus hidrolik pres kullanılmıştır. Numunelerin sinterleme işlemi ise Naberterm 0 - 3000 °C aralığında fırın kullanılmıştır. 50 x 50 mm paslanmaz çelik kalıp.

## 2.3. DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Numunelerin hazırlanması bu bölümde verilmiştir. Atık camlardan toplanan cam atıkları kırıcı ile kırılmış ardından bilyalı değirmende öğütülerek istenilen tane boyutuna getirilmiştir. Öğütülen cam tozlarına önceden belirlenmiş oranda (wt. % 1- 7) SiC eklenmiştir. Cam ve SiC' den oluşan toz karışımı karıştırıcıda 3 saat katı olarak karıştırılmış, homojen karışım oluşması sağlanmış ardından 1 lt suda 20 gr çözülmüş olan CMC tutkalı bağlayıcı olarak karışımı nemlendirmesi ve yaş mukavemet kazandırması amacı ile karışıma eklenmiştir. Elde edilen numune 50 x 50 mm çapındaki paslanmaz çelik kalıplara dökülerek 100 ve 250 bar aralığında preslendikten sonra kalıptan çıkarılmış ve fırına verilmiştir. Fırında 700 - 900 °C aralığında sinterlenen numuneler kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.

## 2.4. ÖRNEKLERE UYGULANAN TEST VE DENEYLER

Numuneler su içinde 5 gün bekletilerek değişmez ağırlığa gelinceye kadar su emmeleri sağlanmıştır. Arşimet terazisi düzeneğinde su içinde tartılarak su içindeki ağırlıkları belirlenmiştir ( $W_2$ ). Sudan çıkarılan örneklerin su emmiş doymuş ağırlıkları tartılarak belirlenmiştir ( $W_3$ ). Aşağıdaki eşitlikler yolu ile örneklerin su emme değerleri belirlenmiştir.

$$\% P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (1)$$

$$Ha = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (2)$$

$$Gy = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad (3)$$

$$\% Se = \frac{(W_3 - W_1)}{W_1} \times 100 \quad (4)$$

Burada: %P: Görünür gözeneklilik, Ha: Hacim ağırlığı (bulk yoğunluk), Gy: Görünür yoğunluk, Se: Su emme W1: Pişmiş Kuru ağırlık (Pişmiş ürünlerde), veya etüv kurusu ağırlık (pişmemiş ürünler için, beton, taş .vb.) gr, W2: Su içindeki ağırlık gr, W3: Doymuş ağırlık ( sudan çıkarılan numune yüzeyi nemli bezle silinerek havada tartılır) gr.

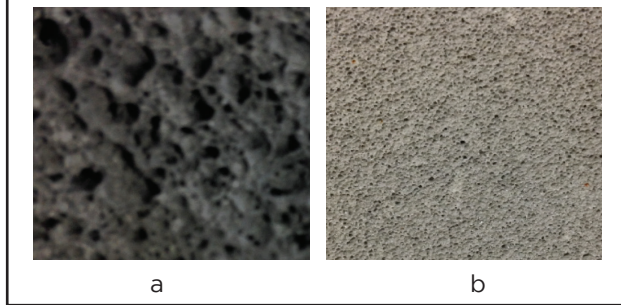
Ayrıca sinterleme öncesi farklı basınçlarda preslenmiş numunelerin sinterleme sonrası basma dayanımları incelenmiştir.

Sinterlenen numuneler üzerinde SEM analizi yapılarak gözenek çapı ve yoğunluğu gözlemlenmiştir.

## 2.5. DENEYSEL SONUÇLAR

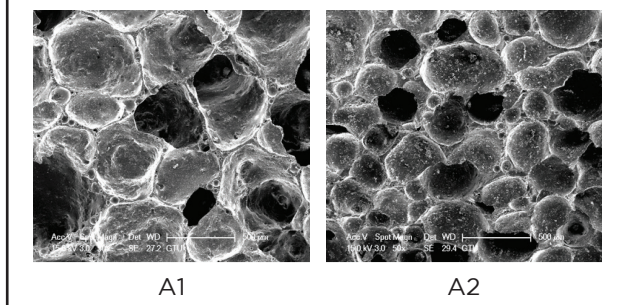
Ara kesiti alınan numunelerin SEM görüntüleri sonucunda, nano boyutlu SiC kullanılarak üretilmiş cam köpüklerinin kapalı gözenek sayısının daha fazla, gözenek çapının ise daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça küresel gözeneklerden uzaklaşmış, gözenek homojenizasyonun bozulduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 3. (a) 880 nm boyutundaki SiC ile 900 °C sıcaklıkta sinterlenmiş cam köpüğü numunesi (b) 880 nm boyutundaki SiC ile 780 °C sıcaklıkta sinterlenmiş cam köpüğü numunesi

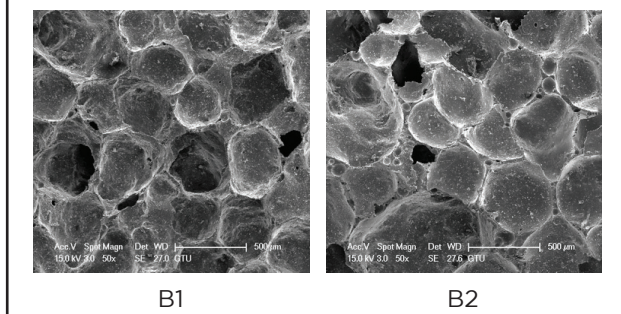


4 mikronluk SiC tozu ile üretilen cam köpüklerinde köpükleyici oranı arttıkça cam köpüğündeki kapalı gözeneklilik oranı artmış ve daha stabil köpük yapıları meydana gelmiştir. Şekil 4' te oluşan gözeneklerin SEM görüntüleri gösterilmektedir.

Şekil 4. 4 µ boyutlarında SiC kullanılarak üretilmiş cam köpüklerinin SEM görüntüleri



Şekil 5. 232 nm ve 880 nm boyutlarında SiC kullanılarak üretilmiş cam köpüklerinin SEM görüntüleri



Tablo 3. Ortalama tane boyutu

Ortalama tane boyutu (µm)	%			
	Kapalı Gözenek	Açık Gözenek	Kapalı	Açık
A1	267,54	361,36	58%	42%
A2	227,46	295,6	82%	18%
B1	303,05	402,63	73%	27%
B2	168,47	86,53	74%	26%

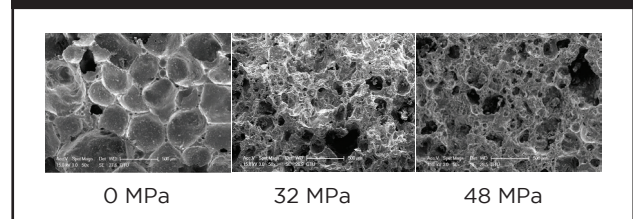
Elde edilen numunelerin su emme değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4. Su emme değerleri

	İlk gün su emme % oranı	5. gün su emme % oranı
A2	3,33	10,00
B1	20,00	66,67
B2	12,12	15,91

Not: A1 numunesinin su emme testlerinin yapılmasının sebebi açık gözenek oranının A2' den daha fazla olmasından dolayı su emmelerinin daha fazla olacağı içindir.

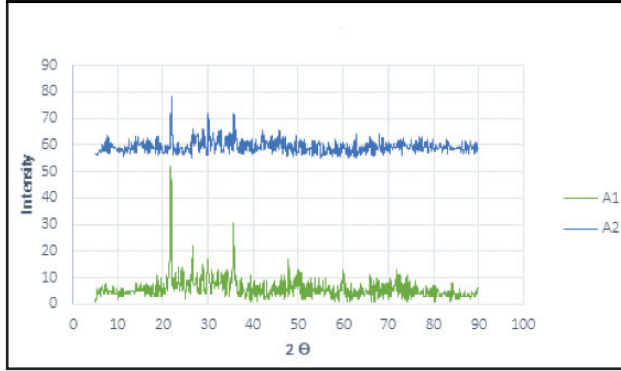
Şekil 6. Farklı presleme basınçları ile üretilmiş numunelerin SEM görüntüleri



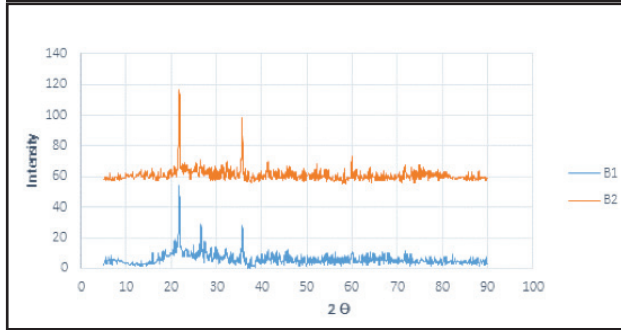
Yukarıdaki şekilde yaş numuneye uygulanan basıncın nihai ürün üzerindeki etkisi incelenmiştir. Basıncın fazla olması köpük oluşumunu önemli ölçüde etkilemiştir.

XRD sonuçlarına göre baskın olarak görülen fazların birincisi SiO<sub>2</sub> (kristobalit) fazı, ikincisi ise SiC (Mossstonite) fazıdır. XRD sonuçlarına yapıda göre serbest karbonda bulunmaktadır.

Şekil 7. A1 ve A2 numunelerinin XRD sonuçları



Şekil 7. B1 ve B2 numunelerinin XRD sonuçları



### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

4 mikronluk tozlarda, SiC miktarı arttıkça kapalı gözenek sayısı artmıştır. Mikron boyutlarına göre nano boyutlarda SiC kullanımı gözenek özellikleri bakımından daha başarılıdır. Ancak 232 nm'ye göre 880 nm daha başarılı sonuç vermiştir. Camın ve SiC'ün tane boyutu birbirine yaklaştıkça kapalı gözenek oranı artmıştır. Sinterleme sıcaklığı arttıkça küresel gözeneklerden uzaklaşmış, gözenek homojenizasyonu bozulmuştur. Yüksek basınçlarla preslenen numunelerde gözeneklilik bozulmuştur.

Farklı çeşitlerde ve oranlarda köpükleyici kullanılarak üretilen cam köpüğü üretimi ülkemizde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, atık camın değerlendirilerek SiC ile köpürtülerek gözenekli, hafif ve ısı yalıtım özelliği açısından başarılı ve mukavim bir ürün üretilmesi ile ilgili ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışma artık malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması bakımından önem taşımaktadır. Çalışmanın ileri aşamalarında sinterleme süresi ve sıcaklığını düşürmeye yönelik çalışmalar ve farklı üretim yöntemi kullanılarak araştırmaların sürdürülmesi yararlı olacaktır.

### 4. KAYNAKLAR

[1] Mineral Strategies Pty Ltd., 2005. The Development of Cellular (Foam) Glass Products Utilizing Wasteglass and Specific Industrial Waste Materials - Commercial In Confidence, pp. 9.

[2] J. Hurley, 2003. A UK Market Survey For Foam Glass, Research and Development Final Report, The Waste and Resources Action Programme.çl

[3] Glass Waste, Editors: Mukesh C. Limbachiya, John J.Roberts, Thomas Telford Publishing, London, 2004. Bölümün adı: Production of foam glass from glass waste G. Brusatin, E. Bernardo, G. Scarinci



SEMİNER  
SALONU  
14:00 - 14:20



**Banu Arslan**  
**Dr. Mustafa Oran**  
**Gülin Demirok**

**Ali Ötken**

**Dr. Arca İyiel**

**Barış Demirel**

Şişecam Topluluğu,

Araştırma ve Teknoloji

Geliştirme Başkanlığı,

Ergitme Kinetiği

Müdürlüğü

[barslan@siseecam.com](mailto:barslan@siseecam.com)

[Moran@siseecam.com](mailto: Moran@siseecam.com)

[gdemirok@siseecam.com](mailto:gdemirok@siseecam.com)

[aotken@siseecam.com](mailto:aotken@siseecam.com)

[aiyiel@siseecam.com](mailto:aiyiel@siseecam.com)

[bademirel@siseecam.com](mailto:bademirel@siseecam.com)

## CAM ÜRETİMİNDE ERGİME VE AFİNASYON MEKANİZMALARINI BELİRLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM

*Banu Arslan, 2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden mezun olmuştur. Daha sonra İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Prof. Dr. Süleyman Akman danışmanlığında yüksek lisans çalışmalarını yürüterek 2010 yılında mezun olmuştur. 2007 yılından bu yana Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde başta "Ergitme" olmak üzere Cam Teknolojisi konularında araştırma çalışmalarına devam etmektedir.*

### ÖZET

Ergime-afinasyon mekanizmalarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları bugüne kadar, deney sürecince gözlem olanağı olmayan laboratuvar fırınlarındaki pota eritme ile yapılmakta olup, elde edilen numunelerin harmandan/habbeden arınma, renk değişimi, vb. gibi özellikleri, bu işlemler tamamlandıktan çok sonra ancak oda sıcaklığında incelenmektedir. Bu tür statik yöntemler, gerçek sıcaklık altında ölçüm ve gözlem olanağı vermediği için, mekanizmaların detaylı olarak anlaşılması ve kontrol parametrelerinin belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Cam üretim prosesinin yüksek sıcaklık altındaki ergime/afinasyon mekanizmalarını yerinde (in-situ) ölçüm ve gözleme dayalı olarak incelenmesi için Cam Teknoloji Direktörlüğü bünyesinde "Yüksek Sıcaklık Gözlem Sistemi (YSGS)" laboratuvarı kurulmuştur. YSGS bir cam fırınındaki gerçek ergime/afinasyon şartlarını dinamik olarak simüle eden bir deney düzeneği olup; bu sistem ile hammaddelerin ergime kinetiği, köpük ve eriyik oluşumu ile afinasyon mekanizmaları dinamik olarak gözlemlenmekte, gaz reaksiyonlarını doğrudan ölçülmekte ve simülasyon sonuçları sayısal parametreler olarak ifade edilmektedir. Bu parametreler, hammadde özelliklerinin, cam kompozisyonu seçeneklerinin ve yüksek sıcaklıktaki kimyasal reaksiyonların ve farklı fırın atmosferlerinin (doğal gaz, oxy-fuel, vb.) ergitme-afinasyon mekanizmalarına olan etkileri çerçevesinde belirlenebilmektedir.

Bu makalede, cam ev eşyası ve düzcam terkiplerindeki bileşenlerin değişikliğine bağlı olarak ergime ve afinasyon performanslarının nasıl belirlendiği; cam elyaf terkinde ise doğal gaz ve oxy-fuel atmosfer şartlarında ergime ve afinasyon aşamalarının nasıl farklılık gösterdiği, Yüksek Sıcaklık Gözlem Sistemi ile yapılan deneysel simülasyonlarla gösterilmektedir. Ayrıca, ergime-afinasyon dışında YSGS ile yapılabilecek farklı deneysel simülasyonlar hakkında bilgi verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ergitme Simülasyonu, Afinasyon, Habbe, Yüksek Sıcaklık Gözlemi

### 1. GİRİŞ

Ergime-afinasyon mekanizmalarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları bugüne kadar, deney sürecince gözlem olanağı olmayan laboratuvar fırınlarındaki pota eritme ile yapılmakta olup, elde edilen numunelerin harmandan/habbeden arınma, renk değişimi, vb. gibi özellikleri, bu işlemler tamamlandıktan sonra, oda sıcaklığında incelenmektedir. Bu tür statik yöntemler, gerçek sıcaklık altında ölçüm ve gözlem olanağı vermediği için, mekanizmaların detaylı olarak anlaşılması ve kontrol parametrelerinin belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Cam üretim prosesinin yüksek sıcaklık altındaki ergime/afinasyon mekanizmalarını yerinde (in-situ) ölçüm ve gözleme dayalı olarak incelenmesi için Ergitme Kinetiği Müdürlüğü bünyesinde "Yüksek Sıcaklık Gözlem Sistemi (YSGS)" laboratuvarı kurulmuştur. YSGS bir cam fırınındaki gerçek ergime/afinasyon şartlarını dinamik olarak simüle eden bir deney düzeneği olup; bu sistem ile hammaddelerin ergime kinetiği, köpük ve eriyik oluşumu ile afinasyon mekanizmaları dinamik olarak gözlemlenmekte, harman reaksiyonları sonucu açığa çıkan gazlar doğrudan ölçülmekte ve simülasyon sonuçları sayısal parametreler olarak ifade edilmektedir. Bu parametreler, hammadde özelliklerinin, cam kompozisyonu seçeneklerinin ve yüksek sıcaklıktaki kimyasal reaksiyonların ve farklı fırın atmosferlerinin ergitme-afinasyon mekanizmalarına olan etkileri çerçevesinde belirlenebilmektedir.

Günümüz dünyasında giderek artan rekabet ve ekonomik şartların bir yansıması olarak, konvansiyonel cam endüstrileri üretim maliyetlerini düşürmeye çalışırken, aynı zamanda kalitelerini de daha fazla artırmaya zorlanmaktadır. Hemen hemen tüm ticari cam ürünlerinin kalitesi büyük ölçüde cam eritme sistemlerinin performansına bağlıdır. Bir cam eritme sistemi, hammaddelerin yüksek sıcaklıktaki eritme kinetiğine dayalı katı halden sıvı hale geçişi ve “afinasyon” olarak adlandırılan, sıvı camın istenmeyen gazlardan ve “habbe” olarak tanımlanan gaz kapanımlarından arındırılmasıyla birlikte hem ısı, hem de kimyasal homojenitesinin gerçekleştiği aşamaları içermektedir.

Günümüz cam teknolojisi dünyanın araştırma ve teknolojik geliştirme (ArTeGe) faaliyetleri incelendiğinde, yüksek sıcaklık fırın teknolojileri ve ikincil işlem ağırlıklı yeni ürün tasarımı üzerinde yoğunlukla çalışılan konuların başında gelmektedir. Cam üretiminde, cam eritme ve afinasyon aşamalarının yer aldığı cam fırınlarının tasarım ve işletmesinde, cam kalitesini artırma, fırın ömrünü uzatma, çekilen cam miktarını artırma, enerji tüketimini azaltma ve çevresel etkiler açısından belirlenen atık limitlerinin içinde kalma hedefleri yıllar içinde artan rekabet koşulları ile birleşince üzerinde sürekli çalışılan konular olmuştur. Bu çalışmalar, geliştirme-iyileştirme yönünde sürdürülen çalışmalar ve yeni eritme-afinasyon teknikleri geliştirmek üzere yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Şişecam'ın ArTeGe faaliyetleri kapsamında eritme/afinasyon konularına yönelik çalışmalar ise, ağırlıklı olarak birinci grup içinde yer almakta, bu çalışmaların sonuçları da mevcut fırınlarımızda ve/veya yeni fırın projelerinde uygulanmaktadır. Ancak diğer taraftan, yeni eritme teknolojileri üzerine fikir üretme faaliyetleri ve/veya bu alanda yapılan çalışmaların takip edilerek değerlendirilmesi de sürdürülmektedir[4, 5].

Her türlü cam üretiminde maliyeti ve kaliteyi doğrudan etkileyen en önemli aşamaların başında eritme ve afinasyon mekanizmaları gelmektedir. Bu mekanizmaların nasıl oluştuğuna ve nasıl kontrol edildiğine yönelik bilgi ve işletme tecrübesi olmakla birlikte; bu mekanizmaların hala birçok bilinmeyen yönü de bulunmaktadır. Bu nedenle, eritme-afinasyon mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, performanslarının artırılması, ayrıca yeni afinasyon tekniklerinin geliştirilmesi için eritme ve afinasyon aşamalarının detaylı gözlemlenmesine ve değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Eritme-afinasyon mekanizmalarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları bugüne kadar, deney sürecince gözlem olanağı olmayan fırınlarda yapılan pota eritme ile yapılmakta olup, elde edilen numunelerin oda sıcaklığında yapılan ölçümleri ile değerlendirilmektedir. Bu tür statik yöntemler üretim şartlarını tam olarak yansıtmamaktadır. Yüksek sıcaklıktaki üretim şartlarında ise hammaddelerin eritme aşaması ve ergimiş cam

içindeki oluşumları gözlemlemek mümkün değildir. Bu kapsamda, gerçek fırın şartlarını dinamik olarak benzeştiren (ergime/afinasyon simülasyonu) “Yüksek Sıcaklık Gözlem Sistemi - YSGS” adı verilen bir deney sistemi oluşturulmuş ve bu sistem kullanılarak hammaddelerin ergime kinetiği, köpük ve eriyik oluşumu ile afinasyon mekanizmaları içinde yer alan habbe büyüme/küçülme hızları, habbelerin camdan atılması dinamik olarak gözlenecek, gaz reaksiyonları doğrudan ölçülecek ve sonuçlar sayısal parametreler olarak ifade edilecektir. Bu parametreler, hammadde özelliklerinin, cam kompozisyonu seçeneklerinin ve yüksek sıcaklıktaki kimyasal reaksiyonların eritme-afinasyon mekanizmalarına olan etkileri çerçevesinde belirlenebilecektir. Ayrıca, deneysel çalışmalardan elde edilecek verilerin matematiksel model çalışmalarına aktarılması ve böylelikle fırın tasarımına yönelik yeniliklerin oluşturulmasına katkı sağlanması da düşünülmektedir.

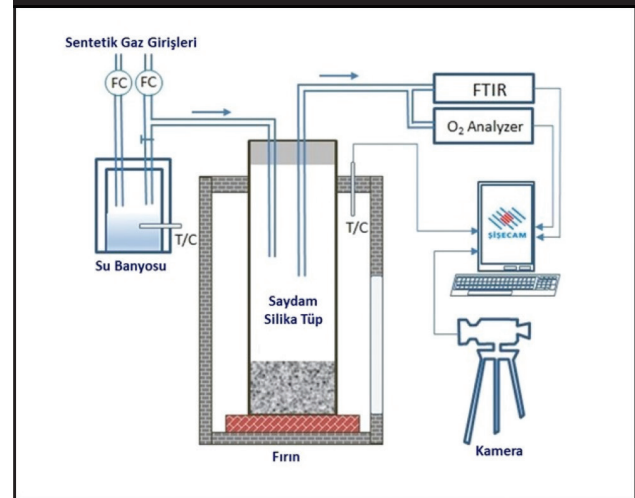
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. YÜKSEK SICAKLIK GÖZLEM SİSTEMİ

Yüksek sıcaklık altında gerçekleşen harman ergimesi (katıdan sıvıya dönüşüm), köpük oluşumları ve afinasyon süreçlerinin bütün aşamalarının saydam silika bir tüp içinde gerçekleştirildiği bir deney düzeneği olan yüksek sıcaklık gözlem sisteminin (YSGS) şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.

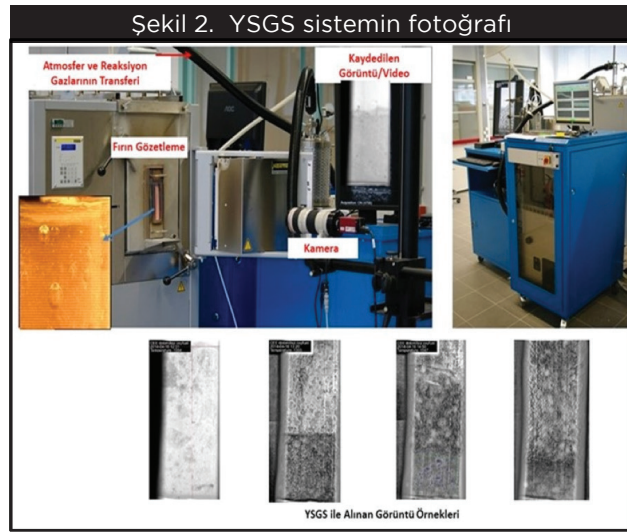
Kullanım alanları hakkında bilgi verilecektir.

Şekil 1. Yüksek Sıcaklık Gözlem Sistemi'nin şematik gösterimi





Sistem genel olarak safir gözetleme penceresi sayesinde fırın içerisine kurulan deneysel düzeneği izleme imkânı sunan bir Yüksek Sıcaklık Fırını, fırın ön kapağındaki safir camdan yapılmış gözetleme penceresini gören dijital CCD kamera (Nikon) ve ergime/afinasyon süreçlerinde oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gazların ölçümünde (% ya da ppm seviyesinde) kullanılan FTIR (Fourier Transform Infrared) spektrometresinden oluşmaktadır.



FTIR sistemi ile doğrudan silika tüp içine  $N_2$ ,  $O_2$ , Ar, He,  $H_2O$  gibi gazlar verilerek harman/eriyik üzerinde farklı gaz içerikli atmosferler oluşturulmakta, doğal gaz ve oxy-fuel fırın atmosferlerinin simülasyonu yapılabilmektedir (Tablo 2).

Gazlar (%)	Air-fuel atmosfer	Oxy-fuel atmosfer
$N_2$	66	30
$O_2$	14	6.4
$N_2$ (dilution)	-	28
$CH_4$ (dilution)	10	10
$H_2O$ (°C)	65	86

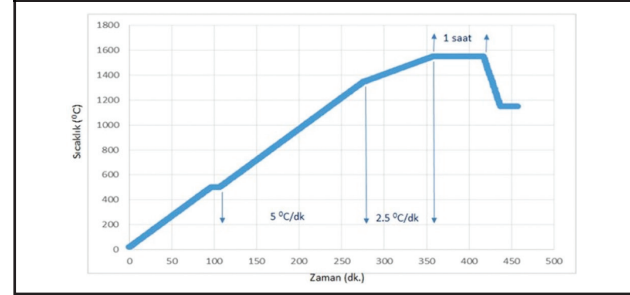
Deneye uygulanacak sıcaklık rejiminin katı harman partiküllerinin bozunarak eriyik haline dönüşmesi, silika köpüğünün (birincil köpük) oluşması, afinasyonun yüksek sıcaklıkta oluşan birinci aşaması ve ikincil köpük (habbelerin cam yüzeyine ulaşmaları) ile cam sıcaklığı tekrar azalırken afinasyonun ikinci aşaması adımlarının tamamını kapsaması gerekmektedir.

Aşağıda, her deney için uygulanacak sıcaklık rejiminin adımları ve bu sıcaklık adımlarının oluşturduğu profil Şekil 3'te verilmektedir:

- 10 dk'da 0 °C'den 500 °C ısıtılır,
- 500 °C'de 10dk beklenir,
- 5 °C/dk hızla 1350 °C'ye ısıtılır,
- 1350 °C'de 30 dk beklenir,

- 2.5 °C/dk hızla 1550 °C'ye ısıtılır,
- 1550 °C'de 30 dk beklenir,
- 2 °C/dk hızla 1200 °C'ye soğutulur,
- 1200 °C'de 30 dk beklenir.

Şekil 3. Deneyslere uygulanan sıcaklık profili



Deney süresince uygulanan sıcaklık profili, her deneyin ~450-475 dk (7-8 saat) sürdüğünü göstermektedir. Her bir deney için 2 sn'de bir görüntü alınmakta ve alınan görüntüler için aynı hız ve sıcaklık aralığında videolar oluşturulmaktadır. Söz konusu videolar karşılaştırılmalı olarak incelenmekte ve burada tespit edilen farklılıklar daha detaylı olarak her bir görüntü üzerinden yeniden değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Deneysel çalışmaların kompozisyon bilgileri

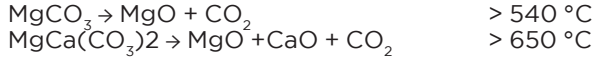
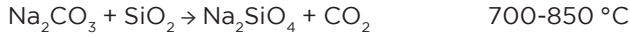
Deney no	% CaO	% MgO	MgO/CaO Oranı	Atmosfer
Deney 1.1	8.5	3.5	0.41	Airfuel
Deney 2.1	10.2	1.2	0.12	Airfuel
Deney 3.1	11	-	0	Airfuel
Deney 1.2	8.5	3.5	0.41	Oxyfuel
Deney 2.2	10.2	1.2	0.12	Oxyfuel
Deney 3.2	11	-	0	Oxyfuel

Bu incelemeler sonucunda ergime ve afinasyon süreçlerine ilişkin elde edilen bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

## 2.2. CAM EV EŞYASI ÜRÜNLERDE FARKLI CaO/MgO ORANININ ERGİME VE AFİNASYONA ETKİSİ

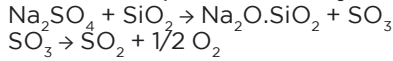
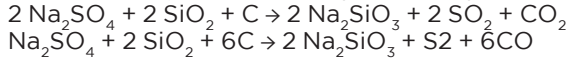
Bu düzene ile yapılan ilk çalışma kapsamında, üç farklı züccaciye terkinin ergime ve afinasyon davranışları incelenmiştir. Bu terkiplerin ana bileşenleri aynı olup ( $SiO_2$ : %72-73;  $Al_2O_3$ : %1.6;  $Na_2O$ : %1.4) sadece CaO:MgO oranları Tablo 3'te görüldüğü gibi farklılık göstermektedir. Bu terkipler hem air-fuel hem de oxy-fuel atmosfer şartlarında incelenmiştir.

Proje kapsamında incelenen terkiplerde kullanılan hammaddelerin ergime kinetikleri incelendiğinde, sıcaklığa bağlı temel reaksiyonlar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

**- Dolomit:****- Kalker:****- Soda:**

Yukarıda verilen reaksiyonların başlama sıcaklığına göre, ilk olarak  $\text{MgCO}_3$  dekompozisyonunun başladığı görülmektedir. Dolayısıyla,  $\text{MgCO}_3$  kaynağı olarak kullanılan dolomit içeren harmanın ergimeye daha erken başlayacağı öngörülmektedir. Bu durum deneysel çalışmalardan elde edilen video görüntülerinde de tespit edilmiştir.

Ergime sırasında oluşan habbelerin hacimce büyütülerek cam yüzeyine daha hızlı yükselip yok olmaları için gerekli gazların açığa çıktığı afinasyon reaksiyonları ise oksidan ve indirgen koşullarda farklılık göstermektedir.

**- Oksidan koşullarda afinasyon reaksiyonları:****- İndirgen koşullarda afinasyon reaksiyonları:**

Redoks şartlarına bağlı olarak farklılık gösteren afinasyon reaksiyonlarının oluştuğu sıcaklıklar da farklıdır. Oksidan şartlarda oluşan afinasyon mekanizmasının reaksiyonları indirgen şartlara göre daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Bu anlamda, endüstriyel uygulamalarda oksidan afinasyon şartları sıcaklık ve dolayısıyla zaman bakımından daha sınırlayıcıdır. Bu çalışma kapsamında deneysel çalışmaların yapıldığı harmanlarda indirgen malzeme kullanılmamıştır. Diğer taraftan, farklı atmosfer şartları da afinasyon reaksiyonlarını ve dolayısıyla da bütün afinasyon mekanizmalarını etkilemektedir. Bununla ilgili değerlendirmeler ileriki bölümlerde verilmektedir.

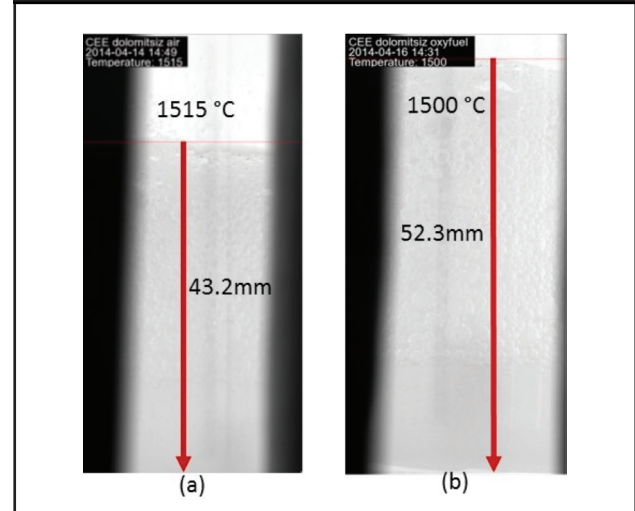
**2.2.1. KÖPÜK OLUŞUMU**

Bilindiği gibi cam üretim prosesinde iki köpük oluşumu vardır. İlk köpük oluşumu ergime sırasında, ikinci köpük oluşumu ise afinasyon sırasında gerçekleşmektedir. Bu kapsamda, deneysel çalışmalarda alınan görüntüler incelenmiş ve dolomit içermeyen kompozisyon için air-fuel ve oxy-fuel şartlarda ikincil köpürme sırasındaki maksimum köpük yüksekliği ve bu yükseklikteki sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Şekil 4a ve 4b'de, aynı kompozisyonda farklı atmosferde eritilen iki harmanın ikincil köpürme sırasında gözlenen en yüksek köpük seviyeleri verilmektedir. Dolomit içeren kompozisyonların

ikincil köpürme sırasındaki köpük seviyeleri görüntü alanının dışına çıktığından bu kompozisyonların karşılaştırmaları yapılamamış, ancak dolomit içermeyen 3.1 ve 3.2 nolu deneyler için köpük seviyeleri karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, aynı kompozisyondaki iki harmanın afinasyon sırasında air-fuel atmosferde daha az miktarda habbelerin yüzeye ulaşip patlayarak ergimiş camdan uzaklaştığını göstermektedir.

Şekil 4. (a)Deney 3.1 (CaO:11,-air-fuel); (b)-Deney 3.2 (CaO:11, oxy-fuel)

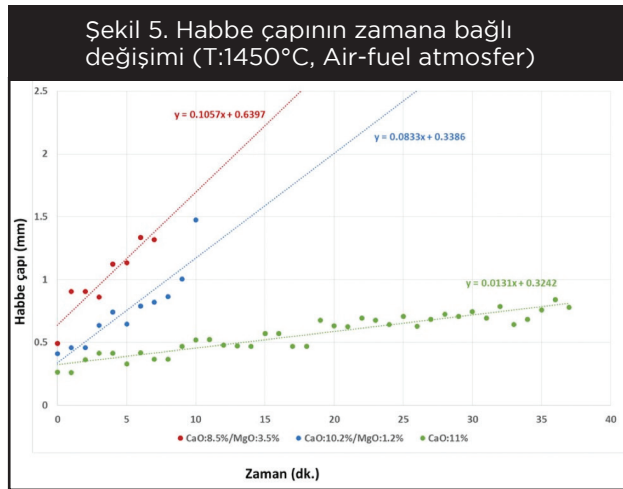
**2.2.2.HABBE BÜYÜME HIZI**

Afinasyon mekanizmasının birinci aşamasında habbeler cam yüzeyine ulaşip fırın atmosferi ile karşılaştıklarında patlayarak yok olmaktadır. Habbelerin cam yüzeyine ulaşma hızları Stoke eşitliği (1) ile ifade edilmekte olup; bu değer habbe çapının karesi ile doğru orantılı iken, camın viskozitesi ile ters orantılıdır.

$$V_{Stokes} = \frac{2 \cdot \rho_{cam} \cdot g \cdot R^2}{9 \cdot \mu} \quad (1)$$

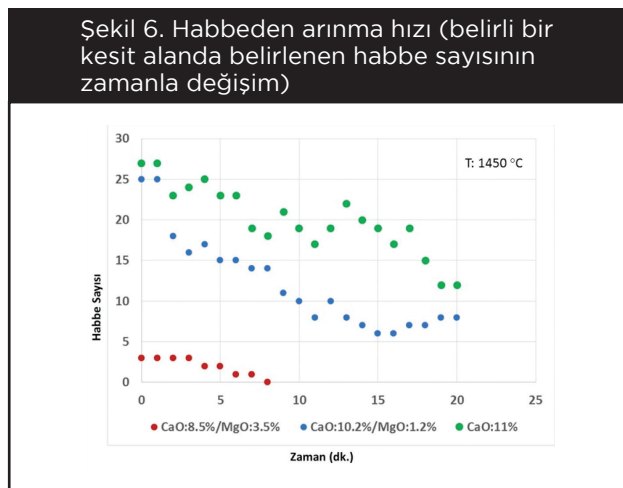
YSGS ile yapılan deneylerden alınan görüntülerin sayısal analizleri ile habbelerin büyüme hızları da tespit edilmiştir. Habbe büyüme hızı sonuçları air-fuel atmosfer ortamındaki kompozisyonlar için yapılmış olup; bu hız değerleri 1450 °C'ye ulaşan camın içerisinde kalan bir habbenin tespit edilerek 1 dk aralıklarla çapındaki büyüme miktarı esas alınarak tespit edilmiştir. Bu çalışma oxy-fuel şartlarda yapılan aynı harman için yapılamamıştır. Bunun nedeni ise oxy-fuel atmosfer şartlarında sıcaklık 1450 °C'ye ulaştığında eriyikte herhangi bir habbe tespit edilememesidir. Bu durum, oxy-fuel ortamda aynı harmanın habbeden daha hızlı arınacağı bilgisini teyit etmektedir.

Şekil 5'de belirli bir habbenin çapının zaman içerisindeki büyümesine ait grafik görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, %8.5 CaO-%3.5 MgO içeren camın içerisindeki habbelerin daha hızlı büyüyerek yüzeye ulaşacağı, bu doğrultuda habbeden daha kolay arınacağı görülmektedir.



### 2.2.3. HABBEDEN ARINMA HIZI

Habbeden arınma sonuçlarını belirlemek üzere habbe büyümesinde kullanılan aynı görüntüler kullanılmış olup, 1450 °C sıcaklığa ulaşan camın içerisinde sabit bir kesit alan belirlenerek 1 dk aralıklarda bu alandaki habbe sayıları tespit edilmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi, oxy-fuel şartlarda bu sıcaklıktaki eriyik camda habbe tespit edilemediğinden dolayı, habbe büyüme hızı sonuçlarında olduğu gibi, habbeden arınma hızları da tespit edilememiştir. Şekil 6, aynı sıcaklıkta farklı CaO/MgO oranlarında habbe sayılarının zamana bağlı olarak nasıl azaldığını göstermektedir.



Grafikteki sonuçlardan, %8.5 CaO-%3.5 MgO içeren camın 1450 °C'ye ulaştığındaki habbe sayısı başlangıçta daha düşük seviyede olduğu, dolayısıyla da habbeden tamamen arınması için geçen sürenin de daha kısa olduğu anlaşılmaktadır. Habbeden arınma hızı bakımından en iyi ikinci sonuç ise %10.2 CaO-%1.2 MgO içeren kompozisyonda görülmektedir.

### 2.2.4. ERGİME VE AFİNASYON REAKSİYONLARINDA OLUŞAN GAZLARIN ANALİZİ (EGA SONUÇLARI)

YSGS ile yapılan deneylerde ergime ve afinyasyon sırasında açığa çıkan reaksiyon gazları FTIR ile tespit edilmektedir. "Evolved Gas Analysis" olarak da tanımlanan bu çalışmada hammaddelerin ergimesi sırasında açığa çıkan en temel gaz olan CO<sub>2</sub> gazının ilk tespit edildiği sıcaklık ve reaksiyonun bitiş sıcaklığı, kompozisyonlar arasında hangisinin daha önce ergimeye başlayıp bittiğini göstermesi bakımından önemlidir. Benzer şekilde, afinyasyon mekanizmasının birinci aşamasında açığa çıkan SO<sub>2</sub> gazına ait sıcaklık değerleri de camların afinyasyon performanslarının değerlendirilmesinde belirleyici olmaktadır. Aşağıdaki yapılan deneylerin FTIR sonuçlarından, cam kompozisyonlarının ergime ve afinyasyon performansları değerlendirilmektedir.

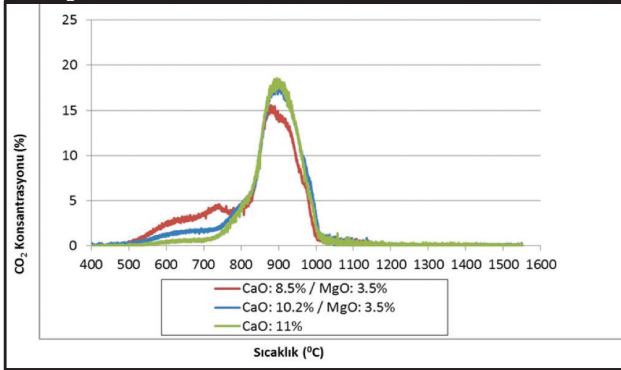
### ERGİME PERFORMANSI DEĞERLENDİRMELERİ

Soda kalker ve dolomitin dekompozisyonu ve bunların kum ile reaksiyonu sonucunda oluşan ana gaz bileşeni CO<sub>2</sub>'dir. Aşağıdaki reaksiyondan görüleceği üzere, silikaca zengin eriyik CO<sub>2</sub> gazı açığa çıkmaya başladığında oluşur.

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + x\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2 (\text{melt}) + \text{CO}_2 (\text{gas})$$
 Daha sonra kumun, sodyum silikat veya soda ile reaksiyona girdiği proses başlar ve sıvı sodyum silikat fazının oluşumu için CO<sub>2</sub> gazı açığa çıkar. CO<sub>2</sub> gazının çıkışı 1400°C seviyelerinde biterken, bu proses sıvı camın oluşumuna kadar devam eder. Bu yaklaşımla, söz konusu deneylerde harmanın ergime prosesi CO<sub>2</sub> gaz çıkışının başlangıç ve bitiş noktalarına göre değerlendirilebilir. CO<sub>2</sub> gaz çıkışının erken başlaması ve bitmesi, harman ergime reaksiyonlarının erken başlayıp bittiğini ve silika eriyik fazının erken oluştuğunu göstermektedir. Bu durumda, kum taneleri eriyik faz içerisinde daha erken çözünmeye başlayacağı böylelikle ergime performansının bir miktar daha iyi olacağı düşünülmektedir.

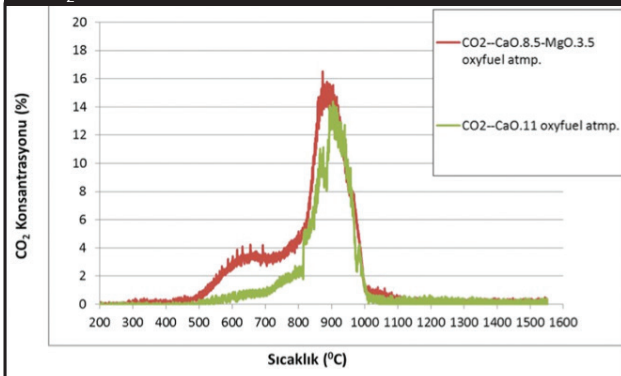
Air-fuel atmosfer ortamında üç farklı kompozisyonun harman ergime reaksiyonları sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarları Şekil 7'de verilmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, %8.5CaO - %3.5MgO içeren kompozisyonun CO<sub>2</sub> gaz çıkışının diğer kompozisyonlara göre daha erken başlayıp daha erken bittiği gözlenmektedir. Dolayısıyla, bu kompozisyonun ergime performansının daha iyi olacağı öngörülmektedir. Dolomit içermeyen %11 CaO içeren kompozisyonun ise CO<sub>2</sub> gaz çıkışının daha geç başlayıp geç bittiği gözlenmiş, dolayısıyla ergime performansının diğer kompozisyonlara kıyasla bir miktar daha kötü olacağı düşünülmüştür.

Şekil 7. Air-fuel atmosfer ortamında üç farklı harmanın dekompozisyonu sırasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarının sıcaklığa bağlı değişimi



Şekil 8'de ise oxy-fuel atmosfer ortamında 2 farklı kompozisyonun harman ergime reaksiyonları sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarları verilmektedir. Bu grafikteki sonuçlar karşılaştırıldığında, %8.5CaO - %3.5MgO içeren kompozisyonda CO<sub>2</sub> gaz çıkışının daha erken başlayıp, diğerlerine göre daha erken bittiği tespit edilmiştir. Bu durumda, air-fuel atmosferde yapılan deneylere paralel olarak bu kompozisyonun oxy-fuel atmosfer ortamında da ergimesinin daha iyi olacağı belirlenmiştir.

Şekil 8. Oxy-fuel atmosfer ortamında 2 farklı harmanın dekompozisyonu sırasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarının sıcaklığa bağlı değişimi

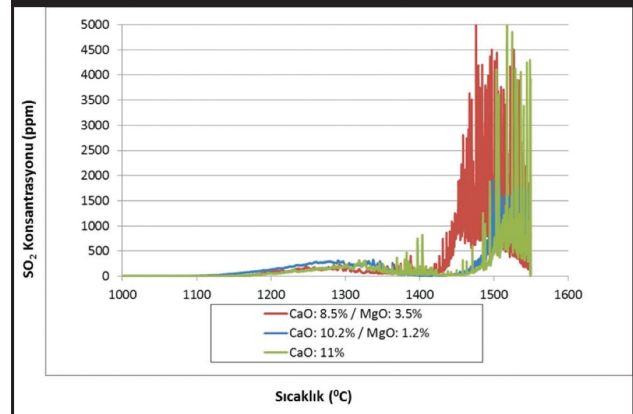


## AFİNASYON PERFORMANSI DEĞERLENDİRMELERİ

Bilindiği gibi, üç aşamada gerçekleşen sülfat reaksiyonlarına göre Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'ün ergimesi yaklaşık 885 °C'de, dekompozisyonu yaklaşık 1200 °C'de gerçekleşmekte ve ilk SO<sub>2</sub> çıkışı bu sıcaklıkta başlamaktadır. Daha sonra, hızlı dekompozisyon ikinci SO<sub>2</sub> peakinde görüleceği üzere yaklaşık 1450 °C'de gerçekleşmekte ve bu esnada habbeler yüzeye ulaşarak eriyikten atılmaktadırlar. Bu durumda, ikincil SO<sub>2</sub> çıkışının düşük sıcaklıkta başlaması, o sıcaklıkta camın daha yüksek viskoziteye sahip olmasına rağmen habbelerin daha erken sıcaklıkta bir araya gelerek büyümesi ve eriyik yüzeyinden atılması anlamına gelmekte ve bu sıcaklık afinyona başlama sıcaklığı (fining onset temperature: FOT) olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda, afinyon mekanizması için ikincil SO<sub>2</sub> gaz çıkışının başlangıç sıcaklığı değerlendirme kistası olarak belirlenmiştir.

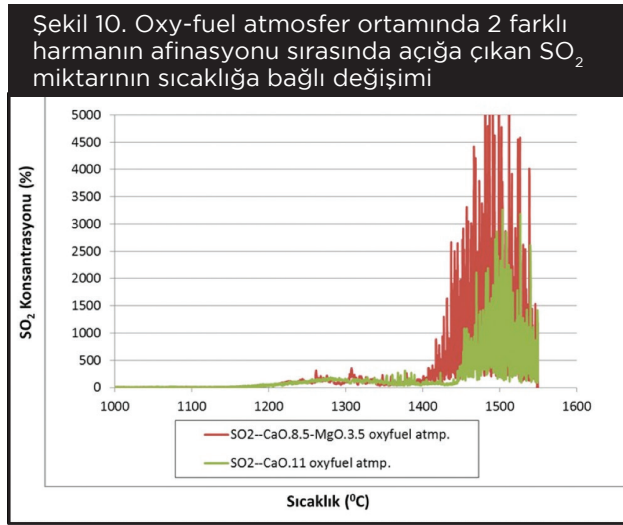
Şekil 9'da verilen air-fuel atmosfer ortamında 3 farklı kompozisyonun afinyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan SO<sub>2</sub> miktarları karşılaştırıldığında, %8.5 CaO - %3.5 MgO içeren kompozisyonun ikincil SO<sub>2</sub> gaz çıkışının çok daha erken başladığı gözlenmiştir. Dolayısıyla, bu kompozisyonun afinyon performansının daha iyi olacağı düşünülmektedir. Dolomit içermeyen %11 CaO içeren kompozisyonun ise SO<sub>2</sub> gaz çıkışının en geç başladığı, dolayısıyla afinyonunun diğer kompozisyonlara kıyasla bir miktar daha kötü olacağı düşünülmüştür. Afinyon için yapılan değerlendirmelerin yukarıda verilen ergime performansı değerlendirmeleri ile aynı doğrultuda olduğu görülmektedir.

Şekil 9. Air-fuel atmosfer ortamında 3 farklı harmanın afinyonu sırasında açığa çıkan SO<sub>2</sub> miktarının sıcaklığa bağlı değişimi





Şekil 10 de ise oxy-fuel atmosfer ortamında iki farklı kompozisyonun afinasyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan SO<sub>2</sub> miktarları verilmektedir. Şekildeki grafik incelendiğinde, %8.5 CaO - %3.5 MgO içeren kompozisyonun SO<sub>2</sub> gaz çıkışının daha erken başladığı görülmektedir. Bu durum, air-fuel atmosferde yapılan deneylerin sonuçları ile benzer olup; oxy-fuel atmosfer ortamında da bu kompozisyonun afinasyon performansının daha iyi olacağını göstermektedir.



Farklı CaO/MgO oranlarına sahip kompozisyonların ergime ve afinasyon aşamalarında açığa çıkan gazların sıcaklığa bağlı değişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deneylerin sayısal sonuçların özeti Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 4. CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlarının FTIR ölçümleri ile belirlenen değerleri

	Sıcaklık (°C) CaO/MgO: %8.5-%3.5		Sıcaklık (°C) CaO/MgO: %10.2-%1.2		Sıcaklık (°C) CaO: %11	
	Deney 1.1 airfuel	Deney 1.2 oxyfuel	Deney 2.1 airfuel	Deney 2.2 oxyfuel	Deney 3.1 airfuel	Deney 3.2 oxyfuel
CO <sub>2</sub> (başlangıç)	500	500	520	-	550	570
CO <sub>2</sub> (peak)	910	879	892	-	894	896
CO <sub>2</sub> (bitiş)	1000	1000	1015	-	1010	1010
SO <sub>2</sub> (1. başlangıç)	1160	1150	1100	-	1150	1180
1. peak SO <sub>2</sub>	1290	1308	1275	-	1320	1282
2. başlangıç SO <sub>2</sub> (FOT)	1425	1405	1450	-	1465	1445
2. peak SO <sub>2</sub> (maximum afinasyon)	1460	1460	1510	-	1515	1480

## 2.3. CAM ELYAF HARMANINDA 3 FARKLI KAOLENİN KÖPÜK OLUŞUMUNA ETKİSİ

Çalışma kapsamında, mevcut cam elyaf terkipleri aynı kalmak şartıyla üç farklı SO<sub>3</sub> içeren kaolin bileşenli harman ile deneyler yapılmıştır. Tablo 5, çalışması yapılan üç farklı SO<sub>3</sub> içeren kaolin kullanılan cam elyaf terkiplerinin harman tablosunu göstermektedir.

Tablo 5. Üç farklı SO<sub>3</sub> içeren kaolin kullanılarak elde edilen cam elyaf terkipleri

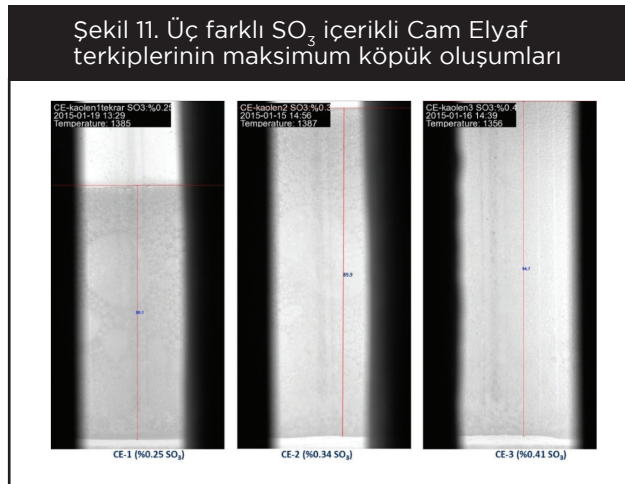
Oksitler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	SrO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub>	Kaolin SO <sub>3</sub>
CE-1	53,130	14,200	0,315	0,328	23,349	1,303	0,900	0,042	0,032	0,010	0,012	0,030	0,110	6,102	0,134	0,25
CE-2	53,170	14,200	0,308	0,300	23,348	1,303	0,900	0,042	0,039	0,010	0,012	0,020	0,110	6,102	0,134	0,34
CE-3	53,160	14,200	0,323	0,272	23,349	1,303	0,900	0,062	0,046	0,010	0,012	0,010	0,110	6,102	0,134	0,41



### 2.3.1. KÖPÜK OLUŞUMU

Hammaddelerin ergimesi sırasında oluşan birincil köpüğün fırın atmosferi ile cam arasındaki ısı transferine olan etkisi önemlidir. Birincil köpük oluştuğu sıcaklığa ve kalınlığına bağlı olarak belirli bir süre ortamda kalmakta ve daha sonra kaybolmaya başlamaktadır. Dolayısıyla, farklı cam terkiplerinin köpük özellikleri karşılaştırılırken kalınlık, sıcaklık ve ortamda kalış süresi değerlerine göre değerlendirme gerekmektedir. Şekil 11'de, farklı SO<sub>3</sub> içerikli terkiplerin oluşturduğu birincil köpük oluşumlarının deneysel görüntüsü ve bu görüntülerin sayısal verileri de Tablo 6'da verilmektedir. Beklendiği gibi SO<sub>3</sub> miktarı en fazla olan CE-3 terkiplerinin köpük kalınlığı diğerlerine göre daha yüksek olmuştur. CE-3 köpük kalınlığı ölçülebilen değerden (94.7mm) sonra görüntü dışına çıkmıştır. Maksimum köpük kalınlıklarına ulaşıldığı sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, CE-2 köpüğü CE-1 köpüğüne göre daha kalın olmasına rağmen, birbirlerine yakın sıcaklık değerleri elde edilmiştir (CE-1: 1385 °C, CE-2: 1387 °C). Buna karşın, en yüksek köpük kalınlığına sahip CE-3 terkipleri ise diğerlerine göre daha düşük sıcaklıkta (1356 °C) ölçülebilen maksimum köpük kalınlığına ulaşmıştır. Diğer taraftan, köpüğün ortamda kalış süreleri karşılaştırıldığında, köpük kalınlığı ile kalış süreleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Dolayısıyla, CE-3 terkipleri hem daha düşük sıcaklıktan itibaren yüksek köpük kalınlığına maruz kalmakta, hem de bu kalın köpük tabakası daha uzun süre ortamdan yok olmamaktadır. Ayrıca, en düşük köpük kalınlığına (CE-1: 80.1mm) diğer terkiplerle ulaşılması için gerekli sıcaklıklara bakıldığında, örneğin CE-3 terkiplerinin 1350 °C sıcaklığa ulaştığında CE-1 kadar köpük tabakasına sahip olacağı ve fırının bu sıcaklıktan itibaren yüksek köpük kalınlığına maruz kalacağı düşünülebilir.

48

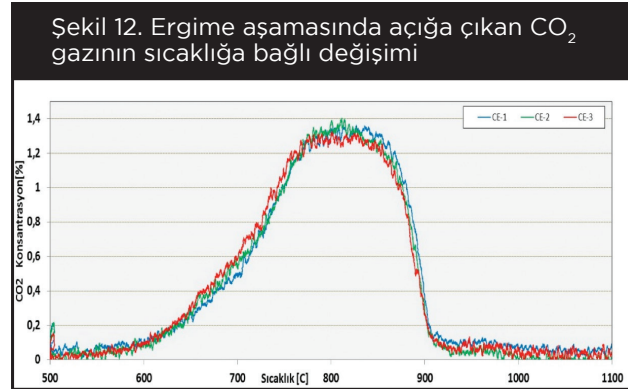


Tablo 6. Köpük deneylerinden elde edilen sayısal sonuçlar

Deneysel	CE-1	CE-2	CE-3
SO <sub>3</sub> (%)	0.25	0.34	0.41
Maksimum köpük kalınlığı (mm)	80.1	89.9	>94.7
Maksimum köpük sıcaklığı (°C)	1385	1387	1356
Maksimum köpüğün bitiş süresi (dk)	14	23	>30
En düşük köpük kalınlığı için gerekli maksimum sıcaklık (°C)	-	1365	1350

### 2.3.2. ERGİME VE AFİNASYON REAKSİYONLARINDA OLUŞAN GAZLARIN ANALİZİ (EGA SONUÇLARI)

Ergime kinetiğinin ana gaz bileşeni olan CO<sub>2</sub>'nin açığa çıktığı sıcaklık aralığı ve miktarı her üç terkip için elde edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12'de verilen grafikte özellikle CO<sub>2</sub> gazının açığa çıkma ve bitme sıcaklıkları her üç terkip içinde benzer gözükmemektedir. Ancak, daha küçük skalada ham veriler incelendiğinde CO<sub>2</sub> gazının açığa çıkma ve bitiş sırası CE-1, CE-2 ve CE-3 olarak tespit edilmiştir. Buna karşın, ilk önce açığa çıkan ve en önce biten CE-1 terkiplerindeki CO<sub>2</sub> gazının maksimum değeri en yüksek, CE-3'e ait CO<sub>2</sub> miktarı ise en düşüktür. Bu durum, CE-3 terkiplerinin diğerlerine göre içeriğindeki gazları kolay atamadığını (degassing) ve daha uzun süre bünyesinde barındırdığı için de daha kalın köpüğe sahip olduğunu düşündürmektedir.

Hammaddelerin ergimesi sırasında, kaolendeki  $SO_3$ 'ün ilk köpük oluşumuna katkısının yanı sıra daha yüksek sıcaklıklarda, dönüştüğü  $SO_2$  gazı da ikincil köpük oluşumuna neden olmaktadır. Aslında,  $SO_2$  gazının afinyasyon mekanizması içinde habbeleri büyüterek cam yüzeyine daha hızlı çıkıp yok olmalarını sağlaması bakımından önemi büyüktür. İkincil köpük olarak tanımlanan oluşum da cam yüzeyine çıkıp patlayan habbeleri göstermektedir. Nitekim, deneylerde ölçülen  $SO_2$  miktarının verildiği Şekil 13 incelendiğinde,  $SO_3$  miktarı en fazla olan CE-3 terkinde  $SO_2$  gazı diğerlerine göre çok daha önce açığa çıkmakta, böylelikle daha düşük sıcaklıkta habbelerin içine girmeye başlayarak (o sıcaklıkta viskozite biraz daha yüksek olmasına rağmen) afinyasyon süresini uzatmaktadır. Diğer iki terkip,  $SO_3$  miktarına bağlı olarak daha yüksek sıcaklıkta (düşük viskozitenin de etkisiyle) habbelerin cam yüzeyine çıkmalarını sağlayabilmektedir.



## 2.4. FARKLI SU BUHARI MİKTARLARININ CAM ELYAF HARMANINDA KÖPÜK OLUŞUMUNA ETKİSİ

Farklı fırın atmosferlerinin Cam Elyaf harmanının ergime/afinyasyon performansına ve ergime sürecindeki köpük oluşumuna olan etkileri incelenmiştir.

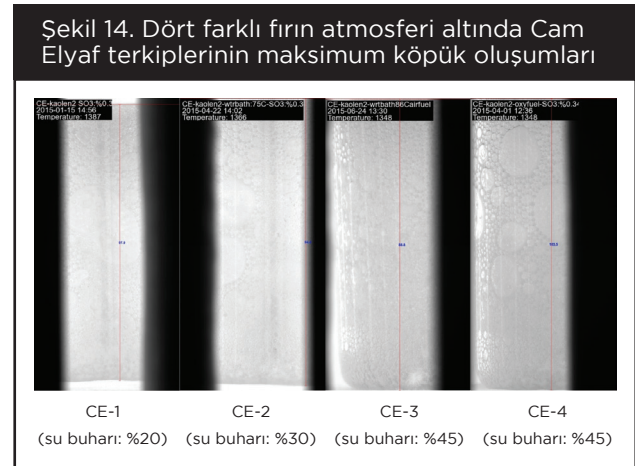
Tablo 7. Çalışmada uygulanan dört farklı fırın atmosferi

Deneyler	Yanma Atmosferi	Su Sıcaklığı (°C) (Deneysel)	Su Buharı Miktarı (%) (Gerçek Fırın Atmosferi)
CE-1	Air-Fuel	65	20
CE-2	Air-Fuel	75	30
CE-3	Air-Fuel	86	45
CE-4	Oxy-Fuel	86	45

## 2.4.1. KÖPÜK OLUŞUMU

Tablo 7'de verilen su sıcaklığı değerleri YSGS içinde bulunan su tankının sıcaklığı olup; gerçek fırın atmosferindeki su buharı miktarlarını (%) oluşturmak için uygulanan değerlerdir. Tablo 7'den görüldüğü gibi, öncelikle fırın atmosferinden bağımsız olarak sadece su buharı miktarının (%20, 30, 45) ergime/afinyasyon ve köpük üzerindeki etkisini incelemek için CE-1, CE-2 ve CE-3 deneyleri air-fuel atmosferi şartlarında yapılmıştır. CE-3 ve CE-4 deneylerinde ise, maksimum su buharı miktarı sabit tutularak air-fuel ve oxy-fuel şartlarında oluşan diğer gazların ergime/afinyasyon ve köpük üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

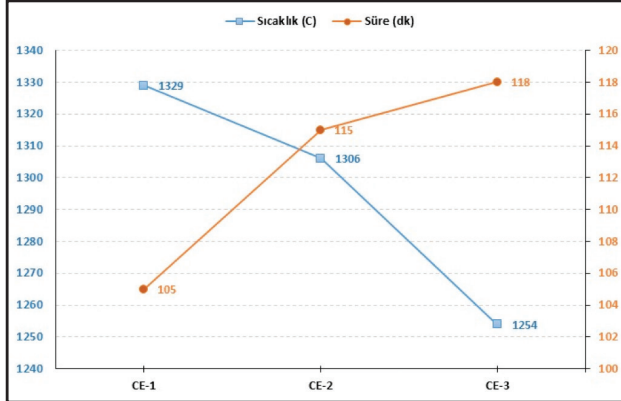
Birincil köpük oluştuğu sıcaklığa ve kalınlığına bağlı olarak belirli bir süre ortamda kalmakta ve daha sonra kaybolmaya başlamaktadır. Dolayısıyla, cam terkihi ve harman aynı kalmak şartıyla CE-1, CE-2, CE-3 ve CE-4 gibi farklı fırın atmosferlerinde oluşan köpüklerin özellikleri karşılaştırılırken kalınlık, sıcaklık ve ortamda kalış süresi değerlerine göre değerlendirme gerekmektedir. Şekil 14'te, dört farklı fırın atmosferinde oluşan birincil köpük oluşumlarının deneysel görüntüsü verilmektedir.



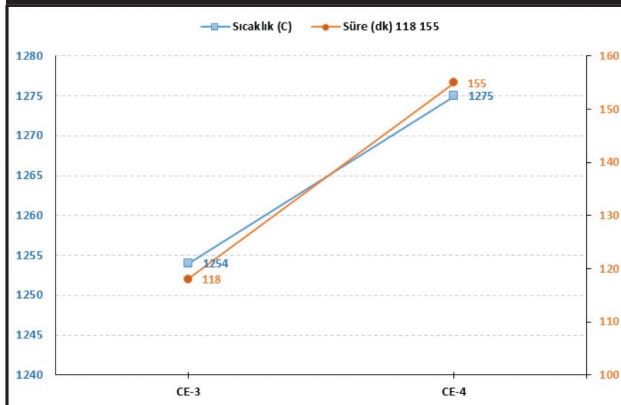
Öncelikli olarak, CE-1 deneyi dışındaki diğer 3 deneyde de (su buharı içerikleri daha yüksek olan) köpük kalınlığı görüntü alanının dışına çıkmıştır. Sayısal bir değerlendirme yapmadan bile, fazla su buharının köpük oluşumunu hızlandırdığı görülmektedir. Sayısal görüntü incelemesi yapılarak da, köpük oluşum sıcaklığı ve köpüğün maksimum yüksekliğe çıktıktan sonra denge durumuna (minimum) ulaşma süresi elde edilmektedir. Fırın atmosferindeki gazların sabit tutulup (air-fuel), sadece su buharı miktarına bağlı olarak köpük oluşum sıcaklığı ve köpüğün denge durumuna geliş süresi Şekil 15'te verilmektedir. Katı harmandan sıvı cama dönüşüm sonrasında, atmosferdeki su buharı miktarı arttıkça, köpüğün oluşma sıcaklığı da düşmektedir. Su buharı miktarı yaklaşık 2.5 kat arttığında, cam yüzeyinde köpüğün başlama sıcaklığı 75 °C daha düşük sıcaklıkta

gerçekleşmektedir. Su buharı miktarı arttıkça, difüzyon yolu ile camdaki su buharı konsantrasyonu da artmaktadır. Böylelikle su buharının kısmi basıncı, köpük oluşturma sıcaklığına daha erken ulaşmaktadır. Daha düşük sıcaklıkta köpük tabakasının oluştuğu durumda ise cam yüzeyindeki maksimum köpük kalınlığı daha uzun süre kalmaktadır. Nitekim laboratuvar şartlarında %20 su buharı için 105dk'nın sonunda köpük denge kalınlığına ulaşırken, %45 su buharında bu süre 118dk'ya çıkmaktadır. Su buharının sabit olduğu (%45), buna karşın air-fuel ve oxy-fuel yanma şartlarında atmosferde oluşan diğer artık gazların köpük oluşumuna olan etkisi ise Şekil 16'da verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi su buharı sabit tutulduğunda, oxy-fuel atmosferindeki köpük oluşumu bir miktar daha yüksek sıcaklıkta (20 °C kadar) başlamasına rağmen, daha uzun süre sonunda minimum denge kalınlığına ulaşmaktadır. Her iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde, su buharı miktarının artması köpük oluşumunu daha düşük cam sıcaklığında başlatıp daha kalın bir köpük tabakası oluştururken; oxy-fuel atmosfer gazları ise köpüğün daha uzun sürenin sonunda minimum denge kalınlığına ulaştırdığını göstermektedir.

Şekil 15. Sabit atmosfer (air-fuel) altında su buharı miktarına bağlı köpük oluşumu



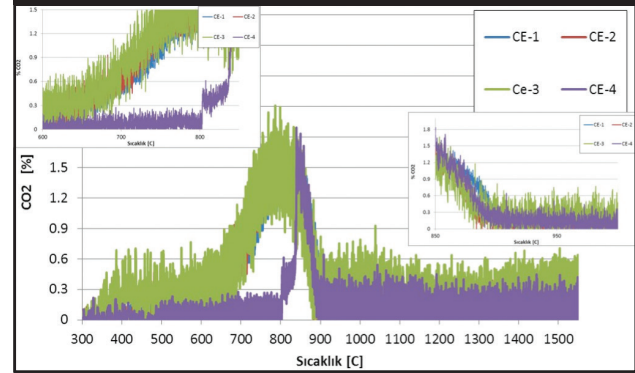
Şekil 16. Sabit su buharında (%45), air-fuel (CE-3) ve oxy-fuel (CE-4) un köpüğe olan etkisi



## 2.4.2. ERGİME VE AFİNASYON REAKSİYONLARINDA OLUŞAN GAZLARIN ANALİZİ (EGA SONUÇLARI)

Bu sistem ile yapılan deneysel çalışmalarda, aynı cam terkinin farklı su buharı içeren atmosferlerde ergime/afinasyon davranışları kimyasal reaksiyonlar sırasında açığa çıkan gazların analizleri de değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, ergime aşamasındaki reaksiyonların temel gaz bileşeni olan CO<sub>2</sub>'in açığa çıktığı sıcaklık aralığı ve miktarı dört farklı fırın atmosferi için elde edilmiştir. Şekil 17'de verilen grafikte özellikle CO<sub>2</sub> gazının açığa çıkışı ve bitiş sıcaklıkları sisteme air-fuel gazları ve farklı su buharı oranları ile verilen her üç deney (CE-1, CE-2 ve CE-3) için de benzer gözükülmektedir. Ancak, daha küçük ölçekte ham veriler incelendiğinde CO<sub>2</sub> gazının tespit edilen açığa çıkışı ve bitiş sıcaklıkları Tablo 8' de verilmektedir.

Şekil 17. Ergime aşamasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazının sıcaklığa bağlı değişimi

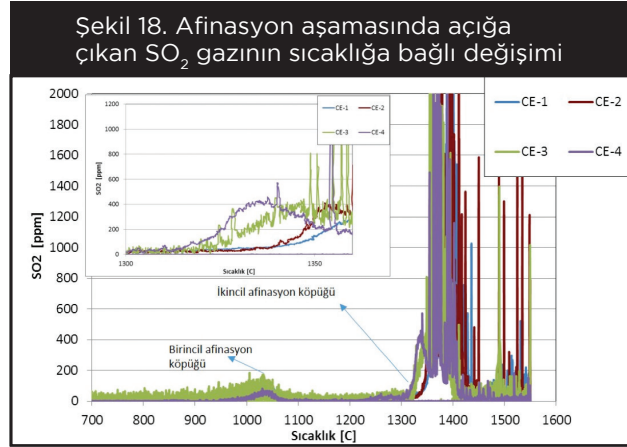


Tablo 8. Ergime aşamasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> için başlangıç, tepe noktası ve bitiş sıcaklıkları

Deneyler	CO <sub>2</sub> Başlangıç Sıcaklığı (°C)	CO <sub>2</sub> Tepe Sıcaklığı (°C)	CO <sub>2</sub> Bitiş Sıcaklığı (°C)
CE-1	650	810	900
CE-2	640	800	885
CE-3	635	795	880
CE-4	-	-	890

Tablo 8'deki veriler incelendiğinde, aynı atmosfer (air-fuel) altındaki deneylerde atmosferdeki su buharı arttıkça (CE-1, CE-2, CE-3) CO<sub>2</sub> gazı daha düşük sıcaklıkta açığa çıkmaktadır. Bu durumda yüksek su buharının ergimeyi daha düşük sıcaklıkta başlattığı ve dolayısıyla ergime başlangıcına olumlu bir katkı yarattığı düşünülmektedir. Ancak, yüksek su buharı miktarı fırındaki köpüğün kalınlığını artırmakta ve bu köpüğün kararsız seviyede daha uzun süre kalmasına sebep olduğu için cama ısı aktarımını güçleştirerek olumsuz bir etki de yaratmaktadır.

Şekil 18'de afinasyon aşamasında SO<sub>2</sub> değişimini, Tablo 9'da bu değişimi belirleyen başlangıç ve tepe sıcaklıklarını göstermektedir.



Tablo 9. Afinasyon aşamasında açığa çıkan SO<sub>2</sub> için başlangıç ve tepe noktası sıcaklıkları

Deneyler	SO <sub>2</sub> Başlangıç Sıcaklığı (°C)	SO <sub>2</sub> Tepe Sıcaklığı (°C)
CE-1	1340	1395
CE-2	1330	1380
CE-3	1320	1370
CE-4	1315	1335

Tablo 9'daki sıcaklık verileri incelendiğinde, ergime davranışına benzer olarak, aynı atmosfer (air-fuel) şartında su buharı miktarı arttıkça (sırasıyla, CE-1, CE-2 ve CE-3) afinasyonun başlangıç sıcaklığı düşmektedir. Bütün deneylerde aynı cam terkihi ve dolayısıyla aynı afinan madde etkisi olduğu düşünüldüğünde, atmosferdeki su buharı miktarı arttıkça afinasyon reaksiyonları da daha düşük sıcaklıkta başlamaktadır. SO<sub>2</sub> gazının yanında, cama difüzyon yolu ile giren yüksek miktardaki su buharı habbe hacimlerini artırarak habbelerin cam yüzeyinden atılmalarını kolaylaştırır. Benzer şekilde, su buharı miktarı sabit tutulduğunda, air-fuel (CE-3) ve oxy-fuel (CE-4) atmosferleri karşılaştırıldığında da, hem yüksek su buharının etkisi, hem de oxy-fuel atmosferi şartlarında afinasyon mekanizması daha düşük sıcaklıkta başlamıştır.

## 2.5. FLOAT FIRINLARINDAKİ CAM HATALARINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN 6-SİGMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Cam üretim sürecinin yüksek sıcaklık aşamalarını içeren harmandan, kalay banyosu öncesine kadar cam hataları ile doğrudan ilişkisi olabilecek parametrelerin (cam kompozisyonu, fırın sıcaklıkları, yakıt, çekiş, vb.) etkilerinin belirlenmesi için "Altı Sigma" yönteminin uygulanmasına yönelik olarak bir proje planlanmış ve bu projenin cam kompozisyonuna bağlı parametrelerin hata yoğunluğuna (özellikle habbe) olan etkilerinin belirlenmesi çalışmaları için farklı kompozisyon aralığında cam kompozisyonları YSGS sisteminde değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında hazırlanan hedef kompozisyon değerleri Tablo 10'da verilmektedir.

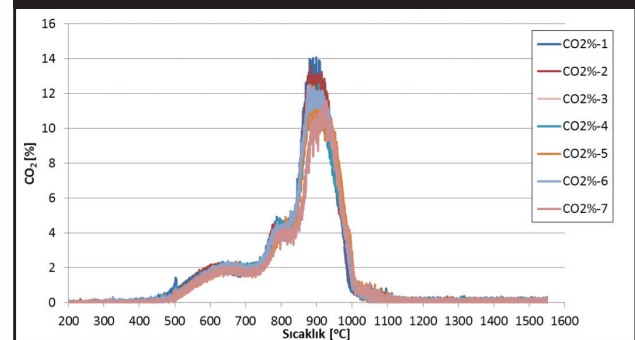
Tablo 10. Hedef cam kompozisyonu bilgileri

Deney adı	% Ağırlık				kg/100 kg cam	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Antrasit
No 1	0,70	8,00	4,00	13,00	0,70	0,020
No 2	0,70	9,00	4,00	13,00	1,00	0,034
No 3	0,70	9,00	4,00	14,00	0,70	0,034
No 4	1,10	8,00	4,00	13,00	1,00	0,034
No 5	1,10	8,00	4,00	14,00	0,70	0,034
No 6	1,10	9,00	4,00	13,00	0,70	0,020
No 7	1,10	9,00	4,00	14,00	1,00	0,020

### 2.5.1. ERGİME VE AFİNASYON REAKSİYONLARINDA OLUŞAN GAZLARIN ANALİZİ (EGA SONUÇLARI)

Ergime kinetiğinin ana gaz bileşeni olan CO<sub>2</sub>'nin açığa çıktığı sıcaklık aralığı ve miktarı her bir terkip için elde edilmiştir (Şekil 12).

Şekil 19. Ergime aşamasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazının sıcaklığa bağlı değişimi

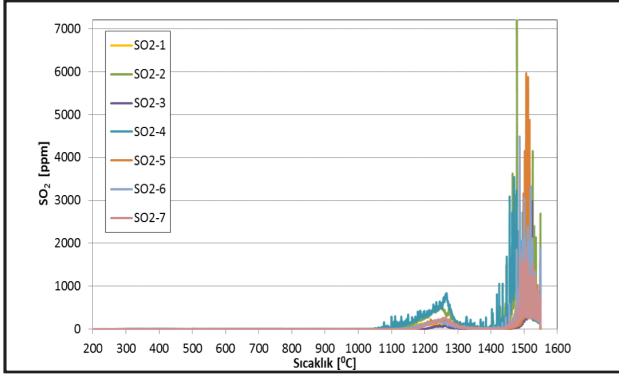




## KAYNAKLAR

Şekil 19'da verilen grafikte özellikle CO<sub>2</sub> gazının açığa çıkma ve bitme sıcaklıkları her bir terkip içinde benzer gözükmektedir. Afinasyon kinetiğinin ana gaz bileşeni olan SO<sub>2</sub> gazının açığa çıktığı sıcaklık aralığı ve miktarı da her kompozisyon için elde edilmiş grafiği Şekil 20'de verilmiştir. CO<sub>2</sub> sonuçları ile benzer şekilde SO<sub>2</sub> gazının da açığa çıkma sıcaklıkları her terkip için benzer gözükmektedir. Ancak, her iki sonuç için daha küçük skalada ham veriler incelenecek ve köpük sonuçları ile de kıyaslanarak çalışmanın farkları çıkarılacaktır.

Şekil 20. Afinasyon aşamasında açığa çıkan SO<sub>2</sub> gazının sıcaklığa bağlı değişimi



Bu çalışma henüz devam etmekte olup, yapılan 7 adet deneysel çalışmaya ilave olarak 9 adet daha farklı kompozisyon çalışması yapılacak ve sonuçları ayrıntılı olarak hem köpük oluşturma, hem CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gazı çıkış sıcaklıkları hem de habbeden arınma hız ve sayıları ile ilgili sayısal veriler elde edilecektir.

[1] Oran, M. ve Arslan B., 15 Ocak 2015, Ergitme ve Afinasyon Mekanizmalarının Yüksek Sıcaklık Gözlemine Dayalı İncelenmesi ve Geliştirilmesi, Rapor no.947

[2] Oran, M., Cam Elyaf Harmanında Kullanılan Kaolendeki SO<sub>3</sub> İçeriğinin Köpük Oluşumuna Olan Etkileri, 30 Ocak 2015, Rapor no. 949

[3] Oran, M. ve Arslan B., Demirok G., Atmosferdeki Su Buharının Cam Elyaf Hammaddeleri ile Hazırlanmış Harmanın Ergitme/Afinasyon Performansına Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, 17 Ağustos 2015, Rapor no.961

[4] "Afinasyonun Geleceği", Oran, M, Teknik Bülten, No:3, p45-46, 1992.

[5] "Afinasyon mekanizması ve Ergitme/Afinasyon Teknolojilerinde Yenilikler", Oran, M., No:1, 2007.



SEMİNER  
SALONU  
14:20 - 14:40

## ALTERNATİF ELEKTRODÖKÜM AZS REFRAKTERLERİN ÖZELLİKLERİNİN VE UYGUNLUKLARININ ARAŞTIRILMASI



**Ahmet Melih Üstün**  
**Burak İzmirlioğlu**  
**Erdem Yıldırım**  
**Oktay Kılınç**

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Malzeme Analiz ve  
Karakterizasyon  
Müdürlüğü

melustun@sisecam.com  
bizmirlioglu@sisecam.com  
erdyildirim@sisecam.com  
okilinc@sisecam.com

### **Derya Toykan**

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Fırın Teknolojileri  
Müdürlüğü

dtoykan@sisecam.com

### **Ali Ötken**

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Ergitme Kinetiği  
Müdürlüğü

aotken@sisecam.com

*Ahmet Melih Üstün lisans derecesini 2009 yılında İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans derecesini ise 2011 yılında Politecnico di Milano Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Mart 2013 tarihinden itibaren Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde çalışmaktadır. Analiz ve Destek Hizmetleri Direktörlüğü bünyesinde görev yapmakta olup, cam hatalarının ve kaynaklarının incelenmesi, alternatif refrakter malzemelerin mikroyapı incelemeleri ve cam şekillendirmede kullanılan bronz, dökme demir ve çelik kalıp malzemelerin incelenmesi konularında araştırmalar yapmaktadır.*

## ÖZET

Cam ergitme fırınlarında ergitme havuzunda cam temas ve üst yapıda yoğun olarak kullanılan elektrodöküm refrakterler yüksek sıcaklıklardaki kararlılıkları, korozyon ve aşınma dirençleri açısından diğer yöntemlerle üretilen refrakterlerden çok daha fazla dayanıma sahiptir. Cam ergitme fırınlarında yoğun olarak kullanılan ve fırın yatırım maliyetleri içerisinde en yüksek paya sahip olan elektrodöküm AZS ( $Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$ ) refrakterler için kalite ve düşük maliyet beklentilerini karşılayacak alternatif tedarikçiler belirlemek tüm cam üreticilerinin ortak hedefidir. Bu nedenle cam sektörüne sunulan refrakter malzemelerin en iyi sonuç verecek ve en uygun fiyata alınabilecek alternatif ürünlerinin araştırılması önem kazanmıştır. Bu çalışmada, uluslararası alternatif üreticilerden temin edilen AZS refrakterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, dayanım ve hata verme potansiyeli yönünde performansları test edilerek uygunlukları, referans olarak seçilen AZS ürünlerle kıyaslanarak araştırılmış ve elde edilen verilere göre kullanımları uygun bölgeler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Refrakter, Cam Ergitme Fırını, Korozyon, Elektrodöküm, AZS

## 1. GİRİŞ

Yüksek sıcaklıklarda (1550-1650°C) çeşitli cam kompozisyonları ergitilen fırınların farklı bölümlerinde sıcaklık açısından farklı işletme şartları olmaktadır. Gerek yüksek sıcaklık gerekse cam hammaddelerinin fiziksel ve kimyasal etkileri sebebiyle fırın ve cam kalitesini birinci derecede etkilemekte olan ve fırın yatırım maliyetinin büyük bölümünü oluşturan refrakter malzeme seçimi çok önemlidir. Bu çalışmanın amacı, alternatif üreticilerden temin edilen AZS refrakterlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, dayanım ve hata verme potansiyeli yönünde performansları ve Şişecam fırınlarında kullanıma uygunluklarının daha önce kullanılan ve referans olarak seçilen olan AZS ürünlerle kıyaslanarak, araştırılmasıdır.

## 2. CAM FIRINLARINDA REFRAKTER MALZEME KULLANIMINA İLİŞKİN GENEL BİLGİLER

Cam fırını refrakter yapısı temel Camla temas (Yan Blok, Paving), Üst yapı (Üst Yapı, Kemer) ve Rejeneratör (Dolgu, Duvar) olarak sınıflandırılabilir. Ergitme havuzu (E/H) paving, yan blok, üst yapı ve bazı fırınların rejeneratör dolgularında AZS refrakterler kullanılmaktadır. AZS refrakterlerde korozyon direncini  $ZrO_2$  belirlemektedir. Yaygın olarak ağırlıkça % 32-35  $ZrO_2$ 'lu ve % 41  $ZrO_2$ 'lu refrakterler kullanılmaktadır. Malzemelerin kalitesi ve kullanılacağı bölgeye uygun seçimi, fırın ömrüne ve cam kalitesine etki etmektedir. Refrakter korozyonun yoğun yaşandığı bölge olan E/H camla temas refrakterleri cam fırınının kampanya ömrünü belirleyebilmektedir. Refrakter malzemedeki aşınma ve akma yolu ile cam eriyiğine karışan camı eriyik veya kristalin taneler çoğunlukla üründe hata olarak görülmektedir. Elektrodöküm refrakterler yüksek sıcaklıklardaki kararlılıkları, korozyon ve aşınma dirençleri açısından mükemmel performansa sahiptir. Bu amaçla fırında kullanılacak refrakterlerin, hata verme potansiyeli düşük, cam

kompozisyonuna yakın camsı fazı olan, camla reaksiyona girmeyen, korozyon direnci yüksek olması istenir. Üst yapı refrakterlerinde de yüksek sıcaklık, alkali buharları ile zengin yanma gazları ve cam harmanı kaynaklı tozuma nedeniyle kimyasal aşınma göz önünde tutulmalıdır.

Fırın kampanya süreleri herhangi bir duruş olmaksızın kampanya ömrünün kesintisiz tamamlanmasını esas almaktadır. Fırınları için hedeflenen ömür artışları aşağıdaki gibidir:

- Düzcam 8 yıldan 14 yıl ve üzeri
- Cam Ev Eşyası 5 yıldan 8 yıl ve üzeri
- Cam Ambalaj 6 yıldan 12 yıl ve üzeri

Günümüzde cam üreticileri yüksek kalite ve düşük üretim maliyetli refrakterlere yönelmekte, dolayısı ile Asya kökenli refrakterlere ilgi artmaktadır. Firmaların konuyu temkinli ele aldığı ve ancak çeşitli testlerden sonra kademeli olarak, öncelikle batılı üreticilerin Çin'deki üretimleri üzerinden Çin kaynaklı malzemelere yöneltikleri gözlenmiştir[1].

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. SEM-EDS ANALİZLERİ

Numunelerin camsı fazlarına ait SEM-EDS incelemeleri için Jeol marka JSM-6010LV model Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Analizler, 20kV'de Back Scattered Electron modunda gerçekleştirilmiştir. 14 adet numunenin camsı fazlarına ait EDS analizleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 1. Camsı Fazlara Ait EDS Analizi Sonuçları

Numune No	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1A	6.83	18.45	72.86	-	0.38	1.08	-	0.41
2A	6.36	18.29	73.21	0.21	0.09	1.62	-	0.23
3A	7.02	18.12	72.15	-	0.43	1.81	0.14	0.33
4A	8.19	20.51	69.07	0.21	-	2.00	-	-
5A	7.47	22.43	67.03	-	0.36	2.07	-	0.65
6A	8.12	19.67	70.35	-	-	1.46	-	0.40
7A	6.28	19.67	71.50	0.41	0.48	1.46	-	0.19
1B	6.57	19.52	71.31	-	-	2.47	-	0.12
2B	6.18	18.36	71.54	1.29	0.53	2.10	-	-
3B	5.29	21.16	71.05	-	0.36	2.14	-	-
4B	8.14	19.12	70.04	-	0.30	1.91	0.30	0.29
5B	4.72	22.21	69.64	-	0.59	2.00	-	0.83
6B	5.94	20.19	70.31	0.30	0.44	2.28	0.54	-
7B	7.23	22.73	66.01	0.76	0.62	2.66	-	-

Sonuçlar incelendiğinde; %33 ZrO<sub>2</sub>'lu numunelerden 4A ve 5A'nın camsı faza verdiği alümina ve zirkon içerikleri daha fazla, %41 ZrO<sub>2</sub>'lu numunelerde 3B ve 7B'nin camsı faz içerisindeki alümina ve zirkon oranları diğerlerine kıyasla daha fazladır.

### 3.2. HABBE VERME POTANSİYELİ

1cm x 10cm x 10cm boyutlarında refrakter dilimleri üzerinde yerleştirilen 60 gr. lık TR6 camı 1100 °C derece sıcaklıkta 1 saat boyunca refrakter ile temas ettirilerek refrakterin camda oluşturduğu habbeler gözlemlenmiştir. Malzemelerin habbe yapma potansiyelleri sırasıyla Tablo 2'de de gösterilmiştir. Değerlendirme iyiden kötüye (1,2,3...,10) görsel ve sayısal habbe şiddeti olarak verilmiştir.

Tablo 2. Habbe Verme Dereceleri

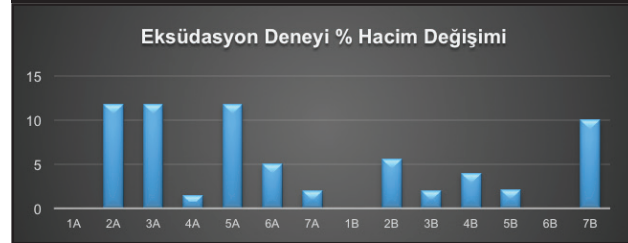
MARKA	DERECESİ (görsel habbe sayısı)	DURUMU
1A	3	İYİ
2A	5	KÖTÜ
3A	2	İYİ
4A	7	KÖTÜ
5A	9	KÖTÜ
6A	2	İYİ
7A	3	İYİ
1B	7	KÖTÜ
2B	8	KÖTÜ
3B	3	İYİ
4B	8	KÖTÜ
5B	2	İYİ
6B	8	KÖTÜ
7B	10	KÖTÜ

### 3.3. EKSÜDASYON (TERLEME) DENEYLERİ

Camsı fazın refrakterin bünyesinden dışarıya çıkması eksüdasyon olarak tanımlanır. Elektrodöküm refrakterlerde bulunan camsı faz sadece SiO<sub>2</sub> içermeyip camsı halde çözünmüş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ZrO<sub>2</sub> de içermektedir. AZS refrakterin bünyesinden yüzeye çıkan bu camsı eksüdasyon ürünleri alkali buharları ve harman tozuması etkisiyle düşük ötektik sıcaklıklarında cama akması ile camsı hatalara (düşme/damar) sebep olmaktadır. Cam üreticileri refrakterlerin düşük eksüdasyona sahip olmasını istemektedirler.

Refrakterlerden çıkartılan Ø32mm x 10mm boyutunda silindirik parçaların önce hacimleri ölçülmüş, elektrikli fırında 1500 °C de 16 saat tutulduktan sonra yüzeyde oluşan eksüdasyon oranı %hacim değişimi olarak aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

Şekil 1. Eksüdasyon Deneyi Hacim Değişimleri



Değerlendirme kriteri olarak yüzde hacim değişimi 0-3 arası "iyi", yüzde hacim değişimi >3 ise "kötü" olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre 1A, 1B, ve 6B en iyi sonuçları vermiştir.

### 3.4. KOROZYON VE T TESTLERİ

Refrakterlerin aşınma direncini ölçmek amacıyla aşındırıcılığı yüksek sodası arttırılmış bir cam harmanı ile (%50 SiO<sub>2</sub>, %30 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, %10 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, %10 CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>) test edilecek refrakterlerden silindirik şekilde hazırlanan potalarda eritişler yapılmıştır. 1500°C'de 48 saat numune potalarda yapılan deneyler sonucunda potalar yarıya kesilerek cam seviyesinde oluşan aşınmalar ölçülmüştür. Bunlara ek olarak cam temas refrakteri olarak kullanılan %41 ZrO<sub>2</sub> içerikli AZS refrakterlerin aşınma ve taş verme potansiyellerinin ölçülmesi amacıyla T testi (finger test) yapılmış olup, refrakterlerden çıkartılan T şeklindeki numuneler platin potada ergitilen yukarıda bahsedilen cam kompozisyonuna daldırılarak 24 saat cam ile temas ettirildikten sonra cam seviyesi incelenmiştir.

Tablo 3. Korozyon Deneyi Sonuçları

Numune	Aşınma 1 (mm)	Aşınma 2 (mm)	Ortalama (mm)	Aşınma Durumu
1A	1,484	1,403	1,443	YÜKSEK
2A	0,967	1,032	0,999	DÜŞÜK
3A	0,871	1,161	1,016	DÜŞÜK
4A	1,678	1,791	1,734	YÜKSEK
5A	0,363	0,401	0,382	DÜŞÜK
6A	0,385	0,347	0,366	DÜŞÜK
7A	Yapılan deneylerde refrakterler kırılmıştır.			
1B	Yapılan deneylerde refrakterler kırılmıştır.			
2B	1,358	1,406	1,382	YÜKSEK
3B	1,432	1,842	1,637	YÜKSEK
4B	1,632	1,584	1,608	YÜKSEK
5B	0,760	0,889	0,824	DÜŞÜK
6B	0,840	1,002	0,921	DÜŞÜK
7B	1,083	0,938	1,010	YÜKSEK

Tablo 4. T testi Numunelerinde Aşınma Ölçümleri

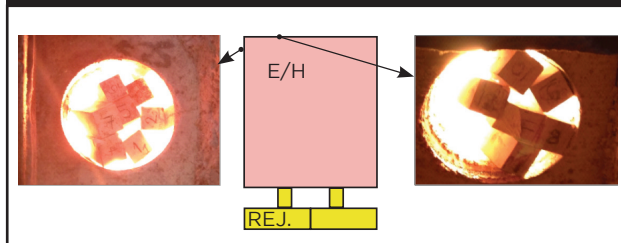
	Aşınma 1 (mm)	Aşınma 2 (mm)	Ortalama (mm)	Durum
1B	2,179	2,179	2,179	KÖTÜ
2B	0,976	0,902	0,939	İYİ
3B	1,339	1,339	1,339	İYİ
4B	1,549	1,581	1,565	İYİ
5B	Koptu	Koptu	Koptu	KÖTÜ
6B	1,807	1,807	1,807	KÖTÜ
7B	1,687	1,939	1,813	KÖTÜ

Camla temas kullanım amaçlı öngörülen refrakterlerden %41 ZrO<sub>2</sub>'li AZS refrakterlerden 2B, 3B, 4B ve 6B 'nin aşınmaya karşı dirençlerinin iyi olduğu belirlenmiştir. Camla temasta paving malzemesi olarak kullanılabilen %32-33 ZrO<sub>2</sub> ve %36-37 ZrO<sub>2</sub> 'lu refrakterlerden ise 3A, 5A, 6A ve 5B 'nin cam temasta aşınmaya daha dirençli olduğu, bu sayede fırının refrakter kaynaklı kampanya ömrünün daha uzun olabileceği öngörülmektedir.

### 3.5. FIRIN DENEMELERİ

5cm x 5cm x 10cm ebatlarında 13 adet numune (7B hariç), Anadolu Cam San. Ve Tic. A.Ş. Eskişehir Fabrikası A fırınında E/H üst yapı gözetleme deliklerinde 90 gün boyunca tutulmuştur.

Şekil 2. Fırın denemelerine yerleştirilen numuneler ve şematik olarak yerleştirilen yerler



90 gün sonunda, yüksek sıcaklık, alkali buharı ve harman tozuması etkisiyle numunelerde eksüdasyonla yüzeylerde camsı faz ve aşınmaya bağlı refrakter korozyonu görülmüştür.

Aşağıdaki tabloda, 3 aylık deneme süresi sonucunda, 13 kalite refrakter numunenin yüzeyinde oluşan camsı fazlar çok, orta ve az olmak üzere görsel olarak tanımlanmıştır. 1A, 4A ve 5A numuneleri az camsı faz oluşumu gözlenen, en iyi sonucu vermiştir.

Tablo 5. Fırın Ortamında Denenen Refrakter Numunelerinin Camsı Faz Verme Eğilimleri

Çok	Orta	Az
2A-7A-1B-2B-3B-4B-5B-6B	3A-6A	1A-4A-5A

## 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada kullanım deneyimimiz olan Avrupa menşeli refrakter kalitesi referans alınmış olup diğer refrakterlerin bu referansa göre durumları tanımlanmıştır.

Cam sektöründe kullanılan elektrodöküm AZS refrakterlerden beklenen özelliklerden en kritik olanı refrakterlerin cam hatası oluşturmaması ve uzun kampanya ömrünü sağlayabilmesidir. Camsı hataların (düğme/damar) kaynağı olarak gösterilen elektrodöküm AZS refrakterlerin yapısından dışarı çıkan camsı faz miktarı ne kadar çok ise camsı hata oluşturma olasılığı o kadar fazladır. Eksüdasyon deneylerinde referans refrakterlerin (1A ve 1B) en iyi sonuç verdiği, bunlara en yakın malzemenin 6B ve 4A olduğu görülmüştür.

Refrakterlerin camsı fazında çözülmüş ZrO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı, çözünme oranı bakımından önemli olup, düşük ZrO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı ile referans 1A ürününe en yakın malzemenin 6A ve 7A olduğu belirlenmiştir.

Habbe verme potansiyeli açısından bakıldığında 3A, 6A ve 5B referans 1A malzemenin daha iyi sonuç vermiştir. Aşınma dirençlerinde ise 2A, 3A ile 5A ve 5B orta seviye sonuç veren referans malzemelerden daha az aşınmıştır.

Kesintisiz üretim yapan cam fırınlarının kampanya ömrünü uzatmak ve piyasa koşullarının beklentisi doğrultusunda yüksek kalitede cam üretmek için iyi kalitede refrakter kullanılması şarttır. Ancak sadece iyi kalite refrakter kullanarak fırından uzun ömür ve kaliteli cam beklemek doğru değildir. İyi kalite refrakterin kullanımının yanı sıra atrampajda iyi bir ısıtma rejimi ve sonrasında kontrollü işletme koşulları gerekli kriterlerdir. Sonuç olarak;

- İyi kalite refrakteri belirlemek için yaptığımız çalışmalarda referans 1A ve 1B refrakterleri birçok özellik bakımından "iyi" özellikler göstermekte,
- Yapılan deneylerin genelinde, 6B ve 6A refrakterlerin iyi ve orta özelliklerde olduğu,
- 3A ve 7A refrakterlerin orta ve üzeri özellikler sergilediği görülmektedir.
- Dolayısıyla, 3A, 6A ve 7A refrakterlerinin camla direkt temas bölgelerinde, 7B refrakterlerinin ise cam temas bölgelerinde paving olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

[1] Glass furnace refractories in a changing world, Geoff Evans, Glass International July/August 2009

## CAM AMBALAJ ÜRÜNLERİNE YÖNELİK HİBRİD ANTİBAKTERİYEL KAPLAMALARIN GELİŞTİRİLMESİ



**Dr. Refika Budakoğlu**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Atmosferik Kaplama  
Teknolojileri Müdürlüğü  
rbudakoglu@sisecam.com

**Dr. Aref Cevahir  
Çağdaş Kadakal**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Atmosferik Kaplama  
Teknolojileri Müdürlüğü  
acevahir@sisecam.com  
ckadakal@sisecam.com

**Burak İzmirlioğlu**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Malzeme Analiz ve  
Karakterizasyon  
Müdürlüğü  
bizmirlioglu@sisecam.com

**Sumru Bellici  
Cihan Koçak**  
Şişecam Topluluğu, Cam  
Ambalaj Grup Başkanlığı,  
Geliştirme Direktörlüğü  
sbellici@sisecam.com  
ckocak@sisecam.com

*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

Antibakteriyel yüzeyler genelde, mikroorganizmaların yok edilmesi veya azaltılmasını sağlayan antibakteriyel katkı maddeleri içeren kaplamalarla elde edilmektedir. Gümüş, bakır ve çinko içeren kaplamalarda farklı derecelerde antibakteriyel etkinlik sağlanmaktadır. Bu çalışmada, cam ambalaj içeri-  
sindeki gıdalarda zamanla veya kullanım sürecinde oluşabilecek mikroorga-  
nizmaların üremesini yavaşlatabilecek ve dolayısıyla gıdaların raf (saklama)  
ömrünü uzatabilecek antibakteriyel kaplamaların geliştirilmesi amaçlanmıştır.  
Düşük maliyetli bir kaplama uygulaması için; şişelerin hat üstünde ve sıcakken  
(80-90°C) iç yüzeylerine kaplama çözeltisinin püskürtülmesi en uygun  
yöntem olarak belirlenmiştir. Nihai kaplamanın cam ambalaj iç yüzeyinde  
homojen yayılması, ambalaj içerisinde bulunan gıdaya kimyasal maddelerin  
geçmemesi (migrasyon) ve gıdaya uyumlu olması çalışmamızın temel gerek-  
lilikleridir.

Çalışma kapsamında, laboratuvar ölçeğinde kontrollü şartlarda (daldırarak  
kaplama) antibakteriyel etkinliği en yüksek olan kaplama kompozisyonu be-  
lirlenmiş ve kaplama çözeltisinin sıcak şişe iç yüzeylerine püskürtülebilmesi  
için uygulama optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların  
antibakteriyel aktivite testleri Escherichia coli (gram-negatif) ve Staphy-  
lococcus aureus (gram pozitif) bakterilerine karşı test edilmiş, toplam ve  
spesifik migrasyon testleri yapılmıştır. Kaplamaların yüzey kimyasal analizleri  
SEM-EDS ile takip edilmiş, SEM yüzey morfolojileri ile püskürtme homo-  
jenitesi değerlendirilmiştir. Kaplamadaki gümüş miktarının yüzeyde belirgin  
bir şekilde olduğu AFM analizleri ile tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: antibakteriyel, gümüş, cam ambalaj, hibrid, püskürtme



## CAM AMBALAJ ÜRÜNLERE POLİMERİK KAPLAMA UYGULAMALARI İLE YENİ ÖZELLİKLER KAZANDIRILMASI



**Hakan Yavaşlar**  
**M.Taylan Sabaner**  
**Alper Yakan**

**Akın Cambazoğlu**  
Şişecam Topluluğu, Cam  
Ambalaj Grup Başkanlığı,  
Geliştirme Direktörlüğü  
[hyavaslar@siseecam.com](mailto:hyavaslar@siseecam.com)

### **Necmi Köse**

Şişecam Topluluğu, Cam  
Ambalaj Grup Başkanlığı,  
Müşteri ve Teknik  
Hizmetler Müdürlüğü  
[nkose@siseecam.com](mailto:nkose@siseecam.com)

### **Prof.Dr. Selim Küsefoğlu** **Doç.Dr.Ediz Taylan**

Üniversiteler, Boğaziçi  
Üniversitesi, Kimya  
[kusef@boun.edu.tr](mailto:kusef@boun.edu.tr)  
[etaylan@boun.edu.tr](mailto:etaylan@boun.edu.tr)

### **Merve Akdemir**

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Cam özellikleri  
Müdürlüğü  
[makdemir@boun.edu.tr](mailto:makdemir@boun.edu.tr)

*Hakan Yavaşlar, lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliğinden 1994 yılında, Yüksek Lisans eğitimini aynı üniversitenin Makine Mühendisliğinden Bölümü'nden 1995 yılında tamamladıktan sonra Paşabahçe Cam Sanayii ve Ticaret A.Ş.' den Üretim Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2001 yılından buyana da Anadolu Cam Sanayii A.Ş.' de İş Geliştirme Müdürlüğü'nde İş geliştirme Uzmanı olarak çalışmaktadır.*

## ÖZET

Cam ambalaj terimi camdan yapılmış şişe, kavanoz gibi her türlü katı ve sıvı malzemeyi, özellikle de gıda maddelerini muhafaza etmeye yarayan ürünü ifade eder. Projemizde amaç cam malzemenin polimerik kaplamalarla kaplanarak cam ambalajda kırılma emniyetinin sağlanması, camda mukavemet artırılması, istenen yüzey özelliklerinin kazandırılmasıdır. Bu sayede şişe ve kavanoz ağırlıklarındaki elde edilecek hafifleme, enerji tasarrufu ve buna bağlı CO<sub>2</sub> salınımının azalması üretim prosesimizin sürdürülebilirliğinde önemli bir bileşen olacaktır.

Bu amaca yönelik olarak poliüretan, epoksi, vinil ester gibi termoset polimerler ve polipropilen, polietilen, poliamid, poliakrilat gibi termoplastik polimerler ve bunları cama bağlayacak silan bazlı bağlayıcı maddeler kullanılarak cam malzemenin dış yüzeyi kaplanmıştır. Polimerin çözültüleri ya da sudaki emülsiyonları kullanılarak spreyleme yöntemiyle kaplanmış olan cam ambalaj ürünlerde işlem kurutma ve kürlenme yoluyla sonlandırılmıştır. Uygun kürlenme ve kaplama parametreleri belirlenmesi amacı ile deneysel veri analizinden yararlanılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Polimerik kaplama, mekanik mukavemet, kırılma dayanımı, cam-polimer arayüzeyi,

## GİRİŞ

Cam ambalaj pazarında giderek artan rekabet küresel bir üretici konumunda olan Cam Ambalaj Grubu'nun camda iç basınç ve darbe mukavemeti artırarak yeni ürünleri pazara sürmesi, mukavemet artışı yoluyla elde edilen kazanımı ürün hafifletmesi yönünde kullanarak enerji tasarrufu, maliyet ve CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması hedeflenmiştir. Projeye dahil olan dağılmayan kaplamalar ile de cam ambalaja olumsuz olarak bakılan alanlara girmek hedeflenmiştir. 2013 Haziran ayından itibaren başlayan çalışmalar halen devam etmektedir. Proje, 2013 Ağustos ayından itibaren TEYDEB tarafından desteklenmiştir. Projenin 2016 yılı ilk yarısında bitirilmesi hedeflenmektedir.

## YAPILAN ÇALIŞMALAR

Farklı disiplinlerdeki uzmanlık alanlarının bir araya gelmesiyle çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Üniversite tarafında aday polimerlerle düz camda yapılan çalışmalar sonucu elde edilen değerler değerlendirilerek cam ambalaj ürünlerin kaplama uygulamalarına geçilmiştir. Polimer emülsiyonlarının cam yüzeyini ıslatması için gerekli viskozite ve yüzey gerilimi aralıkları bulunmuş, gerekli olduğunda yüzey gerilimini düşürmek için gerekli olan emülgatör ve ıslatıcı ajanlar saptanmış ve kullanılmıştır. Polimerik kaplamaların kürlenme sıcaklık ve süreleri laboratuvar şartlarında optimize edilmiştir. Cam ambalajda darbe ve iç basınç testleri tekrarlanabilir şekilde rutin olarak yapılabilir hale getirilmiştir.

Kaplamaların cam şişeye pilot ölçekte uygulanabilmesi için bir tesis tasarlanmıştır. Pilot testte püskürtme düzeneği, hava basıncı, fırın sıcaklığı, bant hızı gibi parametreler optimize edilmiş ve tek seferde 20 adet mertebesinde şişe kaplamaları yapılabilmüş ve her şişede polimerik film kalınlığı ve kürlenme şartlarının aynı olması sağlanmıştır. Gerçekleştirilen iki geniş çaplı cam ambalaj uygulamasıyla ve buradan gelen değerler ışında aday polimerler darbe, iç basınç dayanımları, optic özellik ve yüzey özellikleri konusunda değerlendirilmiştir. Bu değerler bir döngü şeklinde laboratuvar çalışmalarına aktarılarak geliştirmeler sağlanmıştır.

Darbe dayanıklılığının artmasında en önemli parametrenin film sertliği ve film kalınlığı olduğu anlaşılmış ve yumuşak va kalın filmlerle darbe dayanıklılığının arttığı saptanmıştır. Buna karşılık film yumuşaklığı cam şişe yüzeyini yapışkan hale getirdiği, kalın film tabakasının ise ham madde tüketimini artırmasından dolayı ekonomik olarak uygun olmadığından aşırı derecede artırılması olanaksızdır. Yapılan optimizasyonda film kalınlıkları  $5 \times 10^{-4}$  g / cm<sup>2</sup> mertebesinde olması gerektiği bulunmuştur.

İç basınç dayanımının artmasında şişeye uygulanan film kalınlığının önemli bir rolü olmadığı fakat bazı polimer gruplarının cam dokusundaki mikro çatlakları (Gilbert Çatlakları) tamir edebildiği meydana çıkmıştır. Bundan dolayı bu grupları taşıyan polimerlerin tercih edilmesi önem kazanmıştır.

"Safety Bottle" uygulamalarında kırıldığı zaman cam parçalarının ayrılmasını önleyen ve cam şişenin daha emniyetli bir şekilde kullanılmasını sağlayan polimerik kaplamalar da projenin içinde yer almıştır. Tek kullanımlık şişe için uygun formülasyonlar bulunmuştur. Yüzey yapışkanlığının bertaraf edilmesi sonucunda hem saydam hem de mat görümlü şişeler elde edilmiş ve ticari olarak üretime geçilebilir hale gelmiştir.

UV ile kürlenmiş kaplamalar üzerinde yapılan çalışmalarda düzcama iyi sonuçlar alınmış, laboratuvar ölçeğinde şişe uygulaması da gerçekleştirilmiştir. hem mekanik özellik hem de estetik farklılık yaratabilecek UV kürlenmiş REACH yasaklı olmayan bir bağlayıcı elde edilmesine çalışılmıştır. Bu bağlayıcı ile ticari olarak bulunabilen birçok özel efektli pigment şişe ve kavanozlara uygulanabilecektir.

## ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Şişede hem iç basınç hem de darbe değerleri ölçülerek aynı tasarımda fakat polimer kaplanmamış şişelerden elde edilen referans değerler ile karşılaştırılmıştır. İç basınç dayanımında %45, darbe dayanımında ise %35-40 arası bir iyileşme elde edilmiştir. Tablo-1'de 338920 şişesi üzerinde ilk geniş çaplı çalışma değerleri görülmektedir.

Tablo 1.

Kaplama	Basınç (bar)	% Fark	Standart Sapma	Cpk	Darbe (ips)	% Fark	Standart Sapma	Cpk
Sade	45,53	-	8,91	1,04	78,13	-	21,50	0,60
T-20	54,72	20,18	5,56	1,96	92,22	18,03	13,94	1,29
T-30	54,33	19,33	9,60	1,48	86,25	10,39	24,46	0,90
T-30A	53,83	18,23	10,44	1,46	92,00	17,75	17,51	1,47
T-30B	53,84	18,25	11,56	1,59	98,00	25,43	13,17	5,33
T-40	55,70	22,34	6,15	1,90	87,00	11,35	11,60	5,87
T-50	44,86	-1,47	15,78	0,39	103,00	31,83	10,59	5,75
T-60	48,46	6,44	15,49	0,77	85,00	8,79	17,16	1,11
O-20	53,72	17,99	8,90	2,28	92,00	17,75	17,51	4,82
O-25	51,16	12,37	9,18	1,02	98,89	26,57	7,82	9,61
O-30	50,61	11,16	8,27	0,99	100,00	27,99	13,33	1,63
M-30	51,93	14,06	8,44	1,10	93,33	19,45	7,07	8,77
M-40	58,51	28,51	3,88	5,09	91,00	16,47	9,94	6,32
M-50	56,91	24,99	7,09	3,56	88,89	13,77	10,54	1,30
M-60	45,25	-0,61	18,51	0,46	87,78	12,35	14,81	1,19
AE-20	47,33	3,95	15,93	0,50	81,11	3,81	9,28	4,62
AE-30	49,95	9,71	7,64	1,05	87,00	11,35	8,23	5,87
AE-40	55,87	22,71	3,62	3,6	82,00	4,95	21,50	0,84

Tablo 2. 330820 Üretimi İç Basınç (kg/cm<sup>2</sup>) Karşılaştırma

Kaplama		Standart Şişe	% Artış
AE	41,08	28,17	45,83
E	39,32		39,58
Z	38,01		34,93
O	41,03		45,65
M	40,39		43,38

Tablo 3. Darbe Kırılma Değeri ( ips ) Karşılaştırma

Kaplama		Standart Şişe	% Artış
AE	98,00	87,5	12,00
E	118,89		35,87
Z	100,50		14,86
M	104,44		19,36

Tablo 4. Darbe Kırılma Değeri ( ips) Karşılaştırma

Kaplama	ET	OD	T	Referans
Değer				
Ortalama	96	98	106	76
Std.Sapma	5,48	13,04	6,99	9,28
Ppk	3,71	1,61	3,38	1,47
Veriler				
Maks	100	110	120	90
Min	90	80	100	60

## SONUÇ

Elde edilen sonuçlar olumlu olup iç basınç dayanımında %40, darbe dayanımında %35-40 mertebesinde artış sağlanmıştır. Bu sonuçlar farklı tasarım ürünlerde denenerek doğrulanmıştır. Maliyet üzerinde çalışmalar devam etmekte ve uygulamaların on-line ya da off-line olması tartışılmaktadır. Deneysel veri analiz sonuçlarıyla da birlikte değerlendirmeler yapılacaktır.

SENATO  
SALONU  
14:00 - 14:30



**Prof. Clemens Heske**

ANKA Synchrotron Radiation Facility, Institute for Photon Science and Synchrotron Radiation (IPS), and Institute for Chemical Technology and Polymer Chemistry (ITCP), Karlsruhe Institute of Technology (KIT)  
Hermann-v.-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany  
Department of Chemistry and Biochemistry  
University of Nevada, Las Vegas (UNLV)  
4505 Maryland Parkway, Las Vegas, NV 89154-4003, USA  
heske@kit.edu

## HELPING TO OPTIMIZE SOLAR ENERGY-CONVERSION DEVICES WITH SOFT X-RAY AND ELECTRON SPECTROSCOPIES

*Department of Chemistry and Biochemistry, University of Nevada, Las Vegas (UNLV)*

*ANKA Synchrotron Radiation Facility, Institute for Photon Science and Synchrotron Radiation (IPS), and Institute for Chemical Technology and Polymer Chemistry (ITCP), Karlsruhe Institute of Technology (KIT)*

*In 1998, Clemens Heske received his "Dr. rer. nat." (Ph.D.) in Physics from the University of Würzburg, Germany. After two years as a postdoctoral fellow at the Advanced Light Source, Lawrence Berkeley National Laboratory, he became a "wissenschaftlicher Assistent" at the University of Würzburg and completed his German Habilitation in Experimental Physics in December of 2003. In 2004, he joined the UNLV Chemistry Department as an Associate Professor for Materials/Physical Chemistry and was tenured in the summer of 2007 and promoted to Professor in the summer of 2009. In the fall of 2011, Clemens Heske was additionally appointed as one of the directors of the ANKA Synchrotron Radiation Facility and the Institute for Photon Science and Synchrotron Radiation (IPS) at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany, and as a Professor in KIT's Institute for Chemical Technology and Polymer Chemistry (ITCP).*

*Continuing his research activities on both continents, Clemens Heske uses lab- and synchrotron-based soft x-rays to study surfaces and interfaces in a wide variety of material systems for energy conversion. With the expertise and technical skills of his group, he teams up with a large number of national and international partners in academia, national labs, and industry to investigate and improve thin film solar cells, materials for hydrogen production, hydrogen storage, fuel cells, light-emitting devices, nuclear fuel, and other systems that involve interfaces and require a deeper understanding of their electronic and chemical properties to optimize the performance and stability of the final device.*

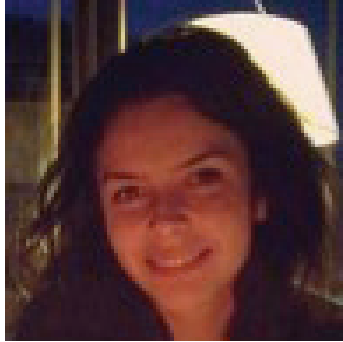
### ABSTRACT

In order to maximize the contribution of solar energy to the future global energy portfolio, it is important to optimize the performance (up!) and cost (down!) of the devices involved in solar energy conversion. The purpose of this talk is to demonstrate how a tool chest of soft x-ray and electron spectroscopies (in particular using high-brilliance synchrotron radiation) is uniquely suited to unravel the electronic and chemical properties of surfaces and interfaces, and how an understanding of solar devices on that level can lead to increased performance. It will be shown how photoelectron spectroscopy (PES), x-ray-excited Auger electron spectroscopy (XAES), inverse photoemission (IPES), x-ray emission spectroscopy (XES), and x-ray absorption spectroscopy (XAS) can be suitably combined to derive band gaps, study local chemical bonding and electronic level alignment, and obtain insights into chemical stability (illustrating why we need so many abbreviations J). As examples, Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub> and CdTe thin film solar cells as well as GaInP<sub>2</sub>- and WO<sub>3</sub>-based solar water-splitting devices will be discussed.

**Keywords:** solar energy, energy conversion

SENATO  
SALONU  
14:30 - 14:50

## ANALYSIS OF MULTI-LAYERED COATING MORPHOLOGY AND CHEMISTRY BY ENERGY- DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY IN AN ABERRATION-CORRECTED SCANNING TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE



*Dr. Guliz Inan Akmehmet graduated from the Yeditepe University Department of Physics, and completed her M.Sc. studies in Physics at University of Umea and Ph.D. studies in Materials Science and Engineering at Sabanci University in 2015.*

*Dr. Inan Akmehmet's research interests include mechanisms of persistence in ceramic phosphors, materials characterization with an emphasis on thermal analysis, x-ray diffraction, and imaging and spectroscopy in the transmission electron microscope.*

**Dr. Güliz İnan Akmehmet**  
**Doç.Dr. Cleva Ow-Yang**  
Sabanci University,  
Materials Science and  
Engineering

*gulizinan@sabanciuniv.edu*  
*cleva@sabanciuniv.edu*

**Saso Sturm**  
**Miran Ceh**

Jozef Stefan Institute,  
Nanostructured Materials,  
Slovenya  
*saso.sturm@ijs.si*  
*miran.ceh@ijs.si*

### ABSTRACT

Advances in instrumentation development in electron microscopy now enable routine analysis of materials—nanoparticles, thin films, and interfaces—with atomic-scale resolution. In this talk, we will discuss the preparation of specimen for imaging and chemical analysis in an aberration-corrected scanning transmission electron microscope (STEM). We will review the basic principles of imaging using annular detectors in a STEM and of chemical spectroscopy using energy dispersive x-ray analysis. Through two case studies—persistence mechanisms in phosphors [1,2], structure elucidation in transparent conductive oxide thin films [3]—, we will demonstrate a range of questions and problems that can be solved by STEM-EDX analysis.

- [1] G. Inan Akmehmet, S. Šturm, L. Bocher, M. Kociak, B. Ambrozic, C.W. Ow-Yang, manuscript under review  
[2].G. Inan Akmehmet, Ph.D. Thesis, Sabanci University (2015)  
[3] unpublished

**Keywords:** *characterization, transmission electron microscopy, analytical spectroscopy*



SENATO  
SALONU  
14:50 - 15:10

**Dr. B. Kerem Gören**  
Şişecam Topluluğu,  
Düzcem Grup Başkanlığı,  
Geliştirme Direktörlüğü  
kgoren@siseecam.com

**Dr. Tuncay Turutoğlu**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Yüzey Teknolojisi  
Müdürlüğü  
tturutoğlu@siseecam.com

## YENİ NESİL KAPLAMALI CAMLARDA MİKROYAPI HATALARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI İLE YÜKSEK BAŞARIMLI SERİ ANALİZİ

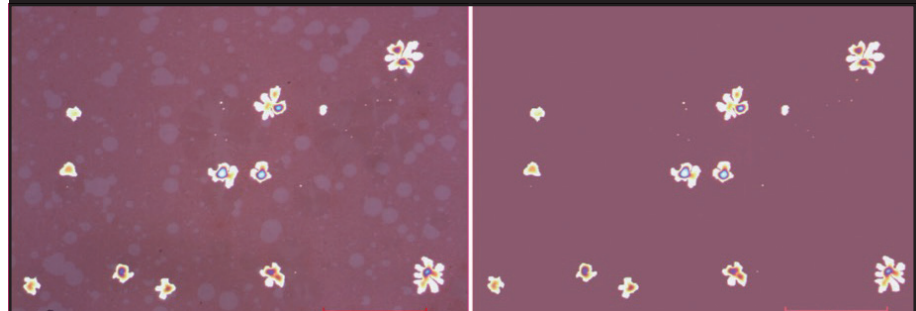
*Dr. B. Kerem Gören 1999 senesinde Üniversite giriş sınavında Koç Üniversitesi Kimya Bölümüne burslu olarak kabul edilmiştir. 2002 senesinde Frankfurtta o zamanki adıyla Degussa şirketinde (şu an Evonik) yaz stajı yapmış, Fumed Silikanın sıvıların akışkanlığına olan etkileri üzerinde çalışmıştır. 2003 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 Düzcem Fabrikasında Kaplama Hattında İşletme Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2 yıl sonra 2013 senesinde Bulgaristanda kurulan Kaplama Hattına Üretim Şef Mühendisi olarak atanmıştır. 2 yıl sonra 2015 senesinde Trakya Cam Yönetim Merkezinde Geliştirme Müdürlüğü görevine atanmıştır ve hala buradaki görevine devam etmektedir.*

### ÖZET

Trakya Cam bünyesinde geliştirilen kaplamalı cam ürün gamı farklı kullanım amaçlarına yönelik olarak gündün güne genişletilmektedir. Geliştirilen yüksek katma değerli ürünler giderek karmaşıklaşmakta ve yeni ürün geliştirme çalışmalarında mevcut kalite-kontrol yaklaşımları yetersiz kalmaktadır. Bu noktada öne çıkan yaklaşımlardan birisi optik mikroskopi ile mikroyapı analizi ve kaplama hatalarının bu çıktılar üzerinde görüntü işleme algoritmaları vasıtası ile otomatik tespitidir.

Bu proje kapsamında çift gümüşlü temperlenir Solar Low E camlarda kaplama hatalarına ait şekil nicelikleri, hata büyüklük dağılımları ve çeşitli mertebeden koordinat ilişkileri incelenmektedir. Bu çalışmada incelenen camlarda gözlemlenen hatalar evrensel özellikler taşımaktadır. Buna göre gözlemlenen kaplama hataları ısı işlem sonrası ortaya çıkmakta ve çok kollu (dendritik) bir morfolojiye sahip olmaktadır. Ek olarak her dendrimerin içinde en az bir adet olacak şekilde eşmerkezli optik saçaklardan oluşan Newton halkalarının [1] oluştuğu da görülmektedir [Şekil 1].

**Şekil 1.** Solda optik mikroskop görüntüsü, sağda aynı görüntünün arka planın "temizlendikten" sonraki hali.



Kaplama hatalarının sıklığı ve karmaşık iç yapıları daha detaylı bir incelemeyi kaçınılmaz kılmaktadır. Nihai üründe gözlenen hataların proses parametrelerine bağlanabilmesi bu projenin nihai hedefi olup inceleme aşamasında kullanılan görüntülerin elde edilmesi ve işlenmesi sırası ile şu basamaklardan oluşmaktadır:

1. Kaplanmış camlar Nikon Eclipse LV 100 POL mikroskop (objektif:50X, NA:0.80, WD: 1.0, FoV:25 mm) ile, 50, 100, 200 ve 400 kez büyütme olarak incelenmekte ve CCD sensörlü bir dijital kamera ile bilgisayar ortamına geçirilmektedir.

2. Ham halde alınan renkli görüntülerin arka planı referans olarak seçilen bir pikselin R,G,B değerlerine taşınıp temizlenmektedir.

3. Arka planı temizlenmiş görüntü RGB renk uzayından gri renk uzayına (grayscale) R,G ve B renk değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak çevrilmekte ve bu yolla resmi oluşturan her piksele tek bir reel sayı atanmaktadır.

4. Gri renk uzayına taşınmış resimler 2 boyutlu Fourier dönüşümü [2] ile işlenmekte ve dönüşüm uzayında filtrelenmektedir. Görüntülerin niteliğine göre farklı filtre fonksiyonları denenmekte ve uygun görülen filtre fonksiyonu tatbik edilmektedir. Bu basamak dahilinde Fourier spektrumundaki düşük frekanslı bileşenler tutulup yüksek frekanslı bileşenler atılmaktadır. Filtrelenmiş spektrum ters dönüşümle tekrar gözle incelenebilir bir hale getirilmekte ve görüntüler istatistiki analize hazır hale gelmektedir. Sinyal işleme kullanılarak hatalara ait silüetler ortaya çıkarılmakta [Şekil 2] ve mikroskop görüntüleri üzerinde istatistiki hata sayımı yapılmaktadır. Yine bu

basamakta hataların koordinat ilişkileri ve düzlemsel dağılımları hesaplanmaktadır.

5. Bir sonraki adımda çeşitli kenar belirleme algoritmaları vasıtası ile hatalı bölgelerin detayları ortaya çıkarılarak alan hesapları yapılmaktadır.

Geliştirilen hesaplamalı yaklaşımlar optik mikroskopi ile sınırlı olmayıp elektron mikroskopsi gibi daha yüksek çözünürlüklü yöntemlere de rahatlıkla uyarlanabilecektir. Kullanılan algoritmalar yüksek başarımlı sayısal yöntemler olup çok sayıda görüntünün seri halde işlenmesine imkan tanıyan ve kişisel bilgisayarlarda çalıştırılmaya uygun şekilde seçilmiştir.

Çok sayıda numunenin seri biçimde analiz edilmesi ve verilerin işlenmesinde bilgisayar destekli yaklaşımların kullanılması sadece yeni ürün geliştirme çalışmalarına fayda sağlamayacak, ek olarak halihazırda üretilmekte olan yüksek katma değerli ürünlerin kalite kontrolünde de kullanılabilir.

Böylece;

- Operatör kaynaklı ölçüm hataları engellenebilecek ve kalite kontrol kaynaklı reklasyonlar asgariye indirgenebilecektir.

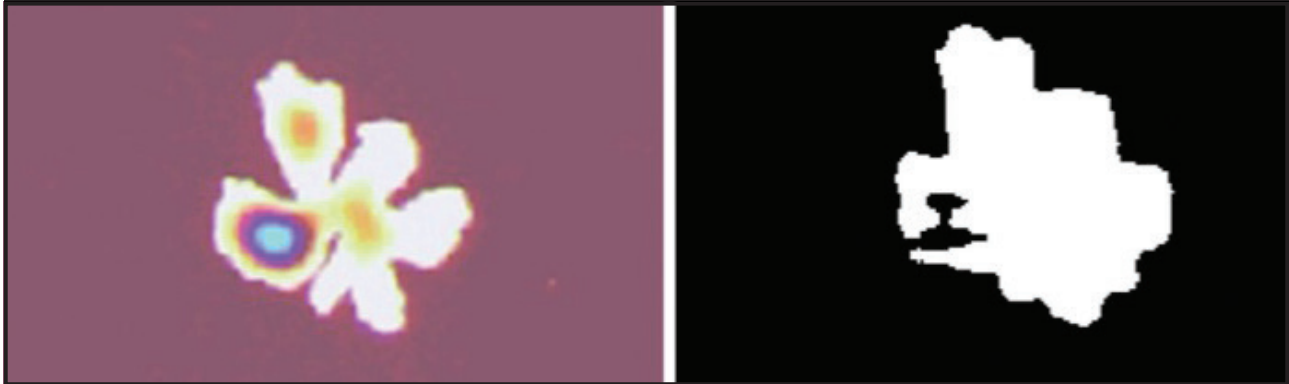
- Şişecam bünyesindeki farklı kaplama hatlarından yapılacak ölçümlerde standardizasyon sağlanabilecektir.

- Ölçme protokollerindeki güncellemeler tüm hatlar için eşzamanlı ve hatasız olarak tamamlanabilecektir.

- Mevcut hatlardan toplanan büyük hacimli verilerin tek bir havuzda sayısal olarak işlenmesi ile ürün geliştirme çalışmaları hızlanacak ve daha sistemli bir hale gelecektir.

**Anahtar kelimeler:** Mikroyapı, Algoritma, Bilgisayar Destekli Analiz, Magnetron Sputtering, Fonksiyonel Kaplama, Katma Değerli Ürünler

Şekil 2. Soldaki "kirli" optik imaja 2 boyutlu Fourier analizi, frekans ayrıştırma, 2 boyutlu ters Fourier analizi, ve segmentasyon nicel analiz yapılmış veri sağdadır.



## KAYNAKLAR

1. Born M, Wolf E (1999) Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light: Cambridge University Press.
2. Proakis JG, Manolakis DK (2006) Digital Signal Processing: Prentice-Hall.

SENATO  
SALONU  
15:10 - 15:30



**Lukas Simurka**  
**Dr. Selen Erkan**  
**Dr. Tuncay Turutoğlu**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Yüzey Teknolojisi  
Müdürlüğü  
lsimurka@sisecam.com  
serkan@sisecam.com  
tturutoglu@sisecam.com

## MECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF SILICON NITRIDE THIN FILMS ON GLASS

*Lukas Simurka was born in 1987 in Trenčín, Slovakia. He received his master's degree in physical chemistry from Institute of Chemical Technology in Prague, Czech Republic in 2011. Prior to his career at Siseecam, he spent one year at the Department of glass and ceramics of Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg. Since 2013 he is a member of Surface technology group at SISECAM Science and technology center. His work focuses mainly on characterization and optimization of coatings and glass surfaces.*

### ABSTRACT

Various argon and nitrogen flows, and sputter power were used in order to investigate the influence of deposition parameters on the mechanical and optical properties of sputtered silicon nitride films. The films were deposited in in-line horizontal coater by DC magnetron reactive sputtering from Si (10% Al) target. We show that process pressure has an important influence on mechanical properties of the sputtered film. On the other hand, the nitrogen content is the key factor for the optical properties of the films.

**Keywords:** nanoindentation, ellipsometry, glass, thin films

### INTRODUCTION

Optical thin films have been widely used in glass coating industry for various energy saving applications such as solar control and low emissivity glasses[1]. However, handling and processing of these systems can lead into various mechanical defects decreasing its lifetime and optical performance. Therefore, understanding and control of the mechanical properties plays an important role in thin films production. Silicon nitride is one of the most commonly used materials in the optical systems. Its high refractive index and good mechanical properties provide different functionalities. It can be used as a buffer layer for tuning of the optical performance or as a topcoat for mechanical protection. Aim of this study is the investigation of mechanical and optical properties of silicon nitride thin films on soda-lime silicate glass.

### EXPERIMENTAL PROCEDURE

#### SUBSTRATE CURVATURE ANALYSIS

The studied films were deposited on commercially available float glass (SISECAM, Turkey) 10 x 10 cm with thickness 4 mm. Additionally, circular borosilicate cover slips (Menzel, Germany, 18 mm x 0.145 ± 0.015 mm) were used as a substrate for residual stress measurements. Prior to deposition, 4 step cleaning process (tap water, basic solution, acidic solution, deionized water) was performed on the samples. The films were deposited in in-line horizontal coater Micks (Vaksis, Turkey) by DC magnetron reactive sputtering from Si (10% Al) to final thickness 250 - 290 nm.

#### RESIDUAL STRESS MEASUREMENT

Measurements of absolute residual stress were performed by substrate curvature analyses using the Stoney's equation [2][3]:  
 $ES61-vShS2hf-1R0$  (1) ES the Young's moduls, vs the Possons's ratio and hS the substrate,  $h_f$  the curvature radii of the substrate after and before deposition. The curvature was determined by white light interferometer Contour

GT-K (Bruker, USA). As the substrate glasses are not perfectly flat, every cover slip was scanned before and after deposition of the silicon nitride film. Two cover slips were used per each set of deposition parameters. The values of radii of curvature were obtained by Gwyddion[4] which determines the curvature with two orthogonal directions. The residual stress was then calculated using the modified Stoney formula for a plate like substrate (Eq. 1). The presented values are average of residual stresses calculated for each radius of curvature.

## NANOINDENTATION

Hardness and reduced modulus values were obtained by dynamic nanoindentation measurements conducted on nanoindenter G200 (Keysight, USA). The measurements were made with a standard Berkovich tip calibrated on fused silica. The measurements were performed in continuous stiffness mode to final depth 2000 nm. An oscillation frequency of 45 Hz and an oscillation amplitude of 2 nm were used. Indentation was performed at constant strain rate of  $0.05 \text{ s}^{-1}$ . For each experiment, 25 indents were done on each sample.

## SPECTROSCOPIC ELLIPSOMETRY

Refractive index values were determined by ellipsometric measurements on ellipsometer SE 800 (SENTECH, Germany). Measurements were performed at two angles ( $50^\circ$  and  $70^\circ$ ) and the results were fitted by Tauc-Lorentz model[5].

## COMPLEMENTARY CHARACTERIZATION TECHNIQUES

The X-ray crystallinity and density were characterized by Grazing Incidence X-ray Diffraction (GI-XRD) and Grazing Incidence X-ray Reflectivity (GI-XRR) on diffraction system X'Pert PRO MRD (PANalytical, Netherlands) equipped with static  $\text{CuK}\alpha$  X-ray tube. Composition of selected films was determined by X-ray photoelectron spectroscopy on monochromated high-performance XPS spectrometer K $\alpha$  Measurements of absolute residual stress were performed by substrate curvature analyses using the Stoney's equation [2][3]:  
ES61-vShS2hf-1RO (1)

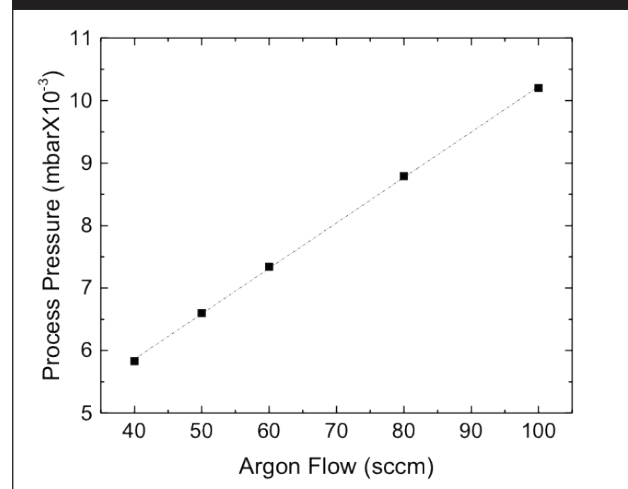
ES the Young's modulus,  $\nu_s$  the Poisson's ratio and  $h_s$  the substrate,  $h_f$  the curvature radii of the substrate after and before deposition. The curvature was determined by white light interferometer Contour

GT-K (Bruker, USA). As the substrate glasses are not perfectly flat, every cover slip was scanned before and after deposition of the silicon nitride film. Two cover slips were used per each set of deposition parameters. The values of radii of curvature were obtained by Gwyddion[4] which determines the curvature with two orthogonal directions. The residual stress was then calculated using the modified Stoney formula for a plate like substrate (Eq. 1). The presented values are average of residual stresses calculated for each radius of curvature. (Thermo Fischer Scientific, USA).

## RESULTS AND DISCUSSION

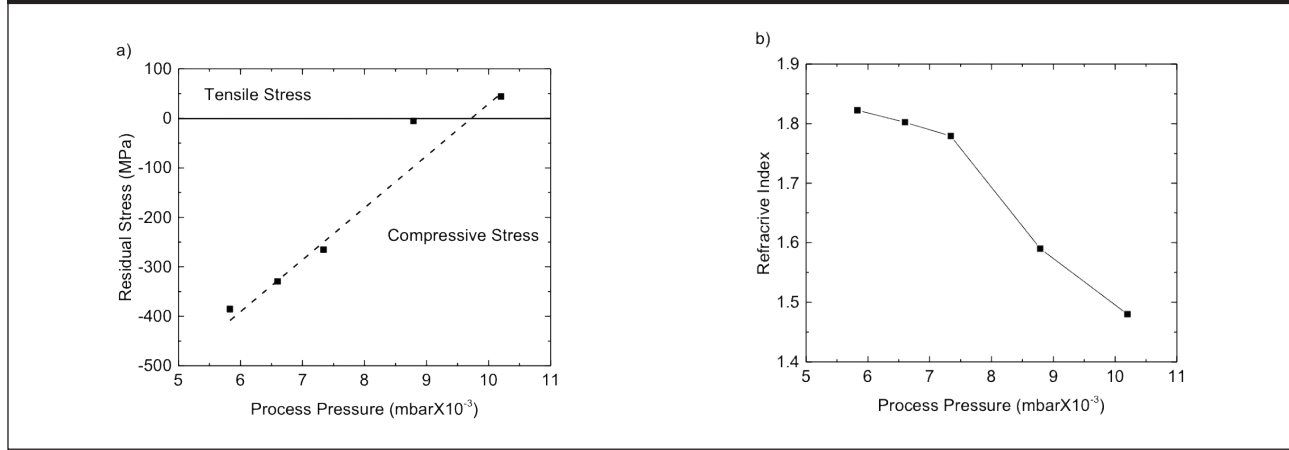
In order to investigate the influence of process pressure, films were deposited at different argon flow values. Figure 1. shows that the process pressure linearly increases with the argon flow.

**Figure 1.** Process pressure as a function of Ar flow at 200 W.



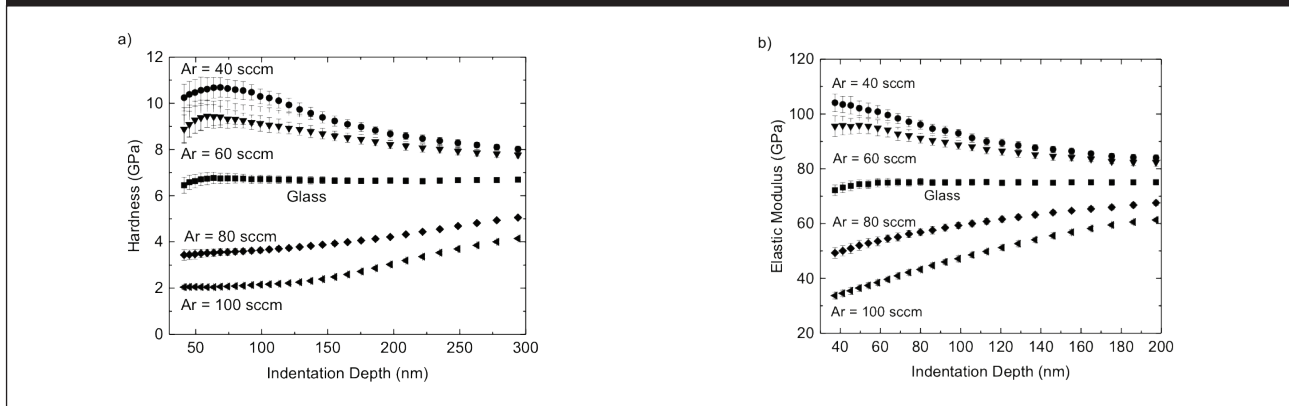
As it can be seen in Figure 2a, the process pressure variation causes rapid change of the residual stress in the samples. The previously compressive stress changes to tensile with the increased process pressure. These results are supported by work of Mescher et al.[6], who observed transition region between compressive and tensile residual stress of silicon nitride samples. Additionally, stress decrease is accompanied by decrease of refractive index (Figure 2b). The possible explanation could be decrease in atomic ordering and film quality for higher pressures. Such behavior has been previously observed by Thornton and Hoffman[7][8] for metals. Lower process pressure allows larger bombardment by sputtered particles resulting in more dense structure. On the other hand, increase of pressure causes more collisions with the ions of working gas. The sputtered particles bombard the film less which results into less dense structure.

**Figure 2.** Residual stress (a) and refractive index at  $\lambda = 633$  nm (b) as a function of process pressure at 200 W.



This idea is supported by nanoindentation measurements of hardness and elastic modulus. Figure 3 shows indentation depth profiles of samples prepared at same deposition power (200 W), constant nitrogen flow (20 sccm) and various values of argon flow. As the thickness of the films is very low (approx. 270 nm) it is very difficult to measure intrinsic hardness and modulus values without influence of the substrate. The substrate effect is obvious for the hardness from indentation depth of 100 nm when the values measured on the coated samples converge with the indentation depth towards the values of the glass substrate. The effect is much stronger for elastic modulus measurements where the convergence is clear from the initial data points. With an assumption that the substrate effect is the same for all the measured films, influence of the process pressure on hardness and reduced modulus can be compared. An increase of process pressure leads to decrease of hardness and reduced modulus, which supports the previously mentioned idea of less dense structure.

**Figure 3.** Hardness (a) and elastic modulus (b) as a function of indentation depth at 200 W.

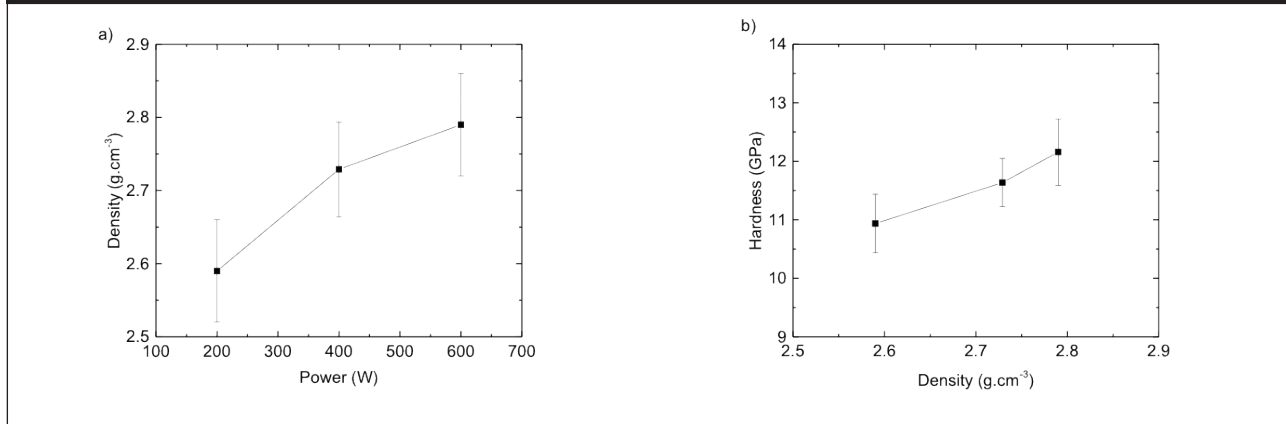


Selected samples (Ar = 50 sccm,  $N_2 = 15$  sccm) were investigated by GI-XRR in order to reveal the influence of sputter power on density of the thin films. All investigated samples were X-ray amorphous. Figure 4a shows an increase of density with the sputter power. This densification leads into hardening of the thin film (Figure 4b). It is expected that the mechanism is the same like for process pressure. Kinetic energy of the sputter particles is increased due to increase of the power and results into more dense structure.

In order to investigate the influence of composition of the film on optical properties, selected samples varying in refractive index were investigated by XPS. Table 1. shows the deposition parameters and measured



Figure 4. Density as a function of sputter power (a) and hardness as a function of density (b).

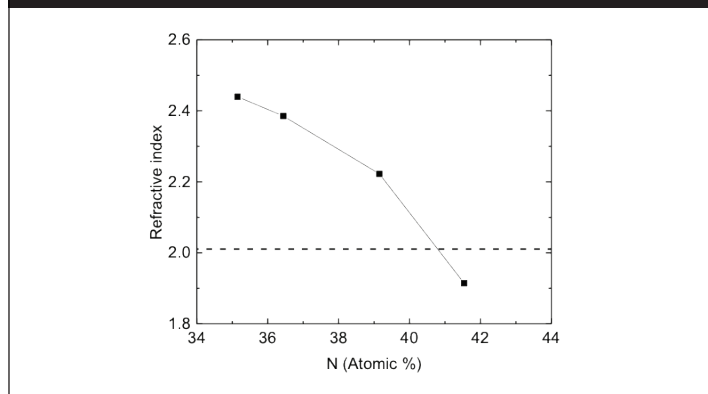


composition of selected samples. As it can be seen in Figure 5, the increasing content of nitrogen in the film leads into decrease of the refractive index towards the value for silicon nitride obtained by Philipp[9]. This indicates a change from Si-rich to N-rich thin films.

Table 1. Deposition parameters, XPS composition results and refractive indices ( $\lambda = 633 \text{ nm}$ ) for selected samples.

Power (W)	N2/Ar	Si (at.%)	N (at.%)	O (at.%)	Ref. index
600	0.25	46.21	39.15	14.64	2.22
600	0.20	46.89	36.44	16.68	2.39
600	0.17	48.40	35.15	16.45	2.44
600	0.50	41.83	41.54	16.63	1.91

Figure 5. Refractive index ( $\lambda = 633 \text{ nm}$ ) as a function of nitrogen atomic content. Dash line represents value measured by Philipp[9].



The stoichiometric N/Si ratio 1.33 was not obtained during our study. This is caused by high amount of oxygen considered as an impurity coming from the residues in chamber or work gas. The lower refractive index of the sample with highest nitrogen content, compared to reference, is expected to be a result of high oxygen content in the investigated film.

## CONCLUSIONS

Variation of process pressure can significantly influence the mechanical and optical properties of silicon nitride thin films. Increasing process pressure causes decrease of hardness and elastic modulus, refractive index and compressive residual stress towards tensile stress values. Increase of deposition power leads into densification and hardening of silicon nitride thin films. The thin film composition has an important influence on the optical properties. Decrease of nitrogen content results into higher refractive index.

## REFERENCES

- [1] G. Bräuer, "Large area glass coating," Surf. Coatings Technol., vol. 112, no. 1-3, pp. 358-365, Feb. 1999.
- [2] G. Stoney, "The Tension of Metallic Films deposited by Electrolysis," Proc. R. Soc. London, vol. 82, no. 553, pp. 172-175, 1909.
- [3] A. Mézin, "Coating internal stress measurement through the curvature method: A geometry-based criterion delimiting the relevance of Stoney's formula," Surf. Coatings Technol., vol. 200, pp. 5259-5267, 2006.
- [4] <http://gwyddion.net>.
- [5] H. Tompkins and E. Irene, Handbook of ellipsometry. Springer Berlin Heidelberg, 2005, 2005.
- [6] M. J. Mescher, M. L. Reed, and T. E. Schlesinger, "Stress Control in Sputtered Silicon Nitride Films," MRS Proc., vol. 472, p. 239, Jan. 1997.
- [7] D. W. Hoffman and J. a. Thornton, "Internal stresses in sputtered chromium," Thin Solid Films, vol. 40, pp. 355-363, 1977.
- [8] D. W. Hoffman and J. a. Thornton, "The compressive stress transition in Al, V, Zr, Nb and W metal films sputtered at low working pressures," Thin Solid Films, vol. 45, no. 2, pp. 387-396, 1977.
- [9] H. R. Philipp, "Optical Properties of Silicon Nitride," J. Electrochem. Soc., vol. 120, no. 2, p. 295, 1973.

SEMİNER  
SALONU  
14:00 - 14:30

## SANATSAL CAMIN TÜRKİYE'DE PLASTİK SANATLAR İÇERİSİNDE YER ALMA SÜRECİ VE ÖNEMLİ PARAMETRELER



**Prof. Dr. Mustafa  
Ağatekin**  
Anadolu Üniversitesi,  
Güzel Sanatlar Fakültesi,  
Cam Bölümü  
mstfagatekin@gmail.com

1967 yılında Balıkesir'de doğdu. 1991 yılında Anadolu Üniversitesi Uygulamalı Güzel Sanatlar Yüksekokulu Seramik Bölümünden mezun oldu. 1993 yılında Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Seramik Ana sanat Dalında Yüksek Lisansını, 2003 yılında da Aynı Enstitüde "Selçuklu dönemi seramik yüzeylerde insan betimlemeleri" konulu teziyle Sanatta Yeterliliğini verdi. 2006 yılında Yardımcı Doçentliğe, 2009 yılında da Doçentliğe atandı. Yurt içinde 6 kişisel sergi açtı. Ulusal ve uluslar arası pek çok karma sergiye katıldı. Yurt içinde düzenlenen yarışmalardan 4 ödül alan sanatçı halen Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Cam bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir.

Ağatekin sanatsal çalışmalarında füzyon, sıcak cam üfleme ve el boyama vitray gibi farklı teknikler kullanmayı tercih etmektedir.

Sanatsal çalışmalarında ana tema; insan ve onun sırları gizemlerinin anlatıldığı öykünmelerdir.

### ÖZET

Türkiye'de sanatsal camın gelişimdeki önemli parametreleri değerlendirmeden önce Anadolu toprakları üzerinde yüzyıllar boyunca farklı kimlik ve türde gelişen camcılık geleneklerinden haberdar olmak gerekir. Bugüne kadar tarihsel bağlamda yapılan araştırmalar bize camın Anadolu toprakları üzerinde pek çok kültür ve uygarlığın ellerinde biçimlendiğine işaret etmektedir ve Roma, Bizans, Osmanlı ve Selçuklu dönemleri bu bağlamda öne çıkmaktadır.

Ancak bizdeki camcılık geleneğinin köklerini Sayın Önder Küçükerman'ın da dediği gibi Doğu Akdeniz camcılık geleneğine yaslamakta mümkündür. Dünyadaki örneklerine baktığımızda camın sanatsal bir çizgiye taşınmasında önemli etkenlerin var olduğu söylenebilir. Bu etkenler gelişimin merkezini besleyen güçlerdir. Bunlar gelişim süreci içerisinde tek tek ya da birbirinden bağımsız olarak cam alanında ekol ya da markalaşmada temel belirleyici olmuştur.

Türkiye'de genel anlamda gelişimin ve değişimin köklerini Cumhuriyet Dönemine yaslamak ve ilk parametre olarak göstermek gerekmektedir. Cumhuriyet dönemi: toplumun tüm dinamiklerini harekete geçiren, büyük bir değişim ve yenileşme ikliminde bir gelişimin ve dönüşümün temellerinin atıldığı bir dönemdir. Cam alanında da bu dönem içerisinde 1934 yılında Paşabahçe Şişe ve Cam Fabrikası kurulmuştur. Kurulduğu günden bugüne hızla büyüyen ve gelişen firma bugün Dünya ve Türkiye'nin en büyük cam üreticilerinden biridir.

Bu araştırmada ülkemizde camın endüstriyel boyuttan, sanat eğitimi ve sanat disiplini içerisinde yer almaya başlanması sürecinde gerçekleştirilen adımları ortaya koymak ve bu anlamda gerek kurumsal gerekse kişisel bazda yapılan uygulama ve girişimleri saptamak hedeflenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** cam sanatı, cam tarihi

SEMİNER  
SALONU  
14:30 - 14:50

## İÇ MEKAN TASARIMINDA KULLANILAN EKOLOJİK CAMLAR



**Yard. Doç. Emine Yüksel**  
**Doç. Dr. Murat Kılıç**  
**Yard. Doç. Dr. Onur Ülker**  
İç Mimarlık ve Çevre  
Tasarımı Bölümü, Güzel  
Sanatlar Fakültesi -  
Kırıkkale Üniversitesi  
[emiyuksel@hotmail.com](mailto:emiyuksel@hotmail.com)  
[kilicm195@yahoo.com](mailto:kilicm195@yahoo.com)  
[ulker79o@hotmail.com](mailto:ulker79o@hotmail.com)

1976 yılında Çorum'da doğdu. 1998 yılında Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü Lisans eğitimini tamamladı. 1998 yılında Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Yüksek Lisans programına kabul edildi. 2008 yılında Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Sanatta Yeterlik programını tamamladı. 2000-2001 tarihleri arasında Lasalle Academy & MEB'te İç Mimarlık bölümünde, 2006-2010 yılları arasında Ziraat Bankasında mimar olarak çalıştı. İstanbul Aydın Üniversitesinde Öğretim Görevlisi, Yeni Yüzyıl ve Gedik Üniversitesinde Yardımcı Doçent olarak görev yaptı. 2014 yılında Kırıkkale Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi'ne Yrd. Doç. kadrosuna atandı. Halen Kırıkkale Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümünde görevine devam etmektedir.

### ÖZET

Günümüzde sürdürülebilirlik kavramı, tüm bilim ve tasarım dallarında olduğu gibi iç mekan tasarımında da etkili olmuştur. Sürdürülebilir tasarım anlayışına göre, kullanılan malzemelerin çevreye zarar vermeyen, geri-dönüşümlü, insan sağlığına zarar veren maddeleri içermeyen özelliklerde olanları tercih edilir. Bu nedenle, sürdürülebilir iç mekan tasarımı yaklaşımında cam malzemenin önemli bir yeri vardır. Cam malzemenin ışığı geçirme ve yansıtma özelliklerinin yanı sıra, geri dönüşümlü olması ve enerji tasarrufu sağlaması gibi özellikleri mekan tasarımı için önemli bir faktördür. Sürdürülebilir tasarım yaklaşımında ayrıca iç mekan tasarımlarında kullanılmak üzere ekolojik camlar geliştirilmiştir. Bu camların temel özellikleri düşük emisyonlu ve yüksek izolasyonlu olmalarıdır. Bulunduğu ortama ısıyı tekrar yansıtan ince bir tabakayla kaplanan ekolojik camlar, iç mekanlarda enerjinin korunmasında normal camlara göre daha etkilidirler. Bu özellikteki camlar sayesinde iç mekanın geniş ve ferah gösterilmesinin yanı sıra hem dış ve iç mekan arasındaki görsel konforun ve hem de havalandırma, aydınlatma gibi fiziksel konforun sağlanmasına da yardımcı olur. Bu çalışmada ayrıca, iç mekanlarda kullanılan ekolojik camlar konusu da ele alınarak, aynı özellikteki camların mekan tasarımına katkılarına değinilmiştir. Sonuç bölümünde ise, konu ile ilgili yapılan örnekler incelenmiş ve değerlendirilmeler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İç Mekan, Sürdürülebilirlik, Ekolojik Cam, Ekolojik Malzeme,

## 1. GİRİŞ

Sürdürülebilir tasarım anlayışında; doğal kaynakların korunması, geri dönüşümlü malzemelerin ve temiz teknolojilerin kullanımı esastır. Sürdürülebilir tasarım yaklaşımında amaç kullanılan malzemelerin doğaya en az zararlı, en az enerjiyle üretileni ve en kullanışlı olanı tercih etmektir. Bu tasarım yaklaşımında malzeme tasarım fikrinin önüne geçer ve geri dönüşümlü malzemeler tercih edilir. Sürdürülebilir malzemeler arasında cam malzemenin ayrı bir yer vardır. Geleneksel olarak cam malzeme daha çok dış cephe için uygun bir malzeme olmasına karşın günümüzde iç mekanlarda da kullanım alanı genişlemiştir. Bu konuda cam teknolojisi alanında yapılan çalışmalarla cam malzemenin özellikleri geliştirilerek yapı içerisinde ısı kayıplarının önlenmesinin yanı sıra, daha büyük ölçülerde üretilmesi ile yapıların hem ısı hem de görsel konforunun artmasına yardımcı olmaktadır. Bu da yapıların daha kullanışlı ve çevreye daha az zarar veren özelliklere sahip olmasına katkı sağlamıştır.

Bu çalışmada iç mekanlarda kullanılan sürdürülebilir iç mekan tasarım anlayışı için geliştirilen ekolojik camların ele alınması amaçlanmıştır. Günümüzde cam malzeme iç mekanlarda zemin kaplamasından tezgah yüzeyine kadar bir çok alanda kullanılması olanaklı hale gelmiştir. Sürdürülebilir tasarım yaklaşımı temiz teknolojilerin üretilmesinin yanı sıra cam malzemenin yüzeyinde ortaya çıkan ısıma, yansımaya ve boyut sorunlarının giderek daha aza indirgenmesi sorununa da çözüm getirmektedir. Ekolojik camlar bu konuda hem yapıların ısı kaybının önlenmesini sağlarken estetik yönden daha ferah olmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada iç mekanlarda kullanılan normal camlar yerine sürdürülebilir tasarım yaklaşımını katkı sağlayan ekolojik camlarla sınırlandırılmıştır.

Sürdürülebilir tasarım cam malzeme üretim teknolojilerinde yeni malzemelerin geliştirilmesine neden olmuştur. Bu konuda Genco Berkin'in yapmış olduğu doktora tez çalışmasında bir bitki atığı olan pirinç çeltiği külünü kullanılarak ekolojik cam üretilmeye çalışılmıştır. Düz cam yapımında kum yerine kullanılarak, ısı soğuran renkli bir cam yapı malzemesi olarak elde edilmiş ve çeşitli deneylerle test edilmiştir. Bu çalışmada, çok ısı kaybına yol açan pencere camının ısı yalıtımı özelliğinin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir mimariye ne ölçüde katkı sağlaması amaç edinilmiştir. Pirinç çeltiği kabuk külünden üretilen ısı korumalı sürdürülebilir cam malzeme için yapılan deneyde spektrometre deneyi, ısı iletkenlik deneyi, kırılma indisi, yansımaya deneyi, elektron mikroskopuyla görüntüleme, mikro sertlik gibi deneyler uygulanmıştır. Bu deney sonucunda camın ısı soğuran camlar ve kızılötesi radyasyonu emen ve geçirimsizlik özelliği sağlanması için tasarlanmıştır. Bu özellik aynı zamanda ısı geçişini azaltmaktadır.

Pirinç Külünden üretilen camdaki düşük görünür bölge ışık geçirimsizliği göz kamaştırıcı parlamayı önleyen (Glare reduction) ve camdan gelen güneş ısını düşürmek istediğinde, odaya giren doğal ışığı da istemeden azaltması şeklinde sonuçlanmıştır (Berkin G.2006,s:i,95).

Tablo1. Pirinç Külü ile ilgili yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve Çizelge 4.06: Şişecam'da Üretilen Bazı Camlar İle Pirinç Çeltiği Camı Geçirgenlik Testi Sonuçları (Berkin G.2006:s:i,95.)

Testler	Birim sonuç	İlgili standartlar
Işık geçirgenlik	Tv(^)= % 10.9	TS 11172
Solar geçirgenlik	Te(^)=% 1	TS11172
Kızılötesi geçirgenlik	Tır= 0.31	TS EN 675
Işık yansıtma	rv(^)= % 4.2	TS 11172
Isı iletkenlik değeri	0.1 W/m.K	TS EN 675
Kırılma indisi	nd= 1.50	TS 11172
Mikrosertlik	(HV 0.2) 7073 38	TS 207-1 ENISO65071

	Gün Işığı Geçirgenliği (380-780nm) Tv std.6mm	Solar Geçirgenlik (300-2500nm) Te std.6mm	Isı geçirgenliği (350-2100nm) TIR std.6mm
Renksiz şeffaf	88	78	71
Mavi	56	41	25
Bronz	50	48	46
Füme	44	46	47
P.Ç.K.K.C. yeşil	10,9	8,0	8,07
P.Ç.K.K.C. füme sülfatlı	201	1,4	0,39
P.Ç.K.K.C. füme	1,8	1,0	0,31



## 2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI

Sürdürülebilirlik son on yıl içerisinde başta mimarlık olmak üzere tüm tasarım alanlarında etkili olmuş bir kavramdır. Sürdürülebilirlik şimdiye kadar bir çevrenin organik ve inorganik kaynaklarla ilgili olarak doğal kaynakların korunması, yeniden kullanılması, geridönüşümü yönünden düşünülmektedir (İnceoğlu M.20:81). Sürdürülebilirlik, esas olarak çevreye duyarlı olan tasarımların yapılmasını öngörür. Bu nedenle, yapıların ısıtılması ve soğumasında ısı kayıplarının en aza indirilmesi önem kazanır. Sürdürülebilirlikle ilgili 3 aşama vardır (İnceoğlu M.:83):

- Yapının planlanması ve yapım öncesi aşama: yer sorunu, malzeme seçimi ve çevresindeki kaynakların saptanması,
- Tasarım ve uygulama aşaması: yalıtım, aktif ve pasif sistemler, rüzgar ve güneş enerjisi kullanımı,
- Yapım sonrası aşaması: geri dönüşüm ve bakım ve onarım aşamasında karşılaşılabilecek sorunların giderilmesi

Kelime anlamı olarak 'sürdürülebilirlik': korunabilme, dayanabilme, muhafaza edebilme ve bakılabilmeye yeteneğidir (Oxford,2007 s:327). Oxford sözlükte 'sustain ve sustainable'kelimesi anlam olarak çevreye zarar vermeden ve kaynakları tüketmeden belirli bir seviyede gelişmelerin devam etmesi şeklinde açıklanmıştır (Oxford sözlük:2001:1454).

Çevre problemleri ilk defa bir resim tekniği olarak algılanan İngiliz ressam Turner'in resimlerinde Londra'nın kirli puslu manzaralarında görülür. 1960 ve 70'lı yıllarda ise, sanat ve tasarım dünyası bu konuyu ele almıştır. Yaşanan petrol krizi ve sağlık problemleri uzmanlar tarafından bu konunun ele alınmasını zorunlu kılmıştır. 90'lı yıllarda ise 'ekolojik, ekonomik, yeşil tasarım veya çevre dostu tasarım' başlıkları altında sürdürülebilir tasarım konusu yaygınlaşmıştır. 1987 yılında yapılan Brudtland Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan rapora göre, sürdürülebilirlik 'insan ihtiyaçlarına sınırlarını çizen yaklaşımın tanımıdır' ve 'bugünün ihtiyaçlarını gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama imkanına zarar vermeden karşılamak' biçiminde beyan edilir (Gökmeral B.2014:51).

Sürdürülebilir tasarım anlayışında daha çok malzemenin niteliği ön plana çıkar. İç mekânlarda gün ışığından maksimum düzeyde yararlanmak sürdürülebilir bir tasarımın birinci ilkesidir. İç mekân tasarımında sürdürülebilir tasarım diğer kriterleri ise şöyle sıralanır. (Aktaş G.2013, s:58). Bu kriterlere uygun malzemelerin kullanılması ile sürdürülebilir tasarım anlayışı desteklenir. Bunlar:

- Doğal ışığın maksimum düzeyde kullanımı,
- İzalasyon ile ısı kayıplarının önlenmesi,
- Doğal havalandırmanın sağlanması,
- Enerji tasarrufu sağlayan sistemlerin uygulanması ve
- Malzemelerin geri dönüşümlü olması,

Fotograf 1. Konutlarda çeşitli cam uygulamaları (kaynak Architectto)



## 3. YÖNTEM VE BULGULAR

Cam malzeme başta ısı kaybı, ışığın yansımaları ve gözü yorması ya da ışığı çok toplayarak gün ışığının malzemelerin renk ve dokularına zarar vermesi gibi istenmeyen durumlara yol açmaktadır. Bu çalışmada ekolojik cam malzemeler sınıflandırılmış ve normal cam malzeme ile özellikleri karşılaştırılmalı biçimde ele alınmıştır. Çalışmamızda ekolojik camlar nelerdir? Hangi özelliklere sahiptir? Normal camlardan farklarının neler olduğu tespit edilmiş ve bu malzemeler örnekler üzerinden iç mekân tasarımına katkıları incelenmiştir.

Levha Camlar	Emaye camlar	Boşluklu cam döşeme	Yanğın kesici ara camlar	Plastik ara tabakalı camlar
Çekme Camlar	Cam masif parke	Cam tuğla	Aynalar	Tabakalı lamine camlar
Flot camlar	Cam mozaik	Tel örgülü emniyet camlar	Akıllı Camlar	Ekolojik camlar
Güvenlik camlar	Yüzeyi asitle aşındırılmış camlar	Füzyon Camlar	Yüzeyi Dokulu Camlar	Emprime (Buzlu) camlar

Yukarıdaki tabloya göre iç mekânlarda çok sayıda malzeme yerine cam kullanılır. Ancak sürdürülebilir tasarım anlayışına katkı sağlayan cam malzemelerin ayrı bir kategoride toplanması gerekir. Gelişmiş cam teknoloji ile üretilen camları yapılan bir çalışmada şu şekillerde sınıflandırılmıştır. (Manav B. Kutlu R. ve Küçükdoğu M.).

## A- PASİF SİSTEMLER

Bu sistemde kullanılan camlar optik yasalardan yararlanılarak gün ışığının alınmasını ve güneş kontrolü yapılmasını sağlamaktadır. Cama bu özellikler üretim aşamasında katılmaktadır (Manav B. Kutlu R. ve Küçükdoğu M.).

- Holografik Camlar
- Açısal Seçici Camlar
- Tayfsal Seçici Camlar
- Prizmatik Paneller
- Lazer kesimli Paneller

## B- AKTİF SİSTEMLER

Bu sistemde yer alan camlar içinden elektrik akımının geçmesi sonucunda saydamlık oranı değişen, gün ışığı kontrolü sağlarken güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlerden oluşmaktadır (Manav B. Kutlu R. ve Küçükdoğu M.). Bunlar:

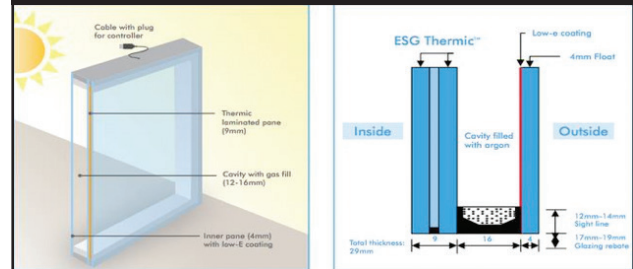
- Fotovoltaik Paneller
- Elektrokromik camlar olarak sıvı kristalli cam parçacıklı camlar (Polymer Dispersed Liquid Crystal)

## 3.1. EKOLOJİK CAMLAR

Ekolojik camlar daha çok ısı ve ışımaya performansına katkı sağlayan yüzey ve iç bölümleri özel film, solüsyon veya çeşitli gazlarla kaplanan camların ortak adıdır. Cam malzemeler temperli, lamine veya ısı şoku ile üretilir. Kaplama tabakası %99 ultraviyole ışınları gibi radyasyonları toplayan nano-teknoloji kullanılan bir takım emisyonların ilave edilmesi ile elde edilirler. Bu sayede bina içerisine giren ısı kaçmasına ve soğumasına engel olunmuş olur. Son yıllarda geliştirilen yeni cam ürünleri sayesinde bu özelliklerin iyileştirilmesine katkı sağlanmaktadır. Cam malzeme az güneşli günlerde dahi en az %30 kadar iç mekânların daha az enerji ile kolay ısınmasını sağlamaktadır.

Cam geri-dönüşümlü bir malzeme iken, doğada geri dönüşümü en zor olan malzemelerden birisidir. Ekolojik camlar enerjiyi saklama ve soğuk havayı dışarı yansıtma (düşük emisyonlu camlar) ve iç mekânlara ısıyı geri iletme özelliğine sahiptirler. Bu tür camlar levha camlara göre daha saydam bir görünüme sahiptirler. Çerçeve konstrüksiyonları ile görsel yönden bütünlük sağlarlar. Çift cam uygulaması ısı kazanı ve ısı kaybını önemli ölçüde azaltarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. Sıcak, soğuk ve karma iklimlerde etkili olmaktadır. Ancak çit camın etkili olması için argon gazı veya metal ile kaplanması iyi sonuç vermektedir. Pencere çerçeveleri ise ahşap, pvc, alüminyum komposit ya da metal olabilmektedir.

Şekil 1. Ekolojik kapsama giren camların genel özellikleri (Kaynak: <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/heated-glass->)



## A- DÜŞÜK EMİSYONLU CAMLAR

Levha camların genel özelliklerinden farklı olarak düşük emisyonlu camlar ise yüzeylerinde özel bir kaplama sayesinde ısıyı içeride tutarlar. Bu tür camlar sert ve yumuşak kaplama olmak üzere iki türde yapılmaktadır. Sert kaplamada ince metaloksit bir malzeme tabakası cam kaplama ile elde edilirken, yumuşak kaplama elektriksel olarak yüklü olan gazın vakum edilmesi ile elde edilirler. Metal molekülleri ise cam yüzey üzerine püskürtülür. Sert camlara göre yumuşak camlar daha Ultraviyole değerlerine sahiptir ve daha az dayanıklıdır. Kullanım olarak sert camlar daha çok tercih edilir.

Tablo 2. Düşük emisyonlu camların özellikleri (kaynak: <http://www.lowedg.co.nz/design> (erişim tarihi:23.10.2015) )

	Çift cam	Düşük emisyonlu normal cam	Düşük emisyonlu sert cam	Düşük emisyonlu yumuşak cam
Dış cephe camı	4mm	4mm	4mm	4mm
Boşluk	12mm	12mm	12mm argon	12mm
İç cephe camı	4mm	4mm	4mm	4mm
Isı kaybı W/m K	2,86	1,93	1,64	1,31
Yansıtma	82	69	69	81
Isı kazanım	0,91	0,63	0,63	0,67
Solma	0,77	0,64	0,64	0,68

## B- YÜKSEK İZOLASYONLU CAMLAR

Düşük emisyonlu bir cam üzerinden ışık geçişi esnasında cama geçen ısının miktarını en aza indirmek için şeffaf bir kaplama kullanır. Bu içerden görünmeyen kaplama ısı kaybını engeller. Camın Ultraviyole değerini azaltır. Isı akışı ve daha iyi yalıtım değerine sahip camın direnci artar. Standart tek cam üzerinde düşük emisyonlu cam kaplamalara göre güneş ışınlarının neden olduğu ısı transferini (güneş radyasyonu) azaltır iken, iletken ve konvektif ısı akışını azaltır.(Wilhide E.,2009 s:220). Bu tür camlar:

- Çift ve üç katmanlı olmak üzere yüksek izolasyona sahiptirler,
- Isı kaybının sağlanmasında ve azaltılmasında kullanımı uygundur,
- Düşük emisyon içerebilirler,
- Argon ve kripton gazları içerebilirler,
- İstenilen boy ve ebatlarda üretilebilirler,

## C- DİĞER CAMLAR

Akıllı camlar özelliklerinden dolayı ekolojik camlar grubu içerisinde yer alır. Bu tür camlar bir yandan ısı kayıplarını düşürmeye çalışan, diğer yandan yazın güneş ışınımı ile oluşan ve istenmeyen ısı kazançlarına engel olan cam türleridir. Bu türler genel olarak birkaç tipik kategori içinde gruplandırılabilir (Altinkaya, T., Özgen A:7). Akıllı camlar ısı, ses, ışık ve iklim koşullarına adaptasyon ve değişebilme özelliğine sahiptir. Bu camlar bilinen malzeme özelliklerinin değiştirilmesiyle farklı özellikler kazandırabilecek niteliktedirler. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda ışığın özelliğine göre akıllı malzemeler farklı şekillerde kullanılabilir. Örneğin akıllı camlara yarı-saydamdan tam saydama geçen veya daha kolaylaşabilen özellikler kazandırılmaktadır.(Yüksel E.,2014 s:8). Bu özellikler şöyle sıralanabilir.

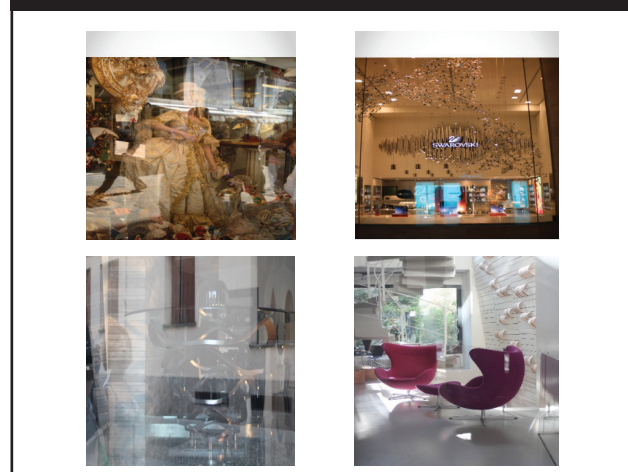
- Likit Kristal kaplama camlar

- Askı parçaçıklı (SPDs) kaplamalı camlar
- Elektrokromatik kaplamalı camlar
- Termokromatik kaplamalı camlar
- Photokromatik kaplamalı camlar
- Kendini temizleyen camlar

Normal camlara göre ekolojik camların iç mekanlara sağladığı katkıları şu şekilde sıralanabilir.

- Tek veya çift olarak kullanılabilirler,
- % 30 oranında parlaklığı kesme ve ultraviyole ışınların neden olduğu hasarı önleyerek ısı verimliliğini sağlaması,
- Standart 3mm bir levha cama göre %70 oranında ısı kaybını önler,
- %77 oranında ısı kazancı sağlar,
- Güneşten gelen zararlı ışınların kontrolüne yardımcı olur,
- Kişin ısı kaybını ve yazın ısı kazancını azaltır,
- Mobilya ve yüzeylerin renklerinin solmasını önler,
- Yansımayı azaltarak iç mekanların daha temiz ve net görünmesini sağlar.

Fotoğraf 3. Ekolojik ve Akıllı Camlar ile normal cam levhaların yansıma özelliklerinin karşılaştırılması



## SONUÇLAR

Sürdürülebilir tasarım anlayışında kullanılan malzemeler tasarım fikrinin önüne geçmiştir. Sürdürülebilir tasarım yaklaşımı çevreye en az zarar vermeyi amaçlayarak, kullanılan malzeme ve teknolojilerin iyileştirilmesine katkı sağlar. Bu yapıda daha çok enerjinin kullanımı, doğal ve yapay havalandırma sistemleri ve ısı kayıpları ile ilgili çözümlerin sağlanması ile sürdürülebilir tasarım yaklaşımı desteklenir. Bu malzemeler arasında mevcut camların özelliklerinin geliştirilmesi ile yeni cam türleri elde edilmiştir.

Ekolojik camlar iç mekanlarda geri-dönüşüm ve ısıyı tutma özellikleri, yansıma sorunu çözme, kendini temizleme gibi konulara çözüm getirilmesi sayesinde hem ısı, hem de görsel konforun sağlanmasına katkı sağlar. Ekolojik veya sürdürülebilir cam malzemelerin çevreye en önemli katkıları ısı performansında ve görmeyi engelleyen yansıma sorununa karşı normal camlara göre daha çok katkı sağlamalarıdır. Ekolojik cam malzemeler bünyelerinde ısıyı toplayarak kışın güneşli günlerde enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır. Bu camların iç mekanlara katkılarını şu şekillerde sıralanır.

- Isıyı toplama ve ısı kaybını engellemek,
- Geniş açıklıkların geçilmesi ile rahat görmeyi sağlamak,
- Çerçevelerin izolasyon detaylarının çözülmesi,
- Cam yüzeylerde oluşan parlama ve yansıma özelliklerinin yok edilmesi,
- Mekanın ferah gözükmesi,
- Yüzey temizlik ve bakımın kolay yapılmasında

Bu konuda yapılan ekolojik cam malzeme araştırmaları temiz teknolojilerin kullanılmasına, cam malzemelerin olumsuz özelliklerinin giderilmesine ve iç mekanların görsel yönden daha kullanışlı olmasına ve doğal aydınlatmanın sağlanmasına katkı sağlar.

## KAYNAKÇA

### KİTAPLAR

1. Dodsworth S. Anderson S.(2015) İç Mekan Tasarımının Temelleri, Literatür yayınları, İstanbul
2. Inceoğlu M. 'Mimarlıkta Söylem' Kuram ve Uygulama,
3. Wildhide E.( 2009) The interior design directory, Quadrille Publishing,Londra
4. Webster's encyclopedic dictionary(1993), Lexicon edition, Deluxe edition

## MAKALELER

1. Altınkaya T., Özgen Aydan 'camın yapısal kullanımının tarihsel gelişimi, Güncel olanaklar ve Uygulama örneklerinin İncelenmesi 'http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/98192995786669699016809463.pdf
2. Asımgil B.( ) Cam Bina Cephelelerinin Optimasyonunda Optimizasyonunda Sürdürülebilir Mimarlığın Rolü, www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri\_11.pdf
3. Yüksel E.(2014) 'Yüzey Kaplaması olarak iç Mekanlarda Kullanılan Akıllı Camlar ve Cam Kaplamalar', "29.Şişecam Cam Sempozyum Bildirisi, sf:1,İstanbul
4. Aktaş G.G. (2013) ' Design Parameters and Initiatives for Ecological and Green Design in Interior Architecture' Wseas Transactions on environment and Development Sayı:, 9, Nisan, http://www.wseas.org/multimedia/journals/environment/2013/56-366.pdf
5. Manav B., Kutlu R., Küçükdoğu M.( ), Mimaride Kullanılan Cam Türlerinden Aydınlatma Açısından İncelenmesi, http://www.emo.org.tr/ekler/21654b2b0214ac5\_ek.pdf

## TEZLER

1. Avlanmaz Esra (2001), Cam Malzemenin alışveriş Merkezlerinde Kullanımı ve İç Mekan Tasarımına etkileri, Danışman:Prod.Nuran YENER,MSU Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul
2. Berkin Genco (2006), Sürdürülebilir Mimari için Pirinç Çeltiği Kabuk Külünden Üretilen ısısı korumumlu Cam yapı malzemesi, Danışman:Murat ERİNÇ,MSU Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul
3. Gökmeral E.Bala (2014), Sürdürülebilir ve Bütünsel Bina Tasarım süreçlerinde İç Mimarlık Disiplininden Yararlanmaya Odaklı Bir araştırma, MSU Fen Bilimleri enstitüsü,İstanbul
4. Uslu Ayşegül (2013), Geniş açıklıklı Yapılarda sürdürülebilir Tasarım, Danışman: Yard. Doç. Dr. Suat ÇAKIR, Yüksek Lisans Tezi, MSU Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul
5. Üner Canan (2001), Cam Malzemenin İç Mekan Yatay Bölücü eleman olarak Kullanım şekillerinin araştırılması, Danışman:Nuran YENER, MSU Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul

## İNTERNET

1. http://www.build.com.au/low-e-glass (erişim tarihi:23.10.2015)
2. http://www.lowedg.co.nz/design (erişim tarihi:23.10.2015)
3. http://www.clearconceptssd.com/2012/05/what-is-low-e-glass/
4. http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/heated-glass-could-be-least-sustainable-building-product-ever-invented.html
5. http://www.greenpagesmalaysia.com/downloads/GPM\_Issue-3\_PDF/ABM-ECOGLOSS.pdf





Yrd. Doç. Dr. Güven Gümgüm  
Uludağ Üniveritesi  
Fen-Edebiyat Fakültesi,  
Arkeoloji Ana Bilim Dalı  
guvengumgum@gmail.com

## ANTİK DÖNEMDE CAMIN MİMARİDE KULLANIMI

### LİSANS

- Trakya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Klasik Arkeoloji Bölümü 2001

### UZMANLIK

Diploma di Specializzazione in Archeologia Classica conseguito presso la Scuola di Specializzazione in Archeologia Classica e Medievale "Dinu Adamesteanu" dell'Università del Salento. 2005/2006 İTALYA

### DOKTORA

Dottorato di Ricerca in "Conoscenza e Valorizzazione del Patrimonio Culturale"- XXI Ciclo, con sede amministrativa presso l'Università del Salento, 2010 İTALYA

### POST-DOKTORA

Definizione di protocolli operativi realizzati attraverso l'analisi e la documentazione diretta di complessi architettonici antichi; analisi e documentazione dei fenomeni e delle cause del degrado; gestione integrata dei con tecniche di rilievo tridimensionale e moduli G.I.S. per il rapporto con il quadro urbanistico e paesaggistico". 2011 İTALYA

## ÖZET

Antik dönemde cam günlük yaşam içinde yer alan materyallerin yapımında kullanılmıştır. Arkeolojik kazılarda ele geçen materyal gurubu içinde seramik ve taş eserlerden sonra en fazla cam eserler yer alır. Vazo, bardak vs. yapımında kullanılan cam aynı zamanda antik dönem mimarisinde de kullanılmıştır. Pencere sistemi içinde cam kullanımı Roma döneminde karşımıza çıkmaktadır. Mimaride mekanların işlevselliklerinin gelişmesi pencere sistemlerini de geliştirmiştir. Antik dönemde cam teknolojisinin gelişmesi ile birlikte düz cam yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Cam, su geçirmez olması, şeffaf olması, karşı tarafın görülebilir olması, termik bir alan oluşturabilmesi, ışık geçiriyor olması gibi özelliklerinden dolayı önemli bir yapı malzemesidir.

Türkiye'de, antik dönem mimarisinde cam kullanımı üzerine çok fazla bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır. Bu durum arkeolojik kazılarda ele geçen mimari buluntular arasında, camın günümüze kadar korunamaması ile ilgili olmalıdır. Antik dönemde cam imalatının teknolojik gelişimi mimariyi de etkilemiştir. Özellikle Roma döneminde M.S.I.yüzyılda camın mimaride kullanılmasının önünü açan bir teknoloji ortaya çıkmış, yapıların pencere sistemi değişmiştir. Cam üretimindeki bu değişim kamu yapılarında kendini göstermiş daha sonra özel yapılarda da kullanılmaya başlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Cam, Pencere, Arkeoloji, Mimari, Tarih

## THE USE OF GLASS WITHIN ARCHITECTURE IN ANTIQUITY

### ABSTRACT

In ancient times, glass was used in the construction of materials which are used in everyday life. In archaeological excavations, glass works are among the most found material group after the ceramic and stone artifacts. Glass which is used in the making of vases, cups et cetera is also used in the ancient architecture of antiquity. We come across with the use of glass in the window systems in the Roman period. The development of functionality of the spaces in architecture has advanced the window systems.

In ancient times, along with the development of glass technology, plain glass has been used in structures. Glass is an important building material because of its features such as being waterproof, and transparent, the visibility of opposite side, creating a thermal area, having light conductive.

In Turkey, there are not many scientific studies on the use of glass in ancient architecture. It should be related with the not protection of glass until today. In ancient period, the technological development of glass production also



affected the architecture. Especially, during the Roman period, in the 1st century AD., a technology which revealed the use of glass in architecture has emerged and the window system of the structure has changed. This change in glass production has shown itself in public buildings first and later it began to be used in private buildings.

**Keywords:** *Glass, window, archaeology, architecture and history*

Cam üretimi M.Ö. 3000'lerin sonlarına doğru kuzey Mezopotamya'da<sup>1</sup> ortaya çıkmıştır. M.Ö.16. yüzyılda Türkiye'nin güney doğusunda Suriye'nin kuzey Mitanni krallığının ürettiği cam eserler karşımıza çıkar<sup>2</sup>. Mezopotamya'da üçüncü Ur sülalasına ait M.Ö. 2450 yıllarına tarihlenen mezarlardan ele geçen boncuklar Mısır'dan önceki cam buluntulara ait örneklerdir. M.Ö. 1700 lü yıllarda Irak'ta bulunan çivi yazılı tabletlerde cam yapımı hakkında bilgiler yer alır<sup>3</sup>. M.Ö. XV. yüzyılda Mısır Firavunu III. Tutmosis'in, Mezopotamya cam işçilerini Mısır'a götürdüğü bilinir. Yazılı belge olarak Boğazköy'de ortaya çıkartılan tabletler cam hakkında bilgileri de içeren metinler barındırır<sup>4</sup>. Urartu'da süslemede kullanılan boncuklar camdan yapılmışlardır<sup>5</sup>.

Antalyanın Kaş ilçesinin Uluburun mevkiinde 1982 yılında bulunan Uluburun batığında yaklaşık 20 tonluk bir yük tespit edilmiştir. Her biri 2 kg ağırlığında yaklaşık 350 kg cam külçe ele geçirilmiştir<sup>6</sup>. Cam külçeler üzerinde yapılan arkeometrik çalışmalar, cam ham maddesinin birincil atölyelerde nasıl hazırlanıp, obje yapım atölyelerine satıldığı konusunda önemli bilgiler vermiştir<sup>7</sup>. Uluburun batığındaki cam külçeler Tunç çağı için önemli bilgiler vermektedir. İtalya'da Adriyatik Denizi'nde, Venedik kentine yakın Grado yakınlarında ortaya çıkartılan Roma dönemine ait bir batık Roma dönemi camı hakkında önemli bilgiler vermiştir. Roma dönemine ait Julia Felix adı verilen batık M.S.II. yüzyıla aittir. Batık kalıntıları 1986 yılında Adriyatik Denizi'nin 15 metre altında tespit edilmiştir<sup>8</sup>. Amphora yükünün yanında, ahşaptan kasalar içinde olduğu düşünülen cam kalıntılarının yanında fırınlarda kullanılan volkanik kumlara da rastlanılmıştır. Bu batık Adriyatik Denizi üzerinde yer alan antik yerleşimlerin ticari ilişkilerini de ortaya çıkarmıştır. Aquileia antik kentinin bu ilişkilerde oldukça önemli bir yere sahip olduğu anlaşılmıştır<sup>9</sup>.

Cam doğada bulunan bazı materyallerin değişime uğratılması sonucu elde edilir. Camın elde edilmesinde ana yaygın material Silis (SiO<sub>2</sub>) ve kuvarstır. 1000 °C sıvı durumda olan cam form alamaz, 800 °C'de ve 600 °C'de plastik özelliği artar. 500 °C altında deforme olmayacak durumda kalır. Antik formasyonlu deniz ve çöl kumları çok büyük oranda kuvars barındırmakta, büyük bir silis deposu olarak değerlendirilmiştir. Kayaların içindedir ham silis bulunduğundan kaya ve daha küçük parçacıklarda ayırt edilip toplanıyordu<sup>10</sup>.

Ham cam maddesini eritmek için çok yüksek bir ısı yani yaklaşık olarak 1700 °C gerekiyordu ve bu ısıya fırınların özellikleri ve ısıyı oluşturan kömür ve ahşap ile ulaşılıyordu. Fakat ana maddeyi iyi tanımaya başlayan insan, ana madde üzerine sodyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve kurşun eklenerek 1700 °C yerine 1000 °C'de camı işleme fırsatını yakalamış oldu. Hangi malzeme kullanıyor ise onun adını alıyordu. Antik dönemin sodyum karbonatı (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) tuzlu göllerde ve çöllerde bulunurdu. Cama renk verilmesi istendiğinde metal pigmentler de eklenebiliyordu (bakır, demir, magnezyum) bu şekilde mavi kırmızı sarı yeşil renkler elde edilebiliyordu<sup>11</sup>.

Son yıllardaki arkeolojik araştırmalar sonucunda büyük oranlarda birincil fırınlama ve ikincil fırınlama sonrası buluntular ele geçmiş ve arkeometrik çalışmalarla analizler yapılmıştır<sup>12</sup>.

Cam ham maddesinin ilk fırınlaması yapılarak cam üretimine hazır hale getirilmesi Suriye, Filistin ve Mısır'da karşımıza çıkmaktadır. Doğu, ilk fırınlamaları yapıp batıya satmıştır. Bundan dolayı batıda ikinci fırınlamaya ait izler arkeolojik çalışmalarla belgelenmiştir. IX. yüzyıldan itibaren batı cam atölyelerinin birincil ham maddede ürettikleri gözlemlenmiştir. Cam yapımında Potasyumun önemli bir rol oynadığını görmekteyiz, artık çöllerde bulunan Kalsiyum karbonat yerine, eğrelti otlarında ve Kayın ağacında bulunan potasyum kullanılmaya başlanmıştır. Bundan dolayı Almanya cama, Waldglas yani orman camı adını vermiştir. Fransızlar verre de fougere adını vermişlerdir. Ahşap küllerinin içinde yoğun miktarda yer alan magnezyum ve kalsiyum kullanılmıştır<sup>13</sup>.

Antik dönemde mimari denildiği zaman bakılması gereken kaynaklar arasında yer alan Vitruvius, yapılarda kullanılan cam hakkında herhangi bir bilgi vermemiştir. Seneca 65 yıllarında yazılmış, Epistulae morales ad Lucilium adlı eserinde camdan bahsetmiştir.

Yaşlı Pilinus (Gaius Plinius Secundus, Nat.Hist. XXXVI. Kitabında 191-200) camın bulunmasının tesadüfi olduğunu anlatmıştır. Theophrastus'da cam içindeki maddelerden bahsetmiştir. Cicero, camın en pahalı malzemeler gurubunda olduğunu yazar ve yün, kağıt ve camın pahalı olduğunu herkes tarafından alınmadığını belirtir. Ünlü Aurelius Prudentius Clemens M.S.IV. yüzyılın sonlarında, aydınlatma için kullanılan yağın cam ile beraber dini törenlerde kullanıldığını yazar<sup>14</sup>.

Cam mimaride pencerelerin dışında duvar kaplamalarında, tavan kaplamalarında mozaik tesseraların yapımında ve opus sectilelerde kullanılmıştır.

M.Ö. 58 yılına ait Roma'da bulunan bir tiyatrunun sahne binasının alt kat duvar kaplamalarının mermer ile ikinci kat duvar kaplamalarının ise cam plakalar ile kaplandığı bilinmektedir<sup>15</sup>.

Mimaride en çok karşımıza çıkan pencere sistemi hem işlevsellik hem de mimari estetik açısından önemlidir. Camın çerçevesiz bir yapı içinde pencere olarak kullanılması mekanların kullanım amaçlarını da zenginleştirip değiştirmiştir.

Cam kullanılmadan önce, inceltmiş hayvan derileri ve Mısır'da da papürs kağıtlarının pencerede cam yerine kullanıldığı bilinmektedir<sup>16</sup>.

M.S. I. yüzyıldan itibaren<sup>17</sup>, Roma döneminde cam işleme tekniğinin gelişmesi mimaride camın kullanımının önünü açmıştır.

Pencere camı yapım teknikleri dönemine göre gelişmiş ve mimaride yerini almıştır. Pencere camı yapım teknikleri, döküm tekniği, silindir cam, göbekli cam tekniği ve vitray tekniğidir<sup>18</sup>.

Döküm tekniği, cam yapımında Roma döneminde ilk teknik olarak görülebilir. Homojen bir şekilde yayılmadığı görülür. Bir yüzey pürüzsüz olarak kalırken diğer yüzey tam olarak pürüzsüz bir şekilde oluşmaz. Camın kalınlığı her noktada aynı değildir<sup>19</sup>. Eritilen cam bir dikdörtgen kalıp içine dökülür. Bu kalıp taş ya da ıslatılmış ahşaptan oluşur<sup>20</sup>. Kalıbın alt tarafına biraz kum serilmesi camın alta yapışmasını engeller<sup>21</sup>. Bu camlar diğer camlara bakıldığında daha kalın olup 1 cm bir spatula ile bir taraftan düzleştirilmek istenildiğinden homojen bir yapısı yoktur. Ve aynı zamanda diğer camlara oranla daha az şeffaftır. Kalıba akıtma ile yapılan döküm tekniğinin bir çok kalite limiti vardır.

Akıtma ile yapılan döküm sistemi üfleme yönteminin ortaya çıkması ile birlikte ortadan kalktı. Kaliteli düz cam üfleme yöntemi ile ortaya çıkmaya başladı. Silindir sistem M.S. III. yüzyıldan sonra daha çok yaygınlaşmaya başladı<sup>22</sup>. İçi delik bir çubuk yardımı ile üflenerek bir balon elde ediliyordu, bir yandan üfleme devam ederken diğer yandan ise bir mermer yüzey üzerinde yuvarlatılıyor, böylelikle uzun bir silindir elde ediliyordu. İstenilen büyüklüğe ulaşıncaya kadar her iki bitim noktasından kesiliyordu. Uzun bir şekilde ikiye ayrılan parça halen yumuşak olduğu için düzleşmeye başlıyordu. Bu teknik, İmparator Neron'dan itibaren çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Silindir cam rengi, akıtma ile dökme yapılan cam renginden daha açık bir renge sahiptir. Silindir camlarda bir yüzeye yaslama yapıldığından bir yüzey diğer yüzeye göre pürüzlü kalıyordu.

Fakat daha sonra ortaya çıkan Göbekli<sup>23</sup> (disk) cam türü ile her iki tarafı daha pürüzsüz yüzeyler elde edildi<sup>24</sup>. Üfleme yöntemi ile yuvarlak bir disk haline getirilmiş cam çevrilir ve istenilen boyuta getirilirdi. Ortada kalan ize, öküz gözü denilirdi. Göbekli camlar diğer düz camlara göre daha az ağırlığa sahiptir. Göbekli yuvarlak camların açılır kapanır bir mekanizma ile kullanılması zordur ve genelde sabit olarak karşımıza çıkmışlardır. Bu camlar dikdörtgen ya da kare formlarında kesilirler. Çap 12 ve 27 cm arasındadır, orta kısmı ve yanları daha kalındır.

Göbekli camın kullanılması M.S. III yüzyıldan önce olmamalıdır<sup>25</sup>. Geç Roma döneminden itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Bizans dönemi ile birlikte yoğun üretim başlar<sup>26</sup>.

Baatz'a göre ilk olarak camın mimaride pencere olarak kullanılması İtalya'da M.Ö.79'lu yıllarda Pompei ve Herculaneum kentlerinde gerçekleşmiştir<sup>27</sup>. Vezüv patlaması öncesi, Pompei'nin zengin villalarında bronz kapılarda ve pencerelerin ara kısımlarında cam kullanıldığını görüyoruz. Roma villalarında karşımıza çıkan en erken pencere camı buluntusu Giulio-Claudio dönemine aittir ve en geç M.S II. yüzyıl buluntusudur. Roma'da bulunan Forum Hamamı'nın ilk yapım evresinde pencere camının kullanıldığına ait bilgiler yoktur. Daha sonraki dönemde Apodyterium ve Tepidarium eklemelerinde camın kullanıldığı görülmüştür<sup>28</sup>. Roma İmparatorluk dönemi hamamları çok sayıda ziyaretçi alıyordu ve iç mekanın aydınlatılması önemli idi<sup>29</sup>. Dükkan vitrinlerinin ve pencerelerin asmalı ahşap plakalar ile kapatıldığı, gündüz ise bu plakaların söküldüğüne dair taşlar üzerinde izler tespit edilmiştir.

Roma döneminde, avlulu peristilli evlerde atriumun yola yakın olarak yapılması cam pencerelerden dışarının görüldüğü anlamına gelebilir<sup>30</sup>. Zengin villaların yer aldığı Zeugma antik kentinde cam penceresi kalıntılarının bulunamamış olması ilginçtir. Cam ekonomik olarak değerli bir materyal olduğundan antik dönemde yalnızca zenginler tarafından kullanılabiliştir. 301'de Afrodiasias'da bulunan bir yazıtta pencere cam fiyatları hakkında bilgi verilmektedir<sup>31</sup>.

Sardes'de bulunan göbekli camların boyutları 30-40 santimetredir<sup>32</sup>. Sardes'de tam olarak dikdörtgen formda yer alan pencere camları M.S. 616 yılına kadar kullanılmıştır<sup>33</sup>. Düz camların bulunduğu bu alanlar, hamam yapılarının bulunduğu alanlar, Palestra ve Bizans dükkanlarının olduğu caddedir. M.S. 7 yüzyıla kadar Beth Shean'da göbekli camlar kullanılırken düz cam kullanımını Umayyad Pella'da görmekteyiz. Geç Roma döneminden itibaren San Vitale de Ravenna'da VI. yüzyıla ait camdan diskler bulunmuştur. Bu diskler 17-26 cm çaplarında oluo mavi, yeşil, sarı ve kırmızı renklerde dirler. 7000 cam parçasından ortaya çıkarılmış düz camların ölçüleri 12x15 cm boyutlarındadır. Bu parçalar San Vincenzo Maggiore'de bir arkeolojik kazıda ele geçmişlerdir. XIII. yüzyıldan itibaren artık çok yoğun bir şekilde pencere camları karşımıza çıkmaktadır<sup>34</sup>. Pencere camlarında ahşap kasaların yanında tuğladan yapılmış kasalar da kullanılmıştır.

Anadolu'da arkeolojik kazılarda pencere camları ortaya çıkarılmaktadır. Pencere camları küçük boyutlarda olup cam genişliği ve yüksekliği hakkında çok fazla bir bilgi vermemektedir. Pencere camının az miktarda olmasında, cam kırıklarının yeniden eritilerek kullanılmasının da etkisi olabilir. Diğer bir etki ise, yerleşim yerlerinde terkedilmenin nasıl olduğu konusundadır. Yerleşim yerlerinin savaş, doğal afet, erozyon gibi etkilerle terkedilmesi hassas olan camın korunmasında belirleyici olabilir.

1. Tek 2005,109; Baykan, Baykan 2012:6
2. Tek 2005,110
3. Başaran, 60-62
4. Tek 2005,110
5. Tek 2005,111
6. Pulak Cemal 2006, 70
7. Rehren 2006, 535-538
8. Beltrame, Gaddi 2007,138-147
9. Dell'Amico 1997, 93-110; Beltrame, Gaddi 2007,138-147
10. Cagnana 2012,118
11. Cagnana 2012,118-119
12. Schibille, Marii, Rehren 2008, 627-642
13. Cagnana 2012, 119
14. O'Hea 2007, 239-246.
15. Baykan, Baykan 2012, 43
16. Arkeolojik alanlarda ortaya çıkan cam buluntularının teknik olarak üretimi hakkında genel bilgiler için ; Moretti 2001, 1-14
17. O'Hea, 2007, 233
18. Baykan, Baykan 2012, 37-42; O'Hea 2007, 233
19. Foy, Fontaine 2008, 408-430; Cagnana 2012, 119
20. Dietwulf 1990, 7
21. Dietwulf 1990, 7
22. Cagnana 2012, 120
23. Baykan, Orbeyi , Yalçın, 2007, 879
24. Dietwulf 1990, 9
25. Margaret 2007, 233
26. Dietwulf 1990, 9
27. Dietwulf 1990, 7
28. Dietwulf 1990, 6
29. James, 1996, 717-724
30. Margaret 2007,233
31. Margaret 2006,236
32. Margaret 2006,236
33. Margaret 2006,237
34. Cagnana 2000,184-193

## KAYNAKLAR

1. Tolga T.A., 2005 'Antik Dönemde Anadolu'da Cam Üretimi':109, In Uluslararası Katılımlı, Cam, Emaye Sır ve Boya Semineri, Seres 2005 III. 109-123.
2. Baykan C., Baykan D., 2012, Eski Çağda Cam: Türk Eski Çağ Bilimleri Enstitüsü Yayınları, 6.
3. Cagnana A., Brogiolo G.P., 2012, 'Il Vetro' in Cagnana, Brogiolo (eds.), Archeologia dell'architettura metodi e interpretazione, Borgo S.Lorenzo 118-122.
4. Pulak C., 2006, Uluburun Batığı, Bochum Alman Madencilik Müzesinde düzenlenen Uluburun Gemisi Sergisi Kataloğu: 70.
5. Rehren T., 2006, 'Geç Tunç Çağı'nda cam Ticareti' Bochum Alman Madencilik Müzesinde düzenlenen Uluburun Gemisi Sergisi Kataloğu: 535-538.
6. Beltrame C., Gaddi D., 2007, 'Preliminary Analysis of the Hull of the Roman Ship of Grado (Gorizia, Italy)', in The international journal of Nautical Archaeology 36.1, 2007:138-147.

7. Dell'Amico P., 1997, 'Il relitto di Grado: considerazioni preliminari', in Archeologia Subacquea. Studi, ricerche e documenti II, Roma 1997: 93-110.

8. Schibille N., Marii F., Rehren Th., 2008, 'Characterization and Provenance of Late Antique Window Glass From The Petra Church In Jordan' : 627-642.

9. O'Hea M. 2007. 'Glass in Late Antiquity in the Near East' in L. Lavan, E. Zanini, A. Sarantis (eds.) Technology in Transition A.D. 300-650, Brill, 239-246.

10. Foy D., Fontaine S.D. 2008, 'Diversité et évolution des vitrages de l'antiquité et du haut moyen Age, Gallia n°65, 2008, Paris : CNRS Edition, 408-430.

11. Moretti C., 2001, 'Le Tecniche di Fabbricazione dei vetri archeologici. Riesame critico delle ipotesi avanzate', in Atti della V Giornata Nazionale di Studio Vetri di ogni tempo, Massa Martana (Perugia) 30 ottobre 1999, Milano, 1-14.

12. Dietwulf B., 1990, 7: 'Fensterglas, Glasfenster und Architektur', Bautechnik der Antike, in Internat. Kolloquium in Berlin vom 15.-17. Febr. (5).

13. Baykan, C., N. Orbeyi , B.S., Yalçın, 2007, 879. 'Göbekli Cam Üretim Teknolojisi ve Mimaride Pencere Camı Olarak Kullanımı' IV. Uluslararası Katılımlı Seramik, cam, Emaye, Sır ve Boya Semineri, Eskişehir, 879-890.

14. Cagnana A., 2000, 'Archeologia dei Materiali da Costruzione', S.P.A., Societa Archeologica srl, 184-193

SEMİNER  
SALONU  
15:10 - 15:30

## SANATSAL CAM TASARIMINDA KIRMIZI RENKLİ CAMIN KULLANIMI VE ISIL İŞLEM SÜRECİNDE GÖZLEMLENEN ETKİLER



**Yrd. Doç. Dr. Göktaş  
Günkaya**  
**Amaneh Manafidizaji**  
**Prof. Mustafa Ağatekin**  
Anadolu Üniversitesi,  
Seramik Cam Bölümü  
ggunkaya@anadolu.edu.tr  
amaneh\_manafidizaji@  
anadolu.edu.tr  
magatekin@anadolu.edu.tr

*Göktaş Günkaya, 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 ünvanını 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, Cam Bölümünde yardımcı doçent olarak görev yapmaktadır.*

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

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler ışığında bilim ve sanat birbirinin çok faydalı iki parçası olmuştur. Teknolojinin sanatı yönlendirmede ve istenilen temayı anlatmada değerli katkıları açıktır. Teknolojinin cam sanatında kullanımı ile elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliği artırılmakta aynı zamanda elde edilen sonucun bilimsel açıklaması yapılarak sebep sonuç ilişkisi ortaya konabilmektedir.

Camın ısıtma işlemi sırasında kullanılan parametreler ısıtma hızı, bekleme süreleri, ara basamaklar, en yüksek sıcaklık noktası, soğutma hızıdır. Camın renk tonunun değiştirilmesinde ayrıca camın kalıp içerisinde olup olmaması, camın kalınlığı, camın nasıl bir ortamda ısıtma işlemi tabii tutulduğu ve camın kompozisyonu da önemli etkenlerdendir. Özellikle çalışmalarda renkli camlar kullanıldığında farklı ısıtma parametreleri kullanılarak aynı cam kompozisyonu ile değişik renk tonları ve renkte camlar elde edilebilmektedir. Özellikle kırmızı renkli camlarda en yüksek işlem sıcaklığının artırılması vb. etkiler ile cam kompozisyonunu oluşturan malzemelerin reaksiyonlarının değiştirilmesi sonucunda renk değişimi meydana gelmektedir. Bu reaksiyonları kontrol ederek sanatsal çalışmalarda farklı amaçlara ulaşabilmek için kırmızı renk tonu kontrol altında tutulabilmektedir.

Bu çalışmada özellikle kırmızı renk tonundaki camlar farklı sıcaklık, süre, ısıtma hızı, soğutma hızı, en yüksek işlem sıcaklığı gibi değişik parametrelerde ısıtma işlemi tabii tutularak çeşitli renk tonlarına dönüştürülmesi sağlanmıştır. Farklı fırın diyagramları kullanılarak elde edilen camlarda renk değişiminin yanısıra opaklık, saydamlık ve yarı saydamlık gibi etkilerde gözlemlenmiştir. Hazırlanan cam örneklerinin XRD ve SEM gibi yöntemler ile analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz yöntemleriyle elde edilen renk tonlarının ve etkilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunlarla birlikte kırmızının çeşitli tonlarında cam kullanılarak sanatsal çalışmalar üretilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Renkli cam, kırmızı cam, ısıtma işlemi, renk tonu



## GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI CAM ESNEKLİK ÖLÇÜM SİSTEMİ



Yrd. Doç. Dr. İsmail Serkan  
Üncü<sup>1</sup>

Erdi Kaban<sup>1</sup>

Meltem Duran<sup>1</sup>

Safinur Coşkunsu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel  
Üniversitesi, Elektrik  
Elektronik Mühendisliği,

<sup>2</sup>Süleyman Demirel  
Üniversitesi, Bilgisayar  
Mühendisliği

serkanuncu@sdu.edu.tr

erdikaban55@gmail.com

meltemduran1992@gmail.com

safinur\_coskunsu@hotmail.com

Gazi Üniversitesi Elektrik eğitiminden 1996 yılında mezun oldu. 1999 yılında yüksek lisans ve 2004 yılında aynı bölümde doktora eğitimini tamamladı. 2007 yılında beri Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Yrd. Doçent olarak çalışmaktadır.

### ÖZET

Bu çalışmada cam esnekliğini görüntü işleme teknikleriyle ölçen bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemin cam esnemesi hidrolik bir kuvvet uygulayıcı yardımı ile geliştirilmiştir. Esneme basıncı basamak basamak uygulanarak esnemesi fotoğraflanmıştır. Kırılma anı fotoğrafı üzerinden görüntü işleme algoritmaları ile esneme miktarı uzunluğu ölçülmüştür. Ölçümün kalitesi cam kalınlığına bağlı olarak değişmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** görüntü işleme, cam esneme

### ABSTRACT

In this study, a system that measures the elasticity of the glass via image processing techniques is developed. This elasticity is provided with the help of a hydraulic power equipment. Image processing and the amount of elasticity length are measured by image processing algorithm through applying elasticity pressure step by step and photographing the process on the instant of failure photo. The quality of the measurement changes depending on the thickness of glass.

**Keywords:** image processing, elasticity of the glass

### GİRİŞ

Günümüzde küçük ve orta ölçekli cam üretim fabrikalarında camın dayanıklılığı basit ve sağlam olmayan düzeneklerle yapılmaktadır. Bu düzenekler ise yeterli olmamaktadır. Bundan dolayı endüstriyel alanlarda eksikliği hissedilmektedir.

Türk Cam Sanayii, bugün camın ana gruplarını oluşturan düzcam (işlenmiş camlar dâhil), cam ev eşyası, camdan sınav kapları, cam ambalaj, cam elyafı, taşıyıcı ve cam yünü üretimi en ileri teknolojilerle gelişmesini ve büyümesini sürdürmektedir. Türkiye cam sektörü, Türkiye İstatistik Kurumunun hazırladığı verilere son 10 yılda üretimini yaklaşık %140 oranında arttırarak dünya cam sektöründe etkin konuma gelmiştir. Yurt içi üretim kapasitesinin %50'si düzcam, %32'si cam ambalaj, %16'sı cam ev eşyası, %2'lik kısmı ise cam elyafından oluşmaktadır. Türkiye ve çevre ülkelerdeki yatırımlar ile üretim kapasitesi 4 milyon tonu aşan sektör, camın ana sahalarındaki büyüklükleri ile dünyanın ve Avrupa'nın ilk 10'u arasında yer almayı başarmaktadır. Türkiye cam sektörü yaklaşık 2,3 milyar \$ üretim değeri ile Türkiye ekonomisinin binde 3'ünü üretmekte ve yaklaşık 20 bin kişiye istihdam yaratmaktadır. Cam sektörü ürünleriyle inşaat, otomotiv, beyaz eşya, gıda, meşrubat, ilaç, kozmetik, turizm, mobilya, boru, elektrik-elektronik ve enerji gibi pek çok sektöre girdi veren temel sanayi dallarından biri olup; ülke ekonomisi için büyük önem arz etmektedir [1].

Endüstriyel alan da bu kadar önemli olan cam üretimine karşılık dayanıklılık testi sağlam olmayan sistemlerle yapılmaktadır. TÜİK verilerinde de görüldüğü gibi geniş pazara sahip cam sektörünün dayanıklılık testi için akademik ve pratik uygulamalar gerçekleştirilmesi kaçınılmaz olmuştur.



Kırılma mekaniğine dayalı dayanım testleri çeşitli katı maddelerin dayanıklılık testlerinde kullanılmıştır. Akdemir (1992) yaptığı çalışmada cam elyaf takviyeli plastiklerin yüzey çatlağının gerilmeli korozyon ve çatlak büyüme hızı davranışları kırılma mekaniği deneyleriyle incelemiştir [2]. Yaprak (2002), çalışmasında beton kaplamalı kanallarda malzeme dayanıklılığını artırma olanaklarını incelerken uyguladığı testlerden biri de basınç testidir [3]. Özkan (2006), yaptığı çalışmada bağlayıcı olarak öğütülmüş atık şişe camlar ve endüstriyel yan ürünler içeren harçların özelliklerini araştırmıştır. Numunelerin basınç dayanımı, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları araştırmıştır [4]. Avcı vd. (2007), çalışmalarında cam kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerde kırılma davranışlarını incelemiştir. Çalışmalarında boydan boya çatlak açılmış cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemenin sabit yük altında kırılma ve hasar davranışlarını incelemiştir [5]. Kumru (2008), çalışmasında metalik malzemelerde yorulma dayanımını incelemek için kullanılan yorulma makinelerini araştırmıştır. Kullanılan yorulma deney makineleri çekme, çekme basma, çevresel eğme, ileri-geri eğme ve burma yanında bileşik zorlamaları da mümkün kıldığını belirtmiştir [6]. Haboğlu (2012), yaptığı çalışmada farklı cam elyaf tipleri üzerinde lazerle mesafe ölçüm sensörüne sahip bir Vakum İnfüzyon deneysel düzeneği üzerinde gerinim değişim hızını kontrol ederek sıkıştırma/salma deneyleri gerçekleştirmiştir [7].

## MATERYAL VE METOT

Cam esnekliği ölçümü için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bir tanesinde veriler bir sensör ile elde edilmekte, diğerinde ise web kameradan alınan fotoğraflar üzerinden görüntü işleme yapılarak elde edilmektedir.

Cam esneklik ölçüm sistemi yazılım ve donanım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Hazırlanan sistemin donanımı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Sistemin donanım kısmını oluşturan temel parçalar Arduino kart, motor sürücü devresi, hidrolik pompa ve DC motordur. Arduino kart üzerinden motor sürücü devresine uygulanan gerilim ile DC motor kontrol edilmektedir. Hidrolik pompa DC motorun hareketini alarak cama bir basınç uygulamaktadır. Kullanılan Load Cell sensörü camın üzerinden aldığı basınç verilerini tekrar Arduino kart üzerinden hazırlanan yazılıma gönderir. Cam maddesinin kırılma dayanım değeri yazılım arayüzünde grafiksel olarak gösterilmektedir.

Şekil 1. Cam Esneklik Ölçüm Sistemi



Cam eğimini ölçmek için C# programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Hazırlanan bu yazılım sayesinde cam dayanımında maksimum eğim ölçülebilmektedir.

Programın arayüzü kolaylıkla anlaşılır bir yapıya sahiptir. Geliştirilen programda web kamera ile çekilerek bilgisayara kaydedilmiş fotoğraflardan sağlanabileceği gibi program aracılığıyla çekilen fotoğraflardan da temin edilebilmektedir. Bu fotoğraflar üzerinde hazırlanan görüntü işleme algoritmaları ile camın kırılmadan önceki esneme açıklığı ölçülebilmektedir.

Şekil 2'de programın arayüzü görülmektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada cam dayanımını ölçebilecek bir sistem tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda camın kırılma dayanım değerini hem görüntü işleme ile hem de sensörler ile ölçebilen bir sistem geliştirilmiştir. Cam üzerine basınç uygulayan hidrolik sisteme redüktörlü DC motor eklenerek elektrikli hale getirilen ve piyasada hali hazırda bulunan elektrikli hidrolik sistemlere göre 4-5 kat maliyeti azaltılarak avantaj sağlanmıştır. Ayrıca ölçüm yöntemine görüntü işleme kullanılmasıyla ölçüm ve kontrol sistemlerinde sık sık kullanılmaya başlayan görüntü işleme yeni bir kullanım alanı edinmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu projeyi destekleyen TÜBİTAK 2209 A Programına teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

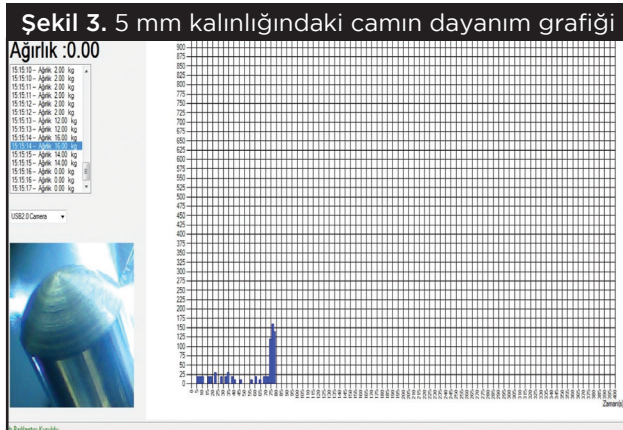
- [1] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2014
- [2] Akdemir, A.,1992. Yüzey Çatlaklı Cam Takviyeli Plastiklerde Gerilmeli Korozyon, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- [3] Yaprak, H., 2002. Beton Kaplamalı Kanallarda Malzeme Dayanıklılığını Arttırma Olanakları, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
- [4] Özkan, Ö., 2007. Atık Cam ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Özellikleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1).
- [5] Avcı, A., Ekrem, M., Erkendirici, Ö., 2007 Cam Kumaş Takviyeli Termoplastik Kompozitlerde Kırılma Davranışlarının İncelenmesi, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildirileri, İstanbul.
- [6] Kumru, N., 2005. Metalik Malzemelerde Yorulma Dayanımını İncelemek İçin Kullanılan Yorulma Makineleri, Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, C:1, S:4, Sayfa:58-70.
- [7] Haboğlu, M.R., 2012 Cam Elyaflarının Gerinim Değişim Hızı Kontrollü Bastırma Karakterizasyonu ve İşlem Parametrelerinin Sonuçlar Üzerine Etkilerinin Araştırması, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Şekil 2. Program Arayüzü

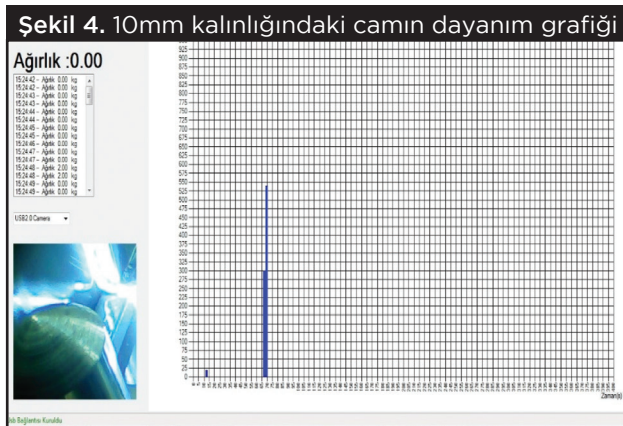


Şekil 3 ve 4'te ise kullanılan sensörden gelen kırılma dayanım değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 3'te 5 mm kalınlığına sahip camın grafik verileri, Şekil 4'te ise 10 mm kalınlığına sahip camın grafik verileri bulunmaktadır. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi kalın olan camın dayanımı daha yüksektir.

Şekil 3. 5 mm kalınlığındaki camın dayanım grafiği



Şekil 4. 10mm kalınlığındaki camın dayanım grafiği



KONFERANS  
SALONU  
16:20 - 16:40



**A. Zeki Alimoğlu**  
**Dr. A. Yüksel Soykut**

Şişecam Topluluğu,  
Cam Ev Eşyası Grup  
Başkanlığı, Geliştirme  
Direktörlüğü

zalioglu@sisecam.com,  
ysoykut@sisecam.com

## ENDÜSTRİYEL SU SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM VE ENERJİ TASARRUF FIRSATLARI

*İTÜ Makina Fakültesinde 1984 yılında lisans, 1987 yılında ise Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 1987 yılında Paşabahçe Cam San. Tic.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 Basıncılı 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.*

## ÖZET

Topluluk genelinde endüstriyel su soğutma sistemlerimizde soğutma suyu ortak bir kollektör üzerinden pompalanmaktadır. Kritik devrenin basınç ihtiyacına uygun olarak tüm sistemde yüksek basınç ve yüksek debi ile soğutma suyunun dolaşımı sağlanmaktadır.

Akışkanlar mekaniği kurallarına göre bir tesisat sistemine fazla pompalanan suyun karesi oranında basınç, ve kübü oranında enerji tüketimi artmaktadır.

Debideki değişim  $Q2 / Q1$   
Basıncıdaki değişim  $(Q2 / Q1)^2$   
Enerji tüketimindeki değişim  $(Q2 / Q1)^3$

Enerji tüketim bağıntısı:  
 $E \text{ (kW)} : 2,72.10^{-3} \times \text{Debi (m}^3/\text{saat)} \times \text{Basınç (mSS)} / \text{Pompa verimi (\%)}$

1. Soğutulan proseslerde;  
• Soğutma suyu akışı, ihtiyaca göre kontrol edilmemektedir.

• Su sıcaklığı, prosesin izin verdiği sıcaklığın çok altında tespit edilmekte, düşük enerji ve su tüketimi olan alternatif çözümler teknik olarak mümkün olamamakta, Chiller gibi ek enerji tüketimi olan soğutucuların sisteme eklenmesi gerekmektedir.

2. Secondar devrelerde pompa basınçları yüksek tespit edilmektedir. Bu nedenle pompalar, verimsiz bölgede çalışmakta ve yüksek enerji tüketmektedir.

Suyu akışına bırakan mevcut yapıdan, suyun akışını proses kontrol parametresine göre kontrol eden yeni yaklaşıma ve sisteme ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçla pilot olarak Paşabahçe Kırklareli Fabrikası'nda bir proje başlatılmış bulunmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** *Cooling water, pump, energy saving*

## PİLOT PROJE ÖZELLİKLERİ

1. Soğutulan proseslerde,
  - İhtiyaca uygun miktarda suyun güvenli olarak geçişine izin veren kontrol elemanları bulunmaktadır.
  - Su sıcaklıkları, enerji verimliliği kıstaslarına göre tespit edilmekte ve alternatif çözümlerin tercih edilmesi mümkün olmaktadır. Ek enerji tüketimi yaratan chiller ünitelerini gereksiz kılacak çözümler önerilmektedir.
  - Mümkün olan noktalarda kapalı devre soğutma çözümleri önerilmektedir.

2. Soğutma suyu, debisi ve sirkülasyon basıncı düşmektedir

3. SCADA otomasyon sistemi ile tüm sistem izlenecek ve yönetilecektir.

4. Mevcut durumda kış/yaz 500- 550 Kw elektrik gücü harcanan soğutma sisteminde 250-300 kW tasarruf potansiyeli hesaplanmaktadır.

Endüstriyel su soğutma sistemlerimizi modern tesisat mühendisliği teknikleri ve donanımları ile modernize ederek %50-%75 enerji tasarrufunun mümkün olduğu tespit edilmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** *soğutma suyu, enerji tasarrufu Cooling water, energy saving, pumps*

Su sirkülasyon sistemlerinde enerji verimliliği için ihtiyaç kadar debi, yeterli basınçta tüm noktalara pompalanmalıdır.

Genel olarak sanayi tesislerinde uygulanan yöntemde ortak bir kollektör üzerinden merkezi olarak soğutma suyu pompalanmaktadır. Bu durumda kritik devrenin gerektirdiği en yüksek basınç ile tüm sistemde ihtiyacın üstünde debi sirküle ettirilmektedir.

Sisteme bağlı proseslerde su debisi, proses ihtiyacına göre kontrol ve kısıtlamaya tabi olmadan kaynağına geri dönmektedir. Bunun sonucu olarak boru şebeke sisteminin sistem karakteristiğinin ve pompa kapasitesinin izin verdiği maksimum debi ile su sirkülasyonu gerçekleşir.

Akışkanlar mekaniği kurallarına göre bir tesisat sistemine ihtiyacın üstünde pompalanan suyun karesi oranında basınç ve küp katı oranında enerji tüketimi artmaktadır. Santrifüj pompalar için debi, basınç ve güç değişim bağıntısı aşağıda verilmektedir.

Debideki (Q) değişim	$Q2 / Q1$
Basıncıdaki (H) değişim	$(Q2 / Q1)^2$
Güç (P) değişimi	$(Q2 / Q1)^3$

Proses ihtiyaçlarına göre debinin kontrol edilmediği ve yüksek basınçla sirkülasyonun olduğu sistemlerde verimsizlik %50-%75'e ulaşmaktadır.

Endüstriyel su soğutma sistemlerinde proseslerin basınç ihtiyaçlarına göre ayrılması, proses kontrol parametresine uygun olarak debi kontrolü, düşük basınç kaybı olan yeni tasarım ve hidrolik denge sağlanması ile yüksek tasarruflara ulaşmak mümkündür.

Soğutma suyunun geniş bir boru şebekesinde kendi akışına bırakıldığı mevcut sistemden; proses ihtiyacını belirleyen kontrol parametresine göre debinin kontrol edildiği yeni bir tasarıma geçiş ile pompalarda kaybedilen enerji, ŞİŞECAM ve ülkemiz sanayi tesisleri için geri kazanılması mümkün olan kaynağa dönüşmektedir.

## 1. TESİSAT SİSTEM KARAKTERİSTİĞİ

Her boru şebekesinde su akışına karşı oluşan direnç, sistem karakteristiğine uygun olarak oluşur. Boru çapı, dirsekler, T parçaları, filtreler v.b. tüm donanım sistem karakteristiğini oluşturur. Sistemin akışa karşı gösterdiği direnç (karşı basınç) parabolik bir eğridir (bkz Şekil 1).

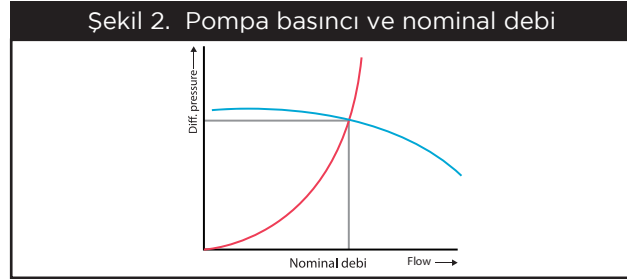


Karşı basınç, akışın karesi oranında artar veya azalır. Pompa basıncı ile debi bir noktaya kadar artar. Bir noktadan sonra pompa basıncı ne kadar yüksek olursa olsun akış arttırılamaz.



## 2. POMPA KAPASİTE EĞRİSİ VE SİSTEM KARAKTERİSTİĞİ

Sistemin sirkülasyon debisi ve karşı basınç, karakteristik eğri ile pompa kapasite eğrisinin kesiştiği noktada oluşur (bkz. şekil 2).



## 3. POMPA GÜCÜ VE ENERJİ TÜKETİMİ

Pompa hidrolik gücü, hız ve debi değişiminin küp katı oranında değişir. Pompa elektrik tüketimi hidrolik verim ve motor verimi ile lineer değişir.

$$\begin{aligned} \text{Pompa hızı ve debi} \quad n_1/n_2 &= Q1/Q2 & (1) \\ (\text{hız } n \text{ (d/dk), debi } Q \text{ (m}^3/\text{sn)}) & & \\ \text{Basınç (H)} & (n_1/n_2)^2 = (Q1/Q2)^2 & (2) \\ \text{Güç (P)} & (n_1/n_2)^3 = (Q1/Q2)^3 & (3) \\ \text{Güç bağıntısı} & Q \cdot H/Q & \\ (\text{güç } H \text{ (watt), } Q \text{ (pompa toplam verimi \%)} & & (4) \end{aligned}$$

## 4. HİDROLİK BALANSLAMA

Her debi ve basınç şartı altında tesisatın her noktasında doğru debi ve basınç farkı oluşturulabiliyorsa sistem hidrolik olarak dengelenmiştir. Kötü balansenmiş bir sistemde bazı noktalarda yetersiz debi, kimi noktalarda ise aşırı debi sirküle eder. Kötü balansenmiş bir devrede her noktada gereken en düşük debinin sirküle edebilmesi için tüm sistemde aşırı debi sirkülasyonu, yüksek basınç ve yüksek enerji tüketimi ile mümkün olur.

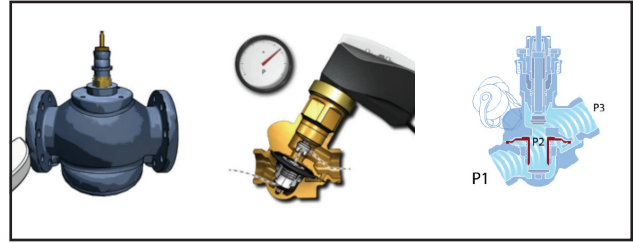
Hidrolik balanslama için doğru tesisat tasarımı, farklı basınç seviyesi gerektiren ünitelerin ayrı pompalarla beslenmesi, hız kontrollü pompalar ve otomatik balans vanaları temel araçlardır.

### 4.1. KOMBİNE (DİNAMİK) BALANS VANALARI

Balans vanaları pompa basıncı değişmelerinden bağımsız olarak her üniteden ya da boru devresinden istenen kadar debinin geçişini ayarlamayı mümkün kılan tesisat araçlarıdır.

Kombine motorlu dinamik balans vanaları ile proses parametresine uygun olarak (basınç, fark basınç ya da sıcaklık v.b.) debi otomatik olarak ayarlanabilmektedir.

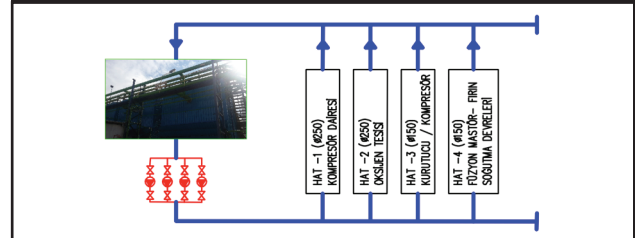
- Basınç kontrolör kontrol vanası üzerindeki fark basıncı sabit tutar.
- $Q = K_v \times \sqrt{\Delta P}$
- Kontrol vanası üzerindeki sabit fark basınç ile:
  - Sabit debi
  - %100 otorite sağlanır



## 5. PAŞABAĞÇE KIRKLARELİ FABRİKASI ENDÜSTRİYEL SU SOĞUTMA SİSTEMİ

Kırklareli Fabrikamızda inşai tip su soğutma kulesinde soğutulan su merkezi bir kollektörden 4 ana hat ile tüm işletmeye pompalanmaktadır. Kompresör, basınçlı hava kurutucuları, üretim proseslerinin soğutma ihtiyaçları karşılanmaktadır.

Şekil 4. Kırklareli Fabrikası endüstriyel su soğutma sistemi



Sistemde sıcak yaz aylarında (2 ay/yıl) her biri 75 kW, 500 m<sup>3</sup>/h kapasiteli 4 pompa, kış aylarında (10 ay/yıl) ise 3 pompa yeterli olmaktadır (bkz. Tablo 1, Şekil 3).

Pompa toplam debisi 1098 m<sup>3</sup>/saat sistem direnci 36 mSS (3 pompa) 1167 m<sup>3</sup>/saat sistem direnci 40 mSS (4 pompa)

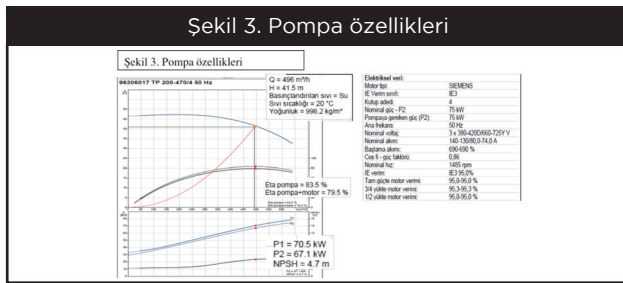
Tablo 1. Kırklareli Fabrikası su soğutma sistemi kapasite bilgileri

	Kış (10 ay)	Yaz (2 ay)
Pompa sayısı	3	4
Basınç	36 mSS	40 mSS
Debi	1098 m <sup>3</sup> /saat	1167 m <sup>3</sup> /saat
Pompa verimi	%58	%57
Pompa gücü	186 kW	223 kW



Fiili pompa elektrik gücü, sırası ile yaz/kış olarak 186 kW ve 223 kW gerçekleşmektedir.

Yaz/kış sistem karakteristiğinin izin verdiği tam kapasite ile çalışılmaktadır. Parabolik kapasite eğrisinin bir sonucu olarak **500 m<sup>3</sup>/h kapasiteli 4. pompa** toplam debiyi sadece **69 m<sup>3</sup>/saat** artırabilmektedir.



## 5.1. SİSTEM KAPASİTE ANALİZİ VE DEBİ ÖLÇÜM SONUÇLARI

Su soğutma sistemine bağlı tüm kompresör, basınçlı hava kurutucusu ve proseslerin ihtiyaçları imalatçı tavsiyesi ve işletme değerlerine göre analiz edildi. Ayrıca soğutma suyunun soğuttuğu tüm devrede olan makine ve proseslerde sirküle edilen fiili su debileri ultrasonik teknikle ölçüldü (bkz. Şekil 4.). Sonuçlar Tablo 2.'de verilmektedir.

Sistemde sirküle eden toplam su debisi 1100 m<sup>3</sup>/saat. Hesaplanan ihtiyaç miktarına (533 m<sup>3</sup>/saat) göre %106 daha yüksektir. Devrede olmayan yedek ünitelerde kirlenme oluşmaması için vanalar kısalmış olarak sirküle ettirilen su miktarı 287 m<sup>3</sup>/saat (%26). 1. Hatta %168, 2. Hat'ta %100 devrede olan ünitelerin ihtiyacından daha yüksek su sirkülasyonu ölçülmektedir.

Ölçme sırasında üç pompa çalışmaktadır. Kolektörde ölçülen basınç 36 mSS.



Tablo 2. Kırklareli Fabrikası endüstriyel su soğutma sistemi primer devre debi etüdü sonuçları

	(1) Katalog ihtiyacı (M <sup>3</sup> / saat)	(2) Ölçülen (M <sup>3</sup> /saat)	(3) Yedek üniteler (M <sup>3</sup> / saat)	(4) Toplam (M <sup>3</sup> /saat)	Fark (%) (4)/(1)
<b>Toplam</b>	<b>533</b>	<b>813</b>	<b>287</b>	<b>1100</b>	<b>%106</b>
1. Hat (Ø 250 mm)	223	363	234	597	%168
2. Hat (Ø 250 mm)	129	254	0	254	%100
3. Hat (Ø 150 mm)	103	107	53	160	%55
4. Hat (Ø 150 mm)	78	89	0	89	%0

Sistem kapasite eğrisine göre boru şebekesinin izin verdiği en yüksek su sirkülasyonu gerçekleşmektedir. Fiili pompalarda harcanan elektrik gücü 186 kW olarak ölçülmüştür.

## 5.2. GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜMLER VE PROJE

Tablo 2.'de sunulan debi sonuçları debi kontrolü ve hidrolik balanslama yapılması gerektirdiğini göstermektedir. İhtiyaçtan bağımsız olarak boru şebekesinin ve pompa kapasitesinin izin verdiği en yüksek debi sistemde sirküle etmektedir.

Merkezi pompa kolektörü ve dağıtım hatları 24 saat kesintisiz çalışan ünitelerin soğutulmasını sağladığı için kolektörün bölünmesi ve her hatta müstakil pompa uygulaması mümkün olamamaktadır.

Ancak her bir hatta bağlı terminalerde benzer basınç ile işletme yapılması mümkün olacağı tespit edilmiştir.

Bu nedenle merkezi pompa ve tek kolektör üzerinden pompalamanın devamına karar verilmiştir. Ancak sistemden soğutulan her bir üniteye ihtiyaca göre debi kontrolü yapılması planlanmaktadır. Bu amaçla her bir kompresör, kurutucu v.b. ünitelerin soğutma devresi üzerine kombine balans vanaları konacaktır.

Balans vanaları, ünitelerin ihtiyacı olan debinin geçişine sağlayacak şekilde tam kontrol temin edecektir. Çalışmayan yedekte bekleyen ünitelerden kirlenmeyi önleyecek min. debinin geçişi balans vanaları ile sağlanacaktır.

Bu şekilde Tablo 2.'de gösterildiği şekilde sistemde sirküle eden toplam debinin 1100 m<sup>3</sup>/saat'ten, 530-700 m<sup>3</sup>/saat'e düşebileceği hesaplanmaktadır. Gerekli sirkülasyon basıncının debi azalmasına paralel olarak 20-25 mSS düzeyine düşebileceği hesaplanmaktadır.

**Tablo 3. Kırklareli Fabrikası su soğutma sistemi kapasite bilgileri**

	Kış (10 ay)	Yaz (2 ay)	Hedef
Pompa sayısı	3	4	2
Basınç	36 mSS	40 mSS	25
Debi	1098 m <sup>3</sup> /saat	1167 m <sup>3</sup> /saat	700 m <sup>3</sup> /saat
Pompa verimi	%58	%57	%64
Pompa gücü	186 kW	223 kW	75 kW

- 2 pompa yeterli olacaktır. Pompalar çalışma eğrilerinde daha verimli bölgede çalışacağı için toplam verimin %10 yükselerek %64'e ulaşacağı ön görülmektedir. Böylece yeni pompa yatırımına gerek olmayacağı hesaplanmaktadır.
- Pompalar sabit basınçta hız kontrollü olarak çalışacaktır. Sistem basıncının 20-25 mSS yeterli olacağı yapılan modelleme neticesinde tespit edilmiştir.
- Pompaların elektrik güç tüketimi 186-223 kW'tan 75 kW'a düşerek; 111- 148 kW tasarruf sağlanacaktır. **Tasarruf potansiyeli, %60-%66 olarak hesaplanmaktadır.**

### 5.3. DİĞER TASARRUF POTANSİYELLERİ

Kırklareli Fabrikamızda 1. Etap modernizasyon projesi kapsamında primer su soğutma sistemine bağlı proseslerde ilave tasarruf potansiyelleri de keşfedilmiştir.

**Tablo 4. 1.Etap modernizasyon projesi ilave tasarruf fırsatları:**

	Mevcut	Hedef	Tasarruf
Sulu vakum pompa soğutma devreleri	20	0	20
Su soğutma kuleleri sirkülasyon fanları hız kontrol uygulaması	76		30
Hidrojen tesisi soğutma devresi	15,7	3,7	12
Toplam tasarruf	111,7 kW		62 kW (%55)

### 6. SONUÇ

Kırklareli Fabrikamızda 1. Etap primer soğutma devrelerinde modernizasyon projemiz örnek olmak üzere pompa sistemlerinde yeniden tasarım, debi kontrolü, hidrolik balanslama ve frekans kontrollü pompa uygulamaları ile %50-%75 enerji tasarrufunun mümkün olacağı görülmektedir.

Modern tesisat donanımları ve tesisat mühendisliği teknikleri, pompa sistemlerinde %50-%75 enerji tasarruf kaynağının olduğunu bizlere göstermektedir.



### Özgür Acar

Şişecam Topluluğu,  
Kimyasallar Grup  
Başkanlığı, Cam Elyaf  
San. A.Ş.

[oacar@siseecam.com](mailto:oacar@siseecam.com)

### Neşet Naci Arzan

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Ergitme Teknolojileri ve  
Mühendislik Direktörlüğü  
[narzan@siseecam.com](mailto:narzan@siseecam.com)

## FOREHEARTH OXY-FUEL DENEMESİ

*Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 2004 yılında lisans, 2005 yılında ise Yıldız Teknik Üniversitesi'nde İşletme Yönetimi yüksek lisansını tamamlamıştır. 2007 yılından bu yana Cam Elyaf Sanayi A.Ş.'de Elyaf Üretim Bölümü'nde görev yapmaktadır.*

### ÖZET

Artan enerji maliyetleri ve rekabet koşulları, üretimde maliyet düşürme zorunluluğunu önümüze çıkartmaktadır. Cam elyaf fırınlarında üretim şartları ve çalışma kanallarının (forehearth) çok uzun olması, enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır.

"Cam Elyaf CE1" fırınında maliyet düşürmek amacıyla, D kanalı son bölgesinde (4. Bölge) oxy-fuel denemesi yapılmıştır. Bu kapsamda, üretim devam ederken, 1290 °C cam sıcaklığına sahip D-4 nolu bölgede bulunan 90 adet hava-gaz premix beki sökülerek 26 adet oxy-fuel beki takılmıştır.

Bu bildiride;

- Yapılan saha çalışmaları ve değişiklikler,
- Yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması,
- Maliyet karşılaştırmaları ve tasarruf miktarları konularında bilgilendirme yapılmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** enerji tasarrufu, forehearth, oxy-gas, oksijen, oxy-fuel

## 1. GİRİŞ

Günümüzde artan yakıt maliyetleri, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyon sınırlamaları, cam üreticilerini emisyon ve yakıt tasarruflu enerji sistemleri kullanmasına zorlamaktadır. Çalışma kanallarında harcanan toplam doğalgaz miktarı, fırının ergitme bölgesindeki harcamının yaklaşık %60'ı gibi oldukça yüksek bir tüketime denk gelmektedir. Bu sebeple birçok cam elyaf üreticisi oxy-fuel yakma sistemini fırınlarının yanı sıra çalışma kanallarında da kullanmaktadır. Hava-gaz karışımı yanma sistemleri kullanılan çalışma kanallarının enerji verimi %25 civarındadır. (Soğuk hava kullanılmaktadır.)

Enerji maliyeti düşürme çalışmaları, hava-gaz karışımı yanmaya göre dizayn edilmiş 6 yaşını tamamlamış bir fırında, üretime devam edilirken, çalışma kanallarının bir bölgesinde, oxy-fuel denemesi yapılmasında itici güç olmuştur.

## 2. HEDEFLER

- %50 - 60 oranında doğalgaz tasarrufu
- Cam ile temas halinde olan yanma gazlarının oluşturduğu daha stabil atmosfer koşulları ve buna bağlı kalite artışı
- NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma

Deneme yapılması planlanan bölgede 6 ay boyunca oxy-fuelin çalışma kanalındaki refrakterlere (mullite) ve oluşacak yüksek alev sıcaklığının %6 bor içeren E-camına olan etkisinin (köpük oluşturma riski) incelenmesi başlangıçta amaçlanmıştır.

### 3. OXY-FUEL GEÇİŞ ÇALIŞMALARI

Mevcut bek taşı geometrisine uygun oxy-fuel beki arayışımızın, yakma sistemleri tedarikçileri ile yapılan görüşmelerden olumlu sonuç alınması ile birlikte deneme çalışmaları başlamıştır. Oxy-fuel bekin, kullanmakta olduğumuz hava-gaz bekinde göre 3,5 kat daha fazla ısı açığa çıkarması ile bek taşında ısının bir noktada artış göstermesiyle oluşabilecek deformasyonu gözlemlemek için prototip bir çalışma kanalı oluşturulmuştur. Bek taşı, oxy-fuel beki ile bu kanalda 72 saat boyunca ön teste tabi tutulmuş ve herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiş olup çalışma kanalının bir bölgesinde denenmesine karar verilmiştir. (Çalışmalar cam olmadan yapılmıştır.)

Geçiş ve deneme süresi boyunca oluşabilecek etkilerden diğer bölgelerin etkilenmemesi için deneme bölgesi olarak kanal sonu tercih edilmiştir. Seçilen bölgede, 90 adet "premix" tip beklere hava-gaz karışımı inverterli bir fan vasıtası ile iletilmek suretiyle bekin uç kısmında başlayan yanma ile enerji sağlanırken, yanma sonucu oluşan egzoz gazları ise ortamı 0,078 m<sup>3</sup>lik bir baca açıklığından ortamı terk etmektedir. 1290 °C cam sıcaklığına sahip bölgede farklı gün ve ortam koşullarında yapılan ölçümlerde doğalgaz tüketimi 40 m<sup>3</sup>/saat olarak kaydedilmiştir. Bektaşı dış yüzey sıcaklıkları ise yaklaşık 300 °C olarak saptanmıştır. (Tablo 1.)

Tablo 1. Hava-Gaz Yanmalı Kanalda Bektaşı Dış Yüzey Sıcaklık Ölçümleri

Ölçüm Noktaları	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sıcaklık °C	300	300	400	320	320	320	330	310	290	300	290	330

#### 3.1. OXY-FUELE GEÇİŞ

Üretim esnasında geçiş işlemi yapılacağından, bacaya uzak noktadan ısı dağılımını sabit tutabilmek için sıcaklık takibi yaparak premix beklere yerine, oxy-fuel beklere montajı yapılmıştır. Geçiş işlemi tamamlandıktan sonra baca kesiti 0,078 m<sup>2</sup>'den 0,013m<sup>2</sup>'ye daraltılmıştır. 90 adet premix bekin yerini, 26 adet oxy-fuel bekinin almasının ardından geçen 24 saatin sonunda yapılan cam analizinde bor uçuşu veya cam yüzeyinde köpük oluşumu gözlemlenmemiştir.

Geçiş sonrasında yapılan bek taşı dış yüzey sıcaklık ölçümlerinde 150 °C bir artış kaydedilmiş; hemen altlarında bulunan plaka taşlarında (Cr) ise herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. (Tablo 2.) Sıcaklık artışının; oxy-fuel bekinin takılı olduğu delikler dışında boş kalan deliklerin civarında oluşması, premix beklere hem sayıca fazla olması hem de içlerinden geçen debinin soğutma etkisinin ortadan kalkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2. Oxy-Fuel Yanmalı Kanalda Bektaşı Dış Yüzey Sıcaklık Ölçümleri

Ölçüm Noktaları	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sıcaklık °C	450	450	450	450	450	470	450	480	440	450	440	440

### 4. SONUÇ

- Doğalgaz tüketimi hava-gaz karışimli yanma durumuna göre %57 azalmıştır. (Tablo 3.)
- Deneme yapılan bölgenin toplam enerji maliyetinde %40 tasarruf edilmiştir. (Tablo 4.) (Kullanılan oksijenin var olan VPSA tesisinden karşılanmıştır.)
- Güncel fiyatlarla yapılan analizlerde oksijenin tedarik yöntemine göre; VPSA ile 16 ay, sıvı oksijen ile 30 ay geri ödeme süresi hesaplanmıştır.
- CO<sub>2</sub> emisyonu %60 azalmıştır.
- Oxy-fuel yakma sistemi ile çalışma kanalı ortam oksidasyon kontrolü kolaylaşmıştır.
- Cam yüzeyinde köpük oluşumu ve bor uçuşu gerçekleşmemiştir.
- Üretim esnasında oxy-fuel dönüşümü başarı ile sağlanmıştır. (Diğer çalışma kanalındaki bölgelere de uygulanabilir.)
- Oxy-fuel beklere, hava-gaz karışimli premix beklere göre, montaj ve bakım kolaylığı sağlamaktadır.

Tablo 3. Doğalgaz ve Oksijen Tüketimleri

8	HAVA-GAZ KARIŞIMLI DURUMDA TÜKETİM	OXY-FUEL SONRASI TÜKETİM	TASARRUF MİKTARI	TASARRUF ORANI
D.GAZ [Nm <sup>3</sup> /saat]	40	17	23	%57
OKSİJEN [Nm <sup>3</sup> /saat]	-	37	-	-

Tablo 4. Maliyet Karşılaştırması

	HAVA-GAZ KARIŞIMLI DURUMDA TÜKETİM	OXY-FUEL SONRASI TÜKETİM	TASARRUF MİKTARI	TASARRUF ORANI
TOPLAM ENERJİ MALİYETİ [TL/YIL]	1	2		
	291.000 TL	230.000 TL	115.000 TL	%40
	291.000 TL	230.000 TL	61.000 TL	%21

- 1: Oksijenin VPSA ile üretildiği durumda.  
2: Sıvı oksijen tedariki durumunda.

## SODA ÜRETİMİNDE ENERJİ VE SU YÖNETİMİ



**Ömer Ünal**

**Seçkin Dokuzlar**

**Can İrkörücü**

Şişecam Topluluğu,

Kimyasallar Grup

Başkanlığı, Üretim

Başkan Yardımcılığı,

Soda Sanayi A.Ş. Soda

Fabrikası

[ounal@sisecam.com](mailto:ounal@sisecam.com)

[sdokuzlar@sisecam.com](mailto:sdokuzlar@sisecam.com)

[cirkorucu@sisecam.com](mailto:cirkorucu@sisecam.com)

Ömer Ünal , 2001 yılında ODTÜ Kimya Mühendisliği bölümünden lisans derecesi ile mezun olmuştur. Ocak 2003 tarihinde Soda Fabrikasında işletme mühendisi olarak iş hayatına başlamıştır. 2004 yılında başlayan ve iki yıl süren geliştirme uzmanlığı süresince soda üretiminde sürdürülebilir inovasyon ve enerji verimliliği alanında çalışmalar yürütmüştür. 2007 yılı itibari ile görevine üretim şefi olarak devam eden yazar, soda üretiminde üretim ve enerji verimliliği alanında yürütülen çalışmalarda görev almıştır. Liderliğini yürüttüğü bu çalışmalarla 2011- 2014 yılları arasında Şişecam Topluluğunun hayata geçirdiği 'Gelişim Yıldızları' programında dört yıl üstüste dereceye girmiş ve grup ödülü almaya hak kazanmıştır.

### ÖZET

Sentetik soda üretimi yüksek miktarda enerji ve su tüketen bir prosestir. Enerjinin büyük bir kısmı destilasyon sisteminde alçak basınçlı buhar formuyla tüketilir. Destilasyon sisteminde kullanılan ısı değiştiricilerin çalışma kurgusu değiştirilerek buhar tüketiminde kaydedeğer azalmalar kaydedilmiştir.

Üretim adımlarında gerçekleşen reaksiyonların bütünü ısı üreten reaksionlar olup verimli bir üretim için etkin bir soğutma gerekmektedir. Soğutma ihtiyacı yüklü miktarda su ihtiyacını beraberinde getirir. Su temin maliyetlerinin günden güne arttığı gerçeğinden yola çıkarak suyun kullanıldığı yüzeylerde ısı transferini arttırmaya yönelik spesifik uygulamalar hayata geçirilmiş ve soğutma suyu tüketimi ciddi oranlarda azaltılmıştır

Yapılan çalışmalar neticesinde 2.2 mil. \$ / yıl civarında bir değer yaratılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Enerji, Su, Isı transferi

### GİRİŞ

Kağıt, deterjan, tekstil gibi ana kimya kollarının hammaddelerinden olan soda, cam üretiminin de vazgeçilmez bileşeni olup sektörde mihenk taşı olarak kabul görmektedir. Doğal ve sentetik olmak üzere iki temel yöntem ile elde edilmektedir. Doğal yöntemde trona cevherinin ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) saflaştırılması yolu ile elde edilirken, sentetikte durum biraz daha kapsamlı ve zahmetlidir. Sentetik yöntem üretim maliyetlerini yukarılara çeken yüksek enerji ve su tüketimi ile ön plana çıkmaktadır. Sentetik soda üreticisinin bu iki unsuru nasıl yönettiği , dünya soda pazarındaki rolünü belirlemektedir

## 1. SU

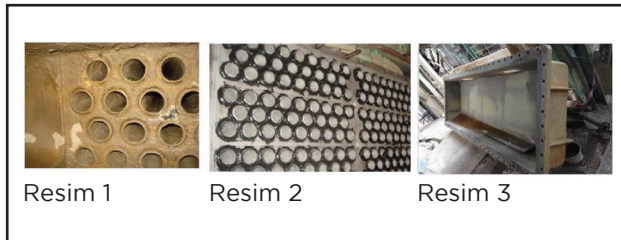
### 1.1. ISI TRANSFER YÜZEYLERİNDE DEPOZİT OLUŞUMU

Karbonasyon ve kondenserlerin soğutma yüzey alanları zaman içinde  $\text{CaCO}_3$  ile kaplanmaktadır(Resim 1). Bu tabaka ısı transferini önemli ölçüde düşürmekte ve soğutma suyu ihtiyacını ciddi derecede arttırmaktadır. Oluşan depozitleri temizlemek için şu ana kadar bilinen ve uygulanan tek yöntem kolon kapaklarını açıp boruları basınçlı su ile temizlemekten ibarettir. İş güvenliği riski oldukça yüksek olan bu yöntemde boru içinde oluşan kireç tabakasının sadece yumuşak olan üst tabakası alınabilmektedir. Kirecin çok az bir kısmını temizleyebilen ve oldukça zahmetli olan bu işlemin yerine kirecin tamamını temizleyebilen metod geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmıştır.



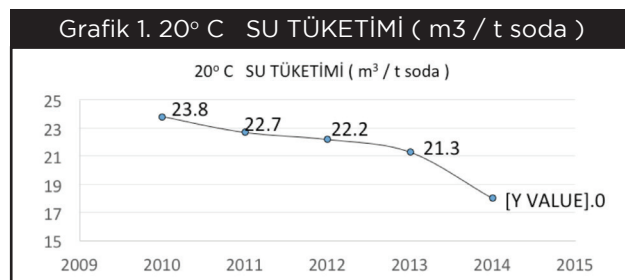
## 1.2. YENİ GELİŞTİRİLEN YIKAMA İŞLEMİ

Bu çalışmada ilk etapta kireci temizleyecek kimyasal ve kullanılacak inhibitör seçimi için üç ayrı firma ile çok kapsamlı bir çalışma başlatılmıştır. Testlerin sonunda doğru inhibitör ve doğru dozajı tespit edilmiştir. Titizlikle seçilen kompozisyonunlara rağmen kolonun dökümden imal ayna ve gövde kısmı riske atılmamış, koruma için Terosol ticari isimli bir kimyasalla kaplanmıştır. Bu kimyasal ısıya ve korozyona dayanıklı ve metal yüzeylere oldukça iyi tutunabilen bir malzemedir. Böylelikle yıkama esnasında ıslak kısmın sadece duplex borular olacak şekilde düzenek hazırlanmıştır. Bu yöntemde, kimyasalla yıkanacak barelin kapakları açıldıktan sonra ayna kısmı yıkama işlemi öncesi kumlanmaktadır. Kumlama sonrası kolonun kimyasala maruz kalacak dökümden imal ayna kısmı Terosol ile kaplanmıştır (Res.2). Yıkama esnasında kullanılacak kapak için birebir ölçüsünde CTP den imalat yaptırılmıştır (Res.3) Yıkama işlemi pH kontrolünde gerçekleştirilmiştir. Yıkama sırasında belirli aralıklarla barelin içinden numuneler alınmış ve pH değerine bakılarak yıkamanın ne aşamada olduğu takip edilmiştir. Belirli bir pH a gelen barelde yıkama işlemi bitirilmiş ve su ile durulamaya alınmıştır. Karbonasyon ve kondenserlerde toplam 120 barel yıkamaya alınmış ve bu barellerin içinden 200 ton civarında CaCO<sub>3</sub> temizlenmiştir.



Bu çalışmalar sonunda ton soda başına kullanılan 20 C su miktarı 18 m<sup>3</sup>'e düşürülmüştür (Grafik 1)

Kondenserlerde yapılan temizlik sonucu ise 2500 m<sup>3</sup>/saat olan 30° C su tüketimi 1300 m<sup>3</sup>/saate düşürülmüştür.



## 2. ENERJİ

### 2.1. BUHAR

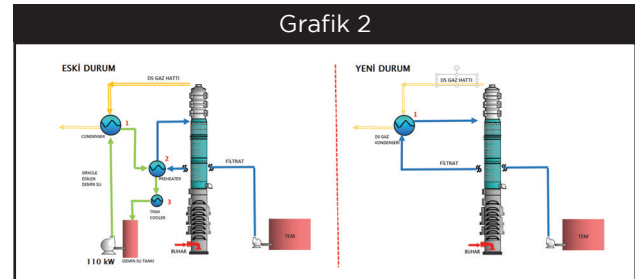
Destilasyon kolonlarına verilen filtrat enerji verimliliği için tepeden çıkan gaz ile indirekt olarak ısıtılmaktadır.

#### 'Eski Durum'

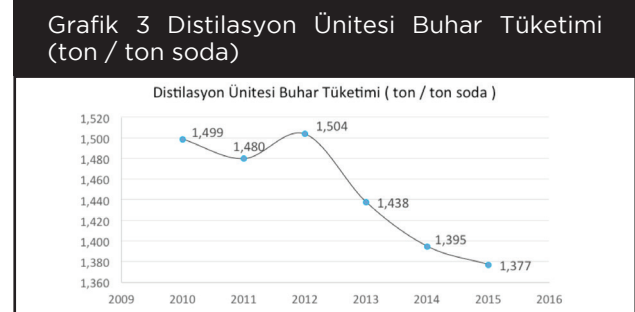
Şekilde de görüldüğü gibi demineralize su 1 no'lu gaz kondenserinden aldığı enerjiyi 2 no'lu preheater vasıtasıyla filtrata yüklemektedir. Daha sonra cazibe ile zemine inen demin su ilave soğuma için 3 no'lu trim cooler'e gelmekte ve burada DS başına 300 m<sup>3</sup> 30 °C su ile soğutulmaktadır. Soğuyan demin su tekrar 55 mt kodundaki 1 no'lu kondensere DS gazını soğutmak için basılmaktadır. Demineralize su, DS gazının enerjisini filtrata aktarmak için aracı olarak kullanılmakta ve bu da ısı kayıplarına sebep olmaktadır.

#### 'Yeni Durum'

Filtrat ön ısıtılmasında aracı olan demineralize su iptal edilmiş ve filtrat direkt olarak 1 no lu destilasyon kondenserinde ısıtılmıştır. Böylelikle ısı kayıpları azaltılarak filtratın eski duruma göre daha yüksek ve daha istikrarlı bir sıcaklığa ulaşması sağlanmıştır. (Grafik 2) Bu çalışma kurulum gereği hemen uygulanabilecek 3 adet DS sisteminde devreye girmiştir. Kalan 1 adet DS sisteminde de aynı sistemin kurulmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.



3 adet DS sisteminde gidilen filtrat ısıtma revizyonu ile DS sisteminde kullanılan toplam 2 ata buhar tüketimi geçen yıla göre ton soda başına 0,07 ton düşmüştür. (Grafik 3)

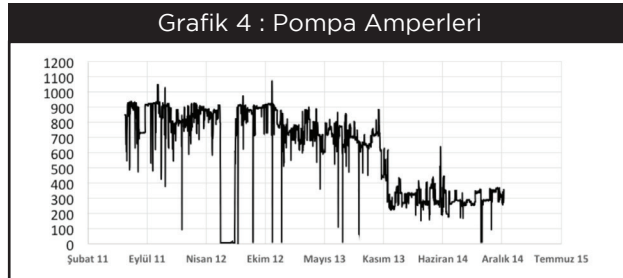


## 2.2. ELEKTRİK

Kondenserlerin üst kodu 30 mt'de olduğundan dolayı 30° C hat basıncı ile suyu sevketmek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden orijinal kurulum gereği her bir kondenserin altında 30° C suyu basınçlandırmak için biri yedek 2 adet pompa bulunmaktadır. Ancak yıllar itibari ile soğutma boruları kireçle kaplanmış ve 7/24 çift pompa çalıştırılmaktadır. Tasarım su çıkış sıcaklığı 45° C olan bu kolonlar 38 °C çalışmaktadır. Yeni yıkama sistemiyle toplamda 36 barel yıkanmış ve her biri 75kW gücünde üç adet pompa durdurulup yedeğe alınmıştır. Su çıkış sıcaklığı ise 47 °C'lere kadar çıkarılmıştır.

Filtrat ön ısıtma sisteminde yapılan revizyonla demineralize suyu 55 mt'ye basan 3 adet 110 kWh'luk pompa durdurulmuştur. Isı transfer yüzeylerinin temizliği ile DS Trim Cooler eşanjörünün kaldırılması ile 20 °C ve 30° C suda toplam 2000m<sup>3</sup> daha az su kullanılabilir hale gelmiştir. Bu sevkin enerji karşılığı yaklaşık 350 kWh olarak öngörülmektedir. Bahsi geçen çalışmaların toplam enerji karşılığı 900 kWh dir.

Aşağıdaki grafikte Kondenser ve Destilasyon Trim Cooler pompa amperlerinin PHD verileri yer almaktadır.



## 3. SONUÇ

Sentetik soda üretiminin geleceğini belirleyen ve en önemli maliyet kalemlerinden olan enerji ve su tüketimi alanında çalışmalar yürütülmüştür. Bu güncel çalışmada, motive eden ve geleceğe dair umut veren sonuçlara ulaşılmıştır. Son derece mütevazı oranlarda kaynak kullanımı ile 2.2 mil \$ / yıl tutarında bir maliyet tasarrufu sağlanmıştır. Soda Fabrikası Şişecam'ı soda alanında yakın coğrafyasında hakim bir oyuncu kılmak adına çalışmalarını bu doğrultuda yürütmeye devam edecektir.

## LOW-E KAPLAMALI CAMLARIN TEMPERLENMESİ



**M.Ozan Özer**  
**İsmail Çalışkan**  
**Elçin Çakar**  
Şişecam Topluluğu,  
Düzcamlar Grup Başkanlığı,  
Trakya Yenişehir Cam  
Sanayi A.Ş.  
oozer@siseecam.com,  
icaliskan@siseecam.com,  
ecakar@siseecam.com

M.Ozan Özer, 1981 yılında Eskişehir’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’ de tamamlayan M.Ozan Özer, 1998 yılında Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında lisans eğitimini bölüm birinciliği ile tamamladıktan sonra yüksek lisans çalışmalarına Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde ve Grenoble Teknoloji Enstitüsünde devam etti. 2007 yılında Şişecam bünyesindeki Çayırova Kaplamalı Camlar ve Cam İşleme Fabrikası’ nda mesleki hayata adım atan M.Ozan Özer halen Şişecam bünyesindeki Trakya Yenişehir Cam San.A.Ş. fabrikasında İşlenmiş Camlar Üretim Şefi olarak görev yapmaktadır.

### ÖZET

Cam günümüz mimarisinin en popüler yapı malzemelerinden biri haline gelmiştir. Özellikle son 50 yıllık dönemde enerji verimliliği ve çevresel faktörler göz önüne alınarak düz cam yerine kaplamalı cam kullanımı her geçen gün artmaktadır. Mimari trendler izlendiğinde geçmişe oranla günümüzde daha fazla gün ışığı alan, daha yüksek yapılara karşı bir eğilim olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda kullanılan kaplamalı camların boyutları da artmaktadır. Boyutları artan cam cephelerin istenilen mukavemete sahip olabilmeleri için sadece kalınlıklarının artırılması yetmemektedir. Bu nedenle ısı ve mekanik mukavemet değerlerinin artırılması amacıyla günümüzde düşük emissivite değerine sahip low-e kaplamalı camlar da temperlenmektedir. Temperleme işlemi camın geçiş sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılması sonrasında ani bir şekilde soğutulması ile bünyede kalıcı gerilimler oluşturulmasıdır. Bu işlemin sonucunda camın hem mekanik ve ısı mukavemet değeri arttırılmakta, hem de kırıldığında insan sağlığını tehdit etmeyecek boyutlarda kırıklar oluşması sağlanmaktadır.

Düzcamlar 0,84 gibi yüksek bir emissivite değerine sahip olduğu için temper süreci sırasında basit bir biçimde ısıtılıp soğutulabilmektedir. Hâlbuki low-e kaplamalı camlar içerisindeki metal katmanlar nedeniyle nispeten düşük emissivite değerine sahiptir ve temper sürecindeki parametrelerin kontrolü önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada temperlenebilir low-e kaplamalı camların temper süreci teorik ve pratik yaklaşımlar ile incelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Düzcamlar, low-e kaplamalı cam, temperleme

### 1. GİRİŞ

Günümüzde çağdaş mimariyi içerisinde cam unsuru olmadan düşünmek imkânsızdır. Modern üretim teknikleri kullanılarak çelik, beton ve alüminyum ile başarılı şekilde bir araya gelen antik bir yapı malzemesi olan cam, mimari yapıların eşsiz bir görünüme sahip olmasını sağlamaktadır. Estetik unsurların yanı sıra camın en çok tercih edilen yapı malzemelerinden biri olmasının nedenleri olarak gün ışığı geçirgenliği, tasarım açısından esnekliğe izin veren istenilen boyut, renk ve kalınlıklarda üretilebilmesi sayılabilir [1].

Şekil 1. Camın farklı mimari alanlarda kullanım örnekleri



Günümüzde mimari yapıların estetik görünülerinin yanında enerji verimlilikleri de son derece önemlidir. Düz camın Şekil 1’ de gösterildiği gibi çok farklı tasarımlarda ve iklim koşullarında kullanılabilmesinin nedeni gelişen üretim tekniklerinin bir sonucu olarak büyük alanlarda istenilen mukavemet ve ısı yalıtımı özelliklerini bir arada sağlayabilmesidir [2]. Çalışmanın ilk bölümünde camın yalıtım özelliklerinin nasıl iyileştirildiği anlatılırken, ikinci bölümünde istenilen mukavemet değerlerine nasıl ulaşılabildiği açıklanacaktır.

## 2. LOW-E KAPLAMALI CAMLAR

Isı yalıtım özelliğine sahip ilk cam, İskoç fizikçi Sir James Dewar (1842-1923) tarafından 1890 yılında geliştirilmiştir. Dewar kabı olarak da isimlendirilen yalıtım ünitesi, iki cam yüzeyden dışarıdaki camın iç kısmına opak bir gümüş katmanının kaplanması ile kabın içerisine konulan sıvının sıcaklığını veya serinliğini korumasıyla keşfedilmiştir.

Cama ısı yalıtım özelliği kazandıran düşük emissiviteli (low-e) kaplamalar fiziğin iki temel yasası ile açıklanabilir. Bunlardan birincisi olan, elektriksel iletkenliği sahip malzemelerin düşük emissivite özelliği gösterdiğini söyleyen Hagen-Rubens [3] yasası (1);

$$R \approx 1 - 2 \sqrt{\frac{2\epsilon_0\omega}{\sigma}} \quad (1)$$

R : Yansımaya katsayısı       $\sigma$  : İletkenlik  
 $\epsilon_0$  : Vakum geçirgenliği       $\omega$  : Açılma frekansı

İkincisi ise iki yüzey arasında radyasyon ile gerçekleşen ısı değişimini emissivite ile açıklayan Stefan-Boltzmann [4] yasasıdır (2);

$$j^* = \epsilon\sigma T^4 \quad (2)$$

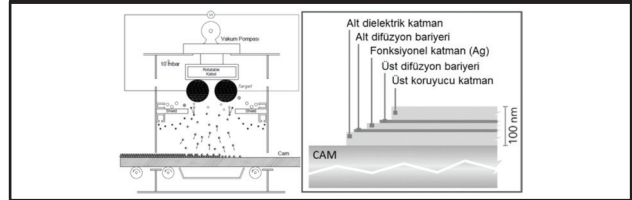
Emissivite ile ısı yalıtımı arasındaki teorik ilişki uzun

$j^*$  : Yayılan enerji ( $W/m^2$ )       $\epsilon$  : Emissivite  
 $\sigma$  : Oransal sabit      T : Sıcaklık

bir süredir bilinmesine rağmen pratikte cam üzerine hem şeffaf hem de ısı yalıtımı sağlayacak düşük emissivite değerine sahip bir kaplamanın ekonomik olarak uygulanabilmesi biraz zaman almıştır. 1950’ li yılların sonlarına doğru L. Holland ve G. Siddal [5] cam üzerine kaplanmış “Cam/BiOx/Au/BiOx” katman yapısının hem yüksek ısı yansımalarını hem de gün ışığı geçirgenliğini bir arada sunduğunu göstermişlerdir. Ancak o dönem için yüksek maliyeti nedeniyle sadece lüks trenlerde kullanım alanı bulabilmiştir. 1974 yılında Avrupa’ da yaşanan enerji krizi sonrasında low-e kaplamalı camlar üzerine yürütülen çalışmalar hızlandırılmıştır. Isı yalıtımı için kullanılan altın yüksek maliyeti ve kaplandığı cama yeşil bir renk vermesi nedeniyle 1981 yılında yerini daha renksiz bir görünüme sahip olan gümüşe bırakmıştır. Aradan geçen 35 yıla rağmen gümüş halen düz cam low-e kaplama sektöründe en çok kullanılan ham-maddelerin başında gelmektedir.

Camın düşük emissivite özelliğini kazanması için günümüzde en yaygın kullanılan teknik vakum altında yapılan magnetron sputtering [6] yöntemidir. Bu yöntemde cam üzerine biriktirilecek olan kaplama malzemesinin bulunduğu ortama vakum atmosferi altında yüksek bir elektriksel potansiyel fark uygulanır. Ortama kontrollü olarak verilen argon gazı bu potansiyel fark altında Ar+ iyonlarına dönüşerek plazma oluşturur ve negatif yüklenmiş kaplama malzemesine doğru hızlanarak çarpar. Çarpma sonucunda gerçekleşen momentum transferi ile atomik düzeydeki malzeme cam yüzeyine yönlendirilerek Şekil 2’ deki gibi kaplanır.

Şekil 2. Magnetron sputtering yöntemi ve çok katmanlı ince film yapısı



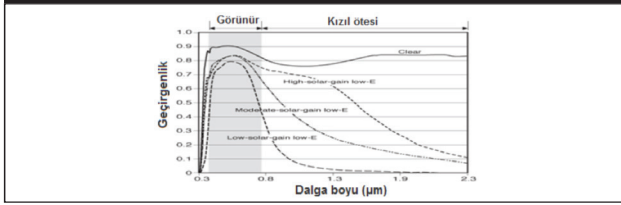
Bu yöntem ile cam yüzeyine biriktirilen low-e özellikteki kaplama birden çok katmanın bir araya gelmesinden oluşmaktadır (Şekil 2). Her bir katmanın farklı bir kalınlığı ve görevi bulunmaktadır. Temel olarak low-e katman dizilimi cam yüzeyinden başlayarak;

- Optik özelliklerden sorumlu olan alt dielektrik katman
- Fonksiyonel katman olan gümüşü cam tarafından gelecek olan iyon göçlerine karşı koruyacak olan alt difüzyon bariyeri
- Yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olan gümüş katmanı
- Fonksiyonel katman olan gümüşü atmosfer tarafından gelecek iyonlara karşı koruyan üst difüzyon bariyeri



- Tüm katman yapısını ikincil işlemler sırasında gerçekleştirilecek mekanik ve ısıl etkilere karşı koruyacak olan üst koruyucu katmanının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır.

Şekil 3. Düzcam ile low-e kaplamalı camın geçirgenlik spektrumu



Farklı özellikteki katmanların bir araya gelmesi ile kaplamalı cam, görünür bölgedeki ışık geçirgenliğinden çok fazla ödün vermeden kızıl ötesi bölgede yansımaya özelliği kazanması ile birlikte ısı yalıtımında düz cama göre daha avantajlı konuma gelmiştir (Şekil 3). Kaplama teknolojisi ve katman yapısındaki gelişime paralel olarak kaplamalı camların yalıtım performans değerleri sürekli iyileştirme göstermiş ve bunun sonucunda cephelerde kullanılan camların boyutları gün geçtikçe büyümüştür [7]. Artan cam boyutları ve bina yükseklikleri ile birlikte camın ısıl ve mekanik mukavemeti sorgulanmaya başlanmıştır. Bu nedenle kaplamalı camın mukavemet değerinin artırılması için temperleme işlemi uygulanmaya başlanmıştır.

### 3. DÜZCAMIN TEMPERLENMESİ

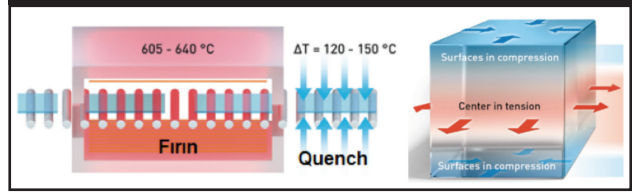
Temperli camın tarihçesi 17. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Temperli camın atası olarak kabul edilen Prince Rupert damlaları eriyik haldeki camın soğuk suya damlatılması ile elde edilmiştir. Keşfin kime ait olduğu farklı kaynaklarda değişmekle birlikte eriyik haldeki camın suya damlatılması ile camın bünyesinde kalıcı gerilimler oluştuğu fark edilmiştir. Damlacığın daha hacimli olan baş kısmında derinliği ve miktarı yüksek olan basma gerilimi oluşurken, damlacığın kuyruk kısmında oluşan basma gerilimi nispeten düşük ve yüzeyseldir. Bunun sonucunda damlacık baş kısmından çekiçle darbesi ile kırılmazken, kuyruk kısmının bir pense yardımıyla deforme edilmesi ile çok küçük parçalara kırılması son derece kolaydır. Bu keşif ile anlaşılan camda gerilim oluşumu temperli cam üretiminin temelini teşkil etmektedir. Yakın tarihte temperli camların kullanımına 1900' lü yılların başında otomotiv endüstrisinde, 1960' lü yıllarda ise mimari uygulamalarda başlanmıştır [8].

Şekil 4. Prince Rupert damlaları



Temper işlemi temel olarak camın fırında cam geçiş noktasının ( $T_g=560^\circ\text{C}$ ) üzerinde bir sıcaklık aralığına ( $610-640^\circ\text{C}$ ) ısıtıldıktan sonra quench bölümünde hava yardımıyla hızlı bir biçimde gerilim noktasının ( $510^\circ\text{C}$ ) altına soğutulması ile yapılmaktadır. Bu ısıl işlem sırasında camın yüzeyi ile merkezi arasında oluşan sıcaklık farkı ile yüzeyde basma gerilimi, merkezde ise çekme gerilimi oluşmaktadır [8].

Şekil 5. Temper sürecinde camın sıcaklık değişimi ve gerilim oluşumu



Camın yüzeyinde oluşturulan kalıcı basma gerilimi ile birlikte temperli camın mukavemeti ( $100-170\text{MPa}$ ), tavlanmış bir düz camın mukavemetine ( $25-34\text{MPa}$ ) göre 4-5 kat daha yüksektir. Bu sayede rüzgâr yüklerine karşı istenilen mekanik dayanıma ulaşabilmektedir. Camın yüzeyinde oluşan kalıcı basma gerilimi camın termal şoklara karşı direncini de yükseltmektedir. Tavlanmış bir düz camın dayanabileceği maksimum sıcaklık farkı  $70^\circ\text{C}$  iken, temperli bir cam rahatlıkla  $160^\circ\text{C}$ ' lik sıcaklık farklarına dayanabilmektedir. Kalıcı gerilimlerin bir diğer sonucu ise camın kırılma şeklidir. Temperli camın içerisinde bulunan yüksek basma ve çekme gerilimleri nedeniyle kırıldığında insan sağlığını tehdit etmeyecek küçük parçalara ayrılmaktadır [8].

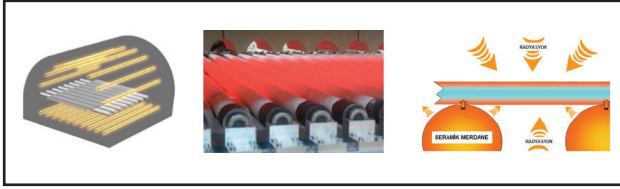
Şekil 6. Temperli cam ve tavlanmış cam arasındaki kırılma davranışı farklılığı





Düz cam temper fırınında seramik merdaneler üzerinde ileri geri osilasyon hareketi yaparak istenilen sıcaklığa ulaşmaktadır. Düzcam temper fırınlarında ısıtma tekniği olarak radyasyon kullanılmaktadır. Isıtıcı elementlerden gelen kızılötesi ışınım fırın içi elemanlar ile birlikte camı da ısıtmaktadır. Düz camın emissivite değeri 0,84 olması nedeniyle gelen kızılötesi ışınımın %84' ü cam tarafından soğurulur. Fırın tasarımında alt ve üst kısımlara yerleştirilen ısıtıcı elementlerden gelen kızılötesi ışınımın yanı sıra camın ısınmasını sağlayan bir diğer unsur seramik merdanelerdir (Şekil 6). Ergitilmiş silika (fused silica) malzemeden üretilmiş olan seramik merdanelere temas eden cam alt taraftan iletim yolu ile ısınır. Ayrıca fırın içerisinde havanın ısınması ve soğuması ile oluşan doğa bir konveksiyon hareketi de olmaktadır ancak doğal konveksiyonun camın ısınması üzerine olan etkisi ihmal edilebilecek boyutlardadır [9].

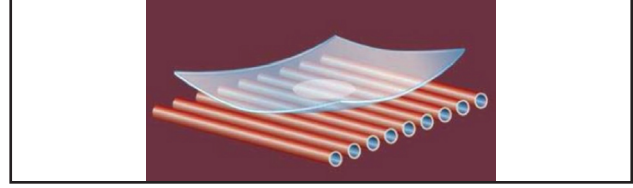
Şekil 7. Düzcam temper fırını tasarımı ve camın ısınma mekanizması



Yukarıda açıklanan ısınma mekanizması ile düz camın temper fırınında homojen bir biçimde ısınmasında ve sonrasında quench kısmında soğumasında herhangi bir zorluk yoktur.

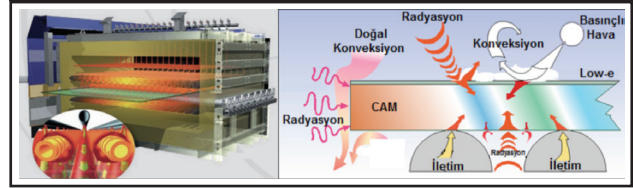
kaplama yüzeyinin kızılötesi ışınımı geri yansıtması nedeniyle üst yüzey ısınmazken, alttaki cam yüzeyi seramik merdanelerden iletim yoluyla ve alt ısıtıcı elementlerden gelen kızılötesi radyasyon ile hızlı bir şekilde ısınmaya başlayacaktır. Bunun sonucunda cam Şekil 8' deki gibi en hızlı ısınan bölge olan köşelerinden başlayarak ısınmayan yüzey olan yukarı doğru kalkmaya başlayacaktır. Tüm camın ağırlığının belirli bir bölgeye binmesi sonucunda camın merdane ile temas ettiği bölgelerde mekanik deformasyon ve bu bölgenin aşırı ısınması sonucu optik bozukluklar oluşmaya başlayacaktır. Isınma periyodunun sonunda alt ve üst yüzeylerden homojen olarak ısınmayan camın quench bölümünde kırılmadan ve istenilen optik kalitede çıkması mümkün değildir.

Şekil 8. Geleneksel temper fırınında low-e kaplamalı cam



Yukarıda açıklanan sorunun çözümü için temper fırını üreticileri ilk olarak basınçlı hava yardımıyla fırın içerisinde yapay bir konveksiyon ortamı yaratarak camı kaplama yüzeyinden ısıtmaya çalışmışlardır. Kızılötesi radyasyonu büyük ölçüde yansıtan kaplama yüzeyi konveksiyon yardımı ile alt cam yüzeyi ile orantılı bir biçimde ısıtılabilmiştir [11].

Şekil 9. Konveksiyonlu temper fırını (öncü tasarım)



Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajı kaplama yüzeyinin emissivite değerinin düşmesi ile beraber artan basınçlı hava ihtiyacıdır. Basınçlı havanın artırılması hem ekonomik açıdan uygun değildir, hem de çok fazla kullanıldığında fırının üst bölümünün soğumasına neden olarak kullanım amacına ters yönde etki yapmaya başlamaktadır.

Kaplamalı camın ısı yalıtım performansı arttıkça emissivite değeri düşmektedir. Günümüzde geliştirilen birden fazla gümüş katmanına sahip

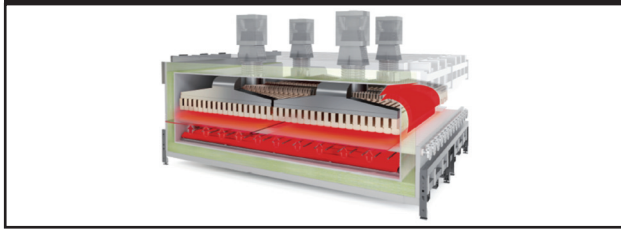
#### 4. LOW-E KAPLAMALI CAMIN TEMPERLENMESİ

Low-e kaplamaların yapısında bulunan metalik katmanların yüksek elektriksel iletkenlikleri sonucunda düşük emissiviteli bir yüzey oluşturdukları ve düşük emissivite değerine sahip yüzeylerdeki ısı değişiminin son derece sınırlı olduğu çalışmanın ikinci bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır. Bu teoriden yola çıkarak geleneksel radyasyon ile ısıtma tekniğini kullanan temper fırınlarında 0,05 gibi son derece düşük emissivite değerine sahip olan low-e kaplamalı camın homojen olarak alt ve üst yüzeyden eşit oranlarda ısıtılabilmesi mümkün değildir [10].

Low-e katmanının mekanik mukavemetinin son derece düşük olması nedeniyle temper fırınlarında her zaman kaplamasız yüzey fırın merdanelerine gelecek şekilde temper işlemi yapılmaktadır. Radyasyon ile ısıtma tekniğini kullanan geleneksel bir temper fırınına low-e kaplamalı cam beslendiğinde

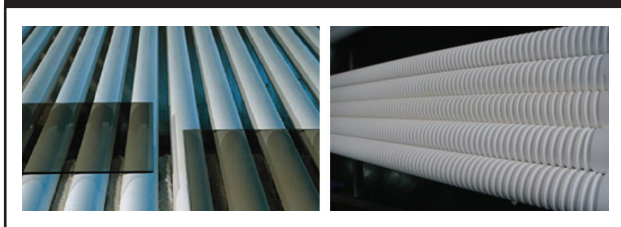
kaplamaların emissivite değerleri 0,02 değerinin altına inmeye başlamıştır. Bu nedenle temper fırınında camın kaplamalı tarafı olan üst yüzeyinden ısınması daha da zorlaşmaktadır. Gelişen temper fırını teknolojisi bu soruna üst konveksiyon sistemini geliştirmekle çözüm bulmuştur. Öncü tasarım olan basınçlı hava kullanımı yerine yeni temper fırınlarında konveksiyon fırın içerisinde sürekli olarak çevrilen ve bu nedenle sıcaklığını koruyan hava ile sağlanmaktadır. Bu yöntem sayesinde hem fırının enerji verimliliği artmakta hem de çok düşük emissivite değerine sahip yüksek performanslı kaplamalı camlar temperlenebilmektedir [12].

**Şekil 10. Yeni nesil konveksiyonlu temper fırını (top jet convection)**



Temper fırınlarında low-e kaplamalı camların temperlenmesini kolaylaştıran bir diğer teknoloji yivli seramik merdane kullanımıdır. Yivli seramik merdaneler tek başına yeterli olmamakla birlikte temper fırınlarındaki üst konveksiyon ihtiyacını azaltmaktadır. Temel prensip merdane yüzeyinde oluşturulan oluklu yapı sayesinde camın kaplamasız olan alt yüzeyinden merdaneye temas ile gerçekleşen ısı iletimini azaltmaktır. Cam alt yüzeyinden daha yavaş ısındığı için üst yüzeyinde ihtiyaç duyulan konveksiyon miktarı azalmaktadır.

**Şekil 11. Düz ve yivli seramik merdane tasarımları**



## 5. SONUÇ

Mimaride gelişen beklentilere ayak uydurabilmek ve aynı zamanda insan sağlığı ve enerji verimliliği açısından yasal sınırlandırmaları karşılayabilmek adına kaplama ve temperleme teknolojilerinde son 20 yılda büyük bir gelişim yaşanmıştır. Bu çalışmada kaplamalı camların ve temperleme işleminin bu süreçte yaşadığı değişimler özetlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

[1] Vigener, N., Brown M.A., "Building Envelope Design Guide - Glazing", Whole Building Design Guide 2009, National Institute of Building Science

[2] Structural design of glass: Stephen R. Ledbetter; Andrew R. Walker; and Alan P. Keiller, Journal of Architectural Engineering, ASCE, September 2006, 137-149

[3] Ziman, J.M. (1985). Principles of the theory of solids (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press

[4] Krane, Kenneth (2012). Modern Physics, John Wiley & Sons. p. 81.

[5] Holland, L., Siddall, G.: Heat-reflecting windows using gold and bismuth oxide films, J. appl. Phys. Vol. 9, 1958, pp. 359 - 361

[6] Donald M. Mattox, The Foundations of Vacuum Coating Technology, pringer Science & Business Media, 2013

[7] Carmody John, Stephen Selkowitz, Lisa Hescong (1996). Residential windows: a guide to new technologies and energy performance (1st. ed.). New York: Norton

[8] R. Gardon: Thermal tempering of glass, Glass Science and Technology, edited by D.R. Uhlmann and N.J. Kreidl, Academic Press 1980.

[9] Karvinen, R. and Rantala, M., Heat transfer in tempering furnace, Conference Proceedings, Glass Processing Days, 1999, 52-55.

[10] Juha Karisola, A Look at Convection Furnace Tempering, USGlass Volume 39, Issue 10, October 2004

[11] Pesonen, T., Combination Convection/Radiation views on optimizing the production parameters in glass tempering, Conference Proceedings, Glass Processing Days, 1999, 46-51.

[12] Forced convection - the solution to tempering Low Emissivity glass, J. Vitkala, Tamglass Engineering Oy, International Symposium on Glass Problems - Istanbul September 4-6, 1996, page 435-442.

SENATO  
SALONU  
16:20 - 16:40

## SODA CAMI ÜZERİNE RUTENYUM KATKILANMIŞ TiO<sub>2</sub> İNCE FİLMLEİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARININ ARAŞTIRILMASI



**Dr. Mehtap Özdemir**  
Gediz Üniversitesi,  
Elektrik-Elektronik  
Mühendisliği  
mehtap.koklu@gediz.edu.tr

**Metin Kurt**  
**Ayten Candaş**  
**Gülnur Aygün**  
**Prof. Dr. Lütfi Özyüzer**  
İzmir Yüksek Teknoloji  
Enstitüsü, Fizik Bölümü  
metinkurt@iyte.edu.tr  
aytencantas@iyte.edu.tr  
gulnuraygun@iyte.edu.tr  
lutfiozyuzer@iyte.edu.tr

2002 yılında Ege üniversitesi Fizik Bölümünden mezun oldu.  
2006 yılından İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünden yüksek lisansını, 2012  
yılında da Dokuz Eylül Üniversitesinden doktora derecesini aldı.

2009 yılında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladığı Gediz Üniversitesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak çalış-  
maktadır.

### ÖZET

Önemli bir inorganik bileşik olan TiO<sub>2</sub>; 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 biyouyumlu malzeme olarak kullanılmasının yanı sıra son zamanlarda TiO<sub>2</sub>'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<sub>2</sub>'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<sub>2</sub>'nin bant aralığının değişmesi ve normal güneş ışığında da fonksiyonel olarak görevini yerine getirebilmesini sağlarlar. Bu çalışmada 77 nm kalınlığında TiO<sub>2</sub> ince filmler vakumda miknatıssal saçtırma yöntemi kullanılarak soda camları üzerine üretilmiştir. Üretilen camlar fotokatalitik özelliğini arttırmak için Ru ile katkılandırılmıştır. Üretilen filmlerin karakterizasyonu taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ru katkılı TiO<sub>2</sub> ince filmlerin fotokatalitik özellikleri UV/Vis spektrofotometre yardımıyla belirlenmiştir. Sonuçlar endüstriyel uygulamalar açısından irdelenerek sunulacaktır.

[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] Watthanaorun, J., Pavarajarn, 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)

Notlar: Bu çalışma TÜBİTAK 2241A-Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Rutenyum, TiO<sub>2</sub>, fotokatalitik özellik

**Salih Top**  
**Ümmü Mustafaoğlu**  
**Nilüfer Evcimen Duygulu**  
**Ahmet Karaaslan**  
**Ahmet Ekerim**  
Yıldız Teknik Üniversitesi,  
Metalurji ve Malzeme  
Mühendisliği  
salihtop59@gmail.com  
umustafaoglu@gmail.com  
niluferduygulu@gmail.com  
karaas@yildiz.edu.tr  
ekerim@yildiz.edu.tr

**Doç.Dr. Alp Osman**  
**Kodolbaş**  
TÜBİTAK MAM,  
Malzeme Enstitüsü  
alposman.kodolbas@  
tubitak.gov.tr

## İNCE FİLM FOTOVOLTAİK UYGULAMALAR İÇİN KİMYASAL OLARAK PÜRÜZLENDİRİLMİŞ AL KATKILI ZNO FİMLERİN ÖZELLİKLERİ

*Salih Top, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nden 2014 yılında lisans derecesini aldıktan sonra aynı yıl yüksek lisans programına Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Metalurjisi anabilim dalında başlamıştır. Halen bu bölümde eğitim-öğretim hayatına devam etmektedir.*

### ÖZET

Cam altlık yüzey üzerine oda sıcaklığında r.f. manyetik alan altında sıçratma tekniği ile Al katkılı ZnO (AZO) ince filmler biriktirilmiştir. Derişik NH<sub>4</sub>Cl çözeltileri kullanılarak pürüzlendirilmiş ZnO:Al ince filmlerin elektriksel, morfolojik ve optik özellikleri, dört uçlu ölçüm probu, Taramalı elektron mikroskobu, Atomik kuvvet mikroskobu, FOM ve optik geçirgenlik ölçümleri kullanılarak incelenmiştir. Pürüzlendirilmiş filmlerin ışık saçınımı ve ışık tuzaklama kabiliyetlerinin arttığı görülmüştür. NH<sub>4</sub>Cl çözeltisi içinde aşındırılan ZnO:Al ince filmlerde, 280 nm - 2500 nm dalga boyu aralığında, ortalama geçirim değeri yaklaşık %82 elde edilmiş ve en düşük özdirenç değeri 3.9 10<sup>-4</sup> Ω.cm 'ye ulaşmıştır. Aşındırma işleminden sonra FOM en yüksek 2194.14 (Ω.cm)<sup>-1</sup> değerinde olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** r.f. manyetik sıçratma, Al katkılı çinko oksit, ZnO:Al ince film, saydam iletken oksit, kimyasal aşındırma

### ABSTRACT

In this study, aluminum doped zinc oxide (ZnO:Al) thin films were deposited on glass substrates by r.f. magnetron sputtering technique, at room temperature. The optical, electrical and morphological properties of AZO films textured by wet-etching with different diluted etchant NH<sub>4</sub>Cl are studied. It is found that the textured structure could enhance the light scattering and light trapping ability of textured ZnO:Al thin films. Various methods were used to characterize the electrical, structural, and optical properties of the films such as four point probe, Scanning electron microscopy, Atomic force microscopy, FOM and optical transmittance. The average transparency value achieved, the transmittance-wavelength range of 280 nm- 2500 nm, approximately 82% for textured ZnO:Al thin films etched with NH<sub>4</sub>Cl and the minimum resistivity value was obtained as 3.9 10<sup>-4</sup> Ω.cm. The observed results revealed that the maximum figure of merit (FOM) values were around 2194.14 (Ω.cm)<sup>-1</sup>.

**Keywords:** r.f. magnetron sputtering, Al-doped zinc oxide, ZnO:Al thin film, transparent conductive oxides, wet-etching

### GİRİŞ

Saydam iletken oksit (SiO) filmlerin, yüksek optik geçirgenliğe ve düşük özdirence sahip olmalarından dolayı fotovoltaik uygulamalarda kullanımına olan ilgi hızla artmaktadır.[1-3] Saydam iletken oksit kaplama olarak genellikle indiyum katkılı kalay oksit (ITO) kullanılmaktadır[4]. Endüstriyel standart olan ITO, Dünya'da indiyum rezervlerinin azalması, ITO kaplı cam fiyatlarının artması ve fotovoltaik uygulamalar için düşük maliyetli kimyasal süreçler ile yüzey pürüzlendirmenin güçlüğü nedeni ile indiyum içermeyen, alternatif SiO kaplamalar geliştirilmeye başlanmıştır. Son yıllarda r.f. manyetik sıçratma tekniği ile üretilen alüminyum katkılı çinko oksit (AZO) filmler yüksek geçirgenlik, düşük özdirenç, geniş optik bant aralığı gibi üstün elektriksel ve optik özellikler göstermelerinin yanında düşük malzeme maliyeti ve ITO gibi toksik olmayışı ile de öne çıkmaktadır[5,6]. İnce film fotovoltaik uygulamalar için özellikle ZnO:Al kaplamaların kimyasal işlemlerle pürüzlendirilebilir olması güncel araştırma konuları arasındadır.



Büyütülen ZnO:Al ince filmlerin yüzeyleri yeterli pürüzlülüğe sahip değildir. Filmlerin kimyasal pürüzlendirilmesi, oluşan filmlerin yüzey morfolojisinin ışık saçınımları ve ışık tuzaklama kabiliyetini arttırmaktadır. Kimyasal pürüzlendirme işlemi, düşük maliyet ve ısı kararlılık gibi avantajlarının yanında basit bir prosese sahiptir [7-9]. Literatürde AZO filmleri pürüzlendirmek için genellikle %0.5 HCl çözeltisi kullanıldığı görülmektedir. Son yıllarda, AZO filmleri pürüzlendirmek için  $\text{NH}_4\text{Cl}$  [10] ve HF [11] gibi aşındırıcı çözeltiler de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, ZnO:Al ince filmlerin yüzey morfolojilerini iyileştirmek için, farklı uygulama sürelerinde % 0.5 'lik  $\text{NH}_4\text{Cl}$  çözeltisi içinde kimyasal pürüzlendirme prosesi uygulanmıştır. Elde edilen filmlerin elektriksel ve optik özellikleri dört uçlu ölçüm probu tekniği ve UV - VIS spektroskopu ile, yapısal ve morfolojik özellikleri ise SEM ve AFM cihazları ile karakterize edilmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

ZnO:Al ince filmler, r.f. manyetik alan altında sıçratma tekniği ile  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  boyutundaki düz camlar üzerinde büyütülmüştür. Cam altlık malzemeler sırasıyla izopropil alkol (IPA), aseton ve de iyonize(D.I) su içinde bekletilerek temizlenmiştir. Temizlenen camlar azot ortamında kurutulmuştur. Sıçratma prosesi; 250 W r.f. gücü, 45 mm  $D_{TS}$  mesafesi değerlerinde, 5 dk ön sıçratma ve 30 dk sıçratma süreleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

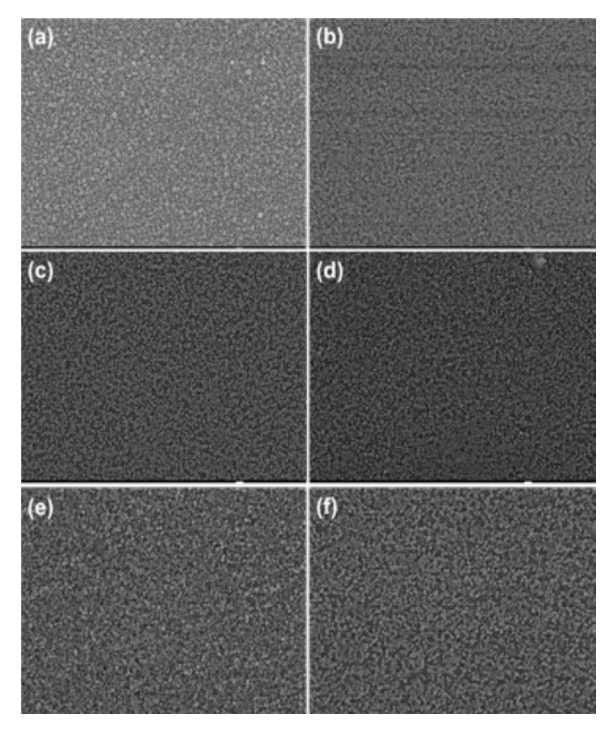
Saydam iletken oksit tabakaların optik, elektriksel ve ışık tuzaklama özelliklerini geliştirmek için yüzey pürüzlendirme işlemleri ZnO:Al ince filmler için uygulanmıştır. Proseste kimyasal aşındırma yöntemi kullanılmış olup, %0.5'lik amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) aşındırıcı kimyasal olarak kullanılmıştır. Optimum üretim koşulları belirlenen ZnO:Al ince filmlere farklı uygulama sürelerinde pürüzlendirme işlemleri uygulanmıştır. Süreler; 3 dk., 5 dk., 10 dk., 12 dk., 14 dk., 15 dk., 16 dk., 20 dk., 22 dk. ve 25 dk. şeklinde değiştirilmiştir. Saf suda bekletme işlemi 2 dakika süresince gerçekleştirilmiştir. Daha sonra pürüzlendirilmiş filmler azot ortamında kurutulmuştur. Elde edilen pürüzlendirilmiş filmler çeşitli karakterizasyon yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntemlerde kullanılan cihazlar; SEM, AFM, UV-Vis spektroskopu, pusluluk şeklinde sıralanmaktadır.

## DENEYSEL SONUÇLAR

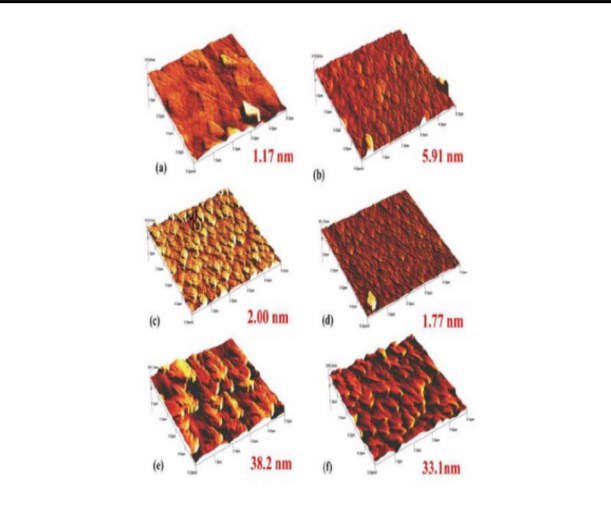
ZnO:Al ince filmlerin kimyasal pürüzlendirme sonrası direnç ölçümleri dört uçlu ölçüm probu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama süresinin film direncine etkisi incelendiğinde pürüzlendirme sonrası direnç değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmiştir. Artan uygulama süresi ile beraber filmlerin direnç değerlerindeki artış % 1.79 ve % 20.96 aralığında değişim göstermiştir.

Farklı sürelerde aşındırılan ZnO:Al ince filmlerin SEM yüzey görüntüleri incelendiğinde (Şekil 1) artan süre ile taneler arasındaki mesafe giderek artmıştır. Bu da geniş dağılım aralığında yüksek geçirim sağlanmasını kolaylaştırmıştır.

Şekil 1. Farklı aşındırma sürelerinde pürüzlendirilen ZnO:Al filmlerin yüzey HRSEM görüntüleri; (a) 0 dk, (b) 10 dk, (c) 15 dk, (d) 16 dk, (e) 20 dk, (f) 25 dk



Şekil 2. Farklı aşındırma sürelerinde yüzey pürüzlülük değişimi; (a) 0 dk, (b) 5 dk, (c) 10 dk, (d) 15 dk, (e) 20 dk, (f) 25 dk





Yüzey pürüzlülüğünü daha detaylı incelemek için yapılan morfolojik incelemelerden birisi de AFM ölçümüdür. Elde edilen görüntüler Şekil 2'de yer almaktadır. Farklı aşındırma süreleri için elde edilen RMS değerleri 5 dakika için 5.91 nm, 10 dakika için 2.00 nm, 15 dakika için 1.77 nm, 20 dakika için 38.2 nm ve 25 dakika için 33.1 nm şeklindedir. AFM görüntüleri ve RMS değerlerine göre aşındırma işlemi sonucunda pürüzlülük değeri 20 dakika pürüzlendirilmiş filmde maksimum değere ulaşmıştır. 20. dakikadan sonra ise pürüzlülük değerinde tekrar azalma görülmüştür (Şekil 2.f). Başlangıç ile 20. dakika arasındaki RMS değerinin değişimi % 33 olarak tespit edilmiştir.

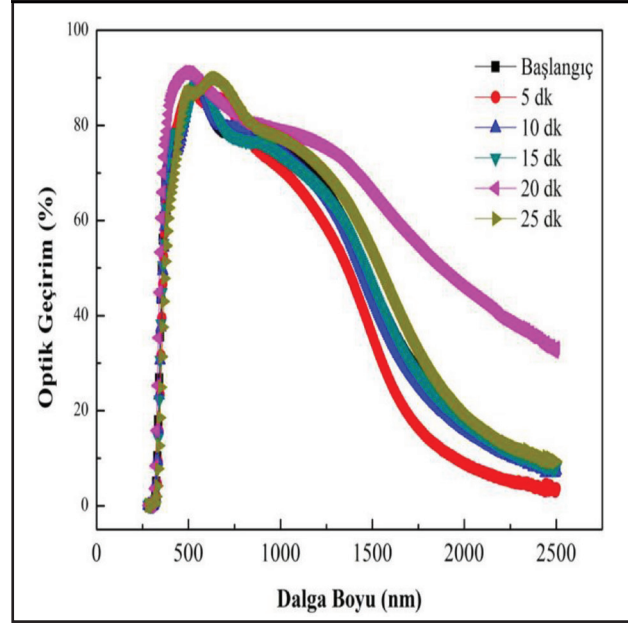
Yüzey pürüzlendirme işlemi sonrasında meydana gelen kalınlık değişimleri HRSEM tekniği ile hesaplanmıştır. SEM kesit görüntüleri kullanılarak ölçülen kalınlık değerleri Tablo 1'de yer almaktadır. Başlangıç film kalınlığına göre aşındırma süresi arttıkça ZnO:Al ince filmlerin kalınlıkları azalmıştır. Kalınlık değerindeki en büyük düşüş 20. dakikada meydana gelmiş olup başlangıç kalınlığına oranla yaklaşık olarak % 75 azalma görülmüştür.

**Tablo 1.** Aşındırma süresine bağlı olarak kalınlık, öz direnç, RMS, ortalama geçirgenlik, pusluluk ve FOM değişimi

Aşındırma Süresi (dk.)	Kalınlık (nm)	Özdirenç $10^{-3}$ ( $\Omega$ .cm)	RMS (nm)	Ortalama Geçirgenlik (%)	Pusluluk (%)	FOM 104 ( $\Omega$ .cm) <sup>-1</sup>
Başlangıç	223.05	0.60	1.17	81.300	0.36	1349.971
5	209.3	1.63	5.91	83.610	0.52	512.1467
10	171.8	1.49	2.00	81.555	0.38	545.6425
15	153.8	2.52	1.77	81.623	0.51	323.6029
20	57.25	0.39	38.2	86.674	0.68	2194.14
25	183.75	0.90	33.1	84.856	0.93	942.4518

Tablo 1'de yer alan öz direnç değişimleri incelendiğinde aşındırma işlemi sonrasında  $10^{-3}$   $\Omega$ .cm -  $10^{-4}$   $\Omega$ .cm aralığında değişen öz direnç değerleri 20. dakikada en düşük değere ( $3.9 \cdot 10^{-4}$   $\Omega$ .cm) ulaşmıştır. Pürüzlendirme işleminden sonra incelenmesi gereken önemli parametrelerden biri de pusluluk değişimidir. Tablo 1'deki pusluluk değerlerinde görüldüğü üzere aşındırma süresi arttıkça pusluluk yüzdesi de artmaktadır. Aşındırma süresince FOM değişimi incelendiğinde minimum değer 323.6029 104 ( $\Omega$ .cm)<sup>-1</sup> olarak 15 dakika aşındırma süresinde elde edilmiştir. Optik geçirim öz dirence oranıyla hesaplanan FOM, en yüksek değere 20 dakikalık aşındırma süresinde ulaşmıştır.

**Şekil 3.** Farklı aşındırma sürelerine bağlı olarak optik geçirim değişimi



Pürüzlendirme işlemi sonrasında ZnO:Al ince filmlerin optik özellikleri incelendiğinde ortalama geçirim değişimi yaklaşık olarak % 82 olarak elde edilmiştir. Şekil 3'te 280 nm - 2500 nm dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiş olan ölçüm sonuçları yer almaktadır. Optik geçirim sonuçları kıyaslandığında en yüksek değer % 86.674 olarak 20 dakika pürüzlendirilmiş film için elde edilmiştir.

## SONUÇLAR

Al katkılı ZnO ince filmlerin büyütülmesi sonrası kimyasal pürüzlendirme işlemi, % 0.5' lik amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) çözeltisi ile farklı sürelerde uygulanarak filmlerin elektriksel, optik ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre en düşük öz direnç değerine 20 dakika boyunca pürüzlendirme işlemine tabi tutulan filmde  $3.9 \cdot 10^{-4}$   $\Omega$ .cm 'ye ulaşmıştır. Ayrıca, bu değerde en yüksek pürüzlülük değerine, 38.2 nm'ye ulaşmıştır. Optik geçirim sonuçlarına göre %86.674 olarak ölçülen en yüksek geçirgenlik değeri 20 dk 'lık pürüzlendirme prosesinde görülmüştür. Filmlerin optik geçirgenliğinin kimyasal pürüzlendirme işlemi ile önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Pürüzlendirilmiş filmlerin ışık saçınımı ve ışık tuzaklama kabiliyetlerinin arttığı gözlenmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkarak, % 0.5  $\text{NH}_4\text{Cl}$  kullanılarak gerçekleştirilen pürüzlendirme işlemlerinde aşındırma süresi 20 dakika olarak belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 113M953 no 'lu proje kapsamında desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

[1] Müller, J., Rech, B., Springer, J., Vanecek, M. 2009. TCO and light trapping in silicon thin film solar cells. Sol. Energy 77: 917-930.

[2] Hong, R.J., Jiang, X., Szyszka, B., Sittinger, V., Xu, S.H., Werner, W., Heide, G. 2003. Comparison of the ZnO:Al films deposited in static and dynamic modes by reactive mid-frequency magnetron sputtering. J. Cryst. Growth 117-128.

[3] Minami, T. 2005. Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes. Semicond. Sci. Technol. 20: 35-44.

[4] Gong, L., Lu, J., Ye, Z. 2010. Transparent and conductive Ga-doped ZnO films grown by RF magnetron sputtering on Cells. 94: 937-941.

[5] Kluth, O., Rech, B., Houben, L., Wieder, S., SchoEpe, G., Beneking, C., Wagner, H., LoEffl, A., Schock, H.W. 1999. Texture etched ZnO: al coated glass substrates for silicon based thin film solar cells. Thin Solid Films 351: 247-253.

[6] Berginski, M., Hüpkes, J., Schulte, M., SchoEpe, G., Stiebig, H., Wuttig, M. 2007. The effect of front ZnO: al surface texture and optical transparency on efficient light trapping in silicon thin-film solar cells. J. Appl. Phys. 101 074903.

[7] Beyer, W., Hüpkes, J., Stiebig, H. 2007. Transparent conducting oxide films for thin film silicon photovoltaics. Thin Solid Films 516 147-154.

[8] Tark, S.J., Kang, M.G., Park, S., Jang, J.H., Lee, J.C., Kim, W.M., Lee, J.S., Kim, D. 2009. Development of surface-textured hydrogenated ZnO: al thin-films for lc-Si solar cells. Curr. Appl. Phys 9: 1318-1322.

[9] MüKller, J., Kluth, O., Wieder, S., Siekmann, H., SchoEKpe, G., Reetz, W., Vetterl, O., Lundszen, D., Lambertz, A., Finger, F., Rech, B., Wagner, H. 2001. Development of highly efficient thin film silicon solar cells on texture-etched zinc oxide coated glass substrates. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 66: 275-281.

[10] Fernandez, S., De Abril, O., Naranjo, F.B., Gandía, J.J. 2012. Etching process optimization using NH<sub>4</sub>Cl aqueous solution to texture ZnO: al films for efficient light trapping in flexible thin film solar cells. Thin Solid Films 520: 4144-4149.

[11] Bunte, E., Zhu, H., Hüpkes, J., Owen, J. 2011. Novel texturing method for sputtered zinc oxide films prepared at high deposition rate from ceramic tube targets. EPJ Photovolt. 2: 20602.

SENATO  
SALONU  
17:00 - 17:20

**Dr. Selin Pıravadılı Mucur<sup>1</sup>**  
**Sait Eren Sa<sup>2</sup>**  
**Emine Tekin<sup>1</sup>**  
**Doç.Dr. Fikret Yıldız<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>TÜBİTAK MAM ME,  
<sup>2</sup> Gebze Teknik  
 Üniversitesi  
 selpira@yahoo.com  
 erens@gtu.edu.tr  
 emine.tekin@tubitak.gov.tr  
 fyildiz@gtu.edu.tr  
 fatay@ogu.edu.tr

## OLED'LERDE ALTERNATİF ANOT ELEKTROT OLARAK NİKEL KULLANIMI

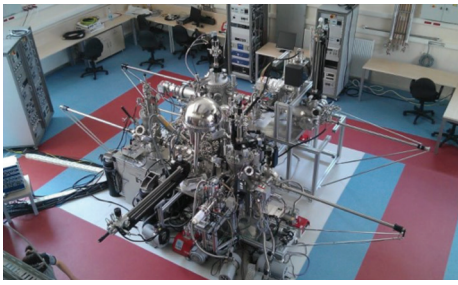
*Selin PIRAVADILI MUCUR Bandırma'da doğdu. İlk-orta-lise öğrenimini Bandırma'da tamamladıktan sonra 2000-2007 yıllarında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği'nde lisans ve yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2011 yılında TÜBİTAK UME Fotonik, Elektronik ve Sensörler Laboratuvarı'nda öğrenci olarak deneysel çalışmalarına başlamış olup 2012 yılında başladığı Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE), Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı'nda doktora programına başladı ve 2013 yılından bu yana TÜBİTAK MAM'da Fotonik Teknolojileri Grubu'nda çalışmaktadır.*

ITO görünür bölgedeki saydamlığı ve yüksek elektriksel iletkenliği sayesinde OLED'lerde elektrot olarak sıklıkla kullanılmaktadır. ITO büyütülmesinde saçtırma, kimyasal buhar kaplama, elektron demeti kaplama ve ısı-sprey kaplama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Isıl-sprey kaplama ile ITO'nun iş fonksiyonu OLED'in organik tabakalarının doldurulmuş en yüksek moleküler orbital (HOMO) seviyesinden yaklaşık 1eV daha düşüktür [1]-[4]. ITO ile organik tabakalar arasındaki enerji seviyesi arttıkça arayüzdeki Schottky bariyeri artacak ve böylelikle arayüzdeki akımın azalmasına neden olmaktadır. ITO'nun iş fonksiyonunu organik tabakaların HOMO seviyesine çıkarmak Schottky bariyerini azaltarak ITO'dan organik tabakalara olan boşluk enjeksiyonunu artırarak aygıtın çalışma gerilimini azaltmaktadır [5]-[11]. Plazma muamelesi, UV muamelesi ve molekül aşılama ITO'nun iş fonksiyonunu artırmak için uygulanan yöntemlerden bazılarıdır. Bunların arasında oksijen plazma muamelesi saçtırma tekniğiyle büyütülmüş ITO'nun iş fonksiyonunu arttırmada en etkili yöntemdir [12]-[18]. Ancak, ITO çeşitli yönleriyle yüksek performanslı OLED'ler için optimum özelliklerden uzaktır. OLED'lerin çalışması sırasında organik yarı iletkenler içine ITO'dan indiyum ve oksijen göçü aygıtın bozulmasına neden olduğu bilinmektedir. ITO'nun elektriksel özellikleri yukarıda bahsedildiği gibi büyük ölçüde film hazırlama aşamasına bağlıdır [19], [20]. ITO filminin pürüzlülüğü ve iş fonksiyonu boşluk enjeksiyonunu etkilemektedir [21]. 100 nm ITO filminin elektriksel direnci 20-80  $\Omega$ /sq gibi yüksek bir değer olduğundan üzerinde gerilim düşmesine neden olmaktadır ve OLED'lerin çalışma gerilimini etkilemektedir [22]. Dahası, son yıllarda indiyum elementi fiyatındaki artış nedeniyle ITO maliyeti yükselmiştir. Birçok alternatif malzeme, örneğin, TiN [23], Al katkılı ZnO [24] ve florin kalay oksit [25], ITO yerine anot malzemeleri olarak incelenmiştir. ancak hiçbiri ITO'dan daha düşük bir iş fonksiyonuna ya da daha düşük bir iletkenliğe sahip olmadığından, OLED'lerde anot elektrot olarak ideal değildir. Ga-In-Sn-O (GITO), Zn-In-Sn-O (ZITO), Ga-In-O (GIO) ve Zn-In-O (ZIO) gibi diğer şeffaf iletken oksitler, ITO'ya kıyasla daha yüksek bir iş fonksiyonuna ve benzer bir elektriksel iletkenliğe sahip olduklarından, OLED'lerde anot malzemeleri olarak incelenmiştir [26]. Ancak, onlar da indiyum elementi içerdiğinden ve indiyum organik tabakalara nüfuz edebildiğinden ve indiyum elektrotlar pahalı olduğundan potansiyel olarak sorunludur. Bunların yanı sıra, Au [27], Ni [28] ve Pt [29] gibi, daha yüksek bir iş fonksiyonuna sahip çeşitli metaller OLED'ler için anot olarak araştırılmıştır. Bu çalışmalarda metal ITO elektrotun yüzey morfolojisini değiştirmek ya da üstten ışık yayan OLED'ler için anot olarak kullanılmıştır. Yüzeyi modifiye edilmiş ince Ag Film [30], [31] ITO yerine yarı saydam bir elektrot olarak kullanılmış, ancak saydamlığı düşük olmuştur. Son zamanlarda, karbon nanotüp filmler, şeffaf ve iletken elektrotlar [32]-[33] olarak incelenmiştir ancak yüksek film dirençleri nedeniyle aygıt performansı sınırlamıştır. Yapılan bazı çalışmalarda ise Ni katkılı ve Ni gömülmüş ITO'larla aygıt çalışma geriliminde ~2.3 V azalma görülmüştür [34],[35].

Bu çalışmada ise nikel anot elektrot olarak ITO yerine kullanılmıştır. Nikelin iş fonksiyonu -5.1 eV ile ITO'dan (-4.7 eV) daha küçüktür. Bu da aygıt yapısında kullanılan boşluk ileten tabakanın (HTL) HOMO (5.0 eV) seviyesi ile daha uyumlu olması ve düşük maliyeti nedeniyle ITO'nun alternatifi olarak düşünülmüştür. Literatür

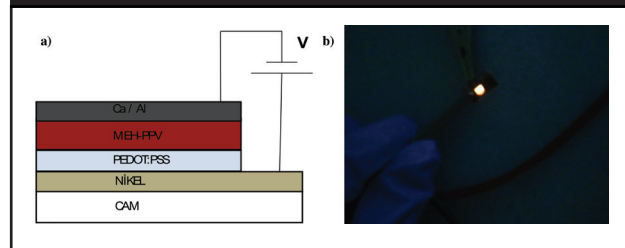
çalışmalarında Ni genellikle Cu ya da gümüşle birlikte büyütülerek HTL'nin HOMO seviyesiyle uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır. Ancak bu çalışmada literatürden farklı olarak nikel kaplaması yapılarak alternatif anot elektrot olarak büyütülmüştür. Cu ya da Ag ile birlikte büyütülmek suretiyle hem tek başına Ni'nin etkisinin araştırılması hedeflenmiş, hem de üretim maliyeti ve kolaylığının sağlanması göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla, Ni Şekil 1'de görülen moleküler ışın epitaksi (MBE) büyütmede kullandığımız vakum seviyesi  $10^{-10}$  mbar değerinde ultra yüksek vakum seviyesindedir.

**Şekil 1:** Deneysel çalışmada kaplama yapılan Gebze Teknik Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'ndeki MBE sistemi.



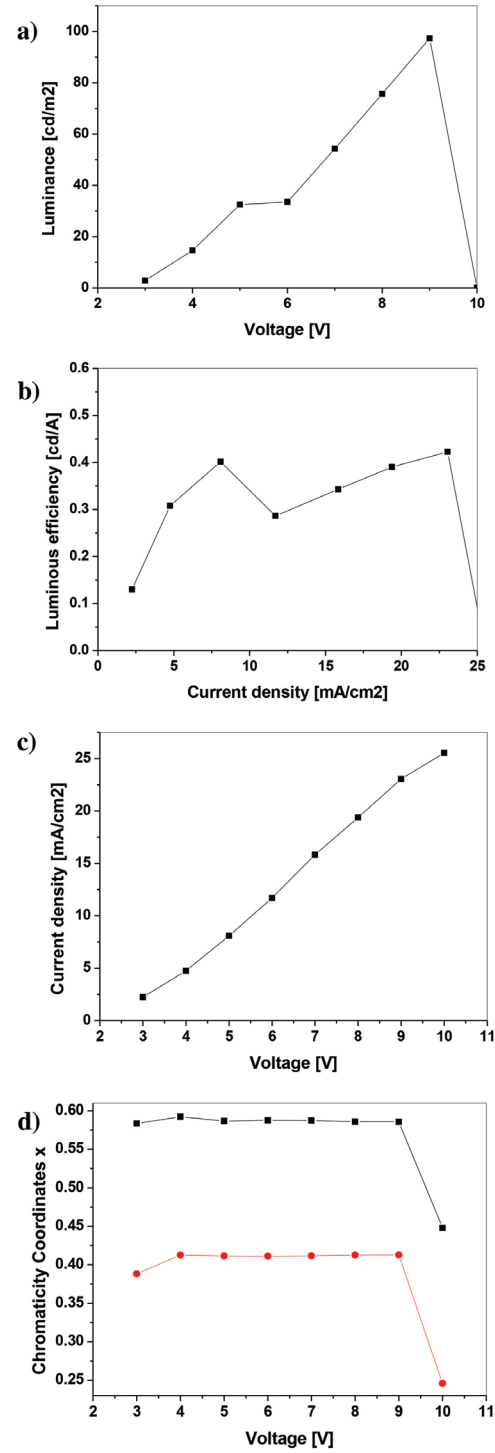
**Deneysel Çalışma:** Temizlenmiş cam üzerine Ni filmler ultra yüksek vakumda MBE yoluyla büyütülmüştür. Kaplama sırasında MBE odasının basıncı  $8 \times 10^{-10}$  mbar'dır. Şekil 2a'da görüldüğü gibi 2 nm Nikel kaplandıktan sonra boşluk ileten tabaka olarak PEDOT:PSS (~50 nm) ve ışık yayan tabaka olarak MEH-PPV (120 nm) dönel kaplama ile elektron enjekte eden tabaka olarak Ca (6 nm) ve Al (130 nm) katot elektrot olarak termal buharlaştırma tekniğiyle ( $10^{-6}$  mbar) büyütülmüştür. Aygıtlar karakterize edilmeden önce reçine ile enkapsüle edilmiştir. Şekil 2b'de görülen aygıtın ışık veren aktif alanı  $4.5 \text{ mm}^2$ 'dir.

**Şekil 2:** Çalışmada imal edilen aygıtların a) mimarisini b) 5V uygulandığındaki ışması.



Şekil 3'te görüldüğü gibi Nikel anot kullanıldığında aygıt parlaklığı Nikelin görünür bölgede saydamlığının az olması nedeniyle düşüktür (~100 cd/m<sup>2</sup>). Parlaltı verimi ise 0.45 cd/A olarak ölçülmüştür. Şekil 3 d'de ise renk koordinatları verilmiştir. Aygıtın çalışması sırasında ışma rengi oldukça monokromatiktir.

**Şekil 3:** İmal edilen OLED'lerin karakteristikleri, a) Parlaltı-gerilim, b) parlaltı verimi-akım yoğunluğu, c) akım yoğunluğu-gerilim, d) Kromatiklik koordinatları- gerilim.





Sonuç olarak, yaptığımız bu çalışma ITO yerine diğer metallerin de kullanılabilirliğinin yolunu açmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda ITO alternatif malzemeler kullanılması özgün değeri ve literatüre katkısı bakımından oldukça önemli bir yere sahip olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Han S., Feng X., Lu Z.H., Johnson D. Wood, R., (2003), "Transparent-cathode for top-emission organic light-emitting diodes", Applied Physics Letters, 82, 2715.
- [2] Chen B.J., Sun X.W., Tan S.C., (2005), "Transparent organic light-emitting devices with LiF/Mg:Ag cathode", Optical Express, 13, 937.
- [3] Wu C.C., Lin C.L., Hsieh P.Y., Chiang H.H., (2004), "Methodology for optimizing viewing characteristics of top-emitting organic light-emitting devices", Applied Physics Letters, 84, 3966.
- [4] Hsu C.M., Liu C.F., Cheng H.E., Wu W.T.J., (2006), "Adiabatic nanometer-scale thermal capacity of chalcogenide nano thin films", Electronic Materials, 35, 3.
- [5] Monkade M., Fuliang Z., Martinot-Lagarde P., Durand, G. (1987), "Fast write and erase surface resistance induced nematic liquid crystal display", Applied Physics Letters, 50, 856.
- [6] Fan J.C.C., Bachner F. J., (1975), "Properties of Sn-Doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Films Prepared by RF Sputtering", Journal of Electrochemical Society, 122, 1719.
- [7] Liversey R.G., Lyford E., Moore H.J., (1968), "A technique for the production of transparent, electrically conducting tin oxide films on glass substrates", Physics E1, 947.
- [8] Hamberg I., Granqvist C.G.J., (1986), "Evaporated Sn doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films: Basic optical properties and applications to energy efficient Windows", Journal of Applied Physics, 60, 11.
- [9] Blandenet G., Court M., Lagarde Y., (1981), "Thin layers deposited by the pyrosol process", Thin Solid Films, 77, 81.
- [10] Pommier R., Grill C., Marucchi J., (1981), "Sprayed films of indium tin oxide and fluorine-doped tin oxide of large surface area", Thin Solid Films, 77, 91.
- [11] Zhou Z.B., Cui R.Q., Pang Q.J., Wang Y.D., Meng F.Y., Sun T.T., Ding Z.M., Yu X.B., (2001), "Preparation of indium tin oxide films and doped tin oxide films by an ultrasonic spray CVD process", Applied Surface Science, 172, 245.
- [12] Maki K., Komiya N., Suzuki A., (2003), "Fabrication of thin films of ITO by aerosol CVD", Thin Solid Films, 445, 224.
- [13] Park N.G., Kwak M.Y., Kim B.O., Kwon O.K., Kim Y.K., Kim Y.S., (2002), "Effects of indium-tin-oxide surface treatment on organic light-emitting diodes", Japanese Journal of Applied Physics, 41, 1523.
- [14] Adachi, C., Nakajima Y., Oyamada T., (2003), "Data book on work function of organic thin films", 2nd Ed. CMC, Tokyo.
- [15] Lee K.H., Jang H.W., Kim K.B., Tak Y.H., Lee J.L., (2004), "Mechanism for the increase of indium-tin-oxide work function by O<sub>2</sub> inductively coupled plasma treatment", Journal of Applied Physics, 95, 586.
- [16] Mason M.G., Hung L.S. Tang, C.W., Lee S.T., Wong K.W., Wang M., (1999), "Characterization of treated indium tin oxide surfaces used in electroluminescent devices", Journal of Applied Physics, 86, 1688.
- [17] Sugiyama K., Ishi H., Ouchi Y., Seki K., (2000), "Dependence of indium-tin-oxide work function on surface cleaning method as studied by ultraviolet and x-ray photoemission spectroscopies", Journal of Applied Physics, 87, 295.
- [18] Ganzorig C., Kwak K., Yagi K., Fujihira M., (2001), "Fine tuning work function of indium tin oxide by surface molecular design: Enhanced hole injection in organic electroluminescent devices", Applied Physics Letters, 79, 272.
- [19] Chan I.M., Hsu T.Y., Hong F.C., (2002), "Enhanced hole injections in organic light emitting devices by depositing nickel oxide on indium tin oxide anode", Applied Physics Letters, 81, 1899.
- [20] Hsu C.M., Wu W.T., (2004), "Improved characteristics of organic light-emitting devices by surface modification of nickel-doped indium tin oxide anode", Applied Physics Letters, 85, 840.
- [21] Kim J.S., Granstrom M., Friend R.H., Johansson N., Salaneck W.R., Daik R., Feast W.J., Cacialli F., (1998), "Indium-tin oxide treatments for single- and double-layer polymeric light-emitting diodes: The relation between the anode physical, chemical, and morphological properties and the device performance", Journal of Applied Physics, 84, 6859.
- [22] Kim H., Pique A., Horwitz J.S., Mattoussi H., Murata H., Kafafi Z.H., Chrisey D.B., (1999), "Indium tin oxide thin films for organic light-emitting devices", Applied Physics Letters, 74, 3444.



- [23] Lin K., Kumar R.S., Peng C., Lu S., Soo-Jin C., Burden A.P., "Au-ITO Anode for Efficient Polymer Light-emitting Device Operation", (2005), IEEE Photonics Technology Letters, 17, 543.
- [24] Gu G., Forrest S.R., (1998), "Design of flat-panel displays based on organic light-emitting devices", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 4, 83.
- [25] Adamovich V., Shoustikov A., Thompson M. E., (1999), "TiN as an Anode Material for Organic Light-Emitting Diodes", Advanced Materials, 11, 727.
- [26] Kim H., Gilmore C.M., Horwitz J.S., Pique A., Murata H., Kushto G. P., Schlaf R., Kafafi Z. H., Chrisey D. B., (2000), "Transparent conducting aluminum-doped zinc oxide thin films for organic light-emitting devices", Applied Physics Letters, 76, 259.
- [27] Andersson A., Johansson N., Bröms P., Yu N., Lupo D., Salaneck W.R., (1998), "Fluorine Tin Oxide as an Alternative to Indium Tin Oxide in Polymer LEDs", Advanced Materials, 10, 859.
- [28] Cui J., Wang A., Edleman N.L., Ni J., Lee P., Armstrong N.R., Marks T.J., (2001), "Indium Tin Oxide Alternatives-High Work Function Transparent Conducting Oxides as Anodes for Organic Light-Emitting Diodes", Advanced Materials, 13, 1476.
- [29] Lee C.J., Pode R.B., Moon D.G., Han J.I., (2004), "Realization of an efficient top emission organic light-emitting device with novel electrodes", Thin Solid Films, 467, 201.
- [30] Qiu C.F., Peng H.J., Chen H. Y., Xie Z. L., Wong M., Kwok H. S., (2004), "Top-Emitting OLED Using Praseodymium Oxide Coated Platinum as Hole Injectors" IEEE Transactions of Electronic Devices, 51, 1207.
- [31] Wu Z., Chen S., Yang H., Zhao Y., Hou J., Liu S., (2004), "Top-emitting organic light-emitting devices based on silicon substrate using Ag electrode", Semiconductor Science and Technology, 19, 1138.
- [32] Peng H.J., Zhu X.-L., Sun J.X., Xie Z.L., Xie S., Wong M., Kwok H.-S., (2005), "High-efficiency microcavity top-emitting organic light-emitting diodes using silver anode" , Applied Physics Letters, 87, 173.
- [33] Wu Z., Chen Z., Du X., Logan J.M., Sippel J., Nikolou M., Kamaras K., Reynolds J.R., Tanner D.B., Hebard A.F., Rinzler A.G., (2004), "Transparent, conductive nanotube films", Science, 305, 1273.
- [34] Lee K., Wu Z., Chen Z., Ren F., Pearton S.J., Rinzler A.G., (2004), "Single wall carbon nanotubes for p-type ohmic contacts to GaN light-emitting diodes", Nano Letters, 4, 911.
- [35] Lagemaat J.v.d., Barnes T.M., Rumbles G., Shaheen S.E., Coutts T.J., Weeks C., Levitsky I., Peltola J., Glatkowski P., (2006), "Organic solar cells with carbon nanotubes replacing In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sn as the transparent electrode", Applied Physics Letters, 88, 233503.
- [36] Rowell M.W., Topinka M.A., McGehee M.D., Prall H.-J., Dennler G., Sariciftci N.S., Hu L., Gruner G., (2006), "Organic Solar Cells with Carbon Nanotube Network Electrodes", Applied Physical Letters, 88, 233506.
- [37] Hsu C.M., Wu W. T., (2004), "Improved characteristics of organic light-emitting devices by surface modification of nickel-doped indium tin oxide anode", Applied Physical Letters, 85, 840.
- [38] Hsu C.-M., Tsai C.-L., Lu C.-F., Wu W.-T., "Plasmonic nanostructures for photo-catalytic reactors, (2009), "Metamaterials: Fundamentals and Applications II", Journal of Technology, 24, 4.

KONFERANS  
SALONU  
17:20 - 17:40

## FARKLI ORANLARDA ZN İÇEREN BORAT CAM YAPILAR ÜZERİNE ÇÖKTÜRÜLEN ZNO FİMLERİNİN İNCELENMESİ



**Dr. Sadiye Çetinkaya**  
**Çolak**  
**İdris Akyüz**  
**Ferhunde Atay**  
Üniversiteler, Eskişehir  
Osmangazi Üniversitesi,  
Fizik Bölümü  
sccolak@ogu.edu.tr  
iakyuz@ogu.edu.tr  
fatay@ogu.edu.tr

1977 yılında Eskişehir'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir'de tamamlayarak lisans öğrenimini 1999 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü'nde tamamladı. Aynı yıl mezun olduğu bölümün araştırma görevliliği sınavını kazandı. Yüksek lisans ve doktora tezlerini çeşitli camların termal, elektriksel, yüzeysel ve optik özellikleri üzerine çalışmalar yaparak tamamladı. Halen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde Arş.Gör.Dr. olarak görev yapmaktadır.

### ÖZET

Cam, keşfedildiğinden günümüze kadar çok çeşitli kullanım alanları bulmuş stratejik önemi olan bir maddedir. Bulunuşundan günümüze kadar bir taraftan çeşitleri artarken, bir taraftan da kullanım alanı artan cam, vazgeçilmez bir tüketim maddesidir. Son yıllarda camlar yarıiletken filmlerin üretilmesi için alttaş olarak kullanımları açısından da büyük ilgi görmektedir. Yarıiletken film üretiminde günümüz teknolojisi alttaş olarak mikroskop camı, silisyum ve ITO (indiyum kalay oksit) üzerine yoğunlaşmıştır. Camın diğer alttaşlara göre avantajı düşük maliyetli olması ve çevreye zararlı olmamasıdır. Film üretim araştırmalarının hemen hemen tamamında kullanılacak alttaşlar ticari olarak temin edilmektedir. Bu durum bilimsel çalışmaları alttaş etkilerini değerlendirmek ve alternatif malzemeler üretmek açısından kısıtlayıcıdır. Bu çalışmamızda erime-söndürme tekniği ile farklı oranlarda Zn içerecek şekilde üretilen borat cam alttaşlar üzerine, ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile ZnO filmleri çöktürülmüştür. Üretilen filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelenerek, alttaş olarak kullanılan cam yapılarının film özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. • Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 201319013).

**Anahtar Sözcükler:** Borat cam, Camların optik özellikleri, Spektroskopik elipsometre tekniği, ZnO film üretimi, Sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik



**Azade Yelten**  
**Suat Yılmaz**

İstanbul Üniversitesi,  
Metalurji ve Malzeme  
Mühendisliği Bölümü  
azade.yelten@istanbul.edu.tr  
syilmaz@istanbul.edu.tr

## GLASS AS A BIOMATERIAL

*Azade Yelten was born in Istanbul, Turkey in 28th of May, 1987. She had her primary education in Kültür College. She completed her secondary education in Kültür High School as the valedictorian. In 2004 she entered the Department of Metallurgical and Materials Engineering, Istanbul University (IU). She graduated as the valedictorian of the department and second in graduation ranking of the Faculty of Engineering in 2008. In the same year, she was accepted as a graduate student to the Metallurgical and Materials Engineering Master Program in the Institute of Sciences, Istanbul University and defended her master's thesis in December 2010. Since September 2011, she has been with the Department of Metallurgical and Materials Engineering in the Faculty of Engineering, IU both as a research assistant and a PhD student. Her research interests include biocomposite materials, rapid prototyping systems, bioceramic material production by using the sol-gel method and the wet chemical precipitation technique. Azade Yelten who has papers in several journals and proceeding books can fluently write and speak in English.*

## ABSTRACT

Glass is a material that has been used in several applications for ages. It is possible to encounter glass in various areas of the technology such as household appliance, automotive, aviation, etc. Another field where glass stands out is the biomaterial researches. "Bioglass® (45S5)" is the commercial name of a bioactive glass material which was initially produced by Prof. L. Larry Hench and his group between 1969 and 1971. This glass material can actively form biochemical bonds with the body tissues. It has an appropriate chemical composition (45 wt.% SiO<sub>2</sub>, 24.5 wt.% Na<sub>2</sub>O, 24.5 wt.% CaO and 6 wt.% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and mechanical properties for repairing and regenerating the damaged hard tissues. In this study, conventional melting method was used to produce the bioglass powders. Melting the SiO<sub>2</sub> (silica), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (sodium carbonate), CaCO<sub>3</sub> (calcium carbonate) and Na<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>) (sodium phosphate) components which are the precursors of the bioglass material was performed at two different temperatures, 1250 °C and 1350 °C. In addition, a calcination step at 1000 °C and then melting process was also realized. It was aimed to investigate the effect of an extra calcination before melting on the chemical phases that are formed after melting and quenching. In order to determine the chemical phase, the microstructural and molecular bonding properties of the glass powders obtained, X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) characterization studies were applied.

**Keywords:** Bioglass, conventional melting method, calcination, characterization.

## 1. INTRODUCTION

Biomaterials are the materials used for repairing or renewing the damaged or non-functional parts of the body. Metallic biomaterials, bioceramics, polymeric biomaterials and biocomposites are the main members of the biomaterials family where glasses locate in the bioceramic materials class. Bioceramics may show bioinert, bioactive or bioresorbable/biodegradable behavior depending on the material-tissue responses and bioactive glasses are famous for forming a bone-like (hydroxycarbonate apatite-HCA deposition) layer on their surface. This layer enables the development of the new bone tissue by the ion exchange that occurs on the glass surface [1-3].

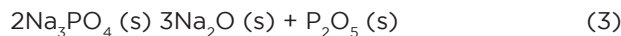
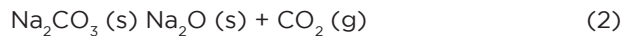
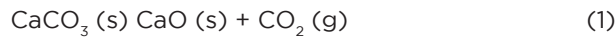
Bioglass®-45S5 is a well known bioceramic material composition used in different forms like powders, granules, fibers, coatings, etc. for several hard tissue applications such as implants, grafts and so on. The "S" in 45S5 stands for the SiO<sub>2</sub> component, 45 is for the weight % of SiO<sub>2</sub> and 5 represents the

wt. ratio of (CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). The high wt. ratio of (CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) is one of the specific properties that separate the bioglass from the other glasses. Moreover it is remarked that a higher SiO<sub>2</sub> content (above wt.60%) causes the glass material not to bond to the tissue. Since SiO<sub>2</sub> is the component which is responsible for building the main skeleton that generates the network of the glass structure, as the SiO<sub>2</sub> content increases a more connected silica network is obtained. Therefore degradation of the glass material in the body fluid becomes more difficult [1-3].

Conventional melting technique or traditional melt-quenching route is a practical and quick way for producing bioglass material. This method is composed of melting the oxides together at high temperatures, usually above 1300 °C and quenching the melt. Considering the CaO-Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> ternary phase diagram, it can be specified that the bioactive glasses melt in the range of 1250-1550 °C [3-7]. In this study, the effect of the calcination step applied at 1000 °C prior to melting at 1250 °C and 1350 °C on the chemical, microstructural, etc. properties of the bioglass material was investigated.

## 2. MATERIALS AND METHOD

Bioactive glass powders were synthesized by following the conventional melting technique. Production process consists of three main steps which can be defined as mixing the components, melting the mixture and pouring the melt (quenching) [2, 3, 7-10]. The chemical composition for the bioactive glass powders was determined as 45 wt.% SiO<sub>2</sub>, 24.5 wt.% Na<sub>2</sub>O, 24.5 wt.% CaO and 6 wt.% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. This composition belongs to the commercial 45S5, Bioglass® material developed by Larry L. Hench and his co-workers [2, 3, 11]. SiO<sub>2</sub> (Silica, Sigma-Aldrich, 99.8%), CaCO<sub>3</sub> (Calcium carbonate, Sigma-Aldrich, Reagent Plus), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Sodium carbonate, Sigma-Aldrich, Reagent Plus, ≥99.5%) and Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Sodium phosphate, Sigma Aldrich, 96%) are the precursors that form the bioactive glass powders. First, calculations were made to find out the required amounts of the mentioned components considering the reactions (Eq. 1-3) that occur during melting.



The precursors were weighed and mixed in a turbul mixer for 20 min. The powder mixtures were melted at two different temperatures, 1250 °C and 1350 °C, in a muffle furnace for 2h. Melting was carried out in a platinum crucible to prevent possible contamination. Subsequently, the molten mixtures were poured (quenched) into cold water with ice. Temperature of the quenching medium was measured before and after melting as -5,5 °C and -7 °C, respectively. Finally, glass

phase was observed as adhered to the bottom of the platinum crucible and separated from the crucible by slightly scratching. The obtained glass samples were coded as B1, BG2, BG3 and BG4. For the samples BG1 and BG3, an additional calcination step was applied before melting in order to enable the calcination reactions completely occur [7, 8]. Descriptions of the samples are given in Table 1. After the quenching step, glass powders were dried at 100 °C for 2h and then ground manually using a mortar and pestle.

**Table 1.** Sample codes and descriptions of the produced glass powders.

Sample Code	Description
BG1	holding at 1000 °C for 1h, melting at 1250 °C for 2h
BG2	melting at 1250 °C for 2h
BG3	holding at 1000 °C for 1h, melting at 1350 °C for 2h
BG4	melting at 1350 °C for 2h

Several characterization analyses were done to investigate the properties of the obtained bioactive glass powders. Chemical phase determination was conducted by X-Ray Diffraction (XRD) analyses through monochromatic Cu-K radiation (= 0.154 nm) at Rigaku D/Max-2200/PC branded device. Microstructure investigation of the powder samples were realized with a Jeol branded JSM 5600 model Scanning Electron Microscope (SEM) and the elemental analyses were carried out with a XRF branded 550I model Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) which is integrated to the SEM. The powder samples were coated with a thin layer of gold before being placed in the SEM. Molecular bonding properties of the powders were characterized with the Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analyses using a Perkin Elmer Spectrum 100 branded device and the KBr method.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1 shows the XRD results of the obtained glass powders. It is determined from the XRD patterns that all samples exhibited an amorphous phase which was also confirmed from the previous studies in the literature [11-14]. There are no distinctive crystalline peaks, as expected. However, the amorphous phase development was observed to be more effective for the samples BG3 and BG4. Since these samples were melted at 1350 °C, it is thought that the increased temperature gradient between the melt and quenching medium caused a finely formed amorphous phase. Moreover, it can be stated that the additional heat treatment step applied at 1000 °C before melting for the samples BG1 and BG3 did not lead to the formation of any crystalline phases or have an adverse influence on the formation of the amorphous glass phase.



SEM images of the synthesized bioactive glass powders are presented in Fig. 2. It is realized from these images that the bioglass particles are irregularly shaped and have several sharp corners and edges as a result of the grinding process. It is possible to notice the break off regions of the glass particles especially from the SEM images in Fig. 2 (b) and (d) where fracture traces can be clearly seen. The tendency of the glass particles for fragmentation was observed to be low during grinding with a mortar and pestle. Therefore it is planned to use a more efficient way such as ball milling to grind the bioactive glass particles for the further studies. Si, Ca, Na, P and O were identified from the EDS elemental analyses [14].

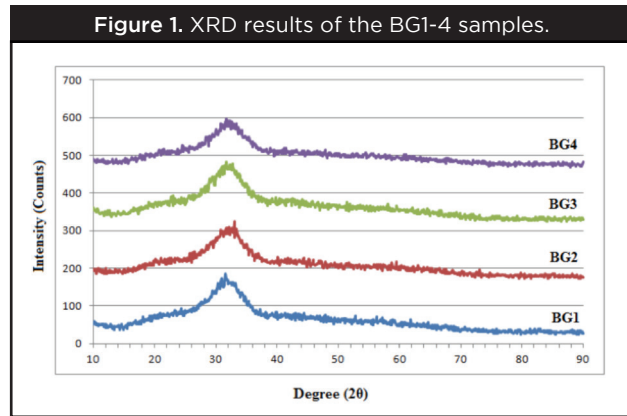
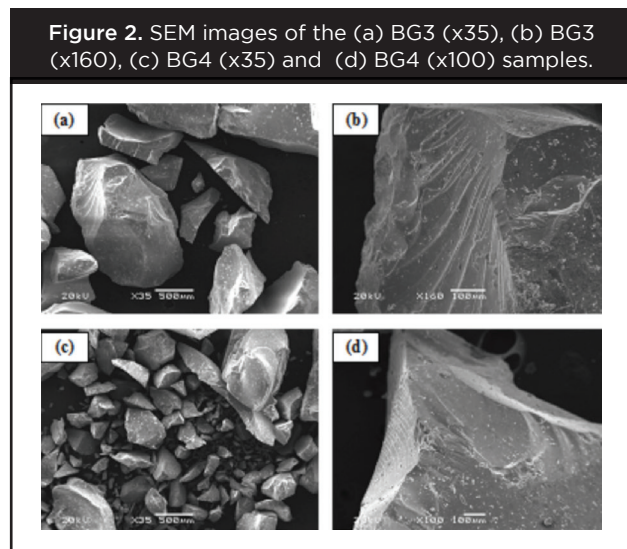
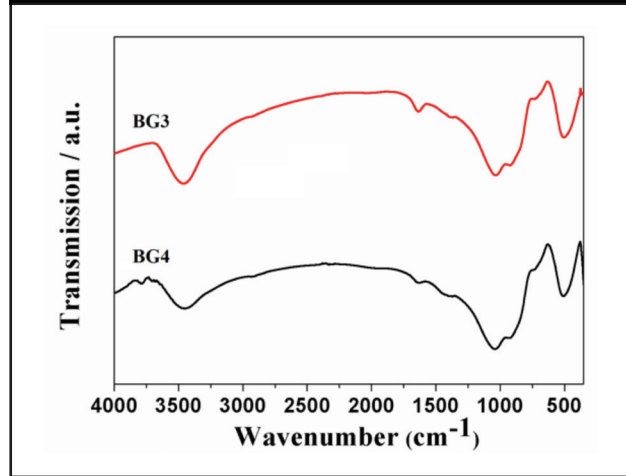


Fig. 3 represents the FTIR results of the bioactive glass powders. The band at  $\sim 3450 \text{ cm}^{-1}$  was attributed to  $\text{H}_2\text{O}$  which was thought to arise from the adsorbed water while preparing the KBr pellets for the FTIR analyses. The peaks at  $\sim 1020 \text{ cm}^{-1}$  and  $\sim 490 \text{ cm}^{-1}$  were assigned to the Si-O-Si stretching and bending modes, respectively [9, 12, 14].



**Figure 3.** FTIR results of the BG3 and BG4 samples.



## 4. CONCLUSION

Some important facts about this research can be summarized as:

- Bioactive glass powders were synthesized by following the conventional melting technique. Production process consists of three main steps which can be defined as mixing the components, melting the mixture and pouring the melt (quenching).
- It is determined from the XRD patterns that all samples exhibited an amorphous phase.
- SEM images showed that the bioglass particles are irregularly shaped and have several sharp corners and edges as a result of the grinding process.
- $\text{H}_2\text{O}$  and Si-O-Si bands were identified from the FTIR spectra.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Research Fund (BAP) (Grant no: 37881) and Teaching Staff Training Program Office (ÖYP) of Istanbul University for providing financial support to this project.

## REFERENCES

- [1] Ratner, B.D., Hoffman, A.S., Schoen, F.J., Lemons, J.E. 2004. Biomaterials science an introduction to materials in medicine 2nd edition. New York-London: Elsevier Academic Press.
- [2] Hench, L.L. 2006. The story of Bioglass®. J Mater Sci: Mater Med 17(11): 967-978.
- [3] Jones, R.J. 2013. Review of bioactive glass: From Hench to hybrids, Acta Biomaterialia 9(1): 4457-4486.



[4] Brinkley, A.L. 1994. Characterization of rocky flats and oak ridge glass containing mixed wastes. Master of Science in Nuclear Engineering: Massachusetts Institute of Technology.

[5] Hench et al. Bioglass Coated Metal Substrate, United States Patent, 1980.

[6] Arstila, H. Crystallization Characteristics of Bioactive Glasses. Report 08-07, Process Chemistry Centre Laboratory of Inorganic Chemistry, Abo Akademi, Finland, 2008.

[7] Zhang, Z. et al. 2011. Phase equilibria in the Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub> system. Journal of the American Ceramic Society 94(9): 3088-3093.

[8] Mirhadia, B., Mehdikhanib, B. 2012. Investigation of crystallization and microstructure of Na<sub>2</sub>O-CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bio glass ceramic system, New Journal of Glass and Ceramics 2: 1-6.

[9] Filho, O.P., LaTorre, G.P., Hench, L.L. 1996. Effect of crystallization on apatite-layer formation of bioactive glass 45S5. Journal of Biomedical Materials Research 30: 509-514.

[10] Arstila, H., Hupa, L., Karlsson, K.H., Hupa, M. 2008. Influence of heat treatment on crystallization of bioactive glasses. Journal of Non-Crystalline Solids 354: 722-728.

[11] Volzone, C., Stabile, F.M. 2013. Structural changes by thermal treatment up to glass obtention of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Na<sub>2</sub>O-CaO-SiO<sub>2</sub> compounds with bioglass composition types. New Journal of Glass and Ceramics 3: 53-57.

[12] Bretcanu, O. et al. 2009. Sintering and crystallization of 45S5 Bioglass® powder. Journal of the European Ceramic Society 29: 3299-3306.

[13] Chen, X., Meng, Y., Li, Y., Zhao, N. 2008. Investigation on bio-mineralization of melt and sol-gel derived bioactive glasses. Applied Surface Science 255: 562-564.

[14] Deng, M. et al. 2013. Effects of 45S5 bioglass on surface properties of dental enamel subjected to 35% hydrogen peroxide. International Journal of Oral Science 5: 103-110.

SEMİNER  
SALONU  
16:20 - 16:40



**Sena Gülen**  
**Seda Ulusoy**  
**Gülnur Aygün**  
**Prof. Dr. Lütfi Özyüzer**  
İzmir Yüksek Teknoloji  
Enstitüsü, Fizik Bölümü  
*senagulen16@gmail.com*  
*sedaulusoy@iyte.edu.tr*  
*gulnuraygun@iyte.edu.tr*  
*ozyuzer@iyte.edu.tr*

**Dr. Mehtap Köklü**  
Gediz Üniversitesi,  
Elektrik-Elektronik  
Mühendisliği  
*mehtap.koklu@gediz.edu.tr*

## ELEKTROKROMİK CAMLAR İÇİN İNCE FİLM $\text{LiO}_{.5}\text{-xLaO}_{.5}\text{Ti}_1\text{-xO}_3$ ELEKTROLİT

*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü Master programı 2012-2015*  
*Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 2007-2011*  
*Silesian University Katowice/Polonya (Erasmus kapsamında) 2009-2010*

### ÇALIŞILAN PROJELER

#### 1) TÜBİTAK 110T248

*Terahertz Işıyan Süperiletken  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$  Mesaların Josephson Kritik Akım Yoğunluğunun Alana Bağımlılığı Araştırmacı (2012-2013)*

#### 2) TÜBİTAK 114M044

*Al Katkılandırılmış  $\text{LiO}_{.5}\text{-xLaO}_{.5}\text{Ti}_1\text{-xO}_3$  İnce Film Elektrolitlerin İyonik İletkenliği Araştırmacı (2014-2015)*

### ÖZET

İyonik iletkenler, elektrokromik camlar ve tamamen katı hal bataryalar tüketici elektroniği ve güç kaynakları alanlarında oldukça önmeli bir rol oynamaktadır. LLTO ( $\text{Li}_x\text{La}_{1-x}\text{TiO}_3$ ) ince film elektrolitler yüksek iyonik iletkenlik özelliğine sahip olduklarından sadece Li-iyon bataryası olarak değil, elektrokromik cam olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Yürütmekte olduğumuz bu çalışmada ince film LLTO elektrolit RF (radyo frekans) miknatıssal saçırma tekniği kullanılarak büyütülmüştür. Katı hal ince film LLTO elektrolit iki aşama ile oluşturulmaktadır. İlk olarak kullanılacak sisteme uygun büyüklükte hedef üretilmiş ve bu hedef yüksek vakum RF miknatıssal saçırma sistemine yerleştirilerek ince filmler büyütülmüştür. Hedef üretimi için öncelikle yüksek saflıktaki  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  tozları uygun stokiometrik oranda karıştırılmış daha sonra bu toz karışım seramik bir kuvete alınarak 1200°C sıcaklıkta 6 saat hava ortamında kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. 1. kalsinasyon aşaması tamamlandıktan sonra toz karışım öğütülmüş ve aynı kalsinasyon işlemi tekrarlanmıştır. Hemen sonrasında toz karışım 2 inç çapındaki bakır alt-tabağa yerleştirilerek silindirik bir buton yardımıyla preslenmiştir. Disk hale gelmiş olan hedef daha sıkı ve yoğun bir hal alması amacıyla 600°C sıcaklıkta 1 saat hava ortamında ısıl işleme tabi tutulmuştur. Üretimi tamamlanmış olan hedef vakum çemberine yerleştirilerek ikinci aşama olan film büyütme işlemine geçilmiştir. Filmlerin iyonik iletkenliğini arttırmak adına hedefi oluşturan toz karışıma belli oranlarda  $\text{AlO}_2$  katkılanması yapılmıştır [2]. Tanecik sınırlarını büyütme için alttaş ısıtılarak kaplama gerçekleştirilmiştir. Üretilen hedeflerin ve büyütülen ince filmlerin morfolojisi SEM, faz yapıları XRD ve kimyasal bağ yapıları RAMAN ve kimyasal yapı ile atomik konsantrasyonu ise XPS analizleri ile incelenmiştir. Ayrıca iyonik iletkenlik ölçümü empedans analizörü ile yapılmıştır.

Bu çalışma 114M044 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir.  
[1] R. David Rauh, *Electrochimica Acta* 44 3165-3176 (1999)  
[2] H. Zhang et al, *Journal of Alloys and Compounds* 577 57-63 (2013)

**Anahtar Sözcükler:** Elektrokromik cam, katı hal elektrolit, iyonik iletkenlik

SEMİNER  
SALONU  
16:40 - 17:00

## MIKNATISSAL SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN TERMOKROMİK VO<sub>2</sub> İNCE FİLMLEİN ELEKTRİKSEL VE ÖPTİKSEL KARAKTERİZASYONU



**Hürriyet Yüce**  
**Hakan Alaboz**  
**Gölnur Aygün**  
**Prof. Dr. Lütfi Özyüzer**  
İzmir Yüksek Teknoloji  
Enstitüsü, Fizik Bölümü  
*hurriyetyuce@iyte.edu.tr*  
*gulnuraygun@iyte.edu.tr*  
*lutfiozyuzer@iyte.edu.tr*

**Dr. Mehtap Köklü**  
Gediz Üniversitesi,  
Elektrik-Elektronik  
Mühendisliği  
*mehtap.koklu@gediz.edu.tr*

2011 yılında Balıkesir Üniversitesi Fizik Bölümünden mezun oldu.  
2015 yılında "Miknatissal Saçtırma Tekniğı ile Büyütölen Vanadyum Oksit İnce  
Filmlerin Karakterizasyonu" tez başlığı ile yüksek lisans derecesini aldı.

### ÖZET

Vanadyum dioksit (VO<sub>2</sub>) yaklaşık olarak 68 °C'de metal-yalıtkan geçiş (MIT) özelliğı göstermektedir [1]. VO<sub>2</sub> oda sıcaklığında monoklinik kristal yapısıyla yalıtkan fazda bulunurken, geçiş sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda tetragonal kristal yapısıyla metalik özellik göstermektedir. Bu geçiş sırasında, VO<sub>2</sub>'nin direnci - 10<sup>4</sup> oranında ani bir düşüş göstermektedir ve bu geçiş malzemenin optik özelliklerini metalik faza uygun şekilde değıştirmektedir [2]. Termal olarak gerçekleşen bu geçiş, termokromik camlarda kullanılmasıyla birlikte optik sensörler, alan etkili transistörler ve mantık devreleri gibi bir çok farklı alanda çeşitli uygulamalara yol açmıştır [3,4].

Bu çalışmada, c-safir [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(001)] ve soda camı (SLG) üzerine termokromik VO<sub>2</sub> ince filmler dc miknatissal saçtırma yöntemiyle farklı kalınlıklarda büyütölmüştür. Filmlerin kristal yapısının iyi olması için büyütme süresince alttaş safir-SLG sıcaklığı yüksek tutulmuştur. Üretilen filmlerin faz yapısını anlayabilmek için XRD, atomlar arası titreşim modlarını belirlemek için Raman analizleri yapılmıştır. Büyütölen VO<sub>2</sub> filmler kalınlığa bağılı olarak, farklı O<sub>2</sub> oranlarında elektriksel özellikleri incelenmiş olup yaklaşık olarak 10<sup>4</sup> oranında direnç değışimi gözlenmiştir. Termokromik uygulamalar açısından optiksel özellikleri incelendiğinde, oda sıcaklığından itibaren ısıtıldığında VO<sub>2</sub>'nin metalik faza geçişiyle, kızılötesi geçirgenliğinde %50 oranında bir azalma görölmektedir. Böylece düşük sıcaklıklarda güneşten gelen kızılötesi ışınları soğuran ve yüksek sıcaklıklarda kızılötesi ışınları yansıtan camlar üretilebilecektir.

Bu çalışma 113F349 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir.  
[1] J. P. Fortier et al, Sol Energ Mat Sol C, 125, 291-296 (2014)  
[2] J. Wu et al, Nano Letters, 6, 10 (2006)  
[3] M.Tangirala et al, ECS J Solid State Sc 3, N89-N94 (2014)  
[4] D. Ruzmetov et al, J Appl Phys, 107, 114516 (2010)

**Anahtar Sözcükler:** Termokromik cam, VO<sub>2</sub>, MIT

SEMİNER  
SALONU  
17:00 - 17:20

## FORMA OCMİ PROSESİ, AYAK ÜRETİM TEKNİĞİ VE DİMPLE FORMLU İMALAT



**Hüseyin Şiddet**  
**Varol Cinoğlu**  
**Doğan Kenar**  
**Efkan Dardan**

Şişecam Topluluğu,  
Cam Ev Eşyası Grup  
Başkanlığı, Üretim  
Başkan Yardımcılığı  
Paşabahçe Cam Sanayi  
ve Ticaret A.Ş. Kırklareli  
Fabrikası  
hsiddet@siseecam.com  
vcinoglu@siseecam.com  
dkenar@siseecam.com  
edardan@siseecam.com

*Hüseyin Şiddet, 2002 yılında Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Paşabahçe Kırklareli Fabrikasında, Soğutma Sonu Mühendisi olarak görev yapmaktadır.*

### ÖZET

2006 yılında üretime başlanan A fırınının en önemli üretim tipi olan klasik üfleme prosesi, müşteri taleplerinin ayak gövde geçişlerinin düzgünlüğü, dimple'lı ürünler, çekme proseslerindeki görsellik yönüne kayması sebebiyle kristal pazarında yetersiz kalmaktadır.

Mevcut yerleşime, yerli imal edilen yapıştırma ve çekme işlemi yapabilen PK- 60 (Ocmi) makinesi eklenmiştir. Forma makinesinde şekillendirilen gövde ve pres makinesinde oluşturulan ayak, PK- 60 makinesine yüklenerek, ayaklı bardağa nihai formu verilmiştir. PK- 60 makinesi, ayak ve gövdeyi iki şekilde birleştirilmeye olanak sağlamaktadır. Gövde ve ayağı yapıştırma, gövde ve ayağı birleştirdikten sonra çekme prosesi.

Ocmi proseslerinde en sık karşılaşılan ayak simetrik değil, ayak yamuk, yapışma uygun değil hatalarının önlenmesi ve tabla-ayak, gövde-ayak geçişlerinin pürüzsüz olması için, ayağın yarısının gövdede diğer yarısının tablada üretilip, PK-60 makinasında birleştirilerek çekilmesi prosesi başarıyla sonuçlandırılmıştır.

Rakip firmaların ürün gamında ayak içine doğru uzanan çukur görüntülü imalatlar (dimple), fabrikamız bünyesine makine üzerinde yapılan modifikasyonlar ile başarıyla üretilmiştir.

Yapılan tüm geliştirmelerin sonucunda elde edilenler, yüksek teknik yeterlilik, kristal pazarında geniş ürün gamı, kalite ve verim artışı olmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** A fırını, Kristal, Üfleme üfleme, Dimple, Ocmi, Çekme prosesi



**Kemal Dinçdölek**

**Serhat Kolbaşı**

**Mete Kiray**

Şişecam Topluluğu,

Düzcamlar Grup Başkanlığı,

Trakya Cam Sanayi A.Ş.

Mersin Fabrikası

[kdincdolek@sisecam.com](mailto:kdincdolek@sisecam.com)

[skolbasi@sisecam.com](mailto:skolbasi@sisecam.com)

[mkiray@sisecam.com](mailto:mkiray@sisecam.com)

## TR3 FIRINI RENKLİ KAMPANYALARINDA BİRİM ÜRETİM MALİYETLERİNİN DÜŞÜRÜLMESİ VE HEMATİT KOMPOZİSYONUNA BAĞLI SORUNLARIN GİDERİLMESİ

*Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Fakültesinden 2003 yılında mezun olmuştur. Kısa süre bir çevre danışmanlık firmasında çalıştıktan sonra 2004 yılı Aralık ayında Şişecam Topluluğunda Trakya Cam Mersin Fabrikası'nda göreve başlamıştır. Aynı fabrikada 7 yıl süre ile Yardımcı Tesisler bölümünde İşletme Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2012 yılı itibarıyla Ayna Üretim tesisinde İşletme şefi olarak görev yapmış tesisin tüm dizayn ve kurulum aşamalarında görev almıştır. 2014 yılından bu yana Fırın Harman Şefi olarak göreve devam etmektedir.*

### ÖZET

TR3 hattında 550t/g olan renkli tonajı bronz ve fümede 700t/g'e; mavide 640t/g'e kadar çıkarılmıştır. Denemeler sırasında farklı zamanlarda ream, habbe, segregasyon, silika frost gibi hatalar ile karşılaşmıştır. Yüksek tonajda bu hataların gelmesini engelleyecek yeni işletme koşulları belirlenmiştir. Artan tonajla birim maliyetlerde düşüş sağlanmış ve yıllık üretim kapasitesi arttırılmıştır.

Renk geçiş sürelerinin kısaltılması amacıyla yükleme katsayıları ve süreleri ile ilgili denemeler yapılmış; bazı renk geçiş süreleri 10 saati aşan sürelerde kısaltılmıştır. Kısalan geçiş süreleriyle birim maliyetlerde düşüş sağlanmıştır.

Hematitin minerolojik kompozisyonuna bağlı olarak değişen geçirgenlik değerleri sebebiyle hava/yakıt oranları ve özgül yakıt olumsuz etkilenmiştir. Harman kimyasında yapılan değişiklikler ile hava/yakıt oranlarının düşürülmesi ve yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Renkli cam, birim üretim, maliyet iyileştirme

### GİRİŞ

TR3 fırın renkli kampanyalarda fırın tonajı 550 t/g den 700 t/g'e arttırılmıştır. Tonaj artışına bağlı olarak gündeme gelen hatalar incelenerek yeni çalışma koşulları belirlenmiştir. Renk geçiş sürelerinin kısaltılması sağlanarak birim maliyetlerde iyileştirme sağlanmıştır. Hematitin minerolojik kompozisyonundaki değişimin geçirgenlik değerlerini etkilediği; hava/yakıt oranlarının arttırılması ihtiyacını doğuran bu durumun özgül yakıtı olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Harman kompozisyonunda yapılan revizyonlarla hava/yakıt oranları ve özgül yakıt değerleri olması gereken seviyeye çekilmiştir.

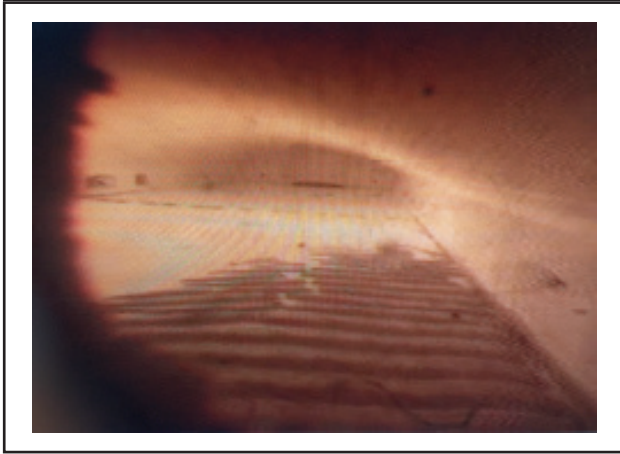
### 1. YÜKSEK TONAJ

TR3 hattında 550t/g olan renkli tonajı bronz ve fümede 700t/g'e; mavide 640t/g'e kadar çıkarılmıştır. Tonaj artışı nedeniyle gündeme gelen hataların oluşum mekanizmaları, karakteristikleri ve önlenme yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Denemeler sırasında farklı zamanlarda; habbe, silika segregasyon normal, silika damlama, silika frost, ream, üst yapı akıntıları kaynaklı sürekli hata gibi hatalar ile karşılaşmıştır. Hata analizleri, oluşum mekanizmaları ve fiili koşullar dikkate alınarak her birinin çözümü için yeni işletme koşulları belirlenmiştir. Yakıt dağılımı, besleme ağız sıcaklıkları, şarjör hazne açıklıkları, ertirme cam sıcaklığı, dinlendirme cam sıcaklığı, taban sıcaklıkları, optik sıcaklıklar, hava yakıt oranları, boyun soğutucu batıklıkları vb. değişkenler için mevcut sorunlara yönelik yeni hedefler belirlenmiştir. Artan tonajla birim maliyetlerde düşüş sağlanmış ve yıllık üretim kapasitesi arttırılmıştır.

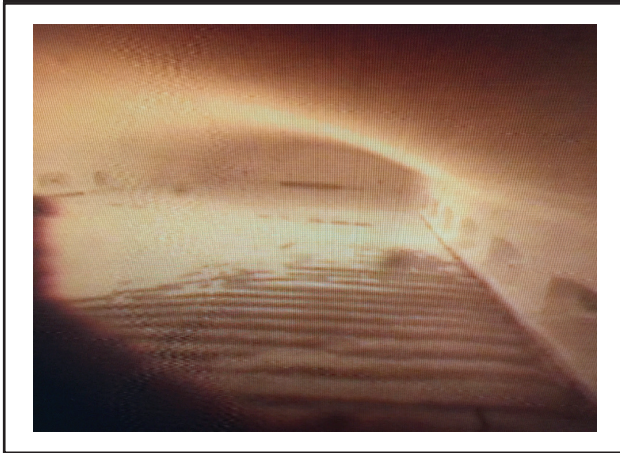


Tonaj limitlerinin zorlanması ile birlikte kalite kayıplarında artış gözlenmiştir. Ancak gerek birim maliyetlerdeki düşüş, gerek artan kapasite sayesinde sağlanan ilave üretimin getirdiği katma değer yüksek tonaj öncelikli hedef haline getirmiştir. 2014 yılı boyunca 700t/g hedefini gerçekleştirmeye yönelik çalışmalar sürmüştür. Halihazırda renkli kampanyalarında fiili tonaj nitelikli cam talebi gözetilerek belirlenmektedir. K1 ayna ve Otocam talebinin olduğu dönemlerde 650t/g ile çalışılırken; nitelikli cam talebinin olmadığı füme-bronz kampanyalarında 700t/g'e çıkmaktadır.

Fırın A duvarı Kamera görüntüsü 550 t/g



Fırın A Duvarı Kamera Görüntüsü 700 t/g



## 2. RENK GEÇİŞLERİ

Renk geçişleri sırasında hedef renk ve geçirgenlik değerleri dışındaki üretimler kırılmaktadır. Bu nedenle geçiş süresince kırılan camın maliyeti ürün maliyetini etkilemektedir. Geçiş süresinin kısa olması birim maliyetlerin düşmesi anlamına gelmektedir. Renk geçiş sürelerinin kısaltılması amacıyla Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi, Cam Teknolojisi Direktörlüğü, Cam Özellikleri Müdürlüğü biriminin de katkılarıyla yükleme katsayıları, süreleri ve selenyum kalıcılığını etkileyen parametreler ile ilgili denemeler yapılmıştır. Renk geçişlerinin mekanizmaları üzerine çalışılmıştır. Renk geçişlerinde nihai renge geçişi etkileyen parametreler incelenmiştir. Yükleme katsayıları ve sürelerinin yanında harman kimyası, fırın sıcaklıkları ve boyun soğutucu müdahale zamanları gibi değişkenler üzerinde de çalışılmıştır. Sonuç olarak;

Kasım 2014 Clear - Füme Renk Geçişi 64 saatten 50 saate  
Şubat 2015 Mavi - Füme Renk Geçişi 59 saatten 49 saate  
Mayıs 2015 Bronz - Füme Renk Geçişi 45 saatten 30 saate  
Ekim 2015 Bronz - Füme Renk Geçişi 45 saatten 28,5 saate kısaltılmıştır. Çalışmalar devam etmektedir.

## 3. FARKLI HEMATİT KAYNAKLARI

Hematitin mineralojik kompozisyonunun renkli üretim şartlarında belirgin etkisi bulunmaktadır. TR3 fırın renkli üretim kampanyalarında üretilen camların üretim koşulları incelendiğinde

- Renklendiriciler
- Kimyasal ve fiziksel oksidanlık kaynakları
- Fırın işletme koşullarının

üretime direk etkisi olduğu ve birim maliyetleri etkilediği görülmektedir. Üretim koşullarında yapılan değişiklikler birim yakıtın azalmasıyla sonuçlanmıştır. Yapılan müdahaleleri açıklamak amacıyla ürüne etkisi olan koşulların açıklanmasında yarar görülmektedir.

### 3.1. RENKLENDİRİCİLER

TR3 fırın üretim koşullarında Füme, Bronz, Mavi camları üretilmektedir. Bu üretimlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan renklendiriciler;

**Hematit:** Demir kaynağı olarak kullanılmaktadır. Demir 2 formda bulunmaktadır. ( $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$ ) Demir farklı değerlikteki formlarının renge farklı etkileri bulunmaktadır. Hematitin mineralojik kompozisyonundaki değişiklikler  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  açısından farklı içerikteki demirin kullanılması anlamına gelmektedir. Renk üzerinde  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  ün farklı etkileri olduğu bilgisiyile demirin farklı yüklerinin dengede tutmak için fiziksel ve kimyasal oksidanlar kullanılmaktadır.

**Kobaltoksit:** Kobalt kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kararlı bir hammaddedir.

**Çinkoselenit:** Selenyum kaynağı olarak kullanılmaktadır. Fırın şartlarından çok etkilendiği bilinmektedir. Farklı değerlikteki formlarının renk nüansları farklıdır.

### 3.2. KİMYASAL VE FİZİKSEL OKSİDANLIK KAYNAKLARI

Yukarıda bahsettiğimiz renklendiricilerin değerliklerinin fırın şartlarında ayarlanması için kimyasal ve fiziksel oksidanlık kaynakları kullanılmaktadır.

**Kimyasal Oksidanlar:** Seryum oksit, sodyum nitrat, sodyum sülfat

**Fiziksel Oksidanlık:** Yakma havası, yakma havasının oksijen zenginleştirilmesi sayılabilir.

### 3.3. FIRIN İŞLETME KOŞULLARI

Ergitme işlemi sırasında alevlerin açısı, fırın sıcaklıkları, tonaj vb. parametreler selenyumun camdaki kalıcılıklarını etkilemesi açısından yüksek öneme sahiptir.

Üretimi yapılacak rengin L a b değerleri içerdikleri renklendirici kimyasalların miktarına ve değerliklerine bağlıdır.

Farklı zamanlarda tedarik edilen hematitin içeriklerine bakıldığında aynı miktarda demir içermelerine rağmen; vüstit, hematit ve manyetit oranlarının farklı olduğu görülmüştür.

14 Ocak tarihli mineralojik analiz: %77 manyetit, %13 hematit, %10 vüstit

5 Mart tarihli mineralojik analiz: %24 manyetit, %70 hematit, %6 vüstit

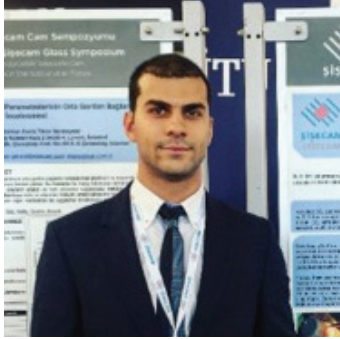
Bu durum toplam demir miktarının aynı kalmasına rağmen redox ( Fe+2 - Fe+3) dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Hematitin cama verdiği mineralojik kompozisyona bağlı olarak değişen geçirgenlik değerleri ve renkteki hafif değişim hava/yakıt oranlarının artırılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu durum özgül yakıt artışını beraberinde getirmiştir. İhtiyaç duyulan oksidanlık kimyasal yollarla sağlanmış ve hava/yakıt oranlarının olması gereken seviyeye düşürülmesi ile özgül yakıt değerleri normale dönmüştür. İlerleyen aşamalarda hava/yakıt oranlarının daha da aşağı çekilmesine olanak sağlayacak şekilde revize edilen harman reçetesi ile özgül yakıtta tasarruf sağlanmıştır.

Kimyasal ve fiziksel oksidanların fırın emisyonlarına da direkt etkisi bulunmaktadır. Hava/yakıt oranlarında sağlanan düşüş ile NOx emisyonları da % 25 civarında azaltılmıştır.





## KURU BUZ İLE PİROLİTİK KAPLAMA DEPOZİTLERİNİN TEMİZLENMESİ



**Remzi Çopuroğlu**  
**Ayhan Çaylıoğlu**  
Şişecam Topluluğu  
Düzcamlar Grup Başkanlığı,  
Trakya Cam Sanayi A.Ş.  
Mersin Fabrikası  
acaylioglu@siseecam.com  
rcopuroglu@siseecam.com

1987 yılında Ordu'da doğdu. Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2013 yılından beri Trakya Cam Mersin Fabrikası'nda Üretim Şefliği bölümünde görev yapmakta ve özellikle online kaplama süreçlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaktadır.

### ÖZET

Kuru buz ile teknik temizlik TR3 hattında ilk olarak Nisan 2014'te denenmiştir. Denemelerde kirliliklerin rulolardan sökülmesinde başarılı olunması sebebi ile Haziran 2014 kampanyasından itibaren kaplama üretimleri sonrası kullanılmaya başlanmıştır. Kuru buz ile temizlik daha dar şerit eninde çalışmaya olanak vermiştir.

Kuru buz ile teknik temizlik uygulamasına yıl ortasında başlandı ve 2014 yılı içerisinde toplamda 4 kampanyada şerit eni nispeten daha dar tutuldu. 1 yıla vurulduğunda ve yılda 8 kampanya yapılacağı varsayıldığında şerit eni daralması ve ham madde tasarruflarından sağlanan toplam kar aşağıda belirtilmiştir:

Kuru Buz malzeme ve püskürtme sistemi tedariki= 9.000 TL

2014, 4 kampanyada;

Sınai maliyet tasarrufları sonucu 331.000 TL kar elde edilmiştir.

2014, 4 kampanyada elde edilen toplam kar= 369.000 TL (temizlik harcamaları düşülmüş şekilde)

Çalışmaların 1 yıl boyunca yapılması durumunda elde edilecek yaklaşık kar = 738.000 TL.

**Anahtar Sözcükler:** Kurubuz, Temizlik, Piroolitik, Kaplama, Üretim, Kirlilik

### GİRİŞ

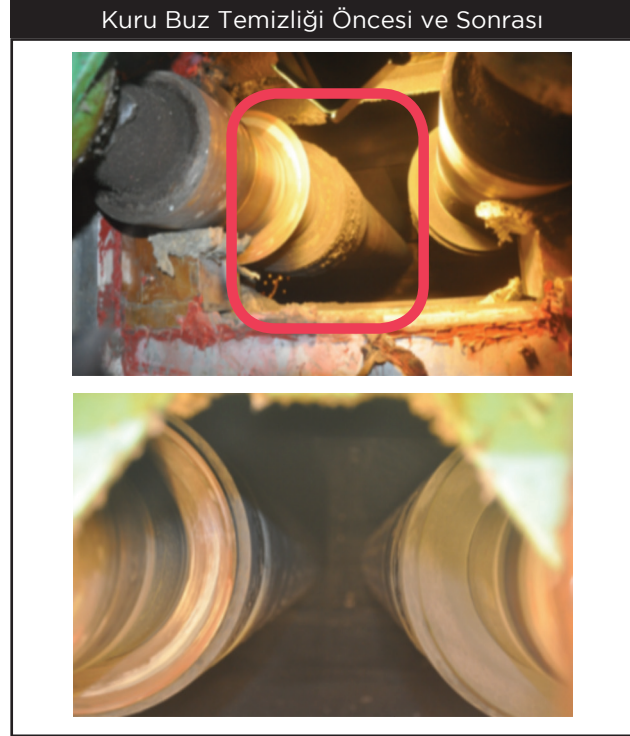
Kuru Buz CO<sub>2</sub> gazından elde edilen bir buz kütesidir. Bu gaz kokusuz, renksiz doğal bir gazdır. CO<sub>2</sub> -56,60 °C de ve 5,19 bar basınçta sıvı faza geçmektedir. Sıvı, bir takım işlemler sonucu buz haline dönüştürülmektedir. Katı fazdaki CO<sub>2</sub> atmosfer basıncında (1,032 bar) süblimleşerek doğrudan gaz faza geçmektedir. 1925 yılından beri sanayide çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

### YÖNTEM

Kuru buz, püskürme makinasının haznesinin içine konulur. Basıncı hava yardımı ile püskürtme tabancasından geçirilerek temizlenmek istenen bölgeye doğru püskürtülür. Çubuk formunda üretilmiş ve sıcaklığı -78,5 °C olan buz parçacıklarının makine içerisinde küçük parçacıklara dönüştürüldükten sonra, haricen bağlanan kompresör vasıtası ile 300-900 m/s sürat ile püskürtülmektedir. Buz parçacığının hızı ve kütleli ağırlığı nedeni ile oluşan kinetik enerji yüzeydeki depozitleri parçalamada etkilidir.

Yüksek hızın yanında gözenekler içerisine girerek gaz faza geçen CO<sub>2</sub> hacimce 800 kat genişleyerek bulunduğu hacmi basınçlandırmakta ve parçalanma sürecini hızlandırmaktadır. Yüzeyden temizlenen kalıntılar yere düşerken temizleme esnasında kullanılan kuru buz gaza dönüşerek atmosfere karışmaktadır. Kuru buz ile teknik temizlik TM'de ilk defa Mart 2014'te denenmiştir. Rulolarda biriken metal oksit kirliliklerinin çözülmesinde başarıya ulaşılmıştır. Denemede başarılı olunmasıyla birlikte Haziran 2014 kampanyasından itibaren düzenli olarak kullanılmaya başlanmıştır.





## SONUÇLAR - İŞ GÜCÜ/ENERJİ

- Kuru buz ile temizlikten önce; rulolarda biriken kirlilikler spatula, çekiç, keski gibi aletler kullanılarak etkisiz yöntemler ile temizlenmeye çalışılmaktaydı. Bu temizlikler 1-2 vardiya kadar sürdükleri için soğutma bölgesindeki kapakların da sürekli açık kalması gerekmekteydi ve bu durum tavlama hattında kayıplara yol açabilmekteydi.
- Kuru buz ile yapılan temizlikler 1-2 saat aralığını geçmemektedir. Personel daha az yorularak daha etkili bir temizlik yapabilmektedir.
- Keski, spatula benzeri ekipmanların çekiç yardımıyla kullanılması, rulo yüzeyinde hasar riskini arttırmaktadır. Kuru buz temizliğinde rulolara herhangi bir zarar gelmemektedir.
- Şerit eninin daha dar çalışılabilmesi ve randımanların yükselmesi sebebi ile ısıtma tesisinde daha az doğalgaz, elektrik ve su tüketilmektedir. Bu giderlerin azalması ton başına kaplamalı cam sinai maliyetlerinin düşmesini de sağlamaktadır.

## SONUÇLAR - MADDİ KATKILAR

- 2014 yılı içerisinde Haziran, Ağustos ve Aralık (2 kampanya) kampanyalarında kuru buz ile teknik temizlik yapılmasından ötürü yan koparma kayıpları yaklaşık %4 düşürülmüştür.

Tablo 1. Yan Koparma Yüzdeleri,  
Kuru Buz Temizliği Öncesi ve Sonrası

Kalınlık (mm)	Yan Koparma (%)		
	2013	2014 (1-4)	2014 (6-12)
4	10,5	9,1	6,1
6	10,6	10,4	6,6
8	10,5	10,4	-

Tablo 2. Kuru Buz Temizliği Uygulamalarında  
2014 Yılı 2. Yarısındaki Tasarruflar

Kalınlık (mm)	Yan Koparma (%)	
	Tasarruf Edilen Tonaj (Ton)	Elde Edilen Kar (TL)
4	74	39.000
6	611	292.000
8	-	-



- Kuru buz temizliğinin uygulanmaya başladığı 2014 yılında, toplamda 369.000 TL tasarruf sağlanmıştır. (9.000 TL tutarındaki temizlik masrafı düşülmüştür.)
- 1 yıl boyunca bu şartlarda çalışılırsa yaklaşık olarak 738.000 TL maliyet tasarrufu gerçekleştirilecektir.

## **TARTIŞMA**

- Kuru buz ile teknik temizlik rulolara zarar gelmesini engellemekte ve temizlik sürelerini kısaltmaktadır. Cam şeridinin daha dar çalışmasına olanak tanıdığı için ciddi anlamda maddi katkı sağlamaktadır.
- Toz formda A0 ısıtıcıları üzerine düşen metal oksitlerin kısa devre yapmasını engellemek için ısıtıcı üzeri sac ile örtülmektedir.

## BTP PRES MAKİNASI AĞIZ YAKMA TAMBURLU YÜKLEME SİSTEMİ



**Deniz Gürbüz**  
Şişecam Topluluğu, Cam  
Ev Eşyası Grup Başkanlığı,  
Posuda Limited  
dgurbuz@sisecam.com

*TOPLULUĞA GİRİŞ TARİHİ: 20.01.2008*  
*ŞİRKETE GİRİŞ TARİHİ: 20.01.2008*  
*SON GÖREVE ATANMA TARİHİ: 01.01.2015*  
*DOĞUM TARİHİ: 10-05-1979*  
*MEZUN OLDUĞU OKUL: Boğaziçi Ün. Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü (Lisans)*  
*İstanbul Teknik Ün. Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü (Yüksek Lisans)*  
*YABANCI DİL DURUMU: İngilizce, Rusça*  
*EVVELCE BULUNDUĞU TOPLULUK İÇİ GÖREVLER: Paşabahçe Cam San. ve Tic. A.Ş. Posuda Fab.-Üretim Şefi (01.03.2009 -01.01.2015)*  
*Paşabahçe Cam San. ve Tic. A.Ş. Posuda Fab.-Bakım Şefi (20.01.2008 -01.03.2009)*

### ÖZET

C3 pres hattında kayıpları azaltmak amaçlı istenilen bir projedir. Tamburlu yükleme sistemi Posuda ürün çeşitliliğinden (kulplu bardak, büyük kase, oval tabak vb.) dolayı sık sık layout değişimi gerektirmektedir. Zaman kaybını önlemek ve ürün gamına daha uygun olan yeni bir sistem geliştirilmiştir. Sistem şu anda sadece Posuda fabrikasında çalışmaktadır. Minyatür bir ağız yakma tasarlanarak, elimizdeki malzemelerden faydalanarak fabrika bünyesinde imal edilmiştir. Sadece atölye şartlarında işgücü harcanılarak yapılmıştır. Direkt olarak makineden minyatür ağız yakmaya yükleme yapılır. Minyatür ağız yakmadan rotary boşaltıcı ile (vakumlu ve maşalı) büyük ağız yakmaya yükleme yapılmaktadır.

Sistemin avantajları,

- Pres hatlarında yerleşim kolaylığı sağlamaktadır. Büyük ağız yakma boşaltma pozisyonu istenildiği gibi ayarlanabilir.
- Makine ve ağız yakma arasında kullanılan konveyör bant kaynaklı arızalar sıfırlanmış ve tel bant masrafı ortadan kaldırılmıştır. Özellikle, belli bir çalışma sonrası konveyör bant deformasyonundan kaynaklı dip sallantı hatası ortadan kaldırılmıştır.
- Küreme kullanılan sistemlerde, küremeden kaynaklı dip kırık ve çatlak hataları ortadan kaldırılmıştır. Yükleme kayıplarından kaynaklı ağız yakma içine düşen camların sebep olduğu arıza duruşları minimize edilmiştir.
- Fabrika ürün gamının yaklaşık %90 bu layout ile çalışabilir. Devirden kaynaklı sorun yaşanmamıştır. 45 dev/dak votka bardağı ile test edilmiştir. Sistemin modüler olmasından dolayı, geri kalan %10 için yapılacak layout değişimi gayet kolaydır. İstenildiği takdirde küçük ağız yakma alınarak konveyör montajı yapılabilir.

**Anahtar Sözcükler:** tambur, ağız yakma

## GİRİŞ

Posuda fabrikasında 2 adet pres hattı olup, bu hatlarda değişik boyut ve özelliklerde ürünler üretilmektedir. Genel olarak kulplu iki parçalı imalatlar çoğunlukla üretilmektedir. Bunun yanında, votka bardağı gibi yüksek devirli imalatlarda aynı makinelerde üretilmektedir. Bu sistem pres hatlarında yerleşim değişikliğine gitmemek amacıyla, aynı makinede farklı ürünler üretebilmek için tasarlanmıştır. Bunu yaparken, makinenin mevcut bulunduğu yere yerleştirilebilmesi için esnek bir çözüme gidilmiştir.

## YÖNTEM

C3 hattında kullanılan sistem ile, ürün makineden direkt olarak küçük ağız yakmaya yükleniyor. Ürün yapısına ve şekline bağlı olarak, küçük ağız yakmadan rotary boşaltıcı ile maşalı veya vakumlu olarak büyük ağız yakmaya yükleniyor. İstenilen takdirde mevcut yöntemle tutulamayan özel ürünlerde (Bölmeli, gondol vs gibi) küçük ağız yakma alınarak C3-C4 hat yerleşiminde oklarla gösterilen konveyörler yerleştirilir. Küreme yöntemiyle yükleme ve boşaltma yapılarak soğutmaya beslenebilir. Posuda fabrikasında bu tarz ürünler, yerleşim olarak daha uygun olan C4 hattında çalışması tercih edilmektedir.

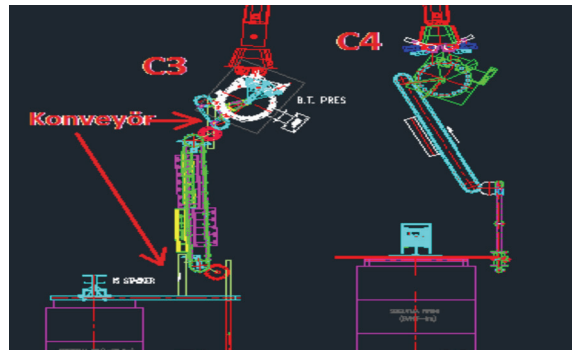
## SİSTEMİN AVANTAJLARI

- Pres hatlarında yerleşim kolaylığı sağlamaktadır. Büyük ağız yakma boşaltma pozisyonu istenildiği gibi ayarlanabilir.
- Makine ve ağız yakma arasında kullanılan konveyör bant kaynaklı arızalar sıfırlanmış ve tel bant masrafı ortadan kaldırılmıştır. Özellikle, belli bir çalışma sonrası konveyör bant deformasyonundan kaynaklı dip sallantı hatası ortadan kaldırılmıştır.
- Küreme kullanılan sistemlerde, küremeden kaynaklı dip kırık, çatlak ve pas lekesi gibi hatalar ortadan kaldırılmıştır. Yükleme kayıplarından kaynaklı ağız yakma içine düşen camların sebep olduğu arıza duruşları minimize edilmiştir.
- Fabrika ürün gamının yaklaşık %90'ını bu layout ile çalışabilir. Devirden kaynaklı sorun yaşanmamıştır. 45 dev/dak votka bardağı ile test edilmiştir. Sistemin modüler olmasından dolayı, geri kalan %10 için yapılacak layout değişimi gayet kolaydır. İstenildiği takdirde küçük ağız yakma alınarak konveyör montajı yapılabilir.

Sıcak Çalışma



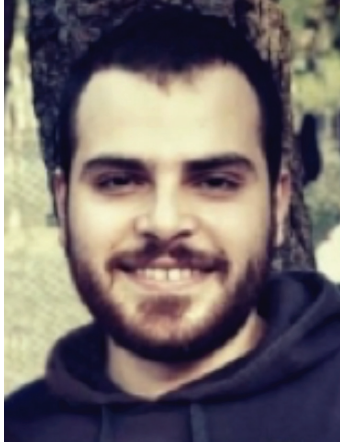
Küçük Ağız Yakma



C3 ve C4 Hatları Yerleşimi



## AN INVESTIGATION OF SPIN WAVES IN PATTERNED MU-METAL THIN FILM ON GLASS SUBSTRATE



**Caner Değer**  
Marmara University,  
Physics  
[caner.deger@marmara.edu.tr](mailto:caner.deger@marmara.edu.tr)

**Mustafa Özdemir**  
TAEK  
[mustafa.ozdemir@taek.gov.tr](mailto:mustafa.ozdemir@taek.gov.tr)

**Doç.Dr. Fikret Yıldız**  
Gebze Technical  
University, Physics  
[fyildiz@gtu.edu.tr](mailto:fyildiz@gtu.edu.tr)

### *Education*

*Bachelor Degree 2012 Gebze Technical University Department of Pure and Applied Sciences  
Physics(3rd Honors)*

*High School 2007 Sehremini High School*

### *Research Interest*

*Ferromagnetic resonance in thin films, magnetostatic spin waves, topological insulators, monte-carlo simulations, diluted magnetic semiconductors, solid state physics*

### *Employment*

*Research Assistant 2013- Marmara University*

*Faculty of Arts and Sciences*

*Physics Department*

## ABSTRACT

Spin wave phenomena is one of the attractive topic due to improve in magnetic recording and giving opportunity for investigating the dynamics of magnetic parameters. Besides, glass is one of the most common substrates used for optical and device applications, due to its non-magnetic nature, smoothness and uniformity. In this work, thin film of mu-metal was deposited onto glass substrates followed by photolithography process that determine shape and dimension of patterns. Behavior of spin waves was investigated in patterned mu-metal thin film both theoretically and experimentally. The mu-metal (111) thinfilms with 7 Qm thickness were grown by thermal evaporation technique. There was a small signal from (200) plane excepting (111) plane according to XRD measurements. Saturation magnetization and coercive field values of non-patterned sample obtained from vibrating sample magnetometer are around 500 emu/cm<sup>3</sup> and 10 Oe respectively. Magnetic anisotropy in in-plane and out-of-plane geometry was not observed by both theoretical and experimental investigations for all samples. However different dimensioned squares have generated magnetostatic modes for out-of-plane geometry reflecting the size of the squares. And these modes were highly compatible with outputs of simulation model.

**Keywords:** *glass substrate, magnetostatic spin wave, magnetic thin film, ferromagnetic resonance*

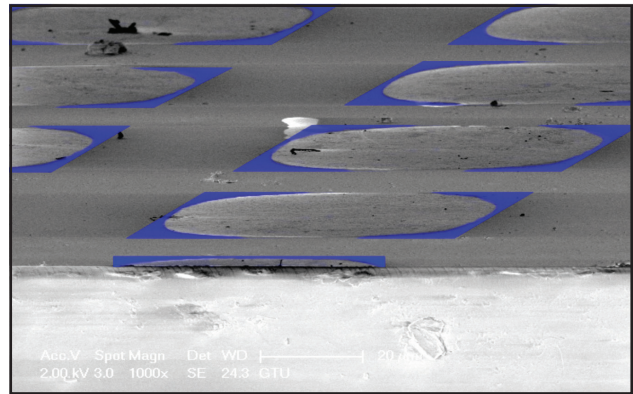
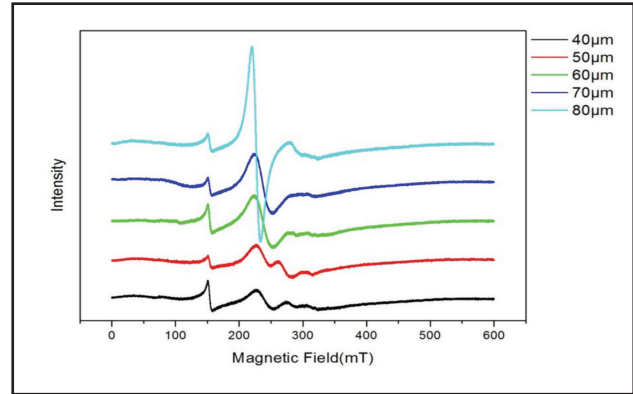
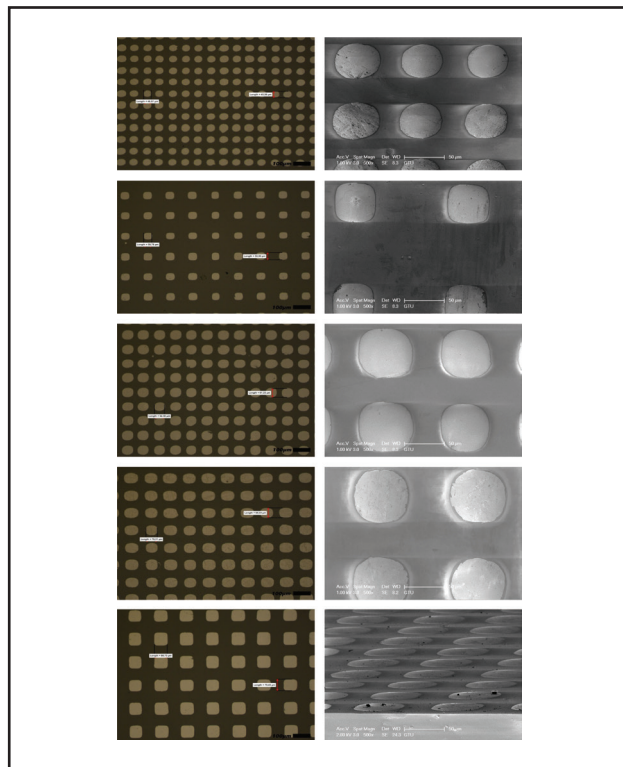
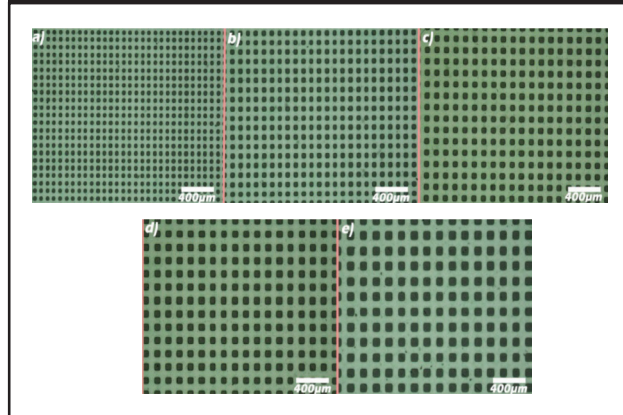


## INTRODUCTION

Nanosized magnetic films contain an outstanding rich physics, technological applications and more potential for novel scientific purposes. [Seavey J. and Tannenwald P, 1958] Thus researchers put lots of effort for understanding the nature of these films and constructing functional nano-scale materials. Spin wave phenomena is one of the attractive topic due to improve in magnetic recording and giving opportunity for investigating the dynamics of magnetic parameters.

## EXPERIMENT

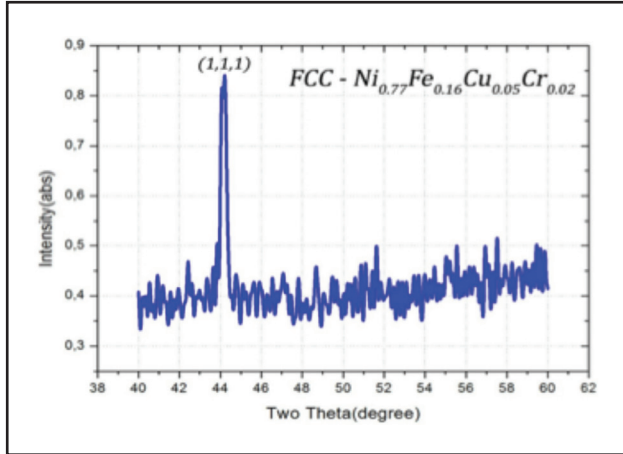
Microscope images of 40Qm,50Qm,60Qm,70Qm and 80Qm patterned masks.



OM and SEM images of 40Qm, 50Qm, 60Qm, 70Qm and 80Qm patterned thin film on glass substrate respectively. First sample that desired as 40Qm are quite elliptic instead of squares because etchant of NiFe is quite strong. So desired squared pattern were overcorroded by strong etchant.







It can be immediately seen that the peak of (111) plane of FCC mu-metal structure is at ~44° in two theta axis. [Cho, W.-S., et al, 2001] This result shows that Ni<sub>0.77</sub>Fe<sub>0.16</sub>Cu<sub>0.05</sub>Cr<sub>0.02</sub>(111) highly fcc oriented thin films were deposited.

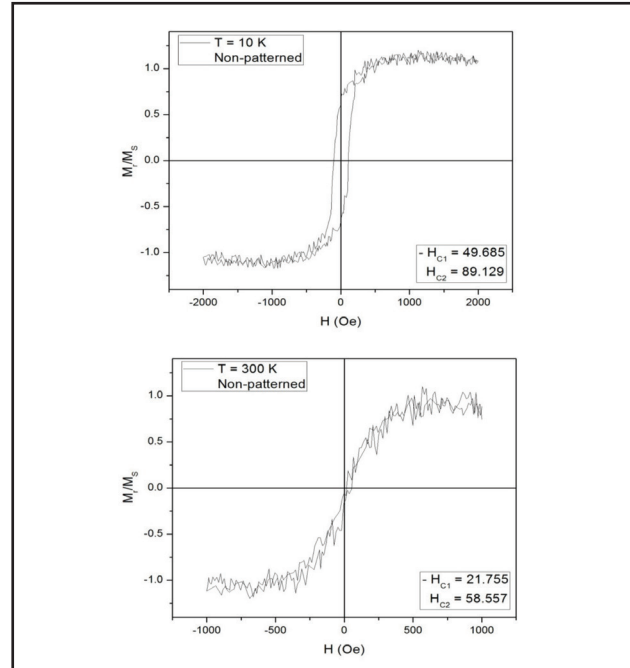
### THEORETICAL MODEL

The absorption of power by the magnetostatic modes is an integration that can be performed over the volume of the sample:

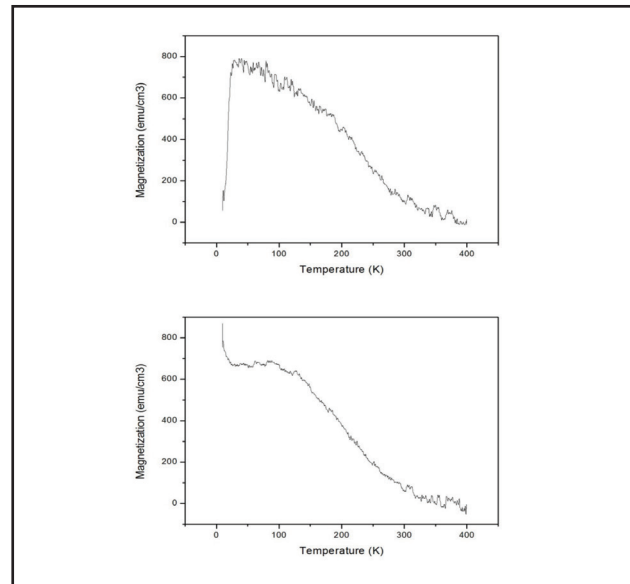
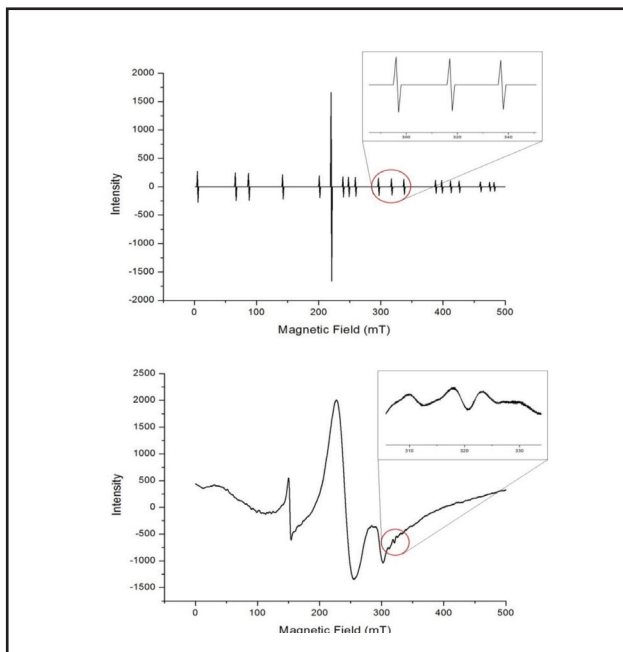
$$\langle m \cdot h \rangle = \left\{ \frac{I_y A}{n_y \pi} [Z(z)]_{-d/2}^{+d/2} + B \int_{-d/2}^{+d/2} Z(z) dz \right\} \sin\left(\frac{n_y \pi}{2}\right) \frac{I_x}{n_x \pi} \sin\left(\frac{n_x \pi}{2}\right)$$

where  $Z(z) = a \exp(ik_z z) + b \exp(-ik_z z)$  [Wigen P., 1984.]

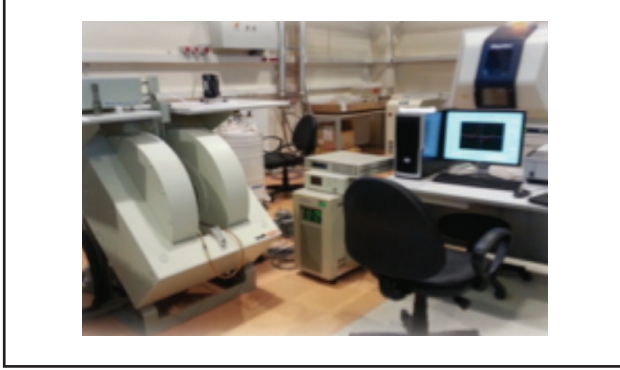
Theoretical and experimental out-of-plane FMR spectroscopy of 40Qm patterned Q-metal thin film at the angle of 0°



Hysteresis loop of non-patterned sample at 10 K and 300 K. Saturation Magnetization is measured as  $M_s = 993 \text{ emu/cm}^3$  and  $M_s = 467 \text{ emu/cm}^3$  respectively.



ZFC-FC (50 Oe) measurements of non-patterned sample



## CONCLUSIONS

- Main mode of all five samples are dimensionally independent for in-plane geometry even if it is change with respect to aspect ratio[Zhai, Y., et al, 2002].
- Magnetostatic modes were generated in 40Qm patterned sample for out-of-plane geometry and these modes were highly compatible with outputs of simulation model.
- It is thought that the reason of magnetostatic spin wave modes observed in 40Qm patterned sample is surface effects which becoming dominant when compared to volume effects in 7 nm thin film.
- Bumpy edges of patterns may caused wider resonance peaks. Constructing narrower patterns with smoother and sharper edges is planning for future works.

## BEYAZ/CLEAR CAM ÜRETİMİNDE KULLANILAN CAM KIRIKLARINDAKİ CAMA RENK VERİCİ AĞIR METALLERİN EKSTRAKSİYON İLE AYRILMASI

Merve İşcan<sup>1</sup>  
Nur Yeliz Büyükyılmaz<sup>1</sup>  
Nuray Hacıoğlu<sup>1</sup>  
Ayşegül Merdin<sup>1</sup>  
Ayşegül Aşkın<sup>1</sup>  
Fevziye Hande Sesigür<sup>2</sup>  
Murat Börekçi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
aaskin@ogu.edu.tr;  
miscan.922@gmail.com

<sup>2</sup>Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi, Gebze-Kocaeli  
hsengel@sisecam.com

<sup>3</sup>Şişecam Bölge Laboratuvarları Müdürlüğü, Eskişehir bölge Laboratuvarı, Eskişehir  
mborekci@sisecam.com

1992 yılında Kırklareli'nde dünyaya geldi. Eğitim hayatına Hürriyet İlköğretim Okulu'nda başladı, lise eğitimini Lüleburgaz Lisesi'nde tamamladı. Üniversite eğitimini 2014 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde tamamladı. Yine Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde İş Sağlığı ve Güvenliği ile Kimya Mühendisliği bölümlerinde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir

### ÖZET

Gündelik olarak büyük miktarda renkli cam atıkları birikir ve renkli camların geri dönüşümü önemli bir problemdir. Atık camlar genellikle farklı renk ve tonlarda karışım şeklindedir. Renkli camdan renk uzaklaştırmanın mümkün olmadığı düşünülür ve renkli atık camların az bir kısmı eritilmiş hammadde olarak kullanılmaktadır. Kalanların çoğu geri dönüştürülemeyen olarak kabul edilir ve direkt katı atık sahalarına atılır. Bununla beraber, Avrupa Birliği ve Japonya'da çevresel ve sosyal sorunlarda artışa sebep olduğu için cam atıklarının katı atık sahalarına atılan miktarlarına sınırlamalar getirilmiştir. Karışık renkli cam atıklarının geri dönüşümü için etkili bir metoda gereksinim duyulmaktadır [1].

Bu çalışmada karışık renkli atık camlardan Al, Si, Cr, Fe, Cu, Co, Cd, Ti gibi ağır metal iyonlarının ekstrakte edilebilirliği araştırılacaktır. Cam fazın ayrılmasına dayanan bu yöntemde atık camlar (soda kireç silikat yapılı) borik asit ile tekrar eritilecek, elde edilen soda kireç borosilikat cam sonra sıcak asit ile ekstrakte edilecektir. Böylelikle, renkli cam ve/veya karışık renkli cam kırıklarından renk verici ağır metallere arındırılmış, ambalaj camı üretiminde kullanılabilir, yüksek saflıkta silisyum oksit elde edilmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Renkli atık cam, ağır metal iyonları, ekstraksiyon

### 1. GİRİŞ

Cam, kum (kuvars), soda, kireç, feldspat ve iz elementler gibi hammaddelerin yüksek sıcaklıkta eritilmesiyle üretilir. Doğal kaynakların tükendiği ve çevre kirliliğinin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde, tüm atıkların geri kazanımında olduğu gibi cam geri kazanımı da önemli ve yaygındır. Camların toplanarak geri kazanılması depolama sahalarının ömrünü uzatır, doğal kaynakları korur ve atık bertaraf maliyetlerini azaltır. Cam geri kazanımının tercih edilmesinin nedeni, eski camdan üretimin daha ekonomik olmasıdır. Cam endüstrisinin tahminine göre her 1 ton camın geri kazanımı 9 galon fueloile eşdeğerdir. Buda geri dönüştürülen % 1'lik camla, cam eritme ocağında 2400 ft<sup>3</sup> gazın korunması demektir.

Cam kırığı cam ambalaj üretiminde en önemli girdilerden biridir, soda kireç camı olan bu ambalaj camlarının üretiminde % 30-35 oranında fırına hazır cam kırığı (FHCK) kullanılmaktadır. Ambalaj camları genellikle beyaz/renksiz, yeşil ve bal renklidir. Hangi renk cam üretimi yapılacak ise cam harmanına katılacak cam kırığı da o renk cam kırığı olmalıdır. Özellikle beyaz/renksiz cam üretiminde cam kırığına karışacak renkli camlar, üretilen yeni camın rengini bozacaktır. Bu sebeple, yukarıda adı geçen cam renkleri dışındaki pembe, mavi, mor, siyah gibi renkli camların ve değişik renkli cam ihtiva eden cam kırığı yığınlarının, renklerine göre ayrılması meşakkatli ve maliyetli olacaktır, cam kırığı olarak kullanımı sınırlıdır.

Kırılmış cam materyaller, diğer hammaddelerle birlikte eritilerek geri kazanılabilir. Ocağa ne kadar kullanılmış cam ilave edilirse, daha az ısı gerekir. Bunun nedeni geri kazanılan camın, kum, soda külü ve kireçten daha düşük sıcaklıkta erimesidir. Eritme ocağında tamamı kullanılmış cam ürünler eritildi-

## 2. PROJEDE KULLANILAN YÖNTEM VE METOTLAR

ğinde, enerji tüketiminde %25 azalma sağlanır. Bunun yanında %20 hava kirliliğinde, %80 maden atığında ve %50 su tüketiminde azalma sağlanır. Kum, soda, kireç, doğal kaynaklar da ayrıca korunur.

Camın rengi, geri kazanım için en önemli faktördür. Eski camlardan beyaz ve kahverengi cam üretimi, sadece bu tür camlar kullanılarak yapılabilir. Karışık cam atıklardan ise sadece yeşil cam yapılabilir. Renklerine ayrılmış camlar, geri dönüşüm işletmelerinde daha fazla talep görmektedirler. Her cam hazırlama tesisinin, kendine özgü şartları vardır. Bunlar çeşitlidir, fakat çoğu cam işletmesinde alüminyum kapak, seramik, lamine kaplanmış cam ve pencere camı gibi farklı özelliklere sahip camlara tolerans gösterilmez. Bazı tesislerde az derecede renk kirliliklerine tolerans gösterilir [2].

Anadolu camda kullanılan standartlar genellikle aşağıdaki gibidir:

Beyaz cam: 50 kg beyaz cam kırığında, 250 gr kahverengi, 250 gr diğer renkler.

Kahverengi cam: 50 kg kahverengi cam kırığında, 2500 gr beyaz, 2500 gr diğer renkler.

Yeşil cam: %80-100 yeşil, %0-15 kahverengi, %0-10 beyaz ve diğer renkler.

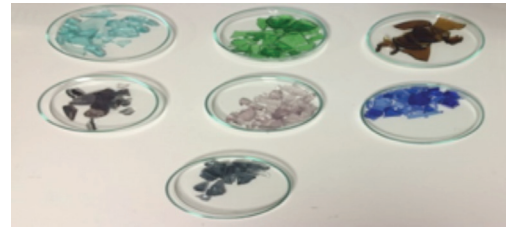
Çizelge 1'de cama renk vermek için kullanılan bazı elementler verilmiştir [3].

Çizelge 1. Cama renk vermede kullanılan elementler		
Element	Element	Element
Bakır	Cu <sup>2+</sup>	Açık mavi
Krom	Cr <sup>6+</sup>	Yeşil
Mangan	Mn <sup>3+</sup>	Mor
Demir	Fe <sup>3+</sup>	Sarımsı kahverengi
	Fe <sup>2+</sup>	Mavimsi yeşil
Kobalt	Co <sup>2+</sup>	Yoğun mavi, borat camlarda, pembe
	Co <sup>3+</sup>	Yeşil
Nikel	Ni <sup>2+</sup>	Cam matrisine bağlı olarak grimsi kahverengi, sarı, yeşil, mora çalan mavi
Vanadyum	V <sup>3+</sup>	Silis camlarda yeşil, borat camlarda kahverengi
Titanyum	Ti <sup>3+</sup>	Mor (azaltma şartları altında eritme)

Ülkemizde çöp içindeki geri kazanılabilir madde oranı yaklaşık olarak %12'dir. Cam şişelerin Türkiye genelindeki geri kazanım oranı %36'dır ve cam geri kazanım çalışmaları Şişe Cam Grubu bayileri kanalıyla toplanmakta ve 6570 bin ton atık cam tekrar işlenerek geri kazanılmaktadır.

Bu yöntemde öncelikle yeşil (Cr içeren), mavi (Co içeren), füme (Fe içeren), turkuaz (Cu içeren), mor (Mn içeren) ve karışık (yeşil, mavi, füme, mor, bronz, televizyon camı, turkuaz) renkli atık cam numuneleri toplanmıştır. Karışık renkli cam numuneleri Şekil 1.'de verilmiştir.

Şekil 1. Karışık Renkli Cam Numuneleri



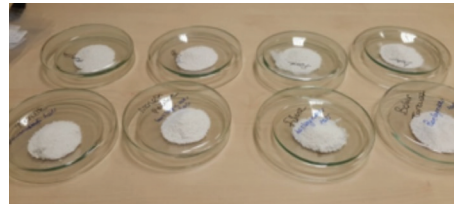
Toplanan atık cam numuneleri kırılarak öğütme işlemi için hazırlanmıştır. Cam kırıkları Retch marka öğütme makinesinde 1500 rpm'de 1 dk boyunca öğütülerek toz haline getirilmiştir. Öğütme işleminin son hali Şekil 2.'de verilmiştir.

Şekil 2. Öğütme İşlemi



Cam örneklerinin üzerine akışkanlıklarını artırıp ergimelerini kolaylaştırmak amacıyla lityum tetraborat (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) ilave edilmiş homojen karışım oluşturabilmek için agat havanda karıştırılmıştır. Lityum tetraborat ilave edilen cam örnekleri Şekil 3.'te verilmiştir.

Şekil 3. Lityum Tetraborat İlave Edilen Cam Örnekleri



1150°C'de eritilme işlemi yapılan örneklerin başlangıçtaki kimyasal bileşimleri Rigaku ZSX Primus II marka XRF cihazıyla belirlenmiştir. Eritiş işleminden sonra soğutulmaya bırakılan cam numuneleri Şekil 4.'te verilmiştir.



Öğütme işleminden sonra toz haline getirilen yeşil, mavi, füme, turkuaz atık cam numunelerinden 50 g tartım alınmıştır. 50 gram cam örnekleri ile ağırlıkça %0, %15, %25, %35 ve %45'lik B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerecek şekilde H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> karıştırılmıştır (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> eklenmesinin nedeni ekstraksiyon sırasında faz ayrımının gözlenmesini sağlamaktır). Hazırlanan karışımlar 1300°C'de 4 saat fırında tutulmuştur. Soğuduktan sonra temas yüzeyini artırmak amacıyla tanecik boyutu 250 Qm olacak şekilde öğütülmüştür. Çalışmanın devamında öğütülen her bir renkli atık cam numunesi için aynı işlemler uygulanmıştır.

Uygulanan işlemler %15'lik B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren yeşil cam numunesi üzerinden anlatılacak olursa;

Öncelikle bu numunedan 25'er g olmak üzere iki tartım alınmış ve üzerlerine birine 1 M diğerine 2 M HNO<sub>3</sub> konularak 90°C'de 24 saat boyunca ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi ile faz ayrımı görüldükten sonra, siyah süzgeç kağıdı ile süzölmüştür. Süzgeç kağıdında kalan katı kısım etüve kurutulmuştur.

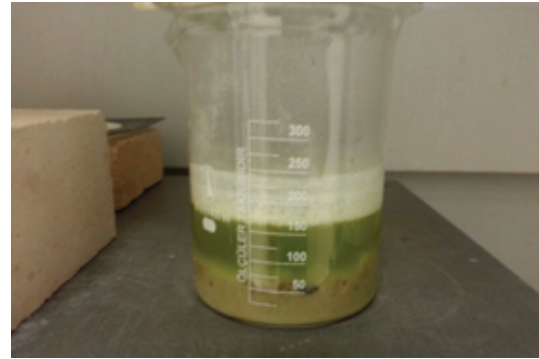
Kurutulan farklı renkteki cam örneklerinin üzerlerine akışkanlıklarını artırıp ergimelerini kolaylaştırmak amacıyla lityum tetraborat (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) ilavesi ile eritişe hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar özel platin krozelere konulmuştur ve XRF ile kimyasal analizi yapılmıştır. Ancak literatürden yararlanarak belirlediğimiz bu metotla yeteri kadar ağır metalin camdan uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Bu sebeple yöntem üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır [1,4].

Uygulanan yeni yöntemde bu kez her bir örnekten 100'er g tartım alınmıştır ve 2 M 200 ml HNO<sub>3</sub> çözeltisi ile karıştırıldıktan sonra 90°C'de ısıtıcıda 1 saat süreyle bekletilmiştir (Burada amaç Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün bir kısmını alınmasını sağlamaktır). Bu işlemden sonra örnek siyah süzgeç kağıdı ile süzölmüştür. Süzgeç kağıdında kalan katı kısım etüve kurutulmuştur. Kurutulan numunelerin bir kısmı ayrılarak eritiş işleminden sonra kimyasal analizi yapılmıştır.

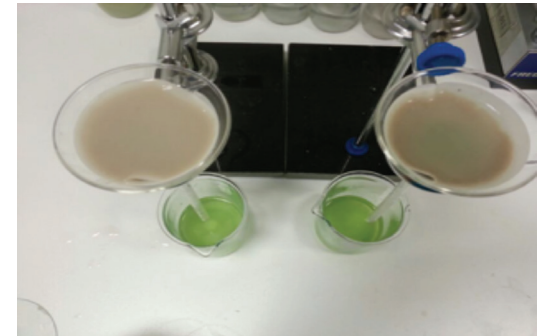
Kurutulan örnekten 50 g tartım alınmıştır ve %45'lik B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren örnek hazırlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarına göre %0, %15, %25, %35'lik B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren karışımlara göre %45'lik B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren karışımın daha iyi sonuç verdiği görüldüğünden dolayı çalışmalarımız %45'lik B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren yeşil, mavi, füme, turkuaz, mor ve karışık renkli atık cam numuneleri üzerinden yürütölmüştür. Eritiş yapıldıktan sonra öğütölen 50'er gram cam örnekleri üzerine 250 ml (mavi cam için 100 ml yeterli), 2,5 N HCl ilave edildikten sonra 90°C'de ısıtıcıda 1 saat süreyle bekletilerek ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi ile faz ayrımı gözlenmiştir Ekstraksiyon işlemi sırasında gözlenen faz ayrımı Şekil 6.5.'te verilmiştir.

Ekstraksiyon işleminin ardından faz ayrımının gözlemlendiği numune siyah süzgeç kağıdı ile süzölmüştür. Süzme işlemi sırasındaki katı ve sıvı faz Şekil 6.6.'da verilmiştir. Süzgeç kağıdında kalan katı kısım etüve kurutulmuştur. Kurutulan numuneler lityum tetraborat (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) ilavesi ile eritişe hazırlanmıştır. Eritiş yapılan yeşil, mavi, füme, turkuaz, mor ve karışık atık cam numunelerinin XRF ile kimyasal analizi yapılmıştır [4].

**Şekil 5.** Ekstraksiyon işlemi sırasında gözlenen Faz Ayrımı



**Şekil 6.** Süzme işlemi sırasındaki katı ve sıvı faz





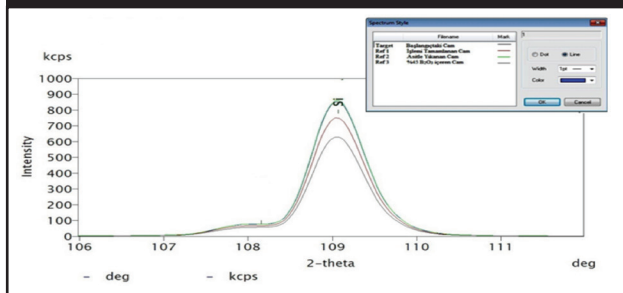
### 3. BULGULAR

Bu çalışma sonucunda yeşil (Cr içeren), mavi (Co içeren), füme (Fe içeren), turkuaz (Cu içeren), mor (Mn içeren) ve karışık (yeşil, mavi, füme, mor, bronz, televizyon camı, turkuaz) renkli atık cam numuneleri ile yapılan çalışmalar sonucunda amaçlandığı üzere ağır metal iyonları büyük oranda uzaklaştırılıp yüksek saflıkta SiO<sub>2</sub> elde edildi. Çizelge 2'de mavi atık cam numunesinin yapılan çalışma sonucu elde edilen kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir. Şekil 4'te mavi atık cam için Si'daki artış, Şekil 8'de mavi atık cam için Co'daki azalış gösterilmiştir. Çizelge 3'te yeşil (Cr içeren) atık cam numunesinin yapılan çalışma sonucu elde edilen kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir. Şekil 9'da yeşil atık cam için Si'daki artış gösterilmiştir. Çizelge 4'te ise karışık renkli atık cam numunesinin çalışma sonucu elde edilen kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir. Şekil 10'da karışık cam için Si'daki artış gösterilmiştir.

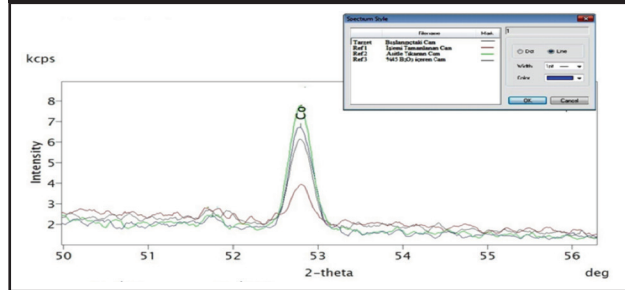
**Çizelge 2.** Mavi atık cam numunesinin yapılan çalışma sonucu elde edilen kimyasal bileşimleri

%	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Başlangıçtaki Cam	70,92	1,62	0,01	0,04	7,52	3,57	15,99	0,04	0,13	0,03
2N HNO <sub>3</sub> ile yıkanmış	71,81	1,59	0,02	0,04	8,55	3,51	14,22	0,05	0,06	0,03
2,5 N HCl ile yıkanmış	87,32	1,47	0,03	0,07	3,53	1,42	5,96	0,03	0,01	0,01

**Şekil 7.** 2,5 N HCl ile Ekstrakte Edilmiş Mavi Atık Camın Si Spektrumu



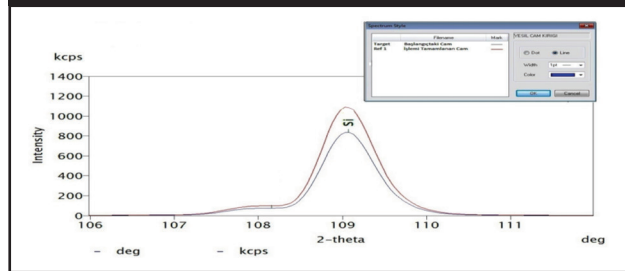
**Şekil 8.** 2,5 N HCl ile Ekstrakte Edilmiş Mavi Atık Camın Co Spektrumu



**Çizelge 3.** Yeşil Atık Cam Numunesinin Yapılan Çalışma Sonucu Elde Edilen Kimyasal Bileşimleri

%	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Başlangıçtaki Cam	69,48	2,00	0,189	0,04	8,83	3,24	15,13	0,04	0,1	0,02
2N HNO <sub>3</sub> ile yıkanmış	70,78	1,97	0,234	0,05	9,73	3,03	13,09	0,05	0,06	0,22
2,5 N HCl ile yıkanmış	98,92	0,42	0,014	0,02	0,13	0,05	5,96	0,03	0,01	0,01

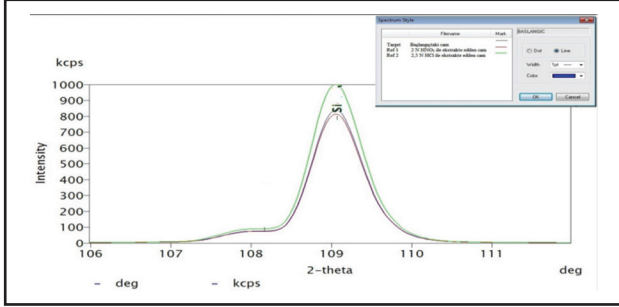
**Şekil 9.** 2,5 N HCl ile Ekstrakte Edilmiş Yeşil Atık Camın Si Spektrumu



**Çizelge 4.** Karışık Renkli Atık Cam Numunesi ile Yapılan Çalışma Sonucu Elde Edilen Kimyasal Bileşimler

%	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PbO
Başlangıçtaki Cam	70,55	2,03	0,13	0,04	7,31	2,54	14,44	1,5	0,8	0,11
2N HNO <sub>3</sub> ile Ekstrakte Edilmiş	70,11	1,97	0,12	0,06	7,53	2,58	14,66	1,46	0,08	1,14
2,5 N HCl ile Ekstrakte Edilmiş	97,97	0,30	0,02	0,05	0,4	0,13	0,76	0,10	0,01	0,09

**Şekil 10.** 2,5 N HCl ile Ekstrakte Edilmiş Karışık Renkli Atık Camın Si Spektrumu



#### 4. SONUÇ

Yapılan literatür araştırmalarına göre %15, %25, %35'lik  $B_2O_3$  içeren karışımlara göre %45'lik  $B_2O_3$  içeren karışımın daha iyi sonuç verdiği görüldü ve bu nedenle çalışma %45'lik  $B_2O_3$  içeren yeşil ve mavi atık cam karışımları üzerinden yürütüldü. Elde edilen sonuçlarda cam atıklarındaki ağır metallerin uzaklaştırıldığı ve  $SiO_2$ 'nin ağırlıkça yüzde miktarının arttığı görüldü. Böylece geri dönüşümü sınırlı olan renkli cam kırıkları atıklarından ağır metal iyonlarının uzaklaştırılıp cam harmanına katılmasıyla optik özelliklerini kaybetmeden yüksek saflıkta  $SiO_2$  içeren yeni ve kaliteli cam üretilebileceğini düşünülmektedir. Bu metotla renkli cam atıklarının ekonomiye kazandırılması sağlanabilir.

Renkli cam atıkları cam harmanına doğrudan katılmadığından dolayı katı atık sahalarında birikmeye ve içerdikleri ağır metallerden dolayı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışma çevresel faktörler göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde, çevre kirliliğinin önemli boyutlarda azalmasına olanak sağlar.

Bor oksit karıştırılarak fırınlanan malzemenin kırılmaya karşı soda-kireç camından daha dayanıklı olduğu gözlemlendi. İlerde dayanıklılık testi yapılarak ispatı yapılabilir. Ayrıca son ürün olan silisyum içeriği fazla malzemenin XRF analizi için eritisi yapıldığında oluşan tablet mat ve seramik benzeri görünüşe sahiptir. Cam üretimi dışında alternatif ürün olarak değerlendirilebilir. Ayrıca ağır metal ve soda ürünleri içeren süzüntüler tekrar renklendirici frit olarak değerlendirilebilir.

#### 5. KAYNAKLAR

[1] Chen D., Masui H., Miyoshi H., Akai T., Yazawa T., 2006. "Extraction of heavy metal ions from waste-colored glass through phase separation" Research Article Waste Management, 26, 9, 1017-1023.

[2] [www.bcm.org.tr/pdf/Cam%20geri%20kazan%C4%B1m%C4%B1%20hem%20ekolojik%20hem%20de%20ekonomik.pdf](http://www.bcm.org.tr/pdf/Cam%20geri%20kazan%C4%B1m%C4%B1%20hem%20ekolojik%20hem%20de%20ekonomik.pdf) (Erişim Tarihi: 20.Şubat.2014)

[3] Avrupa Komisyonu Entegre Kirliliğin Önlenmesi ve Kontrolü, "Cam üretim sanayisinde mevcut en iyi teknikler konusunda referans döküman"33, 2001. (<http://www.cygm.gov.tr>)

[4] Nanba T., Mikami S., Imaoka T., Sakida S., Miura Y., 2008. "Chemical recycling of inorganic wastes by using phase separation of glass.", The Ceramic Society of Japan, 220-223.

## CZTS İNCE FİLMLEİN SOĞURUCU KATMAN OLARAK GÜNEŞ HÜCRESİ UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Dilara Gökçen Buldu  
F. G. Akça  
S. Yazıcı  
G. Aygün  
Prof. Dr. Lütfi Özyüzer  
İzmir Yüksek Teknoloji  
Enstitüsü, Malzeme  
Bilimi ve Mühendisliği  
dilarabuldu@iyte.edu.tr

2013 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yılın Ekim ayında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ikinci olarak Enerji Mühendisliğinde yüksek lisansa başlamıştır. Yüksek lisansta malzeme bölümünde güneş enerjisi alanında çalışma yapmaktadır.

### ÖZET

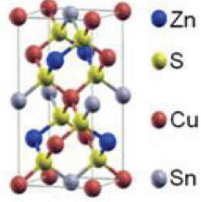
Yükselen enerji maliyetleri güneş enerjisi alanında yapılan çalışmaları öne çıkarmış ve güneş hücrelerinin katmanları için yeni fonksiyonel gruplar üzerine araştırmalar artmıştır. Genellikle kullanılan kalkojen yapıya sahip Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> ve CdTe yerine, kesterite yapıya sahip olan Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) alternatif soğurma katmanı olarak kullanılmaya aday olmuştur. Kadmiyumun (Cd) ağır metal olması, indiyumun (In), galyumun (Ga) doğada az bulunması ve pahalı olmasından dolayı fotovoltaik endüstrisinde kısıtlamaya neden olmaktadır. Alternatif soğurucu katman olarak tercih edilen CZTS, doğada çok bulunan ve toksik olmayan elementlerden oluştuğu için ucuz ve çevre dostudur. Bu özelliklerinin yanı sıra CZTS direkt bant gap enerjisi (1.5 eV) ve yüksek optik soğurma katsayısına ( $>10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) sahiptir [1]. Bu çalışmada miknatıssal saçırma yöntemi kullanılarak sırasıyla Cu, Zn, Sn ince filmleri soda camı altlıklar üzerine en uygun stokiyometriye ulaşmak için belirlenen sürelerde kaplanmıştır [2]. İkinci aşamada Ar gazı akışında 500 °C üzerinde sülfürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Raman spektroskopisi analizi, X-ışını kırınımı (XRD) ve EDX analizleri yapılarak oluşturulan örneklerin yapısal özellikleri incelenmiştir. Yüzey morfolojisi, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir ve bunun sonucunda, filmin homojen ve yoğun olduğu gözlenmiştir. XRD sonuçlarının sonucuna göre kesterite yapıya sahip CZTS (112), (220), (312) ve (101) yüzey pikleri gözlenmiştir. Ayrıca Raman analizleri sonucunda kesterite yapıya sahip olan CZTS denk gelen dalga boyları gözlenmiş olup XRD analizi sonucunu desteklemektedir. Elde edilen filmlerin sıcaklığa bağlı özellikleri de tartışılacaktır.

\*Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 114F341 proje numarası ile desteklenmiştir.  
Kaynaklar

- [1] H. Katagiri et al., Sol. Energ Mater. Sol. Cells 49 (1997) 407-414  
[2] S.Yazici et al., Thin Solid Films 589 (2015) 563-573

**Anahtar Sözcükler:** İnce film güneş hücreleri, soğurucu katman, CZTS

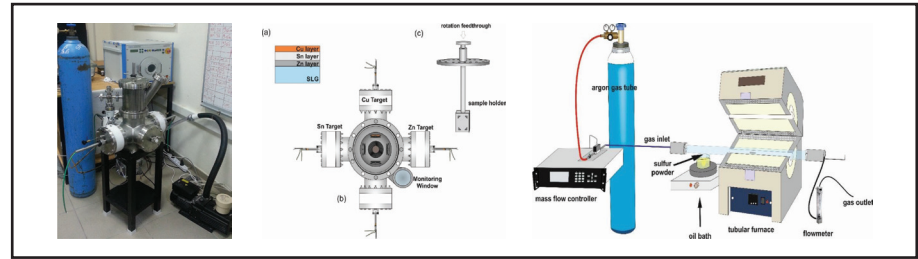
## KRİSTAL YAPISI VE ÖZELLİKLERİ



- Zn
- S
- Cu
- Sn

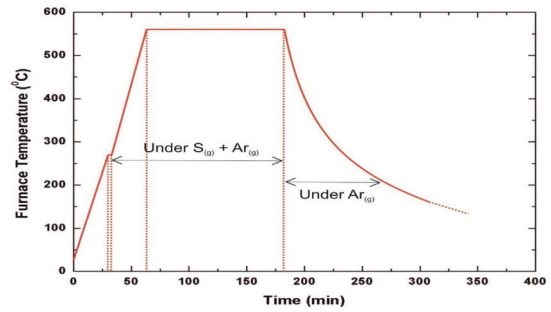
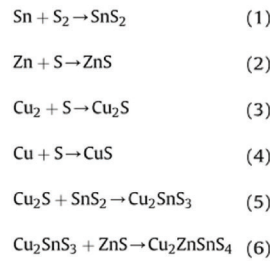
- Direk bant aralığına 1.4-1.6 eV sahiptir.
- Yüksek optik soğurma katsayısına 104 cm-1 sahiptir
- Düşük maliyetlidir.
- CdTe and Cu(In,Ge)Se2 (CIGS) gibi zehirli yapılara sahip değildir.

## DENEYSEL YÖNTEM



İlk sistemde sırasıyla bakır, kalay ve çinko katmanları kaplanmaktadır. Her katman için kaplama gücü ve süresi optimize edilmiştir. İkinci sistemde Sülfür (S) + Argon (Ar) gazı kullanılarak metalik katman sülfürlenmektedir. Sülfürleme işlemi 500-600 °C sıcaklıkları arasında yapılmaktadır.

### Kaplanan İnce Filmin Sülfürizasyon Süreci

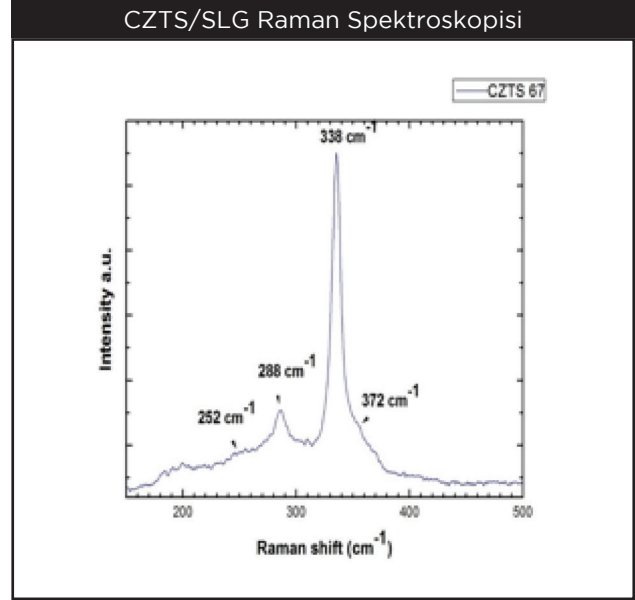
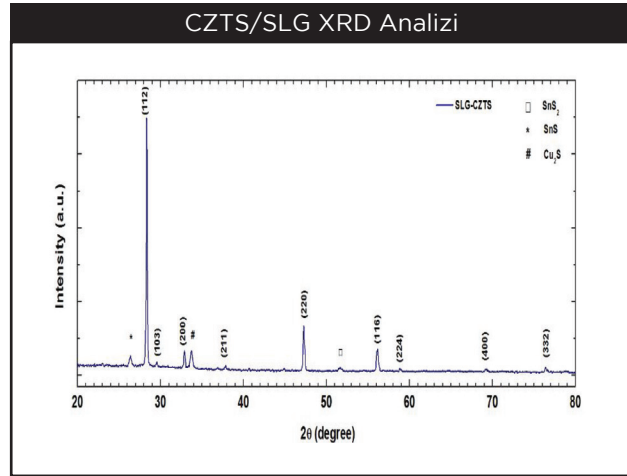


## DENEYSEL SONUÇLAR



SLG Üzerine Kaplı CZTS EDX Analizi

Element	Wt %	Atomic %
S	30.40	52.12
Cu	26.30	22.74
Zn	13.47	11.33
Sn	29.83	13.81
Total:	100.00	100.00



## SONUÇLAR

Bu çalışmada, DC miknatissal saçtırma yöntemiyle cam alttaş üzerine CZTS öncül katmanları büyütülmüş ve ardından Ar + S<sub>2(g)</sub> ortamında bu metalik öncül yapı yüksek sıcaklıkta tavlanıp, CZTS p-tipi yarıiletken bileşiminin oluşumu başarılmıştır. CZTS örneklerimiz Raman spektroskopisi ve XRD analizleri ile incelenip, literatürdeki CZTS yapılarının sahip olması gereken özelliklere sahip olduğu görülmüştür. XRD analizinde, kesterit yapıdaki CZTS bileşiminin öncül olarak 2 $\theta$ = 28.57°'de oluşması gereken (112) yüzeyinden gelen kırınım piki ve diğer karakteristik pikler gözlemlenmiştir. Raman Spektroskopisi analizi sonucunda ise CZTS yapısındaki S atomlarının titreşimi sonucu 338 ve 288 cm<sup>-1</sup> de gözlenmesi beklenen pikler oldukça şiddetli bir şekilde elde edilmiştir. EDX analizi sonucunda Cu, Sn ve S elementel oranlarında istediğimiz miktarlarda, Zn oranında ise az miktarda eksiklik görülmüştür. Aldığımız SEM görüntülerinde elde ettiğimiz CZTS kristallerinin oldukça yoğun ve birbiri içine geçmiş şekilde homojen bir yapı oluşturduğu ve büyük tanecikli yapısı gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- 1] H. Katagiri et al., Sol. Energ Mater. Sol. Cells 49 (1997) 407-414
- [2] S.Yazici et al., Thin Solid Films 589 (2015) 563-573



## IDENTIFICATION OF GAS BUBBLES IN GLASS PRODUCTS BY MICRO RAMAN SPECTROSCOPY



**Hande Yurdatapan**

**Ayşen Özel**

**Elif Akalın**

İstanbul Üniversitesi,  
Fizik Bölümü

*handeyurdatapan@gmail.com*

*aozel@istanbul.edu.tr*

*eakalin@istanbul.edu.tr*

**Dr. Mustafa Oran**

**Ali Ötken**

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Ergitme Kinetiği  
Müdürlüğü

*moran@sisecam.com*

*aotken@sisecam.com*

*1989 İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini Keşan Anadolu Lisesi Fen-Matematik bölümünde tamamladı. 2008-2012 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Fizik bölümünde okudu ve ardından 2012 yılında yine aynı üniversitede Molekül Fiziği üzerine yüksek lisansa başladı. Lisans ve yüksek lisans öğreniminde çeşitli fizik konferanslarına katıldı ve İstanbul Üniversitesi Fizik Çalıştay'ının kurucularından olup Çalıştay'ın ilk üç senesi başkan yardımcılığı yaptı. Ayrıca Yüksek lisansının tez aşamasında Şişecam Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde 5 ay proje stajyeri olarak çalıştı. Yüksek lisans eğitimini de 2015 yılı Temmuz ayında tamamladı.*

### ABSTRACT

Gas inclusion in glass products so-called as bubble is one of the most significant defects that directly affect the quality of glass products. In order to eliminate bubble defects from glass products, the first step of trouble shooting procedure is to analyze gas composition of bubbles. Bubble analysis is carried out by mass spectrometry running under very high vacuum and this method gives reliable and accurate results. However, mass spectrometric analysis of bubbles is a destructive method, based on piercing the bubble in glass sample and therefore it is not possible to reanalyze the same bubble.

Bubbles in glass are considered to be analyzed by Raman Spectroscopy providing a non-destructive technique. The main advantage of this technique is the reputation of analysis for the same bubble and expected faster comparing to mass spectrometer. Sisecam Science and Technology Center and Physics Department of Istanbul University have started a co-project to develop a Raman Spectrometric method for the analysis of not only gases but also solid deposit contained in bubble defects. This article reveals the investigation steps including the determination of control parameters and preliminary results of gas and deposit compositions of bubble defects.

**Keywords:** Bubble, Mass Spectroscopy, Raman Spectroscopy

### INTRODUCTION

Gas inclusions in glass products called as bubbles are the most significant defects that affect the quality of glass products. But, In the industrial production of glasses, the appearance of numerous gas inclusions are a phenomenon that occurs from time to time.

The bubbles in molten glass generated naturally by chemical reactions occurring during the glass manufacturing. These defects are an important problem in a commercial glass because of their effects on either the aspect or the optical and mechanical properties of the glass product. That's why it is very important to analyse and eliminate these bubble defects. In order to eliminate these defects, the chemical composition of the bubbles should be known to trace back the gas sources and take appropriate corrective actions[1,2].

At the present time, mass spectroscopy system is used for bubble analyses. Because, mass spectroscopy is the most adequate detection technique due to its ability to provide the required chemical information in a short time. Bubble sizes are too small, so analysing gases in these small bubbles requires a system with a very small volume to analyse the slight amount of gases. The working pressure with the Quadrupole Mass Spectroscopy is 10<sup>-9</sup> mbar.

Mass spectrometry method gives us reliable and accurate results. However, mass spectrometric analysis of bubbles is a destructive method which means that the technique is based on piercing the bubble in glass sample and therefore it is not possible to reanalyse the same bubble. At this point, Raman spectroscopy method which is a non-destructive method comes to play. The main advantage of this technique is the repetitive analysis for the same bubble and expected faster comparing to mass spectrometer. So, Şişecam Science and Technology Center and Physics Department of Istanbul University started a co-project to develop a Raman Spectrometric method for the analysis of not only gases but also solid deposit contained in bubble defects.

Mass Spectrometry Used at Şişecam Science and Technology Center:



Quadrupole Mass Spectroscopy

Pressure:  $10^{-9}$  mbar  
 Bubble size: 0.1 - 50 mm  
 Gases:  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  
 $H_2S$ ,  $CO$ ,  $COS$ ,  $SO_2$ ,  $Ar$ ,  $H_2O$



Raman Spectroscopy Used at Istanbul University Molecular Spectroscopy Laboratory:



Jasco NRS 3100 Micro-Raman Spectroscopy

Source  
 Green laser(532nm)  
 Red laser(785nm)  
 Lens  
 5x, 20x, 50x, 100x  
 Grating  
 600 gr/mm, 1200 gr/mm, 1800 gr/mm

METHOD

The Raman scattering technique is a vibrational molecular spectroscopy which derives from an inelastic light scattering process. Inelastic scattering means that the frequency of photon in monochromatic light changes upon interacting with a sample. With Raman spectroscopy, a laser photon is scattered by a sample molecule and loses (or gains) energy during the process. This energy lost (or gained) is characteristic for a particular bond in a molecule. And characteristic vibration of a bond observed in Raman spectra as a peak. The change in wavelength of the scattered light is called as Raman shift[1,3].

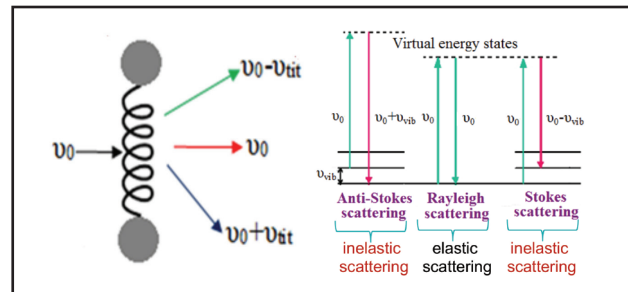


Figure 1: The Raman spectrum of colorless flat glass bubble (Trakya Cam Yenişehir Factory).

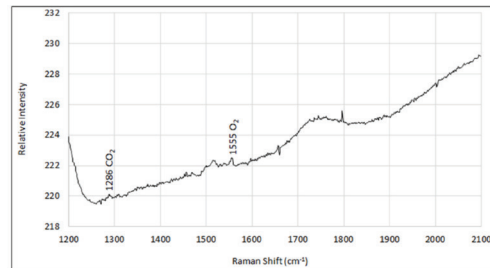
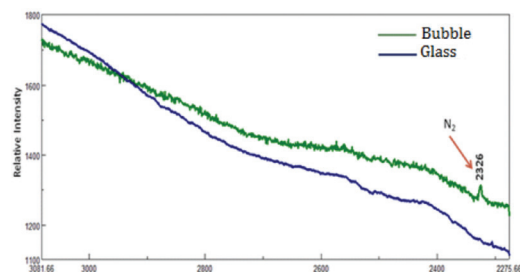


Figure 2: The Raman spectrum of colorless flat glass bubble (Trakya Cam India Factory).



## RESULT AND DISCUSSION

The Raman spectras that obtain during the Raman Project period are shown at Figure 1, 2, 3. We also analysed deposits on inner surface of bubbles by micro-Raman spectroscopy (Figure 4). In addition to gases an deposits the raw metarials (Figure 5) were analysed with using micro-Raman spectroscopy.

Figure 3: The Raman spectrums of some bubble samples.

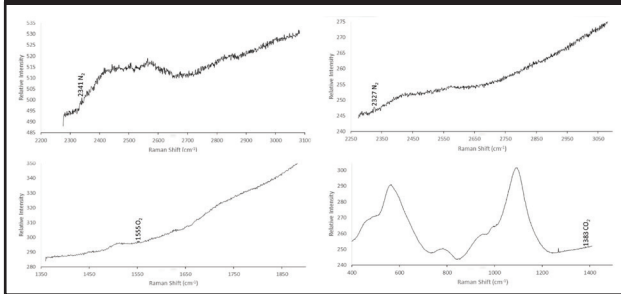
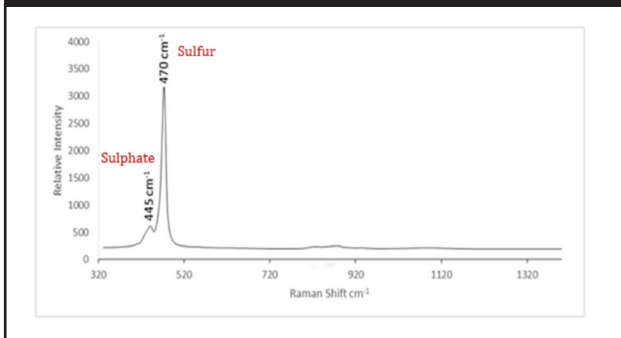


Figure 4: The Raman spectrum of deposit on the inner surface of green bottle bubble.



The Screen Image Of The Deposit.



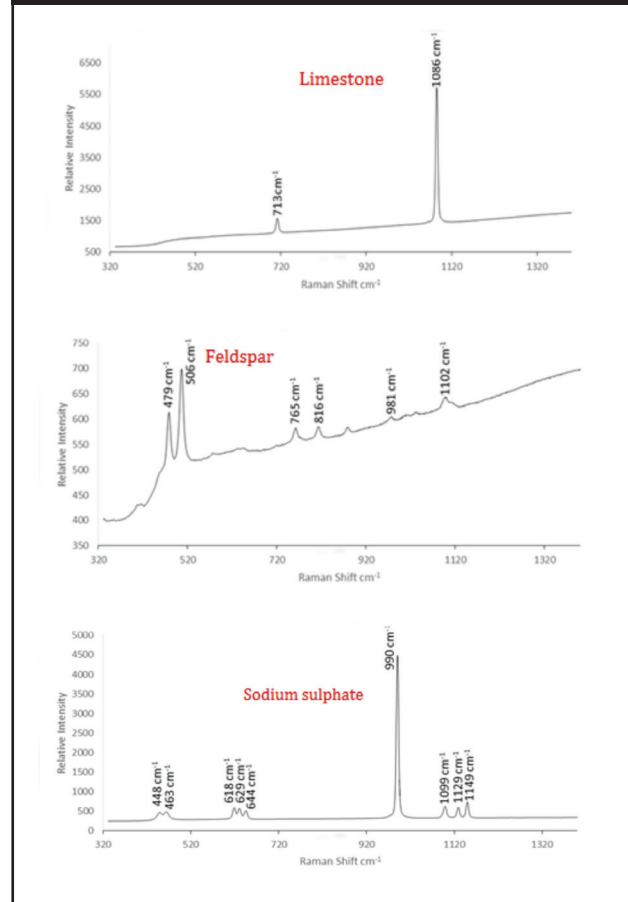
## CONCLUSION

With using Jasco NRS 3100 dispersive micro-Raman spectroscopy, bubble gases such as CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> were observed. However, due to the problem of laser power and the problem of focusing on small bubbles, some types of gases were not observed.

Components that contained in the solid deposits in bubbles were reliably determined with micro-Raman Spectroscopy. Also, Some glass forming raw materials were analysed correctly by micro-Raman spectroscopy.

This work is a guide for the Raman Spectroscopy's properties that planning to establish at Şişecam Science and Technology Center.

Figure 5: The Raman spectrums of limestone, feldspar and sodium sulphate.



## REFERENCES

[1] Gonzalez Gago C., Pereiro R., Bordel N., Mazon Ramos P., Tempez A. And Sanz Medel A. 2009. Analysis of Small Bubbles in Glass by Glow Discharge -Time of Flight Mass Spectrometry. Elsevier Science. 652(1-2): 272-277.

[2] S. Pedeche, P. Simon, G. Matzen, B. Moulin, K. Blanchard and G. Querel. 2003. Probing Gas Bubbles Inside Industrial Glasses by Raman Scattering. Journal of Raman Spectroscopy. 34(3): 248-252.

[3] R. K. Janssen and D. M. Krol. 1985. Micro-Raman Spectroscopy- A Technique for Analyzing Bubbles in Glass. Optical Society of America. 24(2): 275-279.

## HEDEF ALTLIK MESAFESİNİN ALÜMİNYUM KATKILI ÇİNKO OKSİT FİLMER (ZNO:AL) ÜZERİNDEKİ ETKİSİ



**Ümmü Mustafaoğlu**  
**Salih Top**  
**Nilüfer Evcimen Duygulu**  
**Ahmet Karaaslan**  
Yıldız Teknik  
Üniversitesi, Metalurji ve  
Malzeme Mühendisliği  
umustafaoglu@gmail.com  
salihtop59@gmail.com  
niluferduygulu@gmail.com  
karaas@yildiz.edu.tr

**Doç.Dr. Alp Osman**  
**Kodolbaş**  
TÜBİTAK MAM, Malzeme  
Enstitüsü  
alposman.kodolbas@  
tubitak.gov.tr

1991 yılında Bursa'nın Osmangazi ilçesinde doğdum. İlk ve ortaöğrenimimi Bursa'da tamamladım. 2010 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'ni kazandım. 2010-2014 yıllarında lisans eğitimimi tamamladım ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'na başladım. Halen bu bölümde eğitim hayatıma devam etmekteyim.

### ÖZET

Al katkılı ZnO (AZO) ince filmler, cam altlık üzerinde, oda sıcaklığında ve r.f. manyetik alan altında sıçratma tekniği ile biriktirilmiştir. Hedef altlık mesafesinin (DTS) yüksek elektriksel iletkenliğe ve optik geçirgenliğe sahip filmlerin eldesindeki etkisi incelenmiştir. Hedef ve altlık arasındaki mesafe, 40 mm - 70 mm aralığında değiştirilirken, r.f. gücü, işlem basıncı ve argon gaz akış hızı sırasıyla 165 W, 0.3 Pa, 20 sccm olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen filmlerin yapısal, elektriksel, optik ve morfolojik özellikleri; atomik kuvvet mikroskobu, FOM, dört uçlu ölçüm probu ve optik geçirgenlik ölçüm teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Hedef Altlık Mesafesi, DTS, ZnO:Al, r.f. manyetik alan sıçratma

### ABSTRACT

Al doped ZnO thin films are sputtered on the glass substrate with r.f magnetron power at the room temperature. The effect of the distance target to substrate on the electrical conductivity and optical transmittance is examined. While the distance target to substrate is changing between 40 mm-70 mm, r.f power, pressure and argon gas flow rate are stabilized consequently as 165 W, 0.3 Pa, 20 sccm. The electrical, optical and morphological properties of the obtained films are determined with atomic force microscope, FOM, four point probe and optical transmittance techniques.

**Keywords:** Distance Target to Substrate, DTS, ZnO: Al, r.f. magnetron sputtering,

### GİRİŞ

Dünya'da indiyum rezervlerinin azalması, ITO kaplı cam fiyatlarının artması ve fotovoltaik uygulamalar için düşük maliyetli kimyasal süreçler ile yüzey pürüzlendirmenin güçlüğü nedeni ile indiyum içermeyen, alternatif SiO (saydam iletken oksit) kaplamalar geliştirilmeye başlanmıştır [1-4]. SiO kaplamaların kullanım alanı sadece fotovolatiklerle sınırlı değildir. Elektrokromik camlar, organik led (OLED), LCD görüntü penelleri gibi cihazlarda elektrot olarak SiO kaplamaları kullanıldığından, alternatif SiO üretiminin önemi artmaktadır. ZnO:Al (Alüminyum Katkılı Çinko Oksit), zehirli olmaması, maliyetinin düşük ve kolay bulunabilir olmasının yanında, yüksek sıcaklık kararlılığı gibi özelliklere sahip olan bir alaşım olduğundan dolayı yeni nesil saydam iletken oksit (SiO) ince filmlerin üretimi ve büyütülmesi için oldukça elverişlidir.

ZnO:Al ince filmlerin temel üretim prosesi olarak manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılmıştır. Manyetik alanda sıçratma, düşük çalışma sıcaklığı, yüksek biriktirme hızı, diğer yöntemlere kıyasla daha ucuz ve kolay kontrol edilebilir olması açısından oldukça avantajlı bir yöntemdir [6-8]. Bu süreçte yüksek enerjili atomların vakum ortamında düz camlar üzerine sıçratılma-



sı ve bunların, önce cam yüzeyine ardından da birbirine tutunarak yüzeyi ince bir film tabakası halinde kaplaması sağlanmıştır. Sıçratma tekniğinde; hedef-altlık mesafe değişimi, altlık sıcaklığı, proses basıncı, gaz kompozisyonu ve işlem gücü parametreleri yapı ve yüzey özellikleri üzerinde etkili olmaktadır.

Hedef altlık mesafesi (DTS) atomların cam yüzeyine taşınma mesafesi olarak tanımlanabilir. Hedef altlık mesafesi değişimi, ZnO:Al ince film büyütme parametrelerinin belirlenmesinde, adatomların oluşumunda ve bunlara bağlı olarak büyütülen ince filmin kalınlığı ve yüzey morfolojisi için oldukça önemlidir.

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Şişecam'dan elde edilen düz camlar üzerine ZnO:Al ince filmler 40mm - 70mm arasındaki mesafelerde, 165 W r.f. gücünde, 0.30 Pa proses basıncında, 20 sccm argon gaz akışında 30 dakika süresince büyütülmüştür. Elde edilen filmlerin yapısal, elektrikselsel, optik ve morfolojik özellikleri; AFM (atomik kuvvet mikroskobu), FOM, dört uçlu ölçüm probu ve optik geçirgenlik ölçüm teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

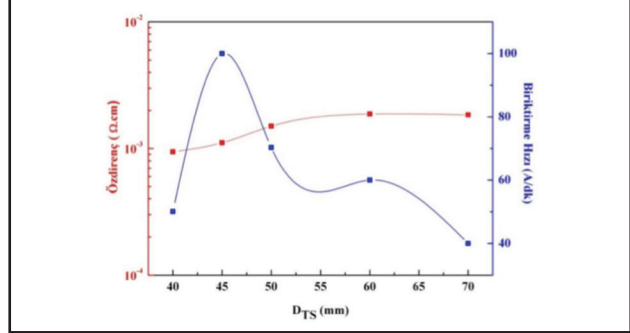
## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tablo 1'de farklı DTS değerlerinde ZnO:Al ince filmlerine ait özdirenç ve biriktirme hızı değişimleri yer almaktadır.

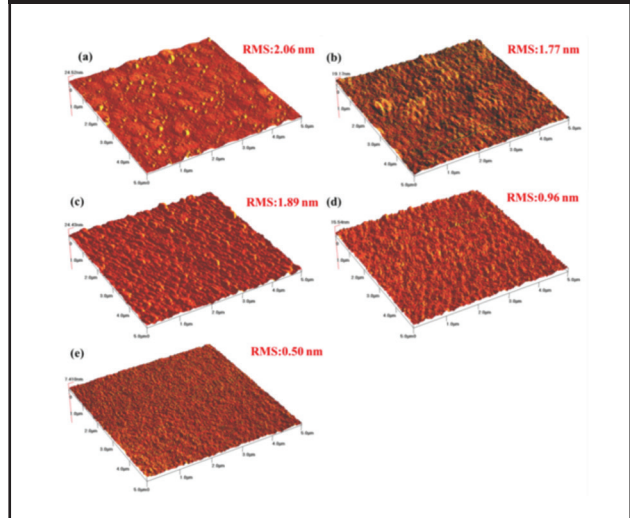
D <sub>TS</sub> (mm)	Özdirenç 10 <sup>-3</sup> (Ω.cm)	Biriktirme hızı (Å/dk)
40	0.94	50
45	1.10	100
50	1.49	70
60	1.87	60
70	1.84	40

Elde edilen sonuçlara göre, biriktirme hızı mesafe artışıyla azalmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre en düşük öz direnç 40 mm mesafe değerinde 0.94 x10<sup>-3</sup> Ω.cm olarak ölçülmüştür.

Şekil 1. ZnO:Al ince filmlerin 40 mm - 70 mm arasında DTS değişimine bağlı olarak özdirenç ve biriktirme hızı değerleri grafiği



Şekil 2. Farklı DTS değerlerinde büyütülmüş ZnO:Al ince filmlerin AFM görüntüleri ve RMS değerleri: (a) 40 mm, (b) 45 mm, (c) 50 mm, (d) 60 mm ve (e) 70 mm



DTS değerleri ve ilgili RMS (Root Mean Square), Ra (Average Roughness), Rq (Roughness) ve ortalama yüksekliğin değişimi Tablo 2'de gösterilmiştir.

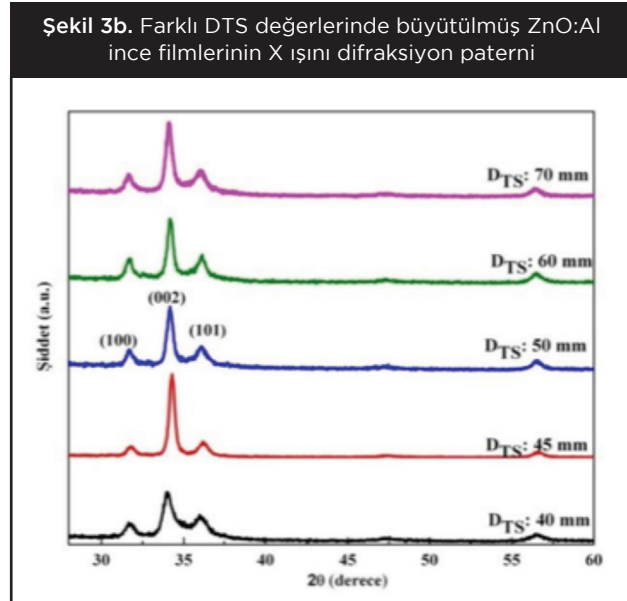
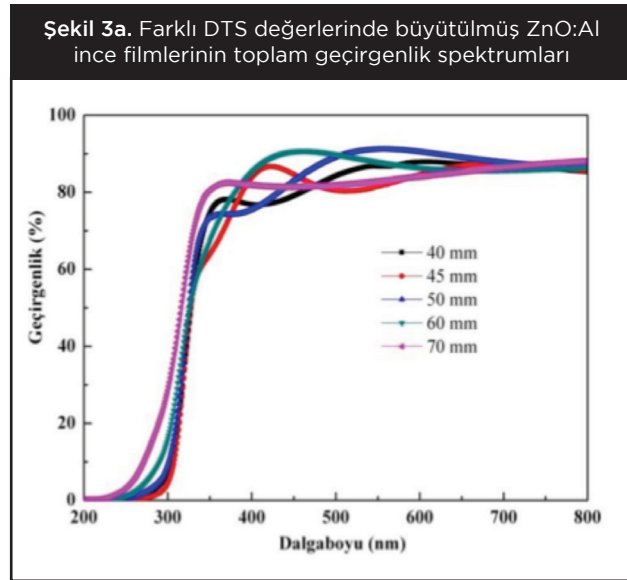
Tablo 2. DTS değişimine bağlı olarak RMS, Ra, Rq ve ortalama yükseklik değerleri

D <sub>TS</sub> (mm)	RMS (Sq) (nm)	Ra (nm)	Rq (nm)	Ortalama Yükseklik (nm)
40	2.78	2.06	2.62	7.76
45	2.17	1.77	2.25	8.94
50	2.60	1.89	2.40	6.94
60	1.36	0.96	1.21	6.33
70	0.68	0.50	0.62	3.13

\*RMS: Root Mean Square, Ra: Average Roughness, Rq: Roughness

Tablo 2'de görüldüğü gibi, RMS değerleri  $D_{TS}$  değerlerinin artışı ile azalmaktadır. 70 mm  $D_{TS}$  değerinde elde edilen en düşük pürüzlülük 0.50 nm değerindeyken, bu değer 40 mm'de 2.06 nm olarak ölçülmüştür.

Şekil 3a ve 3b'de farklı  $D_{TS}$  değerlerinde biriktmiş ZnO:Al ince filmlerin geçirgenlik özellikleri ve X ışını difraksiyon paterni görülmektedir. 300 nm - 800 nm dalga boyundaki bölgede tüm örneklerin ortalama geçirgenlikleri yaklaşık % 84 oranında elde edilmiştir.



Hedef-altlık mesafe değişiminin yapısal özellikler üzerindeki etkisi incelendiğinde en yüksek (002) pik şiddeti 45 mm DTS değerinde elde edilmiştir. (100) ve (101) piklerinin relatif pik şiddetleri 45 mm DTS değerinde minimumdur (Şekil3b). Kristal boyutları 40 mm ve 70 mm uzaklıklar için karşılaştırıldığında sırasıyla 10.07 nm ve 15.38 nm olarak ölçülmüştür. En yüksek kristal boyutu 45 mm DTS değerinde 19.60 nm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kristal boyutu arttıkça pürüzlülüğün azaldığı tespit edilmiştir.

ZnO:Al ince filmler için DTS değişikliklerinin etkisi incelenmiş ve özdirenç değeri, yaklaşık 10<sup>-3</sup> Ω.cm olarak ölçülmüştür. ZnO:Al ince film tabakasının biriktirme hızının DTS değerlerine göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. En yakın (40 mm) ve en uzak (70 mm) hedef-altlık mesafelerinde, biriktirme hız değeri minimuma ulaşmıştır (Tablo 1). Bu farkın nedeni; iyon taşınımının mesafeye göre değişimi veya ortalama iyon taşınım serbest yolunun (mean path) değişimi şeklinde açıklanabilir.

ZnO:Al ince filmlerin optik özellikleri incelendiğinde geçirgenlik değerleri ortalama % 84 olarak ölçülmüştür.

**Tablo 3.**  $D_{TS}$  değişimine bağlı olarak, ZnO:Al ince filmlerinde ortalama geçirgenlik, özdirenç ve FOM değerleri

$D_{TS}$ (mm)	Ortalama Geçirgenlik %	Özdirenç 10 <sup>-3</sup> (Ω.cm)	FOM x10 <sup>4</sup> (Ω.cm) <sup>-1</sup>
40	94.36	0.94	100.0707
45	94.15	1.10	84.9013
50	96.92	1.49	64.6579
60	97.10	1.87	51.7590

İnce filmlerin FOM davranışı incelendiğinde FOM değerlerinin artan  $D_{TS}$  değerleri ile birlikte azaldığı belirlenmiştir. 40 mm'deki  $D_{TS}$ 'de FOM değeri yüksek ortalama geçirgenlik ve düşük özdirenç değeriyle 100x10<sup>4</sup>(Ω.cm)<sup>-1</sup> olarak maksimum değerine erişmiştir. Ancak 45 mm  $D_{TS}$ 'de yapısal ve morfolojik olarak daha iyi bir film elde edildiğinden bu değer  $D_{TS}$  parametresi olarak seçilmiştir.

## KAYNAKLAR

[1] J. Müller, B. Rech, J. Springer, M. Vanecek, TCO and light trapping in silicon thin film solar cells, Sol. Energy 77 (2004) 917-930.

[2] R.J. Hong, X. Jiang, B. Szyszka, V. Sittinger, S.H. Xu, W. Werner, G. Heide, Comparison of the ZnO:Al films deposited in static and dynamic modes by reactive mid-frequency magnetron sputtering. J. Cryst. Growth (2003)117-128.

[3] T. Minami, Transparent conducting oxide semi-conductors for transparent electrodes, *Semicond. Sci. Technol.* 20 (2005) 35-44.

[4] L. Gong, J. Lu, Z. Ye, Transparent and conductive Ga-doped ZnO films grown by RF magnetron sputtering onCells 94 (2010) 937-941.

[5] Jeong, S.H., Lee, J.W., Lee, S.B. and Boo, J.H. 2003. "Deposition of Aluminum-Doped Zinc Oxide Films by RF Magnetron Sputtering and Study of Their Structural, Electrical and Optical Properties", *Thin Solid Films*, 435,78-82.

[6] Igasaki, Y., Kanma, H. 2001. "Argon gas pressure dependence of the properties of transparent conducting ZnO:Al films deposited on glass substrates", *Appl. Surf. Sci.* ,508-511.

[7] Wang, Z.A., Chu, J.B., Zhu, H.B., Sun, Z., Chen, Y.W., Huang, S.M. 2009. "Growth of ZnO:Al films by RF sputtering at room temperature for solar cell applications", *Solid- State Electron*, 1149-1153.

[8] Kar, J.P., Kim, S., Shin, B., Park, K.I., Ahn, K.J., Lee, W., Cho, J.H., Myoung, J.M. 2010. " Influence of sputtering pressure on morphological, mechanical and electrical properties of Al-doped ZnO films", *Solid-State Electron*,54, 1447-1450.

## SAVURMA ÜRÜNLERDE MÜLDEFONLU KALIP İLE ÜRETİM ÇALIŞMALARI



**Mustafa Şen  
Uğur Demirkol**  
Şişecam Topluluğu, Cam  
Ev Eşyası Grup Başkanlığı,  
Paşabahçe Cam Sanayi  
ve Ticaret A.Ş.  
Kırklareli Fabrikası  
udemirkol@sisecam.com  
msen@sisecam.com

1991 yılında Paşabahçe'de Pres üfleme hatlarında üretim mühendisi olarak göreve başladım. 1994 yılında savurma hattının devreye girmesiyle savurma üretiminden sorumlu üretim mühendisi olarak aynı fabrikada çalışmaya devam ettim. Günümüze kadar Pres üfleme, Savurma, TT ve Pres hatlarında üretimde görev aldım.

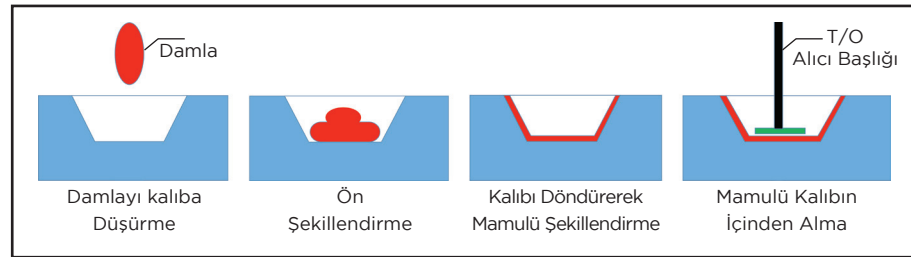
### ÖZET

Mamulün T/O tarafından alınma esnasında kalıbı çizerek, kalıp yarasına neden olmaktadır. özellikle kase türü kalıp açısı küçük olan imalatlarda, mamulün ağız bölgesine yakın çizik şeklinde kalıpta yaralanmalar oluşmakta, T/O noktasında kazıma problemi önlenememektedir. bu sorunun önlenmesi için, savurma makinasında, müldefon mekanizması geliştirilerek, müldefonlu kalıp ile deneme yapılmıştır. müldefon mekanizması ile, T/O'un ürünü alma noktasında müldefon mamulü kalıptan ayırdığında, ürünün kalıptan alınması esnasında yaralanmanın olmadığı görülmüştür. bir istasyonda yapılan deneme olumlu olmuştur. 10414 kase imalatı için bir set kalıp yaptırıldı. İlk üretime deneme set ile başlanacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** savurma, müldefonlu kalıp, üretim

### GİRİŞ

Savurma makinasında imalatın şekillendirilmesi, merkezkaç kuvveti ile kalıplar belli bir hızda döndürülerek, kalıp içine düşürülen damlanın kalıbın şeklini alması sağlanarak oluşturulur.



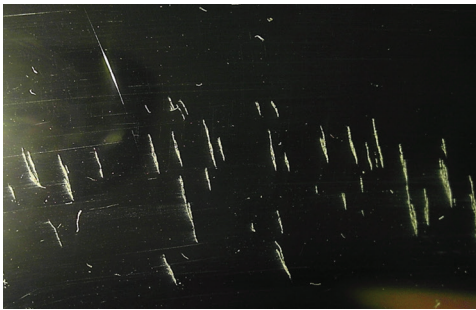
### ŞEKİLLENDİRME PROJESİ

Savurma makinasında imalatın şekillendirilmesi, merkezkaç kuvveti ile kalıplar belli bir hızda döndürülerek, kalıp içine düşürülen damlanın kalıbın şeklini alması sağlanarak oluşturulur.

## MAMULDE YARALANMA

Savurma makinası sürekli dönen bir makinedir. Kase ve derin imalatların kalıptan alınmasında kalıp yaralanmaları ve mamul yüzey hatası problemler yaşanmaktadır. Kalıp yaralanmaları ve Mamul yüzey hatası problemleri yandaki şekillerde görüldüğü gibi mamul yüzeyinde ince dikine çizgiler şeklindedir. Bu hatadan dolayı %25-%30 kalite kaybı yaşanmaktadır.

Mamul Yüzeyindeki Yaralanmalar

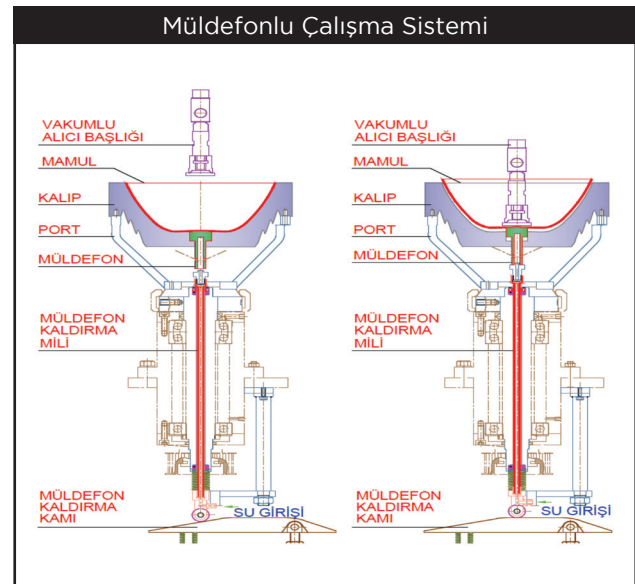
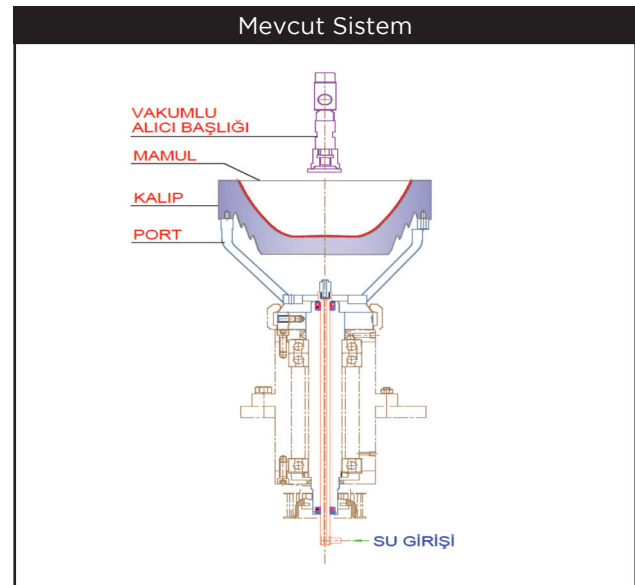


Mamul Yüzeyindeki Yaralanmalar



## MÜLDEFONLU SİSTEM

- Mevcut ürün parkındaki ürün kalitesini arttırmak aynı zamanda daha dik ve konik ürünler üretmenin yolunu açmak için müldefonlu kalıp sistemine karar verilmiştir.
- Müldefonlu sistemde kalıbın alt kısmı belli çapta boşaltılarak bir mekanizma sayesinde yukarıya doğru kaldırılıyor. Mamul yukarıya doğru kaldırıldığı için kalıptan daha kolay ayrılması sağlanmaktadır.
- Müldefonlu kalıp sayesinde daha dik ve konik ürünler üretilmektedir.
- Kalite kaybı verilmeyecektir.





## İNDİYUM KALAY OKSİT TEMELLİ OPTİK GEÇİRGEN TERAHERTZ BANT GEÇİRGEN FİLTRELER



**Yasemin Demirhan**  
**Hakan Alaboz**  
**Tuğçe Semerci**  
**Prof.Dr. Lütfi Özyüzer**  
 İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü  
 yasemindemirhan@iyte.edu.tr  
 hakanalaboz@iyte.edu.tr  
 tugcesemerci@iyte.edu.tr

**Mehmet Ali Nebioğlu**  
**Taylan Takan**  
**Hakan Altan**  
 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü  
 mehmetalinebioglu@gmail.com  
 taylantakan@gmail.com  
 hakan.altan@gmail.com

**Cumali Sabah**  
 Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği  
 sabah@metu.edu.tr

*İYTE Fizik--2008 Mezunu*  
*İYTE Fizik Y.Lisans 2011 Mezunu*  
*İYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Doktora--Haziran 2011:devam ediyor*  
*İYTE Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinde Yeterliliği verdi--Ocak 2013*  
*İYTE Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi Mart 2009-devam ediyor.*  
**Araştırma Alanları:**  
*Süperiletkenler, vakumda ince film malzeme büyütülmesi, malzemelerin elektriksel, manyetik ve optik özellikleri, mikroelektronik ve nanoelektronik aygıtlar, terahertz ışması.*

### 1. ÖZET

Terahertz (THz) dalga boylarına dayalı teknolojiler günümüzde hızla gelişmektedir. Ülkemizdeki bazı yerel firmalar, şimdiden milimetre dalga boylarında (<100 GHz) alıcı verici sistemleri geliştirip cep telefonu kullanıcıları için mevcut iletişim ağlarını bu sistemleri entegre etme çabalarına girişmişlerdir. Bu yoğun ilgi ortamında terahertz ve milimetre dalga boyu teknolojilerine dayalı pasif ve aktif aygıtların geliştirilmesinin önemi hızla artmaktadır. 0.1 ve 10 THz frekansları arası, genellikle THz boşluğu olarak adlandırılan bölgede birçok doğal malzemenin elektromanyetik etki göstermemesi fonksiyonel aygıtların gelişimine engel olmaktadır. THz uygulamaları için bant geçiren filtreler, frekans kesici filtreler, emici filtreler gibi farklı filtre çeşitleri tasarlanmıştır. Son zamanlarda THz bölgesi için artı tasarımı metalize mikroyapılar üzerine yapılmış rezonant bant geçiren filtreler üzerine çalışılmaktadır. Artı tasarımı filtrelerin performansı periyodiklik G, çapraz uzunluk K, çapraz üye genişliği J ile belirlenmektedir. Bu filtrelerin bant geçirme özelliği özelliği G, K ve J elemanlarının boyutlarının değiştirilmesiyle değiştirilebilir. Bu çalışmada periyodik dizilerden oluşan Bakır (Cu),ve optik geçirgen İndiyum kalay oksit (ITO) metal-ağ filtreleri tasarlanmış ve fotolitografi tekniği kullanılarak THz geciren kuartz alttaş üzerine üretilmiştir. Filtrelerin üretim sonrası optik mikroskop görüntüleri Şekil 1' de verilmiştir. ITO ince filmler düşük öz dirence ve optik geçirgenliğe sahip olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Cu, Ti ve ITO ince filmleri düşük vakum seviyesinde çalışan miknatissal saçtırma sistemi ile kaplanmıştır. CST microwave studio programı ile tasarlanan filtreler Bruker Vertex V80 FTIR spektrometresi ve zamana bağlı THz spektropi sistemi ile karakterize edilmiştir. Sadece istenen frekansta elektromanyetik dalgaları geçiren, optik geçirgen ITO üzerine tasarlanan filtreler, binalarda pencere camlarına entegre edilerek elektromanyetik dalga kalkanlama amaçlı kullanılabilirlerdir.

**Anahtar Sözcükler:** Terahertz, Bant Geçiren Filtreler, İndiyum Tin Oksit Filmler..

### 2. GİRİŞ

Terahertz (THz) dalga boylarına dayalı teknolojiler günümüzde hızla gelişmektedir [1-2]. Ülkemizdeki bazı yerel firmalar, şimdiden milimetre dalga boylarında (<100 GHz) alıcı verici sistemleri geliştirip cep telefonu kullanıcıları için mevcut iletişim ağlarını bu sistemleri entegre etme çabalarına girişmişlerdir. THz uygulamaları için bant geçiren filtreler, frekans kesici filtreler, emici filtreler gibi farklı filtre çeşitleri tasarlanmıştır. Son zamanlarda THz bölgesi için artı tasarımı metalize mikroyapılar üzerine yapılmış rezonant bant geçiren filtreler üzerine çalışılmaktadır [3].

### 3. METAL-AĞ BAND GEÇİRGEN FİLTRELERİN TASARIMI & FABRİKASYONU

Periyodik dizilerden oluşan Bakır (Cu) ve optik geçirgen İndiyum kalay oksit (ITO) metal-ağ filtreleri tasarlanmış ve fotolitografi tekniği kullanılarak THz geçiren fused silica alttaş üzerine üretilmiştir. Filtrelerin tasarımı, numerik analizi ve simülasyonları Computer Simulation Technology(CST) firması tarafından geliştirilen CST Microwave(MW) programıyla yapılmıştır. Programın arayüzü kullanılarak simüle edilmek istenen yapının geometrisi oluşturulmuş ve daha sonra filtrede kullanılan materyaller bire bir olarak seçilip simüle edilmiştir. Simülasyon aşaması ilk olarak bakır filtrenin boşlukta simüle edilmesiyle başlamıştır. Filtre gerçeğe uygun geometri ve materyaller kullanılarak simüle edilmiştir. Tasarımın parametreleri G/K/J sırasıyla 402/261/66 olarak belirlenmiştir. Boşlukta yapılan simülasyon sonucunda rezonans frekansı 0.582 Terahertz'te çıkmıştır. Daha sonra bakır filtre yapısı fused silica üzerine yerleştirilip simüle edilmiştir. Bu aşamada fused silicanın dielektrik özellikleri Terahertz zamana dayalı spektroskopik cihazı yardımıyla alınan datalar yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen parametreler doğrultusunda dielektrik sabiti CST MW stüdyo programına eklenip tekrar simüle edilmiştir. Sonuçlar boşlukta yapılan simülasyon rezonans frekansının alttaş üzerine yerleştirildiğinde kaydığını göstermektedir.

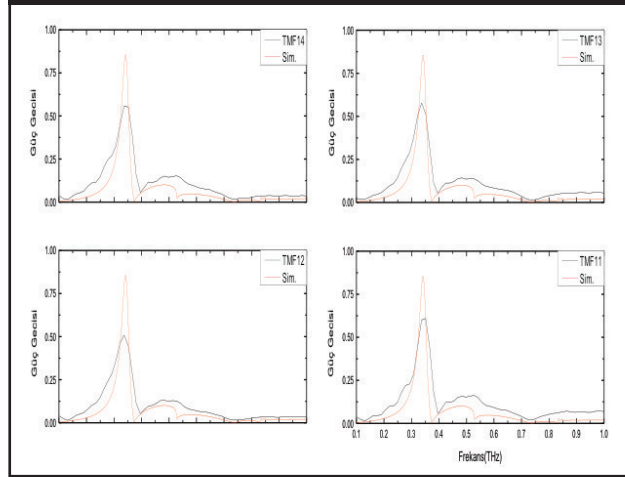
Filtrelerin tasarımı ve numerik analizi sonrasında UV litografisi tekniği ile üretimine geçilmiştir. Öncelikle Cu ve ITO ince filmleri düşük vakum seviyesinde çalışan miknatissal saçtırma sistemi ile kaplanmıştır. ITO ince filmler düşük öz dirence ve optik geçirgenliğe sahip olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar CST microwave studio programı ile tasarlanan filtreler Bruker Vertex V80 FTIR spektrometresi ve zamana bağlı THz spektropi sistemi ile karakterize edilmiştir. Band geçirgenlik ölçümlerinde tasarımlarla ve CST microwave simülasyonlarıyla uyumlu rezonans frekansı ve bant genişliği gözlemlenmiştir.

### 4. METAL-AĞ BAND GEÇİRGEN FİLTRELERİN TERAHERTZ ZAMANA DAYALI SPEKTROSKOPİSİYLE KARAKTERİZASYONU

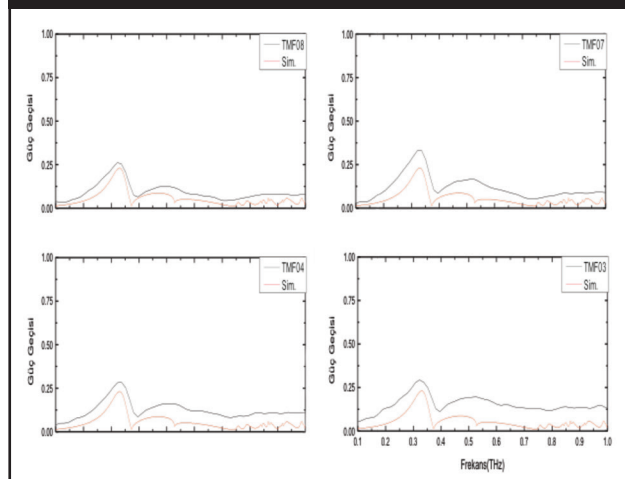
Metal malzemeler Terahertz zamana dayalı spektroskopik sistemiyle karakterize edilmiştir. Bir ışık ayırıcı yardımıyla gelen ışık spektrometrenin iki optik kolunu oluşturur. Bunlar üretim ve tespit koludur. Üretim kolunda s polarize terahertz ışını multi dipole fotoiletken anten kullanılarak üretilir. antende üretilen terahertz ışını iki eksen dışı parabolik ayna ve iki TPX lens yardımıyla sisteme yönlendirilir. Bu şekilde ışın çapı 5 mm olan bir THz ışını örneğin üzerine odaklanır. Tespit kolunda THz atımı bir fotodiyot yarıyla elekt-

rooptik tespit yöntemi kullanılarak tespit yöntemiyle ölçülebilir. Faza duyarlı tespit lock-in yükselteçler yapılmış ve sistemden gelen sonuçlar bilgisayar ve data toplama kartıyla elde edilmiştir. Elde Edilen data 40 GHz çözünürlüktedir.

Şekil 1: Fused Silica üzeri büyütülmüş Bakır ince filminin THz-TDs sonuçları ve simülasyon sonuçları



Şekil 2: Fused Silica üzeri büyütülmüş Bakır ince filminin THz-TDs sonuçları ve simülasyon sonuçları



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı materyallerden fused silica üzerine üretilmiş filtre yapısının terahertz tayfında gösterdiği davranış incelenmiştir. Yapı CST MW stüdyo programında dizayn edilip simüle edilmiştir. İletken malzemeler bakır ve ITO olarak seçilmiştir. Malzemelerin yüzey dirençleri four point probe yarımıyla belirlenmiştir. Kullanılan alttaşın dielektrik özellikleri ise TDS sisteminde yapılan karakterizasyon sonucunda elde edilmiştir. Bu veriler ışığında simülasyon için gerekli sabitler elde edilmiş ve programa kullanıcı tarafından tanıtılmıştır. Simülasyonlar bize yapının hangi frekansta rezonans göstereceği hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Daha sonrasında yapının TDS ile ölçülmesiyle simülasyon sonuçları doğrulanmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada üretim kalitesini test etmek için aynı geometriye sahip dört aynı yapı farklı işlem süresine tabi tutulmuştur. Yapılan ölçümler ise 40 GHz çözünürlükte çizdirilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak ise simülasyon ve deneysel datada oluşan farklılıklar yüzey kalitesinin bu tip yapılar için çok önemli olduğunu gösterir. 350 GHz atmosferik geçiş penceresi olduğundan ITO kaplı yapılar kablosuz THz iletişim ve haberleşme uygulamaları için gelecek vaad etmektedir.

Bu çalışma TUBİTAK tarafından 114F091 no'lu proje ile desteklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] L. Ozyuzer et al., Science 318, 1291 (2007).
- [2] Y.Demirhan et al., Vacuum in press (2015).
- [3] D. W. Porterfield, et al., Applied Optics 33, 25 (1994).

## SUBSTRATE HEATED DC SPUTTERED VO<sub>2</sub> THIN FILM AND ITS ELECTRICAL, OPTICAL CHARACTERISTICS



**Hakan Alaboz**  
**Hürriyet Yüce**  
**Gülnur Aygün**  
**Prof. Dr. Lütfi Özyüzer**  
Department of Physics,  
Izmir Institute of  
Technology  
Izmir 35430, Turkey

*hakanalaboz@iyte.edu.tr*  
*gulnuraygun@iyte.edu.tr*  
*lutfiozyuzer@iyte.edu.tr*

**Mehtap Özdemir Köklü**  
Department of Electrical  
and Electronics  
Engineering,  
Gediz University,  
İzmir, Turkey  
*mehtap.koklu@gediz.edu.tr*

*Research Interests: Uncooled/Cooled THz detectors, Spectroscopy, Superconducting Hot Electron Bolometers, Micro-Nano Fabrication Techniques, Ultra flat surfaces*

*Research Assistant and Ph. D. candidate at Izmir Institute of Technology  
M. Sc. Physics Engineering, Ankara University  
B. Sc. Physics Engineering, Ankara University*

*Engineering Intern  
Turkish Standards Institution  
Temmuz 2005 Ankara, Turkey*

*Hardness Tests (ISO 6507 Vickers, Rockwell, Brinell)  
Salt Spray Test  
Tensile Test  
Hydrostatic Burst/Proof Test*

*Engineering Certificates*

*ISO 1401 Environmental management  
Certified Internal Auditor*

### ABSTRACT

Transition metal oxides have been investigated widely due to their peculiar electrical and optical properties. Vanadium dioxide (VO<sub>2</sub>) is one of the transition oxides that exhibits a reversible metal insulator transition (MIT) at a critical temperature T<sub>c</sub> of ≈ 68 °C along with structure change from monoclinic to tetragonal. This transition can be induced by temperature as well as light. While the low temperature phase is narrow band gap semiconductor and shows high transmittance in infrared region, high temperature phase is metallic hence it reflects infrared radiation. MIT is not only accompanied by significant change in infrared transmittance but also sharp change in resistivity. These characteristics can be useful in many areas in optics and electronics such as thermochromic windows, tuneable frequency metamaterials, data storage, uncooled bolometers and thermal memories. In this study, vanadium dioxide films which exhibited four order of magnitude resistivity change and characteristic hysteresis behavior at the transition temperature were fabricated on c cut sapphire (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) substrates by reactive direct current (DC) magnetron sputtering in Ar/O<sub>2</sub> atmosphere without post annealing process. The influence of sputtering parameters on optical, structural and electrical properties of the as grown films was investigated. It is found that at the constant deposition conditions, oxygen pressure is the crucial parameter to obtain high quality VO<sub>2</sub> thin films.

**Keywords:** Vanadium dioxide, DC sputtering, MIT.

## 1. INTRODUCTION

Vanadium oxide films get lots of interest and many different studies have been published with different areas. Vanadium dioxide ( $\text{VO}_2$ ) has a special place among them because of its tremendous changes in electrical and optical properties at transition temperature. Metal insulator transition (MIT) is one of the important properties and it has been converted to the practical applications in many areas. There are two crucial choices that have to be made for obtaining high quality  $\text{VO}_2$  thin films. One of them is fabricating technique and other one is the substrate. Various techniques have been performed to fabricate  $\text{VO}_2$  films, such as, pulsed laser deposition (PLD), chemical vapour deposition (CVD), atomic layer deposition (ALD), sol-gel method, solution based process, thermolysis and magnetron sputtering. Although there are various techniques to fabricate  $\text{VO}_2$  films magnetron sputtering is preferred. It is one of the most promising methods in terms of large area, uniform deposition and high crystal quality among these techniques. RF magnetron sputtering technique is widely used and only in a few studies DC sputtering technique is performed by various research groups, but majority of them are followed by post annealing process [1]. It has been a challenging task to grow high quality  $\text{VO}_2$  thin films, especially on amorphous surfaces like glass. Moreover silicon substrates are cheaper and widely used in microelectronics but it is also quite challenging to deposit high quality  $\text{VO}_2$  films due to native oxide layer on the silicon substrates. Sapphire on the other hand is the best substrate which can overcome the mismatch issues.

In this study  $\text{VO}_2$  thin films were successfully grown on c-cut sapphire, and the optical and electrical properties of these grown thin films were investigated. Although there are plenty of reported works about RF or direct current (DC) sputtered  $\text{VO}_2$  thin films with in-situ or ex-situ post annealing on sapphire and other substrates [2-3], there is a lack of information about  $\text{VO}_2$  films sputtered by DC reactive sputtering without annealing.

## 2. EXPERIMENTAL

$\text{VO}_2$  thin films were deposited on c-cut (0001) sapphire by DC reactive sputtering using high purity (99.95%) vanadium target. Sputtering system is similar to previous research [4]. Prior to deposition substrates were cleaned with acetone and DI water using ultrasonic cleaner. The vacuum chamber is evacuated to a base pressure of  $5 \times 10^{-6}$  mbar and the substrate temperature and gas ratio was precisely controlled and kept same during deposition. In order to get rid of any contaminations of target surface, 10 minutes presputtering was performed prior to deposition.  $\text{VO}_2$  thin films were grown under Ar/ $\text{O}_2$  mixed gas pressure environment. Substrates were rotated in order to improve the uniformity of the film during growth. Oxygen gas ratio of the sputtered thin films was varied for investigating growth conditions of  $\text{VO}_2$  thin films which exhibit sharp resistivity change. Deposition parameters of the films are listed in Table 1.

Sample	Reactive Oxygen Ratio (%)	Deposition Time (min)	Thickness (nm)
A	2.00	45.00	310
B	2.00	22.30	120
C	2.25	22.30	125
D	2.50	22.30	124
E	3.00	22.30	127

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Surface morphologies of the  $\text{VO}_2$  thin films that have different  $\text{O}_2$  concentrations were investigated. The microstructure of deposited  $\text{VO}_2$  thin films are depend on lattice matching and surface energy of the substrates. Effect of lattice mismatch is minimized by using sapphire substrate. SEM images indicate that thickness and oxygen concentration directly effect the microstructure of thin films. It was observed that increasing deposition time triggers a mechanism which allows small grains to coalescence into larger ones. Furthermore optimum oxygen concentration is also important for obtaining uniformly growth grain. The XRD spectrum was collected from 10 to 80°. The influence of  $\text{O}_2$  gas ratio on optical and electrical switching properties was studied at a constant substrate temperature. According to XRD results both samples A and C consist of mixed phases like  $\text{V}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  and  $\text{V}_6\text{O}_{13}$  [5]. Transmittance spectra of grown  $\text{VO}_2$  thin films was taken with different flow  $\text{O}_2$  ratio at room temperature (RT) and 80 °C.  $\text{VO}_2$  thin films show high optical transmission at IR region in their insulating state and show low optical transmission at the same region in their metallic state. DC electrical switching properties of the  $\text{VO}_2$  films were also measured. Conditions of sputtering were found to obtain  $\text{VO}_2$  thin films for good electrical switching. Measurements were taken in microprobe station system and contacts were prepared using silver paint. It is clearly seen that resistivity of the sample A decreases more than  $10^4$  of magnitude at transition temperature ( $T_c$ ) which is quite good for DC sputtered  $\text{VO}_2$  thin films [6]. Transition temperature was about 70 °C and the hysteresis loop width was about 6 °C for sample A. Oxygen rich sample exhibits less resistivity change due to concentration of other vanadium oxide phases like  $\text{V}_2\text{O}_5$ .



## 4. CONCLUSION

We have obtained high quality DC sputtered VO<sub>2</sub> thin films on c-cut sapphire substrates without post annealing process hence the cost and time of deposition process reduced. Various oxygen concentrations were performed and optimized during sputtering process to obtain VO<sub>2</sub> thin films with sharp resistivity drop across MIT transition. These films are suitable for electrical switching applications. Moreover it was observed that noticeable transmittance change occurred at transition temperature and it is a desirable property for thermochromic applications.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research is supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) with project number 113F349

## REFERENCES

- [1] Dou Y. K., Li J. B., Cao M. S., Su D. Z., Rehman F., Zhang J. S. and Jin H. B., 2015. Oxidizing annealing effects on VO<sub>2</sub> films with different microstructures. Applied Surface Science, 345, 232-237.
- [2]Zhang H., Wu Z., He Q., Jiang Y., 2013. Preparation and investigation of sputtered vanadium dioxide films with large phase-transition hysteresis loops. Applied Surface Science, 277, 218-222
- [3]Marvel R. E., Harl R. R., Craciun V., Rogers B. R. and Haglund R. F., 2015. Influence of deposition process and substrate on the phase transition of vanadium dioxide thin films. Acta Materialia, 91, 217-226
- [4]Tuna O., Selamet Y., Aygun G., Ozyuzer L., 2010. High quality ITO thin films grown by dc and RF sputtering without oxygen. Journal of Physics D: Applied Physics, 43, 5
- [5]Luo Y. Y., Zhu L. Q., Zhang Y. X., Pan S. S., Xu S. C., Liu M. and Li G. H., 2013. Optimization of microstructure and optical properties of VO<sub>2</sub> thin film prepared by reactive sputtering. Journal of Applied Physics, 113, 183520
- [6]Qazilbash M. M., Brehm M., ChaeB. G., Ho P. C., Andreev G. O., Kim B. J., Yun S. J., Balattsky A. V., Maple M. B., Keilmann F., Kim H. T. and Basov D. N., 2007. Mott Transition in VO<sub>2</sub> Revealed by Infrared Spectroscopy and Nano-Imaging. Science, 318 1750-1753

## IONIC CONDUCTIVITY AND ELECTROCHROMIC PROPERTY OF $\text{Li}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{AlxTi}_{1-x}\text{O}_3$ ELECTROLYTE MATERIAL



**Seda Ulusoy**  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği  
sedaulusoy@gmail.com

**Sena Gülen  
Gülnur Aygün  
Prof.Dr.Lütfi Özyüzer**  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü  
senagulen@iyte.edu.tr  
gulnuraygun@iyte.edu.tr  
lutfiozyuzer@iyte.edu.tr

**Dr. Mehtap Özdemir Köklü**  
Gediz Üniversitesi,  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
mehtap.koklu@gediz.edu.tr

2008 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Fizik bölümüne girdim. Burada bir yıl hazırlık okuyup 1. sınıfa başladım. Katı hal ve yarı iletkenler fiziği üzerine dersler aldım. 2. sınıfın yaz okulunda ODTÜ'ye bağlı Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi (RÜZGEM)'de malzeme karakterizasyonu için kurulmuş photoelastisite temeline dayanan basma-yorulma test düzeneğinde malzeme üzerindeki çatlak etrafındaki stres dağılımı ve sistemin çalışma prensibi üzerine staj yaptım. Bunun yanı sıra, Güneş Enerjisi Araştırma Merkezi (GÜNAM)'da ise üretilmiş çeşitli güneş gözelerinin quantum efficiency ölçümleri ve optik geçirgenlik testleri kapsamlı bir staj daha yaptım. Lisans son sınıfıta ise bitirme projemi Prof. Dr. Raşit Turan ile 'interdigitated back contact çeşitli güneş gözelerinin karakterizasyonu' üzerine yaparak, 2014 yılında mezun oldum. Hemen ardından Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ve Enerji Mühendisliği bölümlerinde yüksek lisansa başladım. Şu anda ise fizik bölümünde Prof. Dr. Lütfi Özyüzer ile Li-iyon bataryalarının iyonik iletkenliği arttırmak konulu bir projede çalışmaktayım.

### ÖZET

Yüksek iletkenlikteki katı hal piller, sıvı haldekilere kıyasla daha yüksek oranda güvenli olmaları ve sarsıntıdan etkilenme seviyelerinin düşük olması sebebiyle taşınabilir elektrik ve elektronik cihazlarda yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bu özelliklerinin yanı sıra elektrokromik özellik göstermeleri sebebiyle de LLTO-elektrolit katmanı ilgi çekmiştir [1]. Şu an için bir lüks gibi görünse de, gün geçtikçe hızla gelişen teknoloji akıllı cep telefonlarını hayatımıza soktuğu gibi diğer yaşam alanlarında da etkisini gösterecek, mimaride ve araba camlarında elektrokromik özelliği bulunan katmanlar kullanılarak daha konforlu, minimalist ve çevreye duyarlı tasarımlar yaygın olarak yapılabilecektir.

Elektrokromizm, optik özelliklerin uygulanmış voltaj altında ya da devre dışı bırakıldığında değişkenlik göstermesidir. Elektrokromik malzemelerde malzemenin geçirgenlik özelliği ya da rengi değişim gösterir [2]. Optik geçirgenliğinin değişmesinin yanısıra bu özelliğin daha çabuk tepki vermesi kullandığımız LLTO malzemesinin içindeki Li iyonlarının hareketini daha kolay gerçekleştirmesi, yani bir başka deyişle iyonik iletkenliğinin artması, daha çabuk renk/geçirgenlik değişimi sonucu almamızı sağlayacaktır. Bu nedenle, sürdürmekte olduğumuz bu çalışmada iyonik iletkenliğin artırılmasına yönelik ince film kaplamalar  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tozlarının farklı oranlarda birleşimi ile kaplama hedefleri hazırlanmış, RF miknatissal saçtırma yöntemi ile de mikroskop camı ve ITO/cam üzerine farklı kalınlıklarda örnekler elde edilmiştir. Oluşturulan hedef ve örneklerin yapısal karakterizasyonları için XRD, XPS, RAMAN ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Spectrometre ve empedans analizleri ile de optik geçirgenlik ve iyonik iletkenlik değerlerine bakılmıştır. Kaplanmış bulunan ince filmler üzerinde yaptığımız ölçümlerde oda sıcaklığında elde edilen  $S_{cm^{-1}}$  olarak saptanmış olup,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkılmasının ve tavlama sıcaklığının iyonik iletkenliğe etkileri araştırılmaktadır.

### ABSTRACT

Due to their higher levels of safety and reliability compared with the liquid ones, solid lithium-ion conductors are of major interest because of their potential applications as electrolytes in energy storage devices, electrochemical sensors, and electrochromic devices [1-2]. To obtain an application in an electrochromic device, it is important to have characteristics; such as high room temperature conductivity, and high transmittance level in the required spectral range. Therefore, in this work, the ionic conductor samples are prepared by mixing the powders of  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , and  $\text{TiO}_2$  in appropriate

## APPLICATIONS

stoichiometric rates. Also, Al-added LLTO- target compound is prepared in order to investigate the effect of Al addition on ionic conductivity, transmittance. Furthermore, the samples that are annealed at different temperatures with various thickness depositions on different substrates like; soda lime glass and ITO/ glass by RF magnetron sputtering in Ar atmosphere are examined. In addition, the microstructure morphology and the composition of these samples were investigated by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), respectively. To characterize solar control mechanism; optoelectric properties of the thin films, transmission measurements are done. Further characterization of optoelectric properties of the prepared films can reveal better optical transmittance results according to their annealing temperatures and the highest room temperature ionic conductivity, which makes them suitable for the application as an electrolyte of all solid state electrochromic devices[3].

Keywords:

**Keywords:** LLTO thin film electrolyte, ionic conductivity, electrochromism

[1] Xiong Y., et al. Effects of annealing temperature on structure and opt-electric properties of ion-conducting LLTO thin films prepared by RF magnetron sputtering, *Journal of Alloys and Compounds* 509, 1910-1914 (2011).

[2] Rauh D.R., Electrochromic windows: an overview, *Electrochromica Acta* 44 , 3165-3176 (1999).

Bu proje 114M044 numarası ile TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmektedir.

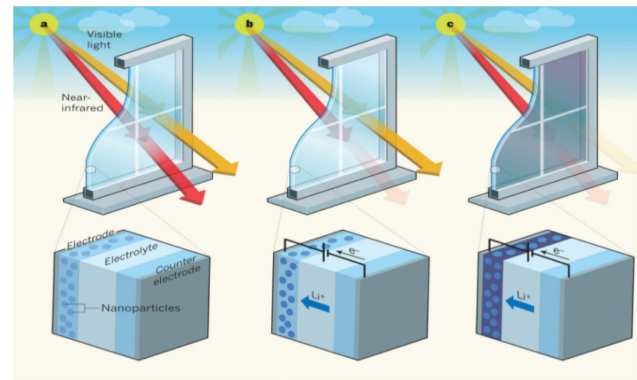
Electrochromic mirrors  
Electrochromic windows

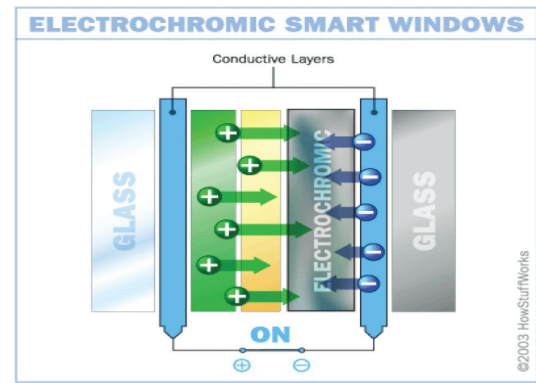
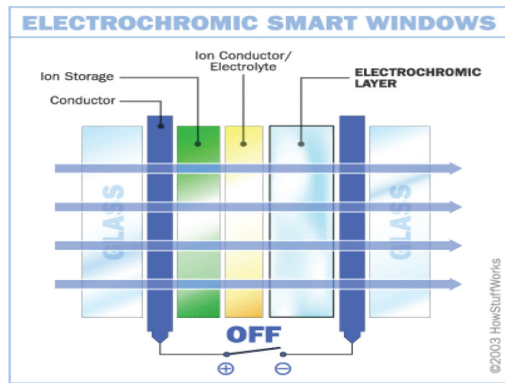
- sunroofs
- car windows



Information displays  
Architectural based applications  
Li-ion batteries electrolyte layer

Electrochromic devices are now being studied for modulation of radiation in the near infrared, thermal infrared [1] and microwave [2] regions and 'color' can mean response of detectors of these wavelengths, not just the human eye.

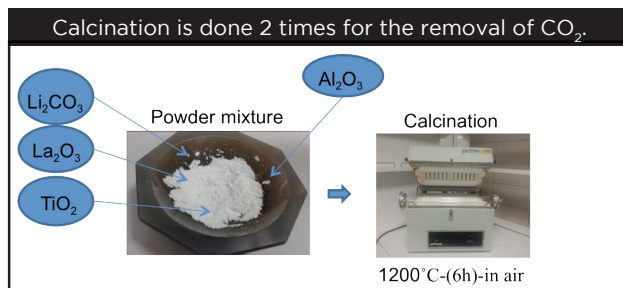




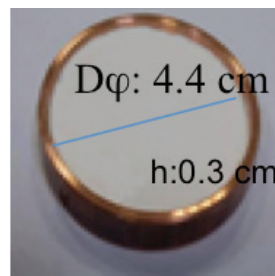
Electrochromic devices are now being studied for modulation of radiation in the near infrared, thermal infrared [1] and microwave [2] regions and 'color' can mean response of detectors of these wavelengths, not just the human eye.

## EXPERIMENTAL PROCEDURE TARGET PREPARATION:

156



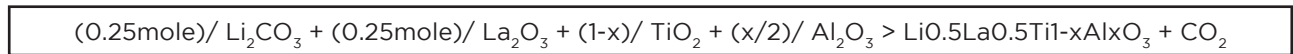
Calcination is done 2 times for the removal of CO<sub>2</sub>.



After all of these steps, calcinated powder mixture is placed in Cu-base plate and pressed at 5.0 Mpa to have a smooth surface.



Target, pressed in Cu-base plate, is sintered at 600°C in air to have compact and a solid mass form of LLTO powder.





## THIN FILM GROWTH

The  $\text{Li}_{0.5}\text{La}_{0.5}\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$  thin film electrolyte was deposited on ITO/glass substrate by the RF-magnetron sputter system at about  $210^\circ\text{C}$  substrate temperature, under Ar atmosphere. The sputtering power of  $\sim 96\text{ W}$ . The distance between the powder target and ITO/glass is tried to be aligned as parallel as possible.

These are the films grown on SLG and ITO / glass substrates:

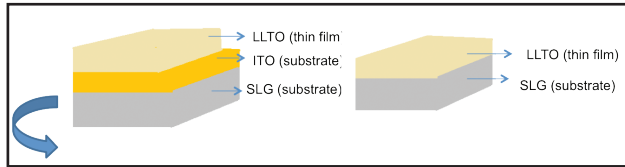
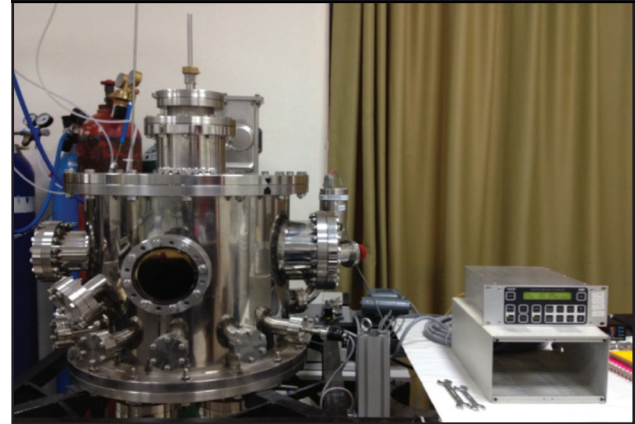


Figure: RF-Magnetron Sputtering System.



## CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (CVD):

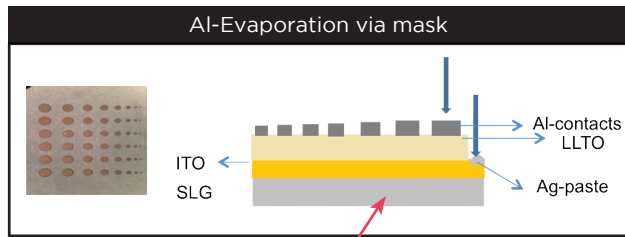


Figure. : probe station and impedance analyzer near by. On the screen, sample contact points can be observed from the top view of the sample.



Figure.: In this figure, during sputter process, target-substrate position can be observed.



Also, for the thin film deposition, target is formed.



In order to observe bulk properties, pellet shaped samples are prepared.



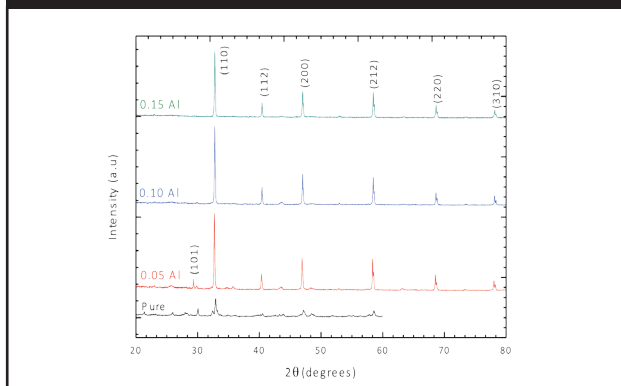


## RESULTS

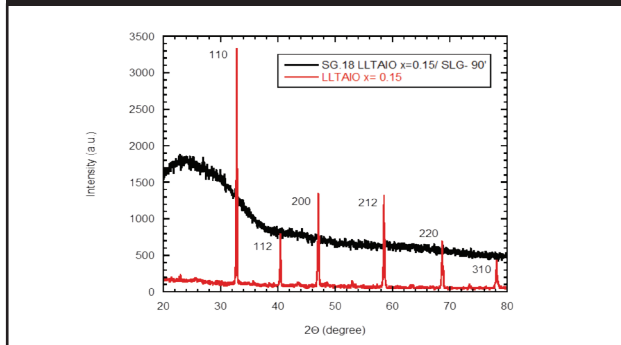
### TARGET AND FILM CHARACTERIZATION

#### XRD ANALYSIS

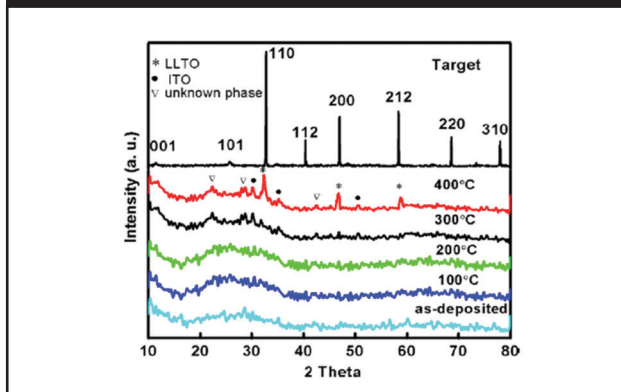
Graph.1 XRD pattern of LLTO ( $\text{Li}_0.5\text{La}_0.5\text{TiO}_3$ ) and Al-doped ( $\text{Li}_0.5\text{La}_0.5\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ ) targets.



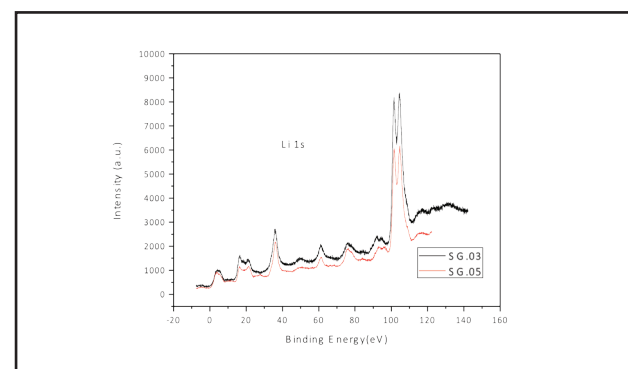
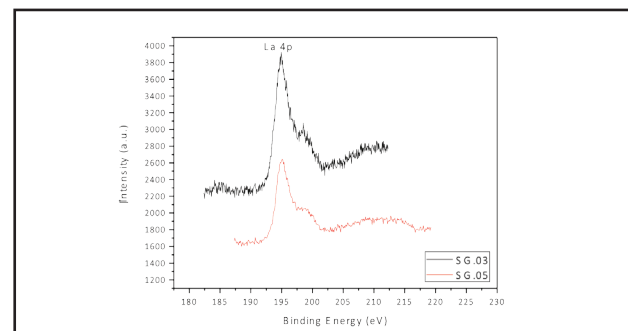
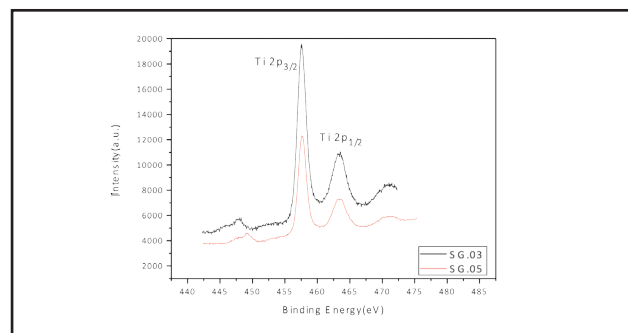
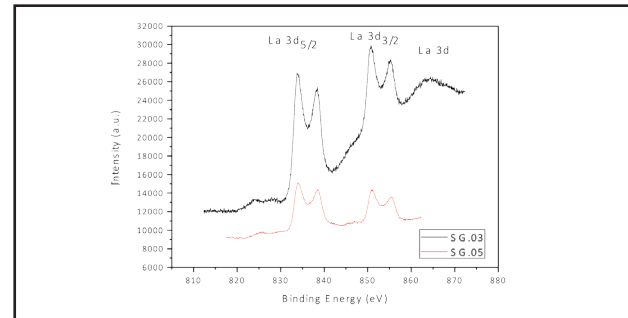
Graph.1 XRD peaks of LLTO-target do not coincide with the the film that is grown on SLG substrate; that explains film does not have a crystalline structure.

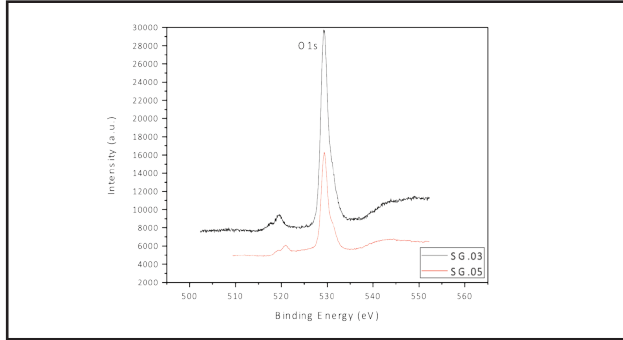


XRD peaks of LLTO-targets show convenience with the literature survey results, although annealed thin film datas are not taken to be compared.



#### XPS ANALYSIS

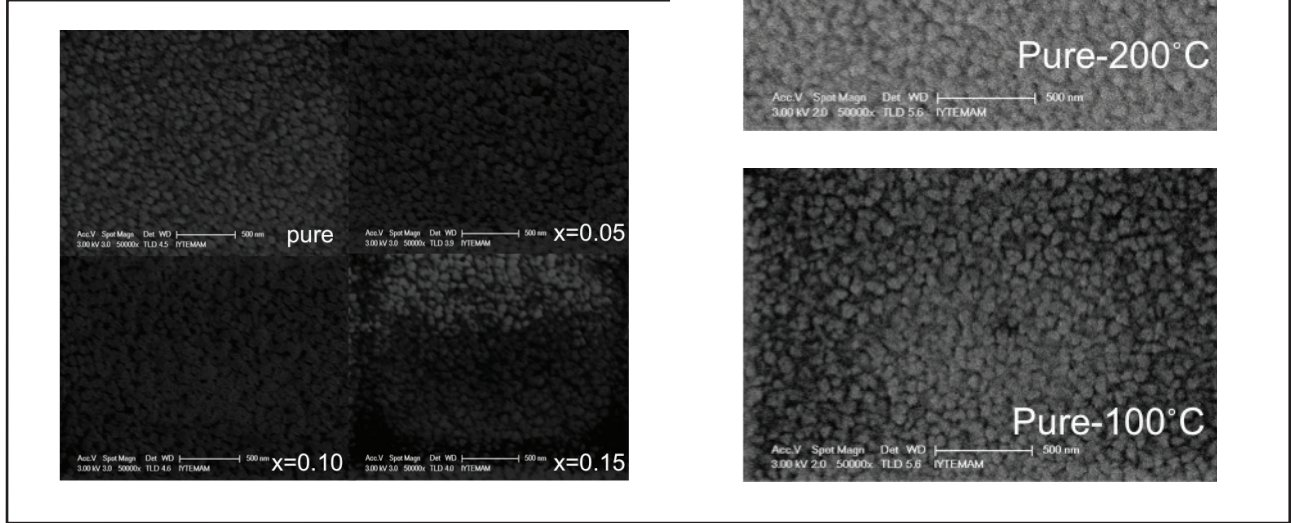




Graphs show X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis of LLTO thin films; SG.03 and SG.05 are plotted and compositions of the samples have matched with the literature survey results.

(\*SG.03(not annealed) and SG.05 (anneled at 450°C))

### SEM



By these SEM analysis, grain boundaries are observable. However, grain sizes are varying and do not have a distinguishable property to determine the characteristics of films according to their annealing temperature or the rate of Al- doping inside the film.

### SPECTROMETER ANALYSIS

Figure.1 In this figure, transmission before the annealing can be observed for different thickness of thin films.

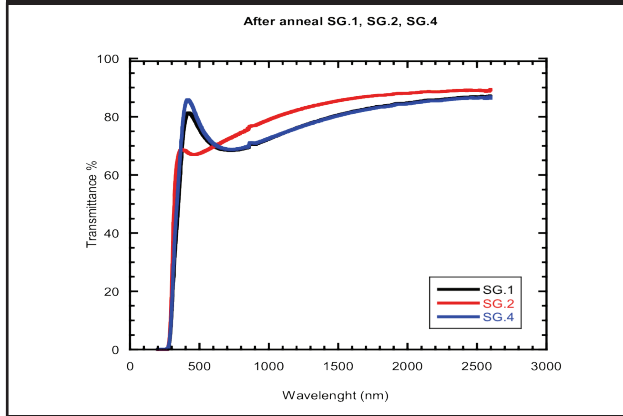
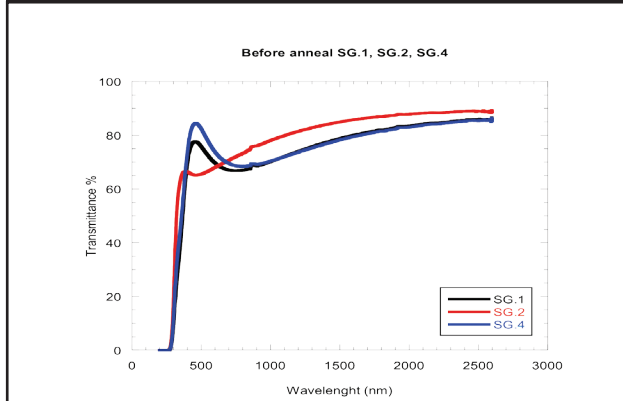
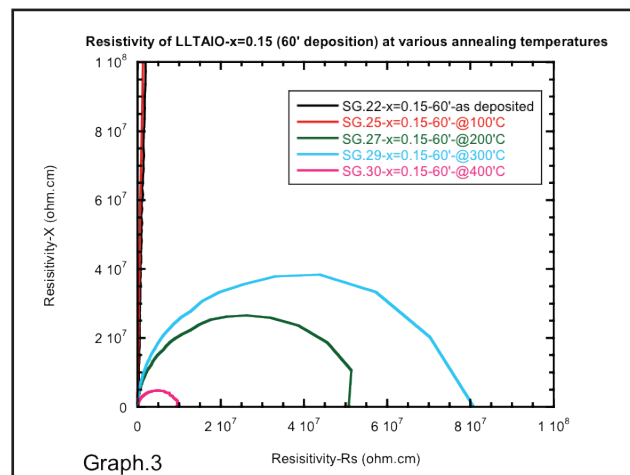
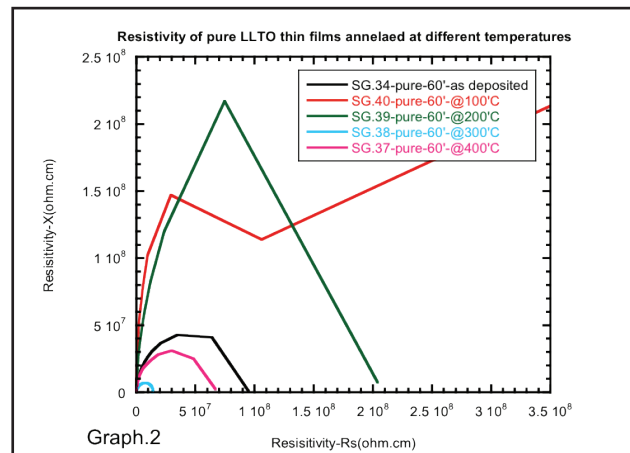
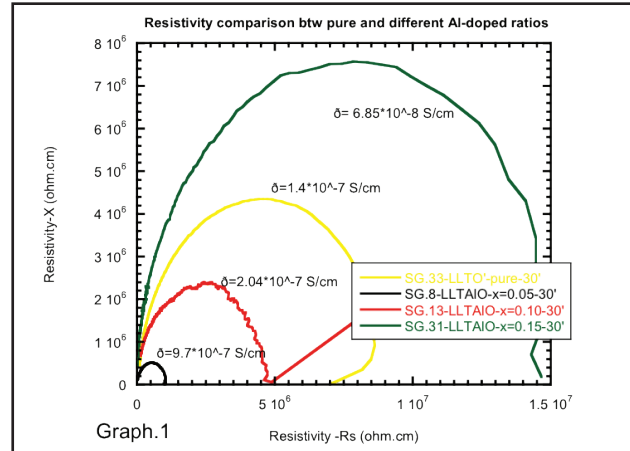


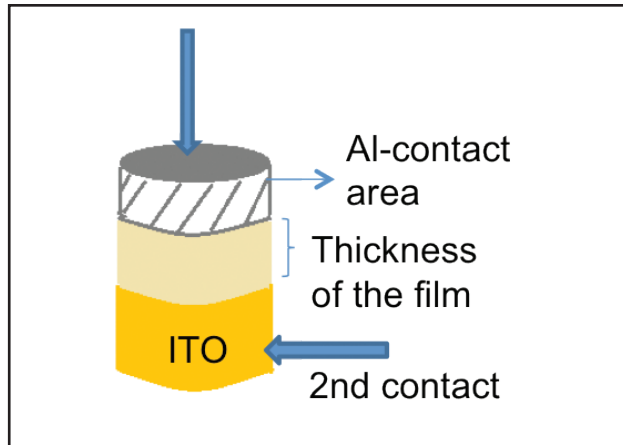
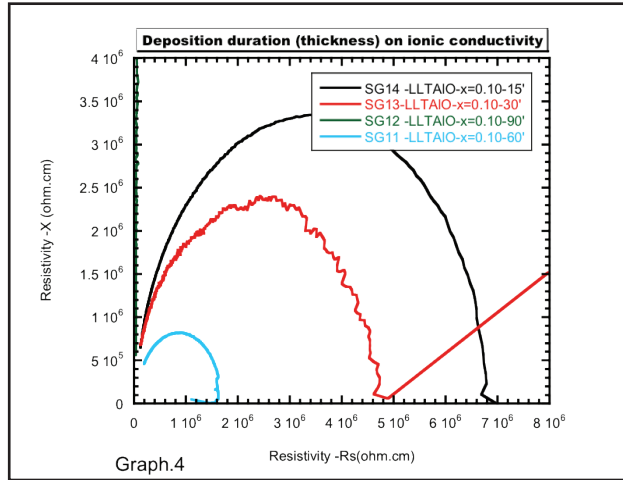
Figure.2 In this figure, transmittance after annealing is recorded. So, it is obvious that the transmittance are increased, as the structure of the thin films become more in order. The variations in transmissions are due to thin film thickness, and annealing temperature.



Samples	Transmittance % (Before anneal)	Transmittance % (After anneal)	Thickness (nm)	Anneling Temperature (°C)
SG.1	77.18 %	80.53 %	77.5 nm	450°C
SG.2	66.44 %	70.13 %	86 nm	400°C
SG.4	84.22 %	85.57 %	80 nm	450°C

### IMPEDANCE ANALYSIS





In (Graph.1), Al-doping effect on ionic conductivity is examined and it is reached that the Al-doping have a positive impact on ionic conductivity for  $x=0.05$  and  $x=0.10$  compared to the pure-LLTO films. Also, pure and  $x=0.15$  films are annealed (Graph.2&3) at  $100^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ . The films annealed at  $300^\circ\text{C}$  and  $400^\circ\text{C}$  show higher ionic conductivity results compared to other annealing temperature results. Film thickness variation will show changes on ionic conductivity, since the crystalline structure of the film is affected by the deposition thickness/duration itself during the film growth process.(Graph.4)

$$\rho = R \times (\text{contact area}) / \text{thickness of the film}$$

$$\rightarrow \sigma = 1/\rho$$

## REFERENCES

- [1] J.W.Fergu, J.Power Sources 195(2010)4554.  
 [2] P.Knauth, Solid State Ionics 180 (2009) 911.  
 [3] Xiong Y., et al. Effects of annealing temperature on structure and opt-electric properties of ion-conducting LLTO thin films prepared by RF magnetron sputtering, Journal of Alloys and Compounds 509, 1910-1914 (2011).

## ACKNOWLEDGEMENT

This research is partially supported by TUBITAK (Scientific and Technical Research Council of Turkey) project number 114M044.

## SODA-KİREÇ-SİLİKA CAMLARDA GEÇİŞ METALLERİNİN OKSİDASYON SEVİYELERİNİN ELEKTRON SPİN REZONANS (ESR) SPEKTROSKOPİ İLE BELİRLENMESİ



**Hakan Göktürk**  
**Yaşar Akdoğan**  
**Yrd. Doç. Dr. Ufuk**  
**Şentürk**

İzmir Yüksek Teknoloji  
Enstitüsü, Malzeme Bilimi  
ve Mühendisliği  
hakangktrk@hotmail.com

**Dr. Arca İyiel**

Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Cam özellikleri  
Müdürlüğü  
aiyiel@siseecam.com

1991 yılında İzmir'de doğdu. 2015 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü Lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programına kabul edildi. Halen İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programına devam etmektedir.

### ÖZET

Elektro spin rezonans (ESR) spektroskopisi paramanyetik malzemelerin çalışılmasında kullanılan en önemli tekniklerden birisidir. Çalışmamızda soda-kireç-silika camlarda bulunan geçiş metallere oksidasyon seviyelerini, yada bir diğer deyişle elektron değişimini, belirlemek amacıyla ESR spektroskopisi kullanılmaktadır. Bu çalışma için başlangıç olarak  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonlarını içeren ve kompozisyonlarının bilindiği cam örnekleri ESR spektroskopisi ile ölçülmüştür. Paramanyetik  $Fe^{+3}$  iyonları ESR ile gözlemlenebilirken, diyamanyetik  $Fe^{+2}$  iyonları ESR aktif değildir. Ayrıca nicelik olarak da cam içerisinde ne kadar  $Fe^{+3}$  olduğunu ESR spektroskopisi ile gözlemlemek mümkündür. ESR spektroskopisine destekli olarak Raman Spektroskopisi ve IR Spektroskopisi kullanılarak çalışmalarımız devam etmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Soda-kireç silica cam, ESR, spektroskopi

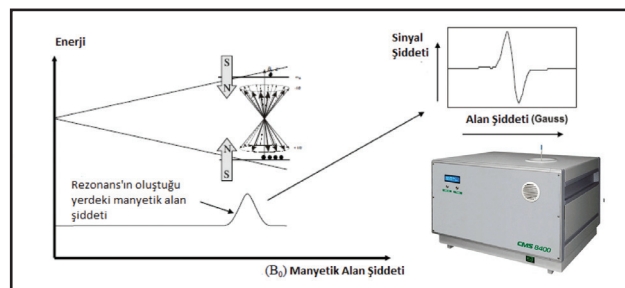
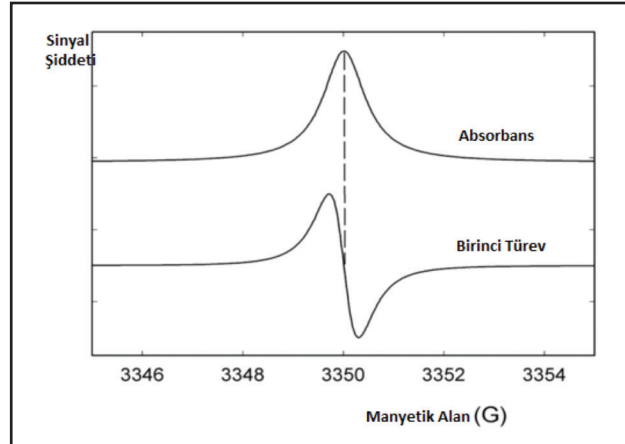
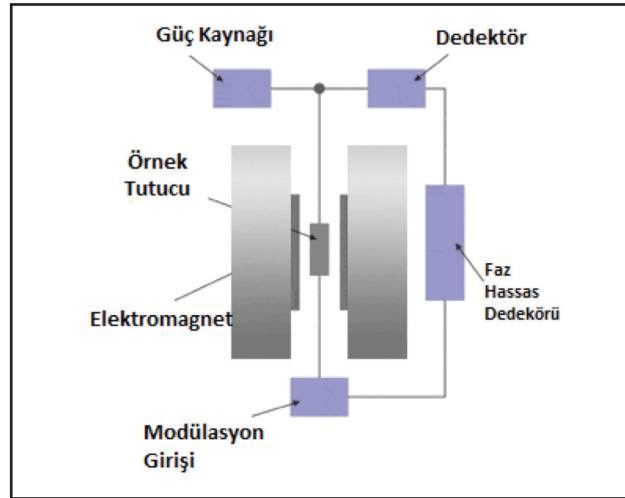
### GİRİŞ

Çalışmamızda soda-kireç-silika camlarda bulunan geçiş metallere oksidasyon seviyelerini, ya da bir diğer deyişle elektron değişimini, belirlemek amacıyla ESR spektroskopisi kullanılmaktadır. Bu çalışma için başlangıç olarak  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonlarını içeren ve kompozisyonlarının bilindiği cam örnekleri ESR spektroskopisi ile ölçülmüştür. Paramanyetik  $Fe^{+3}$  iyonları ESR ile gözlemlenebilirken, diyamanyetik  $Fe^{+2}$  iyonları ESR aktif değildir, dolayısıyla gözlemlenememektedir. Ayrıca nicelik olarak da cam içerisinde ne kadar  $Fe^{+3}$  olduğunu ESR spektroskopisi ile gözlemlemek mümkündür.



## ELEKTRON SPİN REZONANS(ESR)

Elektronun kendi eksenini etrafında dönme (spin) hareketinin, kuvvetli bir dış manyetik alanda iki ayrı enerji seviyesine sahip olması esasına dayanan spektroskopik tekniktir.



$$g = \frac{h\nu}{\beta B}$$

h Planck sabiti,  
v manyetik frekans  
 $\beta$  Bohr magnetonu  
B manyetik alan

## DENEYSSEL YÖNTEM

Tablo 1. Cam örneklerdeki geçiş metal miktarları.  
(Bilgiler, Şişecam BTM tarafından sağlanmıştır.)

Bileşendeki Geçiş Metalleri	Kompozisyondaki (Ağırlıkça) Miktarları	
	Örnek 1	Örnek 2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.44 %	0.43 %
Fe <sup>+3</sup>	1.121 %	0.056 %
Fe <sup>+2</sup>	0.319 %	0.374 %
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.15 %
Co	254 ppm	-
Se	25 ppm	-

ESR ölçümü yapılmadan önce;

Cam örneklere alüminyum oksit seramik bir havanda kaba öğütme uygulanmıştır.

Toz haline gelmiş bu camlara gezegen hareketli bilyalı öğütücü cihazında (Retsch Model PM 200) agat havan ve zirkonyum oksit bilyalar ile ince öğütme uygulanmıştır.

## SONUÇ

Soda-kireç-silika camlarda paramanyetik demir ve krom iyonlarının ESR spektroskopisi ile ölçümü yapılmıştır.

Ölçümlerden Fe<sup>+3</sup> iyonlarının kompozisyon içerisindeki miktarı hesaplanmıştır.

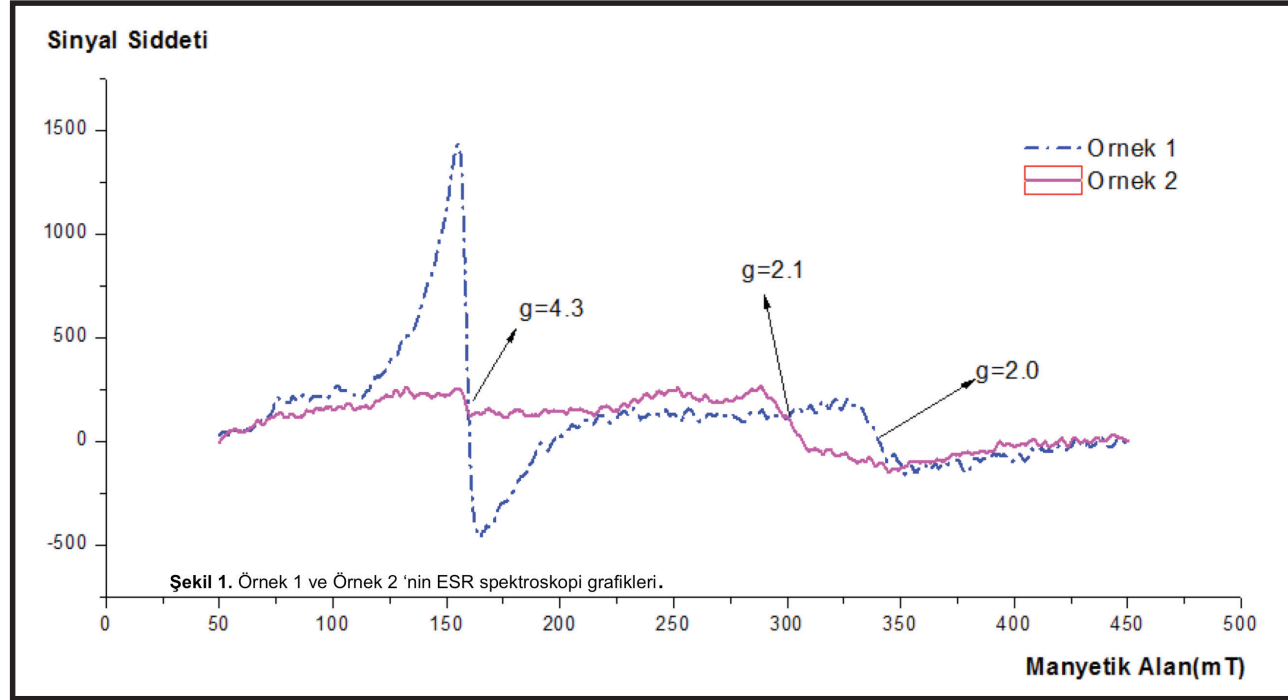
Bulunan sonuçlar ile Şişecam BTM tarafından gönderilenler arasında yaklaşık %14.3 bir sapma hesaplanmıştır.

Krom iyonlarının Fe<sup>+3</sup> ile aynı manyetik alanda sinyal vermesinden ötürü yapı içerisinde muhtemel olabilecek paramanyetik krom iyonlarının miktarı tespit edilememiştir.

Yapılan bu çalışma, soda-kireç-silika camları içerisindeki paramanyetik Fe<sup>+3</sup> iyonlarının varlığı ve miktarının belirlenmesinde ESR spektroskopisinin kullanılabilirliğini göstermiştir.

Soda-kireç-silika temelli camların yapısı içerisinde bulunabilecek çeşitli paramanyetik iyonların ESR tekniği ile varlıklarının belirlenmesi ve bunların miktarının düşük hata payı ile hesaplanabilmesi için cam kompozisyonunun ve yapım atmosferinin kontrollü bir şekilde değiştirildiği bir çalışmaya gerek duyulmaktadır.

## NETİCE VE YORUM



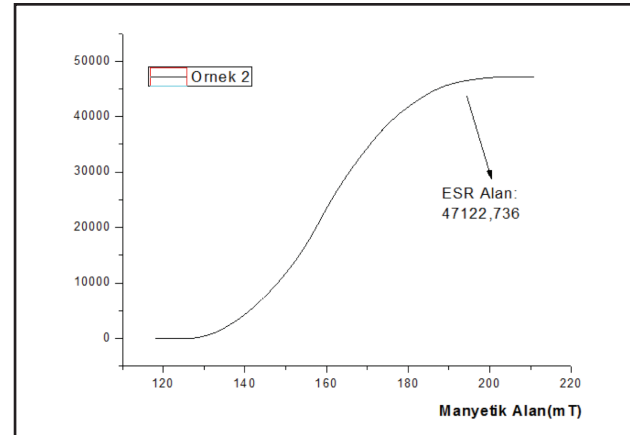
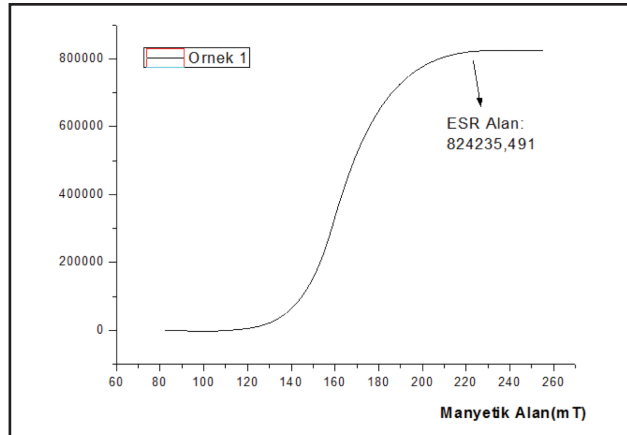
	g-faktörü		
	Fe <sup>3+</sup> iyonları	Cr <sup>3+</sup> , Cr <sup>5+</sup> iyonları	
Örnek 1	4.3	2.0	Yok
Örnek 2	4.3	2.0	2.0
Literatür	4.2-4.3	1.98	1.98, ~2

Şekil 1'de gösterildiği üzere;

Örnek 1'deki Fe<sup>3+</sup> iyonu, 150 mT ya da g=4.3 değerinde ve 330 mT ya da g=2 değerinde gözlemlenmiştir.

Örnek 2'deki Fe<sup>3+</sup> iyonu, 150 mT ya da g=4.3 değerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca Fe<sup>3+</sup> ve Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>5+</sup> iyonları 300 mT ya da g=2.1 değerinde çakışma göstermiştir.

164



Şekil 2. (a) Örnek 1 ve (b) Örnek 2'in Fe<sup>3+</sup> iyonu manyetik alan-güç eğrisi ikinci integrasyon grafiği.

	Örnek 1 Referans		Örnek 2 Referans	
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 1	Örnek 2
Hesaplanan	1,121	0,064	0,980	0,056
Ölçülen	1,121	0,056	1,121	0,056
Fark - miktar	--	0,008	0,141	--
Fark - %	--	+14,29%	-14,39%	--

Şekil 2’de verildiği biçimde hesaplanan alanlar cam kompozisyonu içerisindeki  $Fe^{+3}$  iyonunun miktarını hesaplamak için kullanılmıştır. Tablo 3’te yapılan hesapların özeti verilmiştir. Bu hesaplara göre ESR yöntemiyle hesaplanan  $Fe^{+3}$  ile Şişecam BTM tarafından başka metodla belirlenmiş  $Fe^{+3}$  miktarı arasında %14.29 ile %14.39’luk bir sapma olduğu görülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki cam örneklerin ve geçiş metal miktarlarının sağlanmasında emeği geçen Şişecam BTM’den Dr. Arca İyiel’e teşekkür ederiz.

## ŞİŞECAM FABRİKALARININ GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ORTA GERİLİM BAĞLANTI NOKTALARINDA İNCELENMESİ



**Dr. Levent Kılıç**  
**Bülent Eren**  
**Gürhan Dural**

lkilic@sisecam.com  
beren@sisecam.com  
gdural@sisecam.com

**Okan Sarıkayalar**  
SGE Mühendislik  
Mimar Sinan Mh.  
Gündoğu Sk.  
Çavuşbaşı Cad No.69 K.6  
Çekmeköy-İstanbul  
okans@sge.com.tr

*Levent Kılıç, 1971 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk ve ortaokulu Malkara ilçesine bağlı Sağlambaş köyünde tamamladı. Ortaokul son sınıfta (1985) Tübitak sınavını kazanınca İstanbul Kabataş Erkek Lisesi'nde tam burslu ve yatılı okudu (1988). Lise sonrası kazandığı İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Elektrik Mühendisliği Bölümünden lisans (1992) ve yüksek lisans (1996) derecesi ile mezun oldu. 1994 - 1996 döneminde İTÜ Yüksek Gerilim kürsüsünde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Askerlik görevini Ağu.1996 - Kas.1997 yılları arasında Deniz Makine (As)teğmen olarak tamamlayarak, asistanlık görevine geri döndü. Yaklaşık iki ay devam ettikten sonra, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. (Şişecam) şirketlerinden olan Camiş Elektrik Üretim A.Ş.'ne katıldı. Gaz motorlu 12 MW'lık Topkapı elektrik santralının işletme şefi olarak çalıştı. Şirketin, diğer 12 MW'lık gaz motorlu Çayırova kojenerasyon santrali, 31 MW'lık iki gaz, bir buhar türbininden oluşan Trakya kombine çevrim santrali ve iki gaz türbini ve iki kazandan oluşan 252 MW'lık Mersin kojenerasyon santrallerine kuruluşlarından itibaren teknik destek sağladı. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi'nde "meslekte doktor" ünvanı aldı. 01.11.2013 tarihinden itibaren Şişecam şirketinin Enerji Verimlilik Müdürlüğü'ndeki çalışmalarına uzman olarak devam etmektedir.*

### ÖZET

Bu çalışmada ulusal şebekenin farklı dağıtım sistemlerine bağlanan fabrikalarımızın orta gerilim bağlantı noktalarında izledikleri ve yaşadıkları olayların incelemesi yapılmaktadır. Konuyla ilgili literatüre sağlanan sektörel katkı hemen hemen yoktur. Bu inceleme ile, hangi fabrikanın ne tür şebeke bozucu etkilerine maruz kaldığı, bu bozucu etkilerle fabrikadan kaynaklı oluşan olayların analizi ve hızlı çözümün sağlanması, elektrik santrali koruma durumlarının karşılaştırmalı analizi, gerçek etkiye sahip şebeke olaylarının fabrikaya ürün ve ekipman maliyeti, enerji kalitesinin fabrika yeri ve bağlantı noktası seçiminde bir kriter olarak değerlendirilmesi, iyi şebeke örneklerinin diğer noktalarda da uygulama örneklerinin araştırılması ve iyileştirme sağlayacak durum tespiti yapılmaktadır.

***Anahtar Kelimeler:** Enerji, Güç, Kalite, Gerilim, Kesinti*

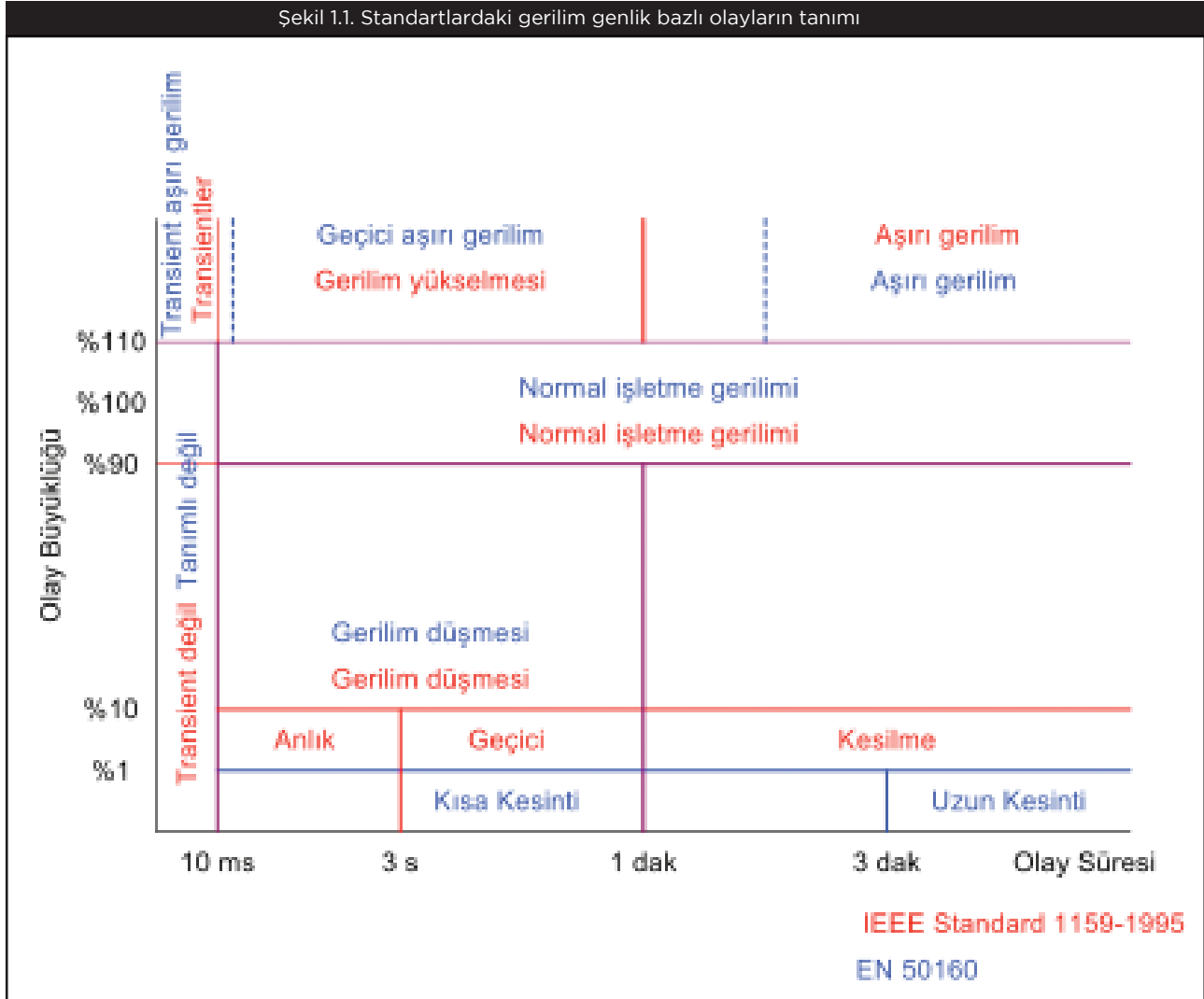
### 1. GİRİŞ

Fabrikalarımızın elektrik şebekelerine bağlandıkları noktalarda çeşitli olaylar meydana gelmektedir ve bunların çoğu şebeke gerilimi ile ilgilidir. Bu gerilim olayları gerilimin genlik değişimi ile karakterize edilirler ve milisaniyelerden saatlere kadar farklı sürelerle sahip olabilirler [1]. Bu iki temel karakteristik yani genlik ve süre baz alınarak, gerilim olayları standartlarda farklı yöntemlerle sınıflandırılmaktadır [1].

EN 50160 standardı [2], alçak ve orta gerilim şebekelerindeki gerilim karakteri üzerine yoğunlaşmışken, IEEE 1159 standardı güç sisteminde gerilim değerleri üzerinde böyle bir sınırlandırma olmayacağını ifade etmektedir [3]. Birkaç saniyelik geçici (anlık) gerilim bozulmaları IEEE 1250 standardında sınıflandırılmıştır [4].

Aynı gerilim düşmesi olayı EN 50160 ile IEEE 1159 standartları arasında aynı şekilde baz alınmasına rağmen, olayın genliği bu standartlarda farklı tanımlanmaktadır. Bu durum Şekil 1.1'de her iki standart için gösterilmektedir.

Şekil 1.1. Standartlardaki gerilim genlik bazlı olayların tanımı



Elektrik şebekesindeki olayların genlik ve süreyi baz alan bu sınıflandırma yönteminin çeşitli avantajları ve eksiklikleri vardır. [1] nolu referansta bu yöntem kullanıldığında aşağıdaki maddeler ifade edilmektedir: Olay süresindeki gerilimin etkin değeri (rms) sabit değildir ve bu yüzden olayın genliğini ve süresini tanımlarken bir belirsizliğe yol açabilir.

Bir periyottan daha kısa süreli hızlı olaylar çok iyi tanımlanamaz, çünkü gerilimin değeri tam olarak hesaplanamayabilir.

Tekrarlayan olaylar hatalı sonuçlar verebilir. Bu durumda olayların sayısı eksik ya da fazla değerlendirilmiş olabilir.

Bu çalışmada, gerilimin genlik değişimi ve süresi olaylarına odaklanılacaktır. Bu genlik ve sürede iki tür olay karakterize edilir.

Kısa süreli kesintiler ve gerilim düşmeleri [1]. Bu olaylar esas olarak elektrik şebekelerindeki kısıtlayıcılarla ilgilidir.



## 2. KISA KESİNTİLER, TERMİNOLOJİ VE TANIMLAMALAR

Bu sınıftaki olaylar [2], [3], [4] nolu standartlarda tanımlanmaktadır. Tablo 1.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Çeşitli standartlardaki kısa süreli kesinti tanımlamaları				
Standart	Tanım	Genlik	Süre	Uygulanabilirlik
EN 50160	Kısa kesinti	< %1	< 3 d	AG ve OG (< 35 kV)
IEEE Std 1159-1995	Anlık kesinti	< %10	10 ms - 3 d	AG, OG, YG
IEEE Std 1250-1995	Ani kesinti	Gerilimin tamamen gitmesi	10 ms - 0,5 s	AG, OG, YG
	Anlık kesinti		10 ms - 2 s	AG, OG, YG

Tablo 1.1'den EN 50160 standartının 35 kV sınırı koyduğu, oysa IEEE 1159'un ise tüm gerilim seviyelerini kapsadığı görülmektedir.

Gerilim kesintilerinin nedeni genellikle koruma devrelerini tetikleyen arızalardır. Bunun dışındaki nedenler aşağıda verildiği gibi sıralanabilir [1].

- Arızasız durumda korumanın çalışması,
- Koruma devresini tetiklemeyen kopmuş /açmış iletkenler,
- Operatör müdahalesi

Kaynak otomatik olarak eski haline geldiğinde, olay kısa kesilme olarak adlandırılır [1]. Gerilimin, ölçüm ve korumanın olduğu nokta ile arıza noktası arasındaki şebeke yerleşim planı baz alındığında, arızalı fiderdeki gerilim sifıra düşecek, arızasız fider ise bunu gerilim düşmesi olarak görecektir.

## 3. GERİLİM DÜŞMESİ, TERMİNOLOJİ VE TANIMLAMALAR

Standartlardaki gerilim düşmesi için farklı terminoloji ve tanımlamaların bir özeti Tablo 1.2'de sunulmaktadır:

Tablo 1.2. Çeşitli standartlardaki kısa süreli gerilim düşmesi tanımlamaları			
Standart	Genlik	Süre	Uygulanabilirlik
EN 50160	< %1 - % 90	10 ms - 1 d	AG ve OG (< 35 kV)
IEEE Std 1159-1995	< %10 - %90	10 ms - 1 d	AG, OG, YG
IEEE Std 1250-1995	Gerilimin düşmesi	10 ms - birkaç saniye	AG, OG, YG

Gerilim düşmeleri, gerilim değerindeki kısa süreli azalmalardır. Buna, kısa devreler, aşırı yükler ve büyük motorların devreye alınması neden olmaktadır. Gerilim düşmeleri iletim sisteminin yüzlerce kilometre mesafesinde meydana gelen kısadevreler olduğundan, bu olaylar kesintiden çok sistem kaynaklı problemlerdir.

Gerilim düşmelerinin büyüklüğü aşağıdaki faktörlerce saptanabilir [1]:

- Arızaya olan mesafe,
- Hat ve kablo kesitleri,
- Arıza noktası ile kayıt noktası arasındaki trafoların bağlantı türü,
- Şebeke türü (radyal, gözlü)
- Şebekenin kısadevre empedansı, vb.

## 4. BAĞLANTI NOKTALARINDAKİ BOZUCU OLAYLARIN VERİSEL İNCELENMESİ

Fabrikalarımızın girişlerinde enerji verilerini izlemek için kurulan analizör verilerinden [5], fabrikalarımızın bağlı olduğu dağıtım sistemlerinin enerji kalitesi analizi doğrultusunda

- hangi fabrikanın ne tür şebeke bozucu etkilerine maruz kaldığı,
- bu bozucu etkilerle fabrikadan kaynaklı oluşan olayların ayrımı,
- elektrik santrali koruma durumlarının sorgulanması,
- gerçek etkiye sahip şebeke olaylarının fabrikaya maliyeti,
- enerji kalitesi bakımından fabrika kurulumunun hangi bölge, ülke, sistemlere olması gerektiğinin incelenmesi,
- iyi şebeke örneklerinin diğer fabrikalar için de uygulama olanaklarının ayrıştırılması

konularında verisel durum tespiti yapılması ve geliştirme önerilerini / uygulamalarını yapabilmek mümkün olabilecektir.

Enerji izleme ve ölçme projesi kapsamında hayata ilk geçirilen bu uygulama ile proje kapsamındaki tüm fabrikalarımızın enerji kalitesi ve diğer yaklaşık 10.000 elektrik parametresine karşılaştırmalı erişebilme imkanı doğmuştur. Değerlendirmelerin verisel olarak yapılabildiği bu uygulama ile, ürün kalitesi - enerji kalitesi arasındaki ilişki de doğru kurulmuş olabilecektir. 01.07.2015 - 01.10.2015 3 aylık dönemini kapsayan bu inceleme toplu hale getirilmiş şebeke istatistiklerini belirtmektedir.

### 4.1. ESKİŞEHİR BÖLGESİ 4.1.1. ACS FABRİKASI

3 aylık istatistiki özet verilere Tablo 4.1'de görülmektedir. Burada ilk önce tüm istatistiki bilgiler özet verilmekte olup, ilerleyen fabrikalarda gerilim üzerine yoğunlaşılacaktır. Dalga formları bildiride verilmek istenen farkındalığın ötesinde ileri analiz gerektirdiğinden verilmeyecektir. Tablo 4.1 ve sonrasında gelenler, teknik yöneticiler için ilk an/bakışının yapılabileceği EN50160 Avrupa Standartında oluşturulmuş formlardır.

Tablo 4.1. Şebeke Olaylarının Özeti

Summary		
Continuous phenomena		
EN 50160:2010	Parameter	Result
5.2.1	Power frequency	Pass
5.2.2	Supply voltage variation	Pass
5.2.3.2	Flicker severity	Fail
5.2.4	Supply voltage unbalance	Pass
5.2.5	Harmonic voltage	Pass
5.2.5	Total harmonic distortion	Pass

Enerji (Güç) kalitesi parametleri sadece gerilimden değil, aynı zamanda frekans, fliker, harmonik ve faz dengesizliğinden oluşmaktadır. Bunların her birini ayrı ayrı izlemek olayların bütününe verisel anlamda doğru yaklaşabilmek için önem taşımaktadır.

Tablo 4.2. Gerilim olayları

Voltage events		
EN50160:2010	Event type	Number of events
5.3.1	Short Interruptions of the supply voltage	0
5.3.1	Long Interruptions of the supply voltage	1
5.3.2	Supply voltage dip	12
5.3.2	Supply voltage swell	4
5.3.3	Transient overvoltages	100

Tablo 4.3. Frekans Olayları

Power frequency					
Under normal operating conditions: the mean value of the fundamental frequency measured over 10s shall be : 50Hz $\pm$ 1% during 99.5% of year and 50Hz +4%/-6% during 100% of requested time.For systems with synchronous connection to an interconnected system.					
Percentage of time (%)	Regulation min (Hz)	Measured min (Hz)	Regulation max (Hz)	Measured max (Hz)	Result (% within the limits)
99.5	49.5	49.948	50.5	50.062	Pass(100%)
100	47	49.877	52	50.102	Pass(100%)

Tablo 4.4. Fliker Olayları

Flicker severity			
Under normal operating conditions, during each period of one week the long term flicker severity PIt caused by voltage fluctuation should be less than or equal to 1 for 95% of the time.			
Channel/Phase	Regulation max	Measured max	Result (% within the limits)
L1	1	0.568	Pass(0%)
L2	1	1.157	Fail(0%)
L3	1	0.735	Fail(0%)

Tablo 4.5. Faz Dengesizliği Olayları

Supply voltage unbalance		
Under normal operating conditions, during each period of one week, 95% of the 10 min mean r.m.s. values of the negative phase sequence component (fundamental) of the supply voltage shall be within the range 0% to 2% of the positive phase sequence component (fundamental).		
Regulation max(%)	Measured max(%)	Result (% within the limits)
2	0.399	Pass(0%)

Tablo 4.6. Harmonik Bozulma Olayları

Total Harmonics Distortion (THD)			
The THD of the supply voltage (including all harmonics up to the order 40) shall be less than or equal to 8% during 95% of each period of one week.			
Phase	Regulation max (%)	Measured max (%)	Result (% within the limits)
L1	8	2.303	Pass(0%)
L2	8	2.255	Pass(0%)
L3	8	2.411	Pass(0%)

**Tablo 4.7. Gerilim olayları**

Voltage events						
Dips, short and long interruptions of supply voltage:						
Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	6	0	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	0	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	2	0	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	4	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	1

Supply voltage swell:			
Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	4	0	0
120 ≥ u ≥ 110	0	0	0

Tablo 4.7 fabrikalarımızın özellikle hissettiği gerilim olaylarının genlik - süre bazında göstermektedir. Tablo 4.2’de “uzun süreli kesinti” olarak belirtilmiş kesinti ve diğer gerilim olaylarının burada CBEMA eğrisine göre matris olarak oluşturulmuştur.

**Tablo 4.8. Olayların özeti**

Event summary					
Type	Phase	Start time	Duration	Deviation (%)	
Dip	L3	16/09/2015 06:19:30.826192	00:00:00.1599527	17.82	
Dip	L1	18/09/2015 01:42:48.063353	00:00:00.1000775	71.44	
Dip	L1	18/09/2015 03:07:39.018891	00:00:00.1101531	69.68	
Dip	L1	20/09/2015 06:46:26.469220	00:00:00.1099013	72.66	
Dip	L2	23/09/2015 05:37:47.038379	00:00:00.0899609	32.42	
Dip	L1	24/09/2015 08:26:36.880222	00:00:00.0899399	68.51	
Dip	L3	24/09/2015 16:28:06.580472	00:00:00.0398772	10.89	
Dip	L3	24/09/2015 16:29:37.369907	00:00:00.1098970	14.94	
Dip	L2	25/09/2015 05:24:00.468601	00:00:00.1098719	34.72	
Dip	L3	28/09/2015 17:06:19.004732	00:00:00.0401377	10.21	
Dip	L2	28/09/2015 17:08:50.781494	00:00:00.1601306	14.79	
Dip	L1,L2,L3	29/09/2015 10:30:03.430566	00:00:00.0433318	11.13	
Long interruption	L1,L2,L3	27/09/2015 08:34:33.409302	02:51:37.7734375	100.00	
Swell	L2,L3	18/09/2015 01:42:48.063353	00:00:00.1062882	77.64	
Swell	L2,L3	18/09/2015 03:07:39.018891	00:00:00.1101531	71.68	
Swell	L2,L3	20/09/2015 06:46:26.469221	00:00:00.1150603	80.03	
Swell	L2,L3	24/09/2015 08:26:36.870155	00:00:00.1100910	74.02	

Tablo 4.8 kesinti ve diğer bozucu olayların 35 Qs’yeye kadar analizini mümkün kılmaktadır. Burada da kesintinin 2 saat 51 dakika 37.77 saniye olduğu görülmektedir. Olayın dalga formlarına girildiğinde, doğru teknik değerlendirme yapılabilmesi mümkün olacaktır.

Ayrıca, aynı bölgede bulunan fabrikalarımız için olayların şebekeden mi, yoksa kendilerinden mi kaynaklandığı da görebilme imkanı oluşturulmuştur. PQ analizörlerini kurulum yapılan tüm fabrikalarımıza tüm analizörlere erişim imkanı sağlanmıştır.

## 4.2. YENİŞEHİR BÖLGESİ

### 4.2.1. ACS FABRİKASI

Yenişehir fabrikasının iki analizörüne ait istatistikleri Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da görülebilmektedir. Dikkat çekici en önemli olayın 1 dak 51.5762710 saniyelik kesinti olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.9. Gerilim olayları**

Voltage events

Dips, short and long interruptions of supply voltage:

Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	20	2	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	1	1	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	0	0	0	1	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	1

Supply voltage swell:

Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	0	1	0
120 ≥ u ≥ 110	0	0	0

**Tablo 4.10. Gerilim olayları - 2**

Voltage events

Dips, short and long interruptions of supply voltage:

Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	20	2	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	1	1	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	0	0	0	1	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	1

Supply voltage swell:

Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	0	1	0
120 ≥ u ≥ 110	0	0	0



### 4.3. MERSİN BÖLGESİ 4.3.1. ACS FABRİKASI

**Tablo 4.11. Gerilim olayları**

**Voltage events**

Dips, short and long interruptions of supply voltage:

Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	2	1	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	2	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	3	1	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	1	1

Supply voltage swell:

Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	0	0	0
120 ≥ u ≥ 110	0	1	0

2 adet kesinti ile ACS fabrikaları arasında en fazla olaya maruz kalan fabrikanın ACS Mersin fabrikası olarak görülmektedir. Bu tür değerlendirmelerle bu tür durumları koruyacak ekipman seçimi ve güç belirlemede hangi fabrikalara öncelik verilebileceği, risk tanımlaması yapılabileceği de istatistiksel olarak ortaya çıkarılabilecektir.

### 4.3.2. DC FABRİKASI

**Tablo 4.12. Gerilim olayları**

**Voltage events**

Dips, short and long interruptions of supply voltage:

Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	27	0	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	10	0	1	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	7	2	1	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	2	3	0	1	0	0
5 ≥ u	0	0	1	0	0	0

Supply voltage swell:

Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	23	1	0
120 ≥ u ≥ 110	7	0	0

**Tablo 4.13. Gerilim olayları - 2**

Duration (s)						
Res. voltage u (%)	$0.01 \leq t \leq 0.2$	$0.2 \leq t \leq 0.5$	$0.5 \leq t \leq 1$	$1 \leq t \leq 5$	$5 \leq t \leq 60$	$t > 60$
$90 \geq u \geq 80$	30	0	0	0	0	0
$80 \geq u \geq 70$	11	0	1	0	0	0
$70 \geq u \geq 40$	7	2	1	0	0	0
$40 \geq u \geq 5$	2	3	0	1	0	0
$5 \geq u$	0	0	1	0	0	0

Duration (s)			
Voltage u (%)	$0.01 \leq t \leq 0.5$	$0.5 \leq t \leq 5$	$5 \leq t \leq 60$
$u \geq 120$	20	1	0
$120 \geq u \geq 110$	10	0	0

ACS Mersin fabrikasında olan kesilmelerin bölgesel olarak DC'ye hiçbir etkisinin olmadığı, tamamen ayrık olaylar olduğu görülmektedir.

### 4.3.3. SODA FABRİKASI

**Tablo 4.14. Gerilim olayları**

Duration (s)						
Res. voltage u (%)	$0.01 \leq t \leq 0.2$	$0.2 \leq t \leq 0.5$	$0.5 \leq t \leq 1$	$1 \leq t \leq 5$	$5 \leq t \leq 60$	$t > 60$
$90 \geq u \geq 80$	8	0	0	0	0	0
$80 \geq u \geq 70$	5	0	1	0	0	0
$70 \geq u \geq 40$	24	1	1	2	0	0
$40 \geq u \geq 5$	8	0	0	1	0	0
$5 \geq u$	0	0	0	0	0	8

Duration (s)			
Voltage u (%)	$0.01 \leq t \leq 0.5$	$0.5 \leq t \leq 5$	$5 \leq t \leq 60$
$u \geq 120$	33	3	0
$120 \geq u \geq 110$	10	0	0

Soda fabrikası istatistikleri incelenen dönem için en kötü verileri göstermektedir. 8 kesinti ve 9 darbe olayı eğer fabrikanın kontrolünde değilse önemle incelenmesi gereken olaylardır.

#### 4.3.4. KROM FABRİKASI

**Tablo 4.15. Gerilim olayları**

Voltage events

Dips, short and long interruptions of supply voltage:

Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	0	0	0	6	9984	0
80 ≥ u ≥ 70	0	0	0	0	2	0
70 ≥ u ≥ 40	0	0	0	0	1	0
40 ≥ u ≥ 5	0	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	0

Supply voltage swell:

Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	3	0	0
120 ≥ u ≥ 110	3	0	0

Krom fabrikasında tam 9.999 olay olduğu, ancak herhangi bir kesilme olmadığı görülmektedir. Öte yandan Soda fabrikasında 8 adet kesinti olduğu bir önceki bölümde görülmüştü. Aynı baradan beslendikleri koşuluyla, Soda'daki sonucu çıkmaktadır. Bu durumların ayrıştırılması ve işletme çalışmaları ile birleştirilmesi, hatalı değerlendirmeleri ortadan kaldıracaktır.

Ayrıca, eğer bu 9.999 adet genlik ve süresi belirlenmiş olay, eğer fabrika üretim prosesinde olumsuz etkiye sahip değilse, röle ayarlarına kadar tüm parametrelerin yeniden değerlendirilmesine imkan tanıyacaktır.

#### 4.4. TRAKYA BÖLGESİ

##### 4.4.1. TRAKYA CAM FABRİKASI

Voltage events

Dips, short and long interruptions of supply voltage:

Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	17	0	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	11	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	86	19	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	1	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	0

Supply voltage swell:

Voltage u (%)	Duration (s)		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60
u ≥ 120	119	0	0
120 ≥ u ≥ 110	23	0	0

Trakya Cam ve Paşabahçe fabrikaları santral barasından beslenmekte olup, bunların özellikle incelenmesi önem arz etmektedir. Korumanın hangi genlik ve sürede gerçekleştiği, bazı röle ayarlamaları ile, gereksiz açmaların da önüne geçecektir. Bu aynı zamanda santral performansının da artmasına ve fabrikaların şebekeye aktarılmalari konusunda karar vermeye dönük veri sağlamaktadır.

#### 4.4.2. PAŞABAHÇE FABRİKASI

**Tablo 4.17. Gerilim olayları**

Voltage events						
Dips, short and long interruptions of supply voltage:						
Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	22	0	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	16	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	103	20	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	1	2	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	0
Supply voltage swell:						
Voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60			
u ≥ 120	147	2	0			
120 ≥ u ≥ 110	25	1	0			

Paşabahçe fabrikası ile Trakya Cam fabrikası analizörleri aynı barada olmasına rağmen farklı istatistiklere sahip görünmektedir. Öncelikle bu farklılığın nedenleri belirlenmeli ve ardından gerilimin hangi genlik - süre durumlarındaki olumsuzlukların haritalanması gerekliliği görülmektedir.

#### 4.4.3. OTOCAM FABRİKASI

**Tablo 4.18. Gerilim olayları**

Voltage events						
Dips, short and long interruptions of supply voltage:						
Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	21	1	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	21	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	104	20	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	0	2	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	3
Supply voltage swell:						
Voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60			
u ≥ 120	147	2	0			
120 ≥ u ≥ 110	24	0	0			

**Tablo 4.19. Kesinti İstatistikleri**

Long interruption	L1,L2,L3	07/08/2015 09:23:02.321313	10:02:16.0273437	100.00
Long interruption	L1,L2,L3	12/08/2015 00:36:46.707344	00:21:35.9838867	100.00
Long interruption	L1,L2,L3	30/08/2015 16:16:06.627391	02:38:14.6982421	100.00

Aynı dönem için 1 saat 2 dakika 16.027 saniyelik, 21 dak. 35.983 saniyelik ve 2 saat 38 dak. 14.698 saniyelik olmak üzere, 3 kesinti olayı yaşandığı görülmektedir. Fabrikanın üretim ve kalite maliyetlerine etkisinin doğrudan hesaplanabileceği bu bozucu olaylar, elektrik santralının korumasını gerçekleştirdiği Trakya Cam ve Paşabahçe fabrikaları ile karşılaştırılmalı incelenmelidir.

#### 4.5. ÇAYIROVA BÖLGESİ 4.5.1. CAM ELYAF FABRİKASI

**Tablo 4.20. Gerilim olayları**

Voltage events						
Dips, short and long interruptions of supply voltage:						
Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	139	0	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	6	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	2	0	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	4	0	0	2	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	0
Supply voltage swell:						
Voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60			
u ≥ 120	5	1	0			
120 ≥ u ≥ 110	0	0	0			

#### 4.6. BULGARİSTAN TARGOVİŞTE BÖLGESİ

##### 4.6.1. DC FABRİKASI

**Tablo 4.21. Gerilim olayları**

Voltage events						
Dips, short and long interruptions of supply voltage:						
Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	20	1	0	0	0	0
80 ≥ u ≥ 70	4	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	3	0	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	1	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	0	0	0	0	1
Supply voltage swell:						
Voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60			
u ≥ 120	0	0	0			
120 ≥ u ≥ 110	0	0	1			

##### 4.6.2. PB FABRİKASI

**Tablo 4.22. Gerilim olayları**

Voltage events						
Dips, short and long interruptions of supply voltage:						
Res. voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 1	1 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60	t > 60
90 ≥ u ≥ 80	30	2	2	3	0	0
80 ≥ u ≥ 70	3	0	0	0	0	0
70 ≥ u ≥ 40	1	0	0	0	0	0
40 ≥ u ≥ 5	0	0	0	0	0	0
5 ≥ u	0	1	0	3	2	0
Supply voltage swell:						
Voltage u (%)	Duration (s)					
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 ≤ t ≤ 5	5 ≤ t ≤ 60			
u ≥ 120	0	0	0			
120 ≥ u ≥ 110	0	0	0			

PB'de kesinti sayısının DC'den fazla olduğu, bunların biri haricinde diğerlerinin fabrikadan kaynaklandığı, olay anı karşılaştırmalarından görülebilmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretim kalitesinin birincil koşulu fabrika giriş enerjilerinin kaliteli sağlanmasıdır. Kaliteli enerji aynı zamanda işlerin doğru yapılmasını ve sistem elemanlarının zarar görmesini engelleyecektir. Şişecam Topluluğunun izlemesi yapılan noktalardaki verilerin ortak akılla değerlendirilmesi sonucu sistemlerin iyileştirilmesine olanak yaratılmış olacaktır.

Bu çalışmada, orta gerilim seviyesinden bağlanan özel sektör santrallerinin bağlantı noktasındaki şebeke olaylarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Farklı bölgelerdeki çeşitli zaman dilimlerinde alınan gerçek verilere dayanan veriler incelenmiştir.

Veriler sonucu, orta gerilim sisteme bağlanan fabrikalarımızın çeşitli bozucu şebeke olaylarına maruz kaldığı görülmektedir. Bunun için dağıtım şirketlerinin de istatistiki veriler üzerinden olumsuzluğu verilen olaylara karşılık, güvenilirliği arttırmaya, şebekedeki arıza oranlarını düşürmeye, güç kalitesinin artmasına yönelik özel sektör işbirliğiyle iyileştirmeye gitmesi önem arz etmektedir. Bu, gerek enerji sağlayıcısına ve gerekse de baradan beslenen tüketicilere olumlu yansıtacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bollen M. H. J., IEEE Press Series on Power Engineering, 1, IEEE, New York, 2000.
- [2] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, European Norm, Brussels, 2000.
- [3] IEEE 1159, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1995.
- [4] IEEE 1250, Guide for service to equipment sensitive to momentary voltage disturbances, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1995.
- [5] <http://www.elspec-ltd.com/PQInvestigator>



## OXY - FUEL BOROSİLİKAT CAM FIRINI BACA GAZI ARITMA TESİSİ PROJESİ



**Barış Orhan**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Ergitme Teknolojileri ve  
Mühendislik Direktörlüğü  
borhan@siseecam.com

**Erkul Efendiler**  
Şişecam  
Topluluğu, Paşabahçe  
Cam Sanayii ve Ticaret  
A.Ş. Kırklareli Fabrikası  
efendiler@siseecam.com

19 Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 1998 yılında lisans derecesini almıştır. Bir çevre danışmanlık firması ve Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.'de toplam 4 sene çalıştıktan sonra 2003 yılından itibaren Şişecam'da çalışmaya başlamıştır. Araştırma ve Teknolojik Geliştirme Başkanlığı'na bağlı Ergitme Teknolojileri ve Mühendislik Direktörlüğü'nde Yönetmen Uzman Çevre Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

### ÖZET

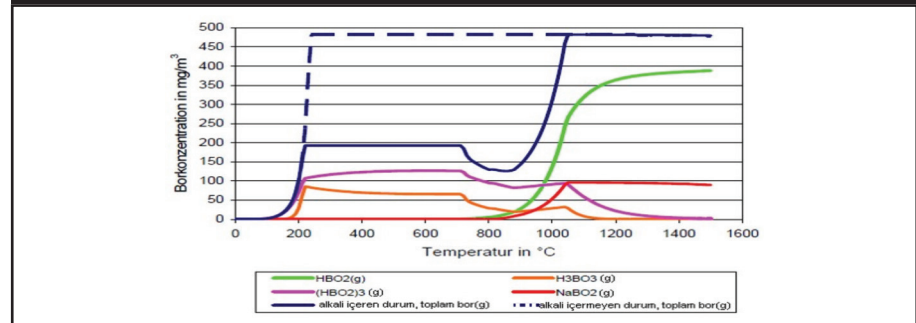
Borosilikat cam ev eşyası ürünleri üretilen Paşabahçe Cam Sanayi A.Ş. Kırklareli Fabrikası E fırınında yakma havası olarak oksijen kullanılmakta ve 1600 °C gibi yüksek sıcaklıklarda cam üretimi gerçekleştirilmektedir. Teknolojik olarak konvansiyonel cam fırınlarından farklı olan üretim tekniği neticesinde fırından kaynaklanan baca gazı emisyonları da farklılık göstermektedir. Özellikle yüksek toz ve asidik gaz içeriğinin yanı sıra, harmana borlu bileşiklerin katılması sebebiyle atık gazda borlu bileşikler ile borik asit oluşumu söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte toz tutucu filtre sistemleri kullanıldığı hallerde bile; baca gazında yer alan borlu bileşikler ile asit borik buharlarının filtre sonrasında yoğunlaşması sonucu baca çıkışında tozuma görülebilir olmaktadır. Baca gazı emisyonlarının bertaraf edilmesi amacıyla literatür taraması, emisyon karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi ve en uygun arıtma teknolojisinin seçilmesi amacıyla yürütülen çalışmalar ve neticesinde Paşabahçe Kırklareli fabrikası borcam fırınına arıtma tesisi projelendirilmiş olup Nisan 2013'te devre alınmıştır. Proje kapsamında baca arıtma sistemi atıklarının fırına geri beslenmesi konusunda yürütülen çalışmalar neticesinde çıkan atıkların tamamı fırına geri beslenmektedir. Bu sayede hem atıkların çevreye olan olumsuz etkileri minimize edilmiş hem de atık bertaraf bedeli ödenmeyerek ekonomik fayda sağlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Cam fırını baca gazı emisyonları, birincil önlemler, baca gazı arıtma tesisi tasarım kriteri, enerji geri kazanım tesisleri, borik asit emisyonu

## 1. LİTERATÜRDE YER ALAN TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Gaz fazındaki Bor emisyonları, camın alkalilik (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) içeriğine göre değişir. Yüksek alkali içeriği olan camlarda alkali özellik taşıyan elementlerle yapılan bileşiklerin kısmi buhar basıncı, bor bileşikleri kısmi buhar basıncından daha yüksektir. Bu sebeple borlu bileşiklerin buharlaşması daha düşük olurken, alkali içeren toz emisyonları yüksek seviyelerde seyretmektedir. Bunun bir diğer sebebi ise sodyum borat emisyonlarının artış göstererek gaz fazı geçişlerini sınırlaması ve bir reaktif gibi davranarak gaz fazını yüzeylerinde tutmasıdır. Ters bir durum olarak alkali oranı sıfır seviyelerinde olan cam fırınlarında toz fazında bor emisyonunun çok az bulunduğu, gaz fazında bor emisyonlarının ise çok yüksek olduğu görülmektedir.

Grafik 1: Gaz fazındaki bor emisyonları ve sıcaklık değişimi\*



- Harmanda alkali içeriği bulunan durumlar (mevcut durumumuz % 4,6 alkali içermektedir.) için bor emisyonlarının sıcaklıklara göre faz değişimine ait genel bilgi aşağıda verilmektedir:

√ 0 - 100 °C sıcaklıklarda katı fazda bulunmaktadır.

√ 100 - 230 °C sıcaklıklarda katı ve gaz fazlarda bulunmaktadır.

√ 230 - 800 °C sıcaklıklarda katı sıvı ve gaz fazlarda bulunmaktadır.

√ >800 °C sıcaklıklarda sıvı ve gaz formunda bulunmaktadır.

- Gaz bileşimindeki yüksek oranda bulunan CO, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O parametrelerinin gaz fazındaki bor emisyonunu arttırdığı görülmüştür.
- Yüksek sıcaklık bölgelerinde (>700 °C) gaz fazındaki bor emisyonlarının bertarafı açısından sodyumlu reaktiflerin verimi kalsiyumlu reaktiflere göre daha yüksek olmuştur.
- Yapılan çeşitli denemelerde gaz fazındaki bor emisyonunun %91 verimle azalmış olmasına rağmen, baca çıkışında oluşan tozuma görünümünün engellenemediği durumlar ile karşılaşmıştır.
- (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+Li<sub>2</sub>O) / B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <1 ve nemli atmosferde boron bileşikleri metaborik asit olarak buharlaşır (E fırını mevcut durumudur).
- B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (m) + H<sub>2</sub>O (g) → 2HBO<sub>2</sub> (g)
- Baca gazının yüksek SO<sub>2</sub> ve HF içeriği gaz fazındaki bor emisyonu konsantrasyonu oluşumunu arttırmakta ve gaz fazındaki bor emisyonlarının bertarafı amacıyla enjekte edilecek olan reaktif malzemenin miktarının da artmasına sebep olmaktadır. HCl parametresinin aynı etkiyi göstermediği belirtilmektedir.

## 2. BACA GAZI ARITMA SİSTEMİ ÖZELLİKLERİ

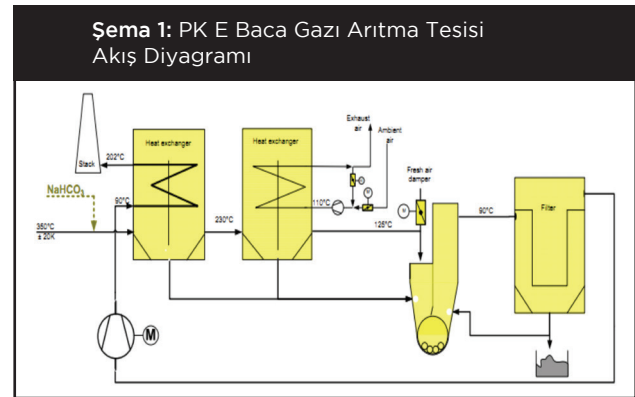
Baca gazı arıtma sisteminde filtreden çıkacak atıkların üretimde geri kullanım olanağının oluşturulması ve bertaraf maliyetlerinin azaltılması maksadıyla NaHCO<sub>3</sub> sisteminin kurulması kararlaştırılmıştır.

Proses Açıklaması:

Baca gazı arıtma tesisi 8 kademedен oluşmaktadır (bkz. Akış Şeması 1)

1. NaHCO<sub>3</sub> enjeksiyonu 350 °C (1. Atık ısı kazanı öncesinde)
2. Atık ısı kazanı 1: Temizlenmiş atık gaz / kirli atık gaz ısı dönüştürücü 350----230 °C
3. Atık ısı kazanı 2: Temiz hava /atık gaz ısı dönüştürücü metoduyla baca gazının soğutulması (230----125°C)
4. Hava seyreltmesi 125 °C----90 °C
5. Reaktör: HCl ve bor emisyonlarının bertarafı (90 °C)
6. Reaktöre atık toz geri besleme ünitesi
7. Torbalı toz tutucu filtre ile partikül maddelerin giderimi (90 °C)
8. Temiz atık gazın 1. Atık ısı kazanına bağlanarak sıcaklığının artırılması ve bacaya bağlanması (90----202 °C)

\* HVG Schlussbericht zumAiF - Forschungsvorhaben Nr. 14791 raporundan alınmıştır.



## 3. PERFORMANS SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Kirletici atık gaz ve partikül madde değerleri oldukça yüksek olan E fırınında arıtma tesisi çıkışında talep edilen değerler dikkate alındığında hesaplanan arıtma verimi partikül madde için ortalama olarak % 99,7, HCl için % 97,3 ve gaz fazındaki bor bileşikleri için % 99 olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** PM, HCl ve gaz fazındaki Bor emisyonları ölçüm sonuçları

Tarih	Ölçüm Noktası	Partikül Madde (kg/saat)	HCl (kg/saat)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Gaz) (kg/saat)
31.07.2013	Giriş	35,30	2,52	7,20
	Çıkış	0,002	0,06	0,18
	Aritma Performansı	100%	99%	98%
01.08.2013	Giriş	35,10	4,40	9,80
	Çıkış	0,027	0,05	0,36
	Aritma Performansı	100%	99%	96%
02.08.2013	Giriş	35,30	4,49	8,60
	Çıkış	0,002	0,05	0,50
	Aritma Performansı	100%	99%	94%
13.08.2013	Giriş	32,60	2,82	7,60
	Çıkış	0,007	0,04	0,53
	Aritma Performansı	100%	99%	93%
14.08.2013	Giriş	31,40	3,00	5,50
	Çıkış	0,001	0,05	1,05
	Aritma Performansı	100%	98%	81% *

\* İşletme sıcaklığındaki geçici artış sebebiyle arıtma veriminde düşüş yaşanmıştır.

**Fotoğraf 1:** Arıtma öncesi ve sonrasında baca görüntüleri



#### 4. SONUÇ

Performans ölçümleri sonucunda elde edilen sonuçlara göre seçilen arıtma prensibi ve tesis tasarımının başarılı olduğu görülmektedir.

- Arıtma tesisinin partikül madde emisyonu arıtma verimi %99,7'dir.
- Arıtma tesisinin HCl emisyonu arıtma verimi %97,3 seviyelerindedir.
- Arıtma tesisi sonrasında baca çıkışında tozuma (plume) görüntüsü olmadığından sağlanan gaz fazındaki bor emisyonları arıtma verimi başarılı bulunmaktadır.

**Tablo 2.** Arıtma tesisi toplam tüketimler ve yıllık işletme maliyeti

Toplam Tüketimler	Filtre	Parametre	Maliyet (Euro/Yıl)
Absorbant Madde (kg/h)	40	Absorbant Madde	70.080
		Elektrik	98.112
Elektrik (Kwh/h)	160	Basınçlı Hava	2.313
		Katı Atık Bertarafı	86.461
Basınçlı Hava (Nm <sup>3</sup> /h)	30	Toplam İşletme Maliyeti	256.966
		Gerici Dönüşümlü Maliyet	170.505*
Atık Miktarı (kg/h)	70	* Katı atığın tamamı fırına geri beslendiğindeki maliyet değeridir.	

## INVESTIGATION OF EFFECTS OF GRINDING MEDIA SHAPES TO THE GRINDING EFFICIENCY IN BALL MILLS



**Fatih Dökme**  
Şişecam Topluluğu,  
Kimyasallar Grup  
Başkanlığı, Soda Sanayi  
A.Ş. Kromsan Fabrikası  
fdokme@sisecam.com

2002 yılında Tarsus Abdülkerim Bengi Anadolu Lisesi'nden, 2007 yılında Mersin Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden lisans derecesiyle mezun olmuştur. 2005-2006 öğretim yılında İspanya Valensiya Politeknik Üniversitesi tasarım fakültesinde öğütme ekipmanları tasarımı eğitimi almıştır. 2013 yılında Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden yüksek lisans derecesiyle mezun olmuştur. Halen aynı üniversitede İmalat Mühendisliği A.B.D.'de doktora öğrencisi olarak eğitimine devam etmektedir. 2008 yılından beri Şişecam Kimyasallar Grubu Soda Sanayi A.Ş.'de mekanik bakım onarım mühendisi olarak görev yapmaktadır. İleri seviyede İngilizce ve orta seviyede İspanyolca dillerini bilmektedir. Hakemli/hakemsiz dergilerde yayımlanmış teknik makaleleri ve çeşitli edebiyat yarışmalarında ödülleri vardır.

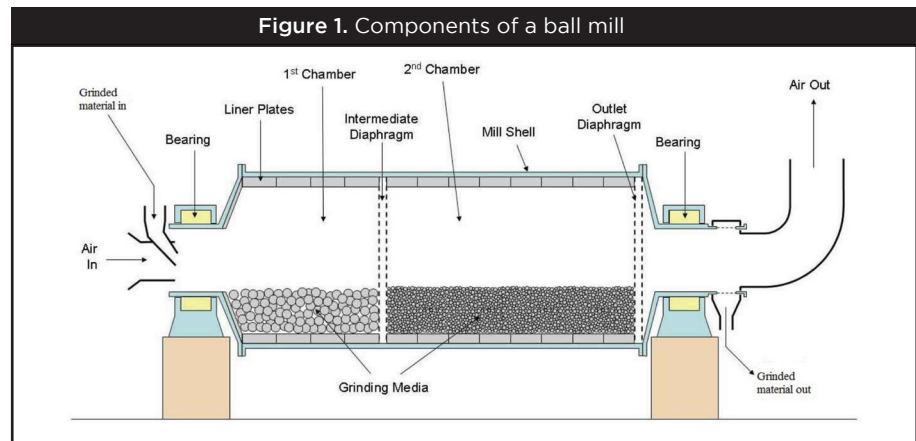
### ABSTRACT

Ball mills are equipments which has balls as grinding media and used last step of grinding process. There are many factors which effect grinding performance of ball mills like liner design, speed, charge ratio, grinding media distribution, grinding media shapes. Grinding media directly affect the load behavior and consequently the operations of industrial mills in terms of product size, energy consumption and grinding costs. In general spherical shaped balls are selected for ball milling process. But because of abrasion by milling process ball shapes may change. In some applications non- spherical shaped balls can select directly. This study which aimed for investigation of ball shapes effect to grinding performance has two different experimental media. First experiment achieved by traditional spherical balls where the second experiment achieved by promiscuous shaped balls. By considering power consumption and product size datas obtained from experiments were considered and explained the effects of media shapes to the grinding efficiency.

**Keywords:** Grinding, Ball mill, Media shapes, Efficiency

### 1. INTRODUCTION

The efficiency of grinding depends on the surface area of the grinding medium. Grinding in a ball mill is effected by contacts between ball and ore particles. The angle of nip is important and ball sizes must be carefully chosen in relation to the largest and hardest particles in the feed [1]. In Figure 1. components of a ball mill was shown.



## 2. EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND METHOD

Alternative shapes to balls have been suggested to reduce the grinding costs and increase the milling efficiency. In Figure 2. it was shown that some shapes of grinding medias. However, the spherical balls which are predominantly used in ore grinding change shape through breakage and wear. They can even break during the grinding process. The movement of these irregularly shaped components through the mass of the charge is believed to differ significantly from the behavior of initial grinding media shapes. Additionally these worn balls experience surface and linear contacts with each other, while spherical ones have only point contact interactions. The breakage is then done with a mixture of grinding media of different shapes rather than with a defined single shape of media [2]. It is long believed that a load comprised of a different media shape other than spherical balls might influence the performance of a tumbling mill through variations in load behavior, charge segregation and power drawn by the mill as well as the breakage kinetics. The extent of this influence has not yet been established. It is long believed that a load comprised of a different media shape other than spherical balls might influence the performance of a tumbling mill variations in load behavior, charge segregation and power drawn by the mill as well as the breakage kinetics. The extent of this influence has not yet been established. Even with the very little done toward studying media shape effects [3, 4, 5], all efforts have exclusively been focused on breakage rate, ignoring other parameters defining mill performance such as load behavior and mill power. This paper investigates the influence of different media shapes on the load behaviour and power drawn by the mill as a function of mill filling and speed [6].

**Figure 2.** Common grinding media shapes for ball mills.



For experiments we produced a ball mill with the shell dimensions of 550 mm inner diameter and 1,330 mm length. Figure 3. shows manufacturing steps of experimental ball mill. Drive system designed as pinion-gear system. Feeding system designed as batch working. Liner dimensions defined for 4 row in ball mill, and 8 liner for each row. As total 32 liner plates mounted in ball mill. Mill speed was selected 72% of critical speed, which is about the speed most mills are operated [7].

**Figure 3.** Snapshots from manufacture steps of experiment media



A pre-study was made for defining experiments duration. According to this pre-study, mill was operated with spherical balls for 30 minutes and after particle size analysis was made. Then mill was operated for second 30 minutes and analysis was made. After 180 minutes particle analysis showed that there was no change. There for experiment duration defined as 180 minutes.

For feeding ratio it is selected % 30 volume of ball mill. This equals to 235 chromite kg per batch. 2 types of grinding media was selected. Three experiments studied with spherical balls, and three experiments studied with non-spherical worn balls. Each media shape results are average results of these three experiments. During experiments time specific and average power consumptions was collected. At the end of the experiments, particle sizes were analyzed. In Table 1. experimental details was given.



Mill	Inner diameter (D), mm Length, mm Volume, dm <sup>3</sup> Critical speed (Nc), rpm Mill speed, rpm	555 1300 314.34 57,3a 40
Media (spherical balls)	Material Diameter range (d), mm Specific gravity(kg/m <sup>3</sup> ) Voidage Filling ratio (%) Filling weight (kg)	Alloy steel 10-20 (max. 20)b 7.850 0,4 25 203 <sup>c</sup>
Media (non-spherical worn balls)	Material Diameter range (d), mm Specific gravity Voidage Filling ratio (%) Filling weight (kg)	Alloy steel 10-22 7.850 0,36 25 216 <sup>c</sup>
Grind material	Material Specific gravity (kg/m <sup>3</sup> ) Humidity (%) Maximum particle size, mm	Chromite ore 4500 1 2

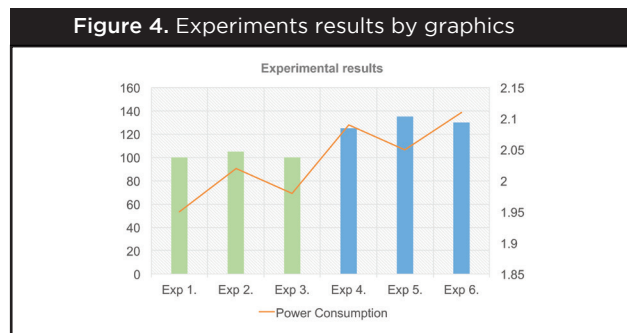
<sup>a</sup> Calculated from  $A = 42,3 \sqrt{D}$

<sup>b</sup> Calculated from  $A = 20,17 \sqrt{D} \times 3 \times \sqrt{G} \times \phi \times \sqrt{A}$

<sup>c</sup> Calculated from  $A = (A \times A \times 2,4) \times A \times A \times D$

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Experiments result are given in Figure 4. and Table 2. In Figure 4. green columns are results for spherical balls and blue columns are for worn balls. Each media types were considered for evaluation of average results. Therefore particle size and power consumption for spherical balls determined respectively as 102 Qm and 1,98 kw. Ditto for worn balls, particle size and power consumption determined respectively as 130 Qm and 2,08 kw.



Exp. No	Particle Size (Qm)	Power Cons. (kw)
1	100	1,95
2	105	2,02
3	100	1,98
4	125	2,09
5	135	2,05
6	130	2,11

As it can be seen from the results grinding media shape effect particle size and power draw for ball mills. Spherical balls have nearly %27 finer product than worn balls. Also there are nearly 5 % difference for power consumption between spherical and worn balls. In these experiments worn balls selected as fully worn. But generally processes have worn and spherical balls together as mixture. Experiment may studied by a mixture media which have worn and spherical balls.

### 4. CONCLUSION

Experiments results shows that grinding media shapes has effect on grinding efficiency. In ball mill processing balls defected after specific working hours. Thus grinding media shapes worn. This situation effect product size namely grinding efficiency. This may because of worn balls prevent grinding chamber and reduce grinding surfaces compared with spherical balls. Another effect is power consumption raise with worn balls. This means worn balls should remove from grinding media in certain periods. There are some other experiment parameters like variable milling speed, liner profiles, filling ratio. These parameters should be added for this study to get more comprehensive informations.

### REFERENCES

- [1] Lameck, N.N.S., 2006. Effects of grinding media shapes on ball mill performance. Master of Science in Engineering University of the Witwatersrand, Johannesburg South Africa, 18-38.
- [2] Kalumba, P.S., Moys, M.H., 2014. Effects of mixtures of grinding media of different shapes on milling kinetics. Minerals Engineering 61, 40-46.
- [3] Herbst, J.A., Lo, Y.C., 1989. Grinding efficiency with balls or cones as media. International Journal of Mineral Processing 26, 141-151.
- [4] Yildirim, K., Austin, L.G., Cho, H., 1998. Mill power for smooth-lined mills as a function of media type and shape. Fine Powder Processing Technology, 69-79.
- [5] Shi, F., 2004. Comparison of grinding media-Cylpebs versus balls. Minerals Engineering 17, 1259-1268.
- [6] Lameck, N.S., Kiangi, K.K., Moys, M.H., 2006. Effects of grinding media shapes on load behaviour and mill power in a dry ball mill. Minerals Engineering 19, 1357-1361.
- [7] Cleary, P.W., 2001. Charge behaviour and power consumption in ball mills: sensitivity to mill operating conditions, liner geometry and charge composition., International Journal of Mineral Processing 63: 79-114.

## TRAKYA CAM SANAYİ A.Ş. MERSİN-TARSUS FABRİKASI TR4 FLOAT FIRINI 1. KAMPANYA SONU GÖZLEM VE İNCELEMESİ



**Burak İzmirlioğlu**  
**Şener Yılmaz**  
**Melih Üstün**  
Şişecam Topluluğu,  
Araştırma ve Teknoloji  
Geliştirme Başkanlığı,  
Malzeme Analiz ve  
Karakterizasyon  
Müdürlüğü

*bizmirlioglu@sisecam.com*  
*syilmaz@sisecam.com*  
*mustun@sisecam.com*

**Kemal Dinçdölek**  
Şişecam Topluluğu,  
Düzcamlar Grup Başkanlığı,  
Temel Camlar Üretim  
Başkan Yardımcılığı  
*kdincdolek@sisecam.com*

*Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü'nde 1998 yılında bitirdikten sonra Yüksek Lisans çalışmasını Şişecam ile İ.T.Ü. arasında üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde yarı zamanlı mühendis olarak "Rejeneratör Refrakterlerine Testler" konusuyla 2001 yılında tamamlamıştır. 2001-2003 yılları arasında Trakya Cam San. A.Ş. Trakya Fab.'nda İşletme Mühendisi olarak çalışan Burak İzmirlioğlu, 2003 yılında Şişecam Cam Araştırma Merkezinde Araştırma Mühendisliğine başlamıştır. Burak İzmirlioğlu ŞİŞECAM Bilim ve Teknoloji Merkezi'nde Yönetmen Uzman Araştırmacı olarak çalışmaktadır.*

### ÖZET

Cam fırınlarının yapımında ve tamirinde, refrakter maliyetleri önemli bir paya sahiptir. Ancak, fırın kampanya sürelerinin uzaması ile bu maliyetleri kompanse edebilmek mümkündür. Bu nedenle, en başta doğru refrakter malzemeyi seçebilmek en kritik ve önemli noktadır. Refrakter kalitesinin yanı sıra hammadde seçimi ve izabe koşulları refrakterin hata verme potansiyelini ve ömrünü etkilediği görülmekte olup gerek kaliteli cam üretimi gerekse uzun kampanya süreleri için refrakter, hammadde ve işletme şartlarının uyum içerisinde bulunması şarttır. Fırın kampanya sonu incelemeleri yeni kampanyalar için yapılan fırın tasarımlarında da yönlendirici rol oynayan faydalı bir çalışmadır.

Trakya Cam San. A.Ş. Mersin Fabrikası TR4 fırını 2000 - 2015 yılları arasında yaklaşık 15 yıllık üretim süresi ile Şişecam Topluluğu cam üretim fırınları arasında en uzun kampanya süresi ile bir rekor kırmıştır. Bu uzun süreçte renksiz üretimin yanı sıra bronz, füme ve mavi gibi renkli üretim de yapan TR4 fırını dinlendirme havuzunun bir sonraki kampanyada kullanılacak olması sebebiyle kontrollü soğutulmuş, bu soğutma rejimi fırının rahat bir şekilde incelenmesi için olanak sağlamıştır.

Bu "fırın kampanya sonu çalışması"nda (post mortem) ağırlıklı olarak düzcamlar fırınlarında kalite kayıplarına neden olabilen A duvarı, ergitme havuzu üst yapı ve alevsiz bölge üstyapı refrakterlerinden alınan örnekler üzerinde incelemeler yapılmış, tespit edilen dönüşümler cam hataları ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca rejeneratörlerden alınan örneklerin faz dönüşümleri tespit edilerek refrakterlerde oluşan bozunmaların sebepleri araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Refrakter, Cam Ergitme Fırını, Elektrodöküm, AZS

### 1. GİRİŞ

Trakya Cam San. A.Ş. Mersin Fabrikası TR4 fırını 2000 yılı Şubat ayında devreye alınarak üretime başlamış olup, 2015 yılı Ocak ayında kampanyasını tamamlamış ve soğutulmuştur. TR4 fırını ilk kampanyası yaklaşık 15 yıllık üretim süresi ile Şişecam Topluluğu cam üretim fırınları arasında en uzun kampanya süresi ile bir rekora imza atmıştır.

Renksiz üretimin yanı sıra bronz, füme gibi renkli üretim de yapan TR4 fırınına kampanyası sırasında bubbler yerleştirilmiştir. Son yıllarında sadece renksiz üretim yapmış olan fırında yan bloklara 4. takviyeler atılmış olmasına rağmen 600 t/g üzerine çıkılmadığı dönemlerde %90 randımanlarla çalışmıştır.

Dinlendirme havuzunun yeni kampanyada kullanılacak olması sebebiyle kontrollü soğutulan fırında 07.01.2015 tarihinde kampanya sonu incelemeleri yapılmış, ergitme havuzu ve rejeneratörlerden alınan numuneler incelenmiştir.

## 2. GÖZLEMLER VE İNCELEMELER

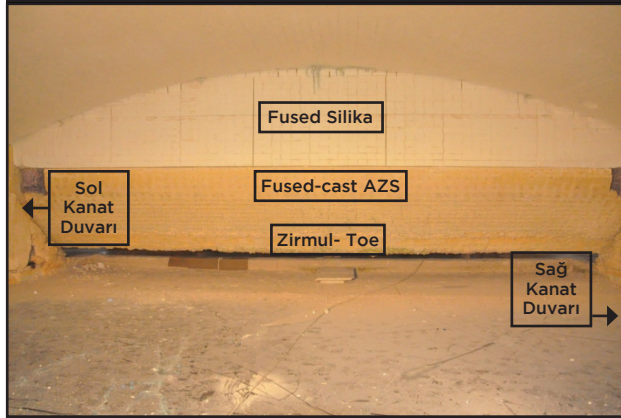
### 2.1. A DUVARI

A Duvarı fused silika refrakterlerin bozulmamış olduğu görülmüştür.

Fused-cast AZS refrakterlerin sol ve sağ üst köşelerinin kırılıp döküldüğü, arkasındaki izolasyon refrakterlerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca refrakter yüzeylerinde; harman bileşiminde bulunan dolomitin tozuması sonucu spinel kristallerinin geliştiği belirlenmiştir. Cam üretiminde sıklıkla olmasa da zaman zaman spinel hataları ile karşılaşmaktadır.

A Duvarının en alt sırasında kullanılan bonded AZS (Toe-Zirmul 57 C) refrakterlerinin oldukça aşındığı ve kabuklanmaların olduğu görülmüştür. Bu durum; harmanda bulunan karbonatlı bileşiklerin, özellikle kalker ve sodanın refrakterin yapısında bulunan alümina (korund) ile etkileşerek anortit - anortoklas gibi daha düşük ötektik sıcaklıklarda oluşan (-1100 - 1200 °C ) yeni fazların ortaya çıkmasından ileri gelmektedir. Üretim sırasında harman örtüsü üzerine dökülebilen bu kabuklar, cam ergiyiği içinde kolay çözünse de bozunmaya uğramayan iri korund kristalleri ergitilemediği için camda hata olarak (alüminöz malzeme) gelerek cam kalitesini etkilemektedir.

Şekil 2.1. A Duvarında kullanılan refrakterlerin yerleşimi: En alt sıra Zirmul; orta sıra fused-cast AZS; en üst sıra fused silika'dır.



### 2.2. KANAT DUVARLARI VE 0. PORT

Sol kanat duvarının oldukça fazla korozyona uğradığı; sağ kanat duvarının ise kırılıp dökülmüş, arkadan kapatıldığı görülmüştür. Buralarda kullanılan fused-cast AZS refrakterin yüzeyinde spinel ve anortit kristal oluşumlarına rastlanılmıştır.

Sağ ve Sol 0. Port üstyapı ve sakaltaşı AZS refrakterde nefelin oluşumlarına rastlanılmıştır. Harman tozuması sonucu, özellikle harmandaki sodanın etkisi ile AZS refrakterlerde oluşan bu nefelin fazının kampanya sürecinde dönem dönem silika tozuma hatalarının oluşmasında da etkili olan bir olumsuzluk yarattığı anlaşılmaktadır. Silika tozuma hataları, özellikle 0. Port AZS refrakter yapı üzerine harman tozuması etkisi ile oluşan, etrafında AZS refrakter kompozisyonunda düşme ve çekirdek kısmında kuvars taneleri bulunan bir hata türüdür.

### 2.3. SAĞ-SOL 1. PORTLAR

Sağ ve Sol 1. Port üst yapısında AZS refrakterlerin tamamen korozyona uğradığı, tabakalar halinde dökülmeler olduğu yoğun bir aşınmanın izleri görülmüştür. Sakal taşları kampanya sürecinde dökülmüş, sakal taşı pilatinalarının açığa çıkıp yandığı tespit edilmiştir. Kampanya sürecinde sakal taşı pilatinalarının yanması ile cama dökülen parçaların metal kirliliği v.b. hatalara sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Sağ 1.Portun tabanının rejeneratör port geçiş kemerinden dökülen süngerleşmiş AZS parçaları ile dolmuş olduğu görülmüştür. Port tabanında serbest halde bulunan AZS partikülleri de yakma havası ile fırın içine taşınıp AZS1 hatalarına sebebiyet verebilecek durumda olduğu görülmüştür.

### 2.4. SAĞ-SOL 2. PORTLAR

Sağ ve Sol 2. Port üstyapısının yoğun korozyona uğradığı, aşındığı, cama dökülmelerin olduğu görülmektedir. Sağ port altındaki tüm sakal taşlarının kırılıp döküldüğü, kalan parçaların üzerinde ise sarkıtlar olduğu görülmüştür. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ZrO<sub>2</sub> bakımından zengin bu sarkıtların cama teması bu bileşenlerce zengin düşme/damar hatalarına yol açmaktadır. Yan bloklarda 4. takviye atılsa da camın 3. takviye ile temas halinde olduğu görülmüştür. Sol port altındaki tüm sakal taşlarının kırılıp döküldüğü, sakal taşı platinlerinin da yandığı görülmüştür.



## 2.5. SAĞ-SOL 3. PORTLAR

Sağ ve Sol 3.port üstyapısının süngersi dokuya dönüşmüş olduğu, kemerden akan silika sarkıtlarının üstyapı üzerinde kanallar açtığı ve korozyonu tetiklediği görülmüştür. Port geçiş kemerinde ve port tabanında oldukça fazla AZS akıntıları ve birikintileri bulunmaktadır. Sakal taşlarının da tamamının kırılmış olduğu ve sakal taşlarından sarkıtlar oluştuğu belirlenmiştir. Bu sarkıtların düşme, damar ve sekonder AZS hatalarına sebep olduğu düşünülmektedir.

## 2.6. SAĞ-SOL 4. PORTLAR

4. Port üstyapısının (sağ ve sol) yoğun aşındığı, süngersi bir dokuya sahip olduğu görülmüştür. 4. port silika kemer akıntılarının en yoğun olduğu porttur. Ayrıca, port geçiş kemerlerinde yoğun aşınmalar ve port tabanında port kemerinden dökülmelerin yüksek miktarda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise bu bölgenin fırın sıcak noktasına en yakın port olup enversiyon sebebi ile oluşan ısıl döngüde en yüksek  $\Delta T$ 'ye maruz kalmasıdır. Yan bloklarda ise 4. krom takviyelerin dahi yoğun bir şekilde aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir.

Şekil 2.2 (a) 4.port görüntüsü (L)



Şekil 2.2 (b) 4.port görüntüsü (R)



## 2.7. SAĞ-SOL 5. PORTLAR

5. Port üstyapıda kullanılan (sağ ve sol) elektro döküm  $\alpha\beta$  alümina refrakterlerin (Jargal) fırına bakan yüzeylerinde (sıcak kısım) harman bileşenlerinde safsızlık olarak bulunan demirin ( $Fe_2O_3$ ) etkisi ile rengin pembeye döndüğü görülmüştür. Ayrıca, Jargal refrakterlerde aşınma ve tabaka tabaka dökülmeler görülmüş olup rejeneratör geçiş kemerinden sarkıtlar oluşmuş olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanısıra AZS sakal taşlarının oldukça geriden kırılmış olduğu, yan bloklarda ise 4. Takviyeler atılma da 2. ve 3. Takviyelerin tamamen cama girmediği görülmüştür.

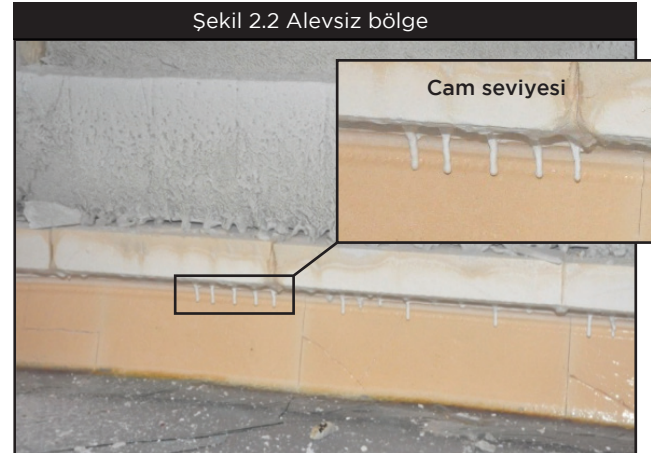
## 2.8. SAĞ-SOL 6. PORTLAR

6. Portlarda üstyapı fiziksel olarak sağlam görünmektedir. Sakal taşlarının port altında kırılmamış ancak süngerleşmiş olduğu ve akıntıların buralarda diğer portlara göre oldukça az olduğu görülmüştür. Yan blok krom takviyelerin sağlam olduğu, arkasında AZS yanblokların kaldığı görülmektedir.

## 2.9. ALEVSİZ BÖLGE

Alevsiz bölgede üst yapının oldukça az aşındığı görülmektedir. Kampanya boyunca TR4 fırınında frost hatası ile ilgili herhangi bir olumsuzluk yaşanmamış olmakla birlikte üst yapının son 5 metresinde sınırlı frost oluşumları gözlemlenmiştir. Sakal taşı üzerindeki silika akıntılarının, AZS yanbloklar üzerine teması ile yanblokları deldiği görülmüş olup özellikle alevsiz bölgenin son 10 m.si ile B duvarı altında bu oluşumlar dikkat çekmiştir. Ayrıca, Alevsiz bölge yanbloklarda cam seviyesi üzerinde, özellikle son 10 m, sarkıtlar oluşmuş olup "şemsiye" adı verilen bu sarkıtların cam seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu oluşumların düşme ve damar hatalarına sebep olduğu düşünülmektedir.

Şekil 2.2 Alevsiz bölge



## 2.10. B DUVARI

B duvarının tek parça halinde olduğu görülmüş; duvardaki çatlaklar ise fırının soğutulması sırasında oluşmuştur. B duvarında bulunan gözetleme deliklerinin altındaki gözetleme taşı ve bunun altında bulunan silika refrakterin çok yoğun aşındığı görülmüş olup bu aşınmalar gözetleme deliklerinin açık bırakılması sonucu fırın içerisine hava girişi ile oluşmuştur.

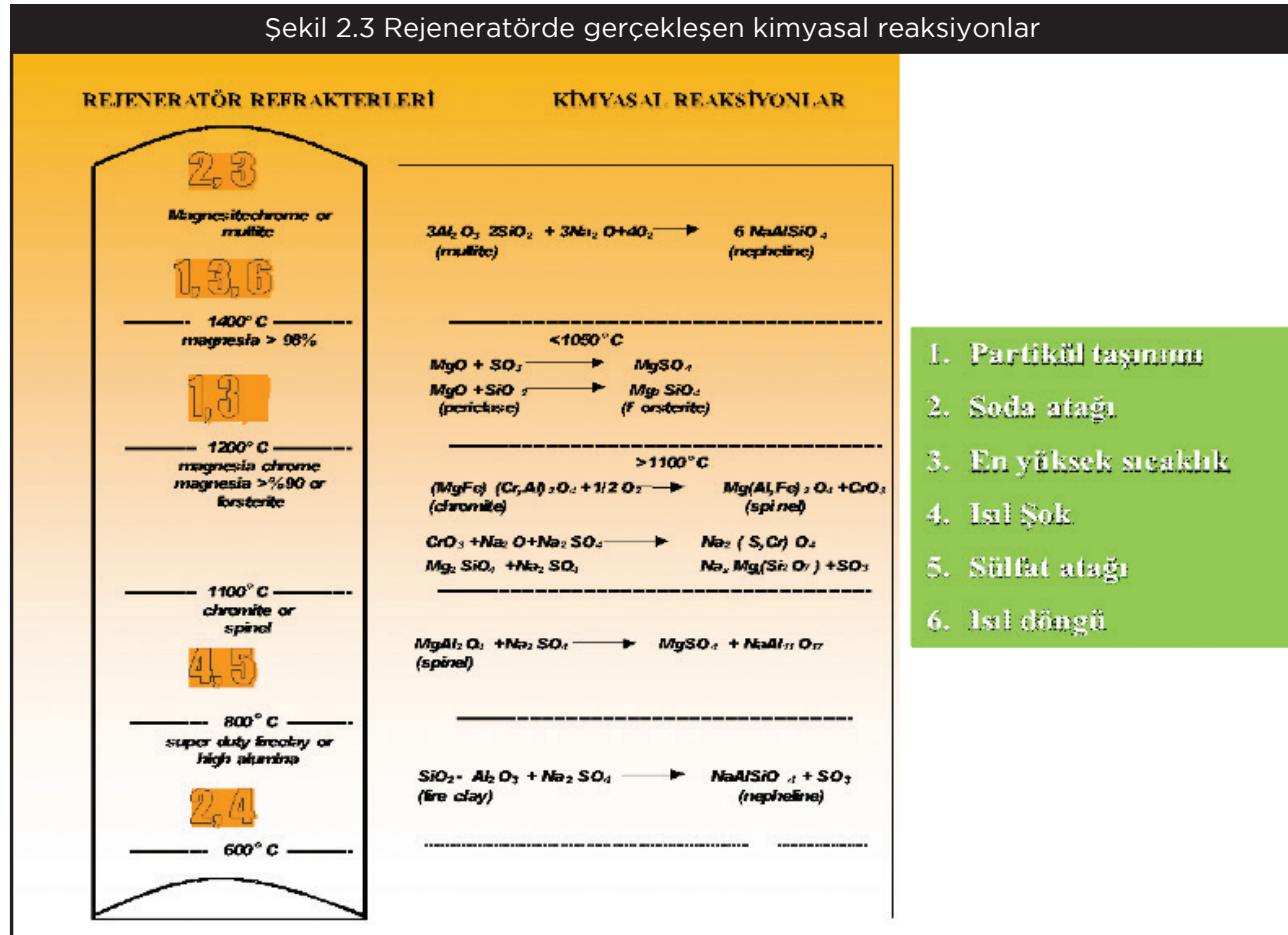
## 2.11. REJENERATÖRLER

Rejeneratör üst sıra dolguları ile duvarlarından alınan numunelerinin faz analizlerinde; Spinel, Forsterit, Sodyum Alüminyum Silikat, Kalsiyum Fosfat Silikat, Kalsiyum Alüminyum Oksit, Kalsiyum Alüminyum Silikat, Gehlenit, Grossit, Nefelin ve Sodyum Magnezyum Alüminyum Oksit major fazları tespit edilmiştir. Harman bileşenlerinin (partikül

taşınması, soda ve sülfat atağı mekanizmaları ile) AZS ve alümina refrakter dolgular üzerindeki etkileri sonucu oluşan bu fazlar, söz konusu refrakterlerde yapısal değişikliklerin olduğunu göstermektedir. Bu yapısal değişiklikler sonucu, refrakterlerde korozyon, parçalanma ve dökülmeler meydana gelmektedir.

Rejeneratör numunelerinin kimyasal analizlerinden (EDS analizleri), 1 ve 2. Portlarda özellikle MgO ve CaO miktarının yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek toprak alkali değerleri, harmandaki kalker ve dolomit tozmasının bu portlarda daha fazla etkili olduğunu ve rejeneratörlere taşınarak biriktiğini göstermektedir.

Şekil 2.3 Rejeneratörde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar





### 3. SONUÇ

Fırın refrakterlerinde yapılan gözlemler ve incelemelerde, cam temas (yanblok) refrakterleri hariç fırın üstyapı refrakterlerinin, kampanya süresi (~ 15 yıl) göz önüne alındığında, kötü durumda olduğu söylenememektedir. Bu süre zarfında, cam temas refrakterlerinin tamamen aşınması ve birden fazla takviye atılması normal karşılanması gereken bir durumdur. Benzer şekilde, rejeneratör dolguları ve ara duvarlarda meydana gelen tahribat da beklenmeyen veya öngörülemeyen bir durum değildir. 15 sene öncesinin mevcut refrakter malzeme kalitesi ve fırın teknolojisi göz önüne alındığında, refrakter seçimi ile birlikte fırın işletmesinin de son derece doğru bir şekilde yapıldığı görülmektedir.

Cam fırınlarının yapımında ve tamirinde, refrakter maliyetleri önemli bir paya sahiptir. Ancak, fırın kampanya sürelerinin uzaması ile bu maliyetleri kompanse edebilmek mümkündür. Bu nedenle, en başta doğru refrakter malzemeyi seçebilmek en kritik ve önemli noktadır. Refrakter kalitesi, bu seçimde belirleyici unsur olup refrakter kalitesini etkileyen bazı parametreler aşağıda verilmiştir.

- Genel kimyasal kompozisyonu,
- Kristal ve bağlayıcı fazların kompozisyonu,
- Refrakter malzemedeki bağlayıcı fazların (alüminyum veya kalsiyum silikatlar gibi) yüzdesi ve dağılımı,
- Kimyasal kompozisyon ile bağlayıcı fazların ve tanelerin homojen dağılımı
- Refrakter malzemenin porozitesi,
- Fırın ısıtması veya soğutması esnasındaki faz değişimleri,
- Eksüdasyon davranışı
- Bağlayıcı fazdaki safsızlıklar (çözünmüş gazlar, habbe, karbon,  $TiO_2$  gibi),

Tüm bu refrakter parametrelerinin yanı sıra hammadde seçimi ve izabe koşulları refrakterin hata verme potansiyelini ve ömrünü etkilediği görülmekte olup gerek kaliteli cam üretimi gerekse uzun kampanya süreleri için refrakter, hammadde ve işletme şartlarının uyum içerisinde bulunması şarttır.

## TERAHERTZ WAVE SENSITIVE SUPERCONDUCTING BOLOMETRIC DETECTOR



Tuğçe Semerci<sup>1</sup>  
Y. Demirhan<sup>1,2</sup>  
H. Köseoğlu<sup>1,2</sup>  
N. Miyakawa<sup>3</sup>  
H. B. Wang<sup>4</sup>  
L. Özyüzer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials  
Science and Engineering,  
Izmir Institute of  
Technology, Urla,35430,  
Izmir, TURKEY

<sup>2</sup>Department of Physics,  
Izmir Institute of  
Technology, Urla,35430,  
Izmir, TURKEY

<sup>3</sup>Tokyo University of  
Science, Tokyo, JAPAN

<sup>4</sup>National Institute  
for Materials Science,  
Tsukuba, JAPAN  
tugcesemerci@iyte.edu.tr

2012 yılı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümünden mezun oldu. 2015 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği yüksek lisans programını bitirmiş olup, doktora programına başlamıştır. Yüksek lisansta Terahertz alanında çalışmalar yapmıştır.

### ÖZET

Terahertz (THz) dalgaları elektromanyetik spektrumun 0.3 ile 10 THz frekans aralığında ve 3 ile 0.03 mm dalga boyunda mikrodalga ve kızılötesi arasında kalan kısım olan terahertz radyasyonu elektromanyetik spektrumun sahip olduğu özelliklerden farklı özelliklere sahiptir. THz ışınımından yararlanılan savunma sanayisi özellikle bilinmeyen, zararlı malzemelerin veya patlayıcıların tespiti gibi birçok alan vardır [1]. Ayrıca, THz dalgaları deri, kumaş ve kâğıt gibi malzemelerden geçerken su ve metalden geçememektedir ve THz dalgası boyunca atomları iyonize etmek için yeterli enerjiye sahip olmadığından dolayı, THz dalgaları canlı dokulara zarar vermemektedir. THz dalgasının bu faydalarından yararlanmak için birçok dedektör üretilmiştir [2,3]. Ayrıca,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  (Bi2212) Josephson Eklemi oda sıcaklığında Golay hücresi ve pyroelektrik dedektörü gibi THz dedektörlerine yeterli gücü sağlamıştır [4]. Bi2212 tek kristali, bolometrik dedektör ile THz dalgalarını algılaması için literatür de ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. Bi2212 tek kristali epoksi yardımı ile safir alttaşa aktarılmıştır. Scotch bant ile mekanik olarak katmanlarına ayırarak 150-200 nm kalınlıkta kristaller elde edilmiştir. Daha sonra, kristallerin gölgelendirmeleri yapılarak yaklaşık 200 nm altın kaplanmıştır. Temiz oda sürecinden sonra, Elektron Demeti Litografisi ile log-periyodik anten ve dört nokta kontak tasarımları yerleştirilmiş, birkaç işlemden sonra yongalar ölçüme hazır hale gelmiştir. Elektriksel ve bolometrik ölçümleri alabilmek için tasarlanan ve üretilen bolometrede alınan a-b eksenini direnç-sıcaklık ölçüm sonucunda yongalarımızın 90 K civarında kritik sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bolometrik ölçüm, belirlenmiş olan süperiletken geçiş bölgesinde bir sıcaklık belirleyerek bu sıcaklıkta Stefan-Boltzmann lambası ile belirli saniye aralıklarında gönderilen sinyal ile dirençte oluşan değişime bakılarak yapılmıştır. Bolometrik ölçüm sonucundan yongalarımızın tepki süreleri hesaplanarak 825 ms'ye ulaşan değerler bulunmuştur.

Bu çalışma, ASELSAN işbirliği ile 1386.STZ.2012-1 numaralı SANTEZ projesi olarak desteklenmiştir.

[1] M. Tonouchi, Nat. Photonics 97, 1 (2007).

[2] A. Luukanena and J. Pekola, Appl. Phys. Lett. 82, 3970 (2003).

[3] P. L. Richards, J. Appl. Phys. 76, 1 (1994).

[4] F. Turkoglu, Supercond. Sci. Technol. 25, 125004 (2012).

**Anahtar Sözcükler:** Terahertz, dedektör, Bi2212

## ABSTRACT

Terahertz (THz) waves has varied properties than other part of the electromagnetic spectrum which between microwave and infrared and has 0.3-10 THz frequency range. There are many areas to utilize from THz radiation that defense industry particularly security part such as detecting of unknown materials, poison or explosive matters. Additionally, THz waves can pass through leather, fabric and paper despite of metal and water and there is no enough energy to ionize the atoms in THz radiation by not hazardous for human. Many detectors are developed for THz range for instance, bolometric detector is preferred between these detectors to detect the radiation above 1 THz frequency. In this study, epoxy was used to transfer Bi2212 single crystal onto the sapphire substrate. Intended thickness was acquired by scotch tape via cleaved crystal mechanically. Crystals were shadowed by aluminum foil to deposit gold in thermal evaporation system. Then clean room process was implemented to prepare our samples to electron beam lithography. Log-periodic antenna and four point contact structure was placed onto the crystals by electron beam lithography then UV light, developer and ion beam etching system were performed. Resistance-temperature in a-b axis measurements were done to give the critical temperature of chips. Bolometric measurements were done via superconducting transition region by sending signals from Stefan-Boltzmann Lamp. Response time was calculated from the result of bolometric measurement.

**Keywords:** *TBi2122 single crystal, Terahertz (THz), High Temperature Superconductors, Detector.*

## INTRODUCTION

There is newly developed spectral region in spite of occupying wide range in electromagnetic spectrum which is called Terahertz radiation. This Terahertz (THz) region is between microwaves and far infrared region by having frequency ranging from 0.1 to 10 THz. Moreover, these frequencies refer from 3 mm to 0.03 mm for wavelength range as round about dimension of paper thickness. THz radiation has been the most working subject between the researching areas for specific reasons recently. THz radiation has non-ionizing and having low energy property that's why, people cannot damaged like cancer by T-rays unlike X-rays. T-rays do not influence on human body adversely was showed by Kawase [1]. Additionally, THz radiation is that it absorbed by metals and water [2] but it can penetrate through some materials such as fabric, leather and paper via penetration depth is less than microwave radiation range. Explosive materials has own THz absorption range fingerprints to characterize THz modes by supply spectroscopic

knowledge [3]. They and biological weapons can be detected by the existing of THz radiation [4]. Many application areas exists but there is still lack of compact solid state sources and components [5,6]. There is Hot Electron Bolometer (HEB) to detect signals in submillimeter also terahertz range. A HEB THz detector typically consists of a thin superconducting micro-bridge coupled with antenna structure.

Additionally, there is Transition Edge Sensors (TES) which principle base on superconducting transition region which is chosen because maximum changing from resistance occurs in transition region. Incoming THz radiation strike to chip and this radiation cause to change the temperature inside chip and then change of resistance is occurred, also. Detectivity and sensitivity for bolometer, response time is a crucial parameter with small heat capacity and large thermal conductance to get small response time.

## EXPERIMENTAL DETAILS

A piece of Bi2212 single crystal was glued onto a sapphire substrate. In order to get a fresh and smooth surface on Bi2212, the crystal was cleaved by scotch tape. Sample was coated with gold in thermal evaporation system and it was prepared for electron beam lithography by using clean room resources. After that, the antenna structure was exposed on crystal by electron beam lithography and then it was exposed to UV light and developed. Finally, Ion-Beam Etching System was implemented to remove the gold without antenna pattern. Our chips were ready to take a contact for the electrical and bolometric characterization.

Electrical measurement was done to state the critical temperature and superconducting transition region of chips. As a result of electrical measurement, operating temperature was selected from superconducting transition region. After deciding the operating temperature, signals were sending from Stefan Boltzmann Lamp for bolometric measurement. These signals caused the change of resistance and response time was calculated from bolometric measurement.

## RESULTS

In our R-T measurements, we have usually observed a sharp line around superconducting transition region. It is important to have sharp superconducting transition region because of choosing the correct point from middle region as operating temperature. Additionally, each sample has different onset temperature value depending on oxygen doping level of the Bi2212 crystals. That's why, operating temperature was changed by depending on chip's electrical properties.

During bolometric measurement, change of resistance depends on intensity of the incoming signal. Resistance of the chip is increased by power of the signal. Initial resistance of the chip is not change but only response resistance changed by increasing of the power.

## CONCLUSION

Terahertz (THz) wave is the part of electromagnetic spectrum which has different properties than other part of electromagnetic spectrum and it utilizes defense industry in especially security purpose to detect the explosive materials, poison gas, weapon, virus and bacteria. Many detectors are needed to utilize of advantages of THz waves. Superconducting detectors are useful despite other detectors due to necessity of hard and cryogenic expensive.

For this method, we used epoxy to transfer crystal and cleaved with Scotch tape mechanically. To placed antenna structure by electron beam lithography, clean room process was performed. Four point contact structure by electron beam lithography and finally contacts were taken for the electrical and bolometric measurement. Electrical measurement in a-b axis of our chips were taken in cryostat to determine critical temperature values of chips. Bolometric measurement gave the change of resistance for chips by sending signals from Stefan Boltzmann Lamp. From bolometric measurements results, response time was calculated. Each response time changes by depending on the chip's electrical measurement result.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research is partially supported by SANTEZ project number 1386.STZ.2012-1 which is cooperated with ASELSAN.

## REFERENCES

- [1] Kawase, K. 2004. Terahertz imaging for drug detection and large-scale integrated circuit inspection. Optics and photonics news. 15:34-39.
- [2] Ferguson, B. and Zhang, X. C. 2002. Materials for terahertz science and technology. Nature Materials, 1:1, 26-33.
- [3] Fischer B., Hoffmann, Helm H, Modjesch G and Jepsen P. U, 2005. Chemical recognition in terahertz time-domain spectroscopy and imagining. Semiconductor Science and Technology 20:S246-S253.
- [4] Mueller, E. R. 2006. Terahertz radiation sources for imaging and sensing applications. Photonics Spectra, 40(11).
- [5] Ozyuzer, L., Koshelev, A. E., Kurter, C., Gopalsami, N., Li, Q., Tachiki, M. and Welp, U. 2007. Emission of coherent THz radiation from superconductors. Science, 318(5854), 1291-1293.
- [6] Kadowaki, K., Tsujimoto, M., Yamaki, K., Yamamoto, T., Kashiwagi, T., Minami, H., Tachiki, M. and Klemm, R. A. 2010. Evidence for a Dual-Source Mechanism of Terahertz Radiation from Rectangular Mesas of Single Crystalline Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> Intrinsic Josephson Junctions. J Phys Soc Jpn 79, 023703.

## YAZAR DİZİNİ

	Soyad, ad	Sayfa no			
<b>A</b>			<b>I,İ</b>		
	Akmehmet İnan, Güliz	62		Holger, Loeber Nils	28
	Acar, Özgür	90		İrkörücü, Can	92
	Ağatekin, Mustafa	70-81		İşcan, Merve	130
	Akalın, Elif	138	<b>J</b>	İyiel, Arca	41-162
	Akça, F. G.	135		İzmirluoğlu, Burak	53-57-184
	Akdemir, Merve	58	<b>K</b>	Jain, Himanshu	25
	Akdoğan, Yaşar	162		Jonas, Simon	28
	Akyüz, İdris	109		Kaban, Erdi	82
	Alaboz, Hakan	115-148-151		Kadakal, Çağdaş	57
	Alimoğlu, A.Zeki	85		Karaaslan, Ahmet	101-142
	Altan, Hakan	148		Kenar, Doğan	116
	Arbab, Mehran	24		Kılıç, Levent	166
	Arslan, Banu	41		Kılıç, Murat	71
	Arzan, Neşet Naci	90		Kılınc, Oktay	53
	Aşkin, Aysegül	130		Kıray, Mete	117
	Ata, Ali	36		Koçak, Cihan	57
	Atay, Ferhunde	109		Köckert, Christoph	31
<b>B</b>	Aygün, Gülnur	100-114-115-135-151-154		Kodolbaş, Alp Osman	101-142
	Bellici, Sumru	57		Köklü, Mehtap	114-115
	Börekcı, Murat	130		Kolbaşı, Serhat	117
	Budakoğlu, Refika	57		König, Jakob	34
<b>C,Ç</b>	Buldu, Dilara Gökçen	135		Köse, Necmi	58
	Büyükyılmaz, Nur Yeliz	130		Köseoğlu, H.	189
	Çakar, Elçin	95	<b>M,N</b>	Kurt, Metin	100
	Çalışkan, İsmail	95		Küsefoğlu, Selim	58
	Cambazoğlu, Akın	58		Manafidizaji, Amaneh	81
	Candaş, Ayten	100		Merdin, Aysegül	130
	Çaylıoğlu, Ayhan	121		Miyakawa, N.	189
	Ceh, Miran	62		Mucur, Selin Pıravadılı	105
	Çetinkaya Çolak, Sadiye	109		Mustafaoğlu, Ümmü	101-142
	Cevahir, Aref	57	<b>O,Ö</b>	Nebioğlu, Mehmet Ali	148
	Choy, Kwang Leong	33		Oran, Mustafa	41-138
	Cinoğlu, Varol	116		Orhan, Barış	178
	Çopuroğlu, Remzi	121		Orzol, Dominik	29
	Coşkunsu, Safinur	82		Ötken, Ali	41-53-138
<b>D</b>	Cumali, Sabah	148		Ow-Yang, Cleva	62
	Dardan, Efkan	116		Özdemir Köklü, Mehtap	151-154
	Değer, Caner	126		Özdemir, Mehtap	100
	Demirel, Barış	41		Özdemir, Mustafa	126
	Demirhan, Yasemin	148-189		Özel, Ayşen	138
	Demirkol, Uğur	146	<b>P,S</b>	Özer, M.Ozan	95
	Demirok, Gülin	41		Özyüzer, Lütfi	100-114-115-135-148-151-154-189
192	Diñçdölek, Kemal	117-184		Peker, Atakan	26
	Dökme, Fatih	181		Pflug, Andreas	30
	Dokuzlar, Seçkin	92		Roos, Christian	29
	Dural, Gürhan	166		Sa, Sait Eren	105
	Duran, Meltem	82		Sabaner, M.Taylan	58
<b>E,F</b>	Durusoy, Hüseyin Zafer	32		Sarı, Abdulkadir	36
	Duymaz, Burcu	36		Sarıkayalar, Okan	166
	Efendiler, Erkul	178		Semerci, Tuğçe	148-189
	Ekerim, Ahmet	101		Şen, Mustafa	146
	Eren, Bülent	166		Şentürk, Ufuk	162
	Erkan, Selen	65		Sesigür, Fevziye Hande	130
	Evcimen Duygulu, Nilüfer	101-142		Şiddet, Hüseyin	116
<b>G</b>	Farrelly, Adeline	27		Simurka, Lukas	65
	Gesine, Bergmann	28		Soydan, Ali Murat	36
	Göktürk, Hakan	162		Soykut, A.Yüksel	85
	Gören, Kerem	63		Sturm, Saso	62
	Güden, Mustafa	35	<b>T</b>	Szyszka, Bernd	30
	Gülen, Sena	114-154		Takan, Taylan	148
	Gümgüm, Güven	77		Taylan, Ediz	58
<b>H</b>	Günkaya, Göktuğ	81		Tekin, Emine	105
	Gürbüz, Deniz	124		Top, Salih	101-142
	Hacioğlu, Nuray	130	<b>U,Ü</b>	Toykan, Derya	53
	Harald, Hagenström	31		Turutoğlu, Tunçay	63-65
	Hayo, Mueller Simon	28		Ülker, Onur	71
	Heske, Clemens	61		Ulrich, Stephan	30



**W,Y**

Ulusoy, Seda	114-154
Ünal, Ömer	92
Üncü, İsmail Serkan	82
Üstün, Ahmet Melih	53-184
Wang, H. B.	189
Wondraczek, Lothar	29
Yakan, Alper	58
Yavaşlar, Hakan	58
Yazıcı, S.	135
Yelten, Azade	110
Yıldırım, Erdem	53
Yıldız, Fikret	105-126
Yılmaz, Şener	184
Yılmaz, Suat	110
Yüce, Hürriyet	115-151
Yüksel, Emine	71
Yurdatapan, Hande	138
Zeren, Doğuş	35

**Z**

**A**

**ANAHTAR SÖZCÜKLER DİZİNİ**

A fırını	116
Afinasyon	41
Ağır metal iyonları	130
Ağız yakma	124
Al katkılı çinko oksit	101
Al-doped zinc oxide	101
Algoritma	64
Amorphous	26
Analytical spectroscopy	62
Antibakteriyel	57
Arayüzey	58
Archaeology	78
Architectural glass coating	31
Architecture	78
Arkeoloji	77
Automotive glass coating	31
AZS	53, 184
Baca gazı arıtma tesisi tasarım kriteri	178
Ball mill	181
Bant Geçirgen Filtreler	148
Bi2212	189
Bilgisayar Destekli Analiz	64
Bioglass	110
Birim üretim	121
Birincil önlemler	178
Borat cam	109
Borik asit emisyonu	178
Bottle	29
Bubble	138
Calcination	110
Cam	35, 77
Cam ambalaj	57
Cam Ergitme Fırını	53, 184
Cam esneme	82
Cam fırını baca gazı emisyonları	178
Cam köpüğü	36
Cam sanatı	70
cam tarihi	70
Camların optik özellikleri	109

**C,Ç**

Campolimer	58
Çekme prosesi	116
Characterization	62, 110
Characterization techniques	25
Coating	30, 32, 33
Competitiveness	27
Conventional melting method	110
Cooling water	86
Corrosion	25
CZTS	135
DC sputtering	151
Dedektör	189
Delivery	28
Detector	190
Dimple	116
Distance Target to Substrate	142
DTS	142
Düzcamlar	95
Efficiency	181
Ekolojik Cam	71
Ekolojik Malzeme	71
Ekstraksiyon	130
Elasticity of the glass	82
Electrochromism	155
Electrolyte	155
Elektrodöküm	53, 184
Elektrokromik cam	114
Ellipsometry	65
Energy	24
Energy conversion	61
Energy saving	86
Enerji	92, 166
Enerji geri kazanım tesisleri	178
Enerji tasarrufu	86, 90
Environment	24
Ergime Simülasyonu	41
ESR	162
EU policies	27
EU politics	27
EU regulations	27
Feeder	28
Ferromagnetic resonance	126
Foam glass	34, 36
Fonksiyonel Kaplama	64
Forehearth	90
Fotokatalitik özellik	100
Gerilim	166
Glass	26, 65, 78
Glass container	29
Glass substrate	126
Glass surface	25
Glass transition	26
Gob	28
Görüntü işleme	82
Gözenek	35
Grinding	181
Growth	27
Güç	166
Gümüş	57
Habbe	41

**D**

**E,F**

**30. ŞİŞECAM CAM SEMPOZYUMU (20 KASIM 2015)**

THE 30TH ŞİŞECAM GLASS SYMPOSIUM (NOVEMBER 20, 2015)

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ SÜLEYMAN DEMİREL KÜLTÜR MERKEZİ - MASLAK / İSTANBUL

	<i>Hedef Altlık Mesafesi</i>	142		<i>Renk tonu</i>	81
	<i>Hibrid</i>	57		<i>Renkli atık cam</i>	130
<b>I,i</b>	<i>High Temperature Superconductors</i>	190		<i>Renkli cam</i>	81, 121
	<i>History</i>	78	<b>S</b>	<i>Role of manufacturing</i>	25
	<i>İç Mekan</i>	71		<i>Rutenyum</i>	100
	<i>Image processing</i>	82		<i>Savurma</i>	146
	<i>İnce film güneş hücreleri</i>	135		<i>Saydam iletken oksit</i>	101
	<i>İndiyum Tin Oksit Filmler</i>	148		<i>SiC</i>	36
	<i>Insulation material</i>	34		<i>Silica cam</i>	162
	<i>Ionic conductivity</i>	155		<i>Sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik</i>	109
	<i>Isı transferi</i>	92		<i>Smartphone</i>	26
<b>K</b>	<i>İyonik iletkenlik</i>	114		<i>Soda-kireç</i>	162
	<i>Isıl işlem</i>	81		<i>Soğurucu katman</i>	135
	<i>Kalite</i>	166		<i>Soğutma suyu</i>	86
	<i>Kaplama</i>	121		<i>Solar energy</i>	61
	<i>katı hal elektrolit</i>	114		<i>Spektroskopi</i>	162
	<i>Katma Değerli Ürünler</i>	64		<i>Spektroskopik elipsometre tekniği</i>	109
	<i>Kesinti</i>	166		<i>Spout</i>	28
	<i>Kimyasal aşındırma</i>	101		<i>Su</i>	92
	<i>Kirlilik</i>	121	<b>T</b>	<i>Sürdürülebilirlik</i>	71
	<i>Kırılma dayanımı</i>	58		<i>Sustainability</i>	24
	<i>Kırmızı cam</i>	81		<i>Tambur</i>	124
	<i>Korozyon</i>	53		<i>Tarih</i>	77
<b>L</b>	<i>Kristal</i>	116		<i>TBi2122 single crystal</i>	190
	<i>Kuru buz</i>	121		<i>Temizlik</i>	121
	<i>LLTO thin film</i>	155		<i>Temperature distributio</i>	28
	<i>Low-E</i>	31		<i>Temperleme</i>	95
<b>M,N</b>	<i>Low-e kaplamalı cam</i>	95		<i>Terahertz</i>	148, 189
	<i>Lubricant</i>	29		<i>Termokromik cam</i>	115
	<i>Magnetic thin film</i>	126		<i>Thin films</i>	32, 33, 165
	<i>Magnetostatic spin wave</i>	126		<i>TiO2</i>	100
	<i>Magnetron sputtering</i>	30, 32, 64		<i>Transmission electron microscopy</i>	62
	<i>Maliyet iyileştirme</i>	121	<b>Ü,v</b>	<i>Transparent conductive oxides</i>	101
	<i>Mass Spectroscopy</i>	138		<i>Tribology</i>	29
	<i>Media shapes</i>	181		<i>Üfleme üfleme</i>	116
	<i>Mekanik mukavemet</i>	58		<i>Üretim</i>	121, 146
	<i>Metallic glass</i>	26	<b>W,Y,Z</b>	<i>Vanadium dioxide</i>	151
<b>194</b>	<i>Metals</i>	26		<i>VO2</i>	115
	<i>Mikroyapı</i>	64		<i>Web coating</i>	31
	<i>Mimari</i>	77		<i>Wet-etching</i>	101
	<i>MIT</i>	115, 151		<i>Window</i>	78
	<i>Müldefonlu kalıp</i>	146		<i>Yalıtım dönüşümleri</i>	35
	<i>Nano malzeme</i>	36		<i>Yüksek Sıcaklık Gözlemi</i>	41
	<i>Nanoindentation</i>	65		<i>ZnO film üretimi</i>	109
<b>O</b>	<i>Nanomaterials</i>	36		<i>ZnO:Al</i>	142
	<i>Ocmi</i>	116		<i>ZnO:Al ince film</i>	101
	<i>Oksijen</i>	90		<i>ZnO:Al thin film</i>	101
<b>P,R</b>	<i>Oxy-fuel</i>	90			
	<i>Oxy-gas</i>	90			
	<i>Pencere</i>	77			
	<i>Pirolitik</i>	121			
	<i>Polimerik kaplama</i>	58			
	<i>Pump</i>	86			
	<i>Püskürtme</i>	57			
	<i>R.f. magnetron sputtering</i>	101, 142			
	<i>R.f. manyetik alan sıçratma</i>	142			
	<i>R.f. manyetik sıçratma</i>	101			
	<i>Raman Spectroscopy</i>	138			
	<i>Refrakter</i>	53, 184			