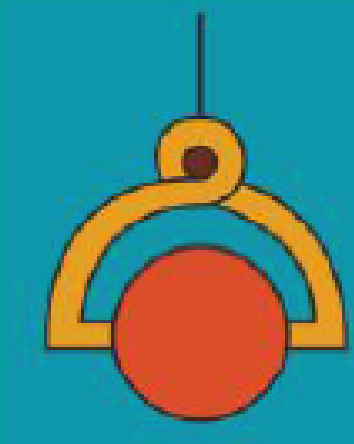


# ECJSE

**El-Cezerî**

Journal of Science and Engineering



ISSN: 2148-3736

VOLUME	ISSUE	YEAR
04	02	2017



---

**Makale / Research Paper**

---

**Kompozit Panellerde CTP Levha Ve Çekirdek Kalınlığının Mekanik Özelliklere Etkisi**

Serkan SUBAŞI<sup>1</sup>, Volkan ÇETİN<sup>2</sup>, Ayhan ŞAMANDAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 81000 Düzce/TÜRKİYE,

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, 54100 Sakarya/TÜRKİYE

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 81000 Düzce/TÜRKİYE

[serkansubasi@duzce.edu.tr](mailto:serkansubasi@duzce.edu.tr); [volkancetin11@gmail.com](mailto:volkancetin11@gmail.com); [ayhansamandar@duzce.edu.tr](mailto:ayhansamandar@duzce.edu.tr)

**Received/Geliş:** 13.02.2017

**Revised/Düzeltilme:** 06.04.2017

**Accepted/Kabul:** 06.04.2017

**Özet:** Günümüzde inşaattan lojistiğe kadar her sektörde yakıt tüketimini azaltmak, yapıların ağırlığını azaltmak gibi amaçlarla ağırlık azaltma ile ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır. Bal peteği kompozitler düşük ağırlıkları ve ağırlıklarına oranla sahip oldukları yüksek mekanik dayanımları sebebi ile ağırlık azaltma çalışmalarında ilk akla gelen malzemelerden birisidir. Bu çalışmada yük taşımacılığında kullanılan taşıtlarda zemin uygulamalarında sıkça kullanılan alüminyum damla desenli saç ve hazır cam takviyeli polyester(CTP) levha kullanılarak üretilmiş bal peteği sandviç levhaların CTP levha kalınlığı ve çekirdek kalınlığı değişimi ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma kapsamında 2,5 mm alüminyum damla desenli saç sabit tutularak 15 ve 20 mm kalınlığında hücre çapı 9 mm olan ve kalınlığı 70 mikron olan alüminyum bal peteği yapısı ile 2 mm ve 9 mm kalınlığında CTP levhalar kullanılarak üretilmiş bal peteklerinin üç nokta eğme testleri yapılmış, CTP levha kalınlığı ve bal peteği kalınlığı değişimlerinin dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak CTP levha kalınlığındaki artışın dayanımı arttırdığı ancak bal peteği kalınlığının CTP Levha kalınlığından dolayı oluşan artışa oranla mukavemeti çok daha fazla arttırdığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bal peteği, CTP levha, alüminyum

---

**The Effect of GFRP Plate and Core Thickness on Mechanical Properties in Composite Panels**

**Abstract:** Honeycomb composites are one of the materials that comes to mind first for the studies about reducing weight because of their low weight and high mechanical resistance in proportion to their weight. In this study the relation between variation of plate thickness and nucleus thickness of CTP plates and bending resistance of the honeycomb sandwich plates that is produced by using aluminium drop patterned plate and readymade glass reinforced polyester(CTP) plate, has been investigated. As part of this study three spot bending tests has been done for the honeycombs that has been produced by using 2 mm and 9 mm CTP plates and 70 microns aluminium honeycomb structure with 15 and 20 mm thickness and 9 mm cell diameter, by holding steady the 2,5 mm aluminium drop patterned plate and the effect of the variation of CTP plate thickness and honeycomb thickness to the resistance has been investigated. As a result of this study it has been observed that increment of the CTP plate thickness increases the resistance but honeycomb thickness increases the durability much more according to the variation of the weight.

**Keywords:** Honeycomb, GFRP sheet, aluminium

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Subaşı S., Çetin V., Şamandar A., "Kompozit Panellerde CTP Levha Kalınlığının Mekanik Özelliklere Etkisi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 135-145.

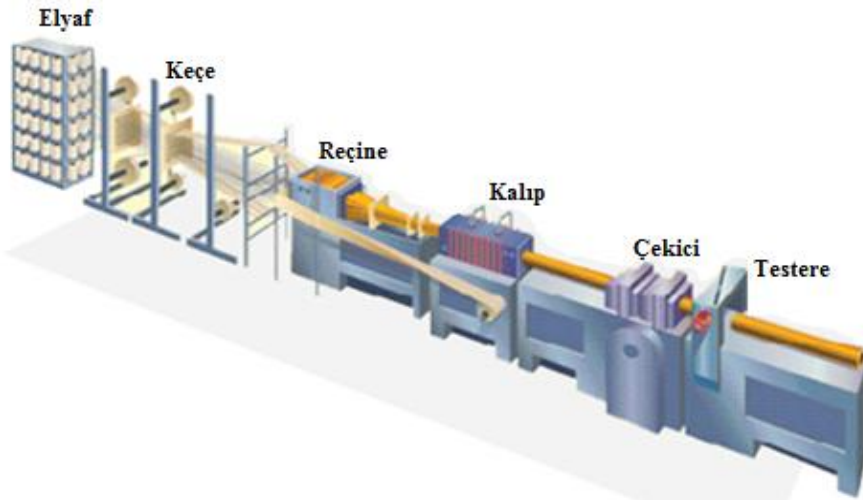
*How to cite this article*

Subaşı S., Çetin V., Şamandar A., "The Effect Of GFRP Plate And Core Thickness On Mechanical Properties In Composite Panels" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 135-145.

## 1. Giriş

Kompozit malzeme, birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleri ile ayrılmış ve temel olarak birbiri içinde çözünmeyen, iki ya da daha çok mikro ya da makro bileşenin karışımı ya da bileşimiyle oluşan malzemedir [1]. Gelişen teknoloji ile birlikte insanoğlunun farklı özellikleri aynı anda barındıran malzemelere olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemeler üzerine sürekli yeni çalışmalar yapılmakta ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Kompozitlere en tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve "fiberglas" olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en çok bilinen ve kullanılanıdır. Bu elyafların polyester olarak isimlendirilen bir termoset reçine ile birleştirilmesiyle cam elyaf takviyeli polyester (CTP) adı verilen bir kompozit malzeme ortaya çıkmaktadır. CTP malzemeler, mekanik özellikleri, yüksek kimyasal dayanımları ve düşük maliyetleri sebebi ile günümüzde en sık kullanılan kompozit malzemelerden birisidir. CTP, rüzgâr türbinlerinden otobüslere, düş teknelerinden uçaklara kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır.

CTP levha üretiminde hammadde olarak cam elyaf takviyesi, reçine, jelkot ve çeşitli katkı malzemeleri kullanılmaktadır. CTP levhalar genel olarak üç metotla üretilmektedirler. El yatırma yönteminde bir kalıbın üzerine genellikle jelkot kalıba sürülür. Bu işlemin ardından cam fiber kumaş kalıba yatırılır ve polyester ile ıslatılarak levha üretimi gerçekleştirilir. Bu metotta levha ebatları kalıbın ebadı ile sınırlıdır. Ayrıca proseste emek yoğun olduğu için ürünler arasında ciddi mekanik ve görsel farklılıklar oluşabilmektedir. Pultrüzyon yönteminde ise cam fiber ve polyester ısıtılmış bir kalıptan çekilerek polyesterin kürleşmesi sağlanır. Bu metotta kalınlık, mukavemet ve görsel olarak çok daha stabil ürünler çıkmaktadır. Ayrıca bu metotta istenilen uzunlukta ürünler elde edilebilmektedir. Ürün istenilen uzunluğa geldiğinde hattın sonundaki testere yardımıyla kesilir.

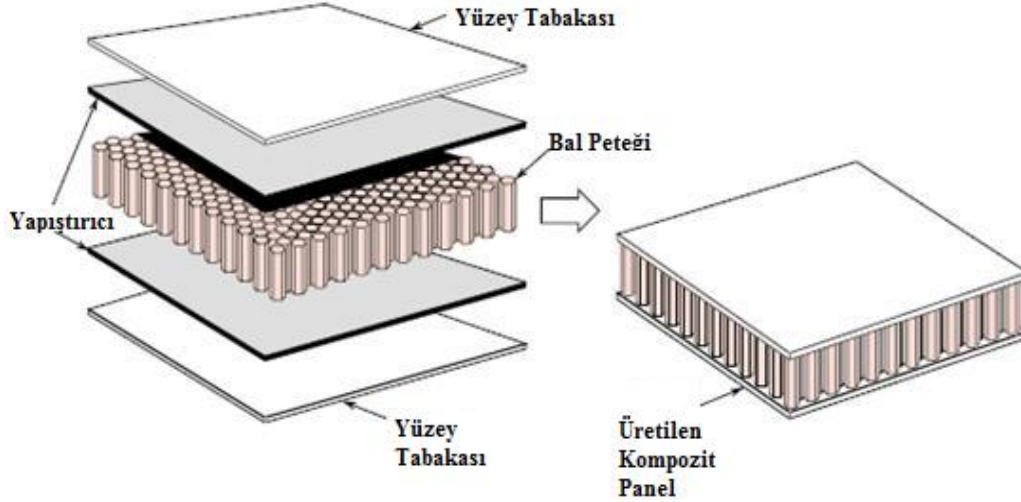


Şekil 1. Pultrüzyon tezgâhı ve parçaları [2]

Petek yapılı sandviç yapılar, petek hücrelerin alt ve üst kısmının bir yüzey örtüsü ile örtülmesiyle elde edilirler [3]. Bal peteği kavramının ilk örnekleri yaklaşık 2000 yıl önce Çin'de kullanılan kâğıttan petek yapıda gözlemlenmiştir [4]. Günümüzdeki anlamıyla bal peteği kompozit teknolojisi ise ilk kez 1845 yılında yumurta taşıma kutularında kullanılmıştır. Daha sonra 1919 yılında havacılıkta kullanılmaya başlayan bu malzemeler her geçen gün daha geniş bir kullanım alanına kavuşmaktadır [5]. Örneğin bal peteği kompozit paneller, sahip oldukları yüksek darbe sönümleme özellikleri nedeniyle yüksek hızlı trenlerin ön panellerinde ve otomobillerin şasilerinde kullanılmaktadır. Böylece çarpışma anında yüksek miktarda enerjiyi absorbe ederek yaşam hücresi oluşturmakta ve önemli bir pasif güvenlik unsuru olmaktadır [6].

Ayrıca kompozit paneller geleneksel yapı malzemeleri ile kombinlenebilmekte veya şekillendirilerek standart bir sandviç yapının taşımayacağı yükleri taşıması sağlanabilmektedir [7]. Sandviç yapılarda bal peteği kısmı; kayma gerilimlerini taşıırken, yüzey kısımları çekme ve basma kuvvetlerini taşımaktadır [8].

Bal peteği kullanılarak üretilen kompozit levhalara ait tabakalar Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Bal peteği kompozit panel tabakaları [9]

## 2. Malzeme ve Metot

### 2.1. Yüzey Malzemesi

Kompozit panellerde kullanılan matris malzemeler, panelin kullanım alanına göre belirlenir. Bu çalışmada üretilen kompozit panelin bir yüzeyinde taşımacılık sektöründe zemin uygulamalarında çokça tercih edilen alüminyum damla desenli sac, diğer yüzeyinde ise kapalı alanlarda oluşacak terlemenin önüne geçmek için alüminyum yerine CTP levha kullanılmıştır.

Bu çalışma esnasında kullanılan 5086 serisi alaşımlı alüminyum damla desenli sac kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir. Alüminyum damla desenli sac için üreticiden temin edilen dayanım bilgileri ise Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Alüminyum damla desenli sacın kimyasal özellikleri [10]

Ağırlıkça %	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğerleri
Min.	0,00	0,00	0,00	0,20	3,50	0,05	0,00	0,00	0,00
Max.	0,40	0,50	0,10	0,70	4,50	0,25	0,25	0,15	0,15

Tablo 2. Alüminyum damla desenli sacın mekanik özellikleri [10]

Haddeme Yönüne Göre	Rp0,2 (MPa)	Rm(MPa)	A50mm (%)	Sertlik (HBS)
Min.	220	300	6	88
Max.		360		

İlk grup numune üretimi için 2 mm kalınlığında, %20-22 arasında cam içeren ve 2800 g/m<sup>2</sup> ağırlığında olan CTP levha kullanılmıştır. Üreticiden temin edilen dayanım bilgileri Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 3. 2 mm kalınlığındaki CTP levhanın mekanik özellikleri [11]

Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Gerilme Direnci	55 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
E-Modülü	6050 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
Eğilme Dayanımı	90 MPa	DIN EN ISO 14125/WKII

İkinci grup numune üretimi için 3 mm kalınlığında, %20-22 arasında cam içeren ve 4200 g/m<sup>2</sup> ağırlığında olan CTP levha kullanılmıştır. Üreticiden temin edilen dayanım bilgileri aşağıdaki gibidir:

Tablo 4. 3 mm kalınlığındaki CTP levhanın mekanik özellikleri [12]

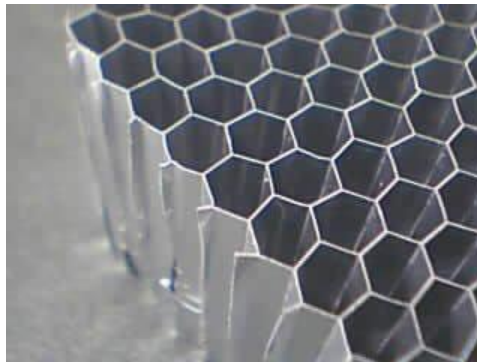
Özellik	Test Sonucu	Test Metodu
Gerilme Direnci	85 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
E-Modülü	6375 MPa	DIN EN ISO 527-4/2/2
Eğilme Dayanımı	150 MPa	DIN EN ISO 14125/WKII

## 2.2. Çekirdek Malzemesi

Kompozit malzemelerde takviye malzemesi seçimi, kompozit malzemenin özelliklerini direk olarak etkilemektedir. Bu çalışmamızda hafifliği ve dayanımıyla ön plana çıkan alüminyum bal peteği kullanılmıştır (Şekil 3). Bal peteği malzemeler özleri itibariyle malzeme olarak sınıflandırılmayan, kompozit malzemelerin kullanıldığı yapı [13] ya da yapısal kompozit malzemeler olarak tanımlanmaktadır [4]. Alüminyum bal peteğinin tedarikçiden temin edilen özellikleri aşağıdaki gibidir (Tablo 5).

Tablo 5. Bal peteği takviye malzemesinin özellikleri [14]

Kalınlık	Hücre Çapı	Çeper Kalınlığı	Yoğunluk	Basma Mukavemeti
15 mm	9 mm	70 µm	6,7 kg/m <sup>2</sup>	0,075 MPa
20 mm	9 mm	70 µm	7 kg/m <sup>2</sup>	0,1389 MPa



Şekil 3. Kompozit panel üretiminde kullanılan bal peteği görünümü

## 2.3. Yapıştırıcı

Bal Peteği kompozit Panellerin üretiminde iki komponentli ve poliüretan bazlı termoset yapıştırıcı kullanılmıştır. İki komponentli termoset yapıştırıcıların mukavemetleri, ısıl dayanımları, sürtünme dayanımları ve çözünme dayanımları yüksektir [15]. Üretimde kullanılacak olan yüzey tabakalarının bal peteği yapışacak yüzeylerine rulo fırça yardımıyla yapıştırıcı sürülerek kompozit

panel tabakaları yapıştırılmıştır. Kullanılan poliüretan bazlı yapıştırıcıya ait teknik özellikler Tablo 6'da verilmiştir.

Üretimde kullanılacak olan malzemelerin uygun ebatlara getirilmesinin ardından, matris malzemelerinin, takviye malzemesine yapışacak yüzeylerine rulo fırça yardımıyla yapıştırıcı sürülmüş ve malzemeler birbirinin üzerine koyulmak suretiyle yapıştırılmıştır.

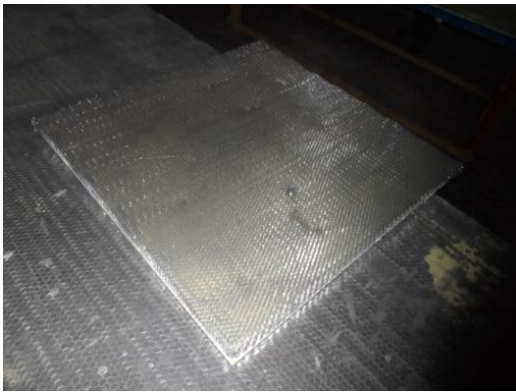
Tablo 6. Kullanılan poliüretan bazlı yapıştırıcıya ait teknik özellikler [16]

Özellik	A Komponenti	B Komponenti	A+B Karışımı:
Ana Bileşen	polyol	MDI	Polyurethane
Faz	sıvı	sıvı	sıvı
Viskozite	32.000 ± 4.000 mPa.s	150 mPa.s	4.0 ± 1 mPa.s
Özgül Ağırlığı	1.67 g/cm <sup>3</sup>	1.20 g/cm <sup>3</sup>	1.57 g/cm <sup>3</sup>
Renk	Bej	Kahverengi	Bej
Çekme Dayanımı (ASTM C 297)	-	-	> 12 MPa
Kesme Dayanımı (ASTM D 1002)	-	-	10 MPa
Çalışma Sıcaklığı	-	-	-30°C to +90°C

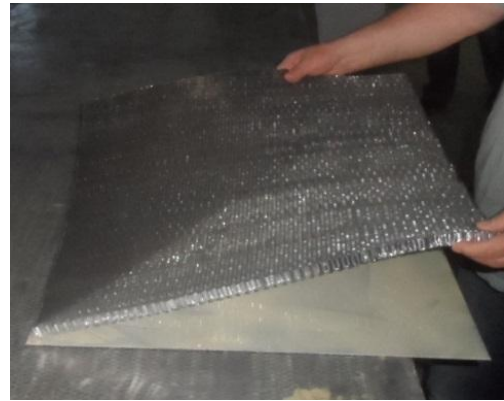
### 3. Numune Üretimi

Üretimde kullanılan bal peteği, lojistik maliyetlerini düşürmek amacıyla üreticilerden preslenmiş çok büyük tabakalar halinde sevk edilmektedir. Numune üretimi sırasında giyotin makas benzeri bir makine ile istenilen ebatlarda kesilen bal peteği, gene bir makine yardımıyla açılarak normal kullanım ebatlarına gelmesi sağlanmıştır.

Matris malzemesi olarak kullanılan CTP levha ve alüminyum damla desenli saç istenilen ebatlarda önceden kesilerek üretime hazır hale getirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Numune ebadında kesilmiş bal peteği



Şekil 5. Numune üretiminden bir görünüm

Üretimde kullanılacak olan malzemelerin uygun ebatlara getirilmesinin ardından, matris malzemelerinin, takviye malzemesine yapışacak yüzeylerine rulo fırça yardımıyla yapıştırıcı sürülmüş ve malzemeler birbirinin üzerine koyulmak suretiyle yapıştırılmıştır (Şekil 5).

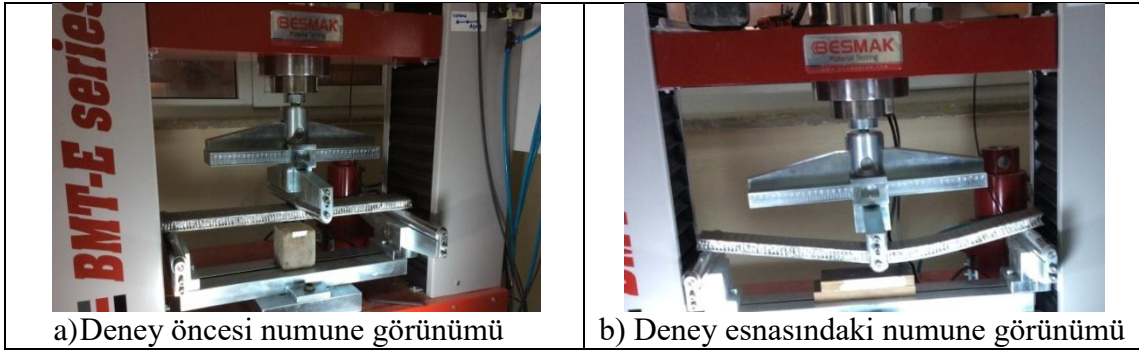
Malzemelerin el yardımıyla yapıştırılmasından sonra, numuneler oda sıcaklığında, hidrolik bir pres yardımıyla 8 saat preslenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Numuneler prese verilmeden önce bir görünüm

#### 4. Deney Metodu

Bu çalışmada alüminyum damla desenli saç ve CTP levha ile takviyelendirilmiş bal peteği levhaların eğilme dayanımları ASTM D7249/D7249M [17] standardında üç nokta testi yapılarak bulunmuştur (Şekil 7). Test sırasında üç nokta cihazı standarda uygun hızda yük uygulayarak numunelerdeki eğilme miktarları bir kamera yardımıyla kayıt altına alınmıştır.



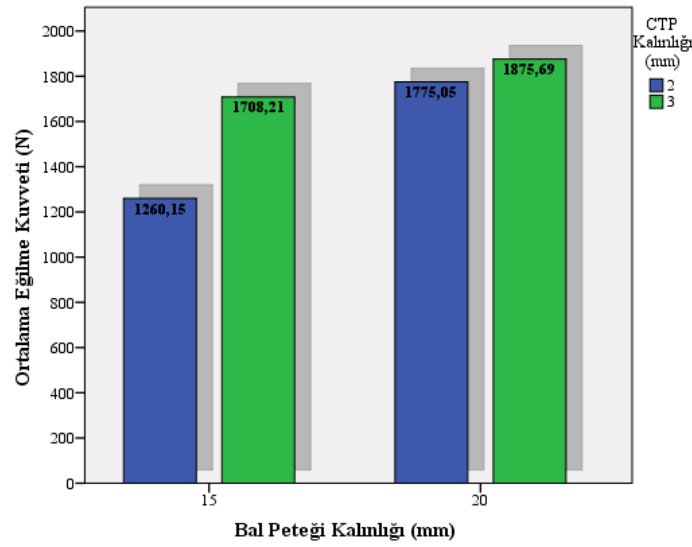
Şekil 7. Eğilme deneyine tabi tutulan nüme görünümü

#### 5. Bulgular ve Tartışma

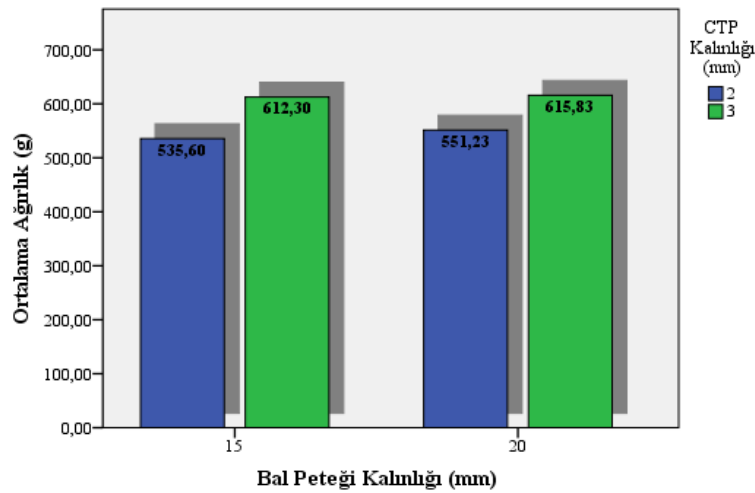
Farklı kalınlıklarda CTP ve bal peteği kullanılarak üretilen kompozit paneller üzerinde gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyi ve ağırlık ölçümleri neticesinde elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Tablo 7'de verilmiştir. Eğilme kuvveti değerleri incelendiğinde CTP ve bal peteği kalınlıkları arttıkça eğilme kuvveti değerlerinde de bir artışın olduğu görülmektedir. Benzer durum ağırlık değerleri için de söylenebilir. Elde edilen ortalama eğilme kuvveti ve ağırlık değerlerine ait bar grafik Şekil 8 ve 9'da görülmektedir.

Tablo 7. Üretilen numunelerin ağırlık ve dayanım tablosu

Özellik	Bal Peteği Kalınlığı (mm)	CTP Kalınlığı (mm)	Ortalama	Std. Sapma	%95 Güven aralığında ortalamasının		Minimum	Maksimum	Range
					Alt Sınırı	Üst Sınırı			
Eğilme	15	2	1260,15	125,18	949,17	1571,12	1138,25	1388,38	250,13
		3	1708,20	60,17	1558,72	1857,69	1671,33	1777,65	106,33
(N)	20	2	1775,05	113,16	1493,94	2056,15	1660,95	1887,25	226,30
		3	1875,69	45,20	1763,38	1987,99	1827,28	1916,80	89,52
Ağırlık (g)	15	2	535,60	4,32	524,85	546,34	532,00	540,40	8,40
		3	612,30	5,25	599,24	625,35	606,90	617,40	10,50
	20	2	551,23	2,77	544,32	558,13	549,20	554,40	5,20
		3	615,83	1,00	613,34	618,32	614,70	616,60	1,90



Şekil 8. Ortalama eğilme kuvveti değerlerine ait grafik



Şekil 9. Ortalama ağırlık değerlerine ait grafik



Eğilme deneyine tabi tutulan kompozit panellerin deney sonrası oluşan hasarlı görünümleri Şekil 10'da görülmektedir. Test sonrası numunelerde Zhou'nun çalışmasında bahsedildiği gibi genelde yapışma noktalarında ayrılma şeklinde meydana geldiği gözlemlenmiştir [18].



Şekil 10. Eğilme deneyi sonrasında numunelerde oluşan hasar durumu

Elde edilen üç nokta eğilme deneyi verileri üzerinde CTP kalınlığı ve bal peteği kalınlığı faktörleri göz önünde bulundurularak iki yönlü varyans analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 8). Varyans analizi sonuçlarına göre CTP ve bal peteği kalınlığı faktörlerinin eğilme kuvveti değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür.

Ayrıca varyans analizi sonucunda CTP bal peteği kalınlığı interaksyonunun da istatistik anlamda önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında deneysel çalışmalarla elde edilen eğilme kuvveti sonuçlarının CTP ve Bal peteği kalınlıklarındaki değişime bağlı olarak önemli miktarda değiştiği söylenebilir.

Tablo 8. İki yönlü varyans analizi sonucu

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi ( $p \leq 0,05$ )
Doğrulanmış Model	665562,783 <sup>a</sup>	3	221854,261	25,992	0,000
Intercept	3,286.10 <sup>7</sup>	1	3,286.10 <sup>7</sup>	3849,809	0,000
<b>CTP Kalınlık</b>	<b>225803,768</b>	<b>1</b>	<b>225803,768</b>	<b>26,455</b>	<b>0,001</b>
<b>Çekirdek</b>	<b>349235,260</b>	<b>1</b>	<b>349235,260</b>	<b>40,916</b>	<b>0,000</b>
<b>CTP Kalınlık * Çekirdek İnteraksyonu</b>	<b>90523,755</b>	<b>1</b>	<b>90523,755</b>	<b>10,606</b>	<b>0,012</b>
Hata	68282,577	8	8535,322		
Toplam	3,359.10 <sup>7</sup>	12			
Doğrulanmış Toplam	733845,360	11			

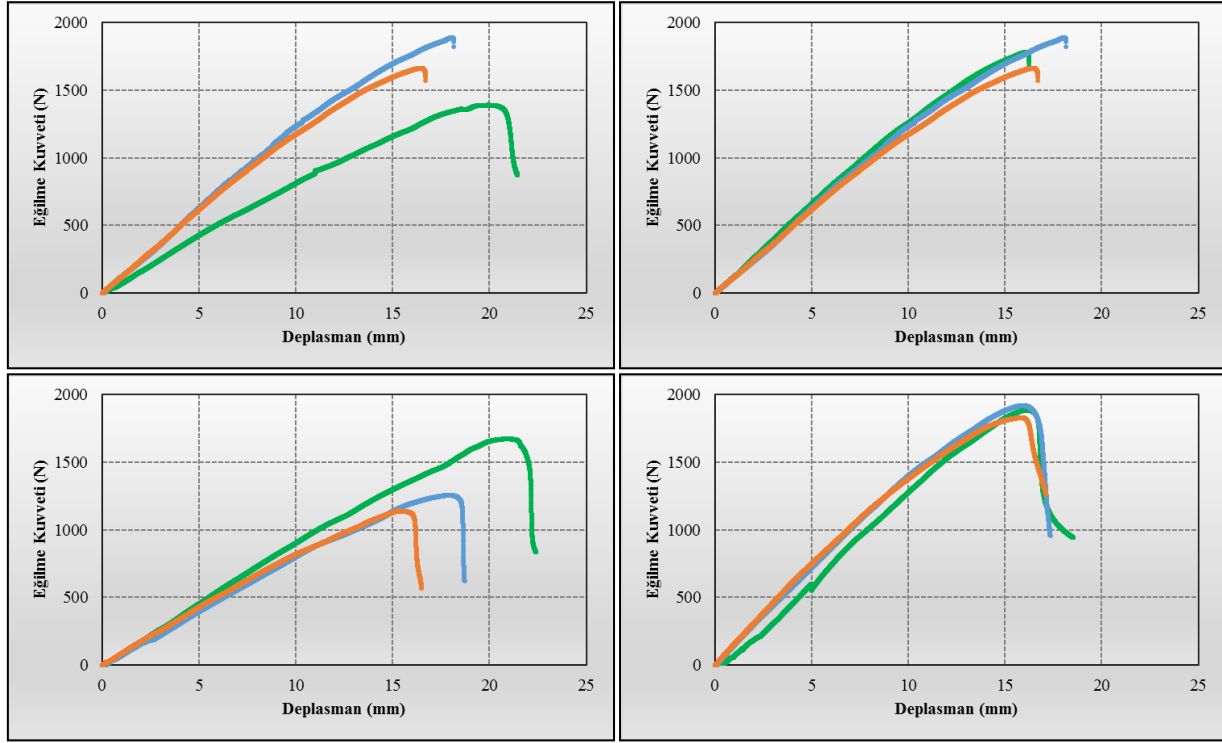
Eğilme kuvveti değerleri incelendiğinde, bal peteği kalınlığına bağlı olarak 2 mm kalınlığındaki CTP levhalı kompozit panellerde eğilme kuvvetinin %30 oranında arttığı, 3 mm CTP kalınlığına sahip panellerde ise %9 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.

Aynı çekirdek kalınlığına sahip kompozit panellerde ise 15 mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %12 oranında eğilme kuvvetinin arttığı, 20

mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %10 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.

Bu değerlendirmeler ışığında eğilme kuvvetinde meydana gelen artış üzerinde çekirdekte kullanılan bal peteği kalınlığının CTP kalınlığına göre daha fazla etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen kuvvet ve deformasyon değerleri kullanılarak çizilen Eğilme Kuvveti-Deformasyon grafikleri Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 11. Test edilen numunelere ait kuvvet-deformasyon grafikleri

Ayrıca farklı CTP kalınlıklarında üretilen kompozit panellerde bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için korelasyon ve regrasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen korelasyon ve regrasyon analizi sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

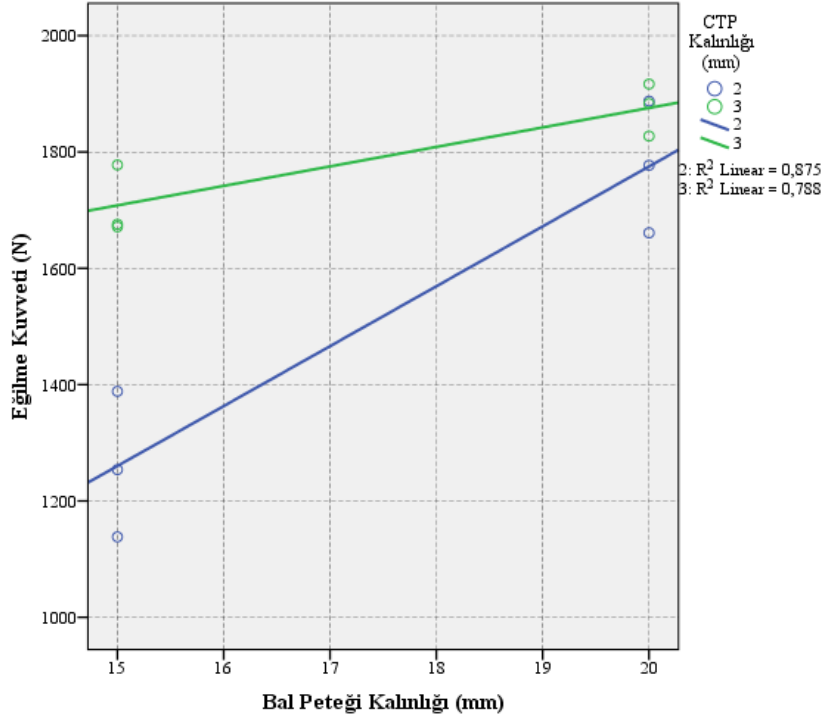
Korelasyon analizi sonucunda eğilme kuvveti ile bal peteği kalınlığı arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. 2 mm CTP kullanılan kompozit paneller için Pearson korelasyon katsayısı  $R=0,935$ , 3mm'lik CTP için ise  $R=0,888$  olarak bulunmuştur. Regrasyon analizi sonucunda bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasında  $Y=a+Bx$  model denklemi ile açıklanabilen lineer bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9. Eğilme kuvveti ile bal peteği kalınlığı arasındaki korelasyon ve regrasyon analizi sonuçları

CTP Kalınlığı (mm)	Korelasyon Katsayısı (R)	Regrasyon Katsayısı	Model Denklem
2	0,935	0,875	$Y= -284,55+102,98.X$
3	0,888	0,788	$Y= 1205,758+33,497.X$

Regrasyon analizi sonucunda bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren serpmme grafik Şekil 11'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde 2 mm CTP kalınlığına

sahip kompozit panellerde bal peteği kalınlığındaki artışın eğilme kuvvetine olan etkisinin 3 mm'lik olan panellere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasındaki ilişki grafiği

## 6. Sonuçlar

Çalışma kapsamında farklı kalınlıklardaki CTP levha ve bal peteği kalınlıklarında üretilen kompozit paneller üzerinde üç nokta eğilme deneyi gerçekleştirilmiş ve CTP levha kalınlığı ve bal peteği kalınlığı değişimlerinin dayanıma olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiki analizlere göre değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

- ✓ Varyans analizi sonuçlarına göre CTP ve bal peteği kalınlığı faktörlerinin eğilme kuvveti değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür.
- ✓ Eğilme kuvveti değerlerine göre bal peteği kalınlığına bağlı olarak 2 mm kalınlığındaki CTP levhali kompozit panellerde eğilme kuvvetinin %30 oranında arttığı, 3 mm CTP kalınlığına sahip panellerde ise %9 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ Aynı çekirdek kalınlığına sahip kompozit panellerde 15 mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %12 oranında eğilme kuvvetinin arttığı, 20 mm'lik bal peteği kalınlığındaki panellerde CTP kalınlığındaki artışa paralel olarak %10 oranında eğilme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ Korelasyon analizi sonucunda eğilme kuvveti ile bal peteği kalınlığı arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Regrasyon analizi sonucunda bal peteği kalınlığı ile eğilme kuvveti değerleri arasındaki ilişkinin  $Y=a+Bx$  model denklemi ile açıklanabilen lineer bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, çekirdek kalınlığı artışının ve CTP kalınlığı artışının eğilme kuvvetini arttırdığı, ancak bal peteği kalınlık artışının eğilme kuvveti üzerinde çok daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek mukavemetli hafif kompozit panel üretilebilmesine yönelik çalışmaların havacılık, enerji vb. birçok sektör açısından büyük öneme sahip olduğu düşünüldüğünde, farklı bal peteği ve CTP türlerinde özellikle yorulma performansına yönelik daha kapsamlı çalışmaların yapılması yeni nesil kompozit panellerin geliştirilmesini sağlamada faydalı olacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Erol M. , "Karma Malzemeler (Kompozit Malzemeler)", Dokuz Eylül Üniversitesi Fizik Eğitimi A.B.D. KYM 345 Ders Notları, İzmir, 3. Bölüm, (2007).
- [2] Fiberpull, <http://www.fiberpull.com/uretimteknolojileri.html>, (2016).
- [3] Solmaz M.Y., Şanlıtürk İ.H., Özben,T., "Petek yapıli sandviç yapılar da köpük dolgunun kritik burkulma yüküne etkisinin sayısal olarak tespiti", 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz kongresi, Balıkesir, 523-530, (2010).
- [4] Shackelford J.F., "Introduction To Material Science For Engineers", "Chapter 3", Prentice Hall, New Jersey, (2000).
- [5] Guler C., Ulay G., "Petekli kompozit levhalar", Mobilya Dekorasyon Dergisi, 90, 78-90, (2009).
- [6] Asadi M., Shirvani H., Sanaei E., Ashmead M., "A Simplified model to simulate crash behavior of honeycomb", Proceedings of the international conference on advanced design and manufacture, Harbin, 119-123, (2006).
- [7] Manalo A.C., Aravinthan T., Karunasena W., "Flexural behaviour of glue laminated fibre composite sandwich beams", Composite Structure, 92, 2703-2711, (2010).
- [8] Özdemirli E., "Anlık basınç yükü etkisindeki kompozit sandviç plağın dinamik davranışının deneysel ve sayısal incelenmesi", (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [9] Panelium, <http://www.panelium.com.tr> , (2016).
- [10] Elval Grain, Technical datasheet, (2012).
- [11] Lamilux, Lamilux 4000 technical datasheet, (2008).
- [12] Lamilux, Lamilux 4000 technical datasheet, (2011).
- [13] Raymer D.P., "Aircraft design: a conceptual approach", AIAA Education Series, (1999).
- [14] Dost Kimya, <http://www.dostkimya.com/tr/urun-gozat/aluminyum-honeycomb-panel/48>, (2016).
- [15] Karlsson, K.F. , & Astrom, B.T.. Manufacturing and applications of structural sandwich components, (1997).
- [16] Bostik, Maracol 18576A technical datasheet, (2012).
- [17] ASTM D7249/D7249M, "Standard test method for facing properties of sandwich constructions by long beam flexure", (2014).
- [18] Zhou G., Hill, M.D., "Impact damage and energy absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels", Journal of Sandwich Structures and Materials, 11. , 329-356. (2011).



---

**Makale / Research Paper**

---

**Elektro-eğirme Yöntemiyle ÇCKNT Takviye Edilerek Güçlendirilmiş  
Naylon-6,6 Nanoelyafların Üretimi ve Karakterizasyonu**

Fırat DURMUŞ<sup>a\*</sup>, Mürsel EKREM<sup>b</sup> ve Gürol ÖNAL<sup>c</sup>

<sup>a\*</sup> Mechanical Engineering Department, Selcuk University, Konya, Turkey, firat\_durmus@yahoo.com

<sup>b</sup> Mechanical Engineering Department, Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey, mekrem@konya.edu.tr

<sup>c</sup> Mechanical Engineering Department, Selcuk University, Konya, Turkey, gonal@selcuk.edu.tr

Received/Geliş: 14.04.2017

Revised/Düzeltilme: 25.04.2017

Accepted/Kabul: 25.04.2017

**Özet:** Bu çalışmada ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında çok cidarlı karbon nanotüp (ÇCKNT) takviyeli/takviyesiz naylon-6,6 (N-6,6) nanoelyafların üretimi elektro-eğirme metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen nanoelyafların N-6,6 ve ÇCKNT ile bir araya gelmesi ile oluşan sistemde meydana gelen kimyasal değişimleri ve etkileşimleri, Termogravimetrik analiz (TGA) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) analizleri yapılmıştır. Ayrıca ÇCKNT takviyeli/takviyesiz N-6,6 nanoelyafların özelliklerini belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri de incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektro-eğirme, Çok Cidarlı Karbon Nanotüp, Naylon-6,6, Nanoelyaf

---

**Mechanical Properties of MWCNT Reinforced Polyvinyl Alcohol  
Nanofiber Mats by Electrospinnig Method**

**Abstract:** In this study, the production of nylon-6,6 (N-6,6) nanofibers with a ratio of 1, 3 and 5 wt.% multiwalled carbon nanotubes (MWCNT) reinforced / unreinforced was carried out using the electrospinning method. Thermogravimetric analysis (TGA) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) analyzes were performed on the chemical changes and interactions occurring in the system formed by combining the produced nanofibers with N-6,6 and MWCNT. Scanning electron microscope (SEM) images were also investigated to determine the properties of N-6,6 nanofibers with / without strength MWCNT.

**Keywords:** Electro spun, Multi Wall Carbon Nanotubes, Naylon-6,6, Nanofiber

---

## 1. Giriş

Polimerler makro boyutta oluşmuş moleküler yapılardan meydana gelir. Moleküller kovalent bağlarla birbirine bağlanarak polimer yapısını oluştururlar, yani molekül yapısının sürekli kendisini tekrar etmesi ile oluşmuş yapılardır. Bu yapı, kendisini oluşturan molekülün belirli koşullar altında reaksiyonu sonucunda meydana gelir. Polimerleşme reaksiyonu olarak adlandırılan bu oluşum sırasında, moleküller gerek düz bir zincir, gerekse dallı ve çapraz bağlı yapılar oluşturabilmektedir [1].

Yüksek sertlik, tokluk, aşınma direnci ve ısıl şekil değiştirme sıcaklığı değerlerine göre N-6,6 poliamidler içerisinde en iyisidir. Ayrıca çeşitli fiberler karıştırılarak daha yüksek mekanik özellikte kompozit malzemelerin elde edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 3].

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Durmuş, F., Ekrem, M., Önal, G., "Elektro-eğirme Yöntemiyle ÇCKNT Takviye Edilerek Güçlendirilmiş Naylon-6,6 Nanoelyafların Üretimi ve Karakterizasyonu" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 146-155.

*How to cite this article*

Durmuş, F., Ekrem, M., Önal, G., "Mechanical Properties of MWCNT Reinforced Polyvinyl Alcohol Nanofiber Mats by Electrospinnig Method" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 146-155.

N-6,6, etkili dielektrik özellikleri sayesinde, elektrik endüstrisinde, özellikle de izolasyon ve güç iletiminde kullanılmaktadır. Ayrıca, çatlak direnci, hacim ve yüzey direnci gibi üstün özelliklerinden dolayı geniş uygulama alanı bulunmaktadır. N-6,6 üzerine uygulanan kuvvet kaldırıldığında, eğer hidrojen bağları kırılmamışsa malzeme yine eski halini kolaylıkla almaktadır. Bu özelliği polimere esneklik özelliği kazandırmaktadır.

N-6,6, kristalin bölgesinin oranı % 65-85 gibi yüksek olduğu için, su molekülü ile ilişki kurabilecek fonksiyonel grupların sayısı da az olduğundan, %100 bağıl nemde en fazla % 4-4.5 nem çeker. Kristalin bölge oranının fazlalığının yanında amorf bölgelerdeki karbonil ve imino grupları arasında da H-bağları oluşabildiğinden, bu yapı naylon 6,6'yı dayanıklı kılar. Fakat ıslandığında amorf bölgelerdeki H- bağlarının büyük bir kısmı su molekülleri tarafından hidroliz edildiğinden dayanıklılığı azalmaktadır. Kopmadan %25-30 kadar uzama, %4 kadar uzatılmışsa geriye dönme oranının % 100 olması, N-6,6'nın uzama ve esneklik özelliklerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. N-6,6'ya bu özelliği sağlayan, kuvvetli H-bağlarının oluşturduğu düzgün şebeke sistemidir. Zincirler arasındaki H-bağları çok kısa mesafeler içinde olması, polimerleri kaymaya karşı koruyarak, optimum dayanıklılık göstermesini sağlar [4].

Nano malzemelerden KNT'lerin en önemli özellikleri; hafif, dayanıklı, yüksek termal ve elektriksel iletkenliğe sahip ve boy/çap oranları büyük olmasıdır. KNT'lerin çaplarına, boylarına, yönelmelerine, yüzeysel durumlarına göre özellikleri değişmektedir [5, 6]. Üstün mekanik özelliklere sahip KNT'lerden takviye elamanı olarak etkin bir şekilde yararlanabilmek için bazı sorunların çözülmesi gerekmektedir. KNT'lerin takviye elamanı olarak göstereceği performansı etkileyen en önemli durumlar; karbon nanotüperin polimer matris içerisinde homojen bir şekilde dağıtılması, matris ile ara yüz etkileşimin artırılması için nanotüplerin matris tarafından ıslatılması ve adezyondur [7, 8].

Matris ile karbon nanotüp ağı arasında etkin olarak yük aktarımının yapılabilmesi için, KNT'lerin matris içerisinde homojen bir şekilde dağıtılması çok önemlidir. Ayrıca gerilme konsantrasyonu oluşturan bölgelerin azalması ve homojen gerilme dağılımı olması da karbon nanotüplerin matris içerisinde iyi bir şekilde dağıtılması ile elde edilir. [9, 10].

Elektrospinning yöntemi nanolif elde etmek için kullanılan kolay ve ucuz bir teknik olmasının yanında çapları nano boyutta (10 nm- 500 nm) olan fiber yapılar üretmeyi olanak sağlamaktadır. Elektrospinning tekniği ile birçok değişik polimer, polimer karışımları, sol-jeller, seramik, inorganik malzeme ve kompozitlerden boyutsal olarak nanometrik çaplara sahip fiberlerden oluşan nanoağ yapıları malzemeler elde edilebilmektedir [11].

Uzay endüstrisinde ve yarı iletken uygulamalarında da nano lifler kullanılmaktadırlar. Piezoelektrik polimerler elektrospinning yöntemi ile üretilmektedirler ve mikro hava araçlarının kanatlarında kullanımına yönelik araştırmalar devam etmektedir [12].

Elektro eğirme yöntemiyle nanofiber üretirken elyafların deformasyon davranışlarını önemli derecede arttıran faktör, fiberlerdeki kristal yapı ve moleküler yönelmedir. Elyafı oluşturan polimer içerisindeki amorf yapı elyafa elastomerik özellikler sağlarken kristal yapı ise boyutsal kararlılık sağlamakta ve bu özellikten dolayı yapısal oluşumun değişmesi malzemeye eşsiz fiziksel özellik kazanmaktadır. Malzemenin mekanik karakteristiğini etkileyen başlıca etkenlerden birisi de elyaf yapısındaki kristal ve amorf fazın rastgele veya düzenli olmasıdır [13].

Katkı malzemesi olarak eklendikleri malzemelerde önemli değişiklikler meydana getiren nanofiberler, içerisine nano parçacık eklenerek pek çok uygulamada da ana malzeme olarak kullanım alanı bulmuştur. Elektrospinning yöntemiyle üretilen fiberlerin takviye edildiği malzemeye yüksek mukavemet ve elastikiyet özellik kazandırması, fiberlerin rastgele yönelmesinden dolayı

porozlu ve geniş bir yüzey alanına sahip olması ve hem amorf hem de kristal yapı ihtiva etmesinden kaynaklanmaktadır [14].

Bu çalışmada Naylon-6,6 polimer kullanılarak elektrospin yöntemiyle ilk önce saf naylon-6,6 nanofiber, daha sonra da Naylon-6,6 polimer içerisine ağırlıkça %1, 3 ve 5 oranlarında çok cidarlı karbon nanotüpler (ÇCKNT) ilave edilerek, güçlendirilmiş naylon-6,6 + % 1, 3 ve 5 ÇCKNT nanofiberler üretilmiştir. Saf ve ÇCKNT takviyeli olarak üretilen nanoelyafların, statik yüklenme altında; çekme dayanımlarını, elastiklik modüllerini ve tokluklarını incelemek amacıyla çekme deneyleri yapılarak, bu özellikler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Üretilen nanoelyafların kimyasal değişimleri ve etkileşimleri, Termogravimetrik analiz (TGA) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) analizleri yapılmıştır. Ayrıca nanoelyafların özelliklerinin belirlenmesinde saf ve ÇCKNT ile güçlendirilmiş N-6,6 çözeltilerinin, fiziksel özellikleri ve ağ yapılı polimerlerin yüzey gözenekliliğinin izlenebilmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri de incelenmiştir.

## 2. Deneysel

### 2.1. Malzemeler

Çalışmamızda ÇCKNTler, kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle CHEAPTUBES firması tarafından üretilmiştir. Çapı 20-30 nm ve uzunluğu 10 ila 30  $\mu\text{m}$ 'dir. N-6,6 polimeri oda sıcaklığında formik asit ve kloroform katılarak çözelti haline getirildiğinde, elektro-eğirme yöntemiyle mükemmel nanoelyaflar elde edilmektedir. N-6,6 yüksek kuvvete, sertliğe ve sıcaklık artışıyla sertliğini koruma özelliğine sahiptir N-6,6'nın kapalı formülü  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{N}_2\text{O}_4$  özgül ağırlığı  $1.4 \text{ g/cm}^3$  ve ortalama moleküler ağırlığı 262,35 g/mol dür. Sigma Aldrich firmasından tedarik edilen N-6,6, yarı kristal bir yapıya sahip olması nedeni ile N-6,6'dan yapılan parçaların bazı bölümleri kristal bir yapı arz ederken diğer bölümlerinde amorf bir yapı gözlenmektedir. İmalat şartları değiştirilerek kristal miktarı artırılıp azaltılabilmekte, böylece mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir. Ticari olarak bulunabilen tüm poliamid esaslı plastikler içinde N-6,6 en dayanıklısı ve en yüksek ergime noktasına sahip olduğu bilinmektedir.  $265^\circ\text{C}$ 'de eriyen N-6,6' nın sürekli kullanım sıcaklığı  $120^\circ\text{C}$ 'dir

### 2.2. Elektro-Eğirme Yöntemiyle N-6,6 Nanoelyaf Üretimi

Çalışmamızda diğer nanoelyaf üretim yöntemlerine göre çok daha basit, ucuz, bilinen en yeni ve en etkin nanoelyaf üretim tekniği olduğu için elektrospin yöntemi tercih edilmiştir. Elektrospin yöntemiyle çeşitli polimerden 3 nanometre'den 1000 nanometre'ye kadar istenilen çaplara sahip nanoelyaf elde edilmesi mümkündür.

Bu çalışmada naylon-6,6 polimer kullanılarak ilk önce saf naylon-6,6 nanoelyaf, daha sonra da naylon-6,6 polimer içerisine ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında ÇCKNT ilave edilerek takviyeli naylon-6,6 + % 1, 3 ve 5 ÇCKNT nanoelyaflar üretilmiştir.

#### 2.2.1. Elektro-Eğirme Yöntemiyle N-6,6 Nanoelyaf Üretimi

Elektro-eğirme yöntemiyle nanoelyaf üretmek için ilk önce N-6,6 çözeltisinin hazırlama işlemine başlanmıştır. N-6,6 çözeltisi elde etmek için öncelikle boncuk büyüklüğündeki 1 gram naylon-6,6'yı 7 ml formik asit ve 3 ml kloroform içerisine yavaş yavaş ilave edilerek karışımın  $70^\circ\text{C}$ 'de 3 saat Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi manyetik karıştırıcıda karıştırılarak tam olarak çözülmesi sağlanmıştır.

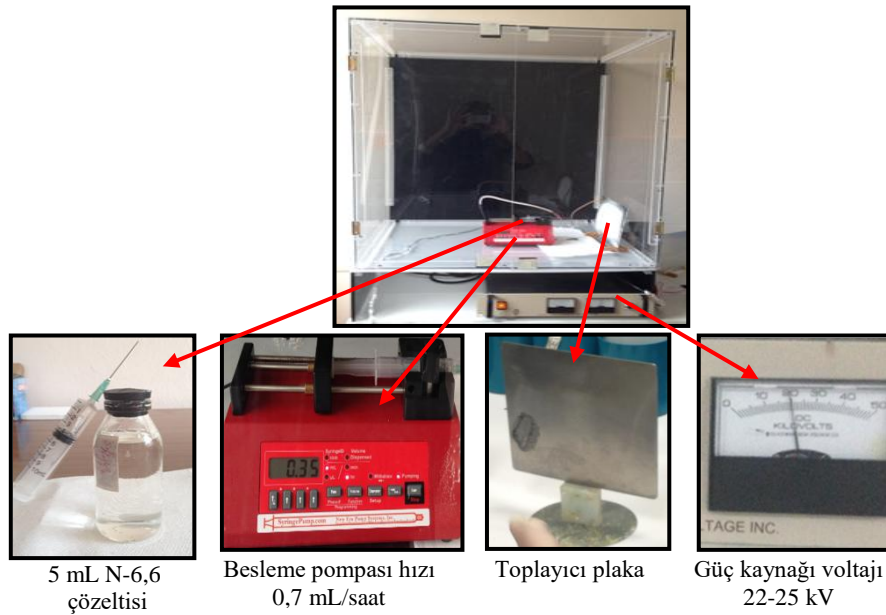


Şekil 2.1. N-6,6 çözeltisinin hazırlanması

Elektro-eğirme işlemine başlamak için N-6,6 çözelti hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra istenilen özelliklerde nanoelyafları elde etmek için uygun çapta enjektör iğnesine karar verildi. N-6,6 çözeltisi için yaptığımız çalışmada PlusMED firmasından temin edilen 21Gx1½ kodlu, iğne ucu boyutları ise 0.8x38mm olan 10 ml kapasiteli enjektör kullanılmıştır.

Elektro-eğirme işlemine tabi tutulacak naylon-6,6 çözeltisi şırıngalara çekildikten sonra hızı 0,7 ml/saat olan besleme ünitesine yerleştirilmiştir. Üretilen nanofiberin eşit kalınlıkta ve homojen bir fiber elde edilebilmesi için besleme pompasının hızı çözeltinin vizkositesi ve elektriksel alanın şiddeti ile uyumlu olmalıdır.

Çalışmamızda üretilen nanofiberlerin toplayıcı plaka üzerinde aynı kalınlıkta olması için bütün üretimler için 5 ml'lik çözelti şırıngaya çekilmiştir. Şırıngaların karşı tarafına fiberlerin toplanacağı, önceden iletkenliği arttırmak için anadolizasyon işlemine tabi tutulmuş saç plakanın üzerine alüminyum folya ile kaplı olacak şekilde hazırlanmış olan toplayıcı konulmuştur. Toplayıcı plaka ile iğne ucu arasındaki mesafe çözeltinin vizkositesi, ayarlanılan voltaj, besleme pompasının hızı, toplayıcının elektrik iletkenlik katsayısı göz önüne alınarak 145 mm uzaklığa sabitlenmiştir. Elektriksel alanın oluşması için güç kaynağından gelen pozitif kutuplu kablo şırınganın iğne ucuna ve negatif kutuplu kablo ise toplayıcı plakaya tutturulmuştur (Şekil 2.2.). Besleme pompasına ise çözeltinin çekildiği şırınga yerleştirilmektedir. Şırınganın sivri olan iğne ucu kesilerek pürüzlerinin taşınarak giderilmesi gerekmektedir, aksi takdirde uygun bir Taylor konisi oluşmamakta, belli bir süre sonra da konide jet çıkışını engellenmesine sebep olmaktadır.

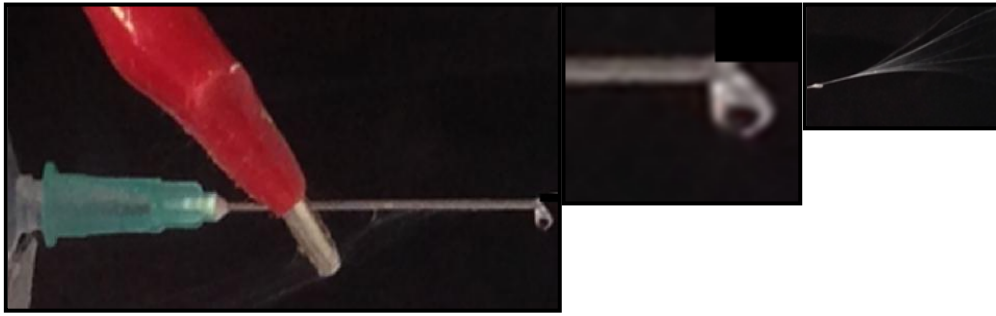


Şekil 2.2. Çalışmada Kullanılan elektrospın cihazı parçaları



Nanoelyaf üretme işlemine öncelikle besleme ünitesi çalıştırılması ile başlanılmış ve daha sonra güç kaynağının voltajı damlama yapmadan, toplayıcı üzerine boncuk şeklinde atmaması ve taylor konisinin optimum bir şekilde oluşması için stabil bir hızla arttırılmıştır. Nanoelyaf üretme işleminin ilk başında oluşan damlaların toplayıcıya sıçramasını engellemek için toplayıcının önüne kısa bir süre için bir aparat yardımıyla A4 kağıdı konulmuştur. Elektriksel alanın kararlı olmadığı bu durum uygun voltaj ayarlanıp giderildikten sonra, çözeltinin stabil bir nanofiber oluşturma durumuna geçtiği ve iğne ucundaki damlacıkta Taylor konisi oluşarak toplayıcı plaka üzerinde fiberlerin yönlendiği görülmüştür (Şekil 2.3.).

Naylon-6,6 çözeltisinden ürettiğimiz nanoelyaf için en ideal gerilim 22-25 kV olarak tesbit edilmiştir. Nanoelyaf üretimi oda sıcaklığının biraz altında, dışarıdan havanın alınıp, içeriden de havanın atıldığı iki havalandırmanın arasında, kesintisiz hava sirkülasyonunun olduğu yaklaşık 20 - 22 °C sıcaklığın olduğu laboratuvar ortamında yapılmıştır. Elde edilen saf naylon-6,6 nanoelyaf numuneler 1 saat süre ile 60 °C sıcaklıktaki fırında kurutulmuştur.



Şekil 2.3. Nanofiberlerin şırınga ucu ve taylor konisi

### 2.2.2. Elektro-Egirme Yöntemiyle ÇCKNT ile Güçlendirilmiş N-6,6 Nanoelyaf Üretimi

ÇCKNT katkılı çözelti elde etmek için öncelikle 1 g naylon-6,6, 7 ml formik asit ve 3 ml kloroform içerisinde, ağzı kapalı olacak şekilde oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılarak naylon-6,6'nın tam olarak çözülmesi sağlanmıştır. Daha sonra Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi 1 g naylon-6,6'ya karşılık ağırlıkça % 1, % 3 ve % 5 oranlarında ÇCKNT'ler ilave edilerek 3 saat manyetik karıştırıcıda balık ile karıştırılarak ÇCKNT katkılı polimer çözeltisi elde edilmiştir.



Şekil 2.4. % 1,3,5 ÇCKNT ile güçlendirilmiş N-6,6 çözeltisinin hazırlanması

Manyetik karıştırıcı ile 3 saat süre karıştırılmasına rağmen karbonnanotüp'ler saf naylon-6,6 içerisinde topaklanmakta ve özellikle % 3-5 ÇCKNT katkılı çözeltilerde çökelti oluşturmaktadır. Bu durumu önlemek ve homojen bir karışım elde etmek için problu ultrasonik homojenizatör ile oda sıcaklığında 5'er dakika aralıklı olarak, 15 dakika buz banyosunda, 50 kHz'da 10 saniye aralıklarla

karıştırılmıştır. Problu homojenizatör ile karıştırma işlemi uygularken formik asitin uçmaması için kabın üzeri alüminyum folya ve parafin ile kapatılmıştır. Karıştırma esnasında çözeltinin ısınmaması ve ÇCKNT'lerin kırılmaması için çözelti kabı buz dolu beher içerisine konularak karıştırılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. %1,3,5 ÇCKNT ile güçlendirilmiş n-6,6 çözeltisinin problu ultrasonik homojenizatör ile karıştırılması

Homojen olarak ÇCKNT'ler çözelti içerisinde dağıtıldıktan sonra 5 mL olacak şekilde şırıngalara çekilerek, saf naylon-6,6 nanoelyaf üretme işlemindeki işlem sırasına ve aynı ortam şartlarına uygun olarak nanoelyaf üretimi gerçekleştirilmiştir.

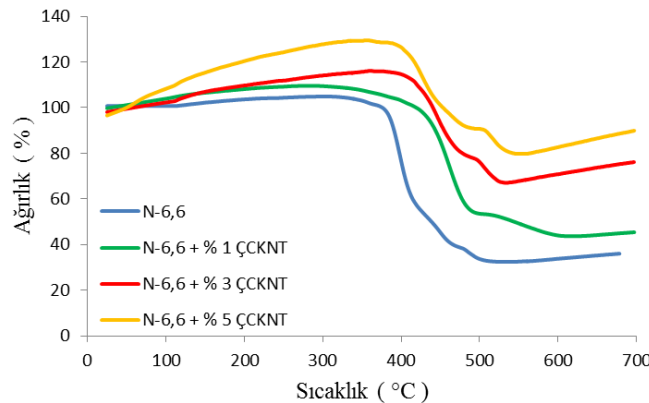
### 2.3. N-6,6 nanoelyafların Karakterizasyon

N-6,6 nanoelyaflara ait SEM görüntüleri ZEISS Evo LS 10 cihazı ile 20kV gerilimde elde edilmiştir. TG-DTG analizleri inert azot gazı atmosferinde, 10-15 mg numune kullanılarak, 25-700 °C sıcaklık aralığında, 20 °C/dk ısıtma hızı ile yapılmış ve sıcaklık artışından dolayı meydana gelen kütle kayıpları tespit edilmiştir. Elde edilen sıcaklık-kütle kaybı grafiğinden, kimyasal bağ kırılmasının meydana geldiği sıcaklık değeri dekompozisyon (bozunma sıcaklığı) olarak belirlenmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Nanoelyafların TGA analizleri

ÇCKNT takviyeli/takviyesiz N-6,6 nanoelyafların oda sıcaklığı ile 700 °C arasındaki TGA eğrileri Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



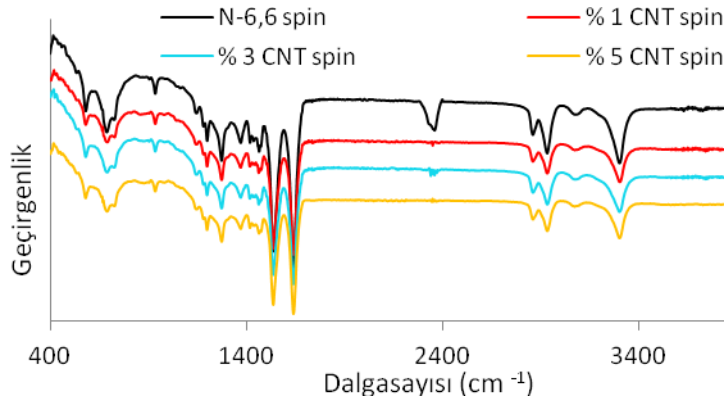
Şekil 3.1. ÇCKNT takviyeli/takviyesiz N-6,6 nanoelyafların TGA eğrileri

N-6,6 nanoelyafların ilk bozunma sıcaklığı 375 °C'dir. N-6,6 nanoelyaflara ağırlıkça % 1, 3 ve 5 ÇCKNT'ler ilave edildikçe sırasıyla 405, 400 ve 400 °C artış olmuştur. % 3 ve 5 ÇCKNT'de ilk bozunma sıcaklıkları kararlı hale geldiği görülmektedir. ÇCKNT'ler ile güçlendirilmiş nanoelyafların termal kararlılığı ÇCKNT'lerin ağırlıkça polimer içerisinde bulunmasından ve böylece polimer matristeki yüzey alanının yükselmesinden kaynaklanmaktadır. Bu sonuç diğer araştırma sonuçlarıyla hemen hemen eşleşmektedir [15].

Son bozunma sıcaklığı (% 100) N-6,6 nanoelyafların 410 °C iken, ağırlıkça % 1 ÇCKNT takviyesiyle bozunma sıcaklığı 610 °C'ye artmıştır. Fakat % 3 ve 5 ÇCKNT güçlendirilmesiyle son bozunma sıcaklıkları 545 ve 550 °C'de gerçekleşerek N-6,6 nanoelyaflarının termal kararlılığı iyileştirdiği gözlenmiştir. Bunun bir nedeni de naylon-6,6 nanoelyaf içerisinde ağırlıkça % 3-5 ÇCKNT olmasıyla sızma eşiğine bağlı olabilir ve bu da son bozunma sıcaklığın artışına neden olan iletken bir yol gibi davranarak sıcaklığın iletiminde karbon nanotüplerin sızma ağı oluşturmasındandır [16]. Ayrıca N-6,6 nanoelyafların % kütle kaybı %60 iken takviyenin artmasıyla % kütle kaybı azalmıştır.

### 3.2. Nanoelyafların FTIR analizleri

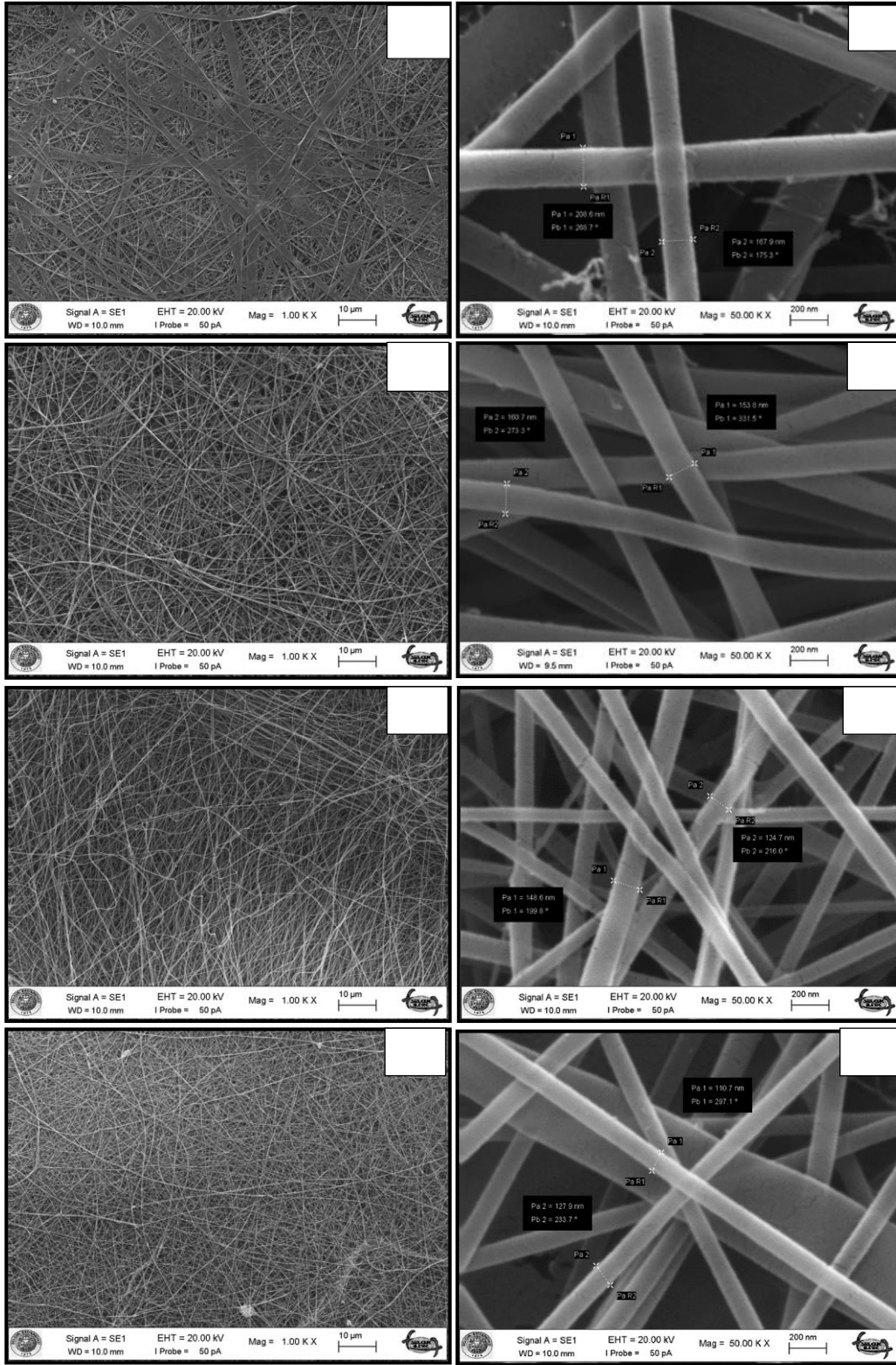
Şekil 3.2.'de ÇCKNT takviyeli/takviyesiz N-6,6 nanoelyafların FTIR spektrumları gösterilmektedir. 2935  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $\alpha$  fazının baskınken 1373 ve 1465  $\text{cm}^{-1}$ 'de  $\beta$  ve  $\gamma$  fazları çok düşük miktarda gözlenmiştir. 3303  $\text{cm}^{-1}$ 'de önemli bant olan N-H gerilme titreşimi göstermektedir. Ayrıca naylon 6,6 için diğer karakteristik özelliği hidrokarbon bağ boyunca amid pikleri 1639, 1201 ve 1276  $\text{cm}^{-1}$ 'de görünmektedir. 937  $\text{cm}^{-1}$ 'de amorf fazı gözlenmektedir [17].



Şekil 3.2. ÇCKNT takviyeli/takviyesiz N-6,6 nanoelyafların FTIR spektrumları

### 3.3. Nanoelyafların morfolojisi

ZEISS Evo LS 10 cihazı ile alınan nanofiberlerin SEM görüntüleri, Autocad programına kopyalanarak 10 ar adet en büyük ve en küçük nanofiberler boyutları ölçülerek aritmetik ortalaması alınmıştır. Bunun sonucunda; naylon-6,6 nanofiberlerin çap ölçüleri 167-208 nm aralığında, N-6,6+% 1 ÇCKNTler nanofiberlerin çap ölçüsü 153-160 nm aralığında, N-6,6+% 3 ÇCKNTler nanofiberlerin çap ölçüsü 124-148 nm aralığında iken N-6,6+% 5 ÇCKNTler nanofiberlerin çap ölçüsü ise 110-127 nm olarak ölçülmüştür. Şekil 3.3.'te nanofiberlerin 1000X ve 50 000X büyütme SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.3. N-6,6 nanoelyafların SEM görüntüleri; a) 1K X ve b) 50 KX N-6,6, c) 1 KX ve d) 50 KX N-6,6+% 1 ÇCKNT, e) 1 KX ve f) 50 KX N-6,6+% 3 ÇCKNT, g) 1 KX ve h) 50 KX N-6,6+% 5 ÇCKNT

Elektrospın işleminde daha düzgün ve küçük çaplarda fiber elde etmek için çözeltinin elektriksel iletkenliği artırılmalıdır. Çalışmamızda çözelti içerisine %1,3,5 oranında ÇCKNT katılarak çözeltinin taşıdığı yükleri ve dolayısıyla elektriksel iletkenliğin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Nylon-6,6 nonofiberlerin ortalama çap ölçüsü, N-6,6+% 5 ÇCKNTler

nonofiberlerin ortalama çap ölçüsüyle karşılaştırıldığında % 58 oranında düşüş gerçekleşerek 118.5 nm olarak ölçülmüştür.

Ayrıca 1 000 X büyütmeli nonofiberlerin SEM görüntüleri yorumlandığında N-6,6 çözeltisinin içerisine ilave edilen KNT miktarı arttıkça nanoelyafların çapları küçüldüğü için ince ve uzun fiberlerin oluştuğu görülmüştür. Ancak takviye malzemesi olan ÇCKNT miktarı arttıkça topaklanmaya ve liflerde boncuklu yapı oluştuğu ve liflerin uzunluklarında kesiklik olduğu görülmektedir. Bu durumun özellikle ağırlıkça %3 ve 5 oranında ÇCKNT katkılı nanoelyaflarda görüldüğü, bunun sebebi de N-6,6 çözeltisi içerisinde karbon nanütüplerin yeterince, homojen olarak karıştırılmamasından kaynaklanmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

Elektro-eğirme yöntemiyle ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında ÇCKNT takviyeli ve takviyesiz N-6,6 nanoelyaflar üretilmiştir. Üretilen nanoelyafların karakterizasyonları FTIR, SEM ve TGA ile incelenmiştir. Analizlerin sonucunda:

- 1- TGA analizleri sonucunda N-6,6 nanoelyafların ilk bozunma sıcaklığı ağırlıkça % 1 oranındaki ÇCKNT güçlendirilmesiyle 375 °C'den % 8 artarak kararlı hale gelmiştir. Daha sonra bu değerler % 1 ÇCKNT oranından sonra az düşüş gözlenmiş olup, bu durum ise ÇCKNT'in N-6,6 matriks içerisinde artmasıyla birlikte topaklanma olmasından kaynaklanmaktadır.
- 2- N-6,6 nanoelyafların son bozunma sıcaklığı 410 °C'den, ağırlıkça % 1 ÇCKNT takviyesiyle 610 °C'ye yükselmiştir. ÇCKNT güçlendirilmesiyle N-6,6 nanoelyaflarının termal kararlılığı iyileştirdiği gözlenmiştir. Nylon-6,6 nanoelyaf içerisinde ağırlıkça % 3-5 ÇCKNT ideal sızma eşiğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca N-6,6 nanoelyafların % kütle kaybı % 60 iken takviyenin artmasıyla % kütle kaybı azalmıştır.
- 3- SEM morfolojisi incelendiğinde ÇCKNT oranının artmasıyla nanoelyaf çapları azalmıştır. Ayrıca % 1 oranındaki ÇCKNT takviyesiyle nanoelyaflarda boncuklaşmanın olmadığı ve uzun elyaf üretimi gerçekleşmiştir. ÇCKNT oranının artmasıyla boncuklaşmanın oluşarak, elyafların uzunluklarının da kısaldığı anlaşılmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] Saçak M. "Polimer kimyasına giriş," Ankara Üniversitesi Yayınları, Yayın, (50), 1998.
- [2] Rajesh JJ, Bijwe J, Tewari US. "Abrasive wear performance of various polyamides," Wear, 252(9-10), 769-76, 2002.
- [3] Zhao LX, Zheng LY, Zhao SG. "Tribological performance of nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reinforced polyamide 6 composites," Mater Lett, 60(21-22), 2590-3, 2006.
- [4] Başer İ. "Elyaf bilgisi," Marmara Üniversitesi; 1992.
- [5] Wang M, Wang W, Liu T, Zhang W-D. "Melt rheological properties of nylon 6/multi-walled carbon nanotube composites," Composites Science and Technology, 68(12), 2498-502, 2008.
- [6] Ekrem M, Ataberk N, Avci A, Akdemir A. "Improving electrical and mechanical properties of a conductive nano adhesive," J Adhes Sci Technol, 31(7), 699-712, 2017.
- [7] Njuguna J, Pielichowski K, Alcock JR. "Epoxy-based fibre reinforced nanocomposites," Adv Eng Mater, 9(10), 835-47, 2007.
- [8] Spitalsky Z, Tasis D, Papagelis K, Galiotis C. "Carbon nanotube-polymer composites: Chemistry, processing, mechanical and electrical properties," Progress in Polymer Science, 35(3), 357-401, 2010.
- [9] Coleman JN, Khan U, Gun'ko YK. "Mechanical reinforcement of polymers using carbon nanotubes," Adv Mater, 18(6), 689-706, 2006.

- [10] Duzcukoglu H, Ekinçi S, Sahin OS, Avci A, Ekrem M, Unaldi M. "Enhancement of Wear and Friction Characteristics of Epoxy Resin by Multiwalled Carbon Nanotube and Boron Nitride Nanoparticles," Tribol T, 58(4), 635-42, 2015.
- [11] Greiner A, Wendorff JH. "Electrospinning: A fascinating method for the preparation of ultrathin fibres," Angew Chem Int Edit, 46(30), 5670-703, 2007.
- [12] Subbiah T, Bhat GS, Tock RW, Pararneswaran S, Ramkumar SS. "Electrospinning of nanofibers," J Appl Polym Sci, 96(2), 557-69, 2005.
- [13] Zhang J, Lin T, Wang XG. "Electrospun nanofibre toughened carbon/epoxy composites: Effects of polyetherketone cardo (PEK-C) nanofibre diameter and interlayer thickness," Composites Science and Technology, 70(11), 1660-6, 2010.
- [14] Ekrem M. "Fracture Behavior of Epoxy Adhesives Reinforced with Carbon Nanotubes and Polyvinyl Alcohol Nanofibers in Aluminum Joints," PhD Dissertation, Konya: Selcuk University; 2015.
- [15] Sinha M, Das B, Srivastava A, Saxena A. "Study of Electrospun Poly\ acrylonitrile (PAN) and PAN/CNT Composite Nanofibrous Webs," Research Journal of Textile and Apparel, 19(1), 36-45, 2015.
- [16] Hapuarachchi TD, Peijs T. "Multiwalled carbon nanotubes and sepiolite nanoclays as flame retardants for polylactide and its natural fibre reinforced composites," Compos Part a-Appl S, 41(8), 954-63, 2010.
- [17] Abbasi A, Nasef MM, Takeshi M, Faridi-Majidi R. "Electrospinning of nylon-6,6 solutions into nanofibers: Rheology and morphology relationships," Chinese J Polym Sci, 32(6), 793-804, 2014.



---

**Makale / Research Paper**

---

**İzoniazid Çözeltisinde Üç Değerlikli Kromun İndirgemesinin  
Elektrokimyasal Mekanizması**

**Kübra TEHÇİ, Abdullah Ali GÜRTE**

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 80000 Osmaniye/TÜRKİYE  
kubratehci5301@hotmail.com, aligurten@osmaniye.edu.tr

**Received/Geliş:** 29.03.2017

**Revised/Düzeltilme:** 26.04.2017

**Accepted/Kabul:** 28.04.2017

**Özet:** Bu çalışmada, izoniazid (INH) içeren üç değerlikli krom çözeltisinde metalik kromun elektrokaplama, 40 °C'de camsi karbon elektrot yüzeyinde INH içeren temel banyo çözeltisindeki (TB) üç değerlikli kromun, elektrokimyasal davranışı dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak araştırıldı. Dönüşümlü voltametreden elde edilen sonuçlar, INH içeren TB çözeltisindeki metalik kromun elektrokaplama prosesi tersinmez bir proses olduğu ve camsi karbon elektrot yüzeyinde Cr(III)'ün indirgenmesinin difüzyon denetimli olduğunu göstermiştir. Ortalama  $\alpha n \alpha$  değeri 40 °C'de 0,314 ve Cr(III)'ün difüzyon katsayısı büyüklüğü  $1,06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  olarak hesaplandı.

**Anahtar kelimeler:** Üç Değerlikli Krom, Elektrokaplama, Difüzyon Katsayısı, İzoniazid

---

**Electrochemical Mechanism of Trivalent Chromium Reduction  
in Isoniazid Solution**

**Abstract:** In this study, the electrodeposition of metallic chromium from trivalent chromium electrolytes (TB) containing isoniazide (INH) on a glassy carbon electrode at 40 °C was researched by using cyclic voltammetry. The results obtained from the cyclic voltammetry showed that the electrodeposition of metallic Cr in the TB containing INH was an irreversible process and controlled by the diffusion of Cr(III) reduction on a glassy carbon electrode. The average  $\alpha n \alpha$  value was calculated to be 0.314 and the diffusion coefficient value of Cr(III) was to be  $1.06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  at 40 °C.

**Keywords:** Chromium, Electrodeposition, Diffusion Coefficient, Isoniazid.

---

## 1. Giriş

Sert krom kaplamalar, yüzeydeki krom filminin olağanüstü özelliğinden dolayı modern endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom kaplamalar, yüksek toksik özelliğe sahip altı değerlikli krom içeren kromik asit çözeltisinden elde edilir. Altı değerlikli krom kaplamalar oldukça küçük akım veriminden dolayı, diğer metal kaplama işlemlerinden farklıdır. Gerçekte, tipik Cr(VI) banyolarındaki akım etkinliği değeri %10-%20'yi aşmaz. Kaplamadan gelen Cr oranı 0,1-0,5 µm/dk dolayındadır. Çevresel problemlere dikkatlerin artması sebebiyle Cr(VI) içerikli bileşikler endüstriyel uygulamalarda devre dışı bırakılmaya başlanmıştır. Bu yüzden, geleneksel Cr(VI) banyo çözeltilerine alternatif olarak çevreye dost Cr(III) bileşiği banyoların krom kaplama

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Tehçi, K., Gürten, A.A., "İzoniazid Çözeltisinde Üç Değerlikli Kromun İndirgemesinin Elektrokimyasal Mekanizması" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 156-164.

*How to cite this article*

Tehçi, K., Gürten, A.A., T., "Electrochemical Mechanism of Trivalent Chromium Reduction in Isoniazid Solution" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 156-164.

işlemlerinin gelişimi, modern kaplama endüstrisinde çok önemli bir hedefdir. Üç değerlikli krom içerikli banyo çözeltilerinin oluşturulmasında bir dizi gelişmeler olmuştur.

Krom (III) banyo çözeltilerinin süreklilik arz eden kararlılığa sahip olmadığı literatürde vurgulanmaktadır [1]. Ayrıca Cr(III) içerikli çözeltiler kullanılarak, krom kaplamaların oldukça zor olduğu bilinmektedir [2]. Aynı zamanda, krom (III) içerikli banyolardan elde edilen krom kaplamalarda, kaplama hızının kaplama zamanı ile hızlı bir şekilde azaldığı, ayrıca akım verimi kadar kaplama hızının da Cr(VI) banyo çözeltilerinde daha yüksek kararlılığa sahip olduğu literatürde belirtilmiştir [2].

Son yıllarda araştırmacılar üç değerlikli krom elektrolitlerden, krom kaplamalar yapılabilen ve geleneksel Cr(VI) kaplama yerine uygun, düşük maliyetli ve krom kaplama üretim teknolojisine önem verildiğini ifade etmektedirler [3,4]. Bunun sebepleri arasında, krom (III) tuzlarının krom anhidritlere göre çok daha az toksik, arıtmalarının çok daha kolay [5] ve krom (III) içerikli çözeltilerin kullanımının korozyona dayanıklı elektrolitik alaşım kaplamalarda ürün yelpazesinin genişlemesine neden olacağı belirtilmiştir. Ancak Cr(III) tabanlı kaplamaların, Cr(VI) kaplamalara göre daha düşük korozyon ve dayanım direncine sahip olduğu bilinmekte, bu tür kaplamaların özellikleri; Fe, Ni, Co gibi metal iyonları ile alaşım kaplamalar yapılarak korozyon ve dayanım direncinin artırıldığı bildirilmektedir [6]. Örneğin, Co-Cr alaşım kaplamalar; tıbbi protezlerde, deniz ve hava araçlarında, hava ve gaz endüstrisinde, dayanımı ve metal yorgunluk direncini arttırdığından dolayı kullanılmaktadır. Literatürde bu tür alaşımlarda kromun %10-%30 olduğu oranlarda mekanik ve korozyon direncinin yüksek olduğu rapor edilmiştir [7]. Krom (III) içerikli banyo çözeltilerinde, Co-Cr alaşım kaplamalarda krom içeriğinin, elektrolit sıcaklığı artırılarak ya da akım yoğunluğu düşürülerek azalabileceği ifade edilmiştir [8].

Kobalt-krom alaşım kaplamada, elektrolit bileşenin etkisi, çözeltinin pH'ı, alaşım bileşenin elektroliz koşulları ve kaplama kalitesini Efimow ve arkadaşları tarafından çalışılmış ve en yüksek krom içeriğinin % 15 olduğu alaşımın, tek başına Cr kaplamadan daha iyi korozyon direncine sahip olduğunu rapor etmişlerdir [9]. Benzer bir çalışmada, [10] krom (III) banyo çözeltisine farklı derişimlerde  $CoCl_2$  eklenmesiyle farklı oranlarda krom içeren (%19 - %35) alaşım kaplamalar elde etmişlerdir. Krom içeriğinin %35 olduğu alaşımın, içeriği %19 olan alaşımdan daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu Saravanan ve Mohan tarafından da rapor edilmiştir [7]. Bir başka araştırmada, Co-Cr alaşımlarının sertliği, korozyon direnci ve dayanım direncini arttırmak için bioaktif materyal olarak bilinen  $TiO_2$  ile Co-Cr/ $TiO_2$  kaplamalar elde etmişler ve başarılı sonuçlar almışlardır [11]. Başka bir çalışmada, korozyona karşı etkili bir koruma sağlanmak isteniyorsa krom-molibden ve krom-tungsten gibi kaplamaların oluşturulmasının son derece anlamlı olabileceği ifade edilmektedir. Literatürde, molibden ve tungsten gibi metallerin az miktarda safsızlık olarak krom kaplamalarda bulunmasının klorürlü ortamlarda önemli ölçüde korozyon direncini artırdığı belirtilmektedir. Ancak, krom anhidrit içerikli çözeltilerden molibden ve tungsten alaşımlarının oluşturulmasının çok zor olduğu, elektrolitik olarak Mo ya da W oranının % 0,1 den daha fazla olamayacağı Kuznetsovs ve Matveev tarafından rapor edilmiştir [12,13].

Krom kaplamaların yüksek korozyon dirençlerinin nedeni; sülfürik asit ve nitrik asit, alkali çözeltiler gibi bazı korozif ortamlarda kendi pasivasyonunu sağlamasındandır [14,15]. Bu yüzden, krom yüzeyinde oluşan ince bir oksit film metalin çözülmesini önler. Ancak, krom kaplamaların önemli bir dezavantajı da, klorür iyonlarının ortamda bulunmasına bağlı olarak korozyon oluşumunun gerçekleşmesidir. Bu durum, krom kaplama prosesi içerisine küçük miktarlarda fosfor, molibden, tungsten veya niyobyum katılması suretiyle aşılabılır [6,16,17]. Örneğin, metalin çözülmesini önleyen Molibden'in oluşturduğu çok ince olan yüzey tabakası korozyon hızını yaklaşık 10 kat azaltmaktadır [18]. Elektrokimyasal olmayan yöntemlerle Cr-W ve Cr-Mo kaplamalar elde etmek yüksek erime noktalarından dolayı çok zordur. Krom (VI) içerikli banyo çözeltilerinden elde edilen alaşım kaplamalar küçük miktarlardaki tungsten ya da Molibden ile gerçekleştirilmektedir. Cr-W alaşım kaplamalar elde etmek için krom (III) içerikli banyo çözeltileri



kullanıldığı banyo çözeltisi bir dizi özelliğe sahip olmaktadır. Kaplamanın önemli bir kısmı krom karbür içermektedir. Sulu çözeltilerden elde edilen kaplamalar için belirtilen deneysel verilerden karbonun ağırlıkça % 2 olduğu rapor edilmiştir. Kaplamalarda karbon içeriğinin nedeninin, sulu çözeltideki organik asitlerin (formik ve ya oksalik asit) anyonları ile Cr(III) iyonlarının kompleks oluşturmasından kaynaklandığı literatürde belirtilmiştir [18,19].

Krom (III) çözeltisinden hazırlanan krom kaplama banyo çözeltilerinde kompleksleştirici olarak sodyum ve amonyum format ve asetat Song ve Chin tarafından 2002 yılında yapılmış oldukları araştırmalarında kullanmışlardır. Böylece, krom kaplamada bu tür kompleks ajanların aktif  $Cr^{3+}$  indirgenme tepkimesinde kullanıldığını deneysel olarak göstermişlerdir [20]. Sulu çözeltide, üç değerlikli krom iyonları  $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ ,  $[(H_2O)_4Cr(OH)(OH)Cr(H_2O)]^{4+}$ ,  $[(H_2O)_5Cr(OH)Cr(H_2O)_5]^{5+}$ ,  $[Cr(H_2O)_5(OH)]^{2+}$ ,  $[Cr(H_2O)_5Cl]^{2+}$  vb gibi çeşitli kompleks formlarında bulunmaktadır. Çözeltide organik türden ligand bulunduğunda,  $Cr^{3+}$  iyonu ile kompleks yapmış bir ya da daha fazla  $H_2O$ ,  $OH^-$  ve  $Cl^-$  gibi türler, organik ligandlar ile yer değiştirebilir ve  $[Cr(H_2O)_5(HCOO)]^{2+}$ ,  $[Cr(H_2O)_5(CH_3COO)]^{2+}$  ve  $[Cr(EDTA)]^-$  gibi organo-krom kompleksleri oluşturabilir. Kaplama banyosunda; format ya da asetat gibi kompleksleştirici organik ligandlar olmadan, üç değerlikli kromun indirgenmesi mümkün değildir [21].

Çalışmanın amacı, dönüşümlü voltametri (CV) yöntemiyle izoniazid (INH) içeren üç değerlikli krom çözeltisinden camı karbon elektrot yüzeyinde Cr(III)'ün indirgenmesinin incelenmesi ve elde edilen CV sonuçlarından; tersinirlik, aktarılan elektron sayısı, difüzyon katsayısı gibi elektrokimyasal parametrelerin belirlenmesidir.

### 3. Deneysel Çalışmalar

Dönüşümlü voltammogram, elektrot yüzeyindeki reaksiyon hakkında faydalı bilgiler elde etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Üç değerlikli kromun indirgenmesinin elektrokimyasal mekanizması, 0,20 M  $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ , 0,10 M  $H_3BO_3$  ve 0,10 M  $NH_4Cl$  karışımı olan Temel Bileşim (TB) çözeltisinde INH içeren ve içermeyen koşullarda 40 °C'de pH'nın 2 olduğu koşullarda katot elektrot reaksiyonunu araştırmak için dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak elektrokimyasal çalışmalar yapılmıştır.

Deneylerde % 99,99 saflıkta 3,0 mm çapında camı karbon çalışma elektrotu, CHI marka mikro Ag/AgCl referans elektrot, 0,10 mm çaplı platin tel karşı elektrot olarak kullanıldı. Yüzey alanı  $0,0707 \text{ cm}^2$  olan çalışma elektrodun açık olan yüzeyi mekanik olarak 0,05  $\mu\text{m}$  alümina kolloid çözeltisinde çulha üzerinde parlatıldı. Ardından önce etanol ile daha sonra distile su ile yıkandı ve kurutuldu.

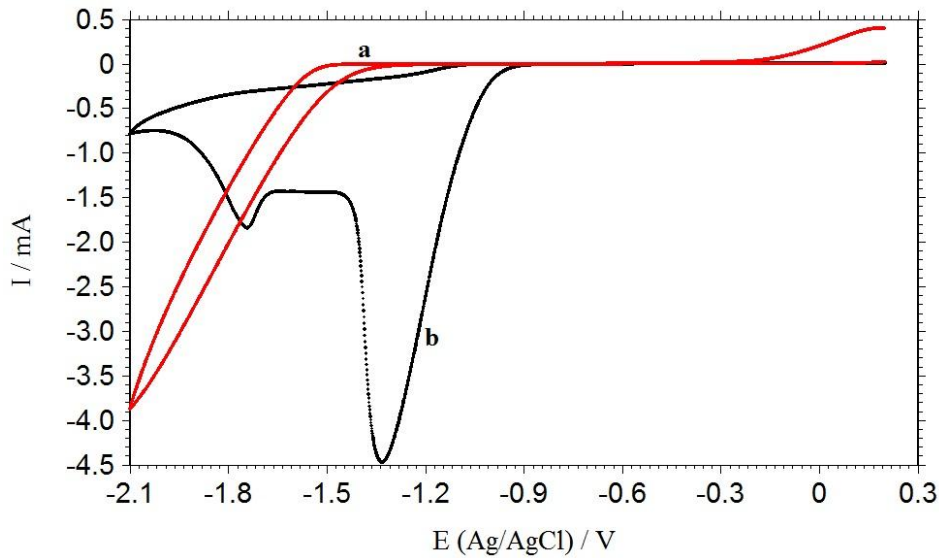


Şekil 1. CV ölçümlerinde kullanılan hücre

Şekil 1’de gösterilen hücrede, TB ve TB + INH çözeltisine; çalışma elektrotu olarak camsı karbon elektrot, karşı elektrot olarak platin (Pt) tel ve referans elektrot olarak da Ag/AgCl elektrot daldırıldıktan sonra bilgisayar entegreli CHI 6094D model elektrokimyasal analizör ile CV ölçümleri farklı tarama hızlarında gerçekleştirilmiştir. Voltamogramlardan, pik potansiyeli ( $E_p$ ), yarı pik potansiyeli ( $E_{p/2}$ ) ve pik akımı ( $i_p$ ) değerleri bulunarak ortalama yük transfer katsayısı ve difüzyon katsayısı değerleri hesaplandı.

#### 4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Camsı karbon elektrot (GC) yüzeyindeki izoniazid’in (izonikotinihidrazid, INH) 313 K’deki dönüşümlü voltamogramı Şekil 2’de verilmiştir. Öncelikle INH’nin pH 2,0’da sulu çözeltide 0,2 V ile -2,1 V aralığında dönüşümlü voltamogramı alınmıştır (Şekil 2). Şekilden de görüldüğü gibi (a eğrisi) yaklaşık -1,35 V’den itibaren hidrojen indirgenmesi dışında pik gözlenmemiştir. Bu sonuç, tarama yapılan potansiyel aralığında INH’nin elektrokimyasal olarak kararlı olduğunun kanıtıdır.

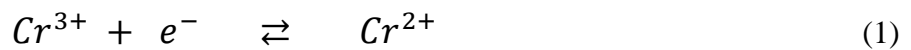


Şekil 2. GC elektrot yüzeyinde 313 K’de INH sulu çözeltisi (a) ve 0,20 M Cr(III)-INH (b) çözeltisi. ( $\nu = 50 \text{ mV s}^{-1}$ )

GC yüzeyinde 0,20 M Cr(III)-INH çözeltisinde 313 K’deki dönüşümlü voltamogramı da Şekil 2’de (b eğrisi) verilmiştir. Potansiyel taraması 0,20 V dan negatif potansiyele doğru -2,10 V’a kadar ve daha sonra başlangıç potansiyeline doğru tarama yapılmıştır. Başlangıç potansiyelinden -0,9 V’a kadar akım değeri artış göstermemiştir. Bu potansiyelden itibaren akım değeri hızla azalmış ve -1,35 V potansiyelde Cr (III)’ün Cr(II)’ye indirgenme pikine ait olduğu literatürde rapor edilmiştir [20,22]. Yaklaşık -1,50 V’a kadar akımın dik bir şekilde artması elektrot yüzeyinde Cr (II)’nin metalik kroma indirgenmesinin başladığını göstermektedir.

İndirgeme işlemi sırasında, metalik krom çökeltilerinin oluşmasıyla, Ferreira ve arkadaşları tarafından yaklaşık -1,50 V’dan daha katodik potansiyelerde kaplamanın gerçekleşebileceği, rapor edilmiştir [22]. Yaklaşık -1,60 V’dan itibaren metalik kroma indirgenme başlamış ve -1,75 V’da Cr (II)’nin Cr(0)’a indirgenme piki görülmüştür.

Kromun elektrokaplanması, hidrojen oluşumuyla birlikte üç aşamada gerçekleşmektedir [23,24].  $\text{Cr}^{+3}$  iyonlarının tamamlanmamış indirgenmesi;



Krom metalinin elektrokaplama;

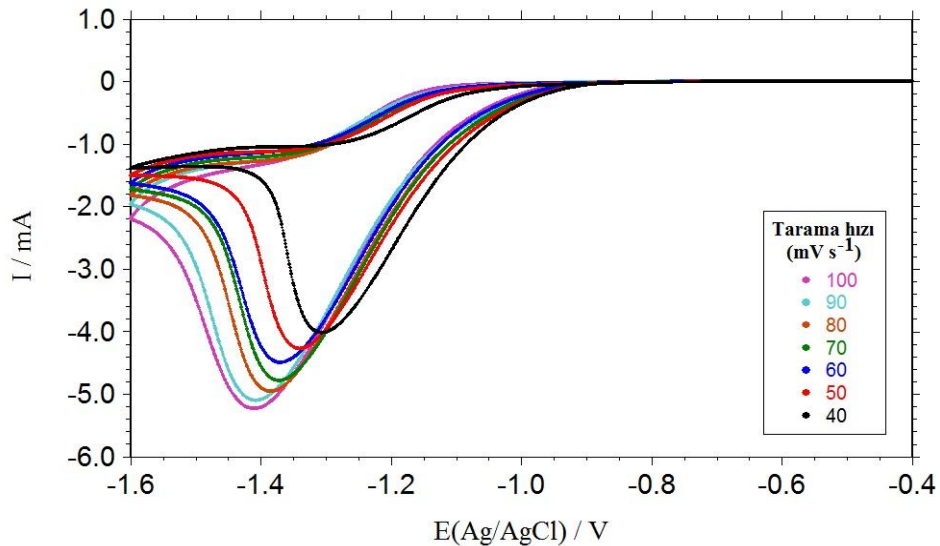


Eşzamanlı hidrojen oluşumu;



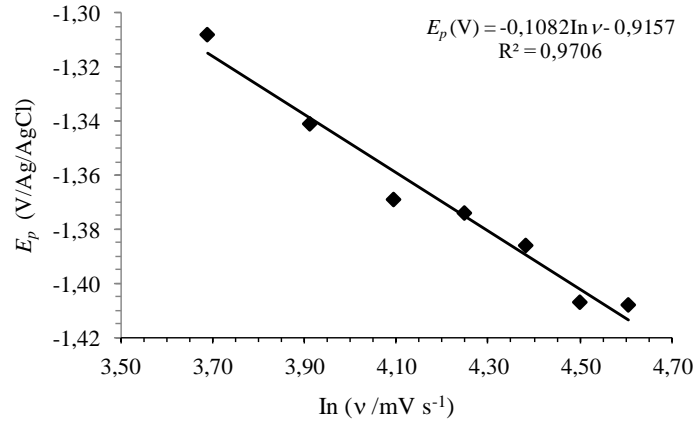
Şekil 2'den de görüldüğü gibi, olası tarama tersine çevirildiğinde, -2,10 V'dan itibaren başlangıç potansiyeline anodik tarama yapıldığında, oksidasyon piki gözlenmemiştir. Bu durum Cr (III)'ün GC yüzeyinde indirgenmesinin tersinmez olduğunu düşündürmüştür. Ayrıca, 0,500 ile -2,100 V aralığında INH çözeltisinde (Şekil 2.a) oluşan çözücü sistemine ait hidrojenin indirgenmesi dışında herhangi bir indirgenme-yükseltgenme pikine rastlanmadı. Bu nedenle, çalışmaya uygun potansiyel aralığının -0,400 - 1,600 V olarak seçilmesine karar verildi.

Dönüşümlü voltametri yöntemi ile Cr(III)-INH çözeltisinin elektrokaplama kinetiğini araştırmak ve difüzyon katsayısı belirleme için GC elektroda uygulanan potansiyelin zamanla değişim hızını ifade eden tarama hızı çalışması yapılmıştır. Tarama hızının pik potansiyeline ve pik akımına etkisinin incelenmesi amacıyla 0,20 M Cr(III)-INH içeren çözeltilerde 40 mV s<sup>-1</sup>-100 mV s<sup>-1</sup> arasında çalışmalar yapıldı. Farklı tarama hızıyla, pik potansiyellerinin daha negatif değerlere kaydığı görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı tarama hızlarında 0,20 M Cr(III)-INH çözeltisinin 313 K'de GC elektrot yüzeyinde elde edilen dönüşümlü voltamogramları

Ayrıca, tarama hızının artmasıyla katodik pik akımlarının artması da incelenen elektrot tepkimesinin tersinmez ya da yarı tersinir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, anodik tarama yönünde belirgin bir anodik pik oluşmaması ve katodik pik potansiyellerine karşı tarama hızlarının logaritması arasında doğrusal bir ilişkinin olması (Şekil 4), GC elektrot yüzeyinde Cr (III) iyonlarının indirgenmesinin tersinmez olduğunun kanıtıdır [25,26].



Şekil 4. Katodik pik potansiyelinin tarama hızının logaritması ile değişimi

Pik potansiyelinin tarama hızına karşı oluşturulan grafikten yük transfer katsayıları ( $\alpha$ ) ve elektron sayıları ile ilgili hesaplamaları da yapmak mümkündür. Tersinmez elektrot mekanizmalarında, pik potansiyeli ( $E_p$ ) ile yarı pik potansiyeli ( $E_{p/2}$ ) arasındaki farktan yararlanılarak  $n_\alpha$  değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik (5)).

$$|E_p - E_{p/2}| = \frac{1,857 RT}{\alpha n_\alpha F} \quad (5)$$

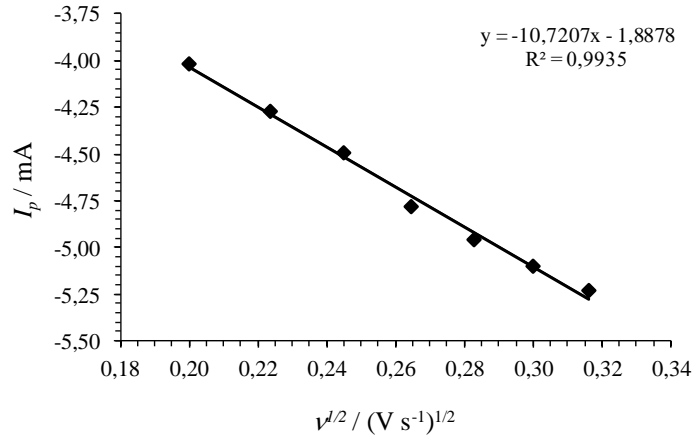
Eşitlik 5'deki  $\alpha$  yük transfer katsayısı,  $n_\alpha$  hız belirleyici basamaktaki elektron sayısı,  $R$  evrensel gaz sabiti,  $F$  Faraday sabiti ve  $T$  sıcaklıktır. Tersinmez prosesteki  $\alpha n_\alpha$ 'nın değerleri Eşitlik 5'den hesaplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir. Eşitliğe göre 313 K'de hesaplanan ortalama  $\alpha n_\alpha$  değeri 0,314 olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. 0,2 M Cr (III)-INH çözeltisinin pik potansiyellerinin tarama hızı ile değişimi

Tarama Hızı (mV s <sup>-1</sup> )	$E_p$ (V)	$E_{p/2}$ (V)	$\Delta E$ (mV)	$n_\alpha=50,1/\Delta E$
0,040	1,308	1,159	149	0,336
0,050	1,341	1,189	152	0,330
0,060	1,369	1,216	153	0,327
0,070	1,374	1,212	162	0,309
0,080	1,386	1,220	166	0,302
0,090	1,407	1,239	168	0,298
0,100	1,408	1,239	169	0,296

Ortalama= 0,314

Katodik pik akımının tarama hızının karekökü ile doğrusal değişimi Cr (III) iyonunun indirgenmesinin difüzyon kontrollü ve elektron aktarım basamağının tersinmez olduğunun kanıtıdır [25]. Şekil 5'de görüldüğü gibi,  $i_p$ 'e karşı  $v^{1/2}$  eğrisinin doğrusal olması Cr(III)-INH çözeltisinde  $Cr^{3+}$  iyonunun indirgenmesinin difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir. Buna göre, GC elektrot yüzeyinde  $Cr^{3+}$ 'dan  $Cr^{2+}$ 'ye indirgenmenin tersinmez ve difüzyon kontrollü olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Katodik pik akımının tarama hızının karekökü ile değişimi

Tersinmez reaksiyonlar ya da yarı tersinir için pik akım yoğunluğu ve potansiyel tarama hızı arasındaki ilişki Eşitlik 6'da verilmektedir.

$$I_p = \frac{0,282\pi^{1/2}F^{3/2}}{(RT)^{1/2}} n(\alpha n_\alpha)^{1/2} D^{1/2} AC_0 v^{1/2} \quad (6)$$

Eşitlik 6'daki  $F$  Faraday sabiti ( $96485 \text{ C mol}^{-1}$ ),  $R$  evrensel gaz sabiti ( $8,314 \text{ j mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  $T$  sıcaklık (K),  $A$  elektrodun yüzey alanı ( $0,0707 \text{ cm}^2 \text{ GC}$ ),  $n$  indirgenen elektron sayısı,  $\alpha$  yük transfer katsayısı,  $n_\alpha$  hız belirleyici basamaktaki elektron sayısı,  $D$  difüzyon katsayısı ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ),  $C_0$   $\text{Cr}^{3+}$  derişimi ve  $\alpha n_\alpha$ 'nın ortalama değeri Eşitlik 5'den hesaplanmıştır.

Krom (III) iyonunun difüzyon katsayısı Eşitlik 6'ya göre  $313\text{K}$ 'de  $1,06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürdeki  $[25,27]$   $\text{CrCl}_3$ -[BMIM]Br çözeltisindeki değerler ( $353 \text{ K}$  de  $2,30 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ,  $303 \text{ K}$ 'de  $2,91 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) ile karşılaştırıldığında daha büyüktür. Bu sonuç,  $\text{Cr(III)-INH}$ 'nin krom kaplamada ticari uygulamalar için oldukça umut verici olduğunu göstermektedir.

## 5. Sonuçlar

Üç değerlikli krom iyonu içeren çözeltiden elde edilen krom kaplamalarda INH molekülünün etkisi araştırılan çalışmada; GC elektrotta INH katkılı krom kaplama çözeltisinde  $\text{Cr(III)}$  iyonunun elektrokimyasal indirgenmesi incelenmiştir. GC elektrot yüzeyinde INH katkılı TB çözeltisinde farklı tarama hızlarında  $\text{Cr}^{3+}$ 'nin dönüşümlü voltamogramları alınarak  $\text{Cr}^{3+}$ 'nin indirgenmesinin iki basamakta gerçekleştiği, tepkimenin tersinmez ve difüzyon kontrollü olduğu belirlenmiştir. INH katkılı TB çözeltisinde, dönüşümlü voltametri verilerinden hesaplanan  $\text{Cr}^{3+}$  iyonlarının difüzyon katsayısı  $313 \text{ K}$ 'de  $1,06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  dir. Bu değer büyük değerde olması  $\text{Cr(III)-INH}$ 'nin krom kaplamada ticari uygulamalar için oldukça umut verici olduğunu sonucuna varılmıştır.

## Teşekkür

OKÜBAP-2017-PT3-002 nolu projeyi destekleyen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1] Drela, I., Szykarczuk, J., Kubicki, J., "Electrodeposition of chromium from Cr (III) electrolytes in the presence of formic acid", *Journal of Applied Electrochemistry*, 19, (1989) 933-936.
- [2] Protsenko, V.S., Danilov, F.I., Gordienko, V.O., Kwon, S.C., Kim, M., Lee, J.Y., "Electrodeposition of hard nanocrystalline chrome from aqueous sulfate trivalent chromium bath", *Thin Solid Films* 520, (2011) 380-383.
- [3] Safonova, O.V., Vykhodtseva, L.N., Polyakov, N.A., Swarbrick, J.C., Sikora, M., Glatzel, P., Safonov, V.A., "Chemical composition and structural transformations of amorphous chromium coatings electrodeposited from Cr(III) electrolytes", *Electrochimica Acta*, 56, (2010) 145-153.
- [4] Danilov, F.I., Protsenko, V.S., Gordienko, V.O., Kwon, S.C., Lee, J.Y., Kim, M., "Nanocrystalline hard chromium electrodeposition from trivalent chromium bath containing carbamide and formic acid: Structure, composition, electrochemical corrosion behavior, hardness and wear characteristics of deposits", *Applied Surface Science*, 257, (2011) 8048-8053.
- [5] Bagchi, D., Stohs, S.J., Downs, B.W., Bagchi, M., Preuss, H.G., "Cytotoxicity and oxidative mechanisms of different forms of chromium", *Toxicology* 180, (2002) 5-22,.
- [6] Ramezani-Varzaneh, H.A., Allahkaram, S.R., Isakhani-Zakaria, M., "Effects of phosphorus content on corrosion behavior of trivalent chromium coatings in 3.5 wt.% NaCl solution", *Surface and Coatings Technology*, 244, (2014) 158-165.
- [7] Saravanan, G., Mohan, S., "Structure, composition and corrosion resistance studies of Co–Cr alloy electrodeposited from deep eutectic solvent (DES) ", *Journal of Alloys and Compounds*, 522, (2012) 162-166.
- [8] Czako-Nagy, I., El-Sharif, M.K., Vertes, A., Chisholm, C.U., "Studies of electrodeposited chromium-cobalt alloy coatings by emission Co-57 Mössbauer spectroscopy", *Electrochimica Acta*, 39, (1994) 801-805.
- [9] Efimov, E.A., Chernykh, V.V., "Electroplating with chromium-cobalt alloy", *Protection of Metals*, 37, (2001) 396-397.
- [10] Surviliene, S., Jasulaitiene, V., Cesuniene, A., Lisowska-Oleksiak, A., "The use of XPS for study of the surface layers of Cr–Co alloy electrodeposited from Cr(III) formate-urea baths", *Solid State Ionics*, 179, (2008) 222-227.
- [11] Mahdavi, S., Allahkaram, S.R., "Composition, characteristics and tribological behavior of Cr, Co–Cr and Co–Cr/TiO<sub>2</sub> nano-composite coatings electrodeposited from trivalent chromium based baths", *Journal of Alloys and Compounds*, 635, (2015) 150-157.
- [12] Kuznetsov, V. V., Matveev, D. V., "Electrodeposition of chromium-molybdenum alloy from electrolyte based on chromium (III) sulfate", *Russian Journal of Electrochemistry*, 44, (2008) 740-744.
- [13] Kuznetsov, V. V., Pavlov, L. N., Vinokurov, E. G., Filatova, E. A., Kudryavtsev, V. N., "Electrodeposition of chromium-tungsten alloy from organo-aqueous solutions containing dimethyl formamide", *Russian Journal of Electrochemistry*, 51, (2015) 174-179.
- [14] Kumar, U.P., Kennady, C.J., "Characterization of chromium electrodeposits obtained from trivalent electrolytes containing formaldehyde as additive", *International Journal of Thin Films Science and Technology*, 4, (2015) 147-153.
- [15] Kellner, F.J.J., Killian, M.S., Yang, G., Spiecker, E., Virtanen, S., "TEM and ToF-SIMS studies on the corrosion behavior of vanadium and chromium containing W-C-Co hard metals in alkaline solutions", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29, (2011) 376-383.
- [16] Castillejo, F.E., Marulanda, D.M., Olaya, J.J., Alfonso, J.E., "Wear and corrosion resistance of niobium-chromium carbide coatings on AISI D2 produced through TRD", *Surface and Coating Technology*, 254, (2014) 104-111.

- [17] Lloyd, A.C., Noël, J.J., McIntyre, S., Shoesmith, D.W., "Cr, Mo and W alloying additions in Ni and their effect on passivity", *Electrochimica Acta*, 49, (2004) 3015-3027.
- [18] Kuznetsov, V.V., Pavlov, L.N., Vinokurov, E.G., Filatova, E.A., Kudryavtsev, V.N., "Corrosion resistance of Cr-C-W alloys produced by electrodeposition", *Journal of Solid State Electrochemistry*, 19, (2015) 2545-2553.
- [19] Zeng, Z., Sun, Y., Zhang, J., "The electrochemical reduction mechanism of trivalent chromium in the presence of formic acid", *Electrochemistry Communications*, 11, (2009) 331-334.
- [20] Song, Y.B., Chin, D.T., "Current efficiency and polarization behavior of trivalent chromium electrodeposition process", *Electrochimica Acta*, 48, (2002) 349-356.
- [21] Ibrahim, S.K., Gawne, D.T., Watson, A., "Plasma-sprayed PMMA coatings on steel", *Transactions of the Institute of Materials Finishing*, 76, (1998) 156-161.
- [22] Ferreira E.S.C., Pereira C.M., Silva A.F., "Electrochemical studies of metallic chromium electrodeposition from a Cr(III) bath", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 707, (2013) 52-58.
- [23] Kumar, U.P., Kennady, C.J., "Characterization of chromium electrodeposits obtained from trivalent electrolytes containing formaldehyde as additive", *International Journal of Thin Films Science and Technology*, 4, (2015) 147-153.
- [24] Zeng, Z., Sun, Y., Zhang, J., "The electrochemical reduction mechanism of trivalent chromium in the presence of formic acid", *Electrochemistry Communications*, 11, (2009) 331-334.
- [25] He X., Hou B., Li C., Zhu Q., Jiang Y., Wu L., "Electrochemical mechanism of trivalent chromium reduction in 1-butyl-3-methylimidazolium bromide ionic liquid", *Electrochimica Acta*, 130, (2014) 245-252.
- [26] Jayakumar, M., Venkatesan, K.A., Srinivasan, T.G., "Electrochemical behavior of fission palladium in 1-butyl-3-methylimidazolium chloride", *Electrochimica Acta*, 52, (2007) 7121-7127.
- [27] Eugenio S., Rangel C.M., Vilar R., Quaresma S., "Electrochemical aspects of black chromium electrodeposition from 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate ionic liquid", *Electrochimica Acta*, 56, (2011) 10347-10352.



---

**Research Paper / Makale**

---

**Examination of High School Teachers' Radon Awareness in Terms of  
Some Variables**

**Mahmut POLAT<sup>1</sup>, Davut SARITAŞ<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>N. Hacı Bektaş Veli University, Faculty of Education, Department of Science Education, 50300 Nevşehir,  
Turkey

[mpolat@nevsehir.edu.tr](mailto:mpolat@nevsehir.edu.tr) [davutsaritas@nevsehir.edu.tr](mailto:davutsaritas@nevsehir.edu.tr)

**Received/Geliş:** 03.03.2017

**Revised/Düzeltilme:** 20.04.2017

**Accepted/Kabul:** 21.04.2017

**Abstract:** The aim of the present study is to determine the awareness levels of high school teachers regarding the Radon gas and its environmental effects. Another aim is to compare the results of the current study with those of a previous study carried out by the researchers about the awareness levels of students. Survey design out of quantitative research methods was employed for the study. The sampling of the study consisted of 119 (65 males and 54 females) teachers who were randomly chosen from three different school types in Nevşehir. Radon Awareness Questionnaire developed by the researchers was used as the data collection tool. Since the data collection tool provided discrete data, chi-square test, frequencies and percentages were computed for the analysis of these data. The findings of the study showed that a large number of the participants had fairly low awareness levels toward Radon. Approximately one-third (31.10%) of the teachers participating in the study stated that they had never heard of Radon. A significant difference was found among those who stated that they know radon according to the branch variable. This difference emerged in favor of science teachers according to the branch. There are no statistically significant differences between the score of awareness and the gender, age and years of experience.

**Keywords:** Radon awareness; science education; environmental education; high school teachers; high school students

---

**Lise Öğretmenlerinin Radon Gazına Yönelik Farkındalık Düzeyinin Bazı  
Değişkenler Açısından İncelenmesi**

**Özet:** Bu çalışmanın amacı Radon gazı ve onun çevresel etkilerine ilişkin lise öğretmenlerinin farkındalık düzeyinin belirlenmesidir. Çalışmanın bir diğer amacı ise bu çalışmanın sonuçları ile yazarlar tarafından yapılmış olan lise öğrencilerinin Radon farkındalığına ilişkin ilk çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmaktır. Çalışmada nicel araştırma yöntemlerinden tarama (survey) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın örneklemi; Nevşehir il merkezinde bulunan üç farklı okul türünden (Meslek L., Anadolu L. ve Fen L.) rastgele seçilen 119 (65erkek ve 54 kadın) lise öğretmeninden oluşmaktadır. Veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından oluşturulan Radon Farkındalık Anketi (RFA) kullanılmıştır. Kullanılan veri toplama aracı RFA süresiz türde veriler sağladığından bu verilerin analizinde ki-kare testi, frekans ve yüzde değerleri kullanılmıştır. Örneklemin büyük bir bölümünün Radon farkındalık düzeyi oldukça düşük çıkmıştır. Çalışmaya katılan lise öğretmenlerinin yaklaşık üçte biri (%31,10) Radonu hiç duymadıklarını belirtmişlerdir. Radonu bildiğini ifade edenlerin branş değişkenine göre aralarında anlamlı bir fark bulunmuştur. Bu fark, branş türüne göre Fen Bilimleri branşlarındaki öğretmenler lehine ortaya çıkmıştır. Farklı cinsiyet, yaş ve kıdeme sahip öğretmenlerin farkındalık puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

**Anahtar kelimeler:** Radon farkındalığı; fen eğitimi; çevre eğitimi; lise öğretmenleri; lise öğrencileri

*How to cite this article*

Polat, M., Sarıtaş, D., "Examination of High School Teachers' Radon Awareness in Terms of Some Variables" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 165-176.

*Bu makaleye atf yapmak için*

Polat, M., Sarıtaş, D., "Lise Öğretmenlerinin Radon Gazına Yönelik Farkındalık Düzeyinin Bazı Değişkenler Açısından İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 165-176.



## 1. Introduction

Protecting nature has always been crucial for the good development of social and economic life. It is possible to list the environmental problems of the modern world as follows: pollution, sustainability of the ecologic balance and rapid consumption of the limited natural sources [1].

Environmental problems are the negative effects of the artificial environment created by people on the natural environment. There is an ecologic balance between the environment and the living things in nature which do not fail thanks to the ordinary processes. Human beings, animals, and plants can maintain their lives as this balance is sustainable without changes. Any failure in this natural balance due to any reason can lead to the fracture in the lifeline between the living organisms, and thus environmental problems come into the question [2]. Environmental pollution is broadly defined as the deposits in the environment which occur as a result of the wastes that are not biodegradable. Moreover, the effects of the pollution may vary according to the quality of the accumulating deposits or deposit groups. In other words, the main reason behind the environmental pollution is that it is not always possible for the nature by itself to dissolve the wastes that arise out of the human effects [3]. Within this context, according to the increasingly prevalent and widespread views in the related literature, environmental pollution cannot be overcome just with an understanding of environment that center the people. In this new perception, development comes to the forefront as a concept that needs to be indispensable anticipated and dealt with the sustainability phenomenon [4].

For the sustainable development, a new understanding that enhances the environmental awareness is required [5]. The importance of creating environmental awareness is often emphasized in the new ecologic paradigm. With this aim, many studies in the field propose that it is a necessity to focus on the environmental education to contribute to the sustainable development of the countries [6,7,8,9].

It is a well-known fact that the main effective factor to protect the nature and prevent the pollution is human beings as they do in the environmental pollution and the deterioration of the ecologic balance. It is clear that individuals with a certain level of education, awareness, and sensitivity regarding the environmental problems, their reasons and solution methods take more active roles in protecting the nature [10]. Providing an effective environmental education for the individuals to raise environment conscious societies is of capital importance [11].

Environmental education is a continuous learning process that provides knowledge, skills, experience and value to solve environmental problems in order to leave a clean and healthy environment for the next generation [12,13]. The studies in the relevant literature indicate that awareness regarding the current environmental problems has a key role in eliminating these problems. Recent environmental problems, such as air pollution, water pollution, soil pollution and radioactive pollution can be listed as the major problems for the human life and future. Radon gas is one of the important contaminants that is closely related to all these pollution types.

Nearly 50% of the natural radiation that permanently exists around us arises from the Radon gas and its short life products. As people spend about 90% of their time in the buildings, it is crucial to determine the radon gas activity in the buildings, to calculate the dose that is taken or to determine the awareness about the existence of this gas and its properties in terms of the precautions that can be taken against its harms [14]. Because the awareness level that is one of the factors influencing the relation of attitudes and behaviors regarding the environment orientates people toward the proper attitudes and behaviors in due course. The studies conducted in the field reveal that a high level of awareness reinforces the attitude-behavior relation [15].

It is quite important to identify the prior knowledge, awareness, and attitudes of individuals about the environment to provide them with an effective environmental education and consciousness [16]. As teachers raise the future generations, guiding them with a well-planned and purposeful environmental education is crucial in terms of preventing and eliminating the environmental problems [17,18]. In this regard, it is considered that identifying and improving the awareness levels toward Radon, that can emerge as a result of the geological structure of the cities people live in, have a great place in forming positive attitudes and behaviors regarding the environment. Therefore, the current study basically aims at determining the awareness levels of high school teachers regarding Radon and its environmental effects. Moreover, the results of the current study will be compared with those of a previous study [19] that was conducted about the Radon awareness by the researchers on the 9<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> -grade high school students attending the high schools that the participating teachers of the current study work at. In the related literature, there were no studies on the relationship between teachers' radon awareness and the type of education they have.

The problems of study are;

1. Do the radon awareness scores of the sample differ according to the field?
2. Do the radon awareness scores of the sample differ by gender?
3. Do the radon awareness scores of the sample differ according to the seniority?
4. Do the radon awareness scores of the sample differ by ages?

## 2. Method

Survey design out of quantitative research methods was used for the current study. Survey studies can be described as the research that determines the characteristics of the participants such as opinions, interests, skills, attitudes etc. on an issue or an event generally with a larger sampling than the other research [20].

### *Data Collection Tool of The Study and Data Analysis*

Necessary permissions to gather data were obtained from the Directorate of the National Education as the first step. Although 125 high school teachers were reached in the study, 119 of the questionnaires were evaluated. The sampling of the study comprised 119 (65 males and 54 females) randomly chosen high school teachers from three different types of high schools (Vocational High School – Anatolian High School – Science High School) in Nevşehir. The participating teachers were examined according to their fields in the three groups. While Science branch included the fields such as physics, chemistry or biology, social studies branch involved the teachers of geography, literature, history etc. Vocational field of study included teachers that teach a specific professional group. These branches were furniture, machines, graphics, electronics, handicrafts, textile etc.

For the collection of data, Radon Awareness Questionnaire (RAQ) that was developed by the researchers to be used for a previous study was employed. To ensure the construct validity of the RAQ, experts in the field were consulted, and test-retest method was used for the reliability of the instrument [19].

RAQ includes three parts. The first part inquiries about the variables such as gender, field of study, years of experience and age; the second part examines the information about the variables such as color, smell, taste, form, source of Radon; and the last part seeks to investigate the variables

regarding the effect of Radon on human health. Minimum and maximum scores that can be taken in RAQ is respectively zero and eight points. As the data collection instrument, RAQ gathers discrete data, chi-square test, frequencies and percentages were used for the data analysis [21].

### 3. Findings

In this part, firstly, demographic information about the participants is presented and the findings by taking the aims of the study into consideration are given;

The findings related to the participants' gender, the field of study, years of experience and age are shown in Table 1 and Table 2.

Table 1. The distribution of the participants according to the variables of gender, field of study and age

Gender		Age			Total
		22-32	33-43	>44	
Female (54)	Vocational	2	-	2	4
	Social Studies	7	18	6	31
	Science	2	11	6	19
Male (65)	Vocational	1	4	15	20
	Social Studies	-	17	14	31
	Science	-	5	9	14
Total		12	55	52	119

As shown in Table 1, the number of the male teachers is slightly more than the females. Also, the age variable indicates that most of the participants are above the age of 33. According to their field of study, it can be said that the majority of the teachers (N=62) are from the social studies branch. This is followed by science teachers (N=33) and vocational teachers (N=24).

Table 2. The distribution of the participants according to gender, field of study and years of experience

Gender		Years of experience			Total
		1-10	11-20	>21	
Male (54)	Vocational	2	1	1	4
	Social Studies	11	15	5	31
	Science	5	11	3	19
Female (65)	Vocational	-	13	7	20
	Social Studies	5	19	7	31
	Science	1	7	6	14
Total		24	66	29	119

Table 2 illustrates that most of the teachers (N=66) have teaching experience between the years of eleven and twenty. The number of the teachers who have mostly eleven years of experience is 24. The number of the teachers having the highest years of experience in the profession is 29.

#### *The Findings Related to The Radon Awareness of The Participants*

The first two items in the RAQ are yes/no questions that examine whether the participants have heard of or know about the Radon. Some important findings regarding the Radon awareness of the participants are given in Table 3.

Table 3. The Distribution of Answers related to Hearing and Knowing about Radon in terms of Gender Variable

Gender			Knowing about Radon		Total
			Yes	No	
Female	Hearing about Radon	Yes	27	8	35
		No	-	19	19
Male	about Radon	Yes	36	11	47
		No	-	18	18
Total			63	56	119

As in Table 3, the number of the teachers who expressed that they had never heard of Radon is 37 (31.10%). This number nearly equals to the one-third of the total participants. On the other hand, 82 (68.90%) of the participating teachers stated that they had heard of Radon, yet only 63 (52.95%) of these teachers knew about Radon. Moreover, none of the participants imported that they knew about Radon although they did not hear about Radon. This finding can be evaluated as an important result for the internal consistency of the research. The numbers of the male and female teachers regarding the situations of knowing and hearing about the Radon is approximately the same in terms of the gender variable.

The findings of whether there is a statistically significant difference between the study fields of teachers and the number of the participants expressing they know about Radon are presented in Table 4.

Table 4. Chi-Square Test Results regarding the Variables of Knowing about Radon and Teachers' study field

		Teachers' Study Field			Total
		Vocational	Social Studies	Science	
Knowing about Radon	Yes	12	24	27	63
	No	12	38	6	56
Total		24	62	33	119

( $\chi^2 = 16.169$ , df: 2,  $p < .05$ )

Table 4 indicates that there is a statistically significant difference between the number of the teachers who stated they knew about Radon and their fields of study. According to the table, the highest number (N=27) of teachers expressing their knowledge about Radon is from the Science field. This is followed with the teachers from the Social Studies field (N=24) and vocational teachers (N=12). When the total number of the participants (N=119) is taken into account, it is clear that the number of the participants who state they know about Radon is nearly half of the total participants.

The findings related to whether there is a statistically significant difference between the number of teachers expressing their knowledge about Radon in the RAQ and their genders are shown in Table 5.

Table 5. Chi-Square Test Results for the Variables of Knowing Radon and the Gender

		Gender		Total
		Female	Male	
Knowing about Radon	Yes	27	36	63
	No	27	29	56
Total		54	65	119

( $X^2=0.34$ , df: 1,  $p>.05$ )

As seen in Table 5, there is no statistically significant difference between the number of the teachers who stated they knew about Radon and their genders. The number of the male and female teachers who imported that they knew or did not know about Radon is close to each other.

The findings regarding whether there is a statistically significant difference between the number of the teachers expressing their knowledge about Radon in the RAQ and their ages are given in Table 6.

Table 6. Chi-Square Test Results for the Variables of Knowing about Radon and Their Ages

		Age			Total
		22-32	33-43	>44	
Knowing about Radon	Yes	6	28	29	63
	No	6	27	23	56
Total		12	55	52	119

( $X^2=0.30$ , df: 2,  $p>.05$ )

According to the Table 6, no statistically significant difference has been found between the number of the teachers expressing their knowledge about Radon and their ages.

The findings for whether there is a statistically significant difference between the number of the participants knowing about Radon and their years of experience are shown in Table 7.

Table 7. Chi-Square Test Results for the Variables of Knowing about Radon and Years of Experience

		Years of Experience			Total
		1-10	11-20	>21	
Knowing about Radon	Yes	12	36	15	63
	No	12	30	14	56
Total		24	66	29	119

( $X^2=0.17$ , df: 2,  $p>.05$ )

As it is clear in Table 7, there is no statistically significant difference between the number of the teachers knowing about Radon and their years of experience.

The distribution of the responses given to the 8 questions in the RAQ about the Radon awareness is given in Table 8.

Table 8. The Distribution of Awareness Scores

Awareness Score	Number of Teachers		According to Table 8, the number of the teachers with 0
	f	%	
0	35	29.4	
1	8	6.7	
2	15	12.6	
3	13	10.9	
4	11	9.2	
5	11	9.2	
6	10	8.4	
7	3	2.5	
8	13	10.9	

awareness score is 35 (29.4%). This number is consistent with the number (N=37) of the teachers expressing “I have never heard of Radon” as shown in Table 3.

Radon awareness scores of sampling were analyzed by dividing into three categories. These categories are evaluated as 0- 2 points low level, 3-5 points medium level, 6-8 points high levels of awareness.

The findings regarding whether there is a statistically significant difference between the awareness scores of the RAQ and teachers’ fields of study are presented in Table 9.

Table 9. Chi-Square Test Results for the Variables of Awareness Scores and Fields of Study

Awareness Score	Teachers’ Field of Study			Total
	Vocational	Social Studies	Science	
0-2	14	36	8	58
3-5	6	20	9	35
6-8	4	6	16	26
Total	24	62	33	119

( $X^2= 21.22$ , df: 4,  $p<.05$ )

Table 9 shows that there is a statistically significant difference between the awareness scores of the participants and their fields of the study. According to their fields of study, the range of the teachers’ awareness scores which are 6 and above is respectively 16 (13.45%) for Science teachers, 6 (5.04%) for Social studies field and 4 (3.36%) for Vocational teachers.

Table 10 presents the findings of whether there is a statistically significant difference between the awareness scores of the RAQ and the gender variable.

Table 10. Chi-Square Test Results for the Variables of Awareness Scores and Gender

Awareness Score	Gender		Total
	Female	Male	
0-2	27	31	58
3-5	12	23	35
6-8	15	11	26
Total	54	65	119

( $X^2= 3.36$ , df: 2,  $p>.05$ )

As can be seen in Table 10, there is no statistically significant difference between the awareness scores of the participants and their ages. The finding of no statistically significant difference according to the gender is consistent with the findings of the chi-square test results (table 5) for the variables of knowing about Radon and the gender.

Table 11 illustrates the findings of whether there is a statistically significant difference between the awareness scores in the RAQ and the age variable.

Table 11. Chi-Square Test Results for the Variable of Awareness Scores and Age

Awareness Score	Age			Total
	22-32	33-43	>44	
0-2	9	26	23	58
3-5	1	17	17	35
6-8	2	12	12	26
Total	12	55	52	119

( $\chi^2 = 4.17$ , df: 4,  $p > .05$ )

According to Table 11, no statistically significant differences have been found between the awareness scores of the participants and their ages.

The findings for whether there is a statistically significant difference between the awareness scores of the RAQ and teachers' years of experience are shown in Table 12.

Table 12. Chi-Square Test Results for the Variables of Awareness Scores and Years of Experience

Awareness Score	Years of Experience			Total
	1-10	11-20	>21	
0-2	13	32	13	58
3-5	5	21	9	35
6-8	6	13	7	26
Total	24	66	29	119

( $\chi^2 = 1.32$ , df: 4,  $p > .05$ )

Table 12 indicates that there is no statistically significant difference between the awareness scores of the participants and their years of experience on the profession.

#### 4. Results and Discussion

The results elicited through the aforementioned findings have been presented according to the aims of the study which investigates the awareness levels of high school teachers toward Radon in terms of some variables.

It can be stated that the awareness levels of a large number of the participants (48,7%) is quite low. Nearly one-third (31,10%) of the participating teachers expressed that they had never heard of Radon. Only 63 (52,95%) of the participants stating they had heard of Radon imported that they knew about Radon. The number of the participants expressing their knowledge about Radon with the awareness scores of 6 and above is 26 (21,84%).

There has been found a significant difference between the number of the participants stating that they know about Radon and their fields of study (table 4). This difference is in favor of the field of Science teachers (chemistry, physics, biology etc.). However, there is no statistically significant difference between the number of the participants expressing their knowledge about Radon and their gender, ages and years of experience (tables 5-6-7).

Ford et al. [22], and Wang et al. [23], asserted in their studies about Radon awareness that the

awareness appears to be high for the people who have had a science education. A similar finding has been found in the current study conducted with the teachers on the field of Science (chemistry, physics, biology etc.). This can be interpreted as an expected situation since teachers of these branches differ from the teachers of other branches as a result of the courses, seminars, and programs they attend throughout their pre-service and in-service experiences. When their syllabuses of the courses they give at schools especially following their pre-service education are examined, objectives related to the subjects such as Radon seem to continue during class grades [19].

According to the distribution of teachers' Radon awareness scores, the number of the teachers getting 0 score is 35 (table 8). This score is consistent with the number of the teachers (N=37) who expressed that "I have never heard of Radon" as given in Table 3. There has been detected a statistically significant difference between the Radon awareness scores of teachers and their fields of study (table 9). This difference is in the favor of the teachers of Science field. However, there is no statistically significant difference between the Radon awareness scores of the participants and their genders, ages and years of experience (table 10-11-12).

The related literature on Radon awareness indicates that previous studies share the similar results with those of the present study. For instance, in the studies of S. Rahman [24] and Alaamer [25], it is emphasized that the awareness levels of the participants are low and this level is affected by the type of the education participants undergo. Furthermore, these two studies indicate that gender variable has no effect on the awareness levels. There are also some other research studies [26] which show that, even low in number, males have higher levels of awareness than females, and people in rural areas have higher levels of awareness than those in urban areas.

In a study of Daştan [10] conducted with high school teachers, it is aimed to find out the interests, knowledge, and sensitivity of the participants regarding the environmental problems. According to the results of this study, there are differences in the interests and sensitivity levels of participating teachers toward the environmental problems in terms of their years of experience. It is stated that teachers who are younger and have fewer years of experience are more sensitive and interested in the environmental problems. However, when the results of the study are examined in details, participating teachers who are older and have much more years of experience are more sensitive and interested in the issues they see, feel and face (noise pollution, waste problem etc.). Therefore, it can be asserted acceptable that the awareness levels of the participants emerge independently from the variables of age and years of experience in this study which is conducted about Radon gas that is a pollution factor difficult to be seen and felt. Because people's attitudes and awareness towards concrete events and phenomena may appear more clearly [31].

The other aim of the current study is to compare the results of this study with those of a previous one [19] carried out by the researchers on the Radon awareness of high school students. The Radon awareness levels of the participants were mostly low in the first study which was conducted with 554 9<sup>th</sup> grade and 12<sup>th</sup> grade students of various high schools in Nevşehir. Nearly half of the participants (55%) stated that they had never heard of Radon. The number of those expressing their knowledge about Radon with the awareness scores of 5 and above is 131 (23,7%) [19]. Similar findings have been found in the present study carried out with teachers. Although the number of teachers stating that they have never heard of Radon is fewer than the number of students, it cannot be regarded as few when teachers' years of experience, initial education and general requirements of the teaching profession are taken into account. In a study conducted by the Ministry of National Education [27], it is apparent that a continuous development and update are emphasized in both the general competencies of the teaching profession and the special competencies of branch teachers in terms of profession knowledge and general culture.



In the earlier study conducted by the researchers on high school students, a statistically significant difference was found between the Radon awareness scores of the students and the school type and class grades. This difference is in the favor of the 12<sup>th</sup> grades in terms of class grades and science high school in terms of the school type [19]. According to these findings, it is possible to assert that the awareness of the students toward the environmental problems can increase the knowledge levels of the students, the quality of the courses taken (more courses that may be related to the environment at science high schools) and their experiences in the educational environment increase. Another factor which is as important as the knowledge level of an effective environmental education is undoubtedly the need for a role model. Therefore, it is necessary for teachers to raise their awareness levels on these issues as they have crucial contributions by both being a sensitive role model and using appropriate and valid teaching methods [28].

24 teachers from different study fields took part in another study [28] which was carried out to determine to what extent the opinions of teachers about nature and environmental education are influenced by an ecology-based environmental education. One of the results of the study is related to the reasons for participation in the ecology-based education. A large number of the teachers stated that they attended this education with the aim of increasing their awareness levels toward the environment and teaching/transferring their knowledge and skills gained in this process to their students. Another finding is about teachers' allocating time on the environmental issues in their courses. According to this finding, the study fields of the teachers affect their time allocation to the environmental issues in their courses. For instance, while a teacher of biology or geography states that he/she can often give examples of the subjects related to the environment and its problems in his/her courses, it is not much possible to observe the same situation for a preschool teacher [28]. Especially vocational high school students who participated in the first study conducted by the researchers of the current study on Radon awareness [19] and vocational teachers participating in the present study had lower awareness levels (table 9) than the others.

After all, when the findings discussed above are considered, it is claimed that determining the awareness levels toward an issue in terms of different variables for planning the training on the environment and its problems will be useful for creating more rational and effective programs. The related literature has some research studies [29] which prove that the individuals will not have positive perceptions about how they can carry out various actions-activities for their environment when they cannot fully understand their environmental problems (possible sources of the problem, variables that lead to the problem, whether the problem is at global or local level etc.). Moreover, making use of contemporary learning theories and practices in teaching environment by taking the related objectives of the existing curriculum into account is thought to be useful for raising environmentally sensitive individuals. Louv also supports direct experiences in nature as a way to build appreciation for the natural world, cautioning that too much time with technology may prevent children from developing this awareness. Louv suggests young people spend some time playing outside away from their computers and video games; perhaps adults should also heed this advice (as cited in [30], p.570).

## References

- [1] Morar, F., Peterlicean, A., "The role and importance of educating youth regarding biodiversity conservation in protected natural areas", *Emerging Markets Queries in Finance and Business*, 2012, 3; 1117- 1121.
- [2] Hun, E., "Canlı çevrenin dünü, bugünü ve yarını", *İnsan Çevre Toplum*, Ed.R. Keleş, İmge Kitabevi, Ankara, (1997).

- [3] Sağlam, N., "Erzurum şehir merkezi çevre problemleri çözüm önerileri", Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [4] Özmehmet, E., "Dünyada ve Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları", Journal of Yaşar University, 2008, 3 (12): 1853-1876.
- [5] Özbebek Tunç, A., Akdemir Ömür, G., Düren, A. Z., "Çevresel farkındalık", İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 2012, 47: 227-246.
- [6] Erten, S., "Nasıl bir çevre eğitimi ve çevre dostu davranışlar kazandırmaya yönelik örnek uygulamalar?", VII. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2006).
- [7] Kumar De, A., Kumar De, A. "Environmental Studies" (2nd. Ed.), New Age, India, (2005).
- [8] Yağlıkara, S., "Okulöncesi dönem çocuklarına çevre bilinci kazandırmada fen ve doğa etkinliklerinin etkileri konusunda öğretmen görüşleri", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [9] Hampel, B., Holdsworth, R., "Environmental Consciousness: A Study In Six Victorian Secondary Schools" (1th. Ed.), Youth Resarch Center, Melborn, (1996).
- [10] Daştan, T., "Türkiye’deki çevre sorunlarına karşı biyoloji öğretmenlerinin bakış açılarının değerlendirilmesi.", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [11] Maji, P. K. "Environment related behaviour of the students who are visually impaired", Journal of Education and Human Development, 2014, 3 (2): 793- 808.
- [12] Doğan, M., "Türkiye Ulusal Çevre Stratejisi ve Eylem Planı Eğitim ve Katılım Grubu Raporu", DPT Müsteşarlığı ve Türkiye Çevre Vakfı, Ankara, (1997).
- [13] Vaughan, C., Gack, J., Solorazano, H., Ray, R., "The effect of environmental education on school children, their parents, and community members: A study of intergenerational and intercommunity learning", The Journal of Environmental Education, 2003, 34(3): 12-21.
- [14] Çam Kaynar, S., Ereeş, F. S., "Balıkesir-Sındırgı ilçe merkezindeki binalarda bina içi radon konsantrasyonu ölçümü", X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, (2011).
- [15] Hutton, D. G., Baumeister, R. F., "Self-awareness and attitude change: seeing oneself on the central route to persuasion", Personality and Social Psychology Bulletin, 1992, 18: 68–75.
- [16] Yılmaz- Tüzün, Ö., Teksöz- Tuncer, G., Aydemir, M., "İlköğretim öğretmenlerinin hava kirliliği konusundaki bilgileri ile ilgili bir araştırma", Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 2008, 35: 374-385.
- [17] Güven, E., Aydoğdu, M., "Çevre sorunlarına yönelik farkındalık ölçeğinin geliştirilmesi ve öğretmen adaylarının farkındalık düzeylerinin belirlenmesi", Journal of Teacher Education and Educators, 2012, 1(2): 185-202.
- [18] World Commission on Environment and Development [WCED], "Report of World Commission on Environment and Development: Our Common Future", Oxford University Press, Oxford, (1987).
- [19] Polat, M., Sarıtaş, D., "Lise öğrencilerinin radon gazına yönelik farkındalıklarının bazı değişkenler açısından incelenmesi: Nevşehir İli Örneği", Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 2016, 12(1): 362-376.
- [20] Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., Demirel, F., "Bilimsel Araştırma Yöntemleri" (14. Baskı), Pegem Akademi Yayınları, Ankara, (2013).
- [21] Baştürk, R., "Bütün Yönleri ile Spss Örnekli Nonparametrik İstatistiksel Yöntemler" (2. Baskı), Anı Yayıncılık, Ankara, (2011).
- [22] Ford, E. S., Eheman, C. R., Siegel, P. Z., Garbe, P. L., "Radon awareness and testing behavior: findings from the behavioral risk factor surveillance system, 1989–1992", Health Physics, 1996, 70(3): 363–366.
- [23] Wang, Y., Ju, C., Stark, A. D., Teresi, N., "Radon awareness, testing, and remediation survey among New York state residents", Health Physics, 2000, 78(6): 641–647.

- [24] Rahman, S., Faheem, M., Rehman, S., Matiullah. "Radon awareness in Pakistan", Radiation Protection Dosimetry,2006, 121 (3): 333-336.
- [25] Alaamer, Abdulaziz S.,"Radon awareness among Saudi people in Riyadh, Saudi Arabia", World Journal of Nuclear Science and Technology, 2012, 2: 165-168.
- [26] Korhonen, K., Lappalainen, A., "Examining the environmental awareness of children and adolescents in the Ranomafana Region, Madagascar", Environmental Education Research, 2004, 10 (2): 195-215.
- [27] Ministry of National Education [Milli Eğitim Bakanlığı,MEB], "Öğretmenlik yerlikleri öğretmenlik mesleği genel ve özel alan yerlikleri",Ankara, (2008)
- [28] Güler, T., "Ekoloji temelli bir çevre eğitiminin öğretmenlerin çevre eğitimine karşı görüşlerine etkileri", Eğitim ve Bilim, 2009, 34(151): 30-43.
- [29] Fler, M., "Curriculum compartmentalisation?: A futures perspective on environmental education." Environmental Education Research, 2008, 8 (2): 137-154.
- [30] Robelia, B. A., Greenhow, C., Burton, L., "Environmental learning in online social networks: adopting environmentally responsible behaviors", Environmental Education Research, 2011, 17(4): 553-575.
- [31] İnceoğlu, M., "Tutum Algı İletişim", (5.Baskı), Beykent Üniversitesi Yayınları, İstanbul,(2010).



---

**Makale / Research Paper**

---

**Synthesis of an ABC Type Triblock Copolymer on MWCNT Surface:  
Structural, Thermal, Electrical and SEM Characterization**

Serpil YILMAZ, Mehmet COŞKUN\*

Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Fırat, Elazığ 23119, Turkey  
[mcoskun@firat.edu.tr](mailto:mcoskun@firat.edu.tr)

**Received/Geliş:** 18.03.2017

**Revised/Düzeltilme:** 05.05.2017

**Accepted/Kabul:** 08.05.2017

**Abstract:** Multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) attached to ethylene glycol (MWNT-OH) were grafted with ring-opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone (MWNT-pCL). Initiating sites for atom transfer radical polymerization (ATRP) were formed by end acylation of MWNT-pCL with  $\alpha$ -bromopropionyl bromide. After styrene was polymerized by ATRP on the surface of the macroinitiator (MWNT-pCL-Br) in presence of CuBr/2,2'-bipyridine as catalyst at 110 °C, the triblock copolymer (MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA) was prepared by the aid of the same technique using glycidyl methacrylate as monomer, at the same catalyst and temperature conditions, by using the diblock copolymer (MWNT-pCL-b-PS) as macroinitiator. The <sup>1</sup>H NMR studies show that structure in terms of mer number per molecule of the ABC type triblock copolymer is MWNT-p(CL)<sub>6</sub>-b-P(S)<sub>36</sub>-b-p(GMA)<sub>1080</sub>. The determination of chemical structure of the triblock copolymer was carried out using Fourier transform infrared (FT-IR), proton nuclear magnetic resonance (<sup>1</sup>H NMR) and scanning electron microscopy (SEM). Thermal properties were investigated by using thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC). The T<sub>g</sub> value estimated from the temperature dependence of the dielectric constant, the dielectric loss factor, and the ac conductivity for the triblock copolymer, is in agreement with the DSC value. The results of the dielectric constant and ac conductivity of the triblock copolymer were also discussed.

**Keywords:**  $\epsilon$ -caprolactone, GMA, MWNT, styrene, triblock copolymer.

---

**MWCNT Yüzeyinde bir ABC Tipi Üç Bloklü Kopolimer Sentezi : Yapısal,  
Termal, Elektriksel ve SEM Karakterizasyonu**

**Özet:** Etilen glikol bağlı (MWNT-OH) çok-duvarlı karbon nanotüp (MWNTs)  $\epsilon$ -kaprolaktonun halka açılması polimerizasyonu ile aşılandı (MWNT-pCL). Atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP) için başlatma ucu, MWNT-pCL'nun  $\alpha$ -bromopropionil bromür ile uç açılmasıyla hazırlandı. Katalizör olarak CuBr/2,2'-bipridin yanında 110 °C de makrobaşlatıcının (MWNT-pCL-Br) yüzeyinde ATRP ile stirenin polimerizasyonundan sonra, aynı sıcaklıkta aynı katalizör yanında glisidil metakrilatın makrobaşlatıcı olarak iki bloklü kopolimer (MWNT-pCL-b-PS) kullanılarak yapılan ATRP polimerizasyonu ile üç bloklü kopolimer (MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA) hazırlandı. <sup>1</sup>H NMR çalışmaları ABC tipi üç bloklü kopolimerin molekül başına mer sayılarının MWNT-p(CL)<sub>6</sub>-b-P(S)<sub>36</sub>-b-p(GMA)<sub>1080</sub> şeklinde olduğu belirlendi. Üç bloklü kopolimerin kimyasal yapısının belirlenmesi Fourier dönüşümlü infrared (FT-IR), proton nükleer manyetik rezonans (<sup>1</sup>H NMR) ve taramalı electron mikroskopuyla (SEM) gerçekleştirildi. Termal özellikler termogravimetrik analiz (TGA) ve diferensiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile incelendi. Üç bloklü kopolimerin dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü ve ac iletkenliğinin sıcaklık bağımlılığından tahmin edilen T<sub>g</sub> değerinin DSC den bulunan değerle uyduğu görüldü. Üç bloklü kopolimerin dielektrik sabiti ve ac iletkenliği de ayrıca tartışıldı.

**Anahtar kelimeler:** E-kaprolakton, GMA, MWNT, stiren, triblok kopolimer.

---

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Yılmaz, S., Coşkun, M., "Synthesis of an ABC Type Triblock Copolymer on MWCNT Surface: Structural, Thermal, Electrical and SEM Characterization" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 177-189.

*How to cite this article*

Yılmaz, S., Coşkun, M., "Synthesis of an ABC Type Triblock Copolymer on MWCNT Surface: Structural, Thermal, Electrical and SEM Characterization" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 177-189.

## 1. Introduction

There has been intense interest on carbon nanotubes (CNTs) due to their unusual physical properties and large application potential, covering a broad range in nanotechnology [1,2]. The poor solubility of CNTs in organic solvents restricts them to be used as drug delivery agents into living systems in drug therapy. Thus, more research on area surface modification of CNTs attracted significant interest recently [3-8]. Hence, many modification approaches like physical, chemical or combined have been exploited for their homogeneous dispersion in common solvents to improve solubility [9-11]. Various methodologies were reported in the literature in order to achieve covalent functionalization of nanotubes. Electrochemically assisted covalent modification of carbon substrate material has become a new era in the field of chemically modified electrodes, which involves the formation of covalent bond between the substrate and the modifier molecule [12-14]. The other method for functionalization of CNTs is electrochemical polymerization on surface of CNT [15]. The main perspective of this modification involves the generation of oxygen containing functionalities, more specifically carboxylic groups commonly called surface oxides formed by the aggressive oxidation treatment using strong acids. The carboxyl functionalized carbon nanotubes could be further grafted with functional moieties with terminal amine or thiol groups, which can effectively control the particle size and dispersion of noble metal CNTs on the surface of tubes [16-18]. Another way to attach the polymer to the nanotube surface is by the "grafting from" method, which means that the reactive groups were covalently attached to the nanotube surfaces as well as the polymers graft from the reactive groups. It is also the reaction between the reactive groups in the surfaces of nanotubes and monomers. An example of grafting from method is the atom transfer radical polymerization on the surface of CNT [5,7,19-21].

This study describes preparation of an ABC type triblock copolymer using  $\epsilon$ -caprolactone, styrene and glycidyl methacrylate by a combination of ring opening polymerization and atom transfer radical polymerization techniques. Also Structural, thermal, electrical and surface characterization of the triblock copolymer was investigated.

## 2. Experimental Method

### 2.1. Synthesis of MWNT-COOH

Carboxyl-functionalized MWNTs (MWNT-COOH) were prepared by oxidation of MWNTs in a mixture of conc.  $\text{HNO}_3$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in 1:3 ratio (by volume).

The procedure: MWNT (2 g), 40 mL of the acid mixture was added into a 250 mL flask equipped with a condenser, and the mixture was stirred vigorously. The flask was then immersed in an ultrasonic bath at room temperature for 20 min. The stirring of the mixture was continued under reflux for 10 h in an ultrasonic bath. The mixture was allowed to cool at room temperature and was then diluted with 250 mL of water, followed by neutralization with conc NaOH to pH 7 and then filtered. The residue was washed with water several times, washed with THF to remove the water, and then dried under vacuum for 24 h at 50 °C.

### 2.2. Synthesis of MWNT-OH

An excess amount (10 mL) of thionyl chloride were added on 300 mg of MWNT-COOH. The mixture was refluxed for 24 h at 70-75 °C after passing through argon gas. Then the solid product (MWNT-COCl) was filtered, washed with THF for a few times, and dried under vacuum for overnight at 40 °C.

The mixture of 200 mg of MWNT-COCl and 5 mL of ethylene glycol were added into a 25 mL flask, and then was refluxed by magnetically stirring at 120 °C in an oil bath for about 48 h. The mixture was allowed to cool at room temperature, and the solid product of (MWNT-OH) was filtered, washed with THF for a few times, and dried under vacuum at 50 °C until constant weight was obtained.

### 2.3. Synthesis of MWNT- $\epsilon$ -Polycaprolactone

Into a reaction flask, 100 mg of MWNT-OH, 550 mg  $\epsilon$ -caprolactone, 10 mL of toluene and a few drops of Sn(Oct)<sub>2</sub> as catalyst were added. After passing through argon gas, the mixture was refluxed in an oil bath for 24 h. After cooling at room temperature, the catalyst was filtered and the filtrate was added dropwise into excess n-hexane to precipitate the polycaprolactone (MWNT-pCL). The polymer was filtered off and dried under vacuum at 45 °C until constant weight was observed.

### 2.4. Preparing of Macroinitiator Using $\alpha$ -Bromopropionyl Bromide From MWNT-pCL

The mixture of 70 mg MWNT-pCL, 10 mL dried THF, and 250 mg Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> were added into a 25 mL reaction flask and then the mixture was cooled to 0 °C. 500 mg  $\alpha$ -bromopropionyl bromide was added dropwise by magnetically stirring and the acylation was continued at room temperature for about 24 h. At the end of the reaction the precipitated salt was filtered, and the filtrate was dropped into excess n-hexane to precipitate the polymer. After filtration, the macroinitiator (MWNT-pCL-Br) was dried under vacuum at 40 °C for 24 h.

### 2.5. Synthesis of MWNT-pCL-b-PS Diblock Copolymer

CuBr (6.8 mg, 0.047 mmol) and 2,2'-bipyridine (bpy) (14.9 mg, 0.094 mmol) and a few mL dichloromethane were added into the polymerization tube, followed by the addition of MWNT-pCL-Br (20 mg) and 500 mg (4.810 mmol) styrene. After purging with argon for 15 min, the tube was sealed with screw cap and kept in an oil bath at 107-110 °C for 24 h. The mixture was diluted with dichloromethane, and the polymer was precipitated in slightly acidic ethanol. The polymer (MWNT-pCL-b-PS) was filtered off, dried under vacuum at 40 °C for 24 h.

### 2.6. Synthesis of MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA Triblock Copolymer

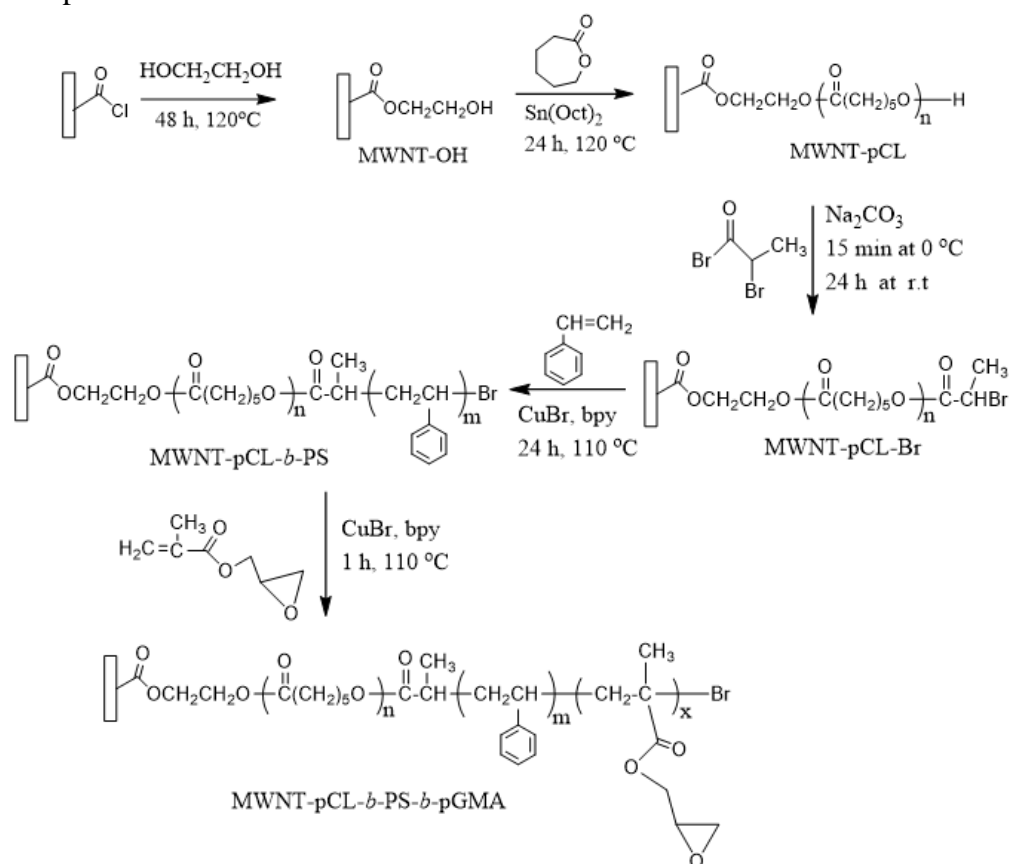
CuBr (30 mg, 0.209 mmol) and 2,2'-bipyridine (66 mg, 0.418 mmol) and a few mL of dichloromethane were added to the polymerization tube, followed by the addition of MWNT-pCL-b-PS (60 mg) and 3000 mg GMA (21.0 mmol). After purging with argon for 15 min, the tube was sealed with screw cap and kept in an oil bath at 107-110 °C for 1 h. After the mixture was diluted with dichloromethane, and the polymer was precipitated in slightly acidic ethanol. Triblock copolymer (MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA) was filtered, and dried under vacuum at 40 °C for about 24 h.

### 2.7. Measurements

<sup>1</sup>H NMR analysis were performed with 400 MHz by Bruker A VIII 400 machine, using CDCl<sub>3</sub> as the solvent, and a tetramethylsilane as standard. Fourier transform infrared spectra (FT-IR) were recorded on Perkin-Elmer Spectrum One FTIR spectrometer. Calorimetric measurements were carried out using a Shimadzu DSC-50 thermal analyzer under N<sub>2</sub> flow at heating rate of 20 °C/min., while thermal stability studies were carried out using Shimadzu TGA-50 thermobalance under N<sub>2</sub> flow with a heating rate of 10 °C/min.

For capacitance measurements according to the previous work [22], the polymer was grinded with an agate mortar and pestle, and the final fine powder was pressed at four tons of pressure into disk-shaped samples with a thickness of 0.72 mm for the diblock copolymer and 0.75 mm for the triblock copolymer with a surface of 1.13 cm<sup>2</sup>. The entire surface of the disk was coated with silver cake, which acts as a good contact for capacitance measurements.

The measurements were carried out at room temperature using a QuadTech 7600 precision LRC meter impedance analyzer at the frequency range of 40 Hz-2 kHz. The dielectric features against the frequency and temperature were examined. Furthermore, ac conductivity of the triblock copolymer against the temperature were also examined.



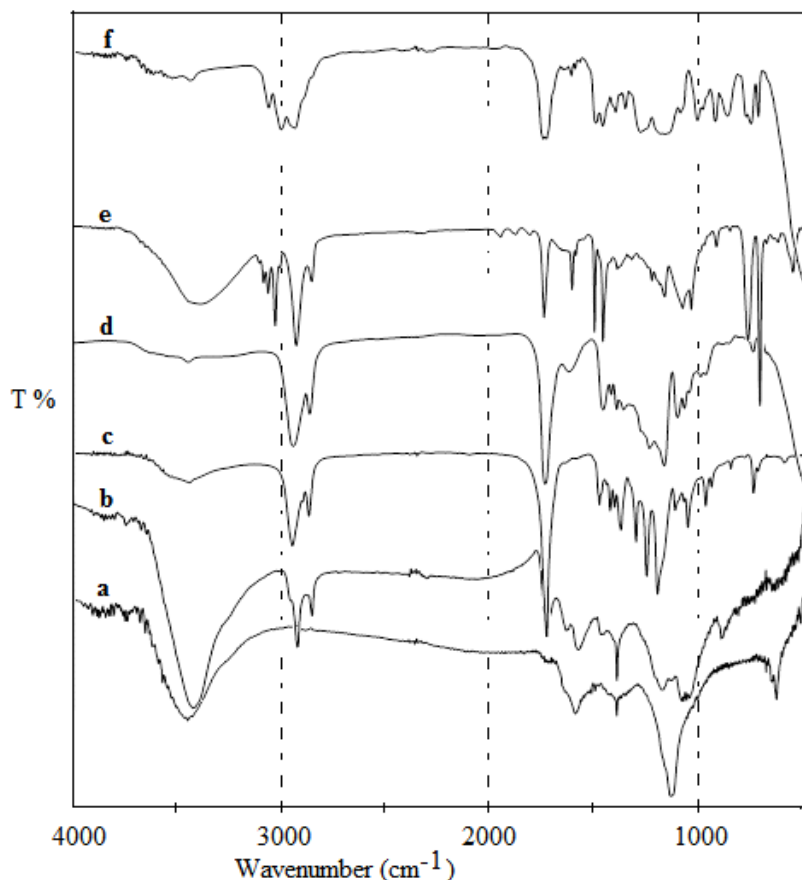
**Figure 1.** Synthesis of the triblock copolymer by grafting from on surface of MWNT

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Synthesis and structural characterization studies

FTIR spectrum (Fig 2a) of MWNT-COOH shows the bands at 1718 cm<sup>-1</sup> (C=O stretching vibration) and 1128 cm<sup>-1</sup> (C-O stretching vibration). These bands are not present that of original MWNT (This spectrum has not been text). MWNT-OH was obtained with mono acylated of ethylene glycol after MWNT-COOH was converted to MWNT-COCl with thionyl chloride. FTIR spectrum of (Fig 2b) MWNT-OH shows the small bands at 1730 cm<sup>-1</sup> (stretching vibration of C=O in ester), at 2923 and 2846 cm<sup>-1</sup> (aliphatic C-H stretching vibration), 1077 and 1180 cm<sup>-1</sup> [C-C(=O)-O symmetric and asymmetric vibrations, respectively]. MWNT-pCL was prepared by grafting of ε-CL on MWNT-OH in presence of Sn(Oct)<sub>2</sub> as catalyst by aid of ring opening polymerization. The FTIR spectrum (Fig 2c) of MWNT-pCL shows characteristic bands at 1730 cm<sup>-1</sup> (stretching vibration of C=O in ester), at 2949 and 2859 cm<sup>-1</sup> (aliphatic C-H stretching vibration), 1192 and 1256 cm<sup>-1</sup> [C-C(=O)-O symmetric and asymmetric vibrations, respectively].

MWNT-pCL was converted to the macroinitiator for ATRP (atom transfer radical polymerization) by acylation of OH group at the end of MWNT-pCL with  $\alpha$ -bromopropionyl bromide. O-H Stretching vibration at  $3462\text{ cm}^{-1}$  (Fig 2d) was disappeared by the acylation. MWNT-pCL-b-PS was prepared by ATRP of styrene using the macroinitiator in presence of



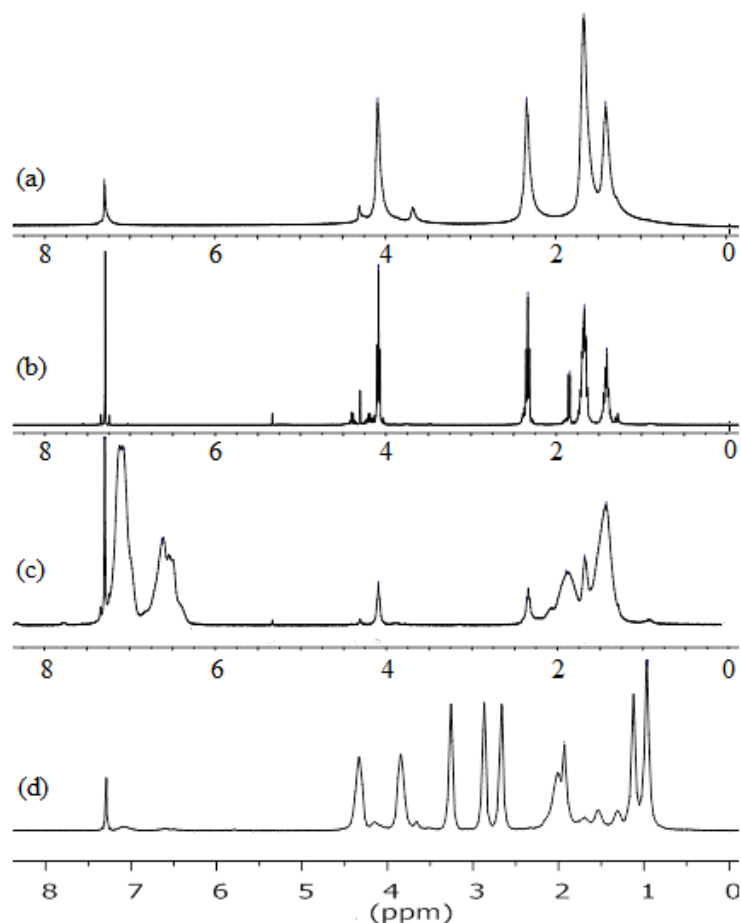
**Figure 2.** FT-IR spectrum of (a) MWNT-COOH, (b) MWNT-OH, (c) MWNT-pCL-OH, (d) MWNT-pCL-Br, (e) MWNT-pCL-b-PS, (f) MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA

CuBr/bpy as catalyst. This diblock copolymer shows new bands at  $3000\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$  (aromatic =C-H stretching vibration),  $761$  and  $705\text{ cm}^{-1}$  (out of plane =C-H bending vibration in monosubstituted aromatic) and three of weak overtone and combination bands between  $2000\text{--}1660\text{ cm}^{-1}$  (one of them is covered by carbonyl peak), in addition to the bands of the  $\epsilon$ -caprolactone units (Fig 1e). In FT-IR spectra (Fig 2f) triblock copolymer (MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA) obtained by ATRP technique shows characteristic bands at  $3000\text{ cm}^{-1}$  (C-H stretching vibration of epoxy ring),  $1731\text{ cm}^{-1}$  (C=O),  $1260\text{ cm}^{-1}$  (symmetrical epoxy ring stretching or epoxy ring breathing frequency),  $915\text{ cm}^{-1}$  (asymmetrical epoxy ring stretching) and  $846\text{ cm}^{-1}$  (epoxy C-H bending vibration). Triblock copolymer shows also characteristics bands of styrene units.

The  $^1\text{H}$  NMR spectrum (Fig 3a) of MWNT-pCL shows characteristic signals at  $4.30\text{ ppm}$  (MWNT-COOCH<sub>2</sub>-),  $4.09\text{ ppm}$  (-OCOC-C-C-C-CH<sub>2</sub>OCO-),  $3.70\text{ ppm}$  (OCOC-C-C-C-CH<sub>2</sub>-OH end group),  $2.34\text{ ppm}$  (-OCOCH<sub>2</sub>-C protons on  $\alpha$ -carbon),  $1.67\text{ ppm}$  (-OCOC-CH<sub>2</sub>-C-CH<sub>2</sub>-C-O) and  $1.41\text{ ppm}$  (-OCOC-C-CH<sub>2</sub>-C-C-O). When the integral heights of -CH<sub>2</sub>- in the -CH<sub>2</sub>OH (end group) and -CH<sub>2</sub>- bounded the ester oxygen compared, repeating CL units can be estimated as approximately 6 units per MWNT-pCL. After acylation of OH group at the end of MWNT-pCL with  $\alpha$ -bromopropionyl bromide, that is, after it transformed to macroinitiator for ATRP, the signal at  $3.70\text{ ppm}$  (C-CH<sub>2</sub>-OH) of MWNT-pCL was disappeared, and new signals at  $4.35\text{ ppm}$  [-CH<sub>2</sub>-O-C(=O)-C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Br, integral height 0.09, end group] and  $1.85\text{ ppm}$  [-C-O-C(=O)-C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Br, integral height 0.26, end group] appeared (Fig 3b). In the  $^1\text{H}$  NMR spectrum (Fig 3c) of



MWNT-pCL-*b*-PS obtained from ATRP of styrene in presence of the macroinitiator, the characteristic signals of PS block were observed at 6.3-7.4 ppm (phenyl ring protons in styrene



**Figure 3.**  $^1\text{H}$  NMR spectrum of (a) MWNT-pCL, (b) MWNT-pCL-Br, (c) MWNT-pCL-*b*-PS, (d) MWNT-pCL-*b*-PS-*b*-pGMA

units), at 1.25-2.20 ppm (aliphatic protons of styrene units and the protons far from oxygen in CL units). In CL units of diblock copolymer,  $-\text{CH}_2-$  proton signals bounded to carbonyl and  $-\text{CH}_2-$  proton signals bounded to oxygen in ester group were at 2.34 and 4.09 ppm, respectively. When the integral heights of  $-\text{CH}_2-$  at 2.34 ppm or 4.09 ppm those of aromatic protons compared, it is calculated that styrene units are nearly 6 times of the caprolactone units. That is, the diblock copolymer contains 6 units CL and 36 units styrene per the molecule. In  $^1\text{H}$ NMR spectrum of MWNT-pCL-*b*-PS-*b*-pGMA (Fig 3d) the proton signals of glycidyl methacrylate unit mainly appeared, though the proton signals for CL and styrene unit were observed in the weak intensity.

Namely; at 4.34 ; 3.84 ppm  $(\text{---}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{---}\text{O}\text{---}\text{CH}_2\text{---epoxide})$ , 3.26 ppm  $(\text{---}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{---}\text{O}\text{---}\text{C}\text{---}\text{H}\text{---}\text{C}\text{---}\text{O})$  and 2.87; 2.66 ppm  $(\text{---}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{---}\text{O}\text{---}\text{C}\text{---}\text{CH}_2\text{---})$ .

The resonance signal of the methylene protons on the main chain of GMA units and the  $-\text{CH}-$  protons of styrene units were observed at 2.01 and 1.93 ppm. The  $\alpha$ -methyl groups in methacrylate polymers are sensitive to the stereochemical configuration [23,24]. The resonance signal of the  $\alpha$ -methyl splits into three well resolved peaks at 0.97, 1.12 and 1.31 ppm, which have been assigned to syndiotactic (rr), atactic (mr + rm) and isotactic (mm) triads, respectively. It is calculated that the differences in chemical shifts between the two signals,  $(\delta_{\text{mm}} - \delta_{\text{rm+mr}}) = 0.19$  ppm and  $(\delta_{\text{rm+mr}} - \delta_{\text{rr}}) = 0.15$  ppm, are very close to that of PGMA homopolymer (0.18 and 0.14 ppm) [24] and that of PMA (0.15 ppm) [23]. The  $^1\text{H}$ NMR signal intensity of the triads shows that the GMA block of the triblock copolymer contains 52.0 % syndiotactic rr, 38.8 % atactic

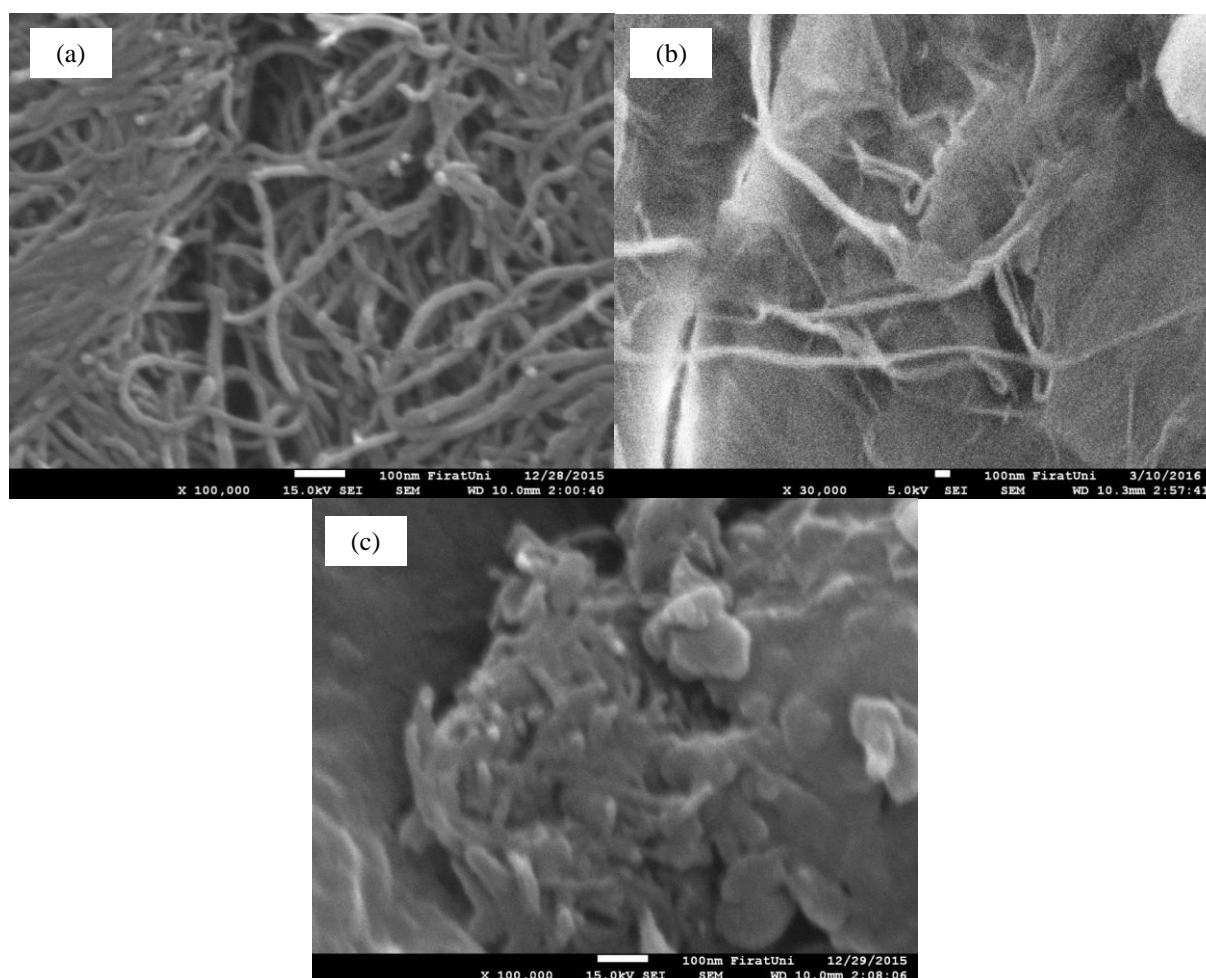
(heterotactic)  $mr + rm$  and 9.2 % isotactic  $mm$  sequences. Phenyl ring protons in styrene units and methylene proton of ester group in CL units were observed between 6.3-7.4 ppm and at 4.09 ppm, respectively. When integral height of anyone from five signals among at 4.34 ppm and 2.66 ppm of glycidyl group those of aromatic protons compared, it can be estimated that the GMA units in the triblock copolymer are nearly 30 times of styrene units. That is, triblock copolymer is in the structure of MWNT-p(CL)<sub>6</sub>-b-P(S)<sub>36</sub>-b-p(GMA)<sub>1080</sub>.

### 3.2. SEM Investigation

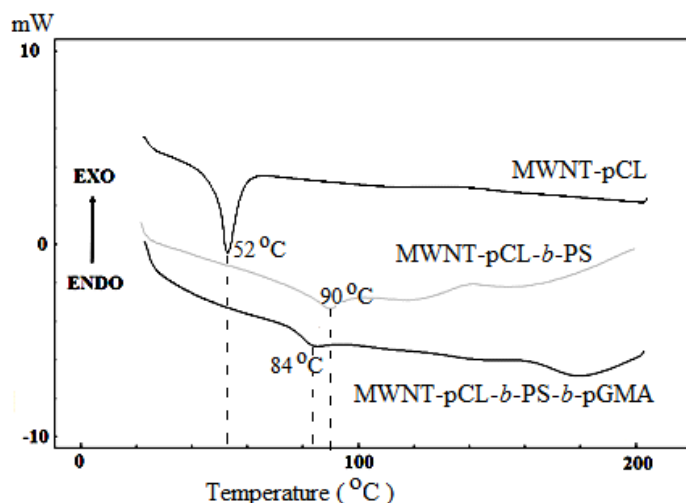
MWNT distribution is not regular, some areas show the sparse distribution, some areas shows dense distribution (Figure 4a). SEM image of MWNT-pCL-b-PS (Figure 4b) shows that MWNT particles were mostly covered with the polymer, and were distributed randomly in the block copolymer. Figure 4c shows that the lengths of MWNTs in the triblock copolymer shortened and they are present in the form of aggregation in the structure.

#### 3.2.1. Thermal Analysis Studies

The DSC thermograph of MWNT-pCL (Fig 5) shows that the melting point of polycaprolactone units is 52 °C. This value is highly lower than such as 61°C and 67°C given in literature [25,26].



**Figure 4.** SEM images of (a) untreated MWNT, (b) MWNT-pCL-b-PS and (c) MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA

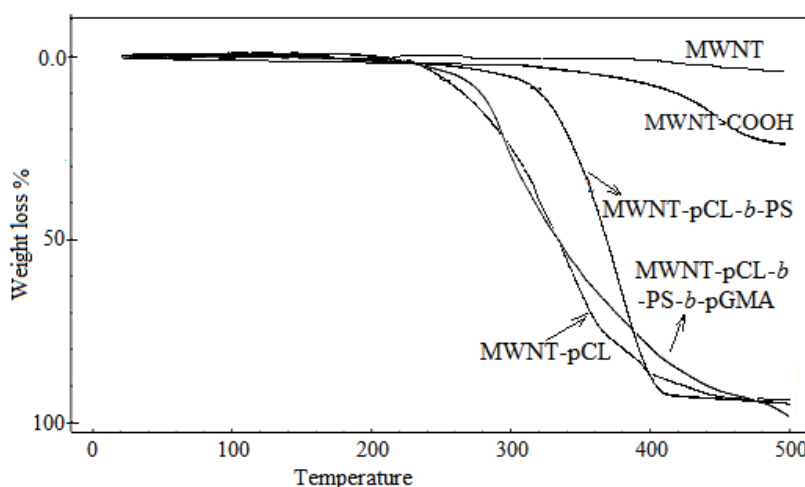


**Figure 5.** DSC thermograms of MWNT-pCL, MWNT-pCL-b-PS and MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA

The melting point of polycaprolactone increases rapidly depending on molecular weight until about 8000 g/mol [27]. According to the values given in the literature, pCLs with molecular weight of 578, 1750, 3950 g/mol show a melting point of 45°C, 57°C and 60 °C, respectively.

Number of repeating CL units in MWNT-pCL is about 6 units as a result of  $^1\text{H}$  NMR. This result shows that the number average molecular weight is about 700 g/mol, and according to the literature data [27] a melting point of 52 °C is a suitable value for this polymer. The DSC curves show that the glass transition temperatures of MWNT-pCL-b-PS and MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA are 90°C and 84°C, respectively.

The thermal stability of the polymers was studied by programmed thermogravimetric analysis over a temperature range from room temperature to 500 °C under nitrogen atmosphere (Fig 6). The thermogravimetric curve shows that there is no weight loss until 410 °C, and between 410-500 °C only a weight loss of 2% for original MWNT. While MWNT-COOH show very slow decomposition step with a weight loss of about 5 % between 300 - 390 °C, after that a weight loss of totally 22 % shows until 500 °C. The thermal behavior and decomposition



**Figure 6.** TGA thermograms of untreated MWNT, MWNT-COOH, MWNT-pCL, MWNT-pCL-b-PS, MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA

Table 1. Thermal behavior and decomposition temperatures of the polymers

Polymer	IDT* (°C)	A weight loss of 50 % at (°C)	Weight loss at 350 °C	Residue at 500 °C
MWNT	410	?	0	98
MWNT-COOH	300	?	2	78
MWNT-pCL	225	335	65	6
MWNT-pCL- <i>b</i> -PS	300	370	30	6
MWNT-pCL- <i>b</i> -PS- <i>b</i> -pGMA	260	335	60	4

\*IDT: Initial decomposition temperature

### 3.3 Electrical properties

Dielectric constant, property of an electrical insulating material (a dielectric) equal to the ratio of the capacitance of a capacitor filled with the given material to the capacitance of an identical capacitor in a vacuum without the dielectric material. A material with a high dielectric constant is placed in an electrical field, the magnitude of the field will be reduced within the volume of the dielectric. Dielectric constant ( $\epsilon'$ ) is evaluated from the capacitance measurement using the following equation:

$$\epsilon' = \frac{C \cdot d}{A \cdot \epsilon_0} \quad (1)$$

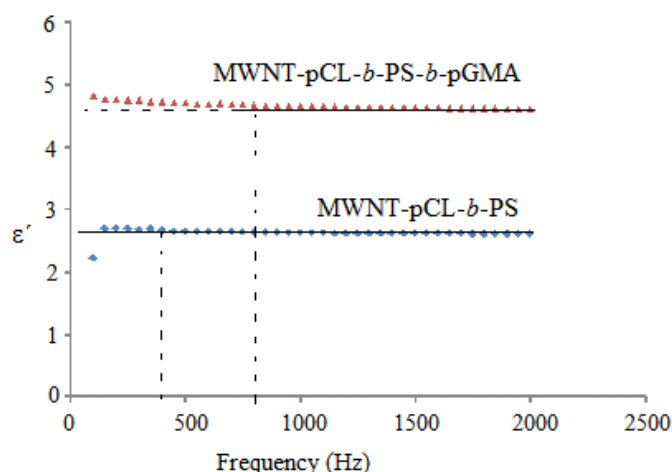
where  $\epsilon_0$  is permittivity in free space, which is equal to  $\epsilon_0 = 8.856 \times 10^{-14}$  F/cm,  $C$  is parallel capacitance,  $d$  and  $A$  are thickness and area of the sample, respectively.

The dielectric loss ( $\epsilon''$ ), which is a measure of the loss of energy in a dielectric material, is obtained from the equation

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \quad (2)$$

where  $\tan \delta$  is the loss tangent and is measured by the ac impedance bridge.

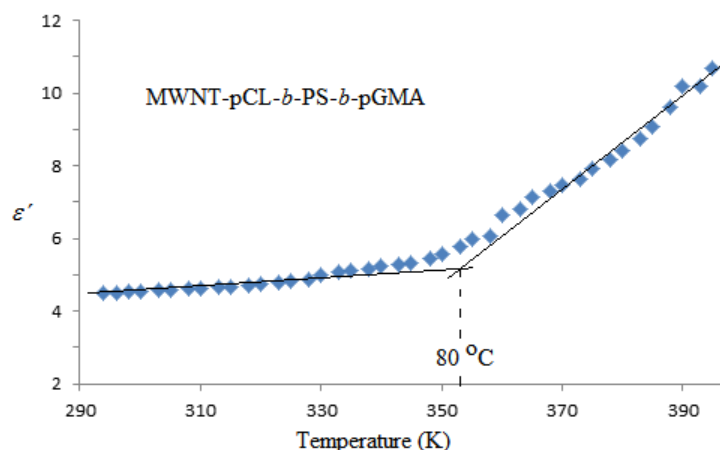
In the frequency range between 100 and 2500 Hz, for MWNT-pCL-*b*-PS up to about 400 Hz and MWNT-pCL-*b*-PS-*b*-pGMA up to about 800 Hz, the dielectric constant decrease very slow with increasing frequency at room temperature (Fig 7).



**Figure 7.** Frequency dependence of dielectric constants of MWNT-pCL-*b*-PS and MWNT-pCL-*b*-PS-*b*-pGMA at room temperature.

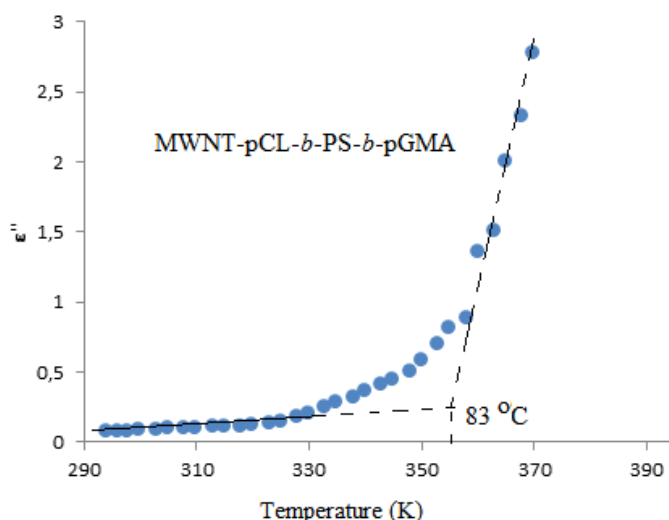
After these frequency values the dielectric constants reach a constant value at 2.6 for MWNT-pCL-*b*-PS and at 4.6 MWNT-pCL-*b*-PS-*b*-pGMA. This may be due to very low orientation and oscillation of permanent dipoles in the applied field. The variation of dielectric constant with

temperature at 1 kHz fixed frequency for the triblock copolymer is seen in Fig 8. The Figure shows that dielectric constant of the triblock copolymer increases with temperature due to an increase of total polarization arising from dipoles and trapped charge carriers. After 340 K the increasing is rapid, between 340-365 K is probably  $\alpha$ -relaxation region associated to the glass transition region of the triblock copolymer. The intersection point of the straight line drawing from points before 340 K with the straight line drawing from points after 365 K obtained as 80 °C (353 K) which corresponds to  $T_g$  temperature of the triblock copolymer (it is obtained as 84 oC from DSC curve). The variation of dielectric loss factor ( $\epsilon''$ ) with temperature at 1 kHz fixed frequency for the triblock copolymer is seen in Figure 9.



**Figure 8.** Temperature dependence of dielectric constant of MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA at 1 kHz

The dielectric loss factor increases slowly with increasing temperature up to about 330 K, but after about 355 K the increase is very rapid. Between 330-355 K is probably a  $\alpha$ -relaxation region which corresponds to the glass transition temperature of the triblock copolymer. The  $T_g$  is estimated as 83 °C from this diagram, it is very close to the value estimated from DSC. Minor differences between the  $T_g$  values obtained from electrical properties and DSC data have been observed in some other studies [28,29]



**Figure 9.** Temperature dependence of dielectric loss factor MWNT-pCL-b-PS-b-pGMA at 1 kHz

Electrical conductivity ( $\sigma$ ) is evaluated from the conductance (G) measurement using the following equation:

$$\sigma = \frac{G \cdot d}{A} \quad (3)$$

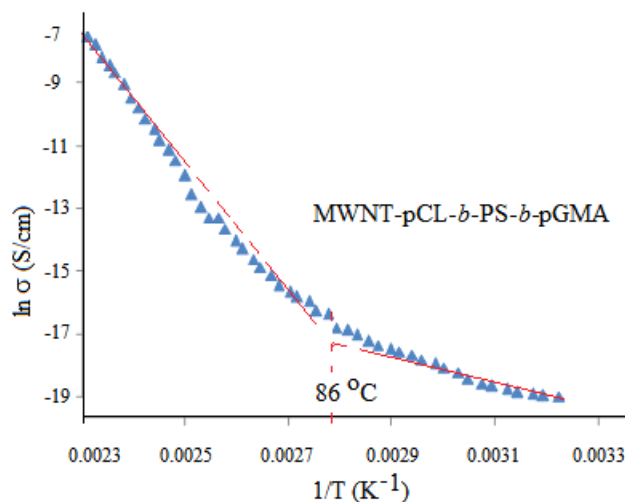
where  $d$  and  $A$  are thickness and area of the sample, respectively.

For nonmetallic materials the ac electrical conductivity ( $\sigma$ ) depends on the absolute temperature ( $T$ ) according to the Arrhenius equation.

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a / k_B T) \quad (4)$$

where  $\sigma_0$  is a constant,  $E_a$  is the activation energy for conduction and  $k_B$  is the Boltzmann constant. The variation of  $\ln \sigma$  versus inverse absolute temperature ( $1/T$ ) of the triblock copolymer is given in Fig. 10. The plot shows that as temperature increases the conductivity value also increases. This Figure shows that the relation is linear with two different slopes which suggest two different activation energies, one with moderate temperature dependence and the other with strong temperature dependence. Similar results were seen in the literature [29]. The intersection point of two straight line is about 86 °C which corresponds the glass transition temperature (the value obtained from DSC curve is 84 °C) of the triblock copolymer.

The activation energy was calculated as 0.31 eV from slope the straight line in low temperature region (310-359 K), it was calculated as 1.79 eV from slope the straight line in high temperature region (359-435 K). This different behavior can be rationalized by recognizing the free-volume model. As the temperature increases, the polymer can expand easily and produce free volume. Thus, polymer segments can move into the free volume [30] and the resulting conductivity represented by overall mobility of polymer is determined by the free volume around the polymer chains.



**Figure 10.** Variation of ac conductivity with temperature of the triblock copolymer

Therefore, as temperature the increases, free volume increases. This leads to an increase in ion mobility and segmental mobility that will assist charge transport [31].

#### 4. Conclusions

After strong acid oxidation, derivatization with ethylene glycol of MWNT transformed acid chloride with  $\text{SOCl}_2$  gave MWNT-OH. Ring opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone (CL) using  $\text{Sn}(\text{Oct})_2$  as catalyst resulted in MWNT attached to pCL. After acylation reaction of MWNT-pCL with  $\alpha$ -bromopropionyl bromide, the realization of ATRP first with styrene and then with GMA in presence  $\text{CuBr}/\text{bpy}$  gave the block copolymer (MWNT-pCL-*b*-PS) and the triblock copolymer (MWNT-pCL-*b*-PS-*b*-pGMA), respectively. The  $^1\text{H}$ NMR studies show that structure in terms of

mer number per molecule of the ABC type triblock copolymer is MWNT-p(CL)<sub>6</sub>-b-P(S)<sub>36</sub>-b-p(GMA)<sub>1080</sub>. Chemical structures of all the polymers were defined FT-IR, <sup>1</sup>H NMR and SEM. It was found that the GMA block of the triblock copolymer contains 52.0 % syndiotactic rr, 38.8 % atactic (heterotactic) mr + rm and 9.2 % isotactic mm sequences. It was determined that the glass transition temperatures were 90°C for the diblock copolymer and 84 °C for the triblock copolymer as DSC data. For the triblock copolymer it was observed that dielectric constant dependence on frequency is very weak, but that dielectric constant, dielectric loss factor and ac conductivity dependence on temperature is remarkable.

### Acknowledgments

This work was supported by the Scientific Research Support Fund of The Firat University, Elazığ, Turkey, project number FF.12.33.

### References

- [1] Baughman, R.H.;Zakhidov, A.A.;de Heer, W.A. *Carbon Nanotubes--the Route Toward Applications*, Science 2002, **297**: p. 787-792.
- [2] Kumar, N.A.;Kim, S. H.;Kim, J.S.;Kim, J. T.;Jeong, Y.T., *Functionalization Of Multi-Walled Carbon Nanotubes With Cysteamine For The Construction Of Cnt/Gold Nanoparticle Hybrid Nanostructures* Surface Review and Let. 2009, **16**: p. 487-492.
- [3] Baskaran, D.;Mays, J.W.;Bratcher, M.S., *Polymer adsorption in the grafting reactions of hydroxyl terminal polymers with multiwalled carbon nanotubes*, Polymer 2005, **46**: p. 5050-5057.
- [4] Chen Y.;Haddon, R.C.;Fang,S.;Rao, A.M.;Eklund, P.C.;Lee, W.H.;SmalleyR.E., *Chemical Attachment of Organic Functional Groups to Single-walled Carbon Nanotube Material*, J Mater Res. 1998, **13**: p. 2423-4231.
- [5] Qin, S.; Qin, D. ;Ford, W.T.;Resasco, D.E.;Herrera, J.E., *Polymer brushes on single-walled carbon nanotubes by atom transfer radical polymerization of n-butyl methacrylate*, J. Am. Chem. Soc. 2004, **126**: p. 170-176.
- [6] Zou, W.; Du, Z.;Liu, Y.;Yang, X.;Li,H.;Zhang, C., *Functionalization of MWNTs using polyacryloyl chloride and the properties of CNTepoxy matrix nanocomposites*, Compos. Sci. Technol. 2008, **68**: p. 3259-3264.
- [7] Kong, H.;GaoC.;Yan,D., *Controlled Functionalization of Multiwalled Carbon Nanotubes by in Situ Atom Transfer Radical Polymerization*, J. Am. Chem. Sos. 2004, **126**: p. 412-413.
- [8] Kumar, N.A.;Ganapathy, H. S.;Kim, J. S.;JeongY. S.;Jeong, Y. T., *Preparation of poly 2-hydroxyethyl methacrylate functionalized carbon nanotubes as novel biomaterial nanocomposites*, Eur. Polym. J. 2008, **44(3)**: p. 579-586.
- [9] Mickelson, E. T.;Chiang, I. W.;Zimmerman, J. L.;Boul,P. J.;Lozano,J.;Liu,J.;Smalley, R. E. ;Hauge,R. H.;Margra, J. L., *Solvation of Fluorinated Single-Wall Carbon Nanotubes in Alcohol Solvents*, J. Phys. Chem. B 1999, **103**: p. 4318-4322.
- [10] Saini,R. K.;Chiang, I. W.; Peng,H.;Smalley,R. E.;Billups,W. E.;Hauge,R. H.;Margrave, J. L., *Covalent sidewall functionalization of single wall carbon nanotubes*, J. Am. Chem. Soc. 2003,**125**: p. 3617-3621.
- [11] Foldvari,M.;Bagonluri, M. *Carbon nanotubes as functional excipients for nanomedicine* Nanomed. Nanotechnol. Biol. Med. 2008, **4**: p. 173-182.
- [12] Kooi,S. E.;Schlecht,U.;Kern,K., *Electrochemical Modification of Single Carbon Nanotubes*, Angew. Chem. 2002, **41**: p. 1353-1355.
- [13] Pinson, J.;Podvorica,F., *Attachment of organic layers to conductive or semiconductive surfaces by reduction of diazonium salts*, Chem. Soc. Rev. 2005, **34**: p. 429-439.

- [14] Khoshroo, M.;Rostami, A.A., *EIS study of the redox reaction of  $Fe(CN)_6^{-3/4}$  at glassy carbon electrode via diazonium reduction in aqueous and acetonitrile solutions*, J. Electroanal. Chem. 2008, **624**: p. 205-210.
- [15] Santhosh,P.;Manesh, K. M.;Gopalan,A.;Lee, K.-P., *Novel amperometric carbon monoxide sensor based on multi-wall carbon nanotubes grafted with polydiphenylamine—Fabrication and performance*, Sens. Actuators B. 2007, **125**: p. 92-99.
- [16] Wang,Z.J.;Zhang, Q.X.; Kuehner, D.;Xu, X.Y.;Ivaska, A.;Niu, L., *The synthesis of ionic-liquid-functionalized multiwalled carbon nanotubes decorated with highly dispersed Au nanoparticles and their use in oxygen reduction by electrocatalysis*, Carbon 2008, **46**: p. 1687-1692.
- [17] Kim, M.;Hong, J.;Hong, C.K. ;Shim, S. E., *Preparation of silica-layered multi-walled carbon nanotubes activated by grafting of poly(4-vinylpyridine)*, Synth. Metals 2009, **159**: p. 62-68.
- [18] González-Vidal,N.;de Ilarduya, A.M.;Muñoz-Guerra, S. ;Castell, P. ;Martínez, M.T., *Synthesis and properties of poly(hexamethylene terephthalate)=multiwall carbon nanotubes nanocomposites*, Compos. Sci. Technol. 2010, **70**: p. 789-796.
- [19] Kong, H.;Gao,C.:Yan, D., *Functionalization of Multiwalled Carbon Nanotubes by Atom Transfer Radical Polymerization and Defunctionalization of the Products*, Macromolecules 2004, **37**: p. 4022-4030.
- [20] Liu, P., *Modifications of carbon nanotubes with polymers*, Eur. Polym. J. 2005, **41**: p. 2693-2703.
- [21] Yao, Z.;Braidy, N.;Botton, G. A. ;Adronov, A., *Polymerization from the Surface of Single-Walled Carbon Nanotubes – Preparation and Characterization of Nanocomposites*, J. Am. Chem. Soc. 2003, **125**: p. 16015-16024.
- [22] Coskun, M.;Seven,P., *Synthesis, characterization and investigation of dielectric properties of two-armed graft copolymers prepared with methyl methacrylate and styrene onto PVC using atom transfer radical polymerization*, React. and Funct. Polym. 2011, **71**: p. 395-401.
- [23] Bovey, F.A. *High resolution NMR macromolecules*; Academic Press, London, England, 1972.
- [24] Espinosa, M. H. ;del Toro, P.J.O. ;Silva,D.Z., *Microstructural analysis of poly(glycidyl methacrylate) by  $^1H$  and  $^{13}C$  NMR spectroscopy*, Polymer 2001, **42**: p. 3393-3397.
- [25] Kolbuk, D.;Sajkiewicz, P. ;Denis,P.;Choinska, E., *Investigations of polycaprolactone/gelatin blends in terms of their miscibility*, Bull. Pol. Ac : Tech. 2013, **61(3)**: p. 629-632.
- [26] Guang-Mei,C.;Tie-Mei, Z.;Lei, C.;Yi-Pink, H., *Crystallization Properties of Polycaprolactone Induced by Different Hydroxyapatite Nano-Particles*, Asian J. Chem. 2010, **22(8)**: p. 5902-5912.
- [27] Huang,Y.;Xu, X.; Luo, X.;Ma, D., *Molecular Weight Dependence of The melting behavior of poly( $\epsilon$ -coprolactone)*, Chin. J. Polym. Sci. 2002, **20(1)**: p. 45-51.
- [28] Rao,V.;Ashokan,P.V.;Shridhar, M. H., *Studies of dielectric relaxation and a.c. conductivity in cellulose acetate hydrogen phthalate–poly(methyl methacrylate) blends*, Mater. Sci. Eng. 2000, **A281**: p. 213-220.
- [29] Jena,H.;Asuvathraman,R.;GovindanKutty,K. V.;Vasudeva Rao, P. R., *Comparison of electrical conductivity and thermal properties of borosilicate glass with and without simulated radioactive waste*, J. Therm. Anal. Calorim. 2014, **115**: p. 367-374.
- [30] Huang,W.;Frech, R.;Wheeler, R., *Molecular structures and normal vibrations of trifluoromethane sulfonate ( $CF_3SO_3^-$ ) and its lithium ion pairs and aggregates*, J. Phys. Chem. 1994, **98**: p. 100-110.
- [31] Hasan,B. A.;Hasan, A. A.;Umran, D. A., *Ac Electrical Conductivity Analysis Of (PVC-PS) Blend Films*, Int. J. Appl. or Innov. Eng. Manag. (IJAIEM) 2013, **2(11)**: p. 86-95.





---

**Research Paper / Makale**

---

**Mechanical Properties of MWCNT Reinforced Polyvinyl Alcohol  
Nanofiber Mats by Electrospinning Method**

Mürsel EKREM<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Mechanical Engineering Department, Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey, mekrem@konya.edu.tr

**Received/Geliş:** 12.04.2017

**Revised/Düzeltilme:** 29.05.2017

**Accepted/Kabul:** 30.05.2017

**Abstract:** In this study, the production of weight ratios of 1, 3 and 5 % multi-walled carbon nanotube reinforced / unreinforced polyvinyl alcohol (PVA) nanofiber mats was carried out by electrospinning method. Tensile strength, modulus of elasticity and elongation amounts were investigated by tensile tests under static loading with / without reinforced nanofiber mats. % 1 MWCNT reinforced PVA nanofiber mats,  $\sigma_c$ , E and toughness increased by 50, 88 and 12 %, respectively, when compared with PVA nanofiber mats. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) analyzes were performed on the chemical changes and interactions occurring in the system formed by combining the produced nanofiber mats with PVA and MWCNT. In addition, scanning electron microscope (SEM) images were also investigated to determine the physical properties of reinforced / unreinforced PVA solutions and to monitor the surface porosity of networked polymers at the specification of nanofiber mats.

**Keywords:** Electro spun, Multi Wall Carbon Nanotubes, Polyvinyl Alcohol, Nanofiber Mats

---

**Elektro-eğirme Yöntemiyle MWCNT Takviyeli Polivinil Alkol Nanoelyaf  
Keçelerin Mekanik Özellikleri**

**Özet:** Bu çalışmada elektro-eğirme metodu kullanılarak ağırlıkça % 1, 3 ve 5 oranlarında çok cidarlı karbon nanotüp takviyeli/takviyesiz polivinilalkol (PVA) nanoelyaf keçelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Takviyeli/takviyesiz üretilen nanoelyaf keçeler, statik yüklemeye altında çekme deneyleri yapılarak çekme dayanımı, elastiklik modülü ve uzama miktarları incelenmiştir. % 1 MWCNT takviyeli PVA nanoelyaf keçe,  $\sigma_c$ , E ve toklukları PVA nanoelyaf keçe ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 50, 88 ve 12 artış gözlenmiştir. Üretilen nanoelyaf keçelerin PVA ve MWCNT ile bir araya gelmesi ile oluşan sistemde meydana gelen kimyasal değişimleri ve etkileşimleri Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizleri yapılmıştır. Ayrıca nanoelyaf keçelerin özelliklerinin belirlenmesinde takviyeli/takviyesiz PVA çözeltilerinin fiziksel özellikleri ve ağ yapılı polimerlerin yüzey gözenekliliğinin izlenebilmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri de incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektro-eğirme, Çok Cidarlı Karbon Nanotüp, Polivinilalkol, Nanoelyaf Keçeler

---

## 1. Introduction

Polymers are essential components of our daily life and one of the basic elements of new materials. Depending on recent studies, polymers have become important materials which facilitate human life through manufacturing and use of different plastic, fibre, elastomer types. Polymers are light, cheap,

How to cite this article

Ekrem, M., "Mechanical Properties of MWCNT Reinforced Polyvinyl Alcohol Nanofiber Mats by Electrospinning Method" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 190-200.

Bu makaleye atıf yapmak için

Ekrem, M., "Elektro-eğirme Yöntemiyle MWCNT Takviyeli Polivinil Alkol Nanoelyaf Keçelerin Mekanik Özellikleri" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 190-200.

easy-processed with sufficient mechanical characteristics, high thermal and electrical characteristics as well as high chemical and corrosion resistance. Due to such superior characteristics, polymers are used in many fields such as aircrafts, sports tools, medicine, chemistry, automotive [1-4].

Poly(vinyl alcohol) (PVA) is a water soluble polyhydroxy polymer and the most manufactured resin all over the world. An excellent chemical resistance, physical characteristics and biological degradability caused wide usage tendency of PVA. Furthermore, high inflation characteristics in water and biological fluids and elastic structure enable use of this material in manufacturing of different fields such as contact lenses, skin, artificial cartilage and drug-release systems [5-7].

The most efficient method for polymer-based nanofiber mat manufacturing is electro-spinning. Continuous nanofiber mats with varying thickness and diameters from 3 nm to 1  $\mu\text{m}$  are obtained from many types of polymer through this method. Structure and morphology of nanofiber mats may be controlled efficiently by some parameters including polymer type, solution concentration, effect of the solvent, the voltage applied, the distance between the syringe and the collector, solution feeding rate and electrical conductivity. Depending on some characteristics such as highly specific surface area, higher width/length ratio and high porosity, many polymers and inorganic/polymer nanofiber mats were searched for development of PAN, PVA, Nylon-6.6 electro-spinning technology. These nanofiber mats present interesting implementations like filtration, nano-electronic, protective clothing, tissue skeleton, optic sensor etc [6, 8, 9].

Many studies were conducted to investigate manufacturing conditions, molecule weight and effects on solution compound of PVA nanofiber mats produced from PVA water solutions during recent year [10, 11]. However, PVA nanofiber mats manufactured through electro-spinning method were not strong enough for many applications because of poor molecular chain orientation along fiber axis originated from low tension forces during formation of the fiber. Furthermore, semi-crystal structure of PVA caused free spinning of PVA nanofiber mats under regular orientation. Many approaches including cross linking, final procedure and blending were utilized during manufacturing of PVA nanofiber mats produced through electro-spinning method improvement of the characteristics (i.e. low mechanical resistance) and functionality (i.e. biomedical implementation). Involvement of nanoparticles into PVA matrix was considered to be one of the most efficient methods for PVA nanofiber mat reinforcement manufactured through electro-spinning method [12].

In the present study, multiple walled carbon nanotubes (MWCNT) were added by 1, 3 and 5% in weight into the polyvinyl alcohol (PVA) solution. From the prepared solution, PVA nanofiber mat manufacturing was performed by 4 ml solution and electro-spinning method via a 0.8 mm injector. Nanofiber mats produced with/without reinforcement were exposed to tensile tests under static loading and tensile strength, elastic modules and toughness were examined and compared with each other. Chemical changes and interactions of nanofiber mats produced were analysed through Fourier Transformational Infra-red Spectroscopy (FT-IR) and Differential Scanning Calorimetry. Furthermore, scanning electron microscope (SEM) images were also reviewed to be able to monitor surface porosity of reticulated polymers as well as physical characteristics of PVA solutions with/without reinforcement for determination of mat characteristics.

## **2. Experimental**

### **2.1. Materials**

MWCNT was manufactured by NANOCYL company through chemical vapour accumulation method in the present study. Diameter is 5 to 50 nm and the length is 10 to 30  $\mu\text{m}$ . The PVA

polymer may be made a solution by adding purified water and a well spinning may be done. Closed formula of PVA is  $[-CH_2CHOH-]_n$  and molecular weight is 124000 g/mole. It was supplied by Sigma Aldirch company. Sodium dodecyl sulphate (SDS) with a closed formula of  $CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$ , a general anionic surface active substance purchased from Merck company has an analytical purity with a molecular weight of 288.38 g/mole.

## 2.2. PVA Nanofiber Mats Manufacturing by Electro-Spinning Method

Solution preparation was started with PVA attainment. As shown in Figure 2.1., 10 g of PVA powder (10% w/w) was added into 90 g of pure water which was heated up to 70°C slowly. This mixture was mixed by a magnetic mixer for 3 hours and complete dissolution of PVA was achieved. The pure water disappeared from totally 100 g of solution was added and mixture was continued. A solution was prepared with a g of surface active substance, sodium dodecyl sulphate (SDS) and 99 g of pure water and mixed in a magnetic mixer for 10 minutes. One gram of 1% SDS solution was added versus 10 g of PVA solution to reduce surface tension. MWCNT by 1%, 3% and 5% in weight was added into PVA-SDS solution per 10 g of PVA. The final solution was mixed in an ice bath for 5 minutes by 15-minute intervals through a probe homogenizer.

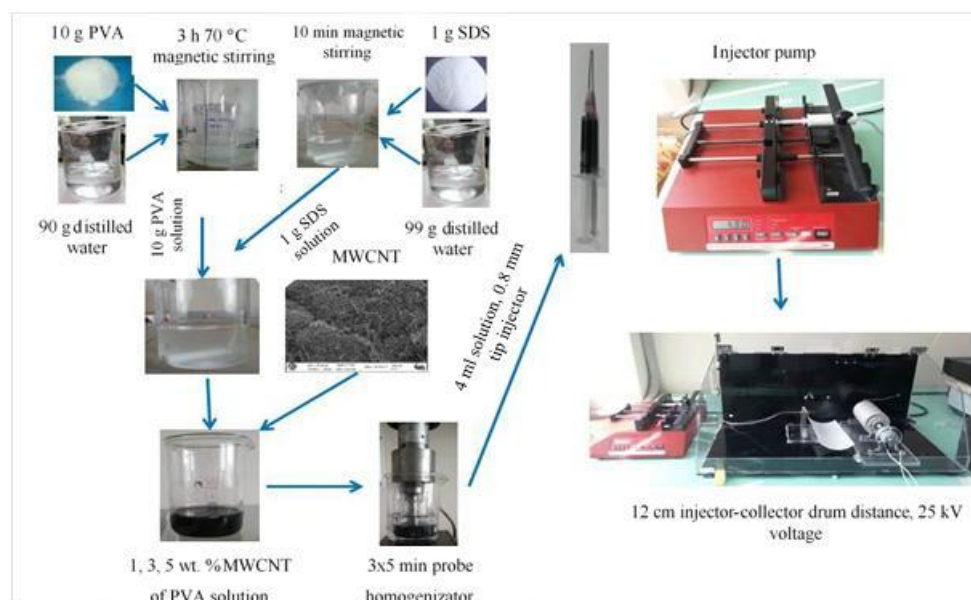


Figure 2.1 Schematic presentation of PVA nanofiber mats manufacturing procedure by electro-spinning method [13]

The samples exposed to spinning procedure were put into the electro-spinning mechanism prepared as rotating drum at horizontal axis. The syringe pump was selected with a 1.30 ml/h rate; syringe-collector distance was selected as 12 cm. High tension power source was adjusted at 25 kV and the experiment was started. The experiment was carried out in a laboratory environment at a room temperature of 26°C. Fiber samples obtained were dried in a drying-oven at 60°C for 1 hour.

Thickness of PVA nanofiber mats manufactured through electro-spinning method was measured by SEM and micrometre and shown in Figure 2.2. First, PVA nanofiber mats were cut by 20x20 mm in size. Thickness of the cover glass was measured as 1.07 mm by a micrometre. Then, nanofiber mats are put between two cover glasses and measured as 0.13 mm (Figure 2.2). Mean thickness was measured as 135µm by SEM (Figure 2.2.b).

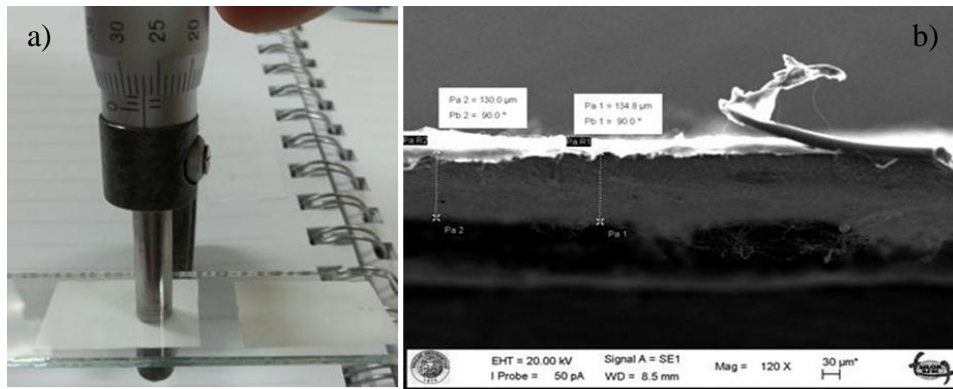


Figure 2.2. Thickness measurement of nanofiber mats

### 2.3. Tensile Tests of Nanofiber Mats

The PVA nanofiber mats manufactured through electro-spinning method were cut sensitively in 200x20 mm dimension with the separator fabric according to ASTM D 882-02 standards (Figure 2.3). After cutting, the separator fabric was peeled off from nanofiber mats. A double-sided polyurethane foam band with a thickness of 1.6 mm was stuck on both sides to avoid breakage and shedding of pulling jaws. Moreover, four samples from each sample were prepared.

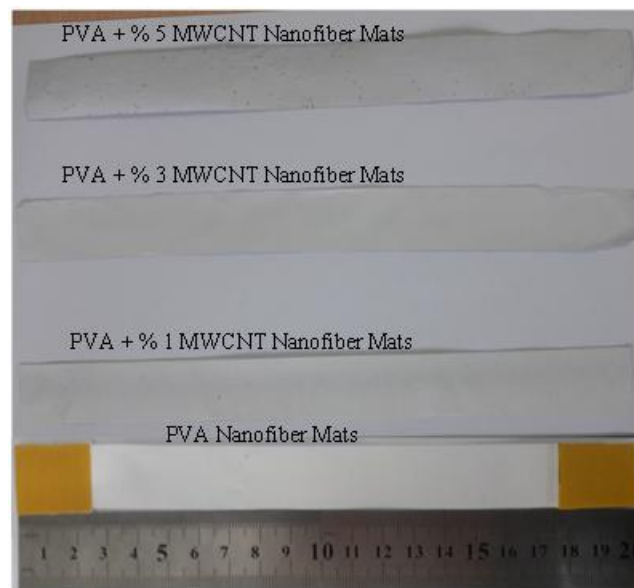


Figure 2.3 Dimensions of PVA nanofiber mats (in mm)

Tensile tests were performed by Shimadzu AGS-X hydraulic desktop test device at room temperature. Load cell with a precision of  $10 \pm 0.05$  kN was used for load measurements. As seen in Figure 2.4, connection of PVA nanofiber mats to the pulling test device was shown. Device jaws were adjusted at 15 mm/min during tensile procedure.



Figure 2.4 Connection of the samples to the pulling test device

The load applied to each sample,  $P$  and replacement,  $\delta$  values were recorded instantly and tensile strength of the samples were calculated with the following equation;

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A} \quad (2.1)$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \quad (2.2)$$

In Equation 2.1,  $\sigma_i$  represents the tension appeared at force  $i$  (MPa),  $P_i$  represents the load applied (N),  $A$  represents average section area ( $\text{mm}^2$ ) and in equation 2.2.,  $P_{max}$  represents the maximum load that the sample can carry (N) and  $\sigma_{max}$  represents the maximum tension appeared on the sample (MPa).

Elasticity module;

$$E_f = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.3)$$

Equation 2.3 used to calculate tensile elasticity module where  $E_f$  represents tensile elasticity module (MPa),  $\Delta\sigma$  represents the difference between two tension point (MPa) and  $\Delta\varepsilon$  represents the difference between two selected transformation quantity (normally  $\Delta\varepsilon = 0.002$  is used and the difference on tension points between these values determines the magnitude of the elasticity module).

Data obtained by use of the equations above were made numerical and data were compared with each other by converting into tables.

#### 2.4. Characterization of PVA Nanofiber Mats

SEM images of PVA nanofiber mats were obtained by ZEISS Evo LS 10 device at 20kV voltage. Glass transition temperature, specific heat capacity, thermal stability and melting temperature were examined with differential screening calorimeter (DSC, Perkin Elmer Instruments) under 20 ml/min nitrogen flow conditions. Test temperature was tested at 20°C/min heating temperature from 25°C to 400°C.

### 3. Conclusions and Discussion

#### 3.1. Determination of Physical Characteristics of PVA Solutions

Electrical conductivity, temperature and total particle quantity (ppt) of the solutions were measured by Hanna-Combo tester device under the temperatures set out in Table 3.1.

Table 3.1 Physical characteristics of liquid solutions

Solution	Ppt	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)
PVA	0.72	1.45	23.2
PVA / 1% MWCNT	0.75	1.50	23.7
PVA / 3 % MWCNT	0.78	1.56	23.9
PVA / 5 % MWCNT	0.81	1.62	23.1

As seen in Table 3.1, electrical conductivity increases by increase of MWCNT added into the solvent. Since electrical conductivity of MWCNT is 106-107 S/m, conductivity of the solvent increases depending on the particle quantity by increase of MWCNT. Total particle quantity in the solution also increased. Increase of total particle quantity increased depending on increase of MWCNT quantity. Furthermore, nanofiber mats changes from white to grey colour by MWCNT increase as seen in Figure 2.3.

#### 3.2. DSC Analyses of PVA Nanofiber Mats

DSC curves of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement by 1, 3 and 5% in weight are shown in Figure 3.1. After manufacturing of PVA nanofiber mats and PVA nanofiber mats reinforced by MWCNT by 1, 3 and 5% in weight through electro-spinning method, the water was evaporated by drying in a vacuum oven at 60°C for 1 hour. DSC curves demonstrated no reaction until melting temperature. No crystallization was observed during DSC heating study according to DSC curves. Therefore, endothermic melting was referred to melting of the crystals appeared during electro-spinning [14].

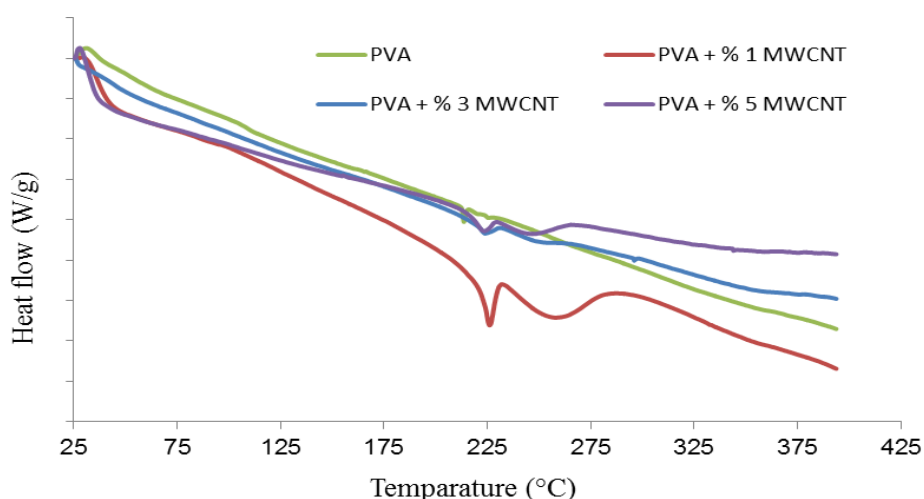


Figure 3.1 DSC curves of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement by 1, 3, and 5% wt.

Glass transition temperature ( $T_g$ ), specific heat values ( $\Delta C_p$ ), thermal stability and melting temperature ( $T_m$ ) of nanofiber mats were listed in Table 3.2. When PVA nanofiber mat reinforced

by 1% MWCNT in weight was compared with PVA nanofiber mats and  $T_m$ , the temperature increased from 215°C to 225°C. However, a decrease was observed in this increase after the ratio of 1% and this is caused by agglomeration in PVA matrix of MWCNT [15]. PVA nanofiber mats have an endothermic peak at 205 to 225°C corresponding to  $T_m$  [16].

Table 3.2.  $T_g$ ,  $\Delta C_p$ , thermal stability and  $T_m$  of PVA and MWCNT reinforced PVA nanofiber mats

Nanofiber mats	$T_g$ (°C)	$\Delta C_p$ (J/g °C)	Thermal stability (°C)	$T_m$ (°C)
PVA	77	0,066	205	215
PVA / 1% MWCNT	85	0,895	215	225
PVA / 3 % MWCNT	80	0,446	212	225
PVA / 5 % MWCNT	74	0,296	210	223

A significant increase was observed in  $\Delta C_p$ ,  $T_g$ , thermal stability and  $T_m$  in PVAV nanofiber mats reinforced by 1% MWCNT and such values have become 0.895 J/g °C, 85 °C, 215 °C and 225 °C, respectively. The  $\Delta C_p$  value for PVA nanofiber mats was 0.066 J/g °C, such value increased by approximately 14 folds and became 0.895 J/g °C in 1 % MWCNT + PVA nanofibers. Such value decreased by increase of MWCNT quantity.  $T_g$ ,  $T_m$  and thermal stability temperatures also decreased depending on this.

### 3.3. Mechanical Properties of Pva Nanofiber Mats

The typical tension-unit transformation graph obtained as a result of static tensile experiments of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement was presented in Figure 3.2. As seen in the figure, tensile strength of PVA nanofiber is 3.91 MPa. PVA nanofiber mats reinforced by 1% MWCNT presented an increase of 50% by 5.87 MPa. Moreover, unit transformation of PVA nanofiber mat is 0.58 mm/mm whereas unit transformation of PVA nanofiber mats reinforced by 1% MWCNT decreased 29.3% by 0.41 mm/mm. However, a decrease was detected in tensile strength and ductility by MWCNT reinforcement.

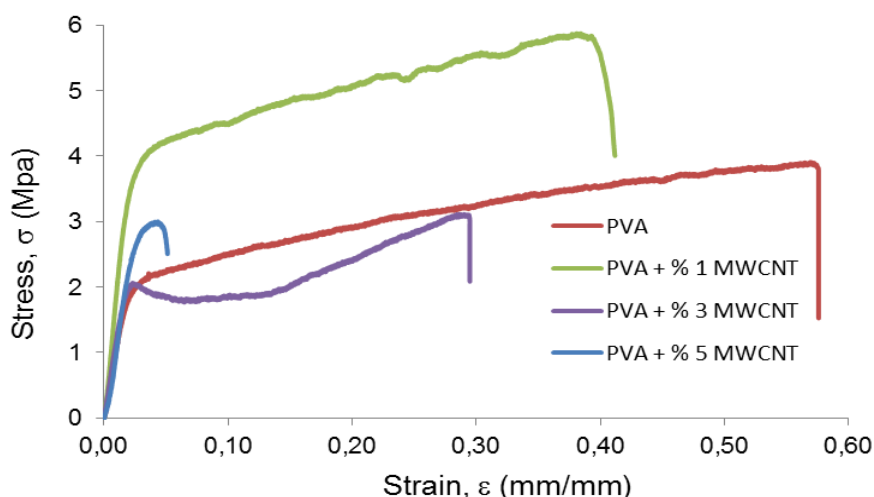


Figure 3.2 Stress-Strain graph for PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement

Maximum loads ( $P_{max}$ ), elasticity modulus ( $E$ ), tensile strengths ( $\sigma_c$ ), strain ( $\epsilon$ ) and toughness of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement were presented in Table 3.3. % 1 MWCNT takviyeli PVA nanoelyaf keçenin  $P_{max}$ , elasticity module and toughness of PVAV nanofiber mat reinforced by 1 % MWCNT were 15.86 N, 0.203 GPa and 344.15 MJ/m<sup>3</sup>,

respectively and showed an increase by 50 %, 88 % and 12 % , respectively when compared with PVA nanofiber mats. However, the decrease appeared by increase in MWCNT ratios and presented a brittle breakage. The reason for the decrease after 1% MWCNT reinforcement is agglomeration of MWCNT and reduction of diameters of the nanofiber mats due to MWCNT.

Table 3.3  $P_{max}$ ,  $E$ ,  $\sigma_c$ ,  $\epsilon$  and toughness of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement

Nanofiber mat	$P_{max}$ (N)	$E$ (GPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\epsilon$ (mm/mm)	Toughness (MJ/m <sup>3</sup> )
PVA	10.55	0,108	3.91	0.58	307.37
PVA / 1% MWCNT	15.86	0,203	5.87	0.41	344.15
PVA / 3 % MWCNT	8.41	0,135	3.11	0.29	106.48
PVA / 5 % MWCNT	8.10	0,123	3.00	0.05	29.95

Figure 3.3 shows the images of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement after the breakage. The PVA nanofiber mat and PVA nanofiber mats reinforced by 1% MWCNT presented a ductile behaviour and fracture occurred. However, PVA nanofiber mats reinforced by 3 % MWCNT and PVA nanofiber mats reinforced by 5 % MWCNT were broken fragily. Short fiber formation and fracture initiation resulted with brittle fracture by effect of pilling in nanofiber mats due to increase in MWCNT ratios.

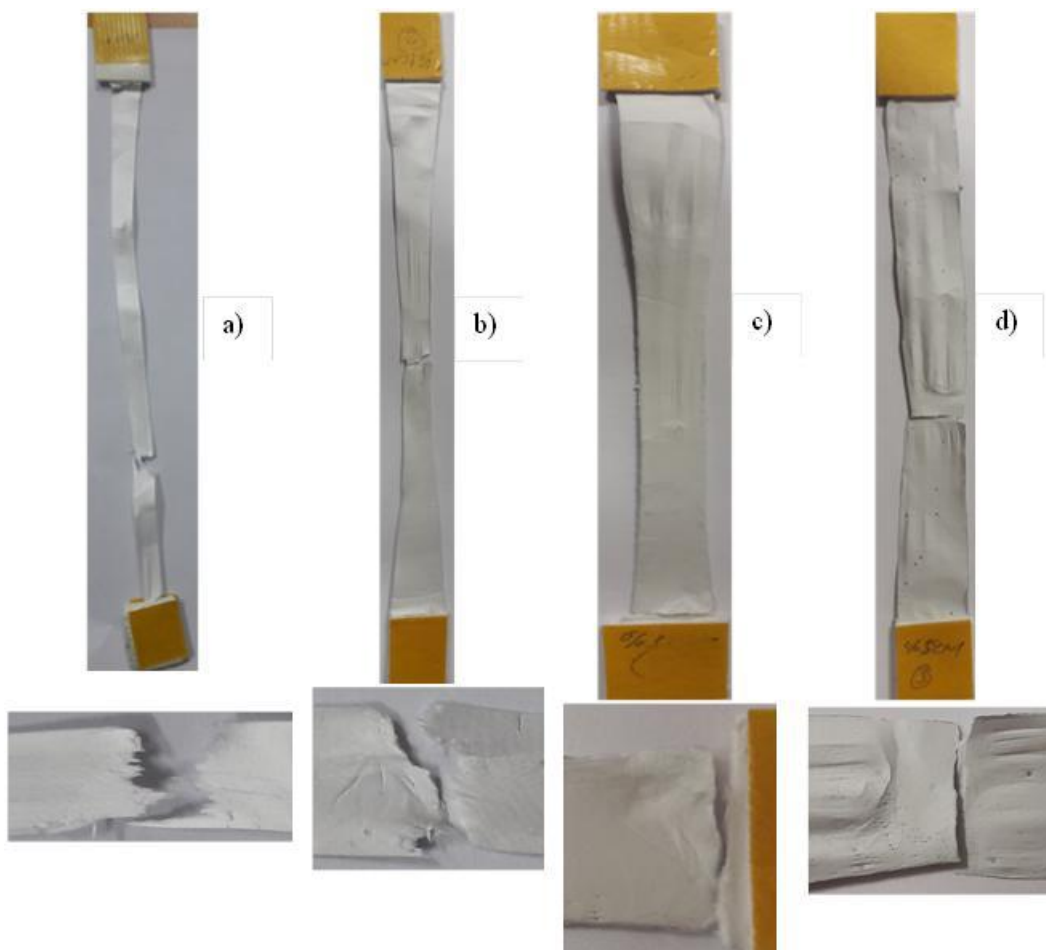


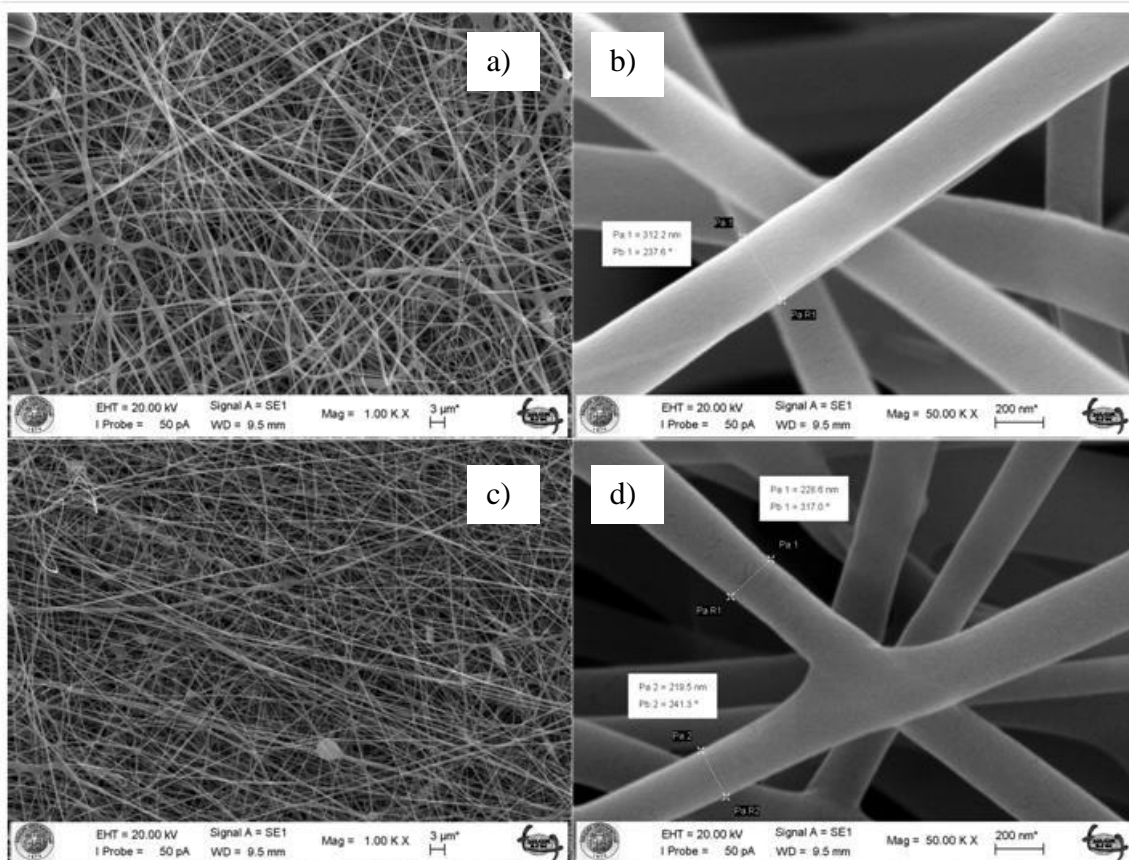
Figure 3.3 Images after rupture under static load; a) PVA nanofiber mat, b) PVA nanofiber mats reinforced by 1 % MWCNT c) PVA nanofiber mats reinforced by 3 % MWCNT and d) PVA nanofiber mats reinforced by 5 % MWCNT



### 3.4. Morphology of PVA Nanofiber Mats

SEM images of nanofiber mats at 1000 X and 50,000 X magnification were presented in Figure 3.4. Furthermore, SEM images were pasted into Autocad program and the smallest and largest 10 diameters of each nanofiber mat were measured and average was calculated. Diameter measurements of PVA nanofiber mats were measured between 222 and 403 nm; diameter measure of PVA+1% MWCNT nanofiber mats was measured between 154 and 335 nm; diameter measure of PVA+3% MWCNT nanofiber mats was measured between 117 and 265 nm and diameter measure of PVA+5% MWCNT nanofiber mats was measured between 95 and 192 nm (Figures 3..b, d, f, h).

If electrical conductivity of the solution is increased in electro-spinning process, loads of the solution would also increase. Thus, proper fibres and fibres with smaller diameter may be obtained. Diameter measure of PVA nanofiber mats was compared with diameter measure of PVA+5% MWCNT nanofiber mat and it was measured as 110 nm with a decrease by 64.7%. When such image is examined, diameters of nanofiber mats decrease by increase of KNT added into the PVA solution due to MWCNT conductivity and thin fibres appear. However, by increase of KNT quantity, agglomeration and viscosity increase, pumping of the solution from the syringe becomes difficult and cause agglomeration (Figures 3.., a, c, e, g). Interruptions appear in fibre lengths [17].



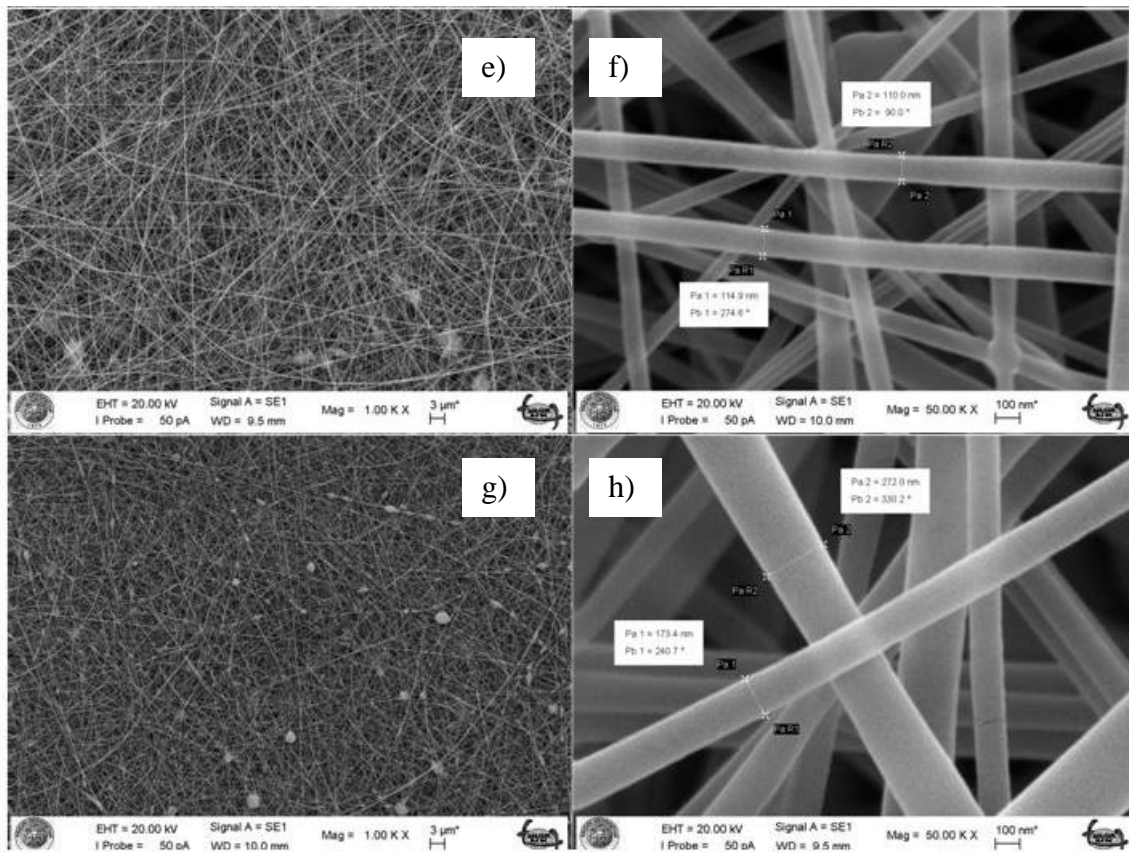


Figure 3.4. SEM images of PVA nanofiber mats; a) 1K X and b) 50 KX PVA, c) 1 KX and d) 50 KX PVA+% 1 MWCNT, e) 1 KX and f) 50 KX PVA+% 3 MWCNT, g) 1 KX and h) 50 KX PVA+% 5 MWCNT

#### 4. Conclusions

Elasticity modulus, strain, tensile strengths and toughness of PVA nanofiber mats with/without MWCNT reinforcement manufactured by electro-spinning method were analysed in the present study. Furthermore, characterizations of nanofiber mats as well as physical features of the solution through addition of MWCNT by 1, 3, and 5 % in weight into PVA solution were examined via SEM and DSC. As a result:

- 1- When PVA nanofiber mat reinforced by 1 % MWCNT,  $\sigma_c$  and E was compared with PVA nanofiber mat, increases by 50 % and 88 % were detected, respectively. A decrease appeared after 1 %. This indicated the best leakage threshold in PVA solution.
- 2- As a result of DSC analyses, nanofiber mats demonstrated an endothermic reaction. A significant increase was observed in  $\Delta C_p$ ,  $T_g$ , thermal stability and  $T_m$  of PVA nanofiber mats reinforced by 1% MWCNT and resulted as 0.895 J/g °C, 85 °C, 215 °C and 225 °C, respectively. A decrease was observed in these values after 1 % ratio and this outcome was referred to agglomeration by increase of MWCNT in PVA matrix.
- 3- When SEM morphology was examined, diameters of nanofibers decreased by increase of MWCNT ratio. Furthermore, no pilling was observed and a long fibre manufacturing was performed through reinforcement of 1% MWCNT. Pilling and shorter lengths of mats were detected by increase of MWCNT ratio. It was also understood that nanofiber mats reinforced by 1% MWCNT have ideal diameters.

## 5. Acknowledgments

The financial support for this work has been received from Necmettin Erbakan University, Scientific Research Projects Administration Grant No. 161219006.

## References

- [1] Bajpai AK, Shukla SK, Bhanu S, Kankane S. "Responsive polymers in controlled drug delivery," *Prog Polym Sci*, 33(11), 1088-118, 2008.
- [2] Mark JE. "Physical properties of polymers handbook," Springer; 2007.
- [3] Erkendirici OF, Avci A, Ekrem M. "Investigation of the Fracture Behavior of Woven Fiber Glass-reinforced Low-density Polyethylene Composite," *J Compos Mater*, 44(23), 2697-709, 2010.
- [4] Kessler MR. "Polymer Matrix Composites: A Perspective for a Special Issue of Polymer Reviews," *Polym Rev*, 52(3-4), 229-33, 2012.
- [5] Kong CS, Lee TH, Lee KH, Kim HS. "Interference between the Charged Jets in Electrospinning of Polyvinyl Alcohol," *J Macromol Sci B*, 48(1), 77-91, 2009.
- [6] Park JC, Ito T, Kim KO, Kim KW, Kim BS, Khil MS, et al. "Electrospun poly(vinyl alcohol) nanofibers: effects of degree of hydrolysis and enhanced water stability," *Polym J*, 42(3), 273-6, 2010.
- [7] Gonzalez JS, Alvarez VA. "Mechanical properties of polyvinylalcohol/hydroxyapatite cryogel as potential artificial cartilage," *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 34, 47-56, 2014.
- [8] Saghafi H, Zucchelli A, Palazzetti R, Minak G. "The effect of interleaved composite nanofibrous mats on delamination behavior of polymeric composite materials," *Compos Struct*, 109, 41-7, 2014.
- [9] Li P, Qiao Y, Zhao LL, Yao DH, Sun HX, Hou YF, et al. "Electrospun PS/PAN fibers with improved mechanical property for removal of oil from water," *Mar Pollut Bull*, 93(1-2), 75-80, 2015.
- [10] Ding B, Kim HY, Lee SC, Lee DR, Choi KJ. "Preparation and characterization of nanoscaled poly(vinyl alcohol) fibers via electrospinning," *Fiber Polym*, 3(2), 73-9, 2002.
- [11] Carraher CE, Moore JA. "Modification of polymers," Springer Science & Business Media; 2012.
- [12] Sun B, Long YZ, Zhang HD, Li MM, Duvail JL, Jiang XY, et al. "Advances in three-dimensional nanofibrous macrostructures via electrospinning," *Prog Polym Sci*, 39(5), 862-90, 2014.
- [13] Ekrem M. "Fracture Behavior of Epoxy Adhesives Reinforced with Carbon Nanotubes and Polyvinyl Alcohol Nanofibers in Aluminum Joints," PhD Dissertation, Konya: Selcuk University; 2015.
- [14] Guerrini LM, de Oliveira MP, Branciforti MC, Custodio TA, Bretas RES. "Thermal and Structural Characterization of Nanofibers of Poly(Vinyl Alcohol) Produced by Electrospinning," *J Appl Polym Sci*, 112(3), 1680-7, 2009.
- [15] Deng JN, Zhang XQ, Wang K, Zou H, Zhang Q, Fu Q. "Synthesis and properties of poly(ether urethane) membranes filled with isophorone diisocyanate-grafted carbon nanotubes," *J Membrane Sci*, 288(1-2), 261-7, 2007.
- [16] Naebe M, Lin T, Tian W, Dai LM, Wang XG. "Effects of MWNT nanofillers on structures and properties of PVA electrospun nanofibres," *Nanotechnology*, 18(22), 2007.
- [17] Ramakrishna S. "An introduction to electrospinning and nanofibers," World Scientific; 2005.



---

**Makale / Research Paper**

---

**17-4 PH Paslanmaz Çelik ve Al 7075 Alaşımının Sürtünme Kaynağı**

**Osman TORUN<sup>1</sup>, İbrahim ÇELİKÜREK<sup>2</sup>, Bedri BAKSAN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bolvadin Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar, Türkiye  
otorun@aku.edu.tr

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği  
Bölümü, Eskişehir, Türkiye

**Received/Geliş:** 21.10.2016

**Revised/Düzeltilme:** 08.03.2017

**Accepted/Kabul:** 09.03.2017

**Özet:** 17 4-PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı özel bir firmadan temin edilmiştir. Numuneler kaynak işlemi için uygun boyutlarda işlenmiştir. Sürtünme kaynağı işlemi, 1000 dak.<sup>-1</sup> sürtünme hızı, 150 MPa yığma basıncı ve 50 MPa sürtünme basıncı altında 6, 9, 12, 15 s sürtünme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak bölgesi mikroyapısı ve kırılma yüzeyleri, optik ve taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Mikroyapı çalışmaları kaynak ara yüzeylerinin boşluksuz ve sürekli olduğunu göstermiştir. Kaynak bölgesi ve matrisin, sertlik ve kesme mukavemeti değerleri tespit edilmiştir. Farklı kaynak süreleri için sertlik profilleri birbirine benzerdir. Kaynak bölgesi kesme mukavemeti değerleri kaynak süresinin artışı artmıştır. En yüksek kesme mukavemeti 15 s 'de kaynak yapılan numune elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sürtünme kaynağı, 17 4-PH paslanmaz çelik, Al 7075

---

**Friction Welding of 17-4 PH Stainless Steel and Al 7075 alloy**

**Abstract:** 17 4-PH stainless steel and Al7075 T6 alloy were provided by private firm. Samples were machined to fit size. Friction welding process was performed for 6, 9, 12, 15 s frictions durations under 150 MPa forging pressure and 50 MPa friction pressure at 1000 min<sup>-1</sup> friction speed. Microstructure of welding zone and fractured surface were examined with optical and scanning electron microscopy (SEM). Microstructure studies indicated that welding interfaces were continuous and void-free. Hardness and shear strength values of the welding zone and matrix were determined. Hardness profiles for various welding duration were similar to each other. The welding shear strength values increased with increase in the welding duration. The highest shear strength value was obtained from welded sample for 15s.

**Keywords:** Friction welding, 17-4 PH stainless steel, Al 7075

---

**1. Giriş**

Al 7075 alaşımı günümüzde endüstride sıkça kullanılan en güçlü alüminyum alaşımlarından birisidir. Özellikle yaşlanma özelliği ve uygun mukavemet/ağırlık oranı nedeniyle havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2]. Bu alaşımlar ergitme kaynağında katılaşma çatlağına duyarlıdır. Ayrıca alaşım içerisinde bulunan çinkonun kaynak esnasında buharlaşması veya oksidasyon nedeniyle, porozite oluşabilir ve yetersiz ergime meydana gelebilir[3]. Literatürde alüminyum ve alaşımlarının farklı malzemelerle kaynağı ve özellikle çeliklerle kaynağı ile ilgili

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Torun O., Çelikyürek İ., Baksan B., "17-4 PH Paslanmaz Çelik ve Al 7075 Alaşımının Sürtünme Kaynağı" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 201-208.

*How to cite this article*

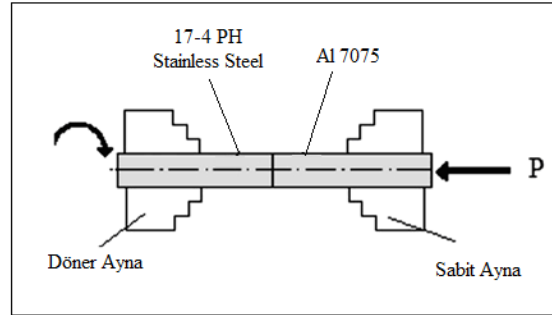
Torun O., Çelikyürek İ., Baksan B., "Friction Welding of 17-4 PH Stainless Steel and Al 7075 alloy" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 201-208.

farklı kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Nokta direnç kaynağı, sürtünme kaynağı, karıştırmalı sürtünme kaynağı, difüzyon kaynağı, patlama kaynağı, lazer ışın kaynağı bunlardan bazılarıdır[4-9]. 17-4 PH paslanmaz çeliği iyi süneklik ve tokluk özelliği yanında, iyi derece korozyon dayanımı gösterir. Bu çelikler, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementlerinin bulunmasından dolayıdır[10]. Günümüzde üretilen 17-4 PH paslanmaz çelikler, yüksek hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında, yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, cıvata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir [11, 12].

Sürtünme kaynağı son yıllarda birçok endüstri alanında oldukça sık kullanılmaya başlanan bir katı hal kaynak tekniğidir. Literatürde aynı malzemelerin kendi kendine ve farklı malzemelerin birbirleriyle sürtünme kaynağı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır[13-16]. Bu çalışmada 17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş ve kaynak süresinin kaynak ara yüzey mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı özel bir firmadan temin edilmiştir. Numuneler kaynak işlemi için sürekli tahrikli kaynak makinesine uygun boyutlarda işlenmiştir. Hazırlanan numuneler sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Sürtünme kaynağı işleminin şematik görünümü Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Sürtünme kaynağı işleminin şematik resmi

Kaynak parametrelerinden sürtünme hızı  $1000 \text{ dak}^{-1}$  olarak sabit tutulmuştur. Yığma basıncı 150MPa, sürtünme basıncı 50 MPa olarak seçilmiştir ve dört farklı sürede kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 1).

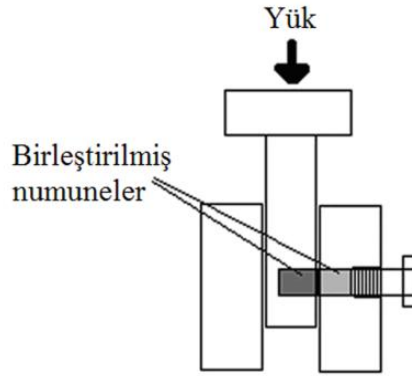
Tablo 1. Sürtünme kaynağı deneylerinde kullanılan parametreler.

Sürtünme Hızı ( $\text{dak}^{-1}$ )	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığma Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (s)	Yığma Süresi (s)	Eksenel Kısalma (mm)
1000	50	150	6	10	0,5
1000	50	150	9	10	1
1000	50	150	12	10	2,2
1000	50	150	15	10	4,2

Her deney koşulu için dört kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kaynak öncesi boyları ve kaynak sonrası boyları ölçülerek aksenal kısalma (burn-off) miktarları tespit edilmiştir. Kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerden üç tanesi mekanik karakterizasyon için kesme testine tabi

tutulmuş, bir tanesi de mikroyapı çalışmaları için kaynak eksenine dik olarak kesilmiştir. Kaynak bölgesinin mukavemeti kesme testleri ile belirlenmiştir. Kaynak bölgesi kesme mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan, özel olarak tasarlanmış test aparatının şematik görünümü Şekil 2’de verilmiştir.

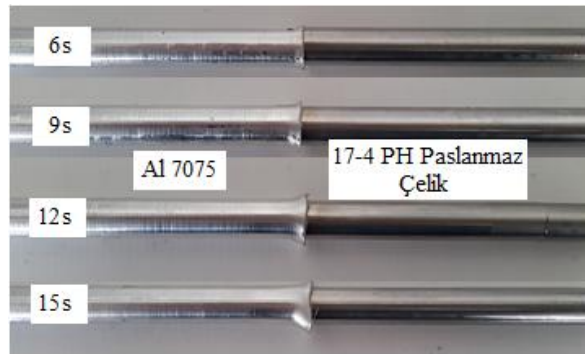
Mikroyapı için hazırlanan numuneler 800 ve 1200 mesh’ lik zımpara ile zımparalanmış, 1µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra numunelerin 17-4 PH Paslanmaz Çelik tarafı H<sub>2</sub>O (30 ml), HNO<sub>3</sub> (30 ml), HCl (20 ml) ve HF (20 ml) karışımı dağlayıcı ile Al7075 tarafı keller dağlayıcı ile dağlanmıştır ve mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiştir. Ayrıca numuneler taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır. Kaynaklanmış numunelerde kaynak merkezinden matris malzemesine kadar mikrosertlik değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2. Kesme test aparatının şematik görünümü

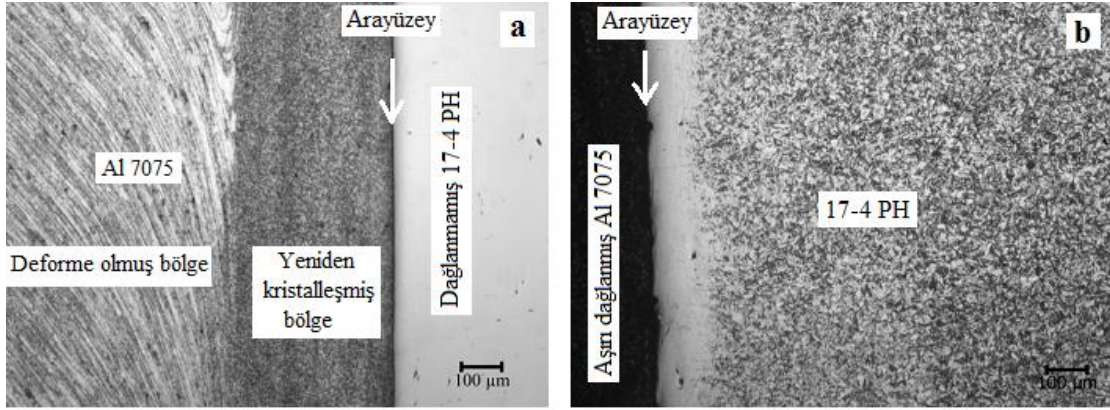
### 3. Bulgular ve Tartışma

Sürtünme kaynağı yapılan tüm numunelerin makroyapı fotoğrafları Şekil 3’te gösterilmektedir. Tüm numunelerde kaynak esnasında deformasyon nedeniyle flaş oluşumu görülmüştür ( Tablo 1). Kaynak süresi flaş oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Kaynak süresindeki artışla, kaynak ara yüzeyinde daha yüksek ısı oluşumu nedeniyle daha fazla deformasyon meydana gelmiştir. Plastik deformasyondaki artışla aksel kısalma artmıştır. Farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olan malzemeler sürtünme kaynağı esnasında farklı deformasyon miktarları sergiler[18]. 17-4 PH Paslanmaz çelik ve Al7075 alaşımının mukavemetleri kıyaslandığında, 17-4 PH paslanmaz çeliğin mukavemeti oldukça yüksektir[9,12]. Bu nedenle kaynak esnasında meydana gelen deformasyon büyük bir kısmı Al7075 alaşımındadır. 17-4 PH paslanmaz çelik tarafında hemen hemen hiç deformasyon meydana gelmemiştir.



Şekil 3. Sürtünme kaynaklı numunelerin makroyapıları.

9 s sürede kaynaklanmış numunenin mikroyapısı Şekil 4'te verilmiştir. Farklı sürelerde kaynaklanan tüm numunelerin kaynak ara yüzeylerinde boşluksuz ve sürekli bir birleşme olduğu gözlenmiştir. Kaynaklı numunelerin Al7075 alaşımı tarafında iki farklı bölge gözlenmiştir: Çok küçük taneli dinamik yeniden kristalleşmiş bölge ve deformasyona uğramış bölge ( Şekil 4a ). 17-4 PH paslanmaz çelik tarafında herhangi bir deformasyon izine rastlanmamıştır ( Şekil 4b). Yeniden kristalleşmiş bölge genişliği kaynak süresindeki artışla artmıştır. 6 s sürede kaynaklanan numunelerde Yeniden kristalleşmiş bölge genişliği yaklaşık 200 µm iken, 15 s sürede kaynaklanan numunelerde yaklaşık 400 µm civarında gözlenmiştir.

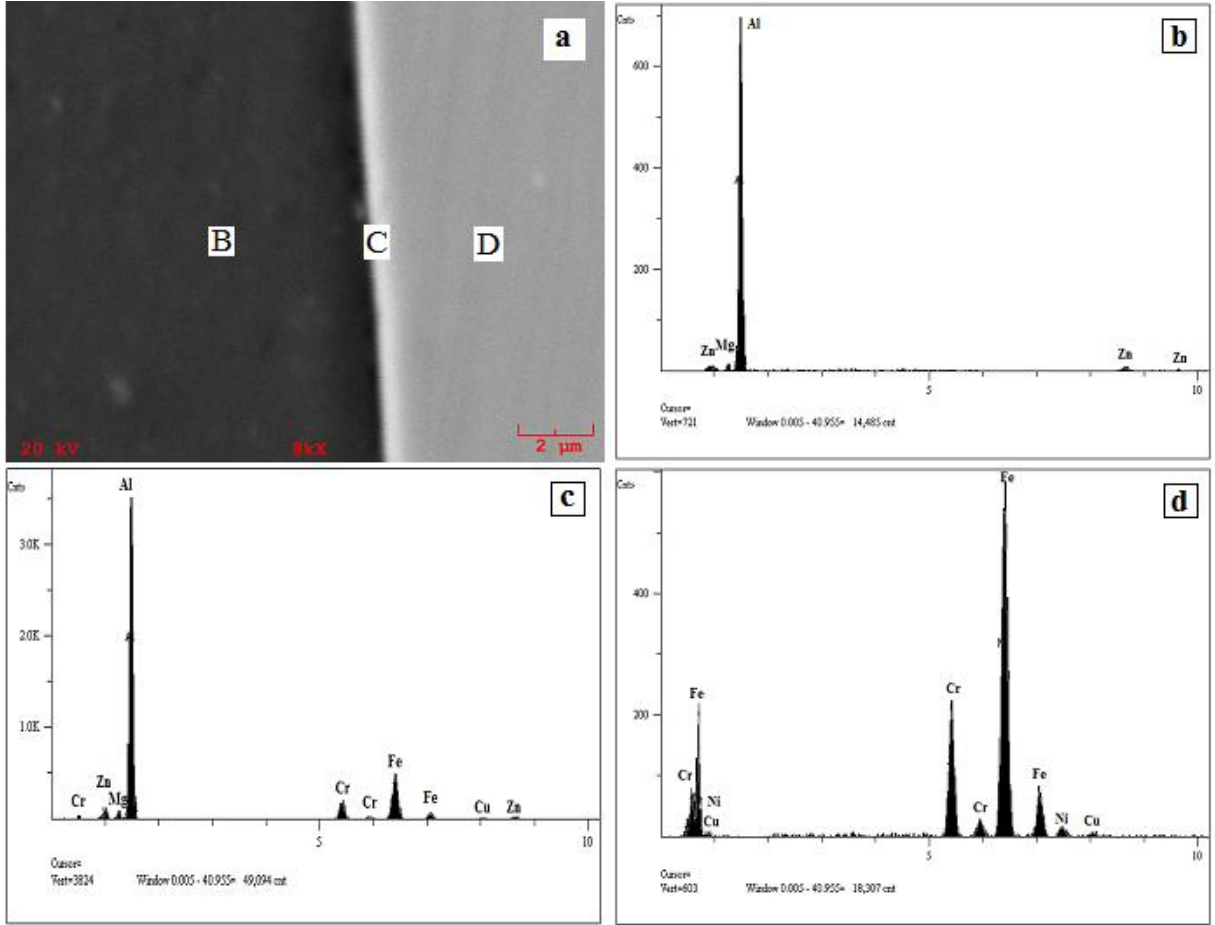


Şekil 4. 9 s sürede kaynak yapılan numunenin optik mikroyapı fotoğrafları. a) Al7075 tarafı  
b) 17-4 PH paslanmaz çelik tarafı.

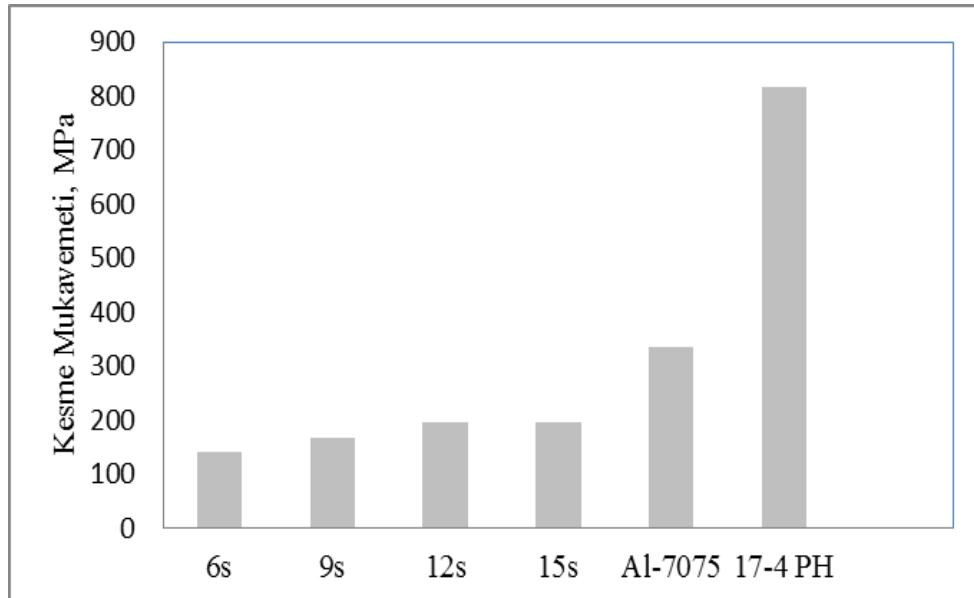
12 s sürede kaynak yapılmış numunenin taramalı elektron mikroskobu ( SEM ) mikroyapı fotoğrafları şekil 5'te gösterilmektedir. Mikroyapı fotoğrafından numunelerin ara yüzeyinde bir difüzyon bölgesi olduğu açıkça görülmektedir. Kaynak bölgesinde yapılan EDS analizleri Şekil 5. b, c ve d 'de verilmektedir. Şekil 5 c difüzyon bölgesinin bileşimini göstermektedir. Ara yüzeyde oluşan difüzyon bölgesi Al, Fe, Cr, Mg, Zn ve Cu atomları içermektedir. Bu bölgede yaklaşık % 65 Al ve % 25 Fe atomları belirlenmiştir. Cr, Mg, Zn ve Cu atomlarının oranı oldukça düşüktür. Bu atom oranları göz önüne alındığında, ara yüzeydeki difüzyon bölgesinde Fe-Al intermetalik fazı olduğu düşünülmektedir[17].

Kaynaklı numunelerin ve orijinal malzemelerin kesme testleri sonuçları Şekil 6' da verilmektedir. En yüksek kesme mukavemeti 15 s sürede kaynak yapılan numunelerde 197,5 MPa olarak bulunmuştur. Kaynak süresindeki artışla kesme mukavemeti değerlerinde artış gözlenmiştir. Kaynak süresindeki artış, daha fazla bir sürtünme mesafesi sağlar, bunun sonucunda ara yüzey toplam ısı girdi miktarı artar ve ara yüzey sıcaklığını artırır. Bu sıcaklık artışı hem deformasyon miktarını hem de difüzyon hızı artırır ve bunun sonucunda daha iyi bir bağlanma meydana gelir. 12 ve 15 s sürede kaynak yapılan numunelerin kesme mukavemeti değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Bu durumda, 12 s kaynak süresinin iyi bir bağlantı için, yeterli ısı girdisi sağladığı düşünülebilir. Kaynaklı numunelerin mukavemeti ile orijinal malzemelerin mukavemeti kıyaslandığında, kaynaklı numunelerin mukavemeti daha düşüktür. Bunun nedeninin kaynaklı numunelerin ara yüzeylerinde oluşan Fe-Al intermetalik fazlarının düşük mukavemeti nedeniyle olduğu söylenebilir. Kaynaklı numunelerin merkezinden her iki tarafa doğru mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Kaynaklı tüm numunelerin mikrosertlik profilleri birbirine benzerdir (Şekil 7). Ara yüzey sertlik değeri yaklaşık 200 HV olarak ölçülmüştür. Al7075 alaşımı tarafında yeniden kristalleşmiş bölge ile matrisin sertliklerinin yaklaşık aynı olduğu gözlenmiştir.

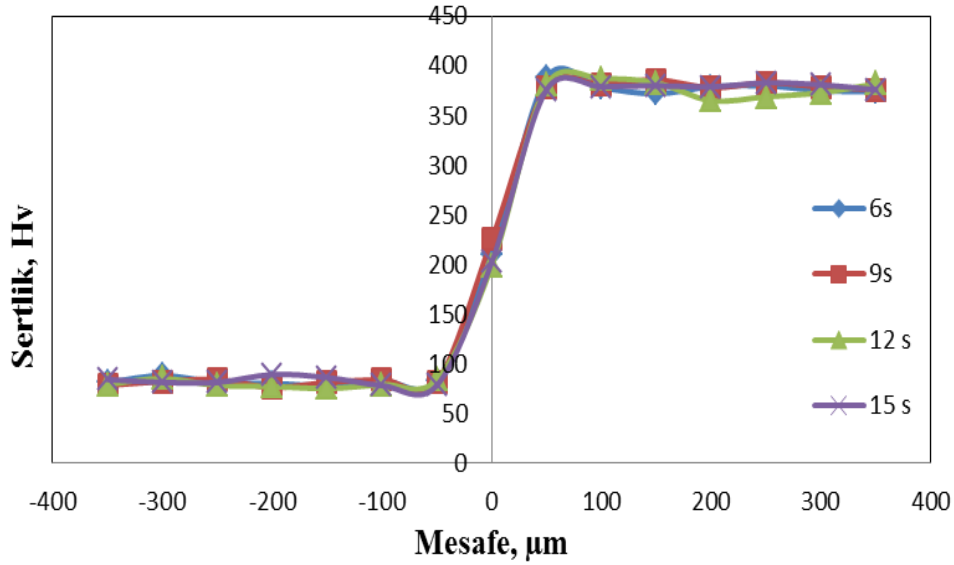


Şekil 5. a) 12 s sürede kaynak yapılmış numunenin Taramalı Elektron Mikroskop fotoğrafı. b) B noktasındaki EDS analizi. c) C noktasındaki EDS analizi. d) D noktasındaki EDS analizi.



Şekil 6. Kaynaklı numunelerin ve orijinal malzemelerin kesme mukavemetleri.

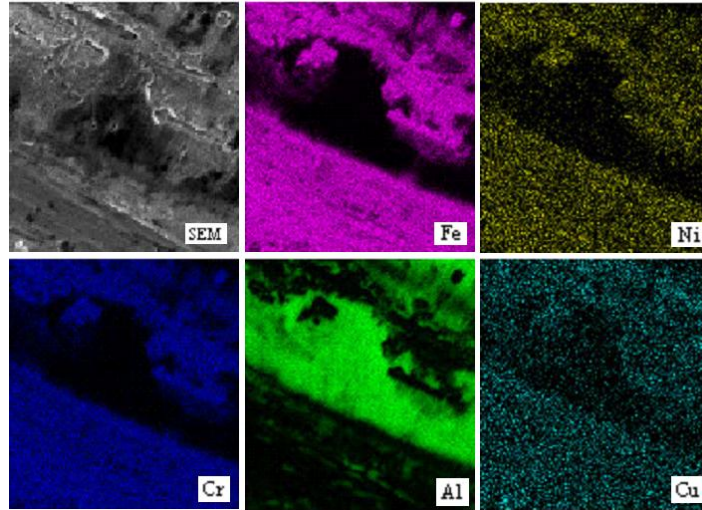




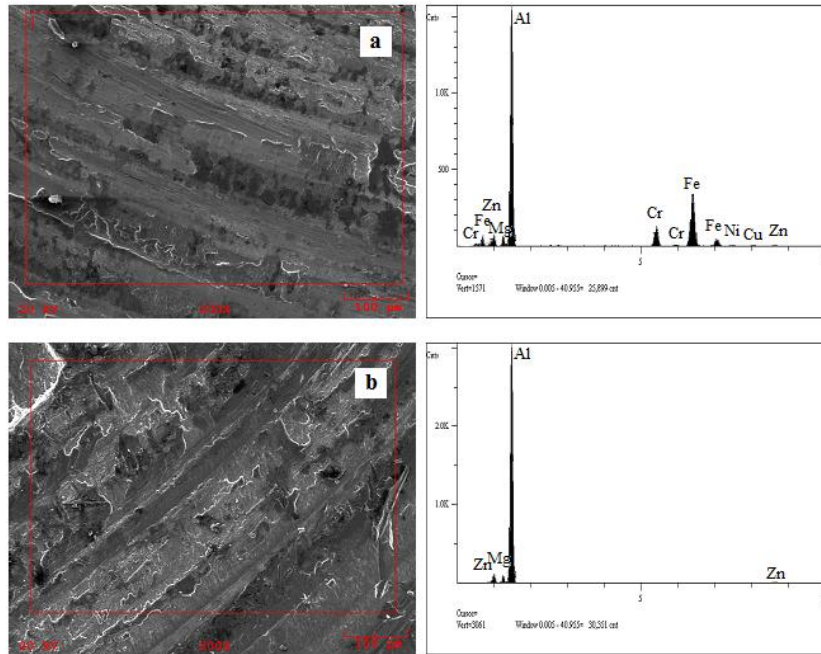
Şekil 7. Kaynaklı numunelerin mikrosertlik değerleri.

Şekil 8 ve 9 'de kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu fotoğrafları ve EDS analizleri verilmiştir. 9s sürede kaynak yapılan numunelerin 17-4 PH tarafı yüzeyinde EDS- haritalama analizinde yüzeyde Al, Fe, Cr, Cu ve Ni atomları tespit edilmiştir. Bu atomların varlığı kesme esnasında kopmanın ara yüzey ve Al 7075 tarafından olduğunu göstermektedir.

9s sürede kaynak yapılan ve Şekil 9' de verilen yüzey EDS analizleri de kesme testi esnasında kopmanın ara yüzey ve Al 7075 tarafından gerçekleştiğini onaylamaktadır. Hemen hemen tüm kaynak sürelerinde benzer sonuçlar görülmüştür.



Şekil 8. 9s sürede kaynak yapılan numunelerden 17-4 PH paslanmaz çelik tarafı kırılma yüzeyi EDS haritalama analizi.



Şekil 9. 9 s sürede kaynak yapılan numunelerin kırılma yüzeyi EDS analizi. a) 17-4 PH tarafı b) Al 7075 tarafı.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çelik ve Al 7075 T6 alaşımı sürtünme kaynağıyla farklı sürelerde birleştirilmiştir. Kaynak sonrası mikroyapı incelemelerinde Al 7075 tarafında yeniden kristalleşmiş ve deforme olmuş bölge olarak iki farklı bölge oluşurken, 17-4 PH tarafında belirli bir değişim gözlenmemiştir. Ara yüzeyde bir difüzyon bölgesi olduğu görülmüş ve analiz sonucunda bu bölgenin Al ve Fe zengin bir faz olduğu tespit edilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri tüm kaynaklı numunelerde sertlik profillerinin benzer olduğunu göstermiştir. Kesme testi sonuçları göre en yüksek kesme mukavemetinin 15 s sürede kaynaklanan numunede 197,5 MPa olarak elde edilmiştir. Kaynak süresindeki artışla, ısı girdisi ile doğru orantılı olarak, kesme mukavemeti değerlerinin artmıştır. Kırılma yüzeyi incelemeleri, kesme testi esnasında kopmanın ara yüzey ve Al 7075 tarafından gerçekleştiğini göstermiştir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Kalahid Rafi H., Janaki Ram G.D., Phanikumar G., Prasad Rao K., " Microstructure and tensile properties of friction welded aluminum AA7075-T6", Materials and Design 31 (2010) 2375-2380.
- [2] Jha Abhay K., Sreekumar K., "Metallurgical studies on cracked Al-5.5Zn -2.5Mg-1.5Cu aluminum alloy injector disc of turbine motor" J Fail Anal Preven, 8 (2008) 327-332.
- [3] Gupta R.K., Ramkumar P., Ghost B.R., "Investigation of internal cracks in aluminum alloy AA 7075", Engineering Failure Analyze, 13 (2006), 1-8.
- [4] Oikawa H., Ohmiya S., Yoshimura T., Saitoh T., "Resistant spot welding of steel and aluminum sheet using insert metal sheet", Sci. Technol Weld Join 2 (1999) 80-88.
- [5] Yılmaz M., Çöl M., Acet M., "Interface properties of aluminum/steel friction-welded components", 49 (2003) 421-429.
- [6] Watanabe T., Takayama H., Yanagisava A., "Joining of Al to steel by friction stir welding", J of Mater Process Technol., 178 (2006) 342-349.
- [7] Karfoul M.K., Tatlock G.J., Murray R.T., "The behavior of iron and aluminum during the diffusion welding of carbon steel to aluminum", J Mater Sci, 42 (2007) 5692-5699.

- [8] Acarer M., Demir H., “An investigation of mechanical and metallurgical properties of explosive welded aluminum dual phase steel”. *Mater Lett*, 62 (2008) 4158-4160.
- [9] Sierra G., Beyre P., Beaume F.D., Stuart D., Fras G., “Steel to Al key-hole laser welding” *Mater Sci. Eng A*, 499 (2007) 197-208.
- [10] Odabaş U., Paslanmaz Çelikler, Kaynak Yöntemleri, 2. Baskı, Şubat 2004.
- [11] Ay M., Kalyon A., “CNC Torna Tezgâhında 17-4 PH Paslanmaz Çeliğin İşleme Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, IATS'11, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- [12] Zdzislaw K., Elmekçi E., Balazinski M., Fortin C., “Cutting tool reliability analysis for variable feed milling of 17-4 PH stainless steel”, *Wear* 195 (1996) 206-213.
- [13] Çelikyürek İ., Torun O., Baksan B., “Microstructure and strength of friction-welded Fe-28Al and 316 l stainless steel”, *Materials Science and Engineering A*, 528 (2011) 8530-8536.
- [14] Özdemir N., “Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed”, *Materials Letters*, 59 (2005) 2504-2509.
- [15] Ateş H., Turker M., Kurt A., “Effect of friction pressure on the properties of friction welded MA956 iron-based super alloy”, *Materials and Design*, 28 (2007) 948-953.
- [16] Torun O., Çelikyürek İ., Baksan B., “Friction welding of cast Fe-28Al alloy” *Intermetallics*, 19 (2011) 1076-1079.
- [17] Taban E., Gould J.E. , Lippold J.C., “Dissimilar friction welding of 6061-T6 aluminum and AISI 1018 steel”, *Materials and Design* 31 (2010) 2305-2311.
- [18] Satyanarayana V.V., Reddy G.M., Mohandas T., “Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels”, *J of Materials Processing Technology*, 160 (2005) 128-137.



---

**Research Paper / Makale**

---

**The Latest Developments in Glass Science and Technology**

**Bekir KARASU, Oguz BEREKET, Ecenur BIRYAN, Deniz SANOĞLU**

Anadolu University, Engineering Faculty, Department of Materials Science and Engineering, 26555, Eskişehir  
TÜRKİYE, [bkarasu@anadolu.edu.tr](mailto:bkarasu@anadolu.edu.tr)

**Received/Geliş:** 18.11.2016

**Revised/Düzeltilme:** 25.01.2017

**Accepted/Kabul:** 14.02.2017

**Abstract:** The aim of this study is to give detailed information about the latest developments/ applications in the glass science and technology. In this aspect, smart glass, security glass, thin glass, amorphous metal, electrolytes, molecular liquid, colloidal glass, glass added polymer, glass-ceramic, fiberglass, double glazing, Dragontrail glass, Gorilla glass, fluorescent lamp, glass to metal seal, glassphalt, heatable glass, lamination, nano channel glass, photochromic lenses, night vision glasses, glass cockpit, porous glass, self—cleaning glass and bioactive glass were mentioned.

**Keywords:** Glass, Science, Technology, Innovation, Application

---

**Cam Bilimi ve Teknolojisindeki En Son Gelişmeler**

**Özet:** Bu çalışmanın amacı cam bilimi ve teknolojisindeki en son gelişmeler hakkında detaylı bilgi sunmaktır. İlgili bağlamda, güvenlik camı, ince cam, camsı metal, elektrolitler, moleküler sıvı, koloidal cam, cam katkılı polimer, cam-seramik, cam lifi, izolasyon camı, Dragontrail camı, Gorilla camı, flüoresan lamba, cam-metal sızdırmazlığı, cam katkılı asfalt, ısıtılabilir cam, tabakalama, nano kanallı cam, fotokromik lensler, gece görüş camları, cam pilot kabini, porlu cam, kendi kendini temizleyebilen cam ve biyo-aktif camdan bahsedilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Cam, Bilim, Teknoloji, Yenilik, Uygulama

---

**1. Introduction**

Glass is a non-crystalline solid being usually transparent and has widespread practical, technological, and decorative usage in things like window panes, tableware, optoelectronics and etc. Scientifically, the term "glass" is often defined in a broader sense, encompassing every solid that possesses a non-crystalline (that is, amorphous) structure at the atomic scale and exhibits a glass transition when heated towards the liquid state [1]. Glass will transmit, reflect and refract light; these qualities can be enhanced by cutting and polishing to make optical lenses, prisms, fine glassware, and optical fibres for high speed data transmission by light. It can be coloured by adding metallic salts, and can also be painted. These qualities have led to the extensive use of glass in the manufacture of art objects and in particular, stained glass windows. Although brittle, silicate glass is extremely durable, and many examples of glass fragments exist from early glass-making cultures. Because glass can be formed or moulded into any shape, and also because it is a sterile product, it has been traditionally used for vessels: bowls, vases, bottles, jars and drinking glasses. In its most

*How to cite this article*

Karasu, B., Bereket, O., Biryani, E., Sanoglu, D., "The Latest Developments in Glass Science and Technology" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 209-233.

*Bu makaleye atf için*

Karasu, B., Bereket, O., Biryani, E., Sanoglu, D., "Cam Bilimi ve Teknolojisindeki En Son Gelişmeler" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 209-233.

solid forms it has also been used for paper weights, marbles, and beads. When extruded as glass fibre and matted as glass wool in a way to trap air, it becomes a thermal insulating material, and when these glass fibres are embedded into an organic polymer plastic, they are a key structural reinforcement part of the composite material fiberglass. Some objects are so commonly made of glass that they are simply called by the name of the material, such as drinking glasses and reading glasses [2]. These sorts of glasses can be made of quite different kinds of materials than silica: metallic alloys, ionic melts, aqueous solutions, molecular liquids, and polymers. For many applications, like glass bottles or eyewear, polymer glasses (acrylic glass, polycarbonate or polyethylene terephthalate-PET) are a lighter alternative than traditional silicate-based glass [3].

## 2. History of Glass

People had used naturally occurring glass, especially obsidian (the volcanic glass) before they learned how to make it. Obsidian was used for the production of knives, arrowheads, jewellery and money. The ancient Roman historian Pliny suggested that Phoenician merchants had made the first glass in the region of Syria around 5000 BC. But according to the archaeological evidence, the first man made glass was in Eastern Mesopotamia and Egypt around 3500 BC and the first glass vessels were made about 1500 BC in Egypt and Mesopotamia. For the next 300 years, the glass industry was increased rapidly and then declined. In Mesopotamia it was revived in the 700 BC and in Egypt in the 500's BC. For the next 500 years, Egypt, Syria and the other countries along the eastern coast of the Mediterranean Sea were centres for glass manufacturing. In the beginning it was very hard and slow to manufacture glass. Glass melting furnaces were small and the heat they produced was hardly enough to melt glass. But in the 1<sup>st</sup> century BC, Syrian craftsmen invented the blow pipe. This revolutionary discovery made glass production easier, faster and cheaper. Glass production flourished in the Roman Empire and spread from Italy to all countries under its rule (Fig. 1). In 1000 AD the Egyptian city of Alexandria was the most important centre of glass manufacture.

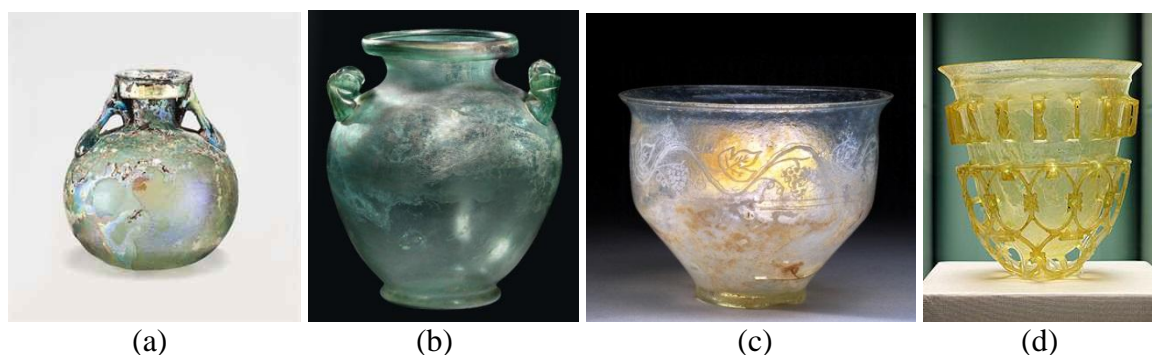


Figure 1. (a) A Roman glass aryballos circa, 1<sup>st</sup> century AD [4], (b) A Roman glass cinerary urn, 1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup> century AD [4], (c) Roman blown glass cup engraved with grape vines, 3<sup>rd</sup> century AD [4], (d) Munich Cage cup from Cologne, dated to the mid-4<sup>th</sup> century [5].

A flourishing glass industry was developed in Europe at the end of 13<sup>th</sup> century when the glass industry was established in Venice by the time of Crusades (AD 1096-1270). In 1291, equipment for glassmaking was transferred to the Venetian island Murano where “cristallo” (colourless glass) was invented by Angelo Barovier. Despite the efforts of the Venetian artisans who dominated the glass industry to keep the technology secret, it soon spread around Europe. In Germany and other northern European countries glassmaking became important by the late 1400's and early 1500's and during the 1500's it became important in England. George Ravenscroft (1618-1681), an English

glassmaker, invented lead glass in 1674 which was a major breakthrough in the glass history. After 1890, the development, manufacture and use of glass increased rapidly. After 1890, glass use, development and manufacture began to increase rapidly. Machinery has been developed for precise, continuous manufacture of a host of products. In 1902, Irving W. Colburn invented the sheet glass drawing machine which made possible the mass production of window glass. Mechanical technology for mass production began in the latter stages of the Industrial Revolution with Michael Owens's invention of an automatic bottle blowing machine in 1903 that could produce 2500 bottles per hour. In 1904, the American engineer Michael Owens patented the automatic bottle-blowing machine. In 1959 Sir Alastair Pilkington invented the revolutionary float glass production technique. His method involves the pouring of glass on flat surfaces of molten metal, either tin or led. Pilkington's method is used in 90 % of glass manufacture today. Float glass production makes glass sheets suitable for commercial markets including the manufacture of windows, shower screens and the like. Glass has evolved through advancing technologies and technological evolution naturally continues. Today, glass-making is a modern, hi-tech industry. Modern glass plants are capable of making millions of glass containers a day in many different colours and have been developed for precise continuous production of sheet glass tubing, containers, bulbs and host of other products (Fig. 2) [6-10].



Figure 2. Different glass products [11].

### 3. Some Technologically Important Glasses

Beside conventional soda-lime-silica glasses known for centuries, new chemical glass compositions or new treatment techniques can be initially investigated in small-scale laboratory experiments. To make glass from materials with poor glass forming tendencies, novel techniques are used to increase cooling rate, or reduce crystal nucleation triggers. Examples of these techniques include aerodynamic levitation (cooling the melt whilst it floats on a gas stream), splat quenching (pressing the melt between two metal anvils) and roller quenching (pouring the melt through rollers) [12]. Some glasses that do not include silica as a major constituent may have physico-chemical properties useful for their application in fibre optics and other specialized technical applications. These include fluoride glasses, aluminosilicates, phosphate glasses, borate glasses, and chalcogenide glasses [13].

#### 3.1. Smart Glasses

Electrochromic windows darken when voltage is added and are transparent when voltage is taken away. Like suspended particle devices, electrochromic windows can be adjusted to allow varying levels of visibility (Fig. 3).

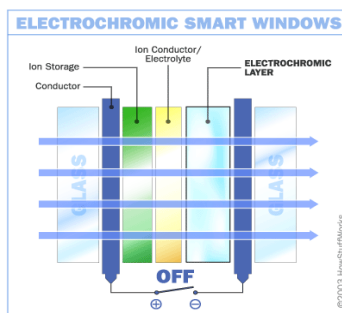


Figure 3. When switched off, an electrochromic window remains transparent [14].

Since the early 20<sup>th</sup> century, people have got used to the idea of buildings that are increasingly automated. The use of intelligent smart glass provides added value and increased flexibility in new building design, improves working environments and building ergonomics, saves energy, and increases the well being of occupants [15]. Smart windows (also referred to by the names smart glass, switchable windows, and dynamic windows) do exactly that using a scientific idea called electrochromism, in which materials change colour (or switch from transparent to opaque) when an electrical voltage applied across them. Typically smart windows start off a blueish colour and gradually (over a few minutes) turn transparent when the electric current passes through them. More sophisticated windows (using low-E heat-reflective glass) are coated with a thin layer of metallic chemicals so they keep home warm in winter and cool in summer. Electrochromic windows work a little bit like this, only the metal-oxide coatings they use are much more sophisticated and deposited by processes similar to those used in the manufacture of integrated circuits (silicon computer chips). Much like the early days of the resistive touchscreen, one won't find optical scanners used in anything but the most cost effective pieces of hardware these days. With increasing demand for tougher security, smartphones have unanimously adopted superior capacitive scanners. Instead of creating a traditional image of a fingerprint, capacitive fingerprint scanners use arrays tiny capacitor circuits to collect data about a fingerprint (Fig. 4).

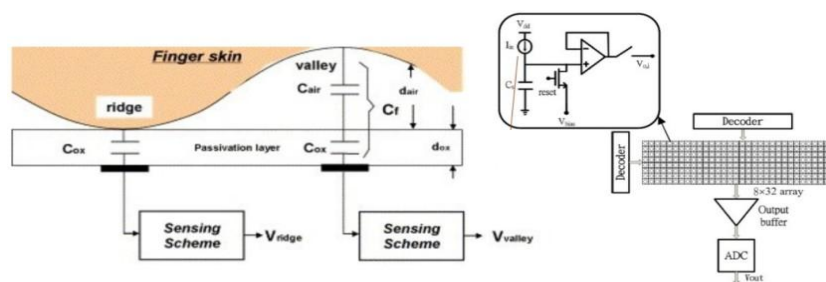


Figure 4. The theory and architecture behind a capacitive fingerprint scanning chip [16].

### 3.2. Vision Security Glasses

Polytronix PDLC film is the most “private” and of the highest quality in the industry, and is internationally-known and recognized for privacy and quality by major glass companies worldwide. It is superior to imported films: it is a thicker, more substantial film package than the imports, making easier to handle and to apply, yet it's still only about four times the thickness of a human hair. It has better optical properties, including better uniformity without the variations and blotches that mar other films, higher clarity (lower haze) in clear mode, and the best privacy (light scattering) performance available. In addition to privacy, Polytronix PDLC film-enabled glass panes can provide several other significant benefits for energy efficiency and creative applications. It expands your product line with dramatic functionality that is low cost to operate, low maintenance, and

highly energy-efficient. The polytronix PDLC film package consists of a layer of liquid crystal sandwiched between two polyethylene terephthalate (PET) conductive films. In its rest state, it is a translucent white. When the electricity is switched on, the glass instantly changes to transparent. The power drawn by a window is roughly equivalent to operating a 25-watt light bulb. The liquid crystal privacy glass is constructed in a way similar to the construction of laminated glass. The outside skins are made up of glass (normally 5 or 6 mm annealed glass) each side, then a PVB interlayer is inserted on each side to trap and hold the liquid crystal privacy film. The liquid crystal privacy film is made up of electrically conductive coatings, a polymer matrix and liquid crystals. This film has electrical wiring to be connected to a transformer to supply power for the “on” (clear state) mode (Fig. 5) [17]. Privacy and security with architectural integrity, eliminates need for shutters, blinds, and drapes, ultraviolet and infrared radiation protection, day-lighting control, solar heat-gain control and replacement for whiteboards and projection screens.

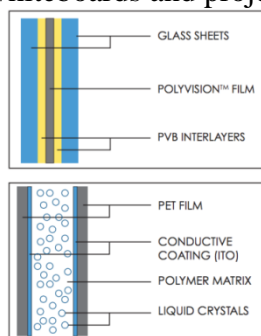


Figure 5. The polytronix PDLC film package [17].

Goggles or safety glasses are forms of protective eyewear that usually enclose or protect the area surrounding the eye in order to prevent particulates, water or chemicals from striking the eyes. They are used in chemistry laboratories and in woodworking. They are often used in snow sports as well, and in swimming. Goggles are often worn when using power tools such as drills or chainsaws to prevent flying particles from damaging the eyes. Many types of goggles are available as prescription goggles for those with vision problems (Fig. 6) [18].



Figure 6. Some products for eye security glasses [19].

### 3.3. Thin-Glass Technology for Solar Applications

Tempered thin glass is light, extremely flexible and highly robust-ideal conditions for the use in the solar industry, whether as cold-bent parabolic reflectors or for glass-glass modules. The LiSEC encapsulation technique for glass-glass modules combines all advantages of tempered thin glass, making use of 50 years of experience in the insulating glass business. Their hermetic sealing renders the modules completely diffusion tight and UV resistant. Thin glass used on the front and rear side allows easy installation using back rails. The LiSEC encapsulation technique is perfectly suitable for crystalline, organic and thin-film solar cells, and the laminating film can be chosen according to your requirements too [20-21]. The perfect combination of thin glass, AR coating and laminating film yields up to 6 % more energy. This is a plus in energy output of 450 kWh of a standard module (72 cells, 300 Wp) after 25 years. Increased lifetime LiSEC's know-how leads in



sealing technologies as well as the solid thin glass make the modules absolutely diffusion tight and UV resistant. For the symmetric construction of the module, the cells are within the module's neutral zone, preventing them from breaking when exposed to bending stress. The thin glass used makes the modules very lightweight compared to conventional ones. As a result, simpler and more cost-effective sub constructions can be used [22-23].

### 3.4. Amorphous Metals

In the past, small batches of amorphous metals with high surface area configurations (ribbons, wires, films, etc.) have been produced through the implementation of extremely rapid rates of cooling. This was initially termed "splat cooling" by doctoral student W. Klement at Caltech, who showed that cooling rates on the order of millions of degrees per second is sufficient to impede the formation of crystals, and the metallic atoms become "locked into" a glassy state. Amorphous metal wires have been produced by sputtering molten metal onto a spinning metal disk. More recently a number of alloys have been produced in layers with thickness exceeding 1 millimetre (Fig. 7). These are known as bulk metallic glasses (BMG). Liquid metal technologies sell a number of zirconium-based BMGs. Batches of amorphous steel have also been produced that demonstrate mechanical properties far exceeding those found in conventional steel alloys [21, 24-26].

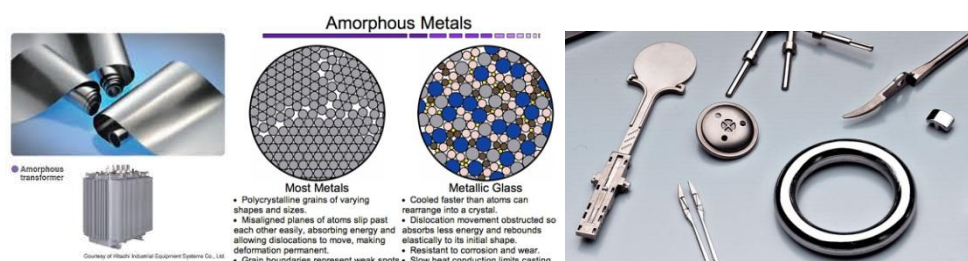


Figure 7. Amorphous metal foils and an amorphous metal alloys for producing highly complex parts via an efficient injection-moulding process exceeds the strength of its counterparts [27].

### 3.5. Electrolytes

Electrolytes or molten salts are mixtures of different ions. In a mixture of three or more ionic species of dissimilar size and shape, crystallization can be so difficult that the liquid can easily be super cooled into a glass. The best-studied example is  $\text{Ca}_{0.4}\text{K}_{0.6}(\text{NO}_3)_{1.4}$ . Some aqueous solutions can be super cooled into a glassy state, for instance  $\text{LiCl}:\text{RH}_2\text{O}$  in the composition range of  $4 < R < 8$  [28].

### 3.6. Molecular Liquids

A molecular liquid is composed of molecules that do not form a covalent network but interact only through weak Van der Waals forces or through transient hydrogen bonds. Many molecular liquids can be super cooled into a glass; some are excellent glass formers that normally do not crystallize. A widely known example is sugar glass. Under extremes of pressure and temperature solids may exhibit large structural and physical changes that can lead to polymorphic phase transitions [29]. In 2006 Italian scientists created an amorphous phase of carbon dioxide using extreme pressure. The substance was named amorphous carbonia and exhibits an atomic structure resembling that of silica [30].

### 3.7. Colloidal Glasses

Concentrated colloidal suspensions may exhibit a distinct glass transition as a function of particle concentration or density. In cell biology there is recent evidence suggesting that the cytoplasm behaves like a colloidal glass approaching the liquid-glass transition. During periods of low metabolic activity, as in dormancy, the cytoplasm vitrifies and prohibits the movement to larger cytoplasmic particles while allowing the diffusion of smaller ones throughout the cell [31-33].

### 3.8. Polymer Glasses

Important polymer glasses include amorphous and glassy pharmaceutical compounds. These are useful because the solubility of the compound is greatly increased when it is amorphous compared to the same crystalline composition. Many emerging pharmaceuticals are practically insoluble in their crystalline forms [34]. A question will definitely arise lots of times where polymer clay is used to cover the handles of cutlery or the outsides of glasses: Is polymer clay safe for that? Yes, it is absolutely safe to use polymer clay in this manner as long as it's not a food-contact region (Fig. 8).



Figure 8. Examples of polymer clay glasses [35].

### 3.9. Glass-ceramics

Glass-ceramic materials share many properties with both non-crystalline glass and crystalline ceramics. They are formed as a glass, and then partially crystallized by precisely controlled heat treatment. For example, the microstructure of white ware ceramics frequently contains both amorphous and crystalline phases. Crystalline grains are often embedded within a non-crystalline intergranular phase of grain boundaries. When applied to white ware ceramics, vitreous means the material has an extremely low permeability to liquids, often but not always water, when determined by a specified test regime [36-37]. The term mainly refers to a mix of lithium and aluminosilicates that yields an array of materials with interesting thermomechanical properties. The most commercially important of these have the distinction of being impervious to thermal shock. Thus, glass-ceramics have become extremely useful for countertop cooking (Fig. 9). The negative thermal expansion coefficient (CTE) of the crystalline phase can be balanced with the positive CTE of the glassy phase. At a certain point (~70 % crystalline) the glass-ceramic has a net CTE near zero. This type of glass-ceramic exhibits excellent mechanical properties and can sustain repeated and quick temperature changes up to 1000 °C [36].



Figure 9. Glass ceramic cooktop [38].

### 3.10. Fiberglass

Glass fibres have been produced for centuries, but mass production of glass strands was discovered in 1932 when Games Slayter, a researcher at Owens-Illinois, accidentally directed a jet of compressed air at a stream of molten glass and produced fibres. Originally, fibreglass was a glass wool with fibres entrapping a great deal of gas, making it useful as an insulator, especially at high temperatures [39]. A suitable resin for combining the "fibreglass" with a plastic to produce a composite material was developed in 1936 by du Pont. The first ancestor of modern polyester resins is Cyanamid's resin of 1942. Peroxide curing systems were used by then. With the combination of fiberglass and resin the gas content of the material was replaced by plastic. This reduced the insulation properties to values typical of the plastic, but now for the first time the composite showed great strength and promise as a structural and building material. Confusingly, many glass fibre composites continued to be called "fiberglass" (as a generic name) and the name was also used for the low-density glass wool product containing gas instead of plastic [40]. Ray Greene of Owens Corning is credited with producing the first composite boat in 1937, but did not proceed further at the time due to the brittle nature of the plastic used. In 1939 Russia was reported to have constructed a passenger boat of plastic materials, and the United States a fuselage and wings of an aircraft. The first car to have a fibre-glass body was a 1946 prototype of the Stout Scarab, but the model did not enter production [41]. The most common types of glass fibre used in fiberglass is E-glass, which is alumino-borosilicate glass with less than 1 % w/w alkali oxides, mainly used for glass-reinforced plastics. Other types of glass used are A-glass (Alkali-lime glass with little or no boron oxide), E-CR-glass (Electrical/Chemical Resistance; alumino-lime silicate with less than 1 % w/w alkali oxides, with high acid resistance), C-glass (alkali-lime glass with high boron oxide content, used for glass staple fibres and insulation), D-glass (borosilicate glass, named for its low dielectric constant), R-glass (alumino silicate glass without MgO and CaO with high mechanical requirements as reinforcement), and S-glass (alumino silicate glass without CaO but with high MgO content with high tensile strength) [42].

### 3.11. Double Glazing (Insulating Glazing)

Insulated glazing is an evolution from older technologies known as double-hung windows and storm windows. Traditional double-hung windows used a single pane of glass to separate the interior and exterior spaces. In the summer, a window screen would be installed on the exterior over the double-hung window to keep out animals and insects. In the winter, the screen was removed and replaced with a storm window, which created a two-layer separation between the interior and exterior spaces, increasing window insulation in cold winter months. Insulating glass units are sealed combinations of 2 or more lites of glass separated by a dry air space. Those units save energy, save money, reduce pollution and greatly improve the comfort inside a building. Insulated glazing (IG), more commonly known as double glazing (or double-pane, and increasingly triple

glazing/pane) is double or triple glass window panes separated by a vacuum or gas filled space to reduce heat transfer across a part of the building envelope (Fig. 10) [43-45].

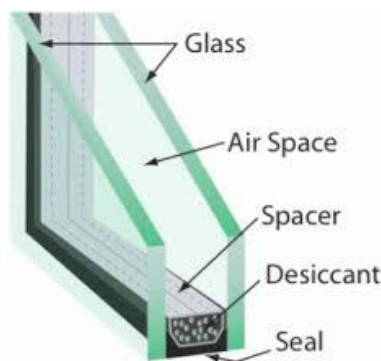


Figure 10. A glass window pane [45].

Insulated glass units are manufactured with glass in range of thickness from 3 to 10 mm or more in special applications. Laminated or tempered glass may also be used as part of the construction. Most units are manufactured with the same thickness of glass used on both panes but special applications such as acoustic attenuation or security may require wide ranges of thicknesses to be incorporated in the same unit [46].

### 3.12. Gorilla Glass

Gorilla Glass is a brand of specialized toughened glass developed and manufactured by Corning, now in its fourth generation, designed to be thin, light and damage-resistant (Fig. 11). This type of glass is not unique to Corning; similar glasses include Asahi Glass Co. Dragontrail and Schott AG Xensation. The alkali-aluminosilicate sheet glass is used primarily as cover glass for portable electronic devices, including mobile phones, portable media players, portable computer displays, and some television screens. It is manufactured in Harrodsburg, Kentucky, USA, in Asan, Korea, and in Taiwan. The glass gains its surface strength, ability to contain flaws, and crack-resistance by being immersed in a hot potassium salt ion-exchange bath.

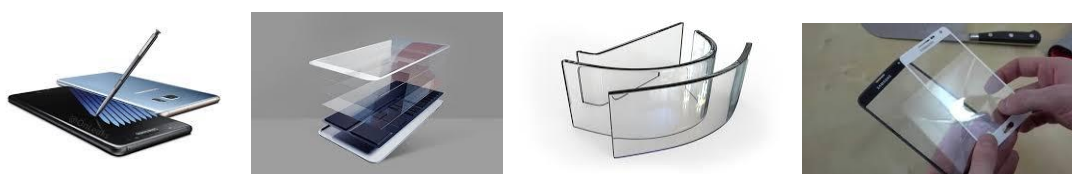


Figure 11. Some applications of Gorilla glass [47].

### 3.13. Dragontrail Glass

Dragontrail, manufactured by Asahi Glass Co., is an alkali-aluminosilicate sheet glass engineered for a combination of thinness, lightness and damage-resistance, similar to Corning's Gorilla Glass. The material's primary properties are its strength, allowing thin glass without fragility; its high scratch resistance; and its hardness—with a Vickers hardness test rating of 595 to 673 [48].

### 3.13.1. Gorilla glass vs Dragontrail glass comparison

Gorilla and Dragontrail glasses are both very hard and tough glasses. These glasses are scratch resistant and are very difficult to break. Here it is a clear comparison between these two to find out what makes them different from each other in terms of their properties and usage [49].

	<u>Gorilla Glass</u>	<u>Dragontrail Glass</u>
Manufacturer	Corning from USA	Asahi from Japan
Type of Glass	Alkali-aluminosilicate sheet glass	Alkali-aluminosilicate sheet glass
Vickers Hardness Rating	622 to 701	595 to 673
Versions	Gorilla glass, Gorilla glass 2, Gorilla glass 3, Gorilla glass 4. Gorilla glass 3 is 40% more strong and scratch resistant. Gorilla glass 4 is up to two times tougher & stronger than its competitive glasses	Dragontrial glass
Applications or Usage	Smartphones, laptops, tablets, portable media players, computer displays and some television displays	Smartphones, tablets
Manufacturing Process	Ion-exchange method	Float process
Popularity	Very popular and established product	Not much popular but gaining popularity
Properties	Scratch resistant, damage resistance, lightness and thinness	Scratch resistant, damage resistance, lightness and thinness

### 3.14. Fluorescent Lamp

A fluorescent lamp or a fluorescent tube is a low pressure mercury-vapour gas-discharge lamp that uses fluorescence to produce visible light. An electric current in the gas excites mercury vapour which produces short-wave ultraviolet light that then causes a phosphor coating on the inside of the bulb to glow (Fig. 12). A fluorescent lamp converts electrical energy into useful light much more efficiently than incandescent lamps. The typical luminous efficacy of fluorescent lighting systems is 50–100 lumens per watt, several times the efficacy of incandescent bulbs with comparable light output [50]. Fluorescent lamp fixtures are more costly than incandescent lamps because they require a ballast to regulate the current through the lamp, but the lower energy cost typically offsets the higher initial cost. Compact fluorescent lamps are now available in the same popular sizes as incandescent and are used as an energy-saving alternative in homes [51].



Figure 12. Some commercial products of fluorescent lamps [52].

Because they contain mercury, many fluorescent lamps are classified as hazardous waste. The United States Environmental Protection Agency recommends that fluorescent lamps be segregated from general waste for recycling or safe disposal. Light-emitting phosphors are applied as a paint-like coating to the inside of the tube. The organic solvents are allowed to evaporate, and

then the tube is heated to nearly the melting point of glass to drive off remaining organic compounds and fuse the coating to the lamp tube [53].

### 3.15. Glass to Metal Seals

Glass-to-metal seals are a very important element of the construction of vacuum tubes, electric discharge tubes, incandescent light bulbs, glass encapsulated semiconductor diodes, reed switches, pressure tight glass windows in metal cases, and metal or ceramic packages of electronic components (Fig. 13). Properly done, such a seal is hermetic. To achieve such a seal, two properties must hold:

1. The molten glass must be capable of wetting the metal, in order to form a tight bond, and
2. The thermal expansion of the glass and metal must be closely matched so that the seal remains solid as the assembly cools. When one material goes through a hole in the other, such as a metal wire through a glass bulb, and the inner material's coefficient of thermal expansion is higher than that of the outer, it will shrink more as it cools, cracking the seal. If the inner material's coefficient of expansion is slightly less, the seal will tighten as it cools, which is often beneficial. Since most metals expand much more with heat than most glasses, this is not easy to arrange [54].



Figure 13. Examples of glass-metal sealed products [55].

#### 3.15.1. Glass-to-metal bond

Glass and metal can bond together by purely mechanical means, which usually gives weaker joints, or by chemical interaction, where the oxide layer on the metal surface forms a strong bond with the glass. The acid-base reactions are main causes of interaction between glass-metal in the presence of metal oxides on the surface of metal. After complete dissolution of the surface oxides into the glass, further progress of interaction depends on the oxygen activity at the interface. For achieving a vacuum-tight seal, the seal must not contain bubbles. The bubbles are most commonly created by gases escaping the metal at high temperature; degassing the metal before its sealing is therefore important, especially for nickel and iron and their alloys. Oxidizing of the metal surface also reduces gas evolution. Most of the evolved gas is produced due to the presence of carbon impurities in the metals; these can be removed by heating in hydrogen. The glass-oxide bond is stronger than glass-metal. The oxide forms a layer on the metal surface, with the proportion of oxygen changing from zero in the metal to the stoichiometry of the oxide and the glass itself. A too thick oxide layer tends to be porous on the surface and mechanically weak, flaking, compromising the bond strength and creating possible leakage paths along the metal-oxide interface. Proper thickness of the oxide layer is therefore critical. Also the mechanical design of a glass-to-metal seal has an important influence on the reliability of the seal. In practical glass-to-metal seals cracks usually start at the

edge of the interface between glass and metal either inside or outside the glass container. Another important aspect is the wetting of the metal by the glass. If the thermal expansion of the metal is higher than the thermal expansion of the glass like with the Housekeeper seal, a high contact angle (bad wetting) means that there is a high tensile stress in the surface of the glass near the metal. Such seals usually break inside the glass and leave a thin cover of glass on the metal. Ordinary soda-lime glass does not flow on copper at temperatures below the melting point of the copper and, thus, does not give a low contact angle. The solution is to cover the copper with a solder glass which has a low melting point and does flow on copper and then to press the soft soda-lime glass onto the copper. The solder glass must have a coefficient of thermal expansion which is equal or a little lower than that of the soda-lime glass. Classically high lead containing glasses are used, but it is also possible to substitute these by multi-component glasses e.g. based on the system  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}-\text{TiO}_2-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$  [56].

### 3.16. Glassphalt

Glassphalt (also spelled "glasphalt") is a variety of asphalt that uses crushed glass (Fig. 14). It has been used as an alternative to conventional bituminous asphalt pavement since the early 1970s. Glassphalt must be properly mixed and placed if it is to meet roadway pavement standards, requiring some modifications to generally accepted asphalt procedures. Generally, there is about 10-20 % glass by weight in glassphalt [57].



Figure 14. Glassphalt and its application [58].

### 3.17. Heatable Glass

Electrically heatable glass and windows are relatively new products, which help solve problems in the design of buildings and vehicles. The idea of heating glass is based on the use of energy-efficient low-emissive glass, which is generally simple silicate glass with a special metallic oxides coating. Low-emissive coating decreases heat loss by approximately 30 %. Heatable glass can be used in all kinds of standard glazing systems, whether wood, plastic, aluminium or steel (Fig. 15). Heatable glass based on low-emissive coatings was first produced in high volume in the early 1980s. Today, heating glass is used in the construction of many kinds of buildings and in mass production of vehicles, ships and trains. Heatable glass removes discomfort and other disadvantages induced by the low heat-insulating features of silicate glass. The effect of "cold glass" disappears when the surface of the glass is heated. Condensation is eliminated, along with ice and snow covering, the window's heat losses are compensated and room comfort is improved [59].

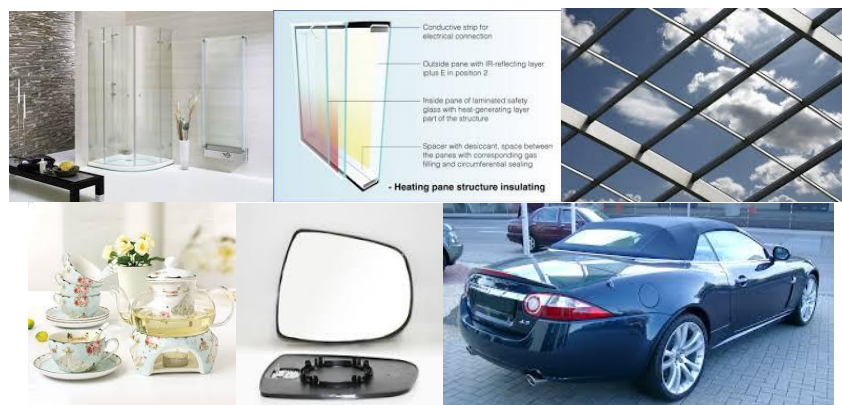


Figure 15. Samples of heatable glass applications [60].

Windows play a significant role in room comfort. As a result, the area of glazing of buildings is constantly being increased. A window technology always in progress and it is common today to use low-emissive glass. In spite of progress the low temperature of glass surface is still the problem of constructive glazing. Heatable glass helps to solve problems concerning low surface temperature and increase the level of comfort in the room significantly. It can be used in practically all kinds of glazing systems made of wood, plastic or aluminium. Heatable glass and multiple glass panes can be used both in blind and openable constructions. Multiple glass panes made of heating glass can have one or two chambers. The advantages of multiple glass panes are their hermeticity and ability to decrease heat transfer significantly. Heating glass is used for defogging and prevention of frosting of windows of pools, saunas and other buildings of such kind. Insofar as heatable glass has a current-carrying coating, it can be used as the sensor of alarm systems. When the glass is destroyed the system of protection is activated and it results in activation of alarm system. This kind of product is widely used on objects of tightened standards in questions of protection: nuclear power plants, stations of air navigation control, museums, special storehouses, etc. Heatable glass is also used in production of windows for different kinds of vehicles: electric and diesel locomotives, vessels and boats, various kinds of aircraft and automobiles. One of well-known examples of application of heating glass is armoured windows, because the protective glazing is very thick and is disposed to frosting. The usage of heating glass is especially urgent in terms of being the part of armoured multiple glass of smart glass of switchable transparency, because the heating significantly decreases the period of reaction of liquid crystals structure [59].

### 3.18. Lamination

Lamination is the technique of manufacturing a material in multiple layers, so that the composite material achieves improved strength, stability, sound insulation, appearance or other properties from the use of differing materials (Fig. 16). A laminate is a permanently assembled object by heat, pressure, welding, or adhesives [61].



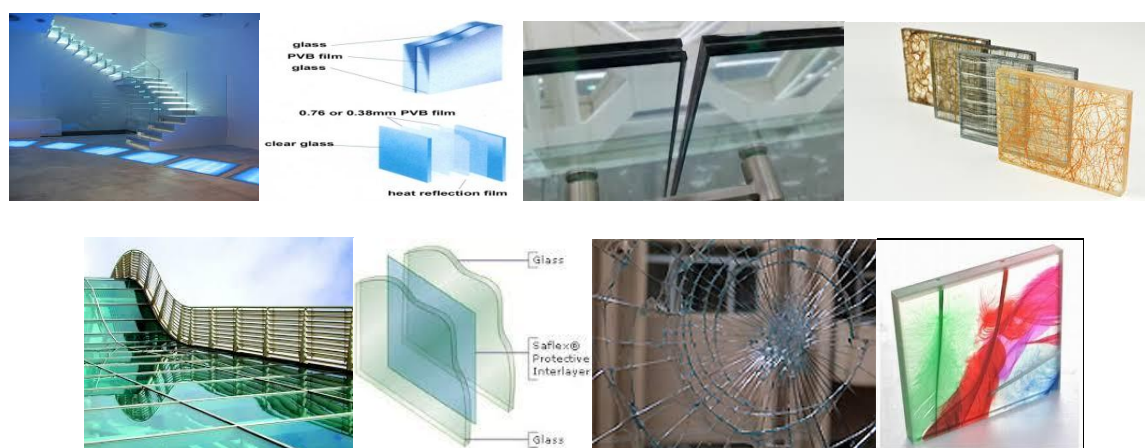


Figure 16. Laminated glass [62].

There are different lamination processes, depending on the type of materials to be laminated. The materials used in laminates can be the same or different, depending on the processes and the object to be laminated. An example of the type of laminate using different materials would be the application of a layer of plastic film—the "laminate"—on either side of a sheet of glass—the laminated subject. Vehicle windshields are commonly made by laminating a tough plastic film between two layers of glass. This is to prevent shards of glass detaching from the windshield in case it breaks [63-64]. Examples of laminate materials include melamine adhesive countertop surfacing and plywood. Decorative laminates are produced with decorative papers with a layer of overlay on top of the decorative paper, set before pressing them with thermos-processing into high-pressure decorative laminates [65].

### 3.19. Nano Channel Glass Materials

Nano channel glass materials are an experimental mask technology that is an alternate method for fabricating nanostructures, although optical lithography is the predominant patterning technique [66]. Nano channel glass materials are complex glass structures containing large numbers of parallel hollow channels (Fig. 17). In its simplest form, the hollow channels are arranged in geometric arrays with packing densities as great as  $10^{11}$  channels/cm<sup>2</sup>. Channel dimensions are controllable from micrometres to tens of nanometres, while retaining excellent channel uniformity. Exact replicas of the channel glass can be made from a variety of materials. This is a low cost method for creating identical structures with nanoscale features in large numbers. These materials have high density of uniform channels with diameters from 15 micrometres to 15 nanometres. These are rigid structures with serviceable temperatures to at least 300 °C, with potential up to 1000 °C. Furthermore, these are optically transparent photonic structures with high degree of reproducibility [67-69]. These can be used as a material for chromatographic columns, unidirectional conductors, Micro channel plate and nonlinear optical devices. Other uses are as masks for semiconductor development, including ion implantation, optical lithography, and reactive [67].

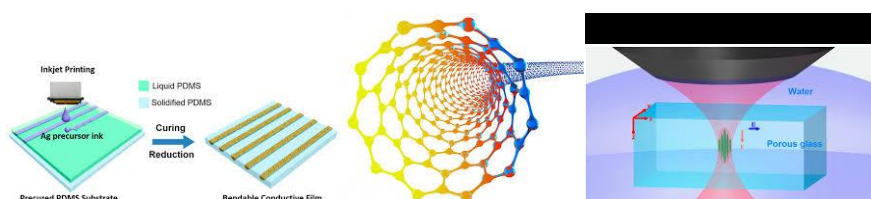


Figure 17. Structure and application of nano channel glass material [70].

### 3.20. Optical Fibre Cable

An optical fibre cable is a cable containing one or more optical fibres that are used to carry light. The optical fibre elements are typically individually coated with plastic layers and contained in a protective tube suitable for the environment where the cable will be deployed. Different types of cable are used for different applications, for example long distance telecommunication, or providing a high-speed data connection between different parts of a building [71]. For indoor applications, the jacketed fibre is generally enclosed, with a bundle of flexible fibrous polymer strength members like aramid (e.g. Twaron or Kevlar), in a lightweight plastic cover to form a simple cable (Fig. 18). Each end of the cable may be terminated with a specialized optical fibre connector to allow it to be easily connected and disconnected from transmitting and receiving equipment. A critical concern in outdoor cabling is to protect the fibre from contamination by water. This is accomplished by use of solid barriers such as copper tubes, and water-repellent jelly or water-absorbing powder surrounding the fibre. Finally, the cable may be armoured to protect it from environmental hazards, such as construction work or gnawing animals. Undersea cables are more heavily armoured in their near-shore portions to protect them from boat anchors, fishing gear, and even sharks, which may be attracted to the electrical power that is carried to power amplifiers or repeaters in the cable [72-74].

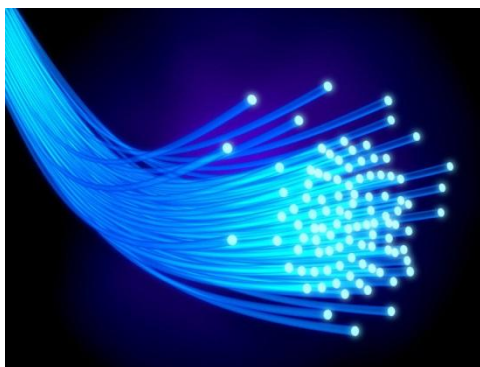


Figure 18. Optical fibres [75].

Modern cables come in a wide variety of sheathings and armour, designed for applications such as direct burial in trenches, dual use as power lines, installation in conduit, lashing to aerial telephone poles, submarine installation, and insertion in paved streets [76].

### 3.21. Photo Chromatic Lenses

Photochromic lenses are optical lenses that darken on exposure to specific types of light of sufficient intensity, most commonly ultraviolet (UV) radiation. In the absence of activating light the lenses return to their clear state. Photochromic lenses may be made of glass, polycarbonate, or another plastic. They are principally used in sunglasses that are dark in bright sunlight, but clear in low ambient light conditions. They darken significantly within about a minute of exposure to bright light, and take somewhat longer to clear. A range of clear and dark transmittances are available; one manufacturer makes one glass with transmittance reducing from 87 to 20 %, and another reducing from 45 to 9 %. Molecules of silver chloride or another silver halide are embedded in photochromic lenses. They are transparent to visible light without significant ultraviolet component, which is normal for artificial lighting. When exposed to ultraviolet (UV) rays, as in direct sunlight, the molecules undergo a chemical process that causes them to change shape and absorb a significant percentage of the visible light, i.e., they darken (Fig. 19). This process is reversible; once the lens is removed from strong sources of UV rays the silver compounds return to their transparent state.

With the photochromic material dispersed in the glass substrate, the degree of darkening depends on the thickness of glass, which poses problems with variable-thickness lenses in prescription glasses. With plastic lenses, the material is typically embedded into the surface layer of the plastic in a uniform thickness of up to 150  $\mu\text{m}$ . Typically, photochromic lenses darken substantially in response to UV light in less than one minute, and continue to darken a little more over the next fifteen minutes. The lenses begin to clear in the absence of UV light, and will be noticeably lighter within two minutes, mostly clear within five minutes, and fully back to their non-exposed state in about fifteen minutes [77-79].



Figure 19. Photo chromatic lenses [80].

### 3.22. Night Vision Glasses

Night vision is the ability to see in low light conditions. Whether by biological or technological means, night vision is made possible by a combination of two approaches: sufficient spectral range, and sufficient intensity range. Humans have poor night vision compared to many animals, in part because the human eye lacks a tapetum lucidum [81]. Night-useful spectral range techniques can sense radiation that is invisible to a human observer. Human vision is confined to a small portion of the electromagnetic spectrum called visible light. Enhanced spectral range allows the viewer to take advantage of non-visible sources of electromagnetic radiation (such as near-infrared or ultraviolet radiation). Some animals such as the mantis shrimp can see using much more of the infrared and/or ultraviolet spectrum than humans. Sufficient intensity range is simply the ability to see with very small quantities of light. Many animals have better night vision than humans do the result of one or more differences in the morphology and anatomy of their eyes. These include having a larger eyeball, a larger lens, a larger optical aperture (the pupils may expand to the physical limit of the eyelids), more rods than cones (or rods exclusively) in the retina, and a tapetum lucidum. Enhanced intensity range is achieved via technological means through the use of an image intensifier, gain multiplication CCD, or other very low-noise and high-sensitivity array of photodetectors (Fig. 20) [82-83].



Figure 20. 1974 US Army film about the development of military night vision technology [84].

### 3.23. Glass Cockpit

Glass cockpits originated in military aircraft in the late 1960's and early 1970's; an early example is the Mark II avionics of the F-111D (first ordered in 1967, delivered from 1970–73), which featured

a multi-function display. Prior to the 1970's, air transport operations were not considered sufficiently demanding to require advanced equipment like electronic flight displays. Also, computer technology was not at a level where sufficiently light and powerful circuits were available [85]. The increasing complexity of transport aircraft, the advent of digital systems and the growing air traffic congestion around airports began to change that (Fig. 21). The average transport aircraft in the mid-1970's had more than one hundred cockpit instruments and controls, and the primary flight instruments were already crowded with indicators, crossbars, and symbols, and the growing number of cockpit elements were competing for cockpit space and pilot attention [86]. As a result, NASA conducted research on displays that could process the raw aircraft system and flight data into an integrated, easily understood picture of the flight situation, culminating in a series of flights demonstrating a full glass cockpit system. The success of the NASA-led glass cockpit work is reflected in the total acceptance of electronic flight displays beginning with the introduction of the MD-80 in 1979. Airlines and their passengers alike have benefited. The safety and efficiency of flights have been increased with improved pilot understanding of the aircraft's situation relative to its environment (or "situational awareness").



Figure 21. The Airbus A380 glass cockpit featuring "pull out keyboards and 2 wide computer screens on the sides for pilots" [85].

By the end of the 1990's, liquid-crystal display (LCD) panels were increasingly favoured among aircraft manufacturers because of their efficiency, reliability and legibility. Earlier LCD panels suffered from poor legibility at some viewing angles and poor response times, making them unsuitable for aviation. Modern aircraft such as the Boeing 737 Next Generation, 777, 717, 747-400ER, 747-8F 767-400ER, 747-8, and 787, Airbus A320 family (later versions), A330 (later versions), A340-500/600, A340-300 (later versions), A380 and A350 are fitted with glass cockpits consisting of LCD units [86]. The glass cockpit has become standard equipment in airliners, business jets, and military aircraft. It was fitted into NASA's Space Shuttle orbiters *Atlantis*, *Columbia*, *Discovery*, and *Endeavour*, and the current Russian Soyuz TMA model spacecraft that was launched in 2002. By the end of the century glass cockpits began appearing in general aviation aircraft as well. In 2003, Cirrus Design's SR20 and SR22 became the first light aircraft equipped with glass cockpits, which they made standard on all Cirrus aircraft. By 2005, even basic trainers like the Piper Cherokee and Cessna 172 were shipping with glass cockpits as options (which nearly all customers chose), as well as many modern aircraft such as the Diamond DA42 twin-engine travel and training aircraft. The Lockheed Martin F-35 Lightning II features a "panoramic cockpit display" touchscreen that replaces most of the switches and toggles found in an aircraft cockpit [87].

### 3.24. Porous Glasses

Porous glasses can be formed by sintering glass powders, by leaching of phase separated glasses, or by the sol-gel method. These glasses can be used in the porous state or can serve as precursors to

fully consolidated glasses. Porous glasses are currently under intense investigation as potential selective separation membranes for a variety of gases and liquids. Impregnation of porous glasses before consolidation can be used to produce continuously graded glass seals, conductive glasses containing continuous carbon filaments, red glasses coloured by colloidal spinel particles, and optical fibre preforms. The formation of porous glasses by leaching of phase separated glasses is frequently called the Vycor® process, after the commercial material produced by Corning. These glasses are formed from phase separated borosilicate glasses which have microstructures consisting of two continuous phases. One of these phases is silica-rich, while the other contains most of the alkali and boron oxides. Since the alkali borate phase readily dissolves in hot acids such as HCl, HNO<sub>3</sub>, or H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, this phase can be leached from the glass by exposure to such acids, leaving a very porous silica-rich skeleton known as thirsty glass. The pores in thirsty glasses are often in the range of 2 to 10 nm in diameter, and form continuous pathways through the glass. Internal surface areas may be as great as 200 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> of glass (Fig. 22) [88].

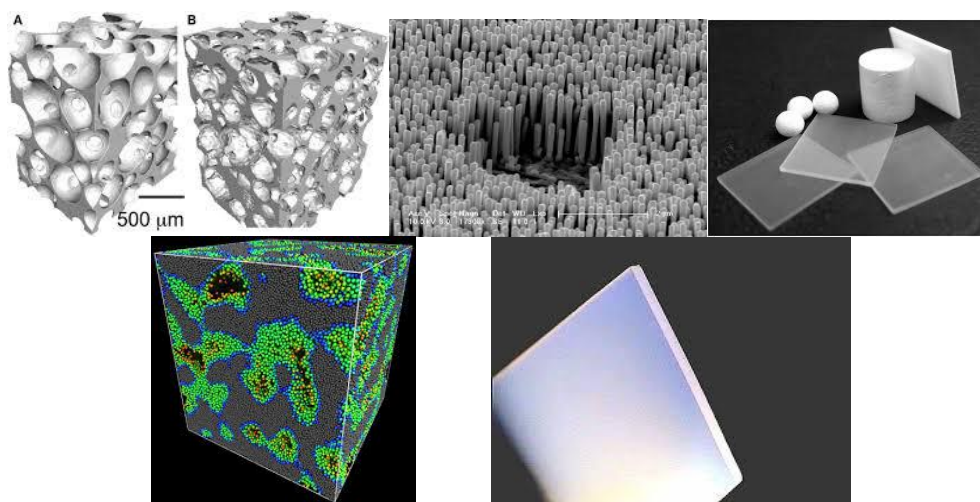


Figure 22. Microstructure and product form of porous glass [89].

### 3.25. Solid and Hollow Glass Spheres

Since glass forming melts are liquids, any droplet of melt allowed to fall freely through a sufficient distance will assume a spherical shape due to surface tension forces. Small spheres are routinely produced by allowing a stream of melt to flow through the bottom of a container. The stream is broken into small segments by an air jet or flame just below the container. If the temperature is high enough and the fall distance is great enough, these segments will become spherical before the melt solidifies. The same effect will occur if a pre-sized glass frit is used. In this case, the frit particles are heated in the upper portion of the vertical furnace, or drop tower, become fluid, and then are transformed to spheres as they fall through the hot zone. Frit particles can also be converted into spheres by blowing the frit through the flame of a gas jet. Small glass spheres can also be formed by a variation of a process used to form glass fibres. A stream of melt is poured onto a rotating disk. The melt is thrown off the edge of the disk and broken into small segments. If the disk is cool and the surrounding temperature is low, the segments will remain in fibre form. If, however, the disk is heated and the surroundings are hot enough to allow the glass to form spheres before freezing to a glass, small spherical beads will be formed [90]. Large glass spheres (marbles) are formed by cutting small gobs from a melt stream. These gobs fall onto a pair of counter-rotating screws with thread depth equal to one half the 27 desired marble diameters. The gobs are converted into spheres and cooled as the gobs travel down the length of the screw, where the finished marbles are collected. Formation of hollow glass spheres requires the release of gas from the starting material

during the sphere formation (Fig. 23). The batch components are mixed in a liquid, which may include a “blowing agent” such as urea. This solution is spray dried to form uniform, but non-spherical particles. These particles are then introduced directly into the flame from a burner or dropped down a vertical furnace. As the particles melt, the blowing agents decompose, releasing gases which blow the molten sphere into a hollow shell. As the melt begins to cool, it becomes impermeable to any remaining gases, which prevent the collapse of the shell.

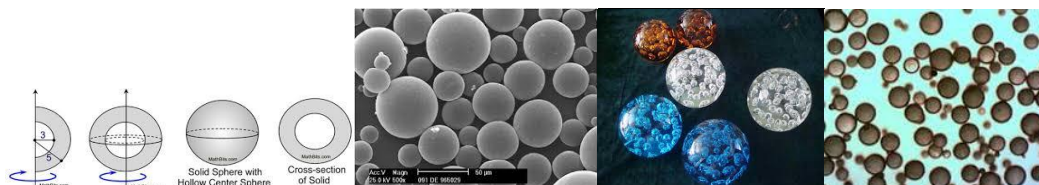


Figure 23. Glass spheres [91].

### 3.26. Self-Cleaning Glass

Self-cleaning glass is a specific type of glass with a surface that keeps itself free of dirt and grime (Fig. 24). The field of self-cleaning coatings on glass is divided into two categories: hydrophobic and hydrophilic. These two types of coating both clean themselves through the action of water, the former by rolling droplets and the latter by sheeting water that carries away dirt. Hydrophilic coatings based on titania, however, have an additional property: they can chemically break down absorbed dirt in sunlight.

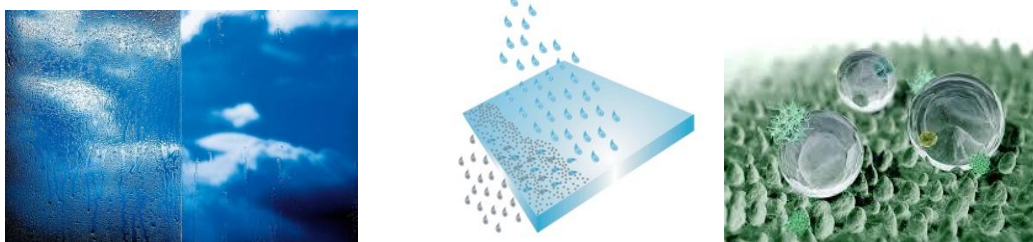


Figure 24. Self-cleaning glasses [92].

The requirements for a self-cleaning hydrophobic surface are a very high static water contact angle  $\theta$ ; the condition often quoted is  $\theta > 160^\circ$ , and a very low roll-off angle, i.e. the minimum inclination angle necessary for a droplet to roll off the surface [93]. Several techniques are known for the patterning of hydrophobic surfaces through the use of moulded polymers and waxes, by physical processing methods such as ion etching and compression of polymer beads, and by chemical methods such as plasma-chemical roughening, which can all result in ultra-hydrophobic coatings [94]. While these surfaces are effective self-cleaners, they suffer from a number of drawbacks which have so far prevented widespread application. These coatings chemically break down dirt when exposed to light, a process known as photo catalysis. Despite the commercialization of a hydrophilic self-cleaning coating in a number of products, the field is far from mature; investigations into the fundamental mechanisms of self-cleaning and characterizations of new coatings are regularly published in the primary literature [95].

The glass cleans itself in two stages. The "photocatalytic" stage of the process breaks down the organic dirt on the glass using ultraviolet light and makes the glass super hydrophilic (normally glass is hydrophobic). During the following "super hydrophilic" stage, rain washes away the dirt, leaving almost no streaks, because water spreads evenly on super hydrophilic surfaces [96-97]. In

2001, Pilkington Glass announced the development of the first self-cleaning windows, Pilkington Activ™, and in the following months several other major glass companies released similar products. As a result, glazing is perhaps the largest commercial application of self-cleaning coatings to date. Titanium dioxide has become the material of choice for self-cleaning windows, and hydrophilic self-cleaning surfaces in general, because of its favourable physical and chemical properties. Not only is titanium dioxide highly efficient at photo catalysing dirt in sunlight and reaching the super hydrophilic state, it is also non-toxic, chemically inert in the absence of light, inexpensive, relatively easy to handle and deposit into thin films and is an established household chemical that is used as a pigment in cosmetics and paint and as a food additive [98]. The anatase phase is the most photocatalytic among its polymorphic structures. Moreover, ultraviolet irradiation creates surface oxygen vacancies at bridging sites, resulting in the conversion of relevant  $Ti^{4+}$  sites to  $Ti^{3+}$  sites which are favourable for dissociative water adsorption. These defects presumably influence the affinity to chemisorbed water of their surrounding sites, forming hydrophilic domains, whereas the rest of the surface remains oleophilic. Hydrophilic domains are areas where dissociative water is adsorbed, associated with oxygen vacancies that are preferentially photo generated along the [001] direction of the (110) plane; the same direction in which oxygen bridging sites align [99].

### 3.27. Bioactive Glass

One of the first major developments leading to saving of life was the optical microscope. Invention of the microscope using glass spheres to focus light on objects was the seminal step towards discovering microscopic life forms of bacteria, viruses and fungi, e.g. pathogens. This discovery led to treatment and eventually elimination of many diseases that was instrumental in creating the improvements in public health and healthcare that occurred in the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries. This enormous social change can be termed a revolution in Life Preservation. A major consequence of life preservation was an expansion of the human lifespan from an average of 45 years to 80+ years. It is projected that by 2050 there will be more than 1 billion people alive on earth aged 60 years old or older. Second revolution in healthcare has occurred during the last 50 years, i.e. a revolution in Tissue Replacement. From the age of 30 years old onwards, all tissues progressively deteriorate. Thus, an increase in length of life is usually accompanied by a decrease in quality of life. To repair, replace and restore the function of hips, knees, eyes, ears, teeth, hearts, kidneys, etc. is now commonplace. Human “spare parts” is a huge business worth tens of billions of dollars. The first generation of materials used for tissue replacement was selected by surgeons and materials scientists and engineers to be as biologically inert as possible; therefore they are called bio-inert materials. Corrosion resistant metals and insoluble, non-toxic polymeric materials became the standard biomaterials. However, all bio-inert materials are a compromise because of the incompatibility of the interface between the material and living tissue. Tissue breakdown and loosening over time is a common mode of failure of devices made from bio-inert materials. Stress shielding due to mismatch of elastic moduli of high strength biomaterials and bone leads to resorption of bone and long term implant failure and revision surgeries. Wear of articulating surfaces also leads to creation of wear debris and osteolysis leading to degradation of the interfacial supporting bone. An alternative, second generation concept for tissue replacement using a special type of glass was discovered in 1969. This concept of “bioactivity” has made it possible to expand greatly the approaches taken in tissue replacement. Bioactive materials form a bond with living tissues (Fig. 25). The chronology of discovery and development of bioactive glasses become an important range of clinical materials used worldwide for tissue replacement and regeneration. Recent research has discovered that glasses with especially high levels of bioactivity can also be used to activate genes to stimulate the body to repair itself. This discovery has led to the concept of using slowly resorbable bioactive glasses as a third generation of biomaterials designed for tissue

regeneration. In 1991 it was discovered that bioactive glasses could be made using a low temperature sol-gel chemical process. A much broader compositional range for bioactivity was possible with bioactive gel-glasses due to the high surface area of the final product. Sol-gel processing also made it possible to produce bioactive gel glass foams with the highly controlled hierarchical porosity required for cell infiltration into large interconnected 3-D pores, a requirement for viable tissue engineered constructs. A comprehensive review by Dr. Julian R. Jones describes development of such TE constructs, historical aspects and other recent topics in this field. The discovery of bonding of bone to specific compositions of glasses led to a new, second generation of bioactive materials for tissue replacement. Understanding gene activation of human progenitor cells by controlled release of ionic dissolution products from bioactive glasses provides the basis for design of third generation biomaterials that can be used for tissue regeneration. Use of bioactive glass particulate in prevention of oral disease and damage is an example of a fourth generation of biomaterials bioactive materials for prevention of tissue damage. Bioactive glass science and technology continues to be at the forefront of providing innovative approaches to medicine [100-102].



Figure 25. Bioactive glasses [103].

## References

1. Karasu, B., Ay, N., *Glass Technology*, 2000: T.R. Ministry of Education Publication 3525, Ankara (in Turkish).
2. Scholz, H., *Glass: Nature, Structure, and Properties*, 1991: Springer-Verlag.
3. *Polymer Glasses*, ed. by Connie, B. R., 2017: CRC Press.
4. <https://www.pinterest.com/arvanitis/ancient-glass-antik-camlar/>
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Roman\\_glass](https://en.wikipedia.org/wiki/Roman_glass)
6. Macfarlane, A., Martin, G., *Glass: A World History*, 2002: The University of Chicago Press.
7. Wapert, B., *A History of Glass*, 2011: Stephen F. Austin State University Press.
8. *The Art of Glass by Antonio Nery*, ed. by Michael Cable, 2003: The Society of Glass Technology.
9. Klein, D., Lloyd, W., *The History of Glass*, 1984: Tiger Books International.
10. Oppenheim, A. L., *Towards A History of Glass in the Ancient near East*, *Journal of the American Oriental Society*, 1973, Vol. 93, No. 3, 259-266.
11. [https://www.google.com.tr/search?q=borosilikat+cam+%C3%B6rneklere&espv=2&biw=1707&bih=820&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitlvChrOnRAhWDwBQKHdEFCYwQ\\_AUIBigB#imgrc=\\_](https://www.google.com.tr/search?q=borosilikat+cam+%C3%B6rneklere&espv=2&biw=1707&bih=820&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitlvChrOnRAhWDwBQKHdEFCYwQ_AUIBigB#imgrc=_)
12. Harper, C. A., *Handbook of Ceramics, Glasses, and Diamonds*, 2001: McGraw-Hill.
13. Bourhis, E. L., *Glass: Mechanics and Technology*, 2007: Wiley-VCH.
14. <http://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window4.htm>
15. Kamalirvestani, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Javadi, F.S., *Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, Vol. 26, 353–364.
16. <http://www.androidauthority.com/how-fingerprint-scanners-work-670934/>
17. <http://polytronixglass.com/pdlc-smart-film/manufacturing/>



18. Heiting, G., *Safety glasses and goggles: Your guide to protective eyewear*, AllAboutVision.com., May 2014.
19. <https://www.google.com.tr/search?q=security+glasses&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjEl6fhlcHPAhUBbRQKHfORArwQsAQIKg&dpr=1.5>
20. <http://www.lisec.com/en/Innovation/Solar-Glass/Thin-Glass-Technology-for-Solar-Applications#sthash.yoKIAGhy.dpuf>
21. Klement, Jr., W., Willens, R. H., Duwez, P., *Non-crystalline structure in solidified gold-silicon alloys*, *Nature*, 1960, 187 (4740): 869.
22. Prasad, D., Snow, M., *Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BiPV)*, 2005.
23. *Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments and Applications*, edited by Lovegrove, K., Stein, W., 2012: Woodhead Publishing Series in Energy.
24. Liebermann, H., Graham, C., *Production of amorphous alloy ribbons and effects of apparatus parameters on ribbon dimensions*, *IEEE Transactions on Magnetics*, 1976, 12 (6): 921.
25. Ponnambalam, V., Poon, S. J., Shiflet, G. J., *Fe-based bulk metallic glasses with diameter thickness larger than one centimeter*, *J. of Mater. Res.*, 2004, 19 (5): 1320.
26. Karasu, B., Yanar, A.O., Pirangil, S. E., Ak, G., Erdoğan, O., Kartal, S., *Metallic glasses*, *Şişecam Technical Bulletin*, September 2017, Istanbul Türkiye (in press) (in Turkish).
27. <https://www.google.com.tr/search?q=amorphous+metal&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjilsvIv7TPAhVGwxQKHUR9DzAQsAQINQ&dpr=1.5>
28. *Fluids and Electrolytes: The Easy Guide to Understand Fluids and Electrolytes*, by Dr. Russell, 2014.
29. McMillan, P. F., *Polyamorphic transformations in liquids and glasses*, *J. of Mater. Chem.*, 2004, 14 (10): 1506–1512.
30. *Carbon dioxide glass created in the lab*, *NewScientist*, 15 June 2006.
31. Pusey, P. N., Megen, W. Van, *Observation of a glass transition in suspensions of spherical colloidal particles*, *Physical Review Letters*, 1987, 59 (18): 2083–2086.
32. Megen, W. Van, Underwood, S., *Dynamic-light-scattering study of glasses of hard colloidal spheres*, *Physical Review E*, 1993, 47: Doi:10.1103/PhysRevE.47.248.
33. Löwen, H., Arora, A. K., Tata, B. V. R., eds. *Dynamics of Charged Colloidal Suspensions Across the Freezing and Glass Transition, Ordering and Phase Transitions in Charged Colloids. VCH Series of Textbooks on "Complex Fluids and Fluid Microstructures"*, 1996: New York: 207–234.
34. <http://www-ics.u-strasbg.fr/etsp//research/glass/field.php>
35. <https://www.google.com.tr/search?q=polymer+clay+glasses&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj8tvGzxLTPAhXBWRQKHb2yA2sQsAQIGg>
36. Kingery, W. D., Uhlmann, H. K. Bowen, D. R., *Introduction to Ceramics*, (2 ed.), 1976: New York: Wiley.
37. Richerson, D. W., *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing and Use in Design*, (2 ed.), 1992: New York: Dekker.
38. [https://www.google.com.tr/search?q=glass+ceramic+cooktops&espv=2&biw=1707&bih=820&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj5qyG8-vRAhVDvxQKHfgdDPcQ\\_AUIBigB#imgrc=\\_](https://www.google.com.tr/search?q=glass+ceramic+cooktops&espv=2&biw=1707&bih=820&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj5qyG8-vRAhVDvxQKHfgdDPcQ_AUIBigB#imgrc=_)
39. *Method & Apparatus for Making Glass Wool*, published 11 Nov 1933, issued 11 Oct 1938.
40. Marsh, G., *50 Years of Reinforced Plastic Boats*, reinforcedplastics, 2006: Elsevier Ltd.
41. *Notable progress—the use of plastics*, *Evening Post*, Wellington, New Zealand, 1939, Vol. CXXVIII, Issue 31, p. 28.

42. Fitzer, E., Kleinholz, R., Tiesler, H., et al., *Fibers, 5. Synthetic Inorganic*, 2008: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA.
43. *Double Glazing, Nuway Glass and Glazing*, 2016.
44. <http://www.igmaonline.org/technical/lingnell%20%20an%20introduction%20to%20insulating%20glass.ppt.pdf>
45. <https://www.google.com.tr/search?q=double+glazing&espv=2&biw=1707&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiNw4667-nRAhVLbRQKHSyHD4gQsAQIQQ>
46. [http://www.robsonglass.com.au/double\\_glaze.php](http://www.robsonglass.com.au/double_glaze.php)
47. <https://www.google.com.tr/search?q=gorilla+glass&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwibh5fuxrTPAhUDbhQKH7DdsQsAQIKQ#imgrc=1H3Zz7KgDMSy1M%3A>
48. *Dragontrail*, 2012, Asahi Glass Co. p. 2.
49. <http://www.akshatblog.com/gorilla-glass-vs-dragontrail-glass-comparison/>
50. *Mercury-Containing Light Bulb (Lamp) Recycling*, Universal Waste, US EPA.
51. Pfaender, H. G., *Schott Guide to Glass*, 1996: London: Chapman & Hall.
52. <https://www.google.com.tr/search?q=floresan+lamba&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj0teDwybTPAhWDtBQKHch9AgwQsAQIYA&dpr=1.5>
53. <http://www.pdhonline.com/courses/e418/e418content.pdf>
54. Donald, I. W., *Glass to Metal Seal*, 2009: Society of Glass Technology.
55. <https://www.google.com.tr/search?q=glass+metal+seal&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiK0tuy7TPAhVH1xQKHWhJBRAQsAQIRQ>
56. Alexander, R., *Vacuum Sealing Techniques*, 1997: Springer.
57. Day, D. E. and Schaffer, R., *Glasphalt Paving Handbook*, 1989: Asphalt Institute Manual Series, University of Missouri-Rolla, No. 4.
58. <https://www.google.com.tr/search?q=glassphalt&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjFvNTszbTPAhXKaRQKHZIFCnkQsAQIJg>
59. Cohn, R., Russel, J., *Heatable Glass*, 2012: Bookvika Publishing.
60. [https://www.google.com.tr/search?q=heatable+glass&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiV6\\_6kz7TPAhWFuhQKHeVODAAQsAQIJw](https://www.google.com.tr/search?q=heatable+glass&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiV6_6kz7TPAhWFuhQKHeVODAAQsAQIJw)
61. Carter, R., *Method of laminating multiple layers*, Google Patents, 2015.
62. [https://www.google.com.tr/search?q=laminated+glass&biw=822&bih=823&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjLqNKL6-vRAhXD7RQKHc34D\\_cQ\\_AUIBigB](https://www.google.com.tr/search?q=laminated+glass&biw=822&bih=823&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjLqNKL6-vRAhXD7RQKHc34D_cQ_AUIBigB)
63. Abhishek, S., Rohan, D., *Design and implementation of vision system aid in windscreen assembly*, *International Journal of Computer Applications (0975–8887)*, 2010, Vol. 7, No.12, 6.
64. Fazle Elahi, A. H. M., Rahman, M. S., *Intelligent windshield for automotive vehicles*, *International Conference on Computer & Information Technology (ICCI)*, 2014, Dhaka, Bangladesh, Doi: 10.13140/2.1.1631.6488.
65. *What Is Post-Formed Plastic Laminate?*, 2015: Delorie Countertops and Doors.
66. Gimzewski, J. K., and Welland, M. E., *Ultimate Limits of Fabrication and Measurement*, NATO, Scientific Affairs Division, 1995: Spinger.
67. *Nanochannel Glass Materials*, (Online page U.S. Navy website), Naval Research Laboratory, Technology Transfer Office, Code 1004, 2011.
68. Tonucci, R. J., Hubler, G. K., Sibilica, C., Wiersma, D. S., *AIP Conference Proceedings*, 2007, 959: 59–71; Doi:10.1063/1.2821605.
69. *Materials Characterization and Nanofabrication Methods - Nanochannel Glass Materials*, *Advances in Nanophotonics II*, AIP Conference Proceedings, 2007, 959, 59-71.

70. [https://www.google.com.tr/search?q=nanochannel+glass+materials&biw=1706&bih=820&site=webhp&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjM\\_7KS17TPAhWLuhQKHfbhASUQsAQIMA&dpr=1.5](https://www.google.com.tr/search?q=nanochannel+glass+materials&biw=1706&bih=820&site=webhp&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjM_7KS17TPAhWLuhQKHfbhASUQsAQIMA&dpr=1.5)
71. Posinna, M., *Different Types of Fiber Optic Cables*, 2014: HFCL.
72. Wallenberg, F., T., Bingham, P. A., *Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications*, 2010: Springer.
73. Murata, H., *Handbook of Optical Fibers and Cables*, 1996: Marcel Dekker, Inc.
74. Kyunghwan, Oh., Un-Chul, Paek, *Silica Optical Fiber Technology for Devices and Components: Design, Fabrication and International Standards*, 2012: Wiley.
75. [https://www.google.com.tr/search?q=optical+fibres&espv=2&biw=1707&bih=820&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiUzeSC8evRAhXF0RQKHcx5CPMQ\\_AUIBigB](https://www.google.com.tr/search?q=optical+fibres&espv=2&biw=1707&bih=820&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiUzeSC8evRAhXF0RQKHcx5CPMQ_AUIBigB)
76. Dotsenko, A. V., Glebov, L. B., Tsechomsky, A., *Physics and Chemistry of Photochromic Glasses*, 1998: CRC Press.
77. Dürr, H. and Bouas-Laurent, H., *Photochromism: Molecules and Systems*, 2003: Gulf Publishing.
78. <http://www.vincentoptical.com/transition-lenses/>
79. Kumar, S., *UCL in the news: Lookout's lenses blamed for sea accident*, 2014, UCL News.
80. <https://www.google.com.tr/search?q=photochromic+lenses&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjo19vi4LTPAhUBJcAKHUuyDxUQsAQIQw>
81. Chijiwa, T., Ishibashi, T., Inomata H., *Histological study of choroidal melanocytes in animals with tapetum lucidum cellulosum, Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 1990, Vol. 228, Issue 2, 161–168.
82. Milius, S., *Mantis shrimp flub color vision test*, *Science News*, 2012, 182 (6): 11.
83. Biggs, K., Burris, M., Stanley, M., *The Complete Guide to Night Vision*, 2013.
84. [https://en.wikipedia.org/wiki/Night\\_vision#Night\\_glasses](https://en.wikipedia.org/wiki/Night_vision#Night_glasses)
85. [https://en.wikipedia.org/wiki/Glass\\_cockpit](https://en.wikipedia.org/wiki/Glass_cockpit)
86. <http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Glasscockpit.html>
87. Yılmaz, R., Karasu, B., The glasses used in the aviation and aerospace industry, *Şişe Cam Technical Bulletin*, June 2017, Istanbul, Türkiye (in press) (in Turkish).
88. *Advanced Materials Source Book 1994-1995*, eds. by Binner, J., Hogg, P., Murhpy, J., 1994: Elsevier Advanced Technology.
89. <https://www.google.com.tr/search?q=Porous+Glasses&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjo7OCF4rTPAhVG1hQKHZBoCaMQsAQIKA>
90. Shelby, J. E., *Introduction to Glass Science and Technology*, 2005: Cambridge, GB: Royal Society of Chemistry.
91. <https://www.google.com.tr/search?q=Solid+and+Hollow+Glass+Spheres&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjQiLL447TPAhVBOhQKHbWqAcAQsAQIHw>
92. <https://www.google.com.tr/search?q=self+cleaning+glasses&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwicyCM5rTPAhUK8RQKHRTkDtYQsAQIRA&dpr=1.5>
93. Marmur, A., *The lotus effect: Superhydrophobicity and metastability*, *Langmuir* 20, 2004, 3517–3519.
94. Roach, P., Shirtcliffe, N. J. & Newton, M. I., *Soft Matter.*, 2008, 4, 224–240.
95. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2005/JM/B412803F>
96. Paz, Y. and Heller, A., *Photo-oxidatively self-cleaning transparent titanium dioxide films on soda lime glass: The deleterious effect of sodium contamination and its prevention*, *J. Mater. Res.*, 1997, 12, 2759–2766.

97. Paz, Y., Luo, Z., Rabenberg, L. and Heller, A., *Photo-oxidative self-cleaning transparent titanium dioxide films on glass*, *J. Mater. Res.*, 1995, 10, 2842–2848.
98. <http://www.revolvy.com/main/index.php?s=Self-cleaning%20glass>
99. BBC News, 8 June 2004.
100. *Bio Glasses: An Introduction*, eds.: Jones, J. R., Clare, A. G., 2012: John Wiley & Sons, Ltd.
101. *Bioactive Glasses: Materials, Properties and Applications*, ed. by Ylänen, H., 2011: Woodhead Publishing.
102. *Bioactive Glasses: Fundamentals, Technology and Applications*, eds.: Boccaccini, A. R., Brauer, D. S., Hupa, L., 2016.
103. <https://www.google.com.tr/search?q=bioactive+glass&espv=2&biw=1706&bih=820&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiJutmg6LTPAhUBFxQKHTplBRQQsAQIPg&dpr=1.5>



---

## Derleme / Review

---

### Sürtüneli Delik Delme Prosesi ve Prosesin Başlıca Uygulamaları

Mehmet Yasin DEMİREL<sup>1</sup>, İbrahim KARAAĞAÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

<sup>2</sup>Yrd. Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

e-posta: yasindemirel@outlook.com, ibrahimkaraagac@gazi.edu.tr

**Received/Geliş:** 13.02.2017

**Revised/Düzeltilme:** 02.03.2017

**Accepted/Kabul:** 02.03.2017

**Özet:** Sac malzemelerin birbirleriyle sökülebilir bağlantı uygulamaları endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, sac malzeme kalınlıklarının ince olması nedeniyle bu tür bağlantılar çoğu uygulamada bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Vidalı bağlantı uygulamalarında güvenli bağlantı uzunluğunda vida oluşturmak için, şişme somun kullanımı, sac malzemeye somun kaynatma, vidalı perçin vs. gibi farklı yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada; sac malzemelerin vidalı montaj uygulamalarında sac malzemeye vida açmak için kullanılan sürtüneli delme prosesinin temel felsefesi, avantajları, kullanılan ekipman ve takımlar ile prosesin farklı sac malzeme türleri için uygulamaları derlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sürtüneli delme; Akıcı delme; Form delme; Talaşsız delme

---

### The Friction Drilling Process and Key Applications of Process

**Abstract:** Dismountable connection applications of sheet materials are frequently used in the industry. However, due to the thin thickness of the sheet material, these connections are often seen as a problem in practice. Different methods such as the use of swelling nuts, nut welding to sheet material, screwed rivets etc. are frequently used for screw connection applications to form a secure connection screw length. In this study, the basic philosophy of friction drilling process, advantages, the used equipment's, tools and process applications for different types of sheet material are compiled.

**Keywords:** Friction drilling; Flow drilling; Form drilling; Chipless drilling

---

#### 1. Giriş

Günümüzde birçok mühendislik uygulamalarında boru biçimli profiller ile ince et kalınlığına sahip sac panellerin montajı çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sac malzemelerin birbirleriyle birleştirilme operasyonları; ayrıca modern tasarımlı hafif çerçeve yapıları, otomotiv ve ulaşım araçları endüstrisinde de sıkça kullanılmaktadır. Sac metal parçaları birleştirmek için; bağlantı elemanları (civata ve somun veya perçinler) ile mekanik birleştirme, kaynaklı birleştirme ve yapıştırma ile birleştirme olmak üzere başlıca üç yöntem bulunmaktadır [1]. Civata ile bağlama yöntemi bağlanacak parçalarda sadece bir delik delme ve vida açma işlemini gerektirmesi ve ayrıca standart ve ucuz olmaları sebebiyle, çözülebilen bağlama konstrüksiyonlarında en sık rastlanan bağlama yöntemidir [2].

İnce sac malzemelerin birbirine bağlanmasında sağlamlığın temini sorunu yeterli vidalama uzunluğunun sağlanmasıyla mümkün olmaktadır. Sac plakaların bükülmesi, somun kaynatılması ya

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Demirel M. Y., Karaağaç İ. "Sürtüneli Delik Delme Prosesi ve Prosesin Başlıca Uygulamaları" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 234-248.

*How to cite this article*

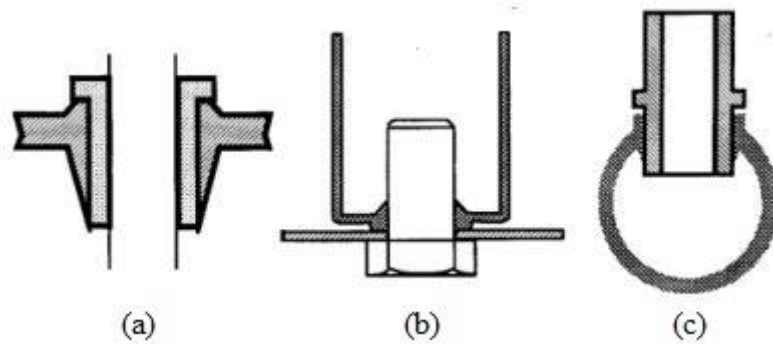
Demirel M. Y., Karaağaç İ. "The Friction Drilling Process and Key Applications of Process" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 234-248.

da somun perçin kullanılması vida uzunluğunu artırmak için yapılan en yaygın endüstriyel uygulamalardır. Ancak bütün bu yöntemler ek donanımlar ve operasyonlar gerektirmektedir. Talaş kaldırmadan yeterli vidalama uzunluğu sağlama problemi ancak sürtünmeli delme işlemi ve ovalama kılavuzu ile diş çekme yöntemiyle çözülmektedir [3].

Sürtünmeli delme prosesi, döner konik bir takım ile iş parçasına nüfuz edip talaş üretmeden tek bir aşamada kovan oluşturma olarak da tanımlanabilmektedir [4]. Bu proses, bir delik oluşturmak için dönen bir konik takım ile iş malzemesi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısıyı kullanmaktadır. Sürtünmeden kaynaklanan bu ısı, deliği oluşturmak için ekstrüzyon uygulanan iş malzemesinin sünekliğinin artmasına sebep olmaktadır [5]. Prosesin daha geniş bir tanımı; konik bir takım ile iş parçasının temas bölgesinde sürtünme sonucu oluşan ısının etkisiyle yumuşamış iş parçasına, takımın dalması ve iş parçasının delinmesi şeklinde meydana gelen, talaşsız, temiz ve geleneksel olmayan bir delik delme yöntemi olarak açıklanmaktadır. Proses ayrıca form delme, akıcı delme ve sürtünmeli karıştırılmalı delme olarak da adlandırılmaktadır. Bu imalat yönteminin amacı; ince cidarlı malzemelerde, form verilen kovan yardımıyla vidalı bağlantı uzunluğunu arttırarak sac parçaları birleştirmeyi sağlamaktır [6].

Proses başlangıçta, 1923 yılında Jan Claude de Valliere tarafından geleneksel delme sürecine alternatif olarak geliştirilmiş olmasına rağmen, pratik uygulamaları ancak altmış yıl sonra tungsten karbür matkap imalatındaki teknik gelişmeler ile yaygın kullanılabilmiştir [7]. Modern endüstriyel uygulamaların gereksinimlerini karşılamak, takım ömrünü ve verimliliğini artırmak, delik yüzey kalitesini iyileştirmek ve kirlilik olmadan delik delme prosesini uygulamak amacıyla özel matkap şekilleri tasarlanmış ve geleneksel olmayan bu delik delme prosesi daha sıklıkla uygulanabilir hale gelmiştir [8].

Sürtünmeli delme yöntemi, farklı kesit ve duvar kalınlıklarında ve çeşitli geometrilerdeki malzemelerde kullanılabilir. Ayrıca, yuvarlak borularda sürtünmeli delme işlemi önemli bir avantaj sağlamaktadır. Sürtünmeli delme yönteminin kullanım alanları; özellikle ince cidarlı parçaların civata bağlantıları, düzgün bir yuvaya ihtiyaç duyan geniş yüzeyli bağlantılar, sızdırmazlık istenen gaz bağlantıları, yüksek mukavemetli kaymalı yataklar, rulman veya kaymalı yatakların ince cidarlı borulara veya profil parçalara oturtulması, su tankları ve basınçlı tanklar, iç içe geçmiş profil ve boru tipi parçalara müşterek delik açma işlemleri, otomotiv endüstrisi ve çelik mobilyalardaki bağlantı operasyonları olarak sıralanabilmektedir [9]. Şekil 1’de sürtünmeli delik delme yönteminin bazı uygulamaları verilmiştir [10].



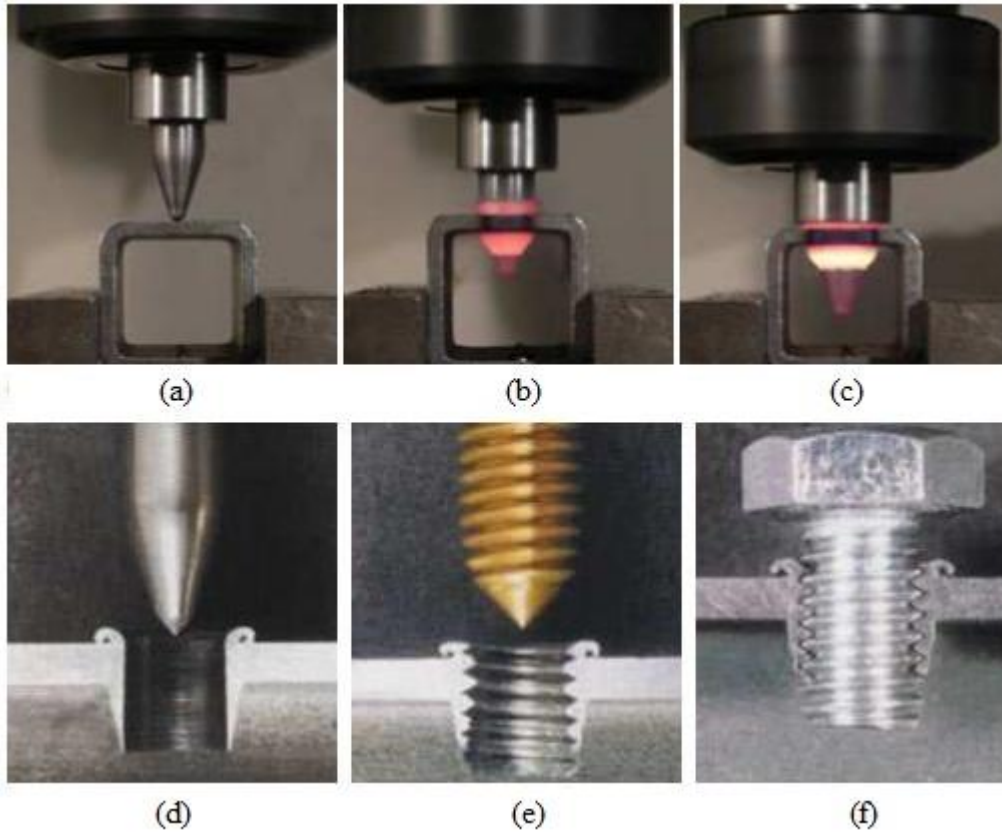
Şekil 1. Sürtünmeli delik delme yönteminin bazı uygulamaları a) Rulmansız mil yatakları  
b) Somunsuz bağlantılar c) Contalı veya contasız rakor bağlantıları

Sürtünmeli delme prosesinde, iş malzemesinden kayıp vermeden malzeme yeniden şekillendirildiğinden dolayı, ince malzemelerde malzemenin orijinal kalınlığından yaklaşık üç kat daha uzun kovan ile çok güçlü civata bağlantıları yapmak mümkün olmaktadır. Ayrıca proses için

özel makineler gerekmemekte, gerekli güce sahip matkap tezgahları ve CNC tezgahlar ile bu işlemler tek adımda gerçekleştirilebilmektedir. Küçük yatırım maliyetleri ile yüksek kaliteli delikler elde edilmekte olup ek bileşenler gerektirmemektedir. Daha az üretim adımları ile ince malzemelerde istenen sonuçlar yakalanmaktadır. Proses esnasında talaş ekstrüzyonu olmadığından delinmiş deliğin yüzeyi zarar görmemektedir. Bu nedenle temiz bir operasyon olarak adlandırılmakta ve operasyon esnasında temiz çalışma alanı sağlamaktadır. Ayrıca, geleneksel delme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, bu proses çok hızlı bir şekilde tamamlanmaktadır. Böylece, takım ömrü uzamakta ve işlem maliyetleri azalmaktadır [11-13].

## 2. Sürtümlü Delme Prosesi ve Kullanılan Takımlar

Sürtümlü delme yöntemi ile şekil verme işlemi beş aşamada gerçekleşmektedir. Bu adımlar Şekil 2'de verilmiştir [14].



Şekil 2. Sürtümlü delme süreci aşamaları a) Birinci b) İkinci c) Üçüncü d) Dördüncü e) Beşinci aşama f) Cıvata bağlantısı

*Birinci aşamada;* takım iş parçasına yaklaşır temas etmekte ve bu anda sac malzeme üzerinde itme kuvveti maksimuma ulaşmaktadır.

*İkinci aşamada;* takımın konik kısmının iş parçasına dalmasıyla birlikte temas bölgesindeki ısı miktarı ve dönme momenti hızlı bir şekilde yükselmektedir.

*Üçüncü aşamada;* takımın silindirik bölgesi iş parçasına dalmaktadır. Bu aşamada takım yumuşamış malzemeyi aşağıya doğru itmekte ve kovana oluşturmaya başlamaktadır.

*Dördüncü aşamada;* takımın omuz kısmı takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultusunda akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırarak sızdırmazlık halkası olarak adlandırılan pulu oluşturmakta ve itme kuvveti tekrar yükselmektedir.

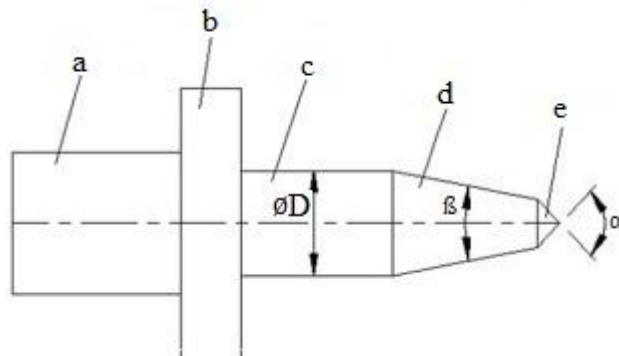
*Beşinci aşamada* ise delme işlemi tamamlanarak takım geri çekilmektedir [15].

Bu yöntemle oluşturulan kovana kılavuz ile dış çekilebilmektedir. Ancak kovandan talaş kaldırmamak için ovalama kılavuzu ile dış çekmek tercih edilmektedir. Ovalama yöntemiyle dış çekmek soğuk bir şekillendirme veya talaşsız bir işleme operasyonudur. Vidanın ters formuna sahip bir ovalama kılavuzunun, silindirik bir delikte iç vida üretmek için malzeme kaybı olmaksızın malzemeyi yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Ovalama metodu ile açılan vidalarda yüzey kalitesinin daha iyi olduğu ve vidalama sırasında sürtünme kuvvetlerinin daha az olduğu gözlenmektedir. Yapılan çekme testlerinde, ovalanmış vidalı numuneler keserek açılanlara göre daha yüksek kuvvetlerde plastik olarak deforme olmaktadır [16].

Sürtünmeli delme prosesinde sıcaklık önemli bir parametredir. Proses esnasında oluşan bu sıcaklık malzeme yapısına zarar verebildiği gibi, kovan şeklini ve sıcak takımın temas ettiği malzeme yüzeyindeki mikro yapıyı da etkileyebilmektedir [17]. Proses esnasında genellikle iş parçası sıcaklığı 600°C'ye çıkmakta ve takım sıcaklığı da 650-750°C'ye kadar artabilmektedir. Bu sıcaklık değerleri, takımın iş parçasına nüfuz etme gücü, delme sistemi ve takım şekli gibi değişkenlere bağlı olarak çok geniş aralıklar içinde olduğu gözlemlenmiştir [18].

Ayrıca, sürtünmeli delme işleminde kullanılan takımlar, proses esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklara dayanabilecek sinterlenmiş karbür malzemelerden imal edilmektedirler. Takım tutucusunun ve mil yataklarının proses esnasında oluşan bu sıcaklıklardan dolayı aşırı ısınmasını önlemek amacıyla soğutma halkalı bir pens tutucu kullanmak gerekmektedir [19].

Sürtünmeli delme işleminde kullanılan matkabın ömrünü etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bu matkaplar çok yüksek sıcaklıklarda bile mukavemet özelliklerini koruyacak şekilde imal edilmelerine rağmen aşırı sıcaklık değişikliklerine karşı hassas olabilmektedirler. Sıvama matkaplarının ani ısınması veya soğuması önlenmeye çalışılmalıdır. Matkap, işlenecek parçaya yumuşakça temas ettirilmeli ve darbelerden korunmalıdır. Matkabın iş parçasına girmesi sırasında çok yüksek burulma kuvvetleri de oluşmaktadır. Eksenel kuvvet ve ilerleme hızı fazla yüksek seçilmiş ise matkap iş parçasını deldikten sonra birden boş kaldığında yorulma kırılmalarına maruz kalmakta veya ilk anda matkabı burulmaya zorlayıp kırılmalara da neden olabilmektedir. Prosesin ara vermeden süreklilik içerisinde tamamlanmasına dikkat edilmelidir. Malzemenin büzüşmesi de matkabın kırılmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca bu durum matkabının tam ekseninde dönmemesine ve bunun sonucunda da matkabı kırabilecek kesme kuvvetlerine neden olabilmektedir. Takımın aşınması veya yabancı malzemelerin sıvama matkabına yapışması, sıvanarak açılmış bir kovanın kalitesini de azaltmaktadır. Biriken artık malzemeler düzenli olarak bir eğe ile temizlenmelidir. Yağ ile her birinci ve beşinci delmede yapılacak bir yağlama işlemi, takımların ömrünü belirgin bir şekilde arttırmaktadır. Sıvama matkabının çalışma sıcaklığı mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Proses esnasında kullanılacak bir pens veya soğutma halkalı bir pens tutucu yardımıyla iş parçası ve makine aşırı ısınmaya karşı korunabilmektedir [20]. Sürtünmeli sıvama matkabının genel bir görünüşü ve bu matkabın bölümleri Şekil 3'te verilmiştir [21].





Şekil 3. Sürtünmeli delme matkabı a) Şaft bölgesi b) Omuz bölgesi c) Silindirik bölge  
d) Konik bölge e) Merkez bölge

*Merkez Bölge:* Koni şeklindeki merkez bölgenin açısı ( $\alpha$ ) ve uzunluğu ( $H_c$ ) ile gösterilmiştir. Uç kısmının genellikle keskin olmaması nedeniyle delme başlangıcında daha fazla güç gerektirmekte ve bu yüzden ısı artmaktadır. Merkez bölgesi, bir helis matkapta olduğu gibi özel bir forma sahip olup, bu yapı sürtünmeli delme işlemi için radyal yönde destek ve proses başında merkezleme sağlamaktadır.

*Konik Bölge:* Bu bölge merkez bölgeden daha keskin bir açığa sahiptir. Bu bölge ısı üretmek için iş parçasına sürtünmekte ve kovanı şekillendirmek için malzemeyi yanlamasına itmektedir. Konik bölgenin açısı ( $\beta$ ) ve uzunluğu ( $H_n$ ) olarak gösterilmiştir [21].

*Silindirik Bölge:* Kovanı ve deliği şekillendirmeye yardımcı olmaktadır. Bu bölgenin uzunluğu ve çapı sırasıyla ( $H_l$ ) ve ( $D$ ) olarak belirtilmiştir.

*Omuz bölgesi:* Takımın omuz kısmı, sürtünmeli delme işlemi sırasında yukarı doğru akan ısı etkisiyle ergimiş ve yumuşamış malzemeyi iş parçası yüzeyine bastırmakta ve pul şeklinde deliğin giriş kısmında sızdırmazlık halkasını oluşturmaktadır. Omuz kısmının çapı silindirik bölgenin çapından büyük olmalı ve bu çap değeri ergiyen malzemenin tamamını altına alarak bastırabilecek büyüklükte seçilmelidir [22].

*Şaft bölgesi:* Bu bölge, takım tutucu tarafından kavranan alan olarak tanımlanmaktadır [21].

Bu matkaplar müşteri ihtiyaçları doğrultusunda üretildiği gibi; kullanım yerleri, boyutları ve oluşturdukları kovan biçimlerine göre kısa, uzun, kısa düz ve uzun düz olarak dört gruba ayrılmaktadır [23]. Kısa ve uzun formda üretilmiş matkapların konik kısımlarının açıları her iki uzunlukta da aynı olup kullanım yerleri delinecek malzemenin et kalınlığına göre değişmektedir. Bu tip takımlar proses sırasında ilerleme yönünün tersinde parça üzerinde pul oluşturmaktadırlar. Düz tip matkaplar ise prosesin sonunda oluşan pulun kaldırılması için kesici ağıza sahiptirler. Böylece temiz ve düz bir yüzey elde edilebilmektedir [24, 25].

### 3. Çeşitli Malzemelerde Sürtünmeli Delme Operasyonlarının Uygulamaları

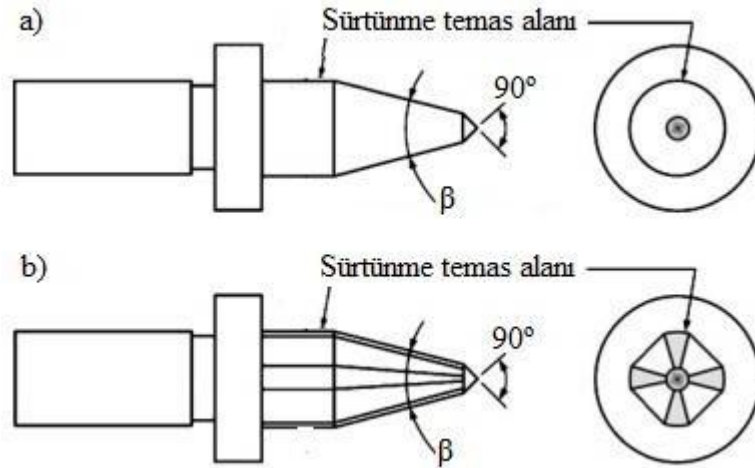
Literatür araştırmalarından sürtünmeli delik delme yönteminin; çelik, paslanmaz çelik, bakır, pirinç, ve alüminyum da dahil olmak üzere çeşitli malzemelerde hassas delikler oluşturmak için uygulanabildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu alanda yapılan çalışmalar malzeme tiplerine göre sınıflandırılarak aşağıda bölümler halinde verilmiştir.

#### 3.1. Çelik malzemelerde sürtünmeli delme uygulamaları

Üretimde yoğun olarak kullanılan St37-2, CM22NBK ve S460MC sac malzemelerin de sürtünmeli delik delme prosesi deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Gemalmayan ve Tunalioglu yaptıkları çalışmada, sıvama işleminden sonra test numunelerine diş açmışlar ve numunelere çatlak testi yapmışlardır. Ardından numunelerin delik dipleri etrafındaki sertlikler incelenmiş ve tüm test numuneleri çekme test cihazına bağlanarak mukavemet değerleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda, sürtünmeli delik delme işlemi sonrası malzemelerin hiçbir şekilde çatlama uğramadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, malzemelerin sertlik değerlerinin, sıvama sonucu ortaya çıkan sürtünme ve ısı etkisiyle arttığı anlaşılmıştır. Bu durum

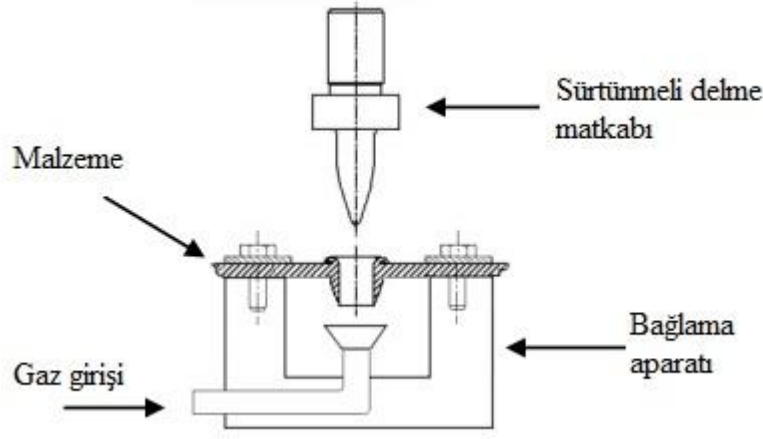
sıvayarak delme ve soğuk şekillendirerek dış açma operasyonlarının sonucunda, malzemelerde mukavemet artışının olduğunu göstermiştir. Ayrıca ortaya çıkan kopma kuvvetlerinin, malzemelerin kullanım yerine göre kabul edilebilir değerlerde olduğu tespit edilmiştir [26]. Özek ve Demir de çalışmalarında, St37 sac malzemeyi tungsten karbür takım ile sürtünmeli delme prosesi ile delerek; yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği, kovan biçimi ve kovan çeper kalınlığı gibi kriterlere göre en uygun dönme hızı ve ilerleme oranı parametrelerini araştırmışlardır. Malzeme kalınlığının delik çapına ( $t/d$ ) olan oranın artmasıyla, kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından bu oranın proses sonucu oluşan kovan biçimi ve kovan yüksekliği açısından önemli bir parametre olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ilerleme miktarının ve dönme hızının artırılmasının kovan oluşumunda deformasyonu artırdığı ve akan malzemenin radyal doğrultuda deliğin çevresine yayılmasından dolayı kovan yüksekliğinin azaldığı, kovan çeper kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir [27].

St12 sac malzemenin sürtünmeli delme prosesinde; takım sürtünme açısı, sürtünme temas alanı oranı (FCAR), ilerleme hızı ve devir gibi proses parametrelerinin; iş parçasının yüzey sıcaklığına, itme kuvvetine ve torca etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; itme kuvveti ve tork değerlerinin, sürtünme açısı, ilerleme oranı ve FCAR değerlerinin artmasıyla dereceli olarak arttığı, diğer yandan da artan delme hızı değeri ile itme kuvveti ve moment değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, delme hızının artması ile iş parçasının yüzey sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Artan veya azalan sürtünme açısının ve FCAR'ın sürtünmeli delinecek parçanın yüzey sıcaklığı üzerinde önemli etkisi olmadığı belirtilmiştir [28]. Farklı FCAR oranlarına sahip sürtünmeli delme matkabının genel görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir [29].



Şekil 4. Farklı FCAR oranlarına sahip sürtünmeli delme matkapları a) FCAR %100 b) FCAR %50

Otomobil endüstrisinde oldukça yaygın kullanılan çift fazlı (Dual Phase) çelikler için sürtünmeli delme prosesi incelenmiştir. Nardi ve diğerleri farklı kalınlıklardaki çift fazlı çelikler için optimum işleme koşullarını, farklı devir ve ilerleme hızlarında kontrol testleri ile değerlendirmişlerdir. Gerekli tork ve itme kuvveti hesaplanmış ve delik boyut toleransları incelenmiştir [30]. Ayrıca, Nardi ve diğerleri diğer bir çalışmalarında galvanizli çift fazlı çeliklerde, çatlaklar veya yüzeysel kusur içermeyen bir sürtünmeli delme prosesi geliştirmeye odaklanmışlardır. Yenilikçi bir yöntem olarak delme prosesi esnasında, malzemenin kovan oluşan tarafından saf argon gazı verilmiştir. Oluşturulan deney düzeneği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi

Bu koşullar altında sürtünlü delinen  $60 \text{ g/m}^2$  galvaniz kaplı farklı kalınlıklardaki 600 MPa akma mukavemetine sahip çift fazlı çelik sac malzemede, sürtünlü delme prosesinin çok kararlı olduğu görülmüştür. Farklı dönme ve ilerleme hızlarında kontrollü testler ile tamamen hatasız delikler için en uygun işleme koşulları sağlanmıştır [31].

Hafif çerçeve yapılar, çelik konstrüksiyon imalatlarında ve endüstriyel uygulamalarda oldukça önemli bir yer tutan ince cidarlı profil ve boruların birleştirilmesinde sürtünlü delme prosesinin avantajları araştırılmıştır. Miller ve diğerleri, 1,5 mm et kalınlığındaki AISI 1015 düşük karbonlu iş parçasının sürtünlü delme prosesini ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Çalışmada her deliğin delinmesi yaklaşık 2,3 s sürmüş, her delme operasyonu arasında takımdaki ısı dağılımı için 10 s beklenmiştir. Çalışma boyunca, itme kuvveti, tork, takım ağırlığı ve takım profilinin ölçümleri 1, 2, 3, 4, 5, 10, 50, 100, 200, 500, 1000 ve her bin delik sonra gerçekleştirilmiş ve toplamda 11.000 delik sonunda takımın hala problemsiz görevini yaptığı görülmüştür [32]. Pantawane ve diğerleri çalışmalarında 1mm et kalınlığına sahip AISI 1015 kutu profil iş malzemesine sürtünlü delme prosesi uygulamışlardır. Prosesine ait hız, ilerleme gibi girdi parametreleri incelenmiş, işleme koşullarının sonuçları çekicilik fonksiyonu olarak adlandırılan bir amaç fonksiyonu kullanılarak çoklu yanıt yöntemiyle optimum delme koşulları bulunmuştur [33].



Şekil 6. Sürtünlü matkap ile delinmiş AISI 1015 profil a) İzometrik görünüş b) Kesit görünüşü

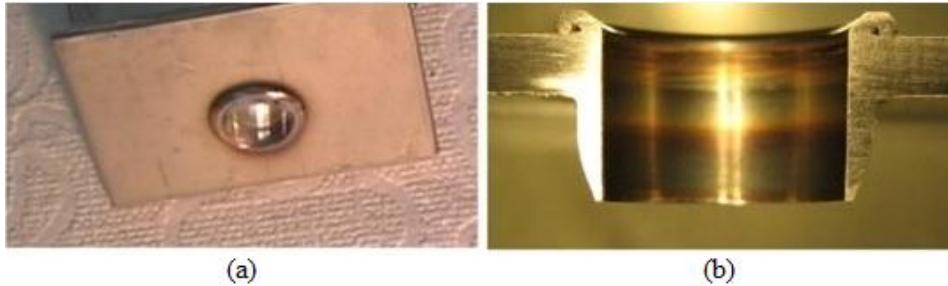
Bir diğer çalışmada da 2 mm et kalınlığındaki AISI 1010 kare profil iş parçası, tungsten karbür takım ile değişik sürtünme açıları ve farklı çaplarla sürtünlü delme prosesiyle delinmiş, işleme parametrelerinin kuvvet ve sıcaklık üzerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca pul geometrisi, kovan yüksekliği ve delik ağzında oluşan yaprak geometrisi; sürtünme koni açısı, ilerleme oranı ve delme hızı gibi delme koşulları açısından da incelenmiştir. Çalışma sonuçlarından, delinen bölgenin

sıcaklığı delik delme hızının artmasıyla ve ilerleme oranının azalmasıyla yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca pul ve kovan geometrisinin, yüksek ilerleme oranlarında bozuk olduğu tespit edilmiştir [34].

### 3.2. Paslanmaz çelik malzemelerde sürtünmeli delme uygulamaları

Endüstriyel mutfaklar, eşanjör ve boyler üretimi, gıda, otomotiv, kimya ve petro kimya gibi endüstrilerde sıklıkla kullanılan paslanmaz çeliklerin sürtünmeli delmesi prosesi kullanılarak delik oluşturulması ile ilgili çalışmalar araştırılmıştır. Chow ve diğerleri, bilenebilir bir sinterlenmiş karbür ile yeni bir tür sürtünme matkabı geliştirmişler ve bu takımı AISI 304 paslanmaz çeliği sürtünmeli delmek için kullanmışlardır. Optimum delme koşullarında; ilerleme hızı 100 mm/min ve delme hızı 90 m/min ile sağlanmış, ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) 0.96  $\mu\text{m}$  elde edilmiştir. Özellikle yüksek ilerleme oranlarında kötü yüzey pürüzlülüğü görülmüştür. Bunun nedeni, yüksek aksel ilerleme değerinin malzemenin tam erimemesine sebep olması olarak belirtilmiştir. Tam erimeyen malzemeler matkap üzerine yapışmakta, bu nedenle de kötü yüzey kaliteleri elde edilmiştir. Ayrıca; ilerleme hızı çok düşük olduğu durumlarda ise, erimiş malzemeler farklı soğuma hızlarına sahip olacaklarından dolayı, üst katmandaki malzemeler alt katmandakilere göre daha hızlı soğumuşlardır. Bu malzemeler, sürtünme matkabının dönüşü sırasında takıma yapışmış ve kötü bir delik yüzey kalitesi elde edilmiştir [29].

Paslanmaz çeliklerin sürtünmeli delme prosesi ile oluşan kovan ve pul yapısının incelenmesinin yanı sıra Lee ve arkadaşları, 2 mm kalınlığındaki AISI304 sac malzemesini kaplamasız, TiAlN ve AlCrN kaplamalı olarak üç farklı sürtünmeli matkap ile 2400 rpm, 3600 rpm, 4800 rpm ve 6000 rpm ile delmiş, oluşan matkap yüzey sıcaklığı, takım aşınması ve aksel kuvvetleri incelemişlerdir.



Şekil 7. AISI304 sac malzemede sürtünmeli delik delme uygulaması  
a) Genel görüntü b) Kesit görüntüsü

Çalışma sonucunda, delme sürecinde matkapların yüzey sıcaklıklarının devirle beraber arttığı görülmüş ve yüzey sıcaklığı en düşük ölçülen kaplamasız matkap olurken, en yüksek yüzey sıcaklığı AlCrN kaplamalı matkapta ölçülmüştür. Benzer şekilde, tekrarlanan delmeler veya delinen delik sayısının artması ile matkapların yüzey sıcaklığının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, AISI 304 paslanmaz çelik iş parçasının delinme esnasında takıma yapışmasıyla, matkap yüzey pürüzlülüğünü artırması ve sonraki delmelerde sürtünme katsayısının artması olarak tespit edilmiştir. Aynı devir ve aynı sayıda delik delmiş matkaplardan, kaplanmış matkapların, kaplanmamış matkaba göre, daha az aşındığı ve AlCrN kaplamalı matkapta en az takım aşınması olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, yüksek devirlerde takım kaplaması büyük aşınmaya uğramış ve kaplanmış ile kaplanmamış matkap arasındaki yüzey sıcaklığı farkının azaldığı tespit edilmiştir. TiAlN ve AlCrN kaplamaların varlığı aksel üretilen itme kuvvetinde ve matkap yüzey sıcaklığında daha az değişime neden olurken, AlCrN kaplamalı matkabın en az değişikliği gösterdiği gözlemlenmiştir [35].

Urbikain ve diğerleri çalışmalarında, AISI 304 ve AISI 1045 kutu profil malzemeler ile AA5754 ve AA6082 alüminyum alaşım sac malzeme çiftlerini eş zamanlı olarak sürtüneli delik delme yöntemiyle delmişler ve ovalama kılavuzu ile dış çekmişlerdir.

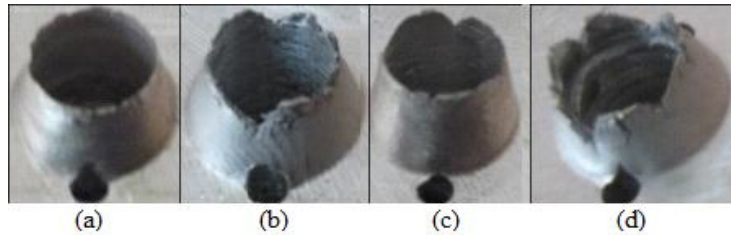


Şekil 8. Eş zamanlı olarak delinmiş sac metal ve kutu profil çiftlerinin kesit görünüşü

Çalışmada, proses parametreleri yüzeyler arasındaki boşluğu azaltmak ve iyi bir kovan üretmek için incelenmiştir. Ayrıca, bazı deney numunelerine çekme testi uygulanmış ve geleneksel cıvatalı bağlantılar ile benzer değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, imal edilen bağlantılar için korozyon testleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, bu yöntemin uygulanmasından zaman ve para tasarrufu elde edilebileceği ve bu yeni yaklaşımın uygulanabileceği hedef pazarlarda, kaynaklı veya somun kullanılarak oluşturulan klasik cıvatalı bağlantıların yerini alabileceği belirtilmiştir [36].

### 3.3. Alüminyum alaşımlarında sürtüneli delme uygulamaları

Endüstrinin pek çok kolunda farklı ürünlerin imalatında kullanılan alüminyum alaşımları, uzay ve havacılık endüstrisi için de oldukça önemlidir. Farklı ısı iletkenlik katsayısına sahip alüminyum alaşımlarının sürtüneli delinmesini araştıran Demir ve diğerleri; devir, ilerleme ve malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına göre sürtünme ısıları ile yüzey pürüzlülüğü ve kovan yüksekliğini araştırmışlardır. 4 mm kalınlığındaki AA1050, AA6061, AA5083 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarının; 25 mm/min, 50 mm/min, 75 mm/min ve 100 mm/min ilerleme hızlarında ve 1200 rpm, 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm, 3600 rpm ve 4200 rpm devir değerlerinde sürtüneli delme süreçlerini incelemişlerdir. Uygulama sonucu elde edilen parçalara ait görüntüler Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Sürtüneli delmenin farklı alüminyum malzemelerdeki uygulamaları  
a) AA1050 b) AA6061 c) AA5083 d) AA7075-T651

Çalışma sonucunda, yüksek devir ve düşük ilerleme hızlarında yüksek sürtünme sıcaklıkları elde edildiği tespit edilmiştir. Büyük kovan yükseklikleri ancak düşük devir ve yüksek ilerleme hızlarında oluşmuştur. Sürtüneli delme prosesinin AA5083, AA6061 ve AA7075-T651 alüminyum alaşımlarında, 2400 rpm ile kullanılan ilerleme hızlarının hepsinde uygun yüzey pürüzlülük değerlerini verdiği gözlemlenmiştir. AA1050 alüminyum alaşımının sahip olduğu yüksek termal iletkenlik katsayısı nedeniyle, optimum yüzey pürüzlülük değerleri 25 mm/min - 2400 rpm, 50 mm/min - 3000 rpm, 75 mm/min - 3600 rpm ve 100 mm/min - 4200 rpm ilerleme ve devir çiftleriyle elde edilebilmiştir [37].

Hyness ve arkadaşları AA 6061-T6 alüminyum malzemenin sürtünmeli delme prosesi kullanılarak delinmesinde, termal davranışları nümerik analizler ile incelemişler ve ısı akışını sayısal modele uygulayarak sıcaklık dağılımını gözlemlemişlerdir. Sayısal sonuçlardan, ilk birkaç milisaniye içinde takım ve iş parçasının temas noktasının maksimum sıcaklığa ulaştığını gözlemlenmiştir. Sayısal analizler, AA 6061-T6 malzemesinin merkezinin, maksimum sıcaklığını 332,85°C göstermiştir. Bu durumlarda sac malzemenin viskoplastik hale geldiğini ve bir kovan oluşturmak için dışarı aktığını tespit etmişlerdir [38].

Taguchi metodu, AA1100 alüminyum alaşımı malzemesinin üzerinde yüksek hız çeliği (HSS) malzemeli sürtünmeli delme matkabının performansını değerlendirmek için uygulanmıştır. Diwakar ve diğerleri yüksek hız çeliği bir takım ile sürtünmeli delme deneyi düzenegi tasarlamışlardır. Çalışma sonucunda, sürtünmeli delme prosesinin delme ve havşalamalı iki aşamalı prosese bir alternatif olabileceği belirtilmiştir. Düşük ve orta devirlerde delik içerisinde parlak bir yüzey elde edilirken, yüksek devirlerde delik formunun içinde lekeler görülmüştür. Deneyler, takımın, sivri uçlu bir takım ile karşılaştırıldığında daha az tork ve itme kuvveti gerektirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, iş parçası üzerinde rasgele bükülmeler gözlemlenmiştir [39]. Farklı alüminyum alaşım üzerinde benzer metotla çalışan Krishna ve arkadaşları, 1 mm et kalınlığına sahip alüminyum AA6351 iş malzemesine yüksek hız çeliği takım ile sürtünmeli delme prosesi uygulamış ve Taguchi yöntemi ile sürtünmeli delme takımının performansı değerlendirmiştir. Takımın koniklik açısının, tork ve itme kuvveti değerlerini etkileyen kritik bir parametre olduğu ve bu işlemin, delme ve havşalamalı iki aşama için bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır. Düşük ve orta devirlerde delik içerisinde parlak bir yüzey elde edilirken, yüksek devirlerde delik formunun içinde lekeler görülmüştür. İş parçası üzerinde rasgele bükülmeler gözlemlenmiştir [40].

Gevrek malzemelerde proses sonucu oluşan kovan, çatlak ve kırıklardan dolayı taç yaprağı biçiminde meydana gelebildiğinden bağlantı uzunluğunu artırmamaktadır [41]. Yapılan farklı bir çalışmada bu problem ele alınmış, gevrek bir malzeme olarak bilinen AA7075-T651 alüminyum alaşımının sürtünmeli delmesinde, ön delik derinliğinin ve çapının; kovan şekli, deformasyon ve sürtünme ısısı üzerine etkilerini araştırılmıştır. Sonuçlar, ön delik etkisinin takım ucunun geometrik boyutlarına bağlı olduğunu göstermiştir. Ön delik çapının takımın uç çapına yakın olduğu ve ön delik derinliğinin takımın uzunluğundan büyük olduğu durumlarda, başlangıç deformasyonu azalmış, sürtünme ısısı düzenlenmiş ve kovanın silindirik şeklinde daha az çatlak ve taç yaprağı oluşmuştur [42].

### **3.4. Diğer işlenebilir malzemelerde sürtünmeli delme uygulamaları**

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, sürtünmeli delme prosesinin imalatta kullanılan diğer malzemelerde de uygulanabildiği görülmektedir. Boopathi ve diğerlerinin yaptığı çalışmada konik tungsten karbür takım kullanarak pirinç, alüminyum ve paslanmaz çelik parçalar üzerinde sürtünmeli delme prosesi uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Proses sonrası takıma ait mikro görüntüler incelenmiş, pirinç malzemenin alüminyum malzemeye göre daha az yapışma özelliği gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, paslanmaz çeliğin sürtünmeli delinme süreci alüminyum ve pirinç malzemelere kıyasla daha akıcı bir süreç olmuştur. Ölçülen itme kuvvetleri karşılaştırıldığında, alüminyum için 1512 N'luk düşük bir itme kuvveti yeterli olurken, pirinç 1798 N'luk bir itme kuvveti gerektirmiştir. Paslanmaz çeliğin sürtünmeli olarak delinebilmesi için 2745 N'luk bir itme kuvveti gerektiği görülmüştür [43].

Sobotová ve arkadaşları 2 mm et kalınlığındaki AlMgSi alüminyum alaşımı, bakır, S2356JR iş parçalarını sürtünmeli delme prosesi kullanarak delmişler ve delinen kovana kılavuz çekmişlerdir. Oluşan deliklerde kovan ve pul şekilleri ile çekilen dişlerin mukavemeti incelenmiştir. Bakır parçada oluşan kovanın ve pulun çok düzgün olmadığı ancak dişlerin mekanik değerlerinin kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür [44].

Özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan dökme metallerde sürtünlü delme prosesinde oluşan malzeme çatlaklarının sebep olduğu bozuk kovan şeklinin üstesinden gelmek için deneysel araştırma çalışmaları yapılmıştır. 4 mm kalınlığında alüminyum-silisyum-bakır alaşımı A1380 ve magnezyum-alüminyum-çinko alaşımı MgAZ91D iş malzemeleri ön ısıtma uygulanarak ve uygulanmadan sürtünlü matkap ile delinmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir [45].



Şekil 10. Sürtünlü delik uygulamaları a) A1380 b) AISI 1020

Yapılan çalışma sonucunda; iş parçasına ön ısıtma uygulamanın ve yüksek iş mili hızının, gevrek döküm metalleri sürtünlü delebilmek için gerekli olan itme kuvvetini, tork, enerji ve güç değerlerini azaltmaya yaradığını kanıtlamışlardır. 100°C, 200°C ve 300°C ön ısıtma uygulanan A1380 malzeme için, yüksek iş parçası sıcaklığında kovan şekli ve kalitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yüksek iş parçası sıcaklığında kovanların formunda daha az çatlama ve taç yaprağı oluştuğu tespit edilmiştir. Oda sıcaklığındaki malzemelerde yapılan deneylerde, yüksek iş mili hızının A1380 iş parçası için kovan oluşumunu etkilemediği ancak MgAZ91D iş parçası için, oluşan kovan şekline zararı olduğu görülmüştür [45].

Mühendislik ve medikal uygulamalarında giderek artan bir şekilde ilgi duyulan bir malzeme olan titanyum malzemeye, Miller ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sürtünlü delme prosesi uygulanmıştır. Ticari saf (CP) titanyum malzemenin sürtünlü delme prosesiyle delinmenin bir sonucu olarak malzemede oluşan sertlik değişiklikleri, mikro değişiklikler, yüzey altı mikro çentikler, sıcaklık ve plastik şekil değiştirme etkileri incelenmiştir. Titanyum iş parçasının sürtünlü delme prosesi ile delinmesi oldukça zor olmuştur. Delinmiş titanyumun kovan şeklinin kısa ve kalın olduğu görülmüştür. Ayrıca, malzemenin mikro yapısında çatlak kümeleri ve yüzey tabakasında da geniş bir kırık tanımlanmıştır. Delme işlemi sırasında titanyum yüzey tabakalarında, yüksek sıcaklığa bağlı oluşan termal gerilmelerin bu çatlaklara neden olabileceği belirtilmiştir [46].

Kompleks şekilli magnezyum profiller; havacılık ve uzay, nükleer, otomotiv ve diğer mühendislik alanlarında sıkça kullanılabilir. Biermann ve arkadaşı çalışmalarında iki farklı kalınlıktaki (4 mm ve 5 mm) dövülebilir magnezyum alaşımı AZ31 malzemenin sürtünlü delinmesi esnasında, tork, aksenal kuvvet ve proses sıcaklıklarının incelenmesini amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, ilerleme arttığında uygulanan tork ve aksenal kuvvetin arttığı, ancak artan et kalınlığı ile aksenal kuvvetin düştüğü görülmüştür. Ayrıca et kalınlığındaki değişimin proses esnasında ortaya çıkan ısı miktarını da değiştirdiği gözlemlenmiştir. 5 mm et kalınlığındaki iş parçasının sürtünlü matkap ile delinmesinde maksimum sıcaklık 420°C ölçülürken, 4 mm et kalınlığındaki iş parçasının sürtünlü matkap ile delinmesinde maksimum sıcaklık 437°C olarak ölçülmüştür [47].

Lee ve diğerleri, uçak motorları, petrokimya ve nükleer endüstri bileşenlerinin üretilmesinde yaygın olarak kullanılan ve nikel bazlı bir süper alaşım olan IN-713LC malzemesinde, farklı devir ve ilerleme hızları altında sürtünlü delme deneyi gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntemle delinmiş olan

deliklerde malzeme sertleşmesi, yuvarlaklık toleransı ve yüzey pürüzlülüğü gibi özellikler incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, sertliğin delik duvarının yakınında yüksek değerlerde olduğunu ve delik kenarından uzaklaştıkça azaldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, yüksek devirlerde ve ilerleme hızlarında, daha iyi yuvarlaklık toleransı elde edilmiş ve delik yüzeylerinde pürüzsüz bir yüzey gözlemlenmiştir [48].

#### 4. Sonuçlar

Sürtünmeli delme prosesi, farklı türlerdeki ince sac malzemelerin vidalı bağlantılarında getirdiği avantajlar nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada proses; temel felsefesi, kullanılan takımlar ve uygulanan malzemeler açısından derinlemesine incelenmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Prosesinin uygulanmasından elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Sac malzemeden kayıp verilmeden malzeme yeniden şekillendirilmektedir. Bu nedenle; ince malzemelerde, malzemenin orijinal kalınlığından yaklaşık üç kat daha uzun kovan oluşturulabilmektedir.
- Proses özel dizayn edilmiş makineler gerektirmeyip, matkap ve CNC tezgahlar kullanılarak proses tek adımda gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, şişme somun veya somun kaynatma gibi ekstra operasyonlara ihtiyaç duymadığı için daha ekonomik bir yöntemdir.
- Proses, talaşsız üretim yöntemi olduğu için operasyon esnasında çevreyi kirletmemektedir.
- Çelik, paslanmaz çelik, bakır, magnezyum alaşımları, pirinç ve alüminyum da dahil olmak üzere çok sayıda malzemede proses başarıyla uygulanabilmektedir.
- Çelik malzemelerde prosesin uygulandığı yerlerdeki sertlik değerinin sürtünmenin ve ısının etkisiyle arttığı ve bu durumun dayanımı arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Çelik ve paslanmaz çelik malzemelerde, ilerleme miktarının artmasının malzemenin delik çevresinde yığılmasına sebep olduğu ve şekillendirilebilirliği olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.
- Alüminyum malzemelerde düşük devir ve yüksek ilerleme hızlarında kovan yüksekliğinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.
- Gevrek malzemelerdeki uygulamalarda, çatlak ve kırıklardan dolayı kovan geometrisi taç yaprağı biçiminde oluşabilmektedir.
- Sac malzemelerde sertliğin artması durumunda malzemenin takıma yapışmasının azaldığı gözlemlenmiştir.

#### Simgeler ve Kısaltmalar

$\alpha$	Merkez açısı (derece)
$H_c$	Merkez bölgenin uzunluğu (mm)
$\beta$	Konik bölgenin açısı (derece)
$H_n$	Konik bölgenin uzunluğu (mm)
$D$	Silindirik bölgenin çapı (mm)
$H_l$	Silindirik bölgenin uzunluğu (mm)
$t$	Malzeme kalınlığı (mm)
$d$	Delik çapı (mm)
$s$	Saniye
$min$	Dakika
$rpm$	Devir / dakika
$R_a$	Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $\mu m$ )
FCAR	Sürtünme temas alanı oranı
HSS	Yüksek hız çeliği



## Kaynaklar

- [1] Alves L.M., Dias E.J., Martins P.A.F., “Joining sheet panels to thin-walled tubular profiles by tube end forming” *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19: 712-719.
- [2] Solmaz E., Çavdar K., “Vida veriminin deneysel tespiti”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Konya Şubesi II. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, Türkiye (2003).
- [3] Shalamova P.V., Kulygina I.A., Yaroslavov E.N., “ANSYS software-based study of thermal drilling process”, *Procedia Engineering*, 2016, 150: 746-752.
- [4] Raju B.P., Swamy M.K., “Finite element simulation of a friction drilling process using deform-3d”, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2012, 2(6): 716-721.
- [5] Miller S.F., Shih A.J., “Thermo-mechanical finite element modeling of the friction drilling process”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2007, 129: 531-538.
- [6] Demir Z., “Sürtünlü delmede mikro yapı ve mikro sertliğin araştırılması”, *New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 2013, 8(1): 54-66.
- [7] France J.E., Davison J.B., Kirby P.A., “Strength and rotational stiffness of simple connections to tubular columns using flowdrill connectors”, *Journal of Constructional Steel Research*, 1990, 50: 15-34.
- [8] Ku W.L., Hung C.L., Lee S.M., Chow H.M., “Optimization in thermal friction drilling for SUS 304 stainless steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 53: 935-944.
- [9] Doğru N., “AISI 1010 Çelik Malzemenin Sürtünlü Delme Yöntemiyle Delinmesinde Delme Karakteristiklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [10] El-Bahloul S.A., El-Shourbagy H.E., Al-Makky M.Y., El-Midany T.T., “Thermal friction drilling: (a review)”, 15th International Conference On Aerospace Sciences & Aviation Technology, Cairo, Egypt (2013).
- [11] Prabhu T., Arulmurugu A., “Experimental and analysis of friction drilling on aluminium and copper”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2014, 5(5): 130-139.
- [12] El-Bahloul S.A., El-Shourbagy H.E., El-Midany T.T., “Optimization of thermal friction drilling process based on taguchi method and fuzzy logic technique”, *International Journal of Science and Engineering Applications*, 2015, 4(2): 55-59.
- [13] Eliseev A.A., Fortuna S.V., Kolubaev E.A., Kalashnikova T.A., “Microstructure modification of 2024 aluminum alloy produced by friction drilling”, *Materials Science & Engineering A*, 2017, 691: 121–125.
- [14] Sobotová L., Spišák E., “The contribution of evaluation of material joining with new technologies”, *The 11th International Scientific Conference Trends in Business Management Systems*, High Tatras (2008).
- [15] Demir Z., “A7075-T651 Alüminyum Alaşımının ve St37 Çelik Malzemesinin Sürtünlü Delme Yöntemi İle Delinmesinin Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).
- [16] Acıyan A., “Ovalama Yöntemi İle İç Vida Açma”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- [17] Matysiak W., Bernat L., “Shaping the edges using flowdrill technology”, *Metalurgija*, 2015, 54(1): 235-238.
- [18] Krasauskas P., “Experimental and statistical investigation of thermo mechanical friction drilling process”, *Mechanika*, 2011, 17(6): 681-686.
- [19] Kals H.J.J., “Flowdrilling: a preliminary analysis of a new bush-making operation”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 1983, 32(1): 167–171.
- [20] Sözügüzel D., “İnce Cidarlı CM22NBK Malzemesi İçin Sıvayarak Delme (Flowdrill) Prosesi İle Diş Açma Ve Alternatif Malzeme Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

- [21] Kanagaraju T., Peter J.S.J., Samuel D.R., Prakash J.P., “Optimization of drilling parameters for thrust force and torque in friction drilling process”, *Middle-East Journal of Scientific Research*, 2016, 24(4): 1577-1582.
- [22] Demir Z., “A7075-T651 alaşımının sürtünmeli delinmesinde takım geometrisinin etkisinin araştırılması”, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 2015, 5(1): 13-25.
- [23] Formdrill. “Catalog Formdrill”. <http://www.formdrill.com/english/catalog1.htm> (15.11.2016)
- [24] Flowdrill. “Products”. [http://www.flowdrill.com/eu\\_en/products#category-title](http://www.flowdrill.com/eu_en/products#category-title) (15.11.2016)
- [25] Centerdrill. “Products”. <http://www.centerdrill.de/english/products/centerdrill.html> (15.11.2016)
- [26] Gemalmayan N., Tunalıoğlu M.Ş., “Farklı tip ince cidarlı malzemeler için sıvayarak delik delme prosesi ile diş açma yöntemi”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası 11. Otomotiv Sempozyumu*, Bursa, Türkiye (2009).
- [27] Özek C., Demir Z., “St 37 çeliğinin sürtünmeli delinmesinde optimum dönme hızı ve ilerleme oranının araştırılması”, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, Türkiye (2012).
- [28] Kaya M.T., Aktaş A., Beylergil B., Akyıldız H.K., “An experimental study on friction drilling of St12 steel”, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 2014, 38(3): 319-329.
- [29] Chow H.M., Lee S.M., Yang L.D., “Machining characteristic study of friction drilling on AISI 304 stainless steel”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 2008, 207: 180-186.
- [30] Nardi D., López de Lacalle L.N., Lamikiz A., “Taladrado por fricción en aceros de doble fase”, *Revista de Metalurgia*, 2012, 48(1): 13-23.
- [31] [www.researchgate.net/publication/253980531 Friction Drilling of Stainless Steels pipes](http://www.researchgate.net/publication/253980531_Friction_Drilling_of_Stainless_Steels_pipes) (21.11.2016)
- [32] Miller S.F., Blau P.J., Shih A.J., “Tool wear in friction drilling”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2007, 47(10): 1636-1645.
- [33] Pantawane P.D., Ahuja B.B., “Experimental investigations and multi-objective optimization of friction drilling process on AISI 1015”, *International Journal of Applied Engineering Research*, 2011, 2(2): 448-461.
- [34] Özler L., Doğru N., “An experimental investigation of hole geometry in friction drilling”, *Materials and Manufacturing Processes*, 2013, 28(4): 470-475.
- [35] Lee S.M., Chow H.M., Huang F.Y., Yan B.H., “Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN and TiAlN-coated tungsten carbide tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2009, 49(1): 81-88.
- [36] Urbikain G., Perez J.M., Lacalle L.N.L., Andueza A., “Combination of friction drilling and form tapping processes on dissimilar materials for making nutless joints”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture 2016*, 2016: 1-14.
- [37] Özek C., Demir Z., “Investigate the friction drilling of aluminium alloys according to the thermal conductivity”, *TEM Journal*, 2013, 2(1): 93-101.
- [38] Hynes N.R.J., Kumaran M.M., Rakesh N., Gurubaran C.K., “Numerical analysis in friction drilling of AISI1020 steel and AA6061-T6 alloy”, *Recent Advances in Environmental and Earth Sciences and Economics*, Zakyntos Island, Greece (2015).
- [39] Diwakar R.V., Krishnaiah G., Gopi C., Indumathi, “Analysis in form drilling AA1100 using HSS tools”, *International Conference on Trends in Mechanical and Industrial Engineering (ICTMIE'2011)*, Bangkok, Thailand, (2011).
- [40] Krishna P.V.G., Kishore K., Satyanarayana V.V., “Some investigations in friction drilling AA6351 using high speed steel tools”, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2010, 5(3): 11-15.
- [41] Özbek C., Demir Z., “A7075-T651 alaşımının sürtünmeli delinmesinde kovan yüksekliğinin malzeme kalınlığına göre araştırılması”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2013, 4(2): 61-67.

- [42] Demir Z., “An experimental investigation of the effect of depth and diameter of pre-drilling on friction drilling of A7075-T651 alloy”, *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 2016, 1(2): 46-56.
- [43] Boopathi M., Shankar S., Manikandakumar S., Ramesh R., “Experimental investigation of friction drilling on brass, aluminium and stainless steel”, *Procedia Engineering*, 2013, 64: 1219-1226.
- [44] Sobotová L., Kmec J., Bičejová E., “Thermal drilling – new progressive technology”, *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal Of Engineering*, 2011, IX(3): 371-373.
- [45] Miller S.F., Tao J., Shih A.J., “Friction drilling of cast metals”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2006, 46(12-13): 1526-1535.
- [46] Miller S.F., Blau P.J., Shih A.J., “Microstructural alterations associated with friction drilling of steel, aluminum, and titanium”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2005, 14(5): 647-653.
- [47] Biermann D., Liu Y., “Innovative flow drilling on magnesium wrought alloy AZ31”, *Procedia CIRP*, 2014, 18: 209-214.
- [48] Lee S.M., Chow H.M., Yan B.H., “Friction drilling of IN-713LC cast superalloy”, *Materials and Manufacturing Processes*, 2007, 22: 893-897.



---

**Makale / Research Paper**

---

## **Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Karıştırma Uç Formlarının Oluşturduğu Kuvvetlerin Ve Birleşmeye Etkisinin Deneysel İncelenmesi**

**Hüdayim BAŞAK<sup>1,\*</sup>, Yunus KAYIR<sup>2</sup>, Esra Hilal TÜRKYILMAZ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara/Türkiye  
hbasak@gazi.edu.tr, hesracan85@gmail.com

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara/Türkiye  
hbasak@gazi.edu.tr

---

**Özet:** İleri teknolojilerin uygulandığı gelişmiş endüstride mekanik parçaların kaynaklı birleştirilmelerinde faz dönüşümleri ve malzemede deformasyon genellikle istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemelerin mekanik ve metalurjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile mümkündür. Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), metal malzemelerin ergitilmeden katı faz ya da yarı katı halde birleştirilerek özellikleri korunur ve daha dayanıklı ve güvenli birleştirmeler elde edilebilir. Bu yöntemde kullanılan kaynak pimlerinin seçimi ve özellikleri de malzemenin birleştirme kalitesinde önemli ölçüde etkilidir. Bu çalışma ile SKK'da kullanılan pim tasarımları gerçekleştirilerek tasarlanan pimlerin imalatları gerçekleştirilmiştir. Altı farklı tipte karıştırıcı uç(pim) tasarlanmıştır. Kaynak esnasında oluşan kuvvetler bir dinamometre yardımıyla ölçülerek en iyi performans gösteren uç tespit edilmiştir. Aynı zamanda yapılan birleştirmelerden çekme deneyi için numuneler alınıp çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlardan faydalanılarak en uygun uç tasarımına karar verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Karıştırıcı uç profili, Kuvvet Ölçümü, Çekme Testi

---

## **Experimental Investigation of the Different stirring pin forms caused force and its effects of joining on Friction Stir Welding**

---

**Abstract:** The application of the advanced technologies on developed industry, deformation and phase transformation on material in welded joints of mechanical parts is generally undesirable. To resolve these problems, it is possible to joining processes performed in the lower temperature will not affect mechanical and metallurgical properties. Metal materials properties is protected with joining solid or semi-solid phase state without melting and can be obtained more durable and Safety joining with Friction stir welding (FSW). The selection of the welding pin and properties used in this method has significantly effective on joining the quality of the material. In this study six different type stirrer pins, used FSW, have been designed and manufactured. The forces occurring during welding process was measured using a dynamometer and the best performing stirrer pin has been determined. At the same time, Specimens for tensile test have been taken from the joints made and tensile tests were carried out. Making use of all the results obtained, it was decided the most appropriate stirrer pin design.

**Keywords:** Friction Stir Welding, Stirrer pin profile, Force measurement, tensile test.

---

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Başak, H., Kayır, Y., Türkyılmaz, E.H., "Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Karıştırma Uç Formlarının Oluşturduğu Kuvvetlerin Ve Birleşmeye Etkisinin Deneysel İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 249-257.

*How to cite this article*

Başak, H., Kayır, Y., Türkyılmaz, E.H., "Experimental Investigation of the Different stirring pin forms caused force and its effects of joining on Friction Stir Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 249-257.

## 1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel yöntem olan ark kaynağı ile birleştirmelerin tüm malzemelerde kullanılamaması yeni yöntem arayışlarına sebep olmuştur. Bu sorunların ortadan kaldırılması için geliştirilen SKK, geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleriyle zor olan, özellikle yaşlanma sertleşmesine tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde başarıyla kullanılmıştır [1]. SKK ilk olarak 1991 yılında İngiltere(Cambridge)'de tanıtılmış, özellikle 1990'lı yıllarda gelişim göstermiş önemli bir kaynak yöntemidir [2- 4]. SKK halen yapılmakta olan çalışmalarla gelişim göstermektedir. Alüminyum ve alaşımlarının ergitmeli kaynak yöntemleriyle birleştirilmesinden doğan problemleri ortadan kaldırmak için birçok araştırmacı yeni yöntemler keşfetmiş ve SKK'nın farklı uygulanış yöntemleri ortaya çıkmıştır. Yapılan tüm çalışmalarda alüminyum ve alaşımlarında geleneksel yöntemlerde oluşan yüksek ısı girdisi ve bu malzemelerin ısı genleşmelerinin yüksek olmasından dolayı oluşan kaynak dikişlerindeki çatlakların oluşumunu SKK yöntemiyle yüksek oranda yok olduğu gözlemlenmiştir [5,6]. Bir katı hal kaynağı olan SKK, kaynaklı birleştirilmesi zor olan malzemelerin birleştirilme işlemlerinde kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine ait avantajlardan dolayı tercih edilmektedir. Bu yöntem herhangi bir koruyucu gaz, ilave bir kaynak metali ya da kaynak ağzı açılmasına gerek kalmadığından dolayı alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır [7].

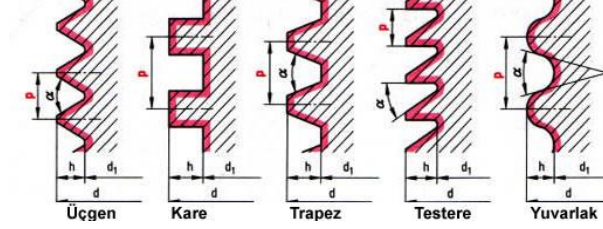
Takım ucu profilinin şekli, yumuşamış malzemenin akışını ve kaynak özelliklerini etkiler [8,9]. Üçgen takım ucu profili silindirik takım profili ile karşılaştırıldığında malzeme akışı açısından daha iyi sonuç verdiği, çalışmalarda ortaya konulmuştur [10]. AA2024-T4 ve AA7075-T6 alüminyum alaşımları birleştirmelerinde 3 oluklu konik diş geometrisine sahip takım uç profilleri iyi kaynak birleştirmeleri sonucu vermişlerdir [11]. Pirinç malzemesinde Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen takım uç profilinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelendiği çalışmalar da mevcuttur [12]. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmelerinde farklı uç profillerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini inceleyen çalışmalar da yapılmıştır [13]. Aynı zamanda SKK'nın modellendiği çalışmalara da literatürde yer verilmiştir [14]. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirmelerde oluşan kuvvetlerin ölçümüne yönelik bazı çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Melendez ve arkadaşları, iş parçasında oluşan dikey kuvvetleri ölçmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [15]. Yang ve arkadaşları [16], yük hücresi kullanarak SKK esnasında iş parçasında oluşan dikey kuvvetleri tespit eden bir algoritma önermişlerdir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynaklama esnasında ortaya çıkan dikey kuvvetleri ölçen bazı çalışmalar da yapılmıştır [17,18].

Bu çalışmada Al6066 kalite alüminyum alaşımı, farklı geometri ve farklı adımlara sahip karıştırıcı uçlar kullanılarak SKK yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirme esnasında  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  kuvvetleri ve  $M_z$  moment ölçülmüştür. Deneyler sırasında uç devir sayısı ve ilerleme hızları sabit bir değer olarak belirlenmiştir. Kaynak işlemleri sonucunda numunelerden çekme deneyleri gerçekleştirilerek oluşan kuvvet ve momentlerle çekme deneyi sonuçları tartışılmıştır. Bu sayede oluşan kuvvetler, momentler ve çekme deneyi sonuçlarına göre en iyi uç profili tespit edilmeye çalışılmıştır.

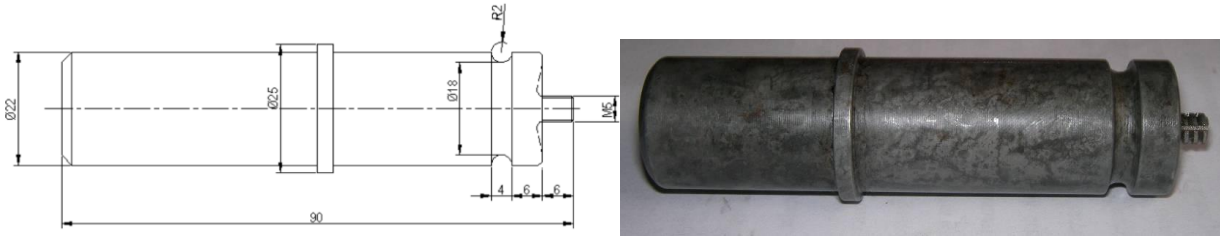
## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada AA6066 kalite alüminyum alaşımının farklı uç profillerine sahip karıştırıcı takımlar kullanılarak SKK ile birleştirilmesi esnasında oluşan kuvvetlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen birleştirmelerden çekme numuneleri çıkartılarak çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. SKK esnasında oluşan kuvvetler ile çekme deneyi sonuçları beraber değerlendirilerek en iyi karıştırıcı uç'a karar verilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada pim tasarımı ile bağlama kalıbı tasarımı yapılmış ve pimlerin ve bağlama kalıbının imalatları gerçekleştirilmiştir. Karıştırıcı ucun profil tasarımı ve ölçüleri SKK'yı etkileyen önemli parametrelerden biridir. Karıştırıcı uç malzemesi olarak AISI4340 ıslah çeliği tercih edilmiştir ve

malzeme 50-52 HRC sertliğinde ısıl işleme tabi tutulmuş ve karıştırıcı uçlar SKK yönteminde kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Tasarımda pimin çapı  $\varnothing 5$  olarak alınmış ve üzerine aynı adım (p) değerinde yuvarlak, kare, trapez, testere, üçgen vida açılarak 5 adet vidalı uç (Şekil 1) ile ham kanallı pim tasarımı olmak üzere toplamda 6 adet pim tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan karıştırıcı uç'a ait temel ölçüler ve imalatı gerçekleştirilen karıştırıcı uç örneği Şekil 2'de verilmiştir. Vida çekilmiş pimlerde vida adımı (P) 1mm pim boyu ise 5mm olarak alınmıştır.

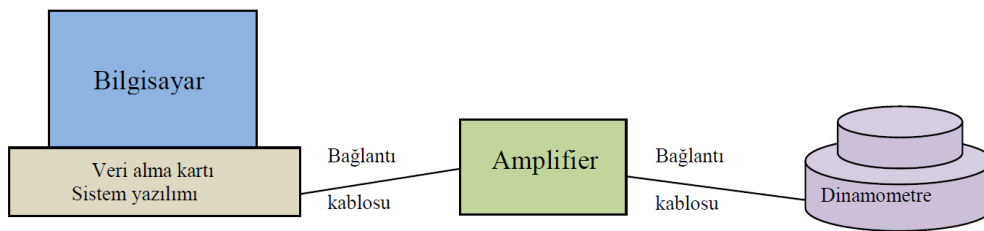


Şekil 1. SKK için kullanılan uçlara ait Vida profilleri (p: Vida adımı,  $\alpha$ : Vida açısı, h: Vida derinliği, d1: Vida diş dibi çapı, d: Vida diş üstü çapı)



Şekil 2. Temel olarak tasarlanan karıştırıcı uç formu geometrik boyutları ve imal edilen karıştırıcı uç örneği

SKK ile birleştirilecek parçaların bağlanabilmesi için, dinamometre üzerine monte edilebilecek kabiliyette bir bağlama kalıbı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, Ünlversal Freze tezgâhında aynı parametreler (ilerleme f (mm/dev), Devir sayısı (dev/dak) ) kullanılarak parçalar SKK yöntemi ile birleştirilmiştir. Bu işlem esnasında 4 bileşenli ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  ve  $M_z$ ) ölçüm yapabilen bir dinamometre kullanılarak her pim tasarımı için kuvvet ve Moment ölçümleri yapılmıştır. Dinamometre, kuvvet ve moment ölçümleri için, üzerinde bulunan yükleri yönlerine göre (X,Y,Z) algılayan ve sinyaller üreten piyasada hazır olarak temin edilebilecek KISTLER marka bir dinamometredir. Sistemde dinamometrenin oluşturduğu sinyalleri algılayan ve bilgisayar veri alma kartının algılamasını sağlayan bir Amplifier kullanılmıştır. Bilgisayara dinamometreden gelen ve amlifierle yükseltelen sinyallerin alınması için 16 kanaldan veri alabilecek kapasitede bir veri kartı kullanılmış ve bu karta deney setinde kullanılmak üzere bir yazılım yüklenmiştir. SKK gerçekleştirilirken oluşan kuvvet ve momentlerin ölçülmesinde kullanılan düzeneğin şematik resmi Şekil 3 de verilmiştir.



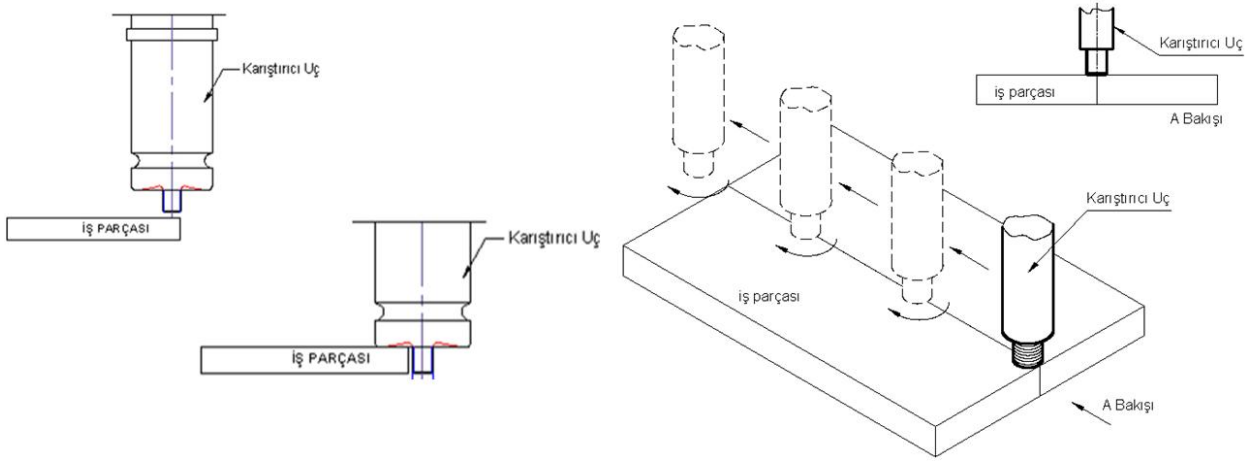
Şekil 3. Test düzeneği kurulumu

Birleştirilen parçaların çekme mukavemetlerini analiz edebilmek için numuneler alınmış ve bu numunelerin çekme deneyleri Instron 3369 marka çekme cihazında 50kN çekme kuvveti ve 1mm/dak ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.

### 3. Deneysel Sonuçlar

#### 3.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme kaynak yöntemi örnek alınarak SKK yöntemi geliştirilmiştir. Bu kaynak, yüksek devirde dönen omuzlu bir karıştırıcı ucun, alın altına sabitlenmiş iki levhaya daldırılarak hat boyunca belirli bir hızda ilerletilmesi ile gerçekleştirilir. Yöntemin özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan AA alaşımların birleştirilmesinde kullanıldığı görülmektedir. Bu kaynak yöntemi 1 mm' den az 35 mm' den daha kalın olan ve kaynaklanamaz olarak düşünülen alüminyum malzemelere uygulanmış ve çok iyi mekanik özellikler elde edildiğini görülmüştür [19]. SKK'nın yapım yöntemi Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Karıştırıcı ucun, alüminyum malzemeye kaynak öncesi hizalanması ve alaşımlı malzemeye karıştırıcı ucun yanaşması [19,20].

Deneysel de kullanılan parametreler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 Deneysel parametreleri

Malzeme	AA6066 80×120 mm prizmatik parça
Karıştırıcı uçlar	Farklı uç profillerine sahip 6 adet (K1, K2, K3, K4, K5, ve K6)
İlerleme (f)	31.5 mm/dk.
Devir Sayısı (S)	900 dev/dak
SSK için kullanılan Tezgah	Taksan 40T1500 Üniversal dik freze tezgahı.

Al6066 lama parçaları bağlama kalıbına alın altına gelecek şekilde bağlanarak işleme hazır hale getirilmiştir. Karıştırıcı uç Ø22'lik pens yardımı ile dikey freze tezgâhına bağlanmıştır. İşlem esnasında oluşan kuvvetleri ölçmek için tezgâh tablasına bir dinamometre düzeneği kurulmuştur. Bağlama kalıbı dinamometreye uygun şekilde civatalar yardımıyla bağlanmıştır. SKK için tespit edilen uygun devir sayısı (900mm/dak), ilerleme hızı (31,5mm/dak) kullanılarak iki parçanın birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

### 3.2. Dinamometre Ölçümleri

Yapılan ölçümlerde, Mz, moment değeri, SKK ucun kendi eksenini dönüşü sırasında durdurmaya çalışan yükü, Fz kuvveti, karıştırıcı uçtan yukarı doğru çıkan malzeme hamurunun kesiciyi yukarıya doğru itme yükü, Fx ise karıştırıcının ileriye doğru gitmesi sırasında kesicinin hareketini durdurmaya çalışan yükü temsil etmektedir. SKK deneyleri sırasında elde edilen grafiklerin yorumlanmasında, Fy yükü dikkate alınmamıştır. Çünkü SKK işlemi sırasında kullanılan karıştırıcıların dönme ve ilerleme olmak üzere iki hareketinden dolayı Mz, Fx yüklerinin etkili, karıştırılan AA6066 hamurunun kesiciyi yukarı doğru itmeye çalışmasından dolayı da Fz yükünün etkili olduğu varsayılmıştır. Dolayısı ile bu çalışmada dinamometre ölçülen üç kuvvet (Fx, Fy, ve Fz) ve bir momentin (Mz) değerlendirilmesinde Fy kuvveti değerlendirme dışında bırakılmıştır.

Altı farklı (K1, K2, K3, K4 ve K6) uç ile SKK deneylerin yapılması sırasında olası problemlerle (kırılma, kaynak işleminin yapılamaması, vb.) karşılaşılmamış olup kaynaklı birleştirmeler istenilen şekilde tamamlanmıştır. Deneyler sırasında dinamometre ile ölçülen kuvvetler ve moment değerleri Tablo 2’de, grafikler ise şekil 5’te toplu olarak gösterilmiştir.

Tablo 2’de sırası ile verilen Moment (Mz) değerleri incelendiğinde, en düşük moment değerinin (921 Ncm) yuvarlak (K2) ve kare (K4) vidalı uçlarla elde edildiği görülmektedir. Bu durumda, AA6066 malzemelerinin SKK yöntemi ile birleştirilmesinde kesici kırılmalarının en az yaşanacağı uç profillerinin yuvarlak ve kare vidalı uçların olacağı yorumlanabilir. Bununla birlikte ise en yüksek Mz değerinin (6450 Ncm) K1 uça (Ham kanallı) ortaya çıktığı görülmektedir. Dolayısı ile AA6066 malzemelerin SKK ile birleştirilmesinde K1 ucun uygun olmayacağı, işlemin zor gerçekleştirileceği, hatta uçların kırılacağı sonucu çıkarılabilir.

Tablo 2’de verilen Fz değerleri incelendiğinde; karıştırıcı ucun vida tipi ve vida helis yönünün (burada tüm vidalı uçların vida helis yönü aynıdır) Fz kuvvetine etki ettiği görülmektedir. SKK işlemi sırasında sıcaklıkla birlikte hamurlaşan malzeme uçlar ile karıştırılırken aynı zamanda uçların vida helis yönü ile malzeme alttan yukarı doğru itildiği düşünülmektedir. Fakat Malzemenin yukarı doğru itilmesinde en düşük Fz (121 N) değerini yine normal üçgen vidalı uç (K3) vermiş olup diğerleri daha yüksektir. Bu durumda, SKK yöntemi ile AA 6066 parçalarının birleştirilmesinde üçgen vidalı uç ile ucu zorlamayacak olan en düşük Fz değerlerinin oluşacağı sonucuna varılabilir. Bununla birlikte kullanılan uçlar içinden ise en yüksek Fz değeri (5214 N) yuvarlak vida (K2) ile oluşmaktadır. Yuvarlak vidalı uç ile AA6066 hamuru parçaların alt yüzeyinden üs yüzeyine doğru büyük bir güç ile ilettiği söylenebilir.

Tablo 2’de verilen Fx değerlerine bakıldığında ise; en düşük değer (365 N) Üçgen vidalı uç (K3) ve en yüksek değer ise (1150 N) Testere vidalı uç (K6) ile elde edilmiştir. Bu durumda kesici AA6066 parçalarının SKK ile birleştirilmesi sırasında kaynak boyunca ucun ilerlemesinde üçgen vidalı ucun daha kolay (zorlanmadığı) ilerleyeceği, testere vidalı ucun ise daha zor (zorlandığı) ilerleyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

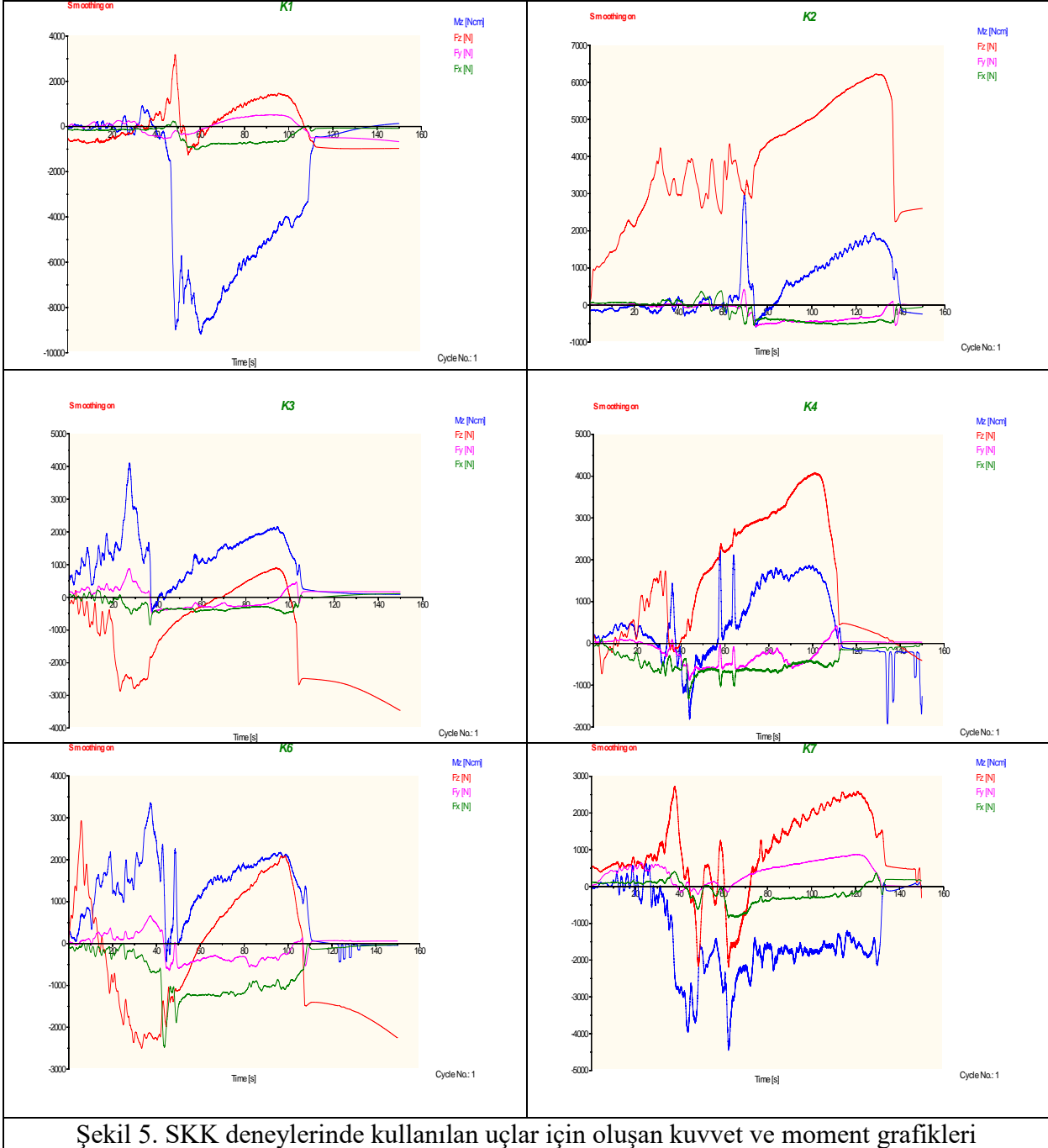
Tablo 2. SKK deneylerinde kullanılan uçlar için belirlenen kuvvet ve moment değerleri

Deneyler	Kesici No	İlerleme f(mm/dev)	Devir S(dev/dak)	Kesici (K) Uc Tipi	Mz (Ncm)	Fz (N)	Fy (N)	Fx (N)
1	K1	31.5	900	Ham kanallı	6450	615	260	760
2	K2	31.5	900	Yuvarlak Vida	921	5214	421	451
3	K3	31.5	900	Üçgen Vida	1165	121	276	365
4	K4	31.5	900	Kare Vida	921	2770	437	625
5	K6	31.5	900	Testere Vida	1555	800	390	1150
6	K7	31.5	900	Trapez	1875	1270	565	375



Tablo verileri, Şekil 5'te verilen grafiklere bakıldığında SKK uçlarının işlem süresince karşılaştıkları yükler daha kolay görülmektedir.

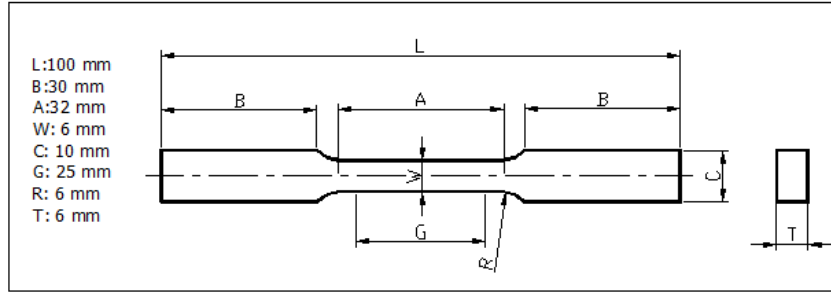
Sonuç olarak SKK işlemi sırasında gene itibari en düşük yükleri üçgen vidalı uçlar ile elde edilebileceği yorumunu yapmak zor olamayacaktır. Diğer bir deyişle SKK işlemi için değişik profillere sahip uçlar içinde en uygun sonucu üçgen vidalı uç ile elde edileceği anlaşılmaktadır. Bu varsayım, SKK yapılan deney numunelerine uygulanan çekme sonuçları da (Şekil 6) göstermektedir.



### 3.3. Çekme testi

SKK yöntemiyle bileştirilen kaynak numunelerinden 3 er Adet çekme numunesi çıkartılmıştır. Numuneler tel erozyon tezgahında istenilen ölçülerde kesilerek deney için hazır hale getirilmiştir. Çekme deney numuneleri TSE 138'e göre standart çekme numune ölçülerine göre hazırlanmıştır

[21]. Çekme deneyi için hazırlanan numunelerin çekme deneyleri Instron 3369 marka çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında çekme hızı=5 mm/dak ve Ön yük=10 N olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da çekme deneyi için hazırlanan parçanın geometrik boyutları verilmiştir.



Şekil 6. Çekme deneyi için hazırlanan numunelerin geometrik boyutları

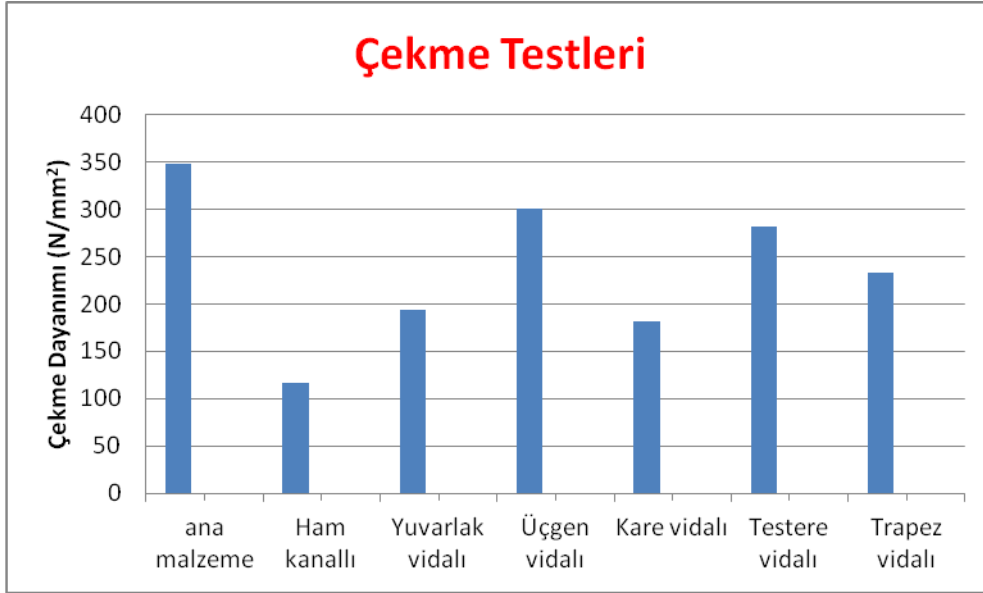
Çekme testine tabi tutulan çekme değerleri tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Çekme testi sonuçları

Deney No	Parça / SKK kullanılan Uç	Çekme Değeri(N/Mm <sup>2</sup> )
0	Ham parça	347,68
1	Ham kanallı uç	116
2	Yuvarlak vidalı karıştırıcı uç	193,4
3	Üçgen vidalı karıştırıcı uç	301,02
4	Kare vidalı karıştırıcı uç	181,65
5	Testere vidalı karıştırıcı uç	281,67
6	Trapez vidalı karıştırıcı uç	232,55

Vidalı karıştırıcı uçlar ile SKK'ya tabi tutulan numunelerin çekme mukavemeti, esas parça çekme mukavemetine yakın değerlerde çıkmıştır. Üçgen (metrik) vidalı karıştırıcı uç ile birleştirilen numunenin çekme mukavemeti en iyi değer (301,02 N/mm<sup>2</sup>) olarak elde edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti (116 N/mm<sup>2</sup>) ise Vidasız kanallı profile sahip karıştırıcı uç ile elde edilmiştir.

Vida açılmayan karıştırıcı uç ile elde edilen çekme mukavemeti istenilen seviyenin çok altında çıkmıştır. Vidalı karıştırıcı uçlar ile yapılan numune parçalarda en düşük çekme mukavemeti kare vidalı karıştırıcı uç ile elde edilmiştir. SKK işleminin etkili olabilmesi için karıştırıcının yüzey alanının fazla olması gerektiği söylenebilir. Bu nedenle karıştırıcı uç geometrisine bağlı olarak yüzey alanı parametresinin doğrudan SKK işlemini etkilediği düşünülmektedir. Çünkü yüzey alanı artarken sürtünme işlemi daha etkili olacağından ortaya çıkan ısı miktarı da fazla olacaktır. Böylece iki parçanın birleştirilmesinde daha düzgün bir karışım sağlanacağı söylenebilir. Kullanılan vida geometrilerinin kaynak esnasında parçalarla temas ettikleri yüzey alanları düşünüldüğünde elde edilen çekme mukavemeti sıralamasının da mantıklı olduğu kanaati oluşmuştur.



Şekil 7 Çekme testi sonuçları

## 5. Sonuç Ve Öneriler

Bu çalışmada SKK tekniği kullanılarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiş ve uç profillerine bağlı olarak bir dinamometre vasıtasıyla oluşan kuvvetler ve moment değerleri belirlenmiştir. SKK tekniği ile birleştirilen numunelerden çekme deneyi için numuneler alınmış ve çekme deneyi testleri gerçekleştirilmiştir. En iyi performansı sağlayan karıştırıcı uç tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonunda elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

- Karıştırıcı uçlarda en iyi performans ve en mukavemetli birleştirme üçgen dişten elde edilmiştir. Karıştırıcı uç tasarımlarında bu tipin tercih edilmesi tavsiye edilir.
- Vidasız karıştırıcı uç ile yapılan kaynaklarda çekme kuvveti istenilen düzeyde olmamıştır.
- Vida çekilmiş karıştırıcı uçlar ile yapılan birleştirmelerde en kötü çekme mukavemeti sonucu kare dişli karıştırıcı uç ile birleştirilen numuneden elde edilmiştir.
- SKK yöntemi ile esas malzemeye yakın çekme mukavemeti elde edilebilir.
- Karıştırıcı uç tasarımlarında sürtünme yüzeyi fazla olan uçlar tercih edilirse birleşme daha homojen ve sağlıklı olabilir.
- Karıştırıcı ucun vida sürtünme yüzeyinin büyüklüğü, kaynaklı birleşmenin çekme mukavemetini arttırdığı söylenebilir.
- SKK işlemi sırasında kullanılan karıştırıcıların dönme ve ilerleme olmak üzere iki hareketinden dolayı Mz, Fx yüklerinin etkili, karıştırılan AA6066 hamurunun kesiciyi yukarı doğru itmeye çalışmasından dolayı da Fz yükünün etkili olduğu anlaşılmıştır.
- SKK işlemi sırasında genel itibari en düşük yükleri üçgen vidalı uçlar ile elde edilebileceği anlaşılmaktadır.
- SKK işlemi için değişik profillere sahip uçlar içinde en uygun birleşimin üçgen vidalı uç ile elde edileceği görülmüştür. SKK yapılan deney numunelerine uygulanan çekme değerleri (Şekil 7) bunu kanıtlamaktadır.

## Kaynaklar

- [1] G. Çam: Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) :Al-alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak Teknolojisi, Mühendis ve Makine,46-541 (2005), pp. 30-39

- [2] H. Uzun, R. Özbekmez: Sürtünme Karıştırma ve Elektrik Ark Kaynak Teknikleri ile Birleştirilen CuZn30 Levhaların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 12-1, (2008), pp. 9-16.
- [3] W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham, M.G. Murch, P. Temple-Smith, C.J. Dawes: Friction Stir Butt Welding. International Patent Application No PCT/GB92/02203, GB Patent Application No.9125978.8, (1991)
- [4] W. M. Thomas, E.D. Nicholas: Friction Stir Welding For The Transportation Industries, Materials and Design, 18-4 (1998), pp. 269-273.
- [5] A. Kurt, M. Boz, M. Özdemir: Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi, Gazi Ün. Müh. Fak. Der., 19-2, (2004), pp. 191-197.
- [6] A. Şık: Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilen Alüminyum Levhaların Eğme Ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9-2, (2005), pp. 12-17.
- [7] M. Çakır, A. Kurt, H. Ateş: Toz Metal Al Malzemelerin Sürütme Karıştırma Kaynağında Devir Sayısının Kaynaklanabilirliğe Etkisi, Mühendis ve Makine, 49-580, (2008), pp. 3-8.
- [8] M. K. Yadava, R. S. Mishra, Y. L. Chen, B. Carlson, G. J. Grant: Study of friction stir welding of thin aluminium sheets in lap joint configuration, Sci. Technol. Weld Join, 15-1, (2010), pp. 70-75.
- [9] D. H. Choi, B. W. Ahn, C. Y. Lee, Y. M. Yeon, K. Song, S. B. Jung: Effect of pin shapes on joint characteristics of friction stir spot welded AA5J32 sheet, Mater. Trans., 51-5, (2010), pp. 1028-1032.
- [10] S. Hirasawa, H. Badarinarayan, K. Okamoto, T. Tomimura, T. Kawanami: Analysis of effect of tool geometry on plastic flow during friction stir spot welding using particle method, J. Mater. Process. Technol., 210-11, (2010), pp. 1455-1463.
- [11] M. Aissani, S. Gachi, F. Boubenider, Y. Benkedda: Design and optimization of friction stir welding tool, Materials and Manufacturing Processes, 25-11, (2010), pp. 1199-1205.
- [12] A. Kumar, L. Suvarna Raju: Influence of Tool Pin Profiles on Friction Stir Welding of Copper, Materials and Manufacturing Processes, 27, (2012), pp. 1414-1418.
- [13] M. Boz, A. Kurt: The influence of stirrer geometry on bonding and mechanical properties in friction stir welding process, Materials & Design, 25-4, (2004), pp. 343-347.
- [14] H. Okuyucu, A. Kurt, E. Arcaklioglu: Artificial neural network application to the friction stir welding of aluminum plates, Materials & Design, 28-1, (2007), pp. 78-84.
- [15] M. Melendez, W. Tang, C. Schmidt, J. C. McClure, A. C. Nunes, L. E. Murr: Tool Forces Developed during Friction Stir Welding, Nasa Technical Reports Server, (2003), Document ID: 20030071631.
- [16] Y. Yang, P. Kalya, R. Landers, K. Krishnamurthy: Automatic Gap Detection in Friction Stir Butt Welding Operations, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 48, (2008), pp.1161-1169.
- [17] S. Mandal, J. Rice: Experimental and Numerical Investigation of the Plunge Stage in Friction Stir Welding, Journal of Materials Processing Technology, 203, (2008), pp. 411-419.
- [18] H. Badarinarayan, Y. Shi, X. Li, K. Okamoto: Effect of Tool Geometry on Hook Formation and Static Strength of Friction Stir Spot Welded Aluminium 5754-0 sheets, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 49, (2009), pp. 814-823.
- [19] H. Basak, K. Kaptan: Analyzing The Effects Of Different Stirrer Pin Forms Over The Quality Of Joining In Friction Stir Welding Joints, Materiali in tehnologije / Materials and Technology, 49-5, (2015), pp. 693-701.
- [20] H. Basak, S. Ozkan, A. Taskesen: Application of burnishing process on friction stir welding and investigation of the effect of burnishing process on the surface roughness, hardness and strength, Experimental Techniques, 35,1, (2011), pp. 8-16.
- [21] Turkish Standard Institution organization TSE 138



---

**Research Paper / Makale**

---

**Nondestructive Testing of Welded Test Setup Construction By  
Vibrational Behaviour**

**Salih Seçkin EROL<sup>1,a</sup>, Cemal MERAN<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık University, Mechanical Engineering Dept.

<sup>2</sup>Pamukkale University, Mechanical Engineering Dept.

<sup>a</sup>sserol@kilis.edu.tr, <sup>b</sup>cmeran@pau.edu.tr

---

**Abstract:** In this study, the factors influencing the root causes of failure initiations are examined by conducting the original experimental implementation and condition monitoring techniques on a welded test setup construction. In target of root cause failure detection, vibration data are acquired through radial and axial directions for the analysis. A test setup system has been designed by gathering inspiration from an existing system in industrial environment and the test setup constructed by welding method in joinings of main steel parts. Unbalance and mechanical looseness failures are practised at one rotation frequency on the test setup. Vibrational data are collected in three axis simultaneously through four-channel data acquisition card (DAQ) integrated with the computer system. According to the study results, vibration analysis in detection of tested failures has been judged to be successful. In the study, it is mentioned that prognosis and diagnosis may go in incorrect evaluation respect to the concurrent symptoms of failure data consisting main orders of the base frequency and natural frequencies that lead to resonance.

**Keywords:** Vibration; fourier; signal; welded.

---

**Titreşim Davranışı ile Kaynaklı Test Düzeneği Konstrüksiyonunun  
Tahribatsız Test Edilmesi**

---

**Özet:** Bu çalışmada, arıza kusur kök nedenlerine etki eden faktörler, kaynaklı bir test düzeneği ve özgün deneysel uygulama ile durum izleme teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Kök neden arıza tespiti hedefine ulaşabilmek için ise, titreşim verileri radyal ve aksel yönlere toplanmıştır. Bu test düzeneği kurulumu endüstriyel ortamda varolan bir sistemden esinlenerek dizayn edilmiş ve test düzeneğinde ana düzenek, sehpa parçaları kaynaklı yöntemle birleştirilme yoluna gidilmiştir. Dengesizlik ve mekanik gevşeklik kusurları test düzeneğinde belirlenmiş dönme frekansı etkisinde oluşturulmuştur. Titreşim verileri bilgisayar sistemi ile entegre dört kanallı veri toplama kartı (DAQ) aracılığıyla aynı anda üç eksenle toplanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, test edilen kusurların tespiti titreşim analizi ile başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada, prognoz ve diyagnoza dayalı teşhis ve tanı işlemlerinde, temel frekans ve rezonansa neden olan doğal frekansların çakışmalarından dolayı eş zamanlı belirtilerin yanlış değerlendirmelere neden olabileceği ortaya konulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Titreşim; fourier; sinyal; kaynaklı.

---

How to cite this article

Erol, S.S.; Meran, C., "Nondestructive Testing Of Welded Test Setup Construction By Vibrational Behaviour" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 258-265.

Bu makaleye atıf yapmak için

Erol, S.S.; Meran, C., "Titreşim Davranışı ile Kaynaklı Test Düzeneği Konstrüksiyonunun Tahribatsız Test Edilmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 258-265.

## 1. Introduction

In order to reduce the unit production cost; various optimization methods, logistics, spare parts, work-study applications, six sigma and many other methods are implemented within the scope of lean manufacturing techniques and operations research. By spreading in our country, innovative maintenance techniques of predictive maintenance based on condition monitoring will consequence in nominal or extended machine life; and other consequences will be increase in quality product output, reducing in spare parts inventory, falling in product unit cost and probable positive developments in occupational health. Not only large enterprises benefits from innovative condition monitoring techniques, but also widespreading in small and medium-sized enterprises will maintain benefits mentioned above and also will have gainings in prevention of electrical losses and less unscheduled interruptions due to mechanical failures such as misalignment, unbalance, mechanical looseness, bearing damage. These gainings will make a significant contribution in sustainability of the quality production.

In dynamic systems, there are two main reasons controlling the amplitude and frequency of vibration as external forces and system dynamic characteristics. Alternating any of these reasons will change the vibration response occurred in the system. [1]. Because the machine is sensitive to the slightest structural or procedural changes in the vibration response, vibration analysis in business is one of the most popular and accepted methodology [2]. Case basis of the monitoring techniques, degradation processes to identify some of the features indicative of equipment with appropriate reading of sensor measurements and these features are based on an understanding of health care equipment and monitoring techniques [3]. Heart of the condition-based maintenance is the continuous monitoring process enables the display state of signals by using certain types of sensors and indicators [4]. The machine has usually suffered specific damages that can be traced throughout the operational life cycle of the machine type. Machine condition monitoring technology is the science of examining and evaluating, mostly based on vibration measurement including collection of symptoms and analysing symptomatic status [5]. In the machine that has rotating elements; defect phenomenons are inevitable while symptoms such as heat accumulating, wear, looseness etc. can not be detected at the initiation period which are caused by failures in manufacturing, installation and tolerance. In order to detect initiation of defects over rotor, model or signal based methods are used in general [6]. Maintenance plans are prepared based on condition monitoring techniques in order to detect failures in the early state and to prevent unplanned stoppages in induction machines. [7].

## 2. Material-Methods

Test apparatus; AC induction motor, double inlet centrifugal fan, consists of five feet of flexible coupling and frequency changer. The test apparatus is placed on the steel sheet and a stable tripod. The system as a whole, data acquisition card and the motor is integrated in monitoring system associated with a computer system. In order to join steel parts, welding has been implemented for construction of the test setup. Testing apparatus in Figure 1 presents the view.

Theoretically the frequencies used in the test (T) and applied (A) are shown in Tab. 1, the approximate values. Theoretical frequencies shows the value set on the digital frequency changer; according to data obtained during the application of the numerical frequency value set, actual frequency ranging suffered some losses. Harmonic 1x expressed as a frequency value that is recognized as the fundamental frequency; 2x, 3x and the values in the upper orders and are called harmonics of the fundamental frequency. In the table, the frequency is set with the f symbol for frequency converters and represents the harmonic order with h symbol.

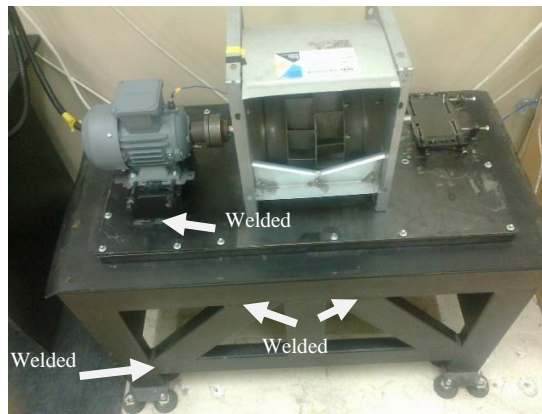


Figure 1. Welded Construction Test Setup

Table 1. Harmonics in theoretical and application - f(Hz), h(x)

(h)	1x		2x		3x		4x		5x	
	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A
50	50	47,61	100	95,22	150	142,83	200	190,44	250	238,05

Measurements were made during the tests at electrical frequency of 50 Hz and rotational period was measured as 2800 min<sup>-1</sup>. Possible failure frequencies and harmonics is taken into account when calculating the bearing and fan-induced vibrations of the test apparatus.

Over the basic failure frequency measurements made by calculating bearing related equations are presented in Tab. 2.

Table 2. Main failure frequencies

f (Hz)	$\omega_s$ (Hz)	$\omega_{bpf}$ (Hz)	$\omega_c$ (Hz)	$\omega_{bpfo}$ (Hz)	$\omega_{bpfi}$ (Hz)	$\omega_{bsf}$ (Hz)
50	47,61	476,1	19	152	248	98,16

Frequency calculations relevant with bearing :

$$\omega_{bpfo} = \omega_s \left( \frac{n}{2} \right) \left[ 1 - \left( \frac{d}{r} \right) \cos \phi \right] \tag{1}$$

$$\omega_{bpfi} = \omega_s \left( \frac{n}{2} \right) \left[ 1 + \left( \frac{d}{r} \right) \cos \phi \right] \tag{2}$$

$$\omega_{bsf} = \omega_s \left( \frac{d}{2r} \right) \left[ 1 - \left( \frac{d}{r} \cos \phi \right)^2 \right] \tag{3}$$

$$\omega_c = \frac{\omega_s}{2} \left[ 1 - \left( \frac{d}{r} \right) \cos \phi \right] \tag{4}$$

$$\omega_{bpf} = \omega_s n_b \tag{5}$$

$\omega_{bpfo}$ : Outer ring passing frequency (Hz),  $\omega_{bpfi}$ : Inner ring passing frequency (Hz),  
 $\omega_{bsf}$ : Ball spin frequency (Hz),  $\omega_c$ : Cage frequency (Hz),  $\omega_s$ : Shaft frequency (Hz),  
 $\omega_{bpf}$ : Fan blade passing frequency (Hz), n: Number of balls, r: Diameter of ball,  
 $\phi$ : Angle of contact, d: Diameter of division circle,  $n_b$ : Number of fan blades = 10

Unbalance mass in the test was performed by loading 23 g of weight, as shown in Figure 2.

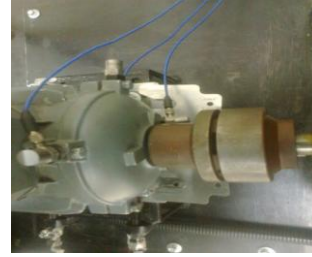
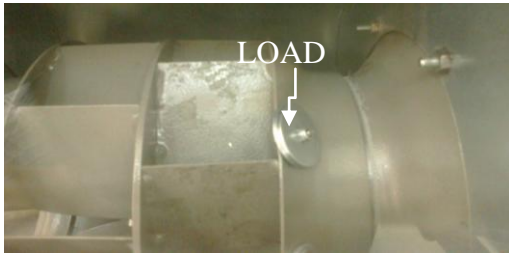


Figure 2. Unbalance phenomena on fan wings    Figure 3. Mechanical looseness at footings by shim

At 0.1 mm and 0.5 mm level in vertical direction, all consequences brought occur at two different levels as looseness in the front two legs of the electric motor in Figure 3 is examined.

### 3. Experimental

Vibration measurements are done in radial (vertical, horizontal) and axial measurements during the tests. In this study, the data collected through the vertical direction is presented in the name of radial direction. In order to detect natural frequencies for comparison, damping tests are implemented on welded test setup when the system is not dynamic.

#### 3.1. Failure of unbalance at 23g level

In the radial direction according to Figure 4, maintaining 23 g load caused unbalance symptom as dominant harmonic 1x and it is observed as the highest amplitude vibration signal of 2.29 m/s<sup>2</sup>, and 1x in the axial direction as the second harmonic is observed through dominant signals. Unbalance effect has been detected significantly in the radial, axial direction and irregularities are found in values of the peak-to-peak waveform chart.

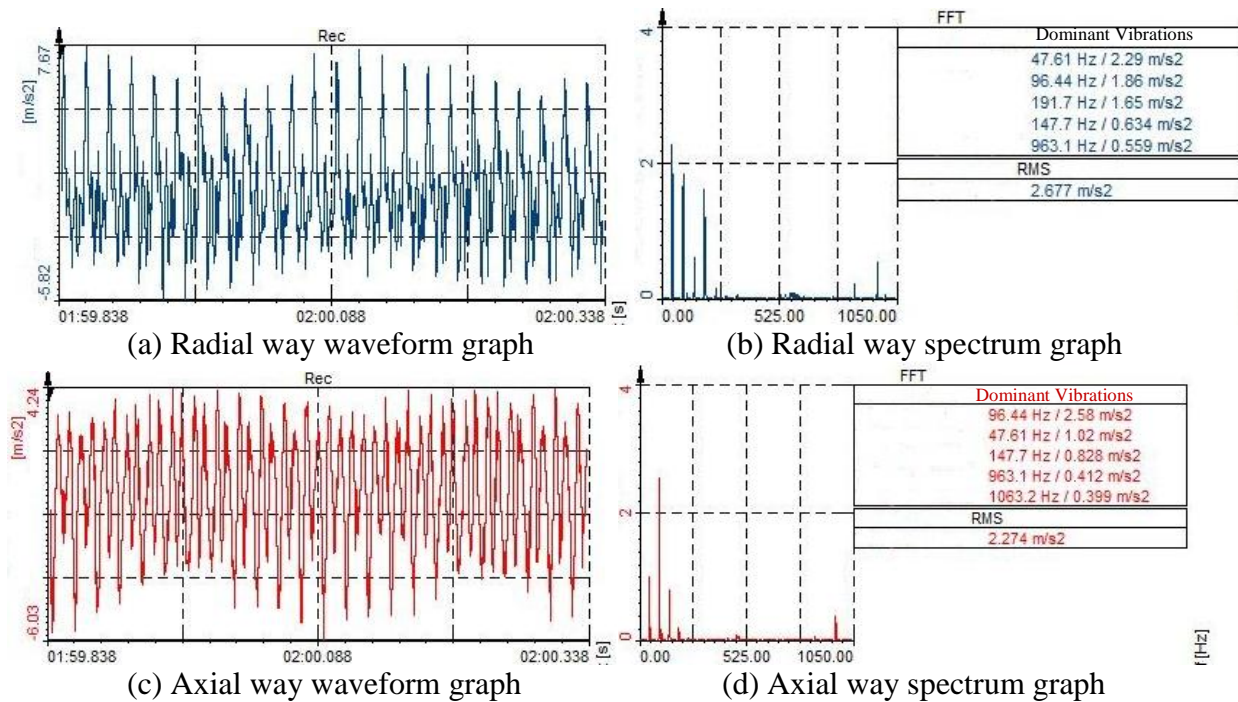


Figure 4. Vibrational data of unbalance failure at rotating speed 2880 min<sup>-1</sup>



In both directions regarding bearing defect frequencies zone, cage frequency harmonic  $51x\omega_c$  excited natural frequency signal at 963.1 Hz and it has emerged among the top five in the frequency of the dominant signals. In the axial direction regarding bearing defect frequencies zone, it is observed that natural frequency at 1063.2 Hz has been excited by cage frequency harmonic  $56x\omega_c$ . Unbalance effect in the radial direction spectral data is detected as clearly, misalignment symptom appeared on the axial direction in spectral data.

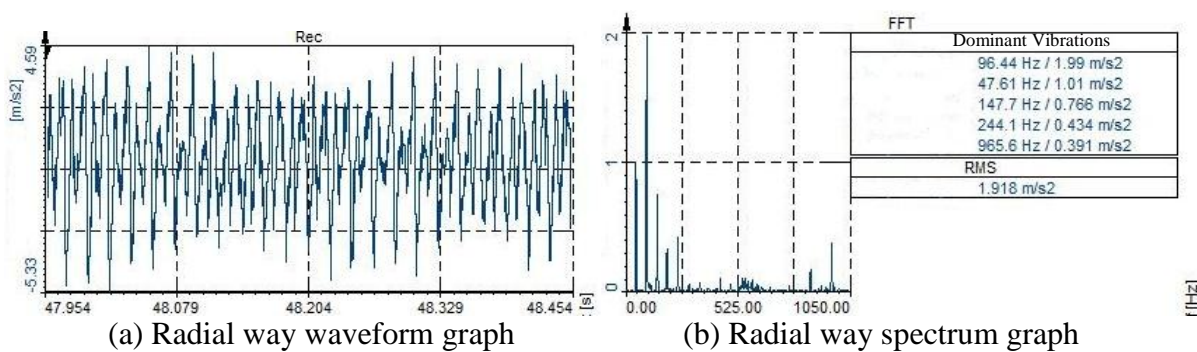
The unbalance forces in the radial direction of the dominant fundamental frequency 1x (47.61 Hz) harmonic at  $2.29 \text{ m/s}^2$  is determined by the amplitude value. The unbalance harmonic 1x in the axial direction at frequency 47.61 Hz as  $1.02 \text{ m/s}^2$  has been observed with the amplitude value. 1x harmonic of the fundamental frequency is observed only as a sign of unbalance compared to the radial direction the dominant signal measurements. RMS (Root Mean Square) values increased in the radial direction and the axial direction in comparison with reference levels. 963,1 Hz and 1063,2 Hz natural frequencies are observed only in unbalance test. The highest five amplitude formed in  $2880 \text{ min}^{-1}$  rotation period caused by unbalance flaw occurred on the same frequencies in the five dominant signals of reference data.

Table 3. Vibration signals of unbalance failure at  $2880 \text{ min}^{-1}$  – (S=Signal)

MEASUREMENT	1.S	2.S	3.S	4.S	5.S	RMS ( $\text{m/s}^2$ )
U / $2880 \text{ min}^{-1}$ / 23 g / (R)	1x	$f_n$ (2x)	$f_n$ (4x)	$f_n$ (3x)	$f_n$ ( $51x\omega_c$ )	2.677
U / $2880 \text{ min}^{-1}$ / 23 g / (A)	$f_n$ (2x)	1x	$f_n$ (3x)	$f_n$ ( $51x\omega_c$ )	$f_n$ ( $56x\omega_c$ )	2.274

### 3.2. Failure of mechanical looseness at 0.1 mm level

In radial and axial direction, signal at 95.21 Hz (2x) excited a signal at the natural frequency at 96.44 Hz and consequently superharmonic resonance has been observed with the highest signal amplitude. Unbalance harmonic 1x is appeared as second dominant harmonic in radial direction, and appeared as the third dominant signal in the axial direction. In both directions, cage frequency at 964.8 Hz ( $51x\omega_c$ ) excited natural frequency at 965.6 Hz and cage frequency at 1061.28 Hz ( $56x\omega_c$ ) excited natural frequency at 1064.5 Hz in the axial direction and superharmonic resonance frequency is detected. Other signals are observed due to induced mechanical looseness and bearing signals. Fluctuations in the waveform chart is observed. Data graphs are given in Figure 5.



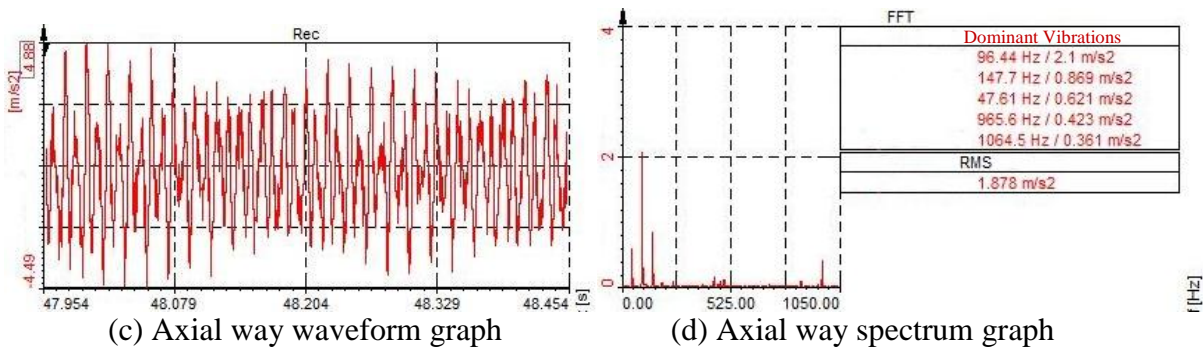


Figure 5. Vibrational data in 0.1 mm mechanical looseness at 2880 min<sup>-1</sup>

In the radial direction vibration signals detected in the highest five amplitudes are; natural frequency at 96.44 Hz, 47.61 Hz (1x) base frequency, natural frequency at 147.7 Hz, natural frequency at 244.1 Hz, natural frequency at 965.6 Hz; in the axial direction, signals are observed as the natural frequency at 96.44 Hz, the natural frequency at 147.7 Hz, 47.61 Hz (1x) base frequency, natural frequency at 965.6 Hz, natural frequency at 1064.5 Hz. Mechanical looseness in the radial direction spectrum of symptoms are observed more pronounced.

**3.3. Failure of mechanical looseness at 0.5 mm level**

The dominant signal of natural frequency at 96.44 Hz belonging mechanical looseness testing at 0.1 mm level in radial and axial direction is replaced with unbalance harmonic 1x in the level of 0.5 mm; the 96.44 Hz signal has replaced as sub-dominant. Respect to the Figure 6, in both directions unbalance harmonic 1x is observed in the first dominant harmonic signal. In the bearing defect frequencies zone, signal at 1065.7 Hz frequency has been detected and it is observed only in the axial direction through five dominant signals. Other signals are observed in mechanical looseness and bearing effects. Unbalance effects are evident in the waveform chart and fluctuations in peak-to-peak value is determined.

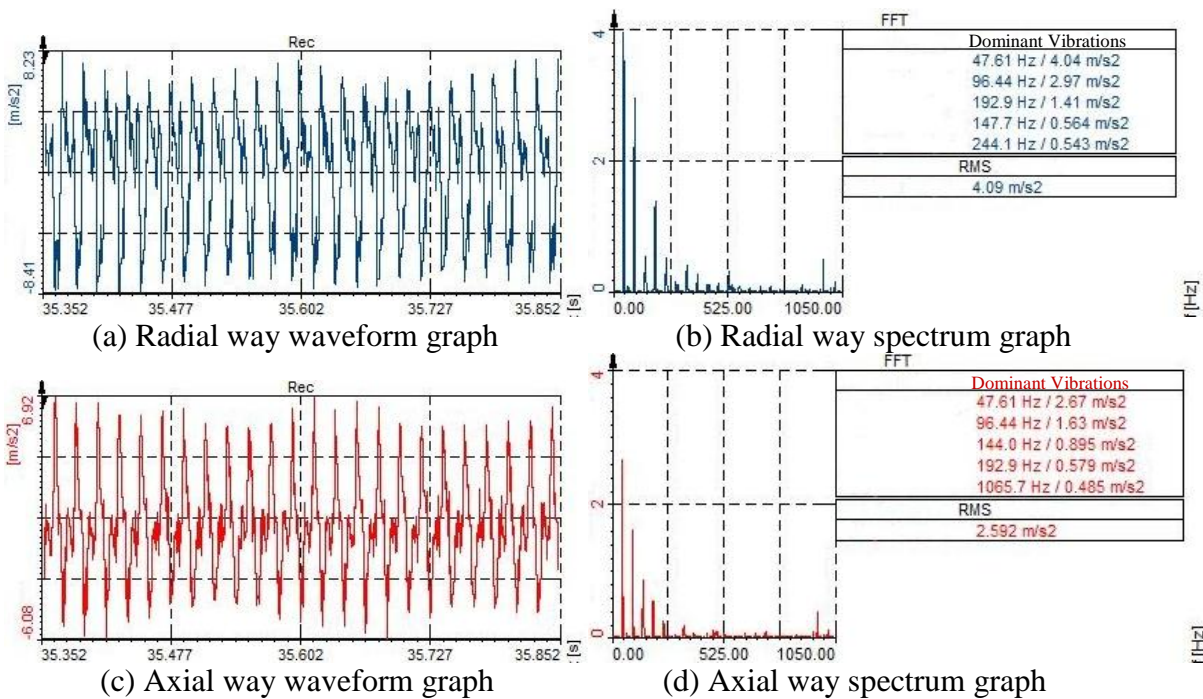


Figure 6. 0.5 mm mechanical looseness vibrational data at 2880 min<sup>-1</sup>

In radial direction, 47.61 Hz (1x), 96.44 Hz ( $f_n$ ), 192.9 Hz ( $f_n$ ), 147.7 Hz ( $f_n$ ), 244.1 Hz ( $f_n$ ) signals in frequency; and in the axial direction, 47.61 Hz (1x), 96.44 Hz ( $f_n$ ), 144 Hz ( $f_n$ ), 192.9 Hz ( $f_n$ ), 1065.7 Hz ( $f_n$ ) signals in frequency are detected. At 2880  $\text{min}^{-1}$  rotating period in tests harmonic 1x is observed as the dominant signal at 0.5 mm level; this suggests that the effects become more dominant for unbalance failure respect to the high vibrations occur due to lack of uniformly distributed forces caused by the high oscillations besides effect of mechanical looseness.

According to Tab. 4, in both directions natural frequency signal that is excited by 2x misalignment harmonic occurred at 0.1 mm level and unbalance harmonic 1x is observed at 0.5 mm level and these two harmonic signals has emerged as the dominant signals. Regarding signals at increasing frequencies beside the signal at 2x; harmonic 2x has led to the definition of inclusion in mechanical looseness. Signals at bearing defect frequencies zone and increase in the amount has been detected; this situation indicates that the bearing's response is increased relevant with tests.

Table 4. Mechanical looseness signals at rotation speed of 2880  $\text{min}^{-1}$

MEASUREMENT	1.S	2.S	3.S	4.S	5.S	RMS ( $\text{m/s}^2$ )
ML/2880 $\text{min}^{-1}$ /0.1 mm/(R)	$f_n$ (2x)	1x	$f_n$ (3x)	$f_n$ (5x)	$f_n$ (51x $\omega_c$ )	1.918
ML/2880 $\text{min}^{-1}$ /0.1 mm/(A)	$f_n$ (2x)	$f_n$ (3x)	1x	$f_n$ (51x $\omega_c$ )	$f_n$ (56x $\omega_c$ )	1.878
ML/2880 $\text{min}^{-1}$ /0.5 mm/(R)	1x	$f_n$ (2x)	$f_n$ (4x)	$f_n$ (3x)	$f_n$ (5x)	4.09
ML/2880 $\text{min}^{-1}$ /0.5 mm/(A)	1x	$f_n$ (2x)	$f_n$ (3x)	$f_n$ (5x)	$f_n$ (56x $\omega_c$ )	2.592

Natural frequencies excited by harmonic 2x are detected as the most dominant signals at 0.1 mm level in radial and axial directions; and harmonic 1x is detected as the most dominant signal respect to the 0.5 mm level,.

At 2880  $\text{min}^{-1}$  rotation period, change in the amount of mechanical looseness spectrums is shown in Figure 6. mechanical looseness symptoms have been observed better in the data through radial direction.

According to spectrum data in 0.5 mm mechanical looseness level, 1x signal amplitude seems to have become the most dominant harmonic signal that is the symptom of unbalance. Also, in the bearing defect frequencies zone, bearing mediated signals became more evident in both directions at 0.5 mm level. RMS values rise in parallel to increase of level in mechanical looseness.

#### 4. Results and Discussion

Respect to the findings relevant with unbalance test; 23 g load effect has been detected in the vibration measurement in the radial direction. Time domain has been studied and the main symptom of unbalance failure as 1x harmonic has been appeared and determined successfully. Natural frequencies appeared respect to the lower orders of the 1x and cage frequencies of the bearing element.

Even though, natural frequencies that excited by the 2x harmonic has been obtained in the first order on both the radial and axial direction at 0.1 mm level of mechanical looseness, 1x harmonic is

appeared in the first order at 0.5 mm level of mechanical looseness. At 0.1 mm level, 2x harmonic is typical symptom of mechanical looseness and has been detected successfully. On the other hand at 0.5 mm level, 2x harmonic appeared in the second order which excites the natural frequencies that can be interpreted as mechanical effect can be detected too. Reversely at the 0.5 mm level; as consequence of the increasing oscillations, unbalance failure appeared with the symptom of main characteristic 1x harmoning in the first order.

In comparison with unbalance and mechanical looseness failure tests; unbalance test with 23 g load and mechanical looseness presented traditional consequence; on the other hand, unbalance failure occurred additionally on mechanical looseness at 0.5 mm mechanical looseness in 2880 min<sup>-1</sup> rotation period.

## 5. Conclusions

Respect to the experimental test and results; test setup constructed by metal body joined with welding method may have some natural frequencies which might be excited by orders of main frequency and bearing frequencies. High amplitude vibrations those caused by resonance phenomena due to natural frequencies should be detected before or during the construction of metallic structures and should be avoided as much as possible in order to prevent demolition of mechanical elements.

## References

- [1] Sinha, J.K., 2002: Health Monitoring Techniques for Rotating Machinery, *Ph.D. Thesis*, University of Wales Swansea (Swansea University), Swansea, UK.
- [2] Al-Hussain K.K., 2003: Dynamic stability of two rigid rotors connected by a flexible coupling with angular misalignment. *Journal of Sound and Vibration*, 217-234.
- [3] Sudhar, G.N.D.S., Sekhar, A.S., 2011: Identification of unbalance in rotor bearing system. *Journal of Sound and Vibration*, 330, 2299-2313
- [4] Lebold, M., Reichard, K., Boylan, D., 2003: Using DCOM in an open system architecture framework for machinery monitoring and diagnostics. *IEEE Aerospace Conference*, 1227–1235.
- [5] Christer, A.H., Wang, W., Sharp, J.M., 1997: A state space condition monitoring model for furnace erosion prediction and replacement. *European Journal of Operational Research*, 101, 1–14.
- [6] Goodenow, T., Hardman, W., Karchnak, M., 2000: Acoustic emissions in Broadband vibration as an indicator of bearing stress, in: *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 6, 95–122.
- [7] Schoen, R.R., Lin, B.K., Habetler, T.G., Schlag, J.H., Farag, S., 1995: An unsupervised, on-line system for induction motor fault detection using stator current monitoring. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 31(6), 1280–1286.



---

**Makale / Research Paper**

---

**Direnç ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilen  
Alüminyum Levhaların Karşılaştırılması**

**Duygu BODUR, Cevat OĞUZCAN, Sefa ERTÜRK, Yahya BOZKURT\***

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,  
Göztepe Kampüsü, Kadıköy-İstanbul/TÜRKİYE  
duygubodur92@gmail.com, cvtoguzcan@gmail.com, sefaerturk@outlook.com, ybozkurt@marmara.edu.tr\*

---

**Özet:** Bu çalışmada, farklı serideki alüminyum alaşımı levhalar sabit takım dönme hızı ve takım bekleme süresi ile farklı takım dalma hızları ve takım dalma derinliklerinde sürtünme karıştırma nokta kaynak (SKNK) tekniği ile birleştirilmiştir. Daha sonra, aynı levhaların sabit elektrod kuvvetleri ve kaynak süreleri ile farklı kaynak akımlarında elektrik direnç nokta kaynak (EDNK) yöntemiyle birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. SKNK ve EDNK sonrası, çekme makaslama testleri yapılarak her iki alüminyum levhanın kırılma tipleri ve kopma kuvvetleri belirlenerek hangi kaynak yönteminde optimum çekme makaslama kuvveti elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, makroyapı incelemeleri ile kaynak bölgeleri belirlenmiş ve mikroyapı incelemeleri ile tane yapılarının oluşumunu etkileyen faktörler incelenmiştir. Tüm bu metalurjik ve mekanik testlerin sonuçları incelenerek her iki yöntem ile birleştirilen levhalar karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, Direnç nokta kaynağı, Alüminyum levha, Kaynak parametresi.

---

**Comparison of Aluminium Alloy Sheets Joined by Resistance Spot  
and Friction Stir Spot Welding**

---

**Abstract:** In this study, different series aluminum alloy sheets were joined by friction stir spot welding (FSSW) method with fixed namely tool rotational speed and toll dwell time, different toll plunge speeds and tool plunge depths. Then, same sheets were joined by electrical resistance spot welding (RSW) method with fixed electrode force, welding time and different welding currents. After FSSW and RSW, it was determined that to obtain optimum tensile shear load from what welding method with tensile shear tests and determining the tensile strength and fracture types. Welding zones were determined with macrostructural investigations and factors effecting the formation of grain structure were observed with microstructural investigations. The sheets combined with both methods were compared by examining the results of metallurgical and mechanical tests.

**Keywords:** Friction stir spot welding, Resistant spot welding, Aluminium sheet, Welding parameter.

---

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Bodur, D., Oğuzcan, C., Ertürk, S., Bozkurt, Y., "Direnç ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Levhaların Karşılaştırılması" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 266-273.

*How to cite this article*

Bodur, D., Oğuzcan, C., Ertürk, S., Bozkurt, Y., "Comparison of Aluminium Alloy Sheets Joined by Resistance Spot and Friction Stir Spot Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 266-273.

## 1. Giriş

Basınç kaynak yöntemlerinden EDNK (Direnç kaynağı) yöntemleri grubu otomotiv endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Zira bu yöntemler de kaynak işlemi katı fazda gerçekleşir ve kaynak bölgesinde dar bir ısıdan etkilenmiş bölge oluşur, birleşme kısa sürede tamamlanır ve özellikle otomobil gövde üretiminde kullanılan direnç nokta kaynağı seri üretime uygun olduğundan dolayı robotlar ile gerçekleştirilir [1]. EDNK, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemeden geçen elektrik akımının doğurduğu ısının dışında, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracılığıyla uygulanır [2]. Ancak yumuşak bir malzeme olan alüminyum alaşımının kaporta imalatında kullanılan EDNK ile kaynak edilmesinde yaşanan güçlükler otomotiv kaportasında alüminyum alaşımlarının yaygın olarak kullanılmasını geciktirmiştir [3].

Ancak son yıllarda elektrik direnç nokta kaynağına alternatif olarak geliştirilmiş olan ve alışılmış sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yönteminden yola çıkılarak geliştirilen SKNK yöntemi, kaynak teknolojisi konusundaki son gelişmelerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [4]. Bu yöntem, bindirme pozisyonunda bulunan malzemelerin hem alt hem de üst bölgelerine uygulanır. Dönen karıştırıcı uçlu takım, malzemeye üst yüzeyden sürtünme ısıyı oluşturmak için bir süre uygulanır. Dönen karıştırıcı uçlu takıma bitişik olan ısınmış ve yumuşamış malzemede plastik akışa neden olur. Bununla birlikte takım omuzu malzemeye baskı verir. Belirli bir süre sonra takım malzemeden uzaklaştırıldıktan sonra nokta biçiminde kaynak oluşur [4]. Yöntemi geliştiren ve ilk kullanan Japon otomobil kuruluşu, yöntemin alüminyumda uygulaması olarak, bu yöntem için özel olarak geliştirilen kaynak robotunu kullanarak üretmekte olduğu spor model otomobillerin arka kapılarını ve motor kaputlarını üretmekte ve yöntemin uygulanması ile elektrik tüketiminden %99 tasarruf ettiğini açıklamaktadır. Ekipman fiyatlarının alüminyumun EDNK' da kullanılanlara göre %40 daha az yatırım masrafı gerektirdiği de belirtilmektedir [5]. Tüm bu çalışmalara incelediğimizde EDNK yöntemi yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu yöntemden yeterli verim alınamamıştır. Bunun aksine SKNK yöntemi fazla tanınmamakta ve sanayi ortamında kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada, endüstride kullanılan EDNK ve SKNK yöntemleri için AA2024-T3 ve AA5754-H22 levha malzemeleri seçilmiştir. Seçilen bu levhalar ayrı ayrı EDNK ve SKNK ile kaynak edilmiştir. Birleştirilen levhalardaki kaynaklı bağlantılarının çekme deneyine tabi tutulması, kaynak bölgelerinin özelliklerini belirlemek amacıyla metalurjik bakımdan makro ve mikro yapı olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bunlara ek olarak tüm bu test sonuçlarının iki yöntem üzerinden karşılaştırılmaları yapılmıştır.

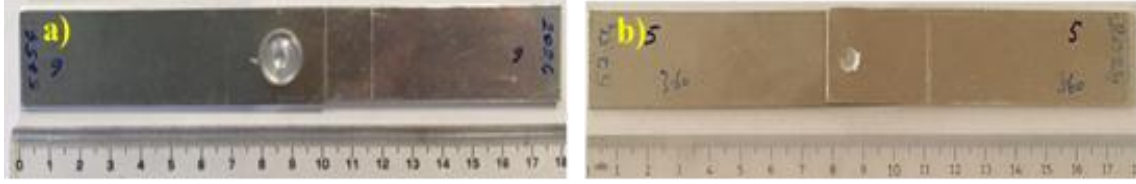
## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada, SKNK ve EDNK için 1.6 mm kalınlığında AA2024-T3 ile 1.5 mm kalınlığında AA5754-H22 levhalar kullanılmıştır. Bu alaşım levhaların kimyasal kompozisyonu Tablo 1' de gösterilmiştir. Al levha ölçüleri 25x100 mm uzunluğundadır. Tüm deney numunelerinde kaynak bölgesi 25x25 mm olarak sabit ölçüdedir. Kaynak edilmiş örnek AA5754/2024 levhalar Şekil 1a ve 1b' de gösterilmiştir.

Tablo 1. AA2024-T3 ve AA 5754-H22 levhaların kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim (%)	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
AA 2024-T3	93.11	0.07	0.14	4.5	0.65	1.5	0.01	0.02	-
AA 5754-H22	95.29	0.25	0.31	0.02	0.38	3.2	0.18	0.12	0.23



Şekil 1. a) SKNK ve b) EDNK yapılmış AA5754/2024 levhalar.

## 2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Birleştirilmesi

100x25x1.5 ve 1.6 mm ölçülerindeki numuneler kaynak işlemi için hazırlanmıştır. Omuz çapı 12 mm ve uç çapı 4 mm olarak HSS çeliğinden imal edilen karıştırıcı uçlu takım kullanılmıştır. SKNK işlemi ile numuneler 1500 dev/dak. olarak sabit takım dönme hızı ile 0° takım eğim açısı ile 10 saniye sabit takım tutma süresi, 2.60-2.70 ve 2.80 mm olarak farklı takım dalma derinlikleri ile AA5754/2024 (AA5754 numunesi üst kısımda) pozisyonunda birleştirilmiştir.

EDNK işlemi ile numuneler 17.10, 20.90 ve 24.70 kA akım değerlerinde, 0.08 saniye sabit kaynak süresi ve 1710 N sabit elektrot kuvveti ile AA5754/2024 pozisyonunda birleştirilmiştir.

## 2.3. Çekme Makaslama Testi

Kaynak edilen levha çiftleri ZWICK marka 250 kN kapasiteli test cihazında 30 mm/dak. çekme hızında çekme deneyine tabi tutulmuştur. EDNK ve SKNK ile birleştirilmiş numunelerden her bir parametre için 3 adet numune test edilmiştir ve ortalamaları alınmıştır.

## 2.4. Metalografik İnceleme

EDNK ve SKNK ile birleştirilen, çekme testi sonuçları maksimum ve minimum çıkan dört numune işleme alınmıştır. Kaynak bölgeleri bakalite alınan numuneler 200-2500 numaralı zımparalar ile zımparalandıktan sonra 0.25 µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra keller reaktifi ile yüzeyler dağlanarak makroyapı ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

EDNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama test sonuçları Tablo 2' de gösterilmiştir. Şekil 2' de ise sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere 20.90 kA akım şiddetinde çekme makaslama mukavemeti maksimum değere ulaşmış, 24.70 kA akım şiddetinde minimum değerde kalmıştır. SKNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama test sonuçları Tablo 3' de gösterilmiştir. Şekil 3' de ise sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Kaynak akımının

arttırılmasıyla ısı girdisi artmakta ve kaynak çekirdeğinin boyutu büyümektedir. Kaynak metali boyutunun artması çekme-makaslama kuvvetini arttırmakta ve akımın artmaya devam etmesiyle aşırı erime ve sıçramalardan dolayı kaynak metalinin boyutu azalmakta, dolayısıyla çekme-makaslama kuvveti de azalmaktadır [6]. SKNK işleminde de takım dalma derinliğinin 2.70 mm' ye kadar arttırılmasıya çekme makaslama kuvveti artmakta bu derinlikten sonra ise azalmaktadır. Bunun sebebi, takımın SKNK yapılan Al-alaşımı levhalara fazla dalması nedeniyle Al-alaşımı levhanın üst yüzeyinde kaynak çevresinde incelmeye neden olmasıdır [7].

SKNK esnasında takımın dalma derinliği ile bekleme süresi, karıştırıcı uç çevresindeki metal akışını, ısı oluşumunu ve kaynak mukavemeti ile geometrisini belirlemektedir [8]. Y. Bozkurt ve arkadaşları, en yüksek çekme makaslama mukavemetini 4 kN olarak yine AA5754 Al-alaşımı levha üst kısmında iken, takım dalma derinliği 2.55 mm ve takım bekleme süresi 10 sn olarak ayarlandığında yapılan SKNK'da elde etmişlerdir. Bu çalışmada, 2.70 mm takım dalma derinliğinde 4.31 kN olarak max. çekme-makaslama kuvveti elde edilmiştir. SKNK ve EDNK ile birleştirilen AA5754/2024 levhaların çekme makaslama deneyi sonrası kırılma görünümleri Şekil 4a ve 4b' de gösterilmiştir. Literatürde çekme-makaslama deneyleri sonrasında iki çeşit kırılma tipinin meydana geldiği gözlenmiştir [9]. Bunlardan birincisi, genellikle düşük çekme makaslama kuvveti elde edilen birleşme kesilmesi [10], ikincisi ise; Şekil 4' de gösterilen ve en yüksek çekme makaslama kuvveti değerlerinin elde edildiği birleşme çıkması (kırılması) şeklinde gerçekleşen kırılma tipleridir.

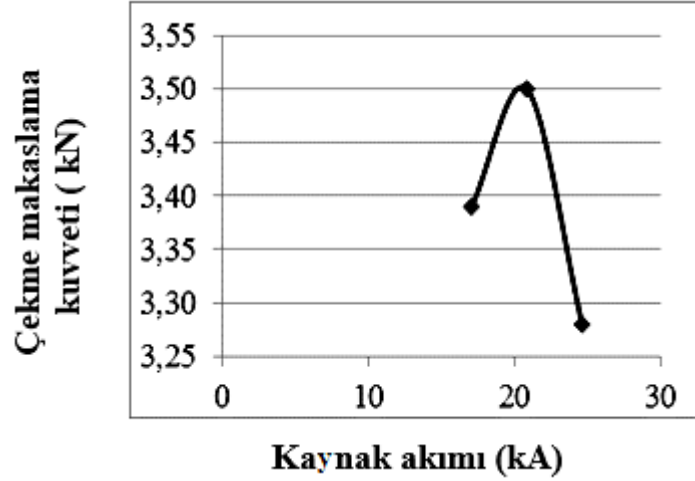
Tablo 2. EDNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama kuvveti.

Deney No	Levha Pozisyonu	Kaynak Akımı (kA)	Elektrot Kuvveti (N)	Kaynak Süresi (s)	Çekme makaslama kuvveti (kN)			Ort.
1		17.10			3.35	3.42	3.39	3.39
2	AA5754/2024	20.90	1710	0.08	3.53	3.48	3.51	3.50
3		24.70			3.25	3.30	3.31	3.28

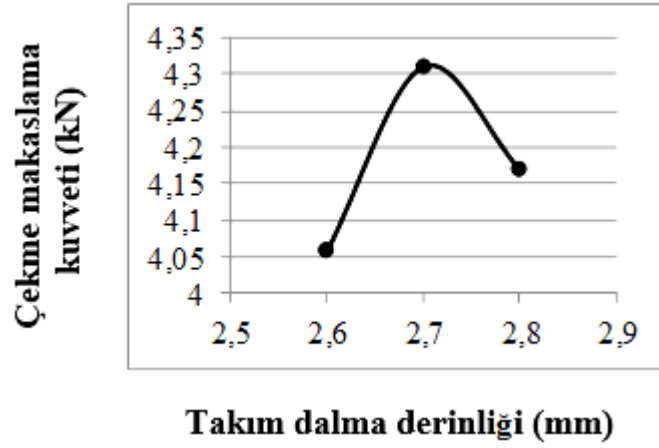
Tablo 3. SKNK ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama kuvveti.

Test no	Kaynak pozisyonu	Takım dönme hızı (dev/dak)	Takım dalma derinliği (mm)	Takım bekleme süresi (s)	Çekme makaslama kuvveti (kN)	Ort.çekme makaslama kuvveti (kN)
1			2.60	10	4.40	
2			2.60	10	3.95	4.06
3			2.60	10	3.85	
4			2.70	10	4.21	
5	AA5754/2024	1500	2.70	10	4.19	4.31
6			2.70	10	4.54	
7			2.80	10	4.16	
8			2.80	10	3.51	4.17
9			2.80	10	4.84	

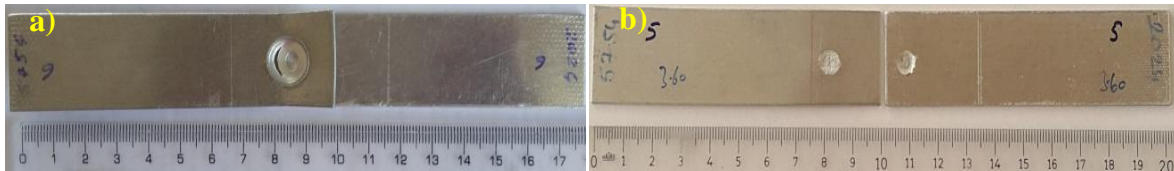




Şekil 2. EDNK ile birleştirilen numunelerin ortalama çekme makaslama kuvvetinin grafikte gösterimi



Şekil 3. SKNK ile birleştirilen numunelerin ortalama çekme makaslama kuvvetinin grafikte gösterimi



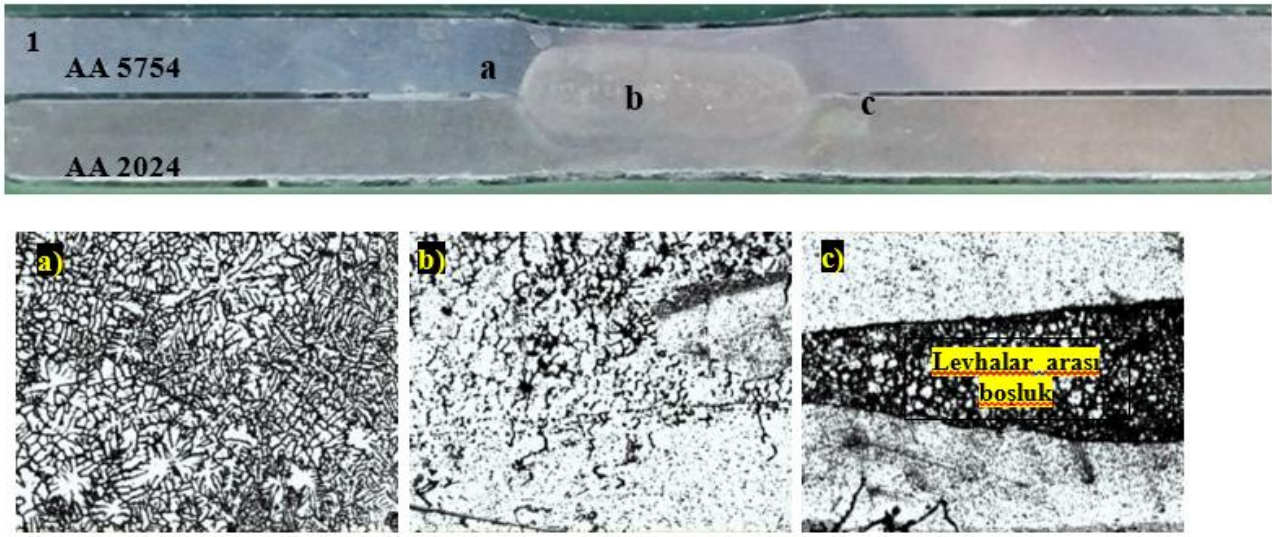
Şekil 4. Çekme makaslama deneyi sonrası; a) SKNK ile b) EDNK ile birleştirilen AA5754/2024 levhaların kırılma görünümü

### 3.2. Metalografik İnceleme

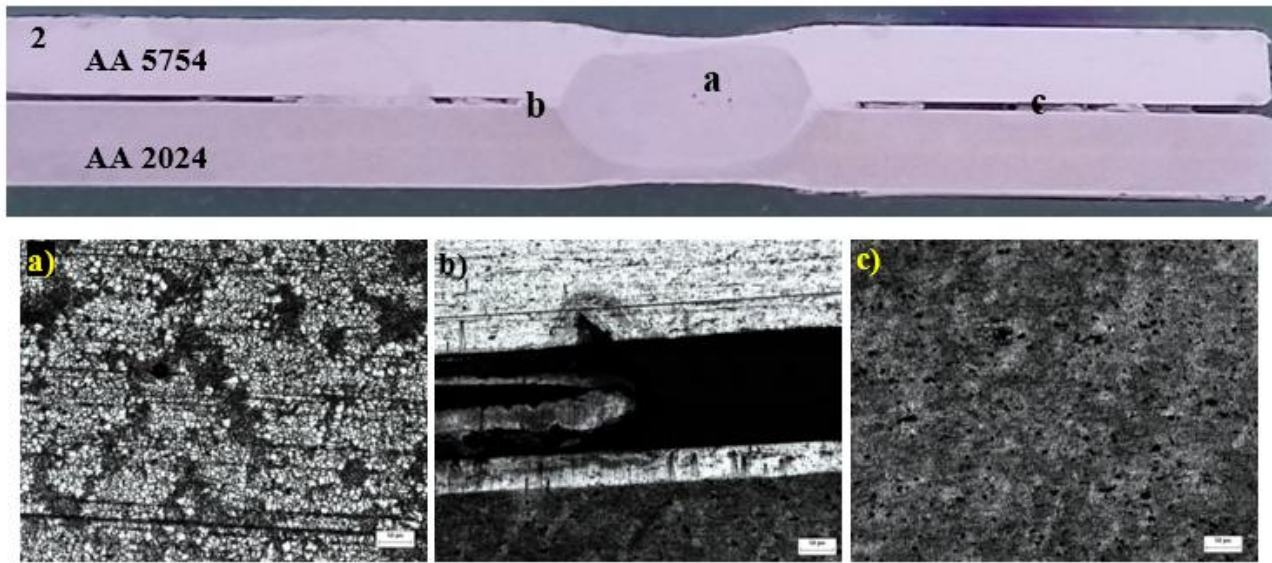
EDNK ile birleştirilen AA5754/2024 alüminyum levhaların makroyapı ve mikroyapı görünüşleri Şekil 5 ve Şekil 6’ da gösterilmiştir. Yalnızca kaynak akımının yüksek olması sağlam birleşme için yeterli değildir. Bunun yanında yeterli kaynak süresinin de olması

gerekmektedir. EDNK' daki çekirdek çapları ile SKNK' daki birleşme hattı ölçümleri, optik mikroskop yardımı ile yapılmıştır. EDNK' daki çekirdek çapının ölçülüp ortalamasının alınmasıyla bulunmuştur [11]. EDNK' da max. çekme makaslama değeri elde edilen birleştirmenin kaynak çekirdeğinin çapı 3,54 mm ve min. çekme makaslama değeri elde edilen birleştirmede ise 2.85 mm olarak belirlenmiştir.

Şekil 5 ve 6' daki mikroyapı resimleri incelendiğinde çekirdek bölgesi, iri tanelerden oluşmuştur (Şekil 5b ve 6a) ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) tarafından çevrelenmiştir (Şekil 5 a ve c ile Şekil 6b ve c). Yüksek akımda malzemeye giren ısı miktarının fazla olmasından dolayı kaynak bölgesinin soğuması yavaş olmakta ve bu da tane büyümesine etken olmaktadır. Literatürde bunun sebebinin maruz kalınan yüksek sıcaklıkla birlikte mevcut dislokasyonların azalması ve mukavemetlendirici çökeltilerin irileşmesi olarak belirtilmektedir [12].

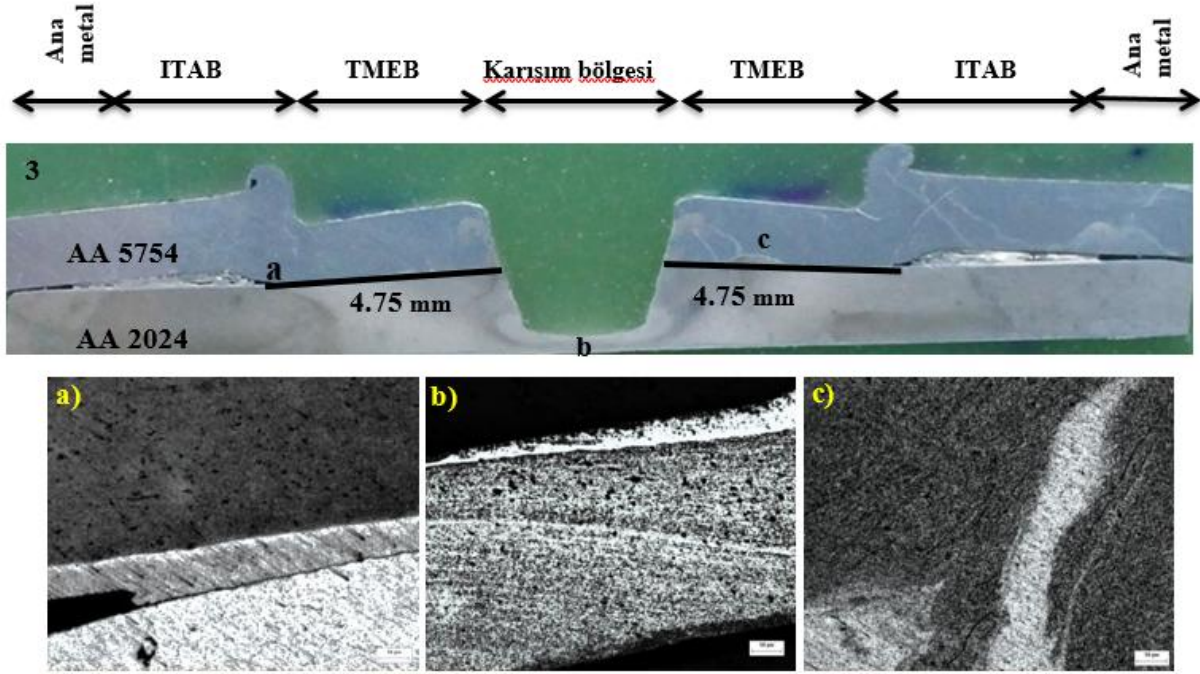


Şekil 5. EDNK ile birleştirilen ve çekme makaslama kuvveti maksimum değere sahip AA5754/2024 levhaların makroyapı (üstte: 1 numara) ve x10 büyütmede mikroyapı (altta: a), b), c) görüntüleri



Şekil 6. EDNK ile birleştirilen ve çekme makaslama kuvveti minimum değere sahip AA5754/2024 levhaların makroyapı (üstte: 2 numara) ve x20 büyütmede mikroyapı (altta: a), b) ve c)) görüntüleri.

Şekil 7' de gösterilen SKNK ile birleştirilmiş ve max. çekme makaslama kuvveti elde edilen makro ve mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Karışım bölgesi ve TMEB olarak gösterilen bölge uzunluğu takım dönme yönünde ve takım dönme yönünün tersinde 4.75 mm olarak aynı kaynak dikiş kalınlığı bulunmuştur. Bu sonuç bize takımın homojen bir şekilde iki farklı levhayı birleştirebildiğini göstermektedir. Şekil 7a' da gösterilen mikroyapı incelendiğinde diğer TMEB ve karışım bölgesinden çok farklı olarak gözenek yapısının değiştiği görülmüştür.



Şekil 7. SKNK ile birleştirilen ve çekme makaslama kuvveti maksimum değere sahip AA5754/2024 levhaların makroyapı (üstte: 3 numara) ve x10 büyütmede mikroyapı (altta: a), b) ve c)) görüntüleri.

Sürtünme karıştırma nokta kaynağında oluşan kaynak metali kullanılan takım piminin yapısına benzemektedir. Takımın omuzu dalma sırasında üst yüzeydeki malzemeyi kenarlara doğru fırlatarak çapak oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda da bu şekilde olduğundan ve üst malzeme yüzeyinde bir miktar çökmeye müsade edildiğinden literatürdeki çalışmalarla uyumludur [4].

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada AA5754/2024 pozisyonundaki Al alaşımı levhaların SKNK ve EDNK yöntemleri ile birleştirilmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler ile birleştirilen levhalara çekme testleri uygulanıp, max ve min çekme makaslama kuvveti değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdadır.

1. EDNK işlemi ile AA5754/2024 levhalar, 20.90 kA akım değerlerinde, 0.08 saniye sabit kaynak süresi ve 1710 N sabit elektrot kuvveti ile 3.50 kN olarak maksimum çekme makaslama kuvveti değerleri belirlenmiştir. SKNK işlemi ile 1500 dev/dak., takım dönme hızında, 10 saniye sabit takım tutma süresi, ve 2.70 mm takım dalma derinliğinde maximum çekme makaslama kuvveti maksimum 4.31 kN olarak saptanmıştır. Bu sonuçlara göre SKNK yöntemi EDNK' ya göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
2. Kaynak akımının arttırılmasıyla ısı girdisi artmakta ve kaynak çekirdeğinin boyutu 2.85 mm' den 3.54 mm' ye artmıştır. Ayrıca, her iki yöntemde gerçekleştirilen çekme deneyi sonrasında birbirleşme çıkması (kırılması) şeklinde gerçekleşen kırılma tipleri belirlenmiştir.

3. Karışım bölgesi ve TMEB olarak gösterilen bölge uzunluğu takım dönme yönünde ve takım dönme yönünün tersinde 4.75 mm olarak aynı kaynak dikiş kalınlığı bulunmuştur. Bu sonuç bize takımın homojen bir şekilde iki farklı levhayı birleştirebildiğini göstermektedir. Endüstride kullanımının yaygınlaşması için çalıştığımız SKNK yönteminin EDNK yöntemine göre daha homojen bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir.

4. SKNK ve EDNK ile birleştirilen levhaların mikroyapısı incelendiğinde, SKNK ile birleştirilen numunelerin tane boyutu EDNK levhalarının tane boyutundan daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.

## Teşekkür

Finansal desteklerinden dolayı Marmara Üniversitesi Sağlık, Kültür ve Spor Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

- [1] M. H. Coşkun, Otomotiv endüstrisinde kullanılan AN 7114 ve Dp600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
- [2] A.Bilal, AA 2024-T3 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [3] G. Çam, Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulamalarında Son Gelişmeler, Kaynak Teknolojisi VI. Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, S. 449, 42 (2007).
- [4] H. Badarinaraya, F. Hunt, K. Okamoto, Friction Stir Welding and Processing, R.S. Mishra, M.W. Mahoney, Friction Stir Spot Welding, American Society for Metals, (2007), pp.235-250.
- [5] R. Hancock, Friction Welding of Aluminum Cuts Energy Costs by 99 %, Welding Journal, 2, 83 (2004), pp.40.
- [6] S. Aslanlar, The Effect of Nucleus Size on Mechanical Properties in Electrical Resistance Spot Welding of Sheets Used in Automotive Industry, Materials and Design, 27 (2006), pp.125-131.
- [7] Y. Tozaki, Y. Uematsu, K. Tokaji, Effect of Processing Parameters on Static Strength of Dissimilar Friction Stir Spot Welds Between Different Aluminium Alloys Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., 30 (2007), pp.143-148.
- [8] Z. Zhang, X. Yang, J. Zhang, G. Zhou, X. Xu, B. Zou, Effect of Welding Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded 5052 Aluminum Alloy, Materials and Design 32 (2011), pp.4461-4470.
- [9] A.M. Pereira, J.M. Ferreira, A. Loureiro, J.D.M. Costa, P.J. Bártolo: Effect of process parameters on the strength of resistance spot welds in 6082-T6 aluminium alloy, Materials and Design, 31 (2010), pp.2454-2463.
- [10] Y. Bozkurt, S. Salman, G. Çam: 2024-5754 Alüminyum Alaşımı Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesinin İncelenmesi, International Conference on Welding Technologies and Exhibition, 23-25 May, Ankara-Turkey, (2012).
- [11] S. A. Şafak: Uçak Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımının Elektrik Direnç Nokta Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2011).
- [12] B. Kahraman: Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan 5754 Alüminyum Alaşımı Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, (2009), pp.98.



---

**Makale / Research Paper**

---

**TIG ve Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Plakaların  
Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**

**Rıza KARA\*, Gökhan YILDIRIM\*, Fatih ÇOLAK\*, Metehan TINAS\***

\*Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü  
UŞAK/TÜRKİYE  
[riza.kara@usak.edu.tr](mailto:riza.kara@usak.edu.tr)

---

**Özet:** Alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra dünya kabuğunda en yaygın olarak bulunan elementtir. Saf alüminyum nispeten yumuşak ve mukavemet değerleri düşük olup endüstriyel uygulamalarda alaşımlandırılmış halde kullanılır. Alüminyum alaşımları endüstride demir ve alaşımlarından sonra en fazla kullanılan malzemedir. Bu çalışmada Etial-30 kalite Alüminyum levhaların TIG ve Elektrik Ark Kaynak (EAK) yöntemi ile birleştirme kabiliyeti incelenmiştir. Kaynak işlemleri için 100X100X6 mm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Kaynak işlemi öncesinde alüminyum plakalar mekanik olarak temizlenmiştir. Temizlenmiş numuneler farklı yöntemler ile kaynaklanmıştır. Hazırlanan numuneler Elektrik Ark kaynağı, ilave telli ve telsiz olarak TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Numuneler tek taraftan kaynaklanarak birleştirilmiştir. Kaynakla birleştirilen numunelere çekme deneyi, mikroyapı, mikro sertlik ve SEM analizleri uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, TIG kaynak yöntemi, elektrik ark kaynağı, mekanik özellikler.

---

**Investigation of Mechanical Properties of Merged Aluminum Plate with  
TIG and Electric Arc Welding**

---

**Abstract:** Aluminum is the most common element found in the earth's crust after oxygen and silicon. The pure aluminum is relatively soft and tenacity values are low. Therefore, aluminum alloys are used in industrial applications. Aluminum are the most widely used materials after iron and iron alloys. In this study have been investigated weldability with TIG and electric arc welding (EAK) process to the Etial-30 aluminum plate. The samples were cut in sizes of 100 x 100 x 6 mm for welding process. Aluminum plates were cleaned at mechanically before welding process. Cleaned samples were welded by different methods. Prepared samples were combined with electric arc welding and TIG welding process (with additional wire and non-wire). The samples have been combined by welding from one side. The combined samples have been characterized with tensile strength, microstructure, micro hardness and SEM analysis.

**Keywords:** Aluminum, TIG Welding Process, Electric Arc Welding, Mechanical Properties

---

## 1. Giriş

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları arttırılmış mukavemet özellikleri, hafiflikleri, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşa endüstrileri, taşıt, makina ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat, havacılık ve uzay

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Kara, R., Yıldırım, G., Çolak, F., Tinas, M., "TIG ve Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Plakaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 274-281.

*How to cite this article*

Kara, R., Yıldırım, G., Çolak, F., Tinas, M., "Investigation of Mechanical Properties of Merged Aluminum Plate with TIG and Electric Arc Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 274-281.

endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir [1-4]. Alüminyum kullanımının yaklaşık %25'i taşıt araçlarının üretimine aittir [5]. Alüminyum, standart potansiyeline göre, soy olmayan bir metaldir. Kısa zamanda oksijen ile birleşerek alimün ( $Al_2O_3$ ) teşkil eder hava ile temas eden alüminyum yüzeyi üzerinde oluşan sabit bir oksijen tabakası nedeniyle alüminyum alaşımları genellikle atmosfer etkilerine karşı büyük bir mukavemet gösterirler [6]. Atmosferde oluşan bu tabaka ince, renksiz, amorf, su ve su buharı içerisinde daha çok kristalin yapısındadır. Tabaka ne kadar sıkı ve homojen ise, aynı koşullarda korozyon direnci o kadar iyidir. Saf olmayan metallerin ve alaşım yapıcı elementlerin varlığı ile etkilenir [7]. Endüstrinin birçok üretim kolunda alüminyum kaynağı uygulanmaktadır. Bunlara; basınç tankları, yakıt depoları, variller, konteynerler, sıvılaştırılmış gaz bidonları, su tankları vb. örnek olarak verilebilir. Al ve alaşımların kaynağı, az karbonlu çelikler ile karşılaştırıldığında bazı zorluklar göstermesine karşın gerekli önlemler alınarak, uygun bir kaynak bağlantısı elde etme olanağı vardır. Alüminyum ve alaşımlarının kaynaklana bilirliğini sınırlayan hususlar vardır. Alüminyum ve alaşımlarının yüzeyi çok yüksek sıcaklıkta ( $2050\text{ }^{\circ}C$ ) ergiyen refrakter karakterli bir oksit tabakası ile kaplıdır. Bu oksit tabakası çok sıkı bir şekilde yüzeyi sarar ve oksitlenmenin iç kısımlara doğru ilerlemesini önler. Kaynak sıcaklığında ergimeyen bu oksidin varlığı, kaynak dikişine elektrotun ergimesi ile geçer ve bağlantının sürekliliğini sağlayan damlacıkların bağ oluşturmaya engel olur; bunun yanı sıra kaynak banyosu içinde kalıp katılan oksit tabakası, bağlantının dayanımını azaltır [8]. Döküm alaşımlarından bazılarında yaşlandırma sertleşmesi uygulanarak mekanik özellikleri değiştirilir. Bazı alaşımlar ise sadece tavlansız sünekliliği artırılır [9]. Alüminyum düşük sıcaklıkta ergimesi ve ergiyen metalin tav rengi göstermemesi kaynak işlemini güçleştirmektedir; Kaynak bölgesinin kaynak sıcaklığına erişip erişmediği ancak çok deneyimli kaynakçılar tarafından farkına varılabilmektedir. Alüminyum ısıl iletkenliğinin yüksek olması, kaynak bölgesinde yerel sıcaklık yoğunlaştırılmasını zorlaştırmakta ve birçok hallerde ön tavi gerekli kılmaktadır. Alüminyumun ısıl genişleme katsayısının yüksek olması, kaynak bölgesinde şiddetli şekil değişimlerine yol açmakta ve çarpılmaları arttırmaktadır. Yukarıda bahsedilen bu konular alüminyum ve alaşımlarının kaynak olanaklarını sınırlamakta ve kaynak işlemini zorlaştırmakta ise de, gerekli önlemler alınarak uygun bir teknik uygulandığında güvenilir kaynak bağlantıları elde etme olanağı bulunmaktadır [10]. Alüminyum oksit tabakasının kaynak işlemi için olumsuz etkilerinden olan, dikişte oksit kalıntısını azaltmak için kaynak ağızlarına işlem öncesi iyi bir oksit temizleme uygulanması gereklidir [11].

Bu çalışmada; endüstride geniş yelpazede tercih edilen Etial-30 kalite alüminyum plakaların Elektrik Ark Kaynağı, TIG (İlave Metallsız) ve TIG (İlave Metalli) yöntemleri ile kaynak kabiliyeti araştırılmıştır. Bu amaçla farklı kaynak yöntemleri ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinden çekme dayanımı tespit edilerek sertlik dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca birleştirmenin metalografik incelemesi yapılarak, mikroyapı mekanik özellik ilişkisi belirlenmiştir.

## 2. Deneysel Malzeme ve Metot

### 2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme

Çalışmada kaynak kabiliyetinin yüksek olduğu ve tüm yöntemlerle kaynak edilebildiği tespit edilen Etial-30 alaşımı deney malzemesi olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneye ait spektro analiz sonucu Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Etial-30 kalite alüminyum plakaya ait spektro analiz sonuçları.

Malzeme	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Etial - 30	0.105	0.463	0.0054	0.0039	0.0022	0.00097	0.0035	0.0127
	Ti	Be	Bi	Pb	Sn	V	Zr	Al
	0.019	0.00003	<0.0003	<0.0019	0.0011	0.0065	0.0013	99.2

## 2.2. Deney Numunelerinin Kaynak İçin Hazırlanması ve Birleştirilmesi

Çalışmada Etial-30 alaşımı lamalar 100X100X6 mm boyutlarında giyotin makas yardımıyla kesilmiştir. Kesilen parçalar aralarında kaynak boşluğu bırakılarak küt alın kaynağı tatbik edilmek üzere kaynak masasına yerleştirilerek, işkence ile sıkıştırılarak ısıl değişimlerden etkilenmemesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Kaynaklanacak parçaların bir kısmı argon gazı atmosferinde TIG kaynağında alternatif akım ile telsiz ve AlSi<sub>5</sub> teli ile iki ucundan puntalandıktan sonra kaynaklanmıştır. Kaynak işlemi torc dikeyle 20°'lik bir açı, ilave telli birleştirmede ise ilave tel yatayla 20°'lik bir açı yapacak şekilde tutulmuştur. Kaynak tek taraflı olarak gerçekleştirilmiştir. Elektrik ark kaynağı yapılırken elektrot yatayla 75-80°'lik açı yapacak şekilde tutularak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

## 2.3. Birleştirmelere Uygulanan Mekanik Testler ve Metalografik İncelemeler

Birleştirmelerin çekme ve akma dayanımlarını belirleyebilmek amacıyla birleştirmelerden standart çekme numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deneyi INSTRON 8801 model çekme test cihazında tek ekseninde, 0,5 mm/dak çekme hızında ve sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneysel hataları minimize edebilmek amacıyla her bir şart için 3 deney numunesi test edilmiş ve ortalamaları verilmiştir.

Sertlik dağılımının tespiti kaynaklı bağlantının ana malzeme, ısı tesiri altında kalmış bölge (ITAB) ve kaynak metali bölgelerinden alınan 4 ölçümün ortalaması alınarak; klasik metalografik yöntemlerle hazırlanmış numune üzerinde, HMV SHIMADZU marka mikro sertlik cihazıyla Vickers yöntemi ile 100 gr yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Metalografik inceleme numuneleri ise kaynak ilerleme yönüne dik olacak konumda klasik metalografi inceleme yöntemindeki sıralama takip edilerek hazırlanmıştır. Zımparalama işlemleri 80-120-240-320-400-600-800-1000-1200 grid'lik zımparalar kullanılmıştır. Daha sonra parlatma aşamasında çuha bezi kullanılmıştır. Parlatılan numuneler keller olarak bilinen (15 ml HNO<sub>3</sub>, 10 ml HCl, 5 ml HF, 70 ml H<sub>2</sub>O) asit çözeltisinde dağlanmış. Metalografik incelemeler kullanılarak Olympus marka Bx60 Model optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir.

## 3. Sonuçlar ve İrdelenmesi

### 3.1. Mekanik Özellik Test Sonuçları

Standardına göre test edilen numunelerin çekme test sonuçları aşağıda Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çekme deneyi sonuçları

Kaynak Türü	Kopma Bölgesi	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
Elektrik Ark	ITAB	70	82.7	7.5
TIG	Ana	90	123.1	15
(İlave Metalsiz)	Malzeme			
TIG	Ana	57	75.4	18.5
(İlave Metalli)	Malzeme			

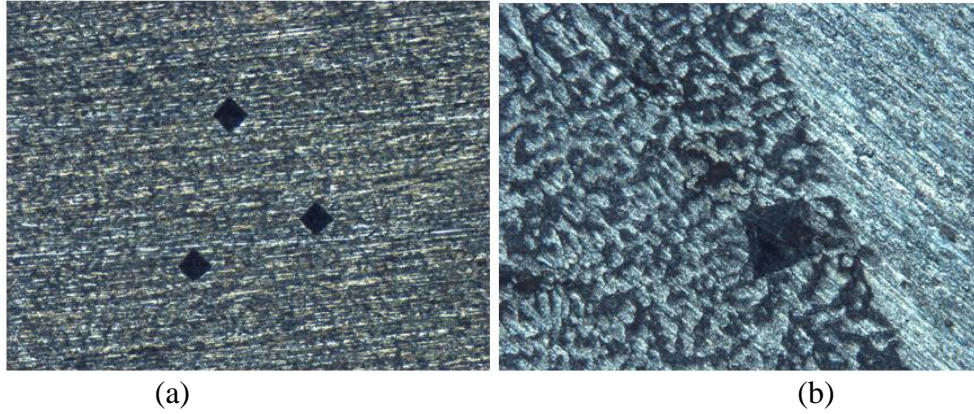
Tablodaki her bir değer o şart için test edilen üç numunenin ortalamasıdır. Tablo 1'de tablodan en iyi dayanım ilave tel kullanılmadan TIG kaynağı ile yapılan numunede sağlanmıştır. Yüzde uzamanın ise en iyi olarak ilave telle yapılan TIG kaynağında gözlemlenmiştir. Genel olarak

sonuçlara bakıldığında alüminyum kaynaklarında kaynak bölgelerinin mukavemetinin düşük olduğu belirlenmiştir. Kaynak bölgesinin çekme mukavemetindeki bu düşüş, kaynak ilave metalinin özelliğinden ve kaynak banyosunda sıkışıp kalan gazların gözeneklerden olduğu düşünülmektedir. Birleştirmelerin sertlik dağılımı da araştırılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin sertlik sonuçları aşağıda Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Uygulanan işlem sıcaklıkları ve sertlik sonuçları

Kaynak Türü	Bölgelere Göre Sertlik Değerleri (HV <sub>100g</sub> )		
	Ana Metal	Kaynak Bölgesi	ITAB
Elektrik Ark	44	46.2	37.2
TIG (İlave Metalsiz)	44	72.8	78.4
TIG (İlave Metalli)	44	68.4	43.8

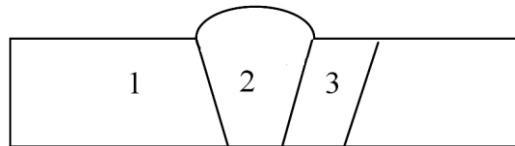
Tablo 3' den görüldüğü gibi kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerlerinde çok fazla farklılıklar gözlemlenmemiştir. Ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde ilave edilen kaynak telinin sadece kaynak bölgesinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Mikrosertlik testi uygulanmış numunelere ait örnek mikroyapı Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mikrosertlik testine tabi tutulan numune mikroyapısı  
a)100X b) 200X

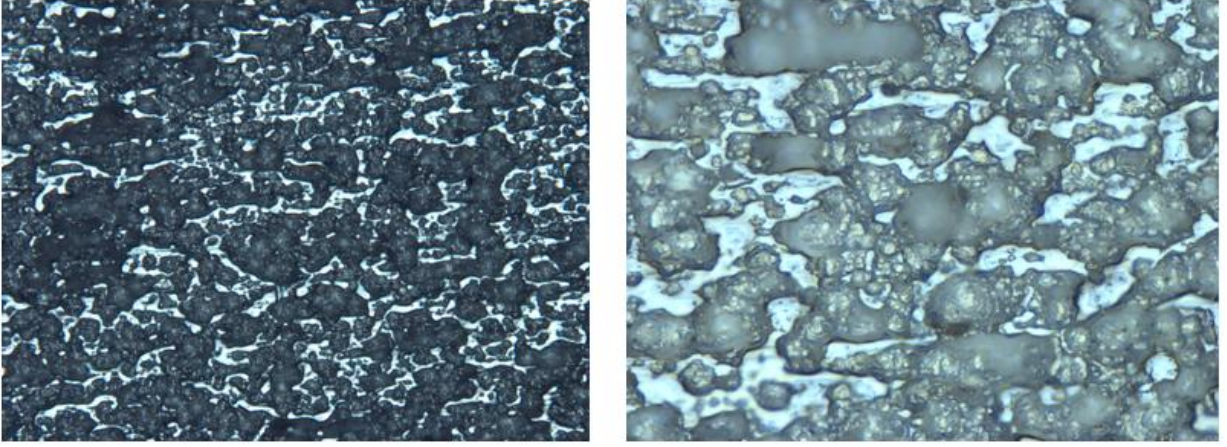
### 3.2. Metalografik İnceleme Sonuçları

Deney malzemesi olarak kullanılan alüminyum plakasının Şekil 2' de kaynaklı parçaların hangi bölgesinden mikroyapı fotoğraflarının alındığı gösterilmiştir. Şekil 3' de alüminyum plakanın kaynak edilmeden önceki içyapı fotoğrafları verilmiştir.



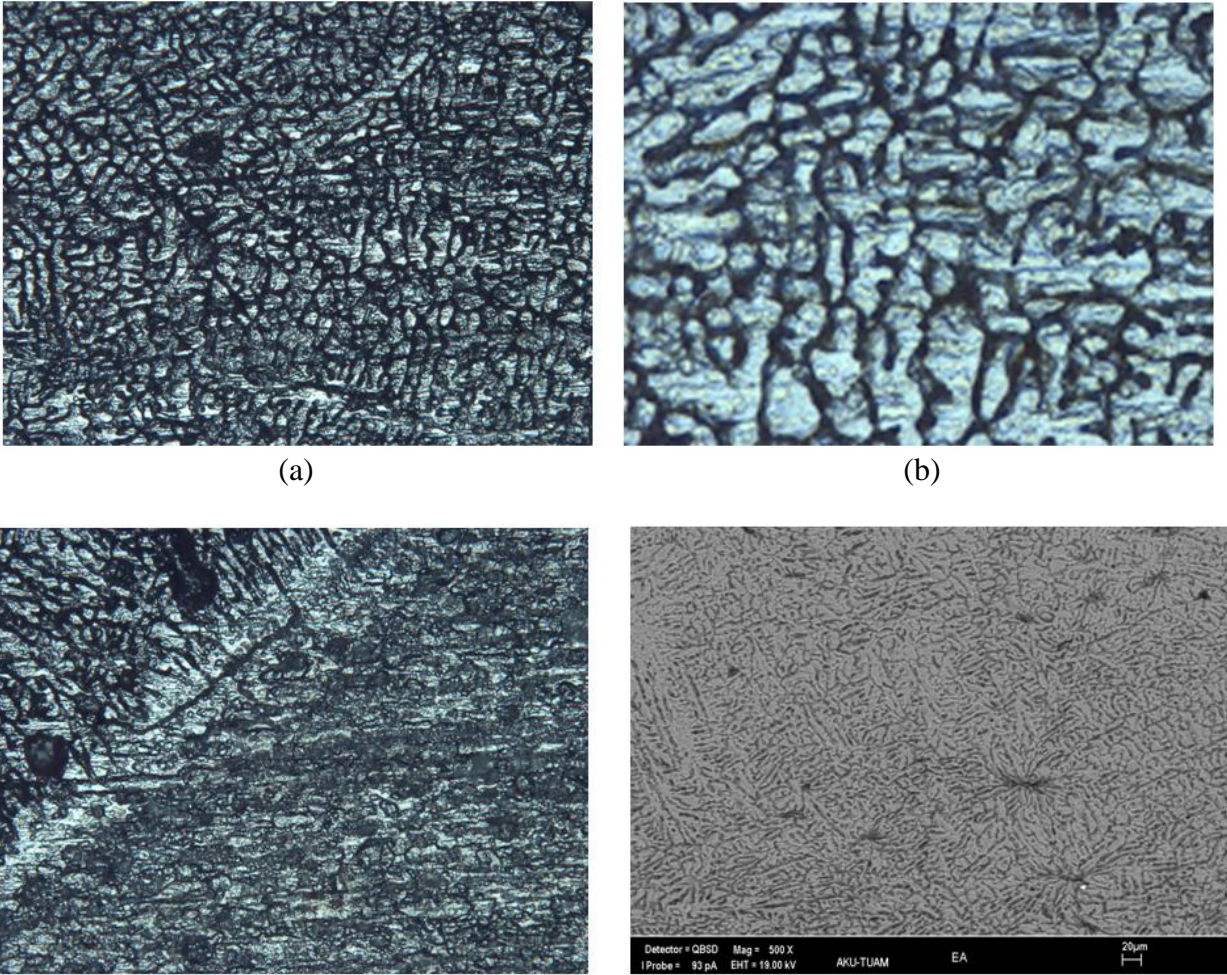
Şekil 2. Mikroyapı fotoğrafı alınan ve kaynak geçiş bölgeleri.  
1) Esas Metal, 2) Kaynak Metali, 3) ITAB





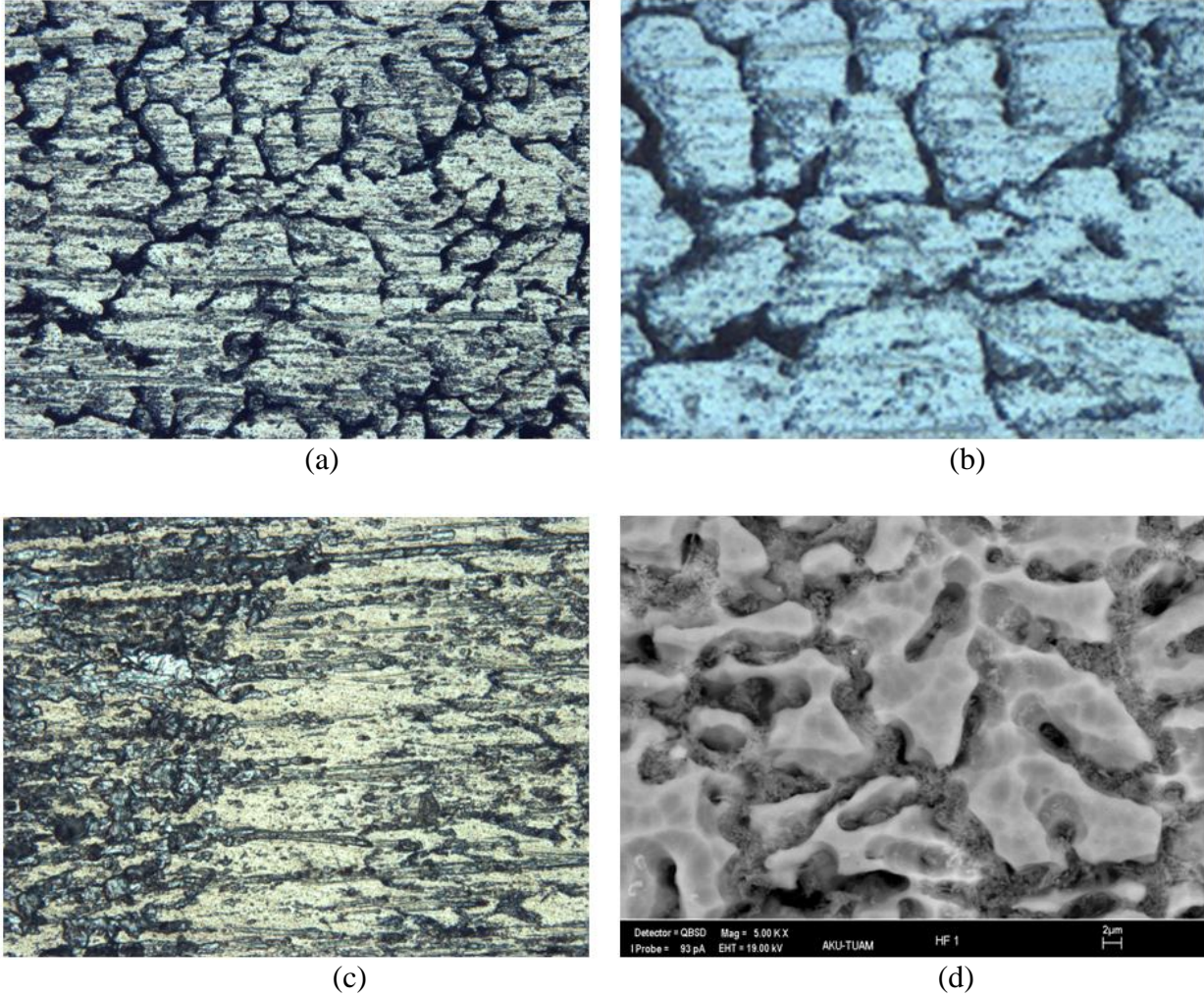
(a) (b)  
Şekil 3. Al plakalarının satın alındığı durumdaki mikroyapıları  
a) 200X b)500X

Örtülü elektrot ark kaynağındaki düşük ısı girdisi veya hızlı soğuma ile taneler kısmen daha ince yapıdadır. Geçiş bölgesinde ise bölgeler arasındaki belirgin tane boyutu farkı gözlenmektedir. Şekil 4’ de elektrik ark kaynağı ile birleştirilen numunelerin optik mikroyapıları görülmektedir.



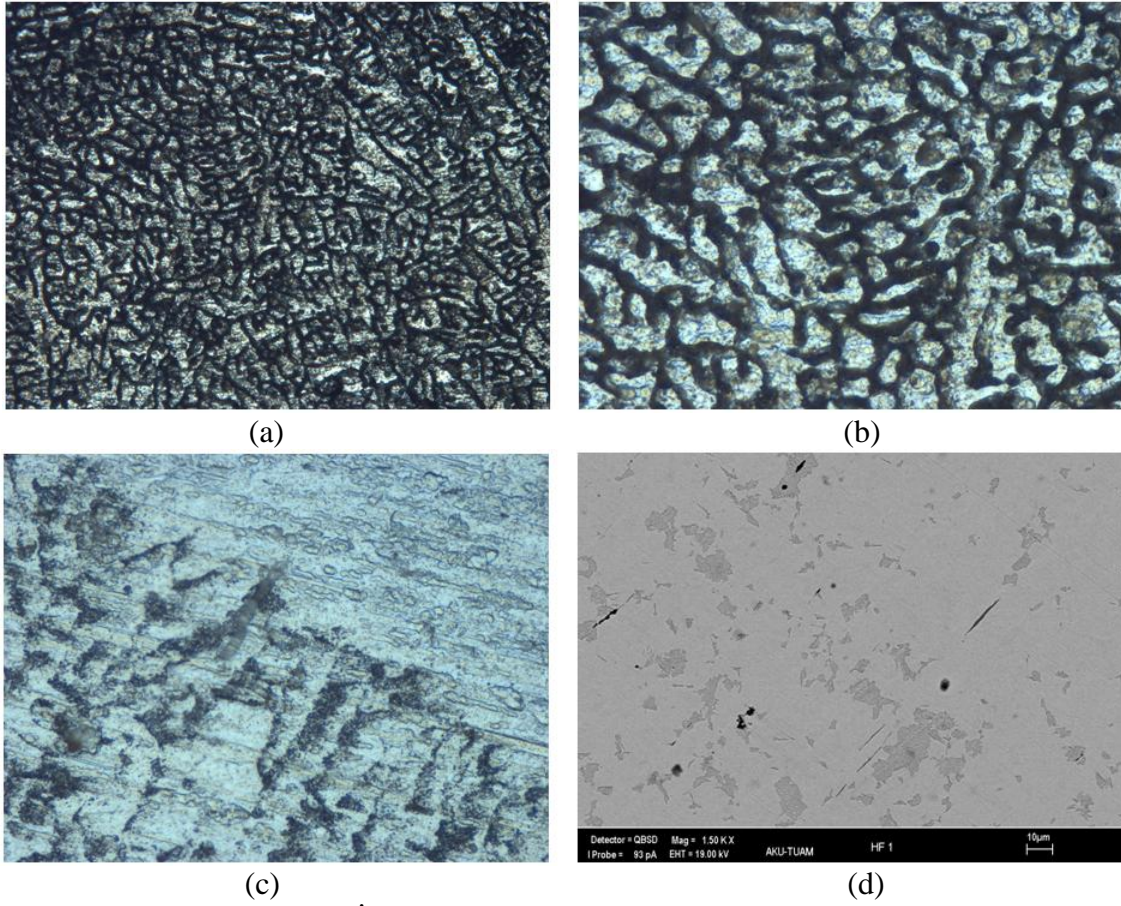
(a) (b) (c) (d)  
Şekil 4. Elektrik ark kaynağı ile birleştirilen numunelere ait mikroyapılar  
a) 200X b) 500X c) Geçiş Bölgesi 200X d) SEM mikroyapısı

Şekil 5’ de ilave metal kullanarak gerçekleştirilen TIG kaynak numunelerin optik mikroyapıları gösterilmiştir. TIG kaynağı ile yapılan alüminyum kaynaklarından başlangıç tane boyutunun örtülü elektrot ark kaynağındakine göre kontrol edilemediği görülmektedir. Tanelerin aşırı irileşmesi ilave tel kullanılması durumunda tane boyutu farkı belirginleşmiştir. Bu duruma kaynakçının kaynak bölgesine ilave tel verme işlemi ile kaynak ilerleme hızının yavaşlaması gösterilebilir. İlerleme hızının azalması ile kaynaklanan numuneler üzerindeki ısı birikimi ve geç soğuma tane irileşmesine etkilemiştir. Ayrıca çekme deneyi sonucu açısından da bu durum düşünülebilir.



Şekil 5. TIG kaynağı (İlave Metal) ile kaynaklanmış numunelere ait mikroyapılar.  
a) 200X b) 500X c) Geçiş Bölgesi 200X d) SEM mikroyapısı.

Şekil 6’ da ilave tel kullanılmadan TIG kaynağı ile birleştirilen numunelere ait mikroyapılar gösterilmiştir. İlave metal kullanılmadan birleştirilen numunelerdeki mikroyapı görüntülerinden genel olarak tane boyutunun ilave tel kullanılarak birleştirilen numunelerden daha ince yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 6. TIG kaynağı (İlave Metalsiz) ile kaynaklanmış numunelere ait mikroyapılar.  
a) 200X b) 500X c) Geçiş Bölgesi 200X d) SEM mikroyapısı

#### 4. Sonuçlar

Yürütülen bu çalışmada genel olarak elde edilen bulgularda elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş alüminyum plakalarda ısı girdisinin TIG kaynağına göre daha düşük olması nedeni ile tane boyutu TIG kaynaklı numunelere göre daha ince olduğu gözlemlenmiştir. TIG kaynağı ile birleştirilen alüminyum plakaların ısı girdisinin yüksek olması nedeniyle genel olarak tane büyümesi meydana gelmiştir. En yüksek akma gerilmesi ilave metalsiz TIG birleştirmede (90 MPa) ölçülürken, en düşük akma gerilmesi ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numuneler de (57 MPa) elde edilmiştir. Çekme deneyi sonucunda numunelerin kopma bölgeleri dikkate alındığında TIG kaynaklı birleştirmelerde numuneler ana metal bölgesinden kopmuştur. Bu durum TIG kaynak yapısında elde edilen dar dikiş ve dar ITAB bölgesi ile açıklanabilir. Ayrıca kaynak işleminin tek taraflı ve tek paso da gerçekleştirilmesi ile TIG kaynağı daha derin nüfuziyet etkisi sağlamıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Anderson, T., "The Advancement of Al within the Welding Fabrication Industry and Its Many Product Design Applications", Svetsaren, (2000), No. 2, pp. 3-5.
- [2] Mathers, G., "The Welding of Aluminium and Its Alloys", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, (2002).
- [3] Welding Handbook, "Welding Processes, Part I", Ninth Edition, AWS, USA, (2004), V. 2.

- [4] Taban, E., Kaluç, E., “En Aw-5083- H321 Alüminyum Alaşımının MIG, TIG Ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme (Fsw) Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özellikleri”, Mühendis ve Makine, Cilt: 46 Sayı: 541.
- [5] Yükler, İ., “Alüminyum Alaşım ve Isıl İşlemleri”, İstanbul, (2000).
- [6] Tezcan, A., “Alüminyum Alaşım ve Özellikleri”, Sakarya, (2001), s:1-35.
- [7] [www.autocad.Virtualave.net/postcard/alkoroz.htm](http://www.autocad.Virtualave.net/postcard/alkoroz.htm)
- [8] Karadağ, A., “Alüminyum Alaşımının TIG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine ve mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, (2011).
- [9] Brady, G. S., Clauser, H. R., Vaccor, A. J., Hill, M.G., “Alüminyum Alloys”, Materials Handbook, (1989), p. 42-49.
- [10] Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Alüminyum Alaşımının Oksi – Asetilen Kaynağı”, Gedik Teknik, (1995), Sayı : 2 s 3-12.
- [11] Gültekin, N., “MIG-TIG Kaynak Tekniği”, Yıldız Üniversitesi Yayınları, Sayı:184, Fatih Gençlik Vakfı Matbaa İşletmesi, (1985 ), s: 104-122.



---

**Makale / Research Paper**

---

**Kaynak Parametrelerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birbirine Kaynaklanmış Cu/Al-1050 Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi**

Gökhan BAŞAR<sup>1</sup>, Selçuk MISTIKOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,  
31200, Hatay/TÜRKİYE

[gokhanbasar\\_89@windowslive.com](mailto:gokhanbasar_89@windowslive.com), [selcukmistikoglu@gmail.com](mailto:selcukmistikoglu@gmail.com)

---

**Özet:** Bakır ve alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu çalışmada bu zorlukların üstesinden gelebilmek için Cu ve Al-1050, katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi üç farklı ilerleme hızı (50, 75, 100 mm/dk), iki farklı devir sayısı (1025, 1525 dev/dk) ve iki farklı takım konumlandırmasında (0.75, 1.5 mm) yapılmıştır. Kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mekanik özelliklerinin tespiti amacıyla çekme ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sürtünme karıştırma kaynağı; Cu; Al-1050; mekanik özellikler; takım konumlandırması.

---

**Effect of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Cu/Al-1050 Joints Produced by Friction Stir Welding**

---

**Abstract:** There are some difficulties in joining by using fusion welding method of copper and aluminum alloys. In this study Cu and Al 1050 alloys are joined by using friction stir welding process (FSW) which is a solid state welding method to overcome this difficulties. Joining processes were carried out at three different welding speeds (50, 75, 100 mm/min), two different spindle speed (1025, 1525 rev/min) and two different pin position (0.75, 1.5 mm) by FSW. The influence of welding parameters on mechanical properties of the joints was investigated. Tensile tests and microhardness measurements were used to determine of mechanical properties.

**Keywords:** Friction stir welding; Cu; Al-1050; mechanical properties; pin position.

---

## 1. Giriş

Farklı malzemelerin birbirleriyle çözülemeyecek şekilde birleştirilmesi birçok avantajlardan dolayı uçak-uzay, otomotiv, havacılık, ulaşım, kimya, petrokimya, nükleer, güç üretimi, elektrik elektronik endüstrisi uygulamalarındaki önemi git gide artmaktadır [1,2]. Bu farklı malzeme çiftinin sağlam bir şekilde birleştirilebilmesi, mukavemet, ağırlık, korozyon direnci vb. faktörlerin optimize etmek

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Başar, G., Mistikoğlu, S., "Kaynak Parametrelerinin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birbirine Kaynaklanmış Cu/Al-1050 Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 282-290.

*How to cite this article*

Başar, G., Mistikoğlu, S., "Effect of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Cu/Al-1050 Joints Produced by Friction Stir Welding" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 282-290.

açısından da oldukça önem arz etmektedir [3]. Bunlar sadece arzu edilen ürün özellikleri gibi teknik avantajlar sağlamaz aynı zamanda üretim ekonomisi bakımından da fayda sağlar. Bu yüzden, farklı çift malzemelerin sağlam bir birleşme tekniği kaçınılmazdır. Bu tür malzemeler kendilerine özgü kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı geleneksel ergitme kaynağı ile birleşimi oldukça zordur [4]. Ergitme kaynağında kaynak bölgesinde mikro seviyede çatlak [5] ,sıcak çatlama, gözeneklilik vb. katılma hataları [6] meydana gelmiştir. Özellikle, kaynak bölgesinin mekanik özellikleri üzerine olumsuz etkisi olan sert ve gevrek metaller arası bileşik oluşumu, üstesinden gelinmesi gereken bir başka problem olarak görülmektedir [2,7].

Alüminyum (Al) ve bakır (Cu), iyi elektrik ve ısı iletkenliğe, yüksek korozyon direncine ve mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı elektrik endüstrisi için önemli metaller içerisinde yerini almıştır [8]. Son zamanlarda, özellikle yüksek doğru-akım dağıtım hatlarında, bu iki metal türünün sağlam bir şekilde birleştirilebilmesi için farklı kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliği üzerine araştırmalar yapılmaktadır [9]. Bir katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağının (SKK), bu amaca yönelik alternatif birleştirme tekniklerinden biri olduğu düşünölmektedir. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) 1970’li yıllarda İngiltere’de The Welding Institute (TWI) adlı kurumda geliştirilmiş ve 1990’lı yıllarda patenti alınmış bir katı hal kaynak yöntemidir [10]. Literatürde alüminyum ve bakır malzeme çiftinin sürtünme karıştırma kaynak parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çok sayıda çalışma olmadığı [1,4,11-13] ve yapılan çalışmalarda yeterince yüksek dayanımlara ulaşılamadığı görölmüştür.

Yapılan bu çalışmada, Sürtünme karıştırma kaynağı ile nispeten sağlam ve kaynak bölgesinde hatasız bir Al/Cu birleştirmenin gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntem ile birleştirmede; iki farklı takım konumlandırması ve üç farklı ilerleme hızı ve iki farklı dönme hızında alın altına birleştirme yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı birleştirmelerde, kaynak kalitesini belirlemek amacıyla mikro sertlik ölçümleri, çekme deneyleri yapılmış ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirme işlemi için 4 mm kalınlıkta Alüminyum 1050 ve %99.98 saflıkta elektrolitik bakır kullanılmıştır. Alüminyum ve bakır malzemeler 120x195 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Tablo 1’de alüminyum malzemenin, Tablo 2’de bakır malzemenin kimyasal içeriği, Tablo 3’te mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Al-1050 malzemenin kimyasal içeriği (% ağırlık).

Al	Fe	Ti	Cr	Mg	Cu	Mn	Si
<b>99,49</b>	0.251	0.0262	0.0247	0.00481	0.0255	0.0365	0.124

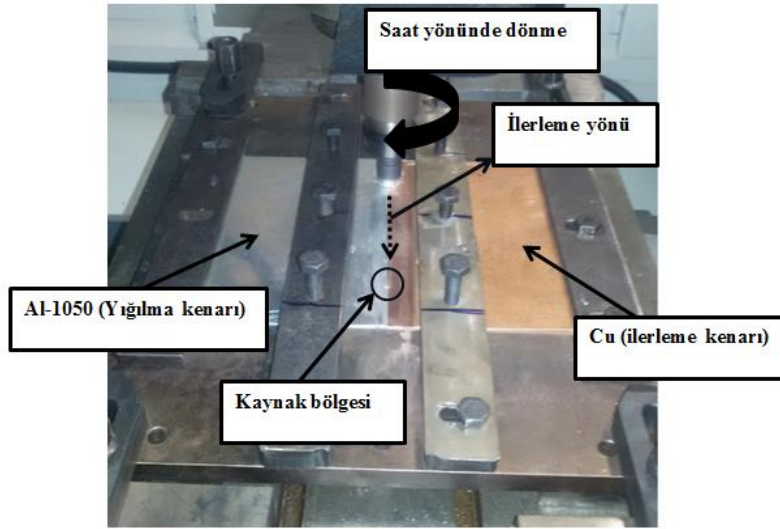
Tablo 2. Saf Cu malzemenin kimyasal içeriği (% ağırlık)

Cu	S	P	Si	Ni	Al	Zn	Fe
<b>99.98</b>	0.00139	0.00285	0.00135	0.00212	0.00209	0.00295	0.00408

Tablo 3. Alüminyum ve bakırın mekanik özellikleri.

Malzeme	Çekme (MPa)	Mukavemeti (MPa)	Kopma (MPa)	Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
<b>Bakır</b>	278.50		190.26		13.89	92
<b>Alüminyum</b>	122.50		70.15		11.81	38

Cu levha ilerleme kenarına, Al-1050 levha ise yığılma kenarına paslanmaz çelikten imal edilmiş bağlama kalıbı üzerine sabitlenmiştir. Cu/Al-1050 birleştirme sırasında parçalarla temas halinde olan karıştırıcı uçta yüksek sıcaklıklar oluşacağından, işlem sırasında aşınma ve sertlik direncini koruyabileceği düşünülerek takım malzemesi (1.3343 tip) yüksek hız çeliğinden, diş açılmış karıştırıcı uca sahip olan bir takım kullanılmıştır. Üretimi yapılan karıştırıcı uca sertleştirme ısıl işlemi yapılarak 62 HRC sertlik değeri kazandırılmıştır. Takım omuz çapı 20 mm, pim ise M5x3.80 mm olacak şekilde silindirik olarak imal edilmiştir. Karıştırıcı uç eksenini, birleştirilecek levhaların alın altına temas yüzeyleri eksenini doğrultusunda ve levha yüzeylerine dik olarak sabitlenmiştir. Birleştirmelerde takım saat yönünde döndürülmüştür. SKK ile birleştirme işlemlerinde, karıştırıcı uç Cu ve Al-1050 levha yüzeylerinin içeriye batırıldıktan ve takım omuz kısmı da levha yüzeylerine sürtünmeye başladıktan sonra ön ısıtma yapmak amacıyla 60 saniye beklenmiş, sonrasında takıma ilerleme hareketi verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanması

Optimum kaynak parametrelerin belirlenmesi için değişik takım dönme ve ilerleme hızlarında ön deney çalışmaları yapılmıştır. Bu deneylerde karıştırıcı uç alüminyum ve bakır levhaya 0 (sıfır) olarak konumlandırılmıştır. Yapılan ön deneysel çalışmalarda düşük mukavemet değerleri elde edilmiştir. Kaynak yüzey görüntülerinde çatlak görülürken, içyapıda boşluklar oluşmuştur. Kaynak bölgesinde malzemelerde karışımın gerçekleşmemesi ve boşlukların olması kaynaklı parçaların mukavemet değerlerinin düşük olmasına neden olmuştur. Ön deneysel çalışmalarda sıfır takım konumlandırmasında elde edilen numunelerin görüntüleri Şekil 2’de gösterilmiştir.

Numune Kodu	Görünüm	
	Yüzey	Kesit
1025/50/0		
1025/75/0		

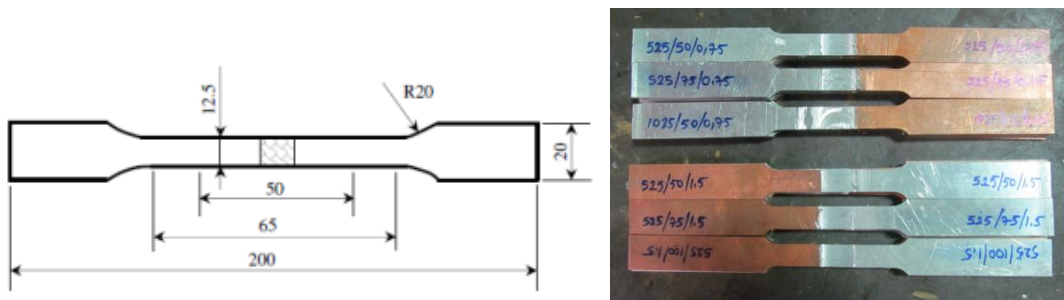
Şekil 2. Kaynak yüzey ve kesit görüntüleri

Şekil 2 incelendiğinde, 1025/50/0 ve 1025/75/0 parametrelerinde birleştirilen kaynaklı numunelerin yzeylerinde makro çatlaklar ve kesit görüntülerinde ise boşluklar oluştuğu belirlenmiştir. Bu kaynak hatalarından dolayı seçilen kaynak parametrelerinin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu parametrelerde birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme mukavemetleri sırasıyla; 1025/50/0 numunesinde 30.65 MPa, 1025/75/0 numunesinde ise 38.42 MPa elde edilmiştir. Makro görüntülerden elde edilen sonuçlar ile çekme testinden elde edilen sonuçlar birbirlerini destekler niteliktedir. Benzer şekilde literatürde yapılan çalışmalarda da kaynak hatalarının çekme mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilediği ifade edilmektedir [2,14]. Daha sonra karıştırıcı ucun konumunun değiştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Ön çalışmalardan sonra takım konumlandırılmasının önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülerek, Tablo 4'te verilen kaynak parametreleri belirlenmiştir.

Cu/Al-1050 birleştirmesinin, saf Cu ve Al-1050 ana metallere göre olan kaynak performansının değerlendirilmesi için çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme numuneleri kaynak yönüne dik olarak EN 10002-1 standardına uygun hazırlanmıştır. Deneylerin tamamında çekme hızı 2 mm/dk. olarak belirlenmiştir. Şekil 3'te çekme numunesinin geometrik detayları ve görüntüsü verilmiştir. Ana metaller ve birleştirmeye ait üç numunenin ortalamaları çekme testi sonuçları olarak sunulmuştur.

Tablo 4. Kaynak parametreleri.

Deney No	Takım Dönme Hızı (dev/dak)	Takım İlerleme Hızı (mm/dak)	Takım Kaydırma (mm)	Numune Kod
1	1025	50	0.75	1025/50/0.75
2			1.5	1025/50/1.5
3		75	0.75	1025/75/0.75
4			1.5	1025/75/1.5
5		100	0.75	1025/100/0.75
6			1.5	1025/100/1.5
7	1525	50	0.75	1525/50/0.75
8			1.5	1525/50/1.5
9		75	0.75	1525/75/0.75
10			1.5	1525/75/1.5
11		100	0.75	1525/100/0.75
12			1.5	1525/100/1.5



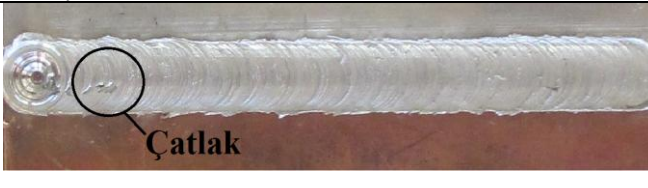
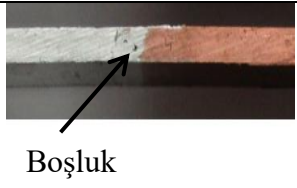
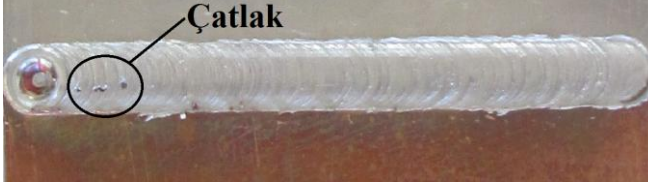
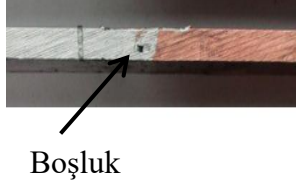




Şekil 3. Çekme numunesi geometrik detayları ve görüntüsü



Birleştirmenin kaynak bölgesindeki Vickers mikrosertlik (HV) ölçümleri için hazırlanan numune yüzeyinin üst ve alt bölgelerinden, kaynak kesitine doğru 1'er mm içeriden ve kaynak yönüne dik doğrultularda sıra-sertlik şeklinde gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri, MICROBUL Low Vickers & Brinell Hardness Tester Load tipi sertlik cihazında 0.5 kg yük ve 30 sn bekleme süresi uygulanarak yapılmıştır. Çekme testi 10 kN kapasiteye sahip AGS-J SHIMADZU marka cihazla gerçekleştirilmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 4'de verilen kaynak parametrelerine göre birleştirilen numuneler içerisinde en iyi iki ve en kötü iki sonucu gösteren numunelerin kaynak kök ve kesit görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.

Numune Kodu	Görünüm	
	Yüzey	Kesit
1525/50/0.75		
1525/75/0.75		
1025/50/1.5		
1525/75/1.5		

Şekil 4. Kaynaklı numunelerin yüzey ve kesit görüntüleri

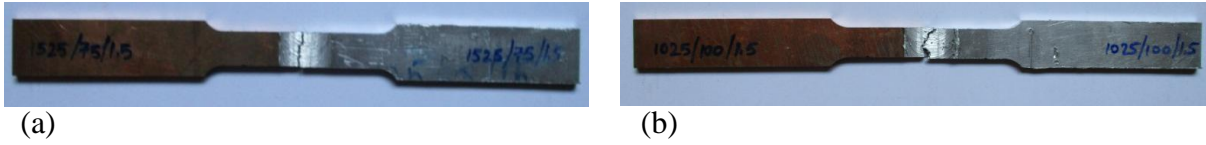
Şekil 4 incelendiğinde, takım konumunun alüminyum tarafına doğru 0.75'ten 1.5'e artmasıyla kaynaklı numunelerin yüzey ve kesitinde boşluk, çukur, birleşme yetersizliği çatlama, ayrılma gibi kaynak hatalarının oluşmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kaynak kesitleri incelendiğinde 1525/50/0.75 ve 1525/75/0.75 numunelerinde karışımın alüminyum tarafında çok fazla oluşmadığı, bu durumun da mekanik değerleri olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır (Tablo 5).

1525/50/0.75 ve 1525/75/0.75 kaynaklı numunelerin kaynak yüzeylerinde çatlakların ve kesit görüntülerinde ise boşlukların oluştuğu belirlenmiştir. Bu parametrelere göre üretilen numunelerin çekme mukavemet değerleri sırası ile 57.89 MPa ve 50.12 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler tüm numuneler içerisinde en düşük çekme mukavemet değerleri olup bu düşük çekme mukavemet değerleri kaynak dikişinde meydana gelen kaynak hatalarına atfedilmektedir. Zira, kaynak dikişinde kaynak hataları görülmeyen 1025/50/1.5 ve 1525/75/1.5 numunelerin çekme mukavemetlerinin bir miktar artış ile sırasıyla 86.34 MPa ve 99.18 MPa'ya yükseldiği belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme testi sonrasında elde edilen çekme mukavemeti, % uzama ve kaynak performans değerleri Tablo 5'da verilmiştir.

Tablo 5. Çekme deneyi sonuçları

Deney No	Deney numunesi	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Kaynak Performansı (Al göre %)
	Al	122.5	11.81	-
	Cu	278.50	13.89	-
1	1025/50/0.75	63.30	2.94	51.67
2	1025/75/0.75	75.38	3.42	61.53
3	1025/100/0.75	82.31	4.74	67.19
4	1025/50/1.5	86.34	4.62	70.48
5	1025/75/1.5	67.44	3.54	55.05
6	1025/100/1.5	52.83	2.11	43.12
7	1525/50/0.75	57.89	2.62	47.25
8	1525/75/0.75	50.12	1.54	40.91
9	1525/100/0.75	77.33	4.10	63.12
10	1525/50/1.5	83.03	4.80	67.77
11	1525/75/1.5	99.18	5.08	80.96
12	1525/100/1.5	71.12	3.60	58.05

Ana malzemelerin çekme mukavemet değerleri Al için 122.50 MPa, Cu için de 278.50 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti 1525/75/1.5 numunesinde 99.18 MPa, en düşük çekme mukavemeti ise 1525/75/0.75 numunesinde 50.12 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme testi sonucunda kopmaların kaynak bölgesinden gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 5).

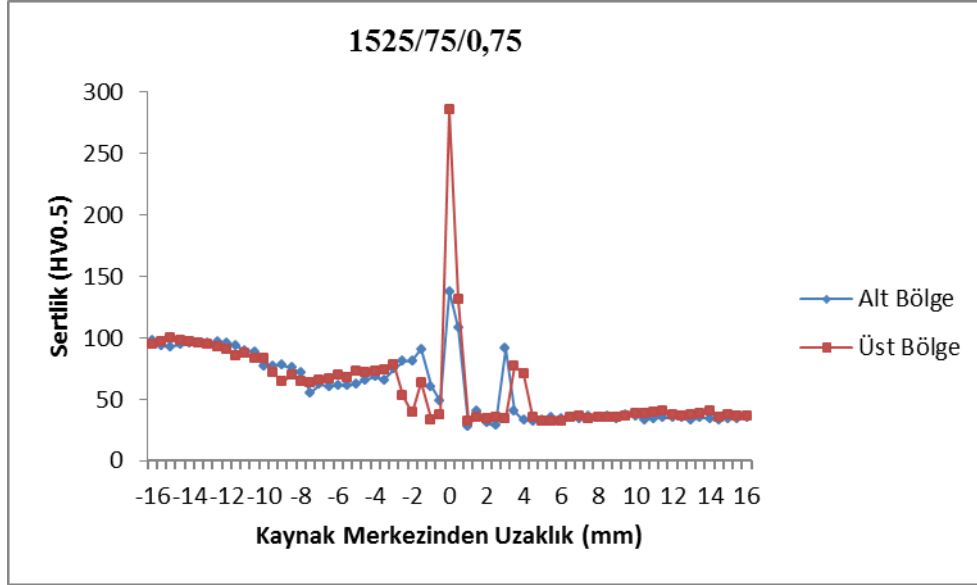


Şekil 5. Çekme testi sonrası yüzey görüntüleri (a) en iyi çekme mukavemete sahip numune (b) en kötü çekme mukavemete sahip numune

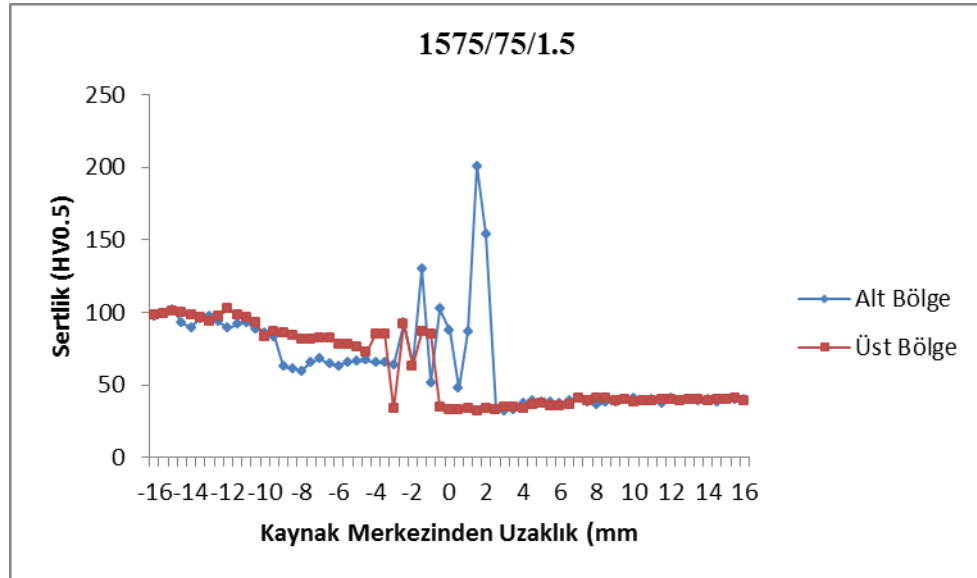
1525 dev/dak devir hızında, 75 mm/dak ilerleme hızında ve 1.5 mm takım konumlandırmasında gerçekleştirilen Cu/Al-1050 alın altına yapılan sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen çekme mukavemeti (98.18 MPa), ve kaynak performansı % 80.96 olarak belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde Muthu ve Jayabalan [15] yaptıkları çalışmada saf Cu/AA1100 malzeme çiftinin takım konumlandırması ile gerçekleştirilen sürtünme karıştırma kaynağında çekme mukavemetini 113 MPa ve kaynak performansını da % 70.62, Çakır ve Çelik'de [14] saf Cu/Al-1050 sürtünme karışma kaynağında elde edilen çekme dayanımı değerini 92.91 MPa ve kaynak performansı da % 83.55 olarak tespit etmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen çekme mukavemeti ve kaynak performansı sonuçlarının literatürden elde edilen sonuçlar ile büyük bir paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar katı hal birleştirme yöntemlerinden olan sürtünme ve difüzyon kaynak yöntemleri ile mukayese edildiğinde daha yüksek mukavemet değeri elde edilebildiği tespit edilmiştir. Literatürde, saf Cu/Al-1050 sürtünme kaynaklı birleştirmesinin çekme dayanımı 87 MPa [16], difüzyon kaynağı yapılmış iki farklı çalışmada ise sırasıyla 61 MPa [17] ve 28 MPa [18] olarak belirlenmiştir. Cu/saf Al ultrason kaynağında ise çekme dayanımı 90 MPa yakın bir değer elde edilmiştir [19].

Şekil 6 ve Şekil 7'de en düşük çekme mukavemetine sahip 1525/75/0.75 numunesi ile en yüksek çekme mukavemetine sahip 1525/75/1.5 numunesinin kaynak alt ve üst bölgelerinden elde edilen sertlik değerleri verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, 1525/75/0.75 numunesinin kaynak bölgesinin

sertliğinin 27-285 HV arasında dağılım gösterdiği, ortalama sertliğin 59 HV olduğu bulunmuştur. 1525/75/1.5 numunesinin sertlik grafiği incelendiğinde ise kaynak bölgesinin sertlik değerlerinin 32-200 HV arasında dağılım gösterdiği, ortalama sertliğin 65 HV olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 7). Kaynak bölgesinde görülen bu sertlik artışları, ince taneli alüminyumca zengin yapıya, bakırca zengin yapıya ve metaller arası oluşan intermetalik bileşiklerden oluşurken, kaynak bölgesindeki sertlik değerlerindeki dalgalanmalar ise mikroyapının heterojen olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [2,14]. Ayrıca ana metallerin mikro sertlik değerlerinin Cu metali için 92 HV, Al metali için ise 38 HV olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 1525/75/0.75 numunesinin alt ve üst bölgelerinden ölçülen mikrosertlik grafiği



Şekil 7. 1525/75/0.75 numunesinin alt ve üst bölgelerinden ölçülen mikrosertlik grafiği

#### 4.Sonuçlar

Bu çalışmada, saf Cu levha ilerleme tarafına, Al-1050 levha yığılma tarafına yerleştirilerek saat yönünde 1025, 1525 dev/dak dönme hızlarında ve 50, 75, 100 mm/dak ilerleme hızlarında, 0.75-1.5 mm takım konumlandırmalarında sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle alın altına başarılı bir

şekilde birleştirilmiştir. Takım konumlandırmasının 0 olduğu durumda kaynak kesitinde gözle görülür seviyede boşlukların ve kaynak yüzeylerinde çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. Bu yüzden 0 takım konumlandırmasında diğer takım konumlandırmalarına (0.75, 1.5) göre daha düşük çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Yapılan parametrik çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçları incelendiğinde; en yüksek çekme mukavemeti 1525 dev/dak dönme hızında, 75 mm/dak ilerleme hızında ve 1,5 takım konumlandırmasında 99.18 MPa olarak elde edilmiş olup Al ana metaline göre (122.5 MPa) % 80.96 kaynak performansı tespit edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti ise; 1525 dev/dak dönme hızında, 75 mm/dak ilerleme hızında ve 0.75 takım konumlandırmasında elde edilmiş olup kaynak performansı % 40.91 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre takım aynı ilerleme ve devir sayısında olmasına rağmen takım konumlandırmasının artmasıyla mekanik değerlerde göze çarpan bir şekilde bir artışın olduğu görülmüştür.

Farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesinde takım konumlandırmasının mekanik değerleri etkileyen önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Kaynaklı numunelerin sertlikleri incelendiğinde; düşük mekanik özelliklere sahip olan 1525/75/0.75 numunede kaynak bölgesindeki ortalama sertliğin daha yüksek mekanik özelliklere sahip olan 1525/75/1.5 numunesinin kaynak bölgesindeki ortalama sertliğe göre daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

## 5. Teşekkürler

Bu çalışma, Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (BAP) tarafından 13261'nolu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, projenin gerçekleşmesinde maddi destek sağlayan Mustafa Kemal Üniversitesi BAP'a, testlerin yapıldığı HATBORU AŞ: (Hatay) ne sonsuz teşekkürlerini sunar.

## Kaynaklar

- [1] Ouyang J., Yarrapareddy E., Kovacevic R., "Microstructural evolution in the friction stir welded 6061 aluminum alloy (T6-temper condition) to copper", *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 172-1: 110-122.
- [2] Barlas Z., Uzun H., "Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılmış Cu/Al-1050 Alın Birleştirmesinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2010, Cilt 25, No 4: 857-865.
- [3] Milles M. P., Melton D. W., Nelson T. W., "Formability of Friction-Stir-Welded Dissimilar-aluminum-Alloy Sheets", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2005, vol.36A, no.12: 3335-3342.
- [4] Xue P., Xiao B. L., Ni D. R., Ma Z. Y., "Enhanced mechanical properties of friction stir welded dissimilar Al-Cu joint by intermetallic compounds", *Materials Science and Engineering A*, 2010, 575: 5723-5727.
- [5] Pooya, Pourahmad, Mehrdad, Abbasi, "Materials flow and phase transformation in friction stir welding of Al 6013/Mg", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2013, 23: 1253-1261.
- [6] Liu L., Wang H., Song G., Ye J., "Microstructure characteristics and mechanical properties of laser weld bonding of magnesium alloy to aluminum alloy", *J. Mater. Sci.*, 2007, 42: 565-572.
- [7] Wagner F., Zerner I., Kreimeyer M., Sepold G., "Characterization and properties of dissimilar metal combinations of Fe/Al and Ti/Al-sheet materials", *International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics*, Florida, A.B.D., 1301-1310, 2001.
- [8] Russell A. M., Lee K. L., "Structure-Property Relations in Nonferrous Metals", *John Wiley & Sons, Inc., Publication*, A.B.D., 2005.

- [9] Veerkamp W. E., "Copper-to-Aluminum Transitions in High DC Bus System", IEEE Trans Indust Appl, 1997, Cilt 33 No 4: 1027-1034.
- [10] Çam G., "Al-Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 19– 20 Ekim İstanbul, 267–277, 2001.
- [11] Xue P., Ni D. R., Wang D. B., Xiao L., Ma Z. Y., "Effect of Friction Stir Welding Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of the Dissimilar Al–Cu Joints", Materials Science and Engineering A., 2011, 528(13-14): 4683–4689.
- [12] Liu P., Shi Q., Wang W., Wang X., Zhang Z., "Microstructure and XRD Analysis of FSW Joints for Copper T2/Aluminium 5A06 Dissimilar Materials", Materials Letters, 2008, 62(25): 4106–4108.
- [13] Genevois C., Girard M., Huneau B., Sauvage X., G., "Interfacial Reaction during Friction Stir Welding of Al and Cu", Metallurgical and Materials Transactions A, 2011, Volume 42A-August: 2290-2295.
- [14] Çakır R., Çelik S., "Alüminyum ve bakırın yüksek devirli sürtünme karıştırma kaynağında takım pozisyonunun etkisi", Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 2015, 21(8): 352-357.
- [15] Muthu M. F. X., Jayabalan V., "Tool travel speed effects on the microstructure of friction stir welded aluminum-copper joints", Journal of Materials Processing Technology 217 (2015), pp. 105-113.
- [16] Lee W. B., Bang K. S., Jung S. B., "Effects of Intermetallic Compound on the Electrical and Mechanical Properties of Friction Welded Cu-Al Bimetallic Joints During Annealing", J Alloy Compd, 2005, Cilt 390, No 1-2: 212-219.
- [17] Ay İ., Çelik S., Çelik İ., "Comparison of Properties of Friction and Diffusion Welded Joints Made Between the Pure Aluminium and Copper Bars", BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1999, Cilt 1, No 2: 88-102.
- [18] Enjo T., Ikeuchi K., Akikawa N., "Diffusion Welding of Copper to Aluminum", Transactions of the Japan Welding Society, 1997, Cilt 8, No 1: 77- 84.
- [19] Tsujino J., Ueoka T., "Ultrasonic Butt Welding of Aluminum, Anticorrosive Aluminum and Copper Plate Specimens", Proceeding IEEE 1988 Ultrasonics Symposium, New York, A.B.D., 493-496, 1988.



---

**Research Paper / Makale**

---

**Investigation of Fume Formation Rate in SMAW of 316L Stainless Steel  
with Different Electrodes Using Taguchi and Anova**

**Tolga MERT<sup>1,\*</sup>, Kutsi Mert ŞENÖZ<sup>2</sup>, Levent BİLGİLİ<sup>2</sup>, Uğur Buğra ÇELEBİ<sup>2</sup>, Serkan EKİNCİ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 34349 İSTANBUL/TÜRKİYE

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri  
Mühendisliği Bölümü, 34349 İSTANBUL/TÜRKİYE

<sup>1</sup>tmert@yildiz.edu.tr, <sup>2a</sup>kmsenoz@yildiz.edu.tr, <sup>2b</sup>ibilgili@yildiz.edu.tr, <sup>2c</sup>ucelebi@yildiz.edu.tr, <sup>2d</sup>ekinci@yildiz.edu.tr

---

**Abstract:** Welding is one of the most utilized joining techniques in heavy industry and manufacturing sector due to its ease of application and strength. 316L grade stainless steel is mainly used in chemical, petro-chemical, food, paper, paint and shipbuilding industries as well as dairy equipment. Arc welding processes are preferred in joining of stainless steel and shielded metal arc welding is widely used in this respect along with gas metal arc welding. There are some drawbacks of welding despite many advantages. Welding is defined as a hazardous process in terms of occupational safety and health and the environment because of toxic fume and noxious gases emitted. In this study, Taguchi design of experiment was utilized and shielded metal arc welding of 316L grade stainless steel was realized using electrodes with same classification from two different brands with different current parameters. Fume formation rates for each experimental condition were measured and results were evaluated using Taguchi signal to noise ratios and analysis of variance.

**Keywords:** 316L stainless steel, SMAW, fume formation rate, Taguchi, ANOVA

---

**316L Paslanmaz Çeliğin Farklı Elektrotlar ile Yapılan Örtülü Elektrot Ark  
Kaynağında Duman Oluşum Hızının Taguchi ve Anova ile İncelenmesi**

---

**Özet:** Kaynak, kolay uygulanabilirliğinden ve mukavemetinden dolayı, imalat sektörü ve ağır sanayide en çok kullanılan birleştirme yöntemlerinden birisidir. 316L kalite paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları kimya, petro-kimya, gıda, kağıt, boya ve gemi imalatıdır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında ark kaynak prosesleri tercih edilmektedir ve gazaltı kaynağının yanında örtülü elektrotla ark kaynağı da sıklıkla kullanılmaktadır. Kaynak prosesinin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Kaynak, toksik duman ve sağlığa zararlı gazlar oluşturduğu için iş sağlığı ve güvenliği ile çevre açısından tehlikeli bir proses olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarımı oluşturulmuş ve iki farklı markanın aynı sınıflandırmaya sahip elektrotları, farklı akım parametreleri kullanılarak 316L paslanmaz çeliğin örtülü elektrot ark kaynağında kullanılmıştır. Her deney şartındaki duman oluşum hızları ölçülmüş ve sonuçlar Taguchi sinyal-gürültü oranı ve varyans analizi ile değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** 316L paslanmaz çelik, örtülü elektrot ark kaynağı, duman oluşum hızı, Taguchi, ANOVA

---

*How to cite this article*

Mert, T., Şenöz, K.M., Bilgili, L., Çelebi, U.B., Ekinci, S., "Investigation of Fume Formation Rate in SMAW of 316L Stainless Steel with Different Electrodes Using Taguchi and Anova" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 291-296.

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Mert, T., Şenöz, K.M., Bilgili, L., Çelebi, U.B., Ekinci, S., "316L Paslanmaz Çeliğin Farklı Elektrotlar ile Yapılan Örtülü Elektrot Ark Kaynağında Duman Oluşum Hızının Taguchi ve Anova ile İncelenmesi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 291-296.

## 1. Introduction

Welding is the most common joining operation used in shipbuilding sector as well as other industrial manufacturing processes. Although there are many different types of welding, shielded metal arc welding is one of the most frequently used methods amongst all for both low carbon and stainless steels.

Welding has the biggest share in assembly processes with approximately 48-50 percent. In spite of the major material of a ship is steel, aluminum and other materials are used for some superstructures like the deckhouses and other specific areas within the ship [1]. In ship building, stainless steel materials are mainly used in manufacturing of ship warehouses. Various welding electrodes are used for welding metal parts in shipbuilding industry. Depending on the type of electrode, different types and amounts of emissions are generated [2]. Chemical composition of welding fume and the exposures must be determined experimentally in order to develop preventive measures against the hazards of welding fume to workers' health and the environment [3]. Welding fume is produced by evaporation and condensation of metallic elements in air. Amount of emissions may vary according to welding processes and parameters. Composition of fume varies with the contents of the electrode, parameters and work piece and toxic fume released contains potential hazards to human health. Although, worker exposure is usually prevented by ventilation and personal protective equipment, detection of environmental exposure is much more difficult [4].

Sowards et al. researched the effect of heat input on fume generation rates in some SMAW electrodes [5]. Kura, has determined that fume amount of flux-cored electrode welding is much more than other welding methods [6]. Welding fume particles less than 1mm in diameter cause the greatest health hazard due to their ability to penetrate deep into the lungs [7]. Hazardous metals listed in the 1990 Clean Air Act Amendments that have been detected in welding fume include manganese, nickel, chromium, cobalt and lead. Additionally, the hexavalent form of chrome ( $\text{Cr}^{+6}$ ) is also found in some welding fume emissions. The emissions of toxic air contaminants during welding have potential adverse human health impacts [4]. Sowards et al. studied characterization of welding fume particles of SMAW electrodes [8]. Matczak et al., numerically calculated soluble and insoluble  $\text{Cr}^{+3}$  and  $\text{Cr}^{+6}$  compounds inside welding fume [9]. Stopford, has researched welding fume particle sizes and chemical characteristics [10]. Amount of welding fume varies with the electrodes, methods, shielding gases, welding conditions and welder's skill. Mostly used welding materials include manganese, silicon, chromium and nickel. Chromium and nickel fumes are accepted in the carcinogenic class. High exposure to manganese can cause neurological disorders and discomforts to workers.

It is not clearly proven in epidemiologic studies that welding fume cause lung cancer. Investigation of possible correlation is ongoing quite broadly between welding profession and lung cancer cases and deaths. It is seen that high risk of cancer are shown in studies on welders. International Agency for Research on Cancer (IARC) reported in 1990 that "welding fume is probable carcinogen substance" [11]. Metal fume fever is also a possibility after exposure to manganese fume. Chronic manganese poisoning, characterized by a severe disorder of the nervous system, has been reported in welders working in confined spaces on high-manganese steels [12].

## 2. Experimental Study

In this study, experiments were designed using Taguchi method, which is one of the most reliable designs of experiment methods. Taguchi design of L4 orthogonal array was implemented and welding trials were run for three times. Table 1 shows two process factors (i.e. electrode type and current) and two levels, which were used to form L4 orthogonal array. Current values (level 1 and level 2) were decided so that the values would reflect the highest and lowest current in working

range given by the manufacturers. Welding speed factor was not included in the experiments since Mert et al. [13] has shown that welding speed was an insignificant factor in terms of fume formation rate in SMAW.

Table 1. Experimental factors and levels

Symbol	Factor	Level 1	Level 2
A	Electrode type	LR32	LR12
B	Current (A)	80	120

Fume emission experiments have been realized inside a fume chamber (Figure 1) designed according to EN ISO 15011-1:2009 [14]. X2CrNiMo17-12-2 (EN 10088-1) stainless steel round plates with diameter of 290 mm were used in the experiments and these plates were welded with E16 12 3 LR 32 (EN ISO 3581) and E16 12 3 LR 12 (EN ISO 3581) covered electrodes with 3.20 mm diameter for 30 seconds. Welding power source was Lincoln Electric Invertec V260-S. Chemical composition of base metal and the electrodes are given in Table 2. Fume was captured on round Sartorius Stedim MGA glass fiber filters with 240 mm diameter. Filters were stored in a furnace at 110°C for at least 1 hour before and after the experiments. Shimadzu BL-320H electronic balance was used to weigh filters and electrodes.



Figure 1. Fume chamber

Table 2. Chemical composition of X2CrNiMo17-12-2 stainless steel and E16 12 3 LR 32 and E 19 12 3 LR12 stainless steel covered electrodes (% wt)

Material/Electrode	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
X2CrNiMo17-12-2	≤0.03	2.0	1.0	17.0	12.0	2.50
E16 12 3 LR 32 electrode	≤0.04	0.80	0.70	19.0	12.0	2.60
E 19 12 3 LR12 electrode	≤0.03	0.80	0.70	17.0	11.0	2.90



### 3. Results and Discussion

After the welding experiments were realized according to L4 Taguchi design and repeated three times, fume accumulation on filters were weighed and fume formation rate was calculated. Table 3 presents Taguchi design and mean FFR measurements.

Table 3. L4 experimental set and FFR measurements

Factors and levels			Output	
Run	Electrode type	Current	FFR (g.min <sup>-1</sup> )	S/N ratio (dB)
1	1	1	0.155	16.1934
2	1	2	0.258	11.7676
3	2	1	0.147	16.6537
4	2	2	0.251	12.0065

Experimental data were analyzed using signal to noise (S/N) ratio and the analysis of variance (ANOVA) methods by using Minitab 17 software. It is better to have smaller fume formation rate in welding in terms of environmentally friendliness and occupational safety and health, smaller is better equation was chosen (Eq. 1) in S/N calculations. Here, n is the number of repeated experiments, Y is the measured value of the response variable.

The lower ---- the better:

$$S/N = -10\log((\sum Y^2)/n) \quad (1)$$

Table 4 shows response table for S/N ratios. S/N ratios in Taguchi method are used to investigate the significance of the factors. Higher S/N ratios yield to the aim, which is lower FFR in this study. Table 4 and Fig. 2 depict that current has the highest effect on FFR and is followed by electrode type. It is understood that FFR is minimum at second level of electrode type (A2) and first level of current (B1). Therefore, optimum design parameter combination is A2B1. Since this combination was included L4 orthogonal array, confirmation test was not needed.

Table 4. Response table for S/N ratios

Level	A	B
1	13.98	16.42
2	14.33	11.89
<b>Delta</b>	0.35	4.54
<b>Rank</b>	2	1

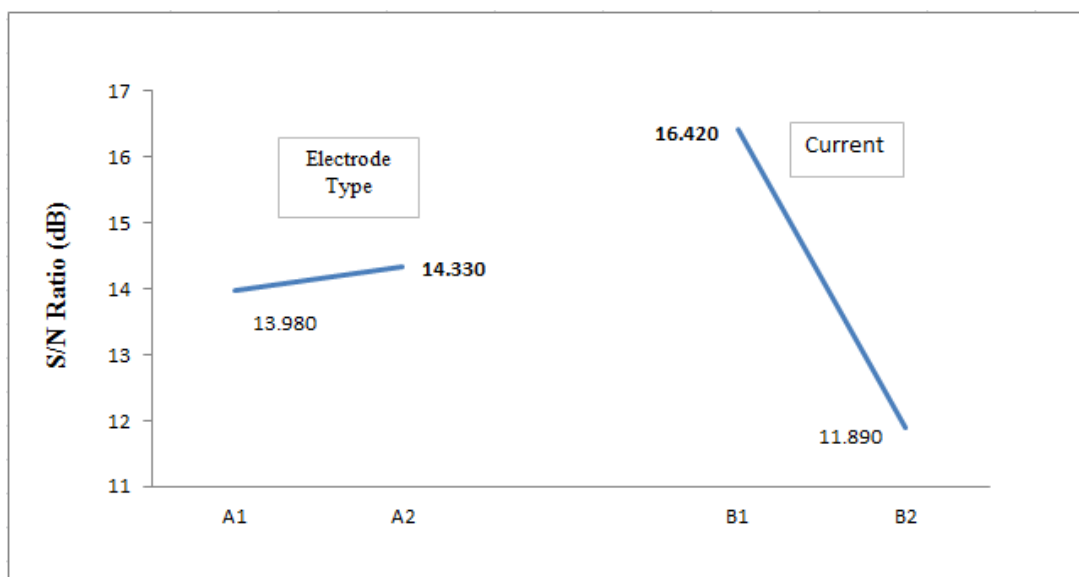


Figure 2. S/N ratios of factor levels for FFR

ANOVA analysis was performed to investigate the significance of the factors on FFR. ANOVA results were based on general linear model and are given in Table 5. P-value should be equal or less than 0.05 with 95% confidence level. P-values for both factors were less than 0.05. Therefore, electrode type and current factors had statistically significant effect on FFR. Percentile effects of electrode type and current were 99.48% and 0.52%, respectively. Coefficient of determination (R-sq (adj)) in ANOVA analysis was found to be 99.99%.

Table 5. Analysis of variance results for FFR

Source	Degree of Freedom	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value	% Effect
<b>A</b>	1	0.000056	0.000056	225.00	0.042	0.52
<b>B</b>	1	0.010712	0.010712	42849.00	0.003	99.48
<b>Error</b>	1	0.000000	0.000000			0.00
<b>Total</b>	3					100

#### 4. Conclusion

According to experimental results and Taguchi and ANOVA evaluation, main conclusions can be summarized as follows. In both electrodes, higher current values yielded higher FFR. Current was the most significant factor and the effect of the type of the stainless electrode on FFR was negligible. FFR results obtained with the use of electrode type E 19 12 3 LR12 was smaller compared with E 19 12 3 LR32 for both current values. Not only E 19 12 3 LR32 type electrode has higher FFR but also a composition with higher chromium and nickel, which are widely accepted as toxic substances in terms of OSH, making this electrode much more prone to be potentially dangerous for human health as well as the environment. Therefore, it is advisable to select electrodes with lower FFR and lower toxic elements, provided that welding design criteria are met.

#### 5. Acknowledgement

This study has been supported by Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordinatorship (Project no: 2013-06-01-GEP01 and Project no: 2013-10-01-KAP05) and Turkish Lloyd (Türk Loydu).

## References

- [1] Celebi, U.B., “Investigation on welding emission estimation in shipyards for different ship types”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(8a) (2014), 1904-1914.
- [2] Harris, I., Castner H., “Mechanization and Automation of Welding and Cutting Processes to Reduce Fume Exposure”, NSRP ASE Project, (2003).
- [3] Senoz, K.M., Bilgili, L., Mert, T., Celebi, U.B., Ekinici, S., Vardar, N., “Fume Formation Rate of Shielded Metal Arc Welding of Stainless Steel Used in Chemical Tankers in Shipbuilding”, *The 8th International Scientific Conference on Naval, Mechanical and Industrial Engineering (TEHNONAV’15)*, 2-4 July 2015, Constanta, Romania, Special Issue, ss. 27-32.
- [4] Mener, W.C., Rosen, P.L., Austin, D.N., Holt, W.S., “Shipyard Welding Emission Factor Development”, *10th International Emission Inventory Conference - One Atmosphere, One Inventory, Many Challenges*, 1 – 3 May 2001, Denver, U.S.A.
- [5] Sowards, J.W., Lippold, J.C., Dickinson, D.W., Ramirez, A.J., “Characterization of Welding Fume from SMAW Electrodes — Part I”, *Welding Journal*, 87 (2008), 106-s-112-s.
- [6] Kura, B., “Evaluation of Cr (VI) Exposure Levels in the Shipbuilding Industry”, GCRMTC, Final Report, (1998).
- [7] Konarski, P., Iwanejko, I., Ćwil, M., “Core-shell morphology of welding fume micro and nanoparticles”, *Vacuum*, 70 (2003), 385-389.
- [8] Sowards, J.W., Ramirez, A.J., Dickinson, D.W., Lippold, J.C., “Characterization of welding fume from SMAW electrodes-Part II”, *Welding Journal*, 89 (2010), 82s-90s.
- [9] Matczak, W., Chmielnicka, J., “Methods for determining soluble and insoluble Cr III and Cr VI compounds in welding fumes”, *Polish Journal of Occupational Medicine*, 2(4) (1989), 376-388.
- [10] Stopford, W., “Welding and Exposures to Manganese Assessment of Neurological Adverse Effects”, *Duke University Medical Center Department of Community & Family Medicine Division of Occupational & Environmental Medicine*, Durham NC, (2005).
- [11] NIOSH, “Welding: Fumes and gases”, Australian Government Publishing Service, Canberra WAP 90/034GS, 1990.
- [12] NIOSH, “Nomination of Welding Fumes for Toxicity Studies”, National Institute for Occupational Safety and Health, 2002.
- [13] Mert, T., Bilgili, L., Senoz, K.M., Celebi, U.B., Ekinici, S., “The Effect of Parameter Selection on Fume Formation Rate in SMAW of AH-36 Shipbuilding Steel and Analysis with Anova Method”, *Global Conference on Global Warming (GCGW’15)*, 24 – 27 May 2015, Athens, Greece.
- [14] EN ISO 15011-1, “Health and safety in welding and allied processes — Laboratory method for sampling fume and gases Part 1: Determination of fume emission rate during arc welding and collection of fume for analysis”, 2009.



---

**Makale / Research Paper**

---

**Boru İle Lamanın Robot Ark Kaynak Tekniğiyle Birleştirilmesinde  
Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi**

**Ahmet Alper Tunga OKUYAN<sup>1,a</sup>, Hüseyin UZUN<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Toyota Boshoku Türkiye, ARGE Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>a</sup> [alper.okuyan@toyota-boshokutr.com](mailto:alper.okuyan@toyota-boshokutr.com) , <sup>b</sup> [huzun@sakarya.edu.tr](mailto:huzun@sakarya.edu.tr)

---

**Özet:** Bu çalışmada, otomobil koltuk kasnağı üzerindeki boru profile, destek lamasının robot ark kaynak metoduyla, yeterli nüfuziyet değerlerinde birleştirilebilmesi için optimum kaynak parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kaynak parametreleri, robot torcunun kaynak ekseninden sapma miktarı, odak noktasının değişme miktarı ve eksen kaçıklık miktarı dikkate alınarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen numunelerin kaynak kesitleri ve nüfuziyet değerleri optik mikroskopla incelenerek, uygun kaynak parametre seçimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, robot ark kaynak tekniği ile boru profile destek lamasının birleştirilmesinde, optimum kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı parametreleri tayin edilerek önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Robot ark kaynak metodu, otomobil koltuk kasnağı, boru ile destek lamasının birleştirilmesi

---

**Determination of Optimum Welding Parameters For Welding of Tube With  
Bracket Steel Bar By Robotic Arc Welding Technique**

---

**Abstract:** The aim of this study is the determination of optimum welding parameters at good penetration for welding of tube with bracket steel bar of car seat pulley by robotic arc welding technique. It was established the welding parameters according to the welding axis deflection and focus point changing of robotic welding torch. It was investigated the weld penetrations of cross sections by optical microscopy. According to the results, it was advised the optimum welding parameters such as welding current, welding voltage and welding speed for the tube with bracket steel bar of car seat pulley welded by robotic arc welding technique.

**Key Words:** robotic arc welding, car seat pulley, welding penetration.

---

## 1. Giriş

Günümüzün artan küresel rekabet ortamı, işletmeleri, yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle üretmeye zorlamaktadır. Kaynaklı imalat sektöründe de kaynakçı hatalarını minimuma indirmek, üretimin hızını arttırmak ve hatasız kaynaklı birleştirme işlemlerinin gerçekleştirilerek maliyetlerin en düşük seviyeye indirilmesinde robot kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Robot kaynak uygulamaları, hatasız ve hızlı bir seri imalat için vazgeçilmez bir imalat tekniğidir. Sıfır hata ile imalat yapmayı hedefleyen otomobil üreticilerinin de en çok tercih ettiği kaynaklı imalat yöntemi, robot ark kaynağıdır[2,3,5].

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Okuyan, A.A.T., Uzun, H. "Boru İle Lamanın Robot Ark Kaynak Tekniğiyle Birleştirilmesinde Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 297-307.

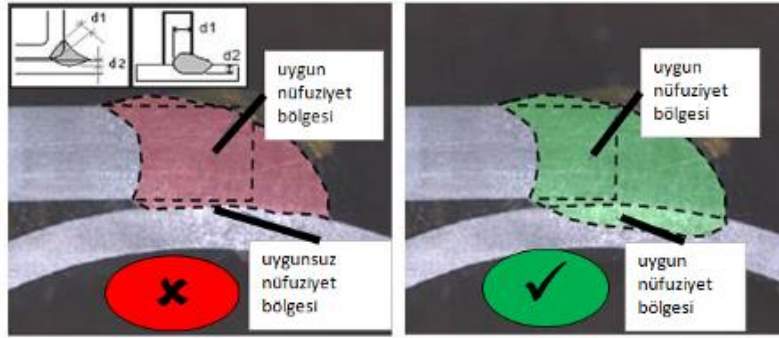
*How to cite this article*

Okuyan, A.A.T., Uzun, H. "Determination of Optimum Welding Parameters For Welding of Tube With Bracket Steel Bar By Robotic Arc Welding Technique" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 297-307.

Bu çalışmada otomobillerin koltuk kasnak sistemlerinin robot ark kaynak tekniği ile birleştirilmesi incelenecektir. Otomobil koltuk kasnağı imalatında, boru profil aksamı ile destek lamasının yeterli nüfuziyet değerlerinde birleştirilebilmesi oldukça büyük önem arz eder. Yetersiz nüfuziyet, kaza anında koltuk kasnağının kolayca hasara uğrayarak yolcuya zarar verme riskini arttırmaktadır. Tatmin edecek bir seviyede nüfuziyetin gerçekleştirilebilmesi için birleştirme işlemleri, robot ark kaynak metoduyla yapılmaktadır.

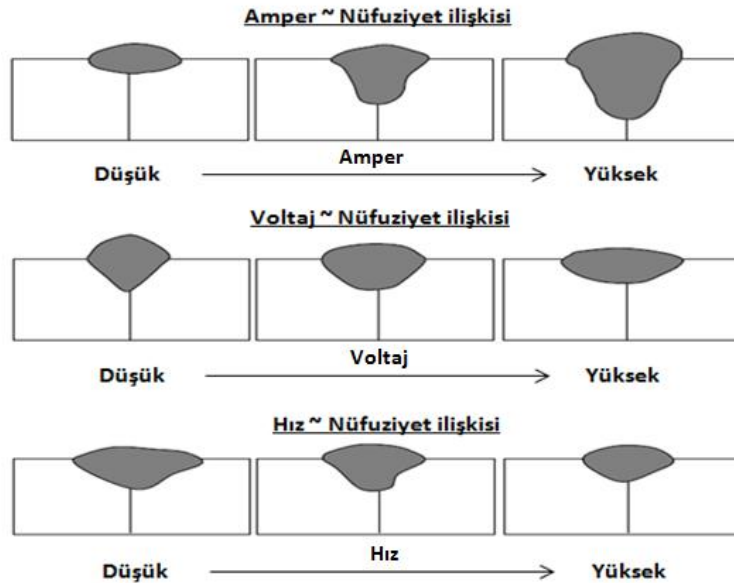
Robot ark kaynak işlemiyle yeterli nüfuziyetin sağlanmasında, robot torcunun kaynak ekseninden sapma miktarının, torç odak noktasının değişme miktarının ve eksen kaçıklık miktarının değişmesi, büyük bir önem taşımaktadır. Dolayısıyla kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı parametrelerinin doğru tayin edilebilmesi, bu faktörlerin oldukça düzgün ayarlanmasına ve belirli toleranslar içerisinde kalmasına büyük bir önem verilmesi gerekir.

Kaynak nüfuziyetindeki en kritik konu, kaynak parametreleridir. Kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, torch açısı, ilerleme açısı ve odak noktası parametrelerinin doğru belirlenmesi iyi bir nüfuziyet için zorunludur. Şekil 1'de iyi bir nüfuziyet ile kötü bir nüfuziyet şematik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Uygun bir nüfuziyet ile uygun olmayan nüfuziyetin şematik karşılaştırılması.

Kaynak parametreleri kaynak kalitesine direkt etki etmektedir bu nedenle doğru belirlenmiş kaynak parametreleri ile üretim yapmak çok önemlidir. Kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı değerlerinin nüfuziyetle olan ilişkisi de Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre amper arttıkça nüfuziyet yükselmekte, voltaj arttıkça nüfuziyet azalmakta ve kaynak genişliği yükselmektedir. Kaynak hızı yükseldiği durumda da nüfuziyet azalmaktadır.



Şekil 2. Kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı parametrelerinin nüfuziyetle ilişkisi.

Bu çalışmada, robot ark kaynak metoduyla, otomobil koltuk kasnağındaki boru profil aksamı ile destek lamasının yeterli nüfuziyet değerlerinde birleştirilebilmesi amacıyla, robot torcunun kaynak ekseninden sapma miktarına, torç odak noktasının değişme miktarına ve eksen kaçıklık miktarına bağlı olarak, optimum kaynak parametrelerinin tayin edilmesi hedeflenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada 1mm ve 4mm kalınlığındaki SPH440 çelik lama ile 1.2 mm kalınlığında ve Ø31,8 mm çapında STKM800 boru profil kullanılmıştır. Lama ve profil malzemelerine ait kimyasal içerik ve mekanik özellikleri, Tablo 1’de verilmektedir.

Birleştirme işleminde, Yaskawa marka robot ark kaynak makinası kullanılmıştır. Birleştirme işleminde 18 farklı kaynak parametre kombinasyonu (Parça No: 1-18) kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır.

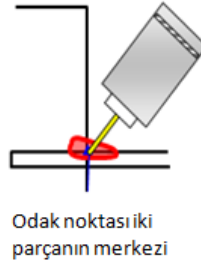
Tablo 2’de robot ark kaynak tekniği ile otomobil koltuk kasnağındaki boru profil aksamı ve destek lamasının birleştirilmesinde kullanılan 18 farklı kaynak parametre kombinasyonları verilmiştir. Amper değeri  $\pm 10$ , Voltaj değeri  $\pm 1$  ve Kaynak hızı +5 toleranslarında değiştirilerek değişik parametre kombinasyonlarında denemeler yapılmıştır. Bu çalışmada, robot odak noktası iki parçanın merkezi olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Şekil 4’te de robot ark kaynak tekniğiyle lama ile profilin birleştirilmesindeki robot torcunun konumu gösterilmektedir.

Tablo 1. SAPH440 çelik lama ile STKM800 boru profile ait kimyasal içerik ve mekanik özellikler.

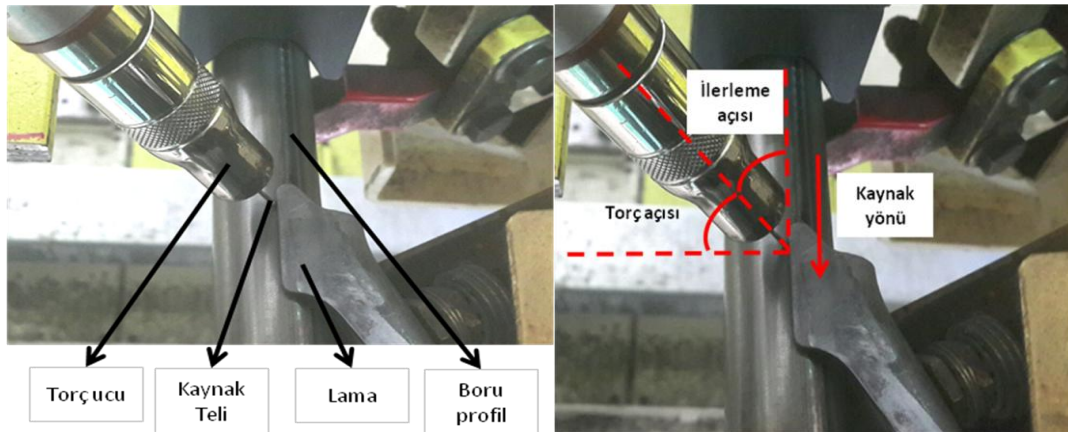
Malzeme	Kimyasal İçerik (% ağırlık)						
	C $\leq$	Mn $\leq$	P	S $\leq$	Si $\leq$	Al	Ti
SPH440 Çelik Lama	0,21	1.50	0,04	0,04	0,30	0,034	0,003
	Mekanik Özellikler						
	Akma Mukavemeti (MPa)			Çekme Mukavemeti (MPa)		% Uzama	
	305			440		30	
Malzeme	Kimyasal İçerik (% ağırlık)						
	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti
STKM800 Boru Profil	0,114	1,67	0,080	0,004	0,190	0,374	0,003
	Mekanik Özellikler						
	Akma Mukavemeti (MPa)			Çekme Mukavemeti (MPa)		% Uzama	
	650			800		16	

Tablo 2. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.

PARÇA NO	Kaynak Akımı (Amper)		Kaynak Gerilimi (Volt)		Kaynak Hızı (cm/dk)
	ARCON	ARCOF	ARCON	ARCOF	
1	175	150	19,5	16,5	55
2	185	157,5	19,5	16,5	55
3	185	157,5	20,5	17,5	55
4	175	150	20,5	17,5	55
5	165	142,5	20,5	17,5	55
6	165	142,5	19,5	16,5	55
7	165	142,5	18,5	15,5	55
8	175	150	18,5	15,5	55
9	185	157,5	18,5	15,5	55
10	175	150	19,5	16,5	60
11	185	157,5	19,5	16,5	60
12	185	157,5	20,5	17,5	60
13	175	150	20,5	17,5	60
14	165	142,5	20,5	17,5	60
15	165	142,5	19,5	16,5	60
16	165	142,5	18,5	15,5	60
17	175	150	18,5	15,5	60
18	185	157,5	18,5	15,5	60



Şekil 3. İki parçanın merkezi olarak tayin edilen, robot odak noktası



Şekil 4. Lama ile profilin birleştirilmesindeki robot torcunun konumu, ilerleme ve torç açısının gösterimi

## 2.1 Parça ve kaynak ekipmanlarındaki varyasyonların cp-cpk ile hesaplanması

Birinci adım: Aynı parçayı kaynak fikstürü üzerine 10 defa setleyerek kaynak ekipmanının süreklilik hassasiyetinin (varyasyon) ölçümü yapılmıştır. Şekil 3’de ölçüm yapılan bölge gösterilmiştir.

Aynı parça sürekli aynı kaynak fikstürüne setlenerek klamplere kapatılır, parçalar kaynak pozisyonuna getirilmiş olur ve parçaların her defasında aynı şekilde konumlandırılıp konumlandırılmadığının incelemesi yapılır. Ekipman üzerinde ölçüm yapılabilecek bir bölge belirlenir ve parçalar her konumlandırma sonrasında bu noktadan ölçülmüştür. Tablo 3’te yapılan ölçüm sonuçlarını göstermektedir.

İkinci adım: Değişik parçalar aynı kaynak fikstürüne setlenerek parçaların süreklilik hassasiyetinin (varyasyon) ölçümü yapılır. Ölçüm adeti minimum 10 parça olmalıdır. Şekil 5 de ölçüm yapılan bölge gösterilmiştir.

Değişik parçalar aynı kaynak fikstürüne setlenerek klamplere kapatılır, parçalar kaynak pozisyonuna getirilmiş olur ve parçaların her defasında aynı şekilde konumlanıp konumlanmadığının incelemesi yapılır. Ekipman üzerinde 1. maddede ölçüm yapılan bölgeden parçalar her konumlandırma sonrasında ölçüm yapılır (Tablo 4’te yapılan ölçüm sonuçlarını göstermektedir [1]).

Tablo 3. Birinci adımdaki ölçüm sonuçları

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>L (mm)</b>	14,7	14,5	14,4	14,8	14,8
<b>n</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>L (mm)</b>	14,6	14,7	14,5	14,8	14,4

<b>Avr.</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>Fark</b>
14,62	14,8	14,4	0,4

Tablo 4. İkinci adımdaki ölçüm sonuçları

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>L (mm)</b>	14,3	14,4	14,44	14,57	14,67
<b>n</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>L (mm)</b>	14,4	14,48	14,33	14,56	14,68

<b>Avr.</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>Fark</b>	<b><math>\sigma</math></b>
14,48	14,68	14,3	0,38	0,13

Yapılan varyasyon ölçümleri neticesinde Proses kapasitesi (Cp,Cpk) hesaplaması yapılarak prosesin kapasitesine karar verilir. Robot torç odak kaçıklık sınırını standart yaparak parça ve jigteki varyasyonuna göre proses kapasitesi hesaplanır [1].

Proses kapasitesi Cp, Cpk hesaplama metodu şu şekildedir:

Proses kapasite endeksi Cp, Cpk formülü:



$$C_p = \frac{t}{6\sigma} \quad \dots(1)$$

$$C_{p_U} = \frac{UCL - \bar{X}}{3\sigma} \quad \dots(2)$$

$$C_{p_L} = \frac{\bar{X} - LCL}{3\sigma} \quad \dots(3)$$

UCL : Üst limit standardı

LCL : Alt limit standardı

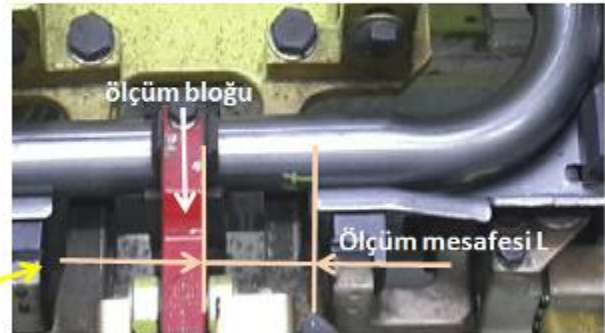
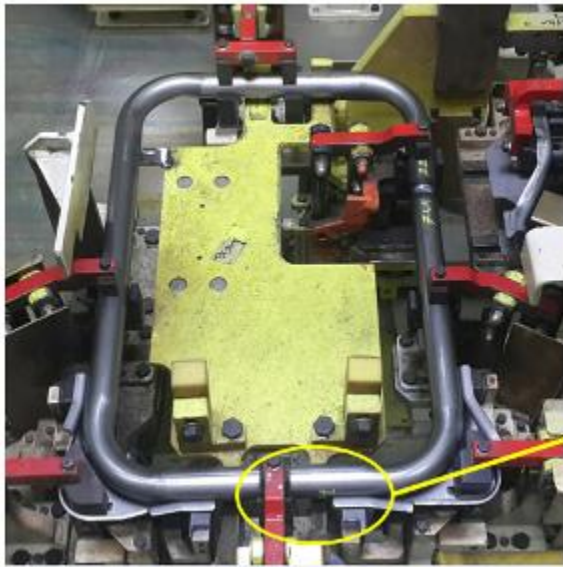
t : Standart genişliği

$\bar{X}$  : Her bir değer in averajı

$\sigma$  : Standart sapma

$C_{p_U}$  : Üst limit standardının proses kapasite endeksi

$C_{p_L}$  : Alt limit standardının proses kapasite endeksi



Şekil 5. Parça ve kaynak ekipmanındaki varyasyon

Robot ark kaynak prosesinin proses kapasite hesaplaması ile uygun seviyede kaynak nüfuziyet kalitesi için standart aralığı belirlenir. Gerekli nüfuziyeti sağlayan aralık ne ise bu değer standart kabul edilir. Parça setleme varyasyonunun datası toplanır ve diğer değerler hesaplanır.

UCL = 15.48; LCL=13.48; t=3 olacak

Üstteki değerlerden dolayı bu prosesin  $C_p$ ;

$$C_p = t / 6\sigma = 3.752(3 / (6 \times \sigma)) \geq 1.67$$

$C_p$  değeri 1.33 ün altında ise çalışma tekrarlanmalıdır [1].

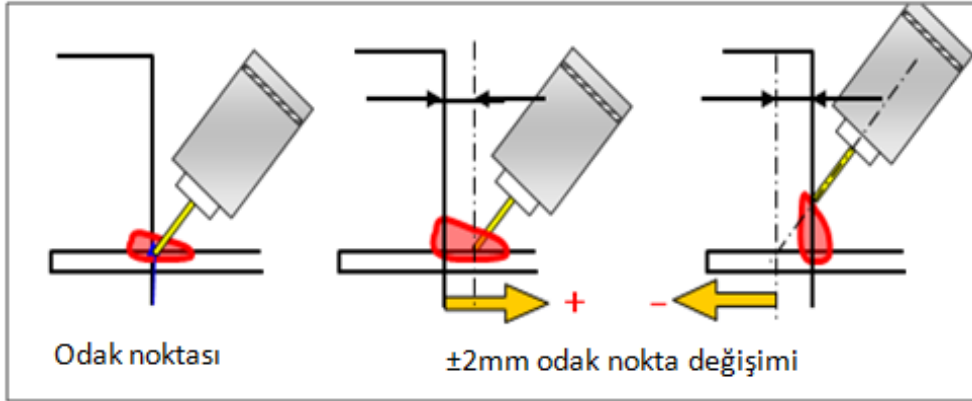
Robot odak noktası için yapılacak çalışma aralığının belirlenmesi:

Robot eksen kayıklıkları, kaynak ekipman varyasyonları ve parça varyasyonları nedeniyle oluşan odak kaçıklıklarının toplanması sonucu yapılacak çalışma aralığı belirlenmiştir [2,4]. Bu çalışmada; Robot eksen kayıklığı:  $\pm 1$ mm olarak belirlenmiştir. Kaynak ekipman varyasyonları:  $\pm 0,5$ mm Parça varyasyonları:  $\pm 0,5$ mm Toplam varyasyon:  $\pm 2$ mm olarak öngürülerek çalışma yapılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

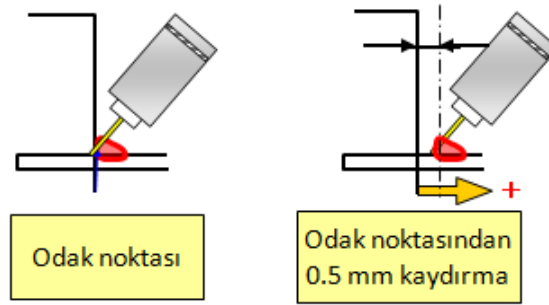
Kaynak odak noktası sabit olduğu durumda kaynak parametrelerinden Amper değeri  $\pm 10$ , Voltaj değeri  $\pm 1$  ve Kaynak hızı +5 toleranslarında değiştirilerek değişik parametre kombinasyonlarında denemeler yapılmıştır. Parametrelerin bu oranlarda değiştirilmesi sonucunda bile kaynak

nüfuziyetinin standart değerlerin içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Robot odak noktasının değişmesinden dolayı, odak noktasının üzerine kaydığı parçanın nüfuziyeti fazla, odak noktasının üzerinden uzaklaştığı parçadaki nüfuziyet az olmaktadır. Şekil 6'da robot eksen kaçıklığının nüfuziyete olan etkisi görülmektedir.



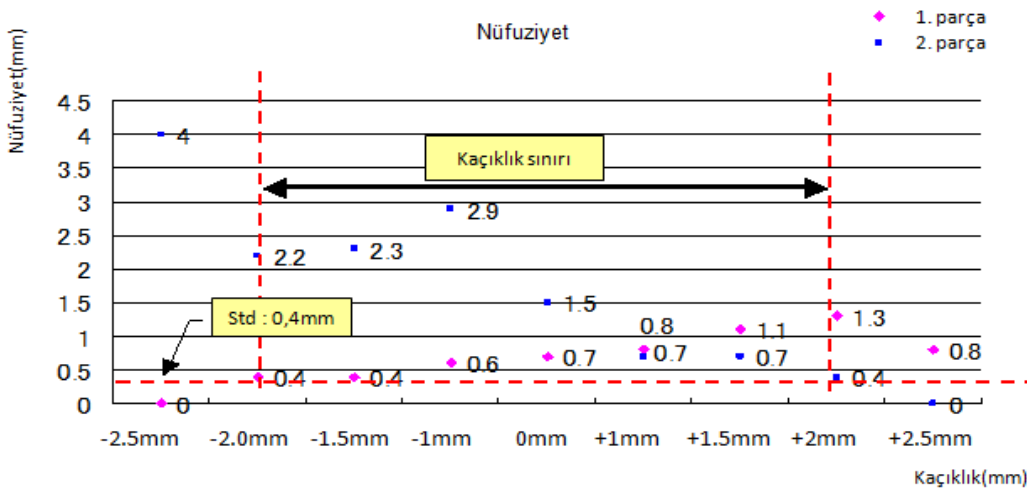
Şekil 6. Ark kaynağı robot odak noktasının kaydırılması

Robot eksenini  $\pm 2\text{mm}$  kaynak odak noktasında değişebileceği öngörülerek bu çalışma yapılmıştır. Eğer  $\pm 2\text{mm}$  den daha fazla varyasyon sözkonusu ise çalışma kapsamı genişletilebilir. Robot ekseninin  $+2\text{mm}$  veya  $-2\text{mm}$  pozisyonunda değişmesi durumunda da kaynak nüfuziyetinin uygun olmasını sağlayacak kaynak parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.



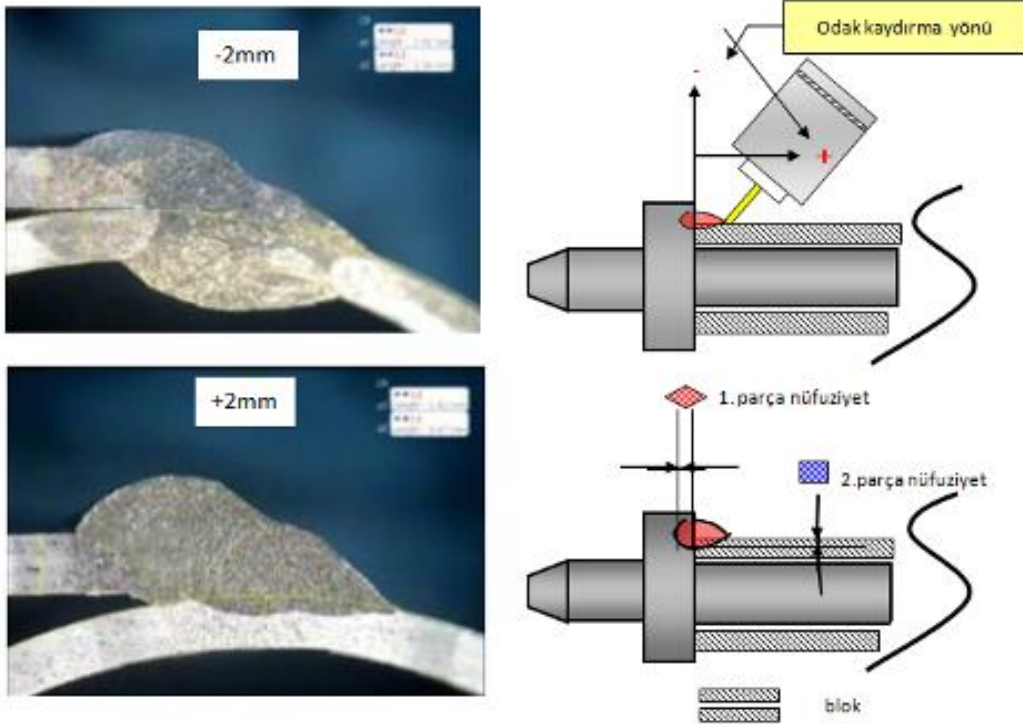
Şekil 7. Robot odak noktası 0.5 er mm kaydırma

Robot odak noktası 0.5 er mm kaydırılarak numuneler üretilir(Şekil 7). Üretilen numuneler kaynak bölgesi orta noktasından kesilip yüzeyi temizlendikten sonra mikroskop altında incelenir. Üretilen numunelere ait test sonuçları Şekil 8'de grafiksel olarak gösterilmiştir.





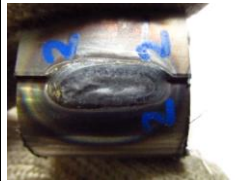






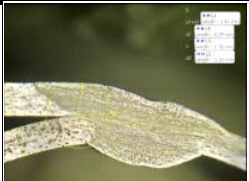





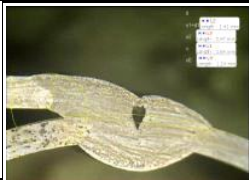


Şekil 8. Robot  $+2.5\text{mm}$  ve  $-2.5\text{mm}$  eksenden kaydırılarak yapılan kaynak sonuçları

















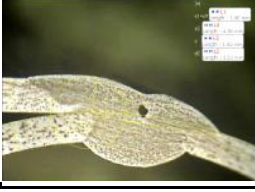
Robot odak noktası +2mm ve -2mm eksenden kaydırıldığı durumda kullanılan parametre ile uygun sonuç alındığı için mevcut parametre ekipman, parça ve robot hareketinde oluşacak toplam varyasyonu karşılayabilecek değerdedir. Şekil 9'da robot eksen kaymasının +2mm ve -2mm olduğu durumda yani en kötü durumda yapılan kesme testi resimleri gösterilmektedir.



Şekil 9. Robot +2mm ve -2mm eksenden kaydırılarak yapılan kaynak sonuçları

Test sonucuna göre mevcut parametrede odak noktası  $\pm 2$ mm aralık içerisinde değişse de nüfuziyetin sağlandığı anlaşılıyor. Dolayısıyla kaynak ekipmanında yada parçadaki varyasyon bu aralığı aşmadığı sürece kaynak nüfuziyetinin uygun olduğuna karar verilebilir. Kaynak prosesinde parçalarda istenen seviyede nüfuziyet sağlanabilmesi için parçaların uygun olarak konumlandırılması ve kaynak parametrelerinin uygun olması gerekmektedir. Parça pozisyonlarının değişmesi, robot eksen kayıklığı veya uygun parametrelerin seçilmemesi durumunda istenen seviyede kaynak nüfuziyeti sağlanamayacaktır. Şekil 10'da Tablo 2 de belirtilen farklı kaynak parametreleri ile birleştirilen 18 farklı parçanın test sonuçları gösterilmektedir. Bu çalışma sonucunda Tablo 2 deki 1 numaralı parametrenin (Kaynak akımı:175amper, kaynak gerilimi:19,5 volt ve kaynak hızı:55cm/dk) en uygun parametre olduğuna karar verilmiştir.

Parça No	KAYNAK UÇ UZUNLUĞU (LEG LENGTH)			KAYNAK BOĞAZ GENİŞLİĞİ (THROAT)			NUFUZİYET (PENETRATION)			KAYNAK RESMİ	KESİT RESMİ
	STANDART	ÖLÇÜM	OK / NG	STANDART	ÖLÇÜM	OK / NG	STANDART	ÖLÇÜM	OK / NG		
	$S1, S2 \geq 0,8 X t$			$C \geq 0,7 X t$			$d1, d2 \geq 0,2 X t$				
1	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,22	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,74	O				$d2 \geq 0,3$	1,28	O		
2	$S1 \geq 1,0$	1,44	O	$C \geq 0,9$	1,15	O	$d1 \geq 0,3$	1,44	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,44	O				$d2 \geq 0,3$	1,29	O		
3	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,30	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	7,08	O				$d2 \geq 0,3$	1,26	O		
4	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,47	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,28	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		
5	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,36	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,09	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
6	$S1 \geq 1,0$	1,38	O	$C \geq 0,9$	1,24	O	$d1 \geq 0,3$	1,38	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,10	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
7	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,46	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,18	O				$d2 \geq 0,3$	1,23	O		
8	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,54	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,47	O				$d2 \geq 0,3$	1,24	O		
9	$S1 \geq 1,0$	1,40	O	$C \geq 0,9$	1,65	O	$d1 \geq 0,3$	1,40	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,07	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		

10	$S1 \geq 1,0$	1,44	O	$C \geq 0,9$	1,13	O	$d1 \geq 0,3$	1,44	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,16	O				$d2 \geq 0,3$	1,22	O		
11	$S1 \geq 1,0$	1,43	O	$C \geq 0,9$	1,18	O	$d1 \geq 0,3$	1,43	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,88	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		
12	$S1 \geq 1,0$	1,40	O	$C \geq 0,9$	1,10	O	$d1 \geq 0,3$	1,40	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,71	O				$d2 \geq 0,3$	1,22	O		
13	$S1 \geq 1,0$	1,43	O	$C \geq 0,9$	1,11	O	$d1 \geq 0,3$	1,43	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,63	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		
14	$S1 \geq 1,0$	1,44	O	$C \geq 0,9$	1,07	O	$d1 \geq 0,3$	1,44	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,54	O				$d2 \geq 0,3$	1,23	O		
15	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,06	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,48	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
16	$S1 \geq 1,0$	1,43	O	$C \geq 0,9$	1,19	O	$d1 \geq 0,3$	1,43	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,30	O				$d2 \geq 0,3$	1,23	O		
17	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,30	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,22	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
18	$S1 \geq 1,0$	1,40	O	$C \geq 0,9$	1,42	O	$d1 \geq 0,3$	1,40	O		
	$S2 \geq 1,0$	4,95	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		

Şekil 10. Farklı parametreler ile kaynatılan 18 farklı parçanın test sonuçlarını.

#### 4. Genel Sonuçlar

Çalışmada kaynak odak noktası sabit olduğu durumda parametrelerin belli oranda değiştirilmesine rağmen kaynak nüfuziyet, kaynak uç uzunluğu, kaynak boğaz genişliği hesaplamaları yapılmış ve sonuçların standart değerlerin içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma sonunda, otomobil koltuk kasnağı üzerindeki boru profile ile destek lamasının robot ark kaynak metoduyla birleştirilebilmesinde, yeterli nüfuziyet değerlerinin elde edildiği optimum kaynak parametreleri şunlardır: Kaynak akımı: 175amper, kaynak gerilimi: 19,5volt ve kaynak hızı: 55cm/dk.

Bu çalışma sayesinde robot eksen kayıklıkları, kaynak ekipmanı ve parça varyasyonları nedeniyle oluşan odak kaçıklıklarının kaynak kalitesine olan etkileri göz önünde bulundurulmuş ve bu durumlar karşısında kaynak kalitesini istenen seviyede tutacak kaynak parametrelerinin nasıl belirleneceği açıklanmıştır. Yapılan kaynağın kalitesinin artmasıyla birlikte hurda oranı azaltılmakta dolayısıyla da maliyet düşmektedir.

Ülkemizde başta otomotiv sektörü olmak üzere çok sayıdaki endüstriyel kuruluşta ark kaynak robotları kullanılmaktadır. Uygun parametrelerin robotlara yüklenmesi ile kaynak kalitesi artırılmış olacaktır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma, Toyota Boshoku Türkiye fabrikası Ar-ge Bölümü yetkililerin desteğiyle yapılmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Toyota Boshoku Türkiye PE yönetmeliği Kaynak Yoyuudo çalışma püf noktası (TBTPE12-01)
- [2] G. Vargın GÖK, Ç. AFYON, Altınay Robotik ve Otomasyon A.Ş. Kaynak uygulamalarında robot teknolojisi
- [3] Prof. Dr. S. ANIK, Prof. Dr. K.TÜLBENTÇİ, Yrd. Doç. E.KALUÇ Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü İstanbul(1991)
- [4] S.YUMURTACI, T.MERT Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri cilt: 44, sayı: 526
- [5] Arş. Gör. Dr.A. Gamze Çiftçi AYTEKİN Robotik Gazaltı Köşe Kaynak İşleminin Taguchi Yöntemi ile Eniyilenmesi