**T.C.**

**TRAKYA ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ALÜMİNYUM TOZLARINDAN SİNTERLEME TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN LEVHALARA, SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANABİLİRLİĞİ VE MEKANİK ÖZELLİKLER İLE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**GÜNER TEZCAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: YRD. DOC. DR. CENK MISIRLI**

**EDİRNE-2018**

Güner TEZCAN'ın hazırladığı "alüminyum tozlarından sinterleme tekniği ile üretilen levhalara, sürtünme karıştırma kaynağının uygulanabilirliği ve mekanik özellikler ile mikro yapı özelliklerinin araştırılması'' başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad): İmza

PROF.DR. YILMAZ ÇAN .....

YRD.DOÇ.DR. CENK MISIRLI .....

YRD.DOÇ.DR. S. SENCER KARABEYOĞLU .....

Tez Savunma Tarihi: 13 / 02 / 2018

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

YRD.DOÇ.DR. CENK MISIRLI
Tez Danışmanı .....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

PROF.DR. MURAT YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DOĞRULUK BEYANI**

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

13 / 02 / 2018

*Güner TEZCAN*

Yüksek Lisans Tezi

Alüminyum Tozlarından Sinterleme Tekniği İle Üretilen Levhalara, Sürtünme Karıştırma Kaynağının Uygulanabilirliği ve Mekanik Özellikler İle Mikro Yapı Özelliklerinin Araştırılması

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

## ÖZET

Alüminyum alaşımlarının başta havacılık ve otomotiv sektörlerinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle uçak kanat ve gövdelerinde kullanılmakla beraber otomobillerin motor bloğu, jant, iskelet, dış gövde ve çeşitli parçalarında kullanımı oldukça artmaya başlamıştır. Bu iki ana sektör dışında tıbbi cihazlarda, ısıtma ve soğutma cihazlarında, bina ve yapılarda, elektronik ürünlerde, ev ve el aletleri üretimi gibi birçok mühendislik sektörlerinde de alaşımlı alüminyum kullanımı devam etmekte ve artmaktadır.

Bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilmiş (sinterlenmiş) alüminyum plakaların sürtünme karıştırma kaynağı ile istenilen kalitede kaynak edilip edilemeyeceği araştırılacaktır. İlk olarak alüminyum levha'lar farklı devir ve ilerleme hızında kaynak edilecektir ve kaynaklanan parçalar elektron mikroskobunda incelenecektir. Kaynak edilebilirlik için en uygun ilerleme ve devir sayısı bulunduktan sonra kalan tüm parçalar buna göre kaynatılacaktır. Kaynak işleminden sonra ise kaynaklı parçaların iç yapı özellikleri ile çekme, sertlik gibi farklı mekanik özellikleri ile mikro yapı özellikleri, orijinal kaynaksız numuneler ile mukayese edilip aralarındaki farklar incelenecektir.

Yıl : 2018

Sayfa Sayısı : 38

Anahtar kelimeler : Sürtünme karıştırma kaynağı, toz metalürjisi, sinterleme, alüminyum alaşımları, mekanik ve mikro yapı özellikleri

Graduate Thesis

Applicablity of Friction Stir Welding to Plates Madee By Sntering Aluminum Powder And Researching of Their Mechanical and Micro Structual Properties.

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering of Department

## ABSTRACT

Primarily of aluminum alloys in aerospace and automotive industry has a wide application area. In particular, although the car used in aircraft wings and fuselage of the engine block, wheels, frame, and a variety of exterior body parts began to increase in the use of highly. In medical devices outside these two main sectors, heating and cooling equipment, building and construction, electronic products, home and hand tools, such as production engineering sectors also continues the use of aluminum alloy and is increasing.

In this study, produced by powder metallurgy (sintered) friction stir welding of aluminum plates with the desired quality will be investigated whether it is the source. First, the aluminum plates will be welded at a different speed and feed rate and the resulting fragments will be examined under the electron microscope. Resource availability and speed of progress has been found most suitable for all the remaining parts will be welded accordingly. After welding, the mechanical properties of the welded parts, such as tensile strength and hardness, as well as their microstructure properties, will be compared with the original welded samples and the differences between them will be examined.

Year : 2018

Number of Page : 38

Keywords : Friction stir welding, powder metallurgy, sintering, aluminum alloys, mechanical properties and microstructure

# TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince kıymetli bilgi, birikim ve tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabrından dolayı değerli tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI'ya (T.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü),

Tezimin yürütülmesi sırasında fikirlerine başvurduğum, yardımları ve önerileriyle tezime katkıda bulunan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şaban AKTAŞ'a (T.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü),

Eğitim sürecim içerisinde mesleğim adına bana kazandırdıklarından dolayı Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Değerli Hocaları'na,

Birlikte çalışmaktan keyif aldığım Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (TÜTAGEM) çalışanlarına,

Tezimin her aşamasında bana maddi ve manevi açıdan destek olan, bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve her konuda bana yardımcı olan eşime sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması Trakya Üniversitesi BAP Birimi tarafından 2016/230 numaralı proje ile desteklenmiştir. Proje desteği için Trakya Üniversitesi'ne ve Trakya Üniversitesi BAP Birimine de teşekkürlerimi sunarım.

GÜNER TEZCAN

# İÇİNDEKİLER


| | |
|---|---|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | vi |
| Simgeler | vi |
| Kısaltmalar | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xi |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ VE AMAÇ | 1 |
| BÖLÜM 2 | 4 |
| GENEL BİLGİLER | 4 |
| 2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı | 4 |
| 2.2. Toz Metalürjisi ve Sinterleme | 8 |
| BÖLÜM 3 | 15 |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 15 |
| 3.1. Deney Numuneleri ile Deney Araç ve Teçhizatları | 15 |
| 3.2. Numunelere Uygulanan İşlemler ve Bulguların Tartışılması | 17 |
| 3.2.1. Numunelere SKK İşleminin Uygulanması | 17 |
| 3.2.2. Kaynaklı Levhalardan Test Numunelerinin Hazırlanması | 18 |
| 3.2.3. Numunelerin EDS analizleri | 18 |
| 3.2.4. Numunelerin SEM görüntüleri | 21 |
| 3.2.5. Numunelerin Çekme Testleri | 22 |
| 3.2.6.Numunelerin Sertlik Testleri | 26 |
| 3.2.7. Numunelerin Makro Görüntüleri | 28 |
| BÖLÜM 4 | 31 |

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 31
KAYNAKLAR 34
ÖZGEÇMİŞ 37
BİLİMSEL FAALİYETLER 38

# SİMGELER VE KISILTMALAR DİZİNİ

**Simgeler**

| | |
|---|---|
| Al | : Alüminyum |
| C | : Karbon |
| Mg | : Magnezyum |
| O | : Oksijen |
| Si | : Silisyum |
| HF | : Hidroflorik Asit |
| $Al_2O_3$ | : Alümina Solüsyunu |
| ± | : Artı Eksi |
| µm | : Mikrometre |
| mm | : Milimetre |
| % | : Yüzde |
| wt | : Kütlece |
| at | : Atomsal |
| N | : Newton |
| $mm^2$ | : Milimetrekare |
| $HV_1$ | : Hardness Vickers |
| R | : Yarı Çap |
| Mpa | : Mega Pascal |

| | |
|---|---|
| $^{o}C$ | : Santigrad Derece |
| Ø | : Çap |
| $.^{o}$ | : Derece |
| DIN | : German Standardization Institute |
| HSS | : High Speed Steel |
| HRC | : Hardness Rockwell |
| Dev/dak | : Dakikadaki Devir Hızı |
| TSE | : Türk Standartlar Enstitüsü |
| ISO | : International Organization for Standardizatio |
| EN | : Europeane Norm |

**Kısaltmalar**

| | |
|---|---|
| SKK | : Sürtünme Karıştırma Kaynağı |
| EDS | : Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy |
| CNC | : Computer Numerical Control |
| TWI | : The Welding İnstitute |
| FSW | : Friction Stir Welding |
| ITAB | : Isıl Tesiri Altında Kalmış Bölgede |
| TIG | : Tungsten İnert Gaz |
| MIG | : Metal İnter Gaz |
| SEM | : Scanning Elektron Microscope |

# ŞEKİLLER DİZİNİ


**Şekil 2.1.** SKK Proses şeması 6

**Şekil 2.2.** Bir sinterleme fırınındaki işlemler zincirinin şematik gösterimi 9

**Şekil 2.3.** Sinterleme ile toz partiküllerinde boyun oluşum başlangıcı 10

**Şekil 2.4.** Toz malzemenin sinterleme etkisi ile difüzyona uğrama mekanizması 11

**Şekil 2.5.** Toz partiküllerinin noktasal temasıyla başlayan sinterleme sırasında gözenek yapısının gösteren şematik diyagram. 11

**Şekil 2.6.** Sinterleme ile üretilmiş örnek malzemeler 13

**Şekil 3.1.** Numunele yapılan işlemlerde kullanılan cihazlar. 16

**Şekil 3.2.** SKK'nın şematik gösterimi ve SKK'nın uygulanması 17

**Şekil 3.3.** EDS analizi ile işlenmemiş alüminyum numuneye ait elementel analiz spektrumu 19

**Şekil 3.4.** EDS Mapping görüntüsü 19

**Şekil 3.5.** SKK sonrası EDS Mapping element dağılım görüntüsü 20

**Şekil 3.6.** SKK sonrası numunelerin SEM görüntüleri 21

**Şekil 3.7.** Çekme numunesi ölçüleri 22

**Şekil 3.8.** Ham numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği 23

**Şekil 3.9**. SKK 1 numaralı numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği 24

**Şekil 3.10.** SKK 2 numaralı numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği 24

**Şekil 3.11.** SKK 3 numaralı numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği 25

**Şekil 3.12.** Çekme numunelerine ait Gerilme - %uzama karşılaştırma grafiği 25

**Şekil 3.13.** Sertlik ölçümü yapılan numune görseli 26

**Şekil 3.14.** Kaynak merkezine farklı mesafelerdeki sertlik değeri arasındaki ilişki. A) Ana malzeme B) Toparlanma bölgesi (termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge), C) Yeniden kristalleşme bölgesi 27

**Şekil 3.15.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen 28

genel görünümü
**Şekil 3.16.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen hücum kenarı görüntüsü 28
**Şekil 3.17.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen firar kenarı görüntüsü 29
**Şekil 3.18.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen kaynak merkezi görüntüsü 29

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Çizelge 2.1.** Sürtünme karıştırma kaynağının avantajları 7

**Çizelge 2.2** Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları 8

**Çizelge 2.3.** Toz üretimi ve toz ürünlerden parça üretimi 14

**Çizelge 3.1.** EDS analizi ile işlenmemiş alüminyum numuneye ait elementel analiz değerleri 18

**Çizelge 3.2**. Numunelere ait çekme testi değerleri 23

# BÖLÜM 1

# GİRİŞ VE AMAÇ

Birbirinden farklı konular olan alüminyum ve alaşımları ile sürtünme karıştırma kaynağı ve sinterleme, mühendislik uygulamalarının farklı alanlarına hitap etmektedir.

Alüminyum gezegenimizde kolaylıkla ve bolca bulunan metallerden biridir. Alüminyumun kullanımı 19. yüzyılın sonlarında endüstride ve mühendislik alanlarında hızla çoğalmaya başlamıştır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kendine özgün niteliklerine bağlı olarak birçok alanda ucuz olarak temin edilebilen ve kabul gören metaller olmuşlardır. Başta otomobil, havacılık ve makine üretim endüstrileri olmak üzere farklı farklı sektörlerde alüminyum ve alaşımları yaygın olarak kullanılma sunulmaya başlanmıştır. Alüminyum metalin ve alaşımlarının farklı sektörlere ve kullanım alanlarına hitap etmesinin nedenleri olarak kolay üretilebilirliği, şekillendirilebilirliği, işlenebilirliği, korozyon dirençleri, görünümleri, hafif olmaları ve iyi mukavemet özellikleri gösterilebilir (Taban & Kaluç, 2005, Yurdakul vd., 2002).

Sinterleme ise toz metallere uygulanan bir işlemdir. Toz metalürjisi işlemi ilk olarak döküm yöntemlerine, sıcak ve soğuk işleme ile talaşlı işleme yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu üretim, imal etmesi zor olan parçaların toz formunda ham mamüllerden başlayarak düşük girdisi olan, yüksek mukavemetli, minimum toleranslı ve düşük fireli olmayı amaçlamakla beraber diğer üretim yöntemlerine göre daha avantajlı son ürün üretilmesi için kullanılan bir tekniktir.

Tüm toz metal partikülleri ve seramik toz partikülleri mukavemet kazandırılmak üzere belirli sıcaklıklarda sinterlemeye tabii tutulur. Preslenmiş toz partiküllerinin birbirleri ile oluşturduğu bağlantılar yapışma, mekanik kilitlenmeye benzer özellik gösteren tarzda zayıf bağlardır. Bu tarzdaki bağlantılar Kristal kafes içerisindeki bağ dayanımlarına göre oldukça zayıf bağlardır. Preslenmiş toz yapılarının içindeki parçacıklar birbiri ile temas halinde olsalar bile her bir parçacık diğerinden bağımsız şekilde konumlanmıştır. Sinterleme (fırınlama) yoluyla parçacıkların temas yüzeyleri arttırılmakta, atomlar ve iyonlar arasında fiziksel bağların oluşumu meydana gelmektedir. Bu şekilde oluşan bağlar, metallerdeki kristal kafes yapılarına benzeyen yüksek mukavemetli atomsal mertebedeki bağlama ile benzerlik göstermektedir. Bu oluşumda düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, iyi aşınma ve korozyon direnci, düşük ısıl genleşme katsayısı, tokluk gibi ön plana çıkan özellikleri nedeniyle çeşitli gereksinimlere cevap verebilmektedirler.

Sürtünme karıştırma kaynağı, yeni geliştirilmiş malzemelere hitap eden modern bir birleştirme tekniğidir. Son yıllarda alaşımlı ve kompozit malzemelerin geliştirilmesinde ve bu malzemelerin kaynaklı birleştirmeleriyle ilgili büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunlardan biri olan sürtünme karıştırma kaynağı (Friction Stir Welding - FSW) ilk olarak The Welding İnstitute (TWI) tarafından bulunmuştur.

Alüminyum ve alaşımlarının geleneksel birleştirme ve ergitme kaynak prosesleri ile kaynaklanmasından meydana gelen sorunlardan dolayı, araştırmacıları farklı birleştirme yöntemleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Alüminyum alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmesi ve bu yöntemlerden kaynaklanan yüksek ısı girdisi sonucu metallerin ısıl olarak genleşmesinin çokluğuna ve katılaşma sıcaklık seviyelerinin geniş aralıklarda olması sonucunda ise kaynak edilen alanlarda çatlak ve burulma oluşumuna sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca ergitme kaynaklarında oluşan yüksek ısı girdisi sonucunda, alüminyum ve alüminyum alaşımlarında ısının tesiri altında kalmış bölgede (ITAB) tane sınırlarında oluşan düşük ergime dereceli yapılar meydana gelmektedir. Bu nedenle ITAB bölgesinde katılaşma süreci sırasında tane sınırlarında meydana gelen çatlak ve olumsuzluklara sebebiyet verdiği de bilinmektedir. Alüminyum ve alüminyum alaşım metallerinin ergitme kaynak yöntemleriyle kaynaklanmasında meydana gelen bir başka sıkıntı ise kaynak dikişi boyunca metali sertleştirici çökeltilerin oluşması ve ITAB bölgesinde oluşan

yaşlanmalara bağlı olarak, sertlik ve dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Bu durum ise kaynaklanan alanlarda ve yüzeylerde önemli derecede fiziksel ve mekaniksel farklılıklar ile yapı uyumsuzluklarına sebep olmaktadır. Açıklanan bu gibi nedenlerden dolayı, bu alüminyum ve benzer özellik gösteren metalleri kaynaklanmasında katı hal kaynak prosesleri olan difüzyon, sürtünme karıştırma kaynağı ve sürtünme kaynakları diğer kaynak proseslerine göre büyük avantajlar sağlamaktadır.

Literatürde sürtünme karıştırma kaynağı ve sinterlenmiş malzemeler konusunda ayrı ayrı olarak birçok araştırma ve deneme yapılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı bu güne kadar döküm, ekstrüzyon ya da haddeleme ile üretilmiş birçok malzeme üzerinde denenmiş ve bu malzemeler üzerinde mekanik testler ile mikro ve makro ölçütlerde incelemeler yapılmıştır. Aynı şekilde sinterleme yöntemi de farklı malzemeler üzerinde denenmiş ve bu malzemeler üzerinde yapılan testlerin sonuçları kaleme alınmıştır. Bu iki yöntemin avantajları ve dezavantajları farklı çalışmalarda yayınlanarak insanlığın hizmetine sunulmuştur.

Bu çalışmada toz metalürjisi (sinterleme) ile üretilmiş AA 6063 alüminyum levhaların sürtünme karıştırma kaynağı ile ne derece birleştirilebileceğini saptamak olacaktır. Böylece hem teorik hem de pratik olarak sinterlenmiş malzemeler üzerinde sürtünme karıştırma kaynağının uygulanabilirliği ve işlem görmüş bu malzemelerin testlerde nasıl davranış gösterdiği ölçülmeye çalışılacaktır.

# BÖLÜM 2

# GENEL BİLGİLER

## 2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Yıllardır insanlar kullandıkları araç ve gereçlerin üretimi sırasında kaynaklı birleştirme proseslerini kullanmışlardır. İnsanlar ihtiyaçları ve gereksinimleri çerçevesinde de sürekli olarak farklı türlerde kaynak ve birleştirme prosesleri geliştirmiş ve kullanmışlardır. Günümüzde bu yöntemlerin birçoğu halen kullanılmaktadır. Yaşadığımız çağda, gelişmiş malzemeler ve alaşımları düşünüldüğünde bu malzemelerin birleştirilebilmesi için daha modern ve daha farklı proseslere gereksinim duyulduğu görülmektedir. Bu nedenle, son zamanlarda yeni ve daha tesirli olabilecek birleştirme ve kaynak proseslerinin araştırılması ve geliştirilmesi üzerinde yoğun bir şekilde çalışma yapılan bir konudur. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda sadece kaynaklama ve birleştirmenin değil aynı oranda kaynaklama ve birleştirme yöntemlerinin de malzemenin özelliklerini ve yapısını da etkilemeden uygulanmasının önemli bir unsur teşkil ettiği tespit edilmiştir (Messler, 1993, Kafalı, 2011).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları bilinen kaynak prosesleri içinde birleştirilemez ya da birleştirilmesi güç olan metaller olarak gruplandırılmaktadır. Çünkü bu metaller TIG, MIG, lazer kaynağı veya elektrik ark kaynağıyla kaynaklandıklarında, kaynaklı bölgelerin çekme mukavemeti, ana malzemenin çekme mukavemetinin %60'ından hatta %50'sinden bile daha düşük değerlerde sonuçlar verebilmektedir. Kaynaklanan

parçaların mukavemetindeki düşüşün temel nedeni malzemelerdeki metalürjik farklılaşmalardır. Ergimiş metaldeki ortalama tanecik boyutu, esas metaldeki tanecik boyutunun 10 katına kadar artabilmektedir ve ısı tesirinden etkilenmiş bölge alanı geniş olup, ergime alanındaki katılaşma sonrası mikroyapı ve özellikleri de iyi olmayan ve gözenekli bir yapıdadır. Bu nedenle alüminyum malzemelerin birleştirmelerinde çoğunda perçinlemeli ya da vidalı birleştirmeler kullanılmaktadır. Bu da imalatta problemlere ve zorluklara, daha fazla ağırlığın oluşmasına, yüksek ekonomik girdilerine, uzayan çalışma sürelerine, perçin deliklerinde korozyona ve aşırı derecede gerilmelere sebep olmaktadır (Buffa vd., 2009, Mishra & Ma, 2005, www.fswelding.com).

Mühendislik uygulamaları içinde önemli bir yeri olan kaynaklı birleştirmeler teknolojisi de dünyasındaki gelişmelerden etkilenerek çeşitli alt gruplar ortaya çıkmıştır. Literatürde farklı farklı kaynak ve birleştirme sınıflandırmaları olmakla beraber genel olarak kaynağın uygulanacağı malzemenin türüne, amacına, uygulama biçimine ve işlemin gereksinimlerine göre olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu alt grupların içinde olan sürtünme karıştırma kaynak yöntemi de, birçok avantajı nedeniyle diğer kaynak yöntemleri arasında gün geçtikçe artan bir yere sahip olmaktadır (Kafalı, 2011, Staniek vd., 2003).

Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi, ilk olarak 1991 yılında Cambridge-İngiltere'de ki, The Welding Institute-TWI (Kaynak Enstitüsü) tarafından bulunan katı hal kaynak metotlarından biridir. Sürtünme karıştırma kaynağı, bilindik ergitmeli kaynak metotları ile kaynatılması zor olan özellikle yaşlanma sertleştirilmesine uygulanmış alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynatılmasında başarıyla uygulanmıştır. Yöntemin işlemi esnasında ışın ve dumanın meydana gelmemesi, ilave tele, koruyucu gazlara ve koruyucu tozlara ihtiyaç duyulmaması, kaynak bölgesinde kaynak ağız hazırlığına gerek duyulmaması, tüm pozisyon ve şekillerde kaynaklamanın yapılabilme olanağının bulunması ile otomasyona ve seri imalata da uygun olması gibi birçok avantajının bulunması, SKK'nın uygulama alanlarını daha da arttırmaktadır (Çam, 2002, Çam, 2003, Külekçi & Şık, 2003).

Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanışı oldukça kolaydır. Birleştirilecek parçalar bir altlık veya destek üzerine, mengene ya da uygun bağlama aparatlarıyla sabitlenir.

Dönen bir takıma bağlı, özel olarak üretilmiş bir pim (takım omzu ve karıştırma ucu), kaynaklanacak malzemelerin birleşme köşesinden iş parçalarına daldırılır. Birleşme hattı boyunca da, pim uygun bir dönme devri ve sabit bir ilerleme hızında ilerletilir. Takım, iş parçasının ısınması ve malzemeler arasında bağlantının oluşması için malzemelerin akışkan bir yapıya getirilmesi olmak üzere iki ana amaca hizmet eder. Birleştirme karakteristiklerin belirlenmesinde ise üç farklı unsur vardır. Bunlar karıştırıcı ucun devir hızı, karıştırıcı ucun ilerleme hızı ve karıştırıcı ucun batma derinliğidir. Günümüzde bulunan CNC tezgahları ve otomasyon cihazları ile bu üç faktörün kontrol edilmesi oldukça rahat ve kolaydır. Parametrelerin değiştirilmesi kaynak kalitesini mukavemetini oldukça etkilemektedir. Bu nedenle kaynaklanacak malzemeler için optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve seçilmesi çok önemli bir durum arz etmektedir. Sürtünme yoluyla meydana gelen ısı oluşumu, karıştırma ucunun önünde kalan malzemeyi plastik deformasyona uğratarak malzemenin ekstrüze olarak takımın arkasına taşınmasına neden olur. Esas olarak, plastik şekil değiştirmeye maruz kalan bu kısım, kaynak ucunun ön kısmındaki, yüksek ısınmadan dolayı meydana gelen katı halde bir karıştırma işlemidir. Kaynağın ilerlemesi ise işlemin ısı kaynağı olan karıştırma ucun ileriye hareketi ile meydana gelir. Sürtünme karıştırma kaynağının işleyiş biçimi ise sürtünme, plastik deformasyon ile beraberinde gelen karışma ve yeniden kristallenmedir. Bu yöntem ile kalınlıkları 1-50mm aralığında olan ergime sıcaklıkları düşük, döküm ve haddelenme yoluyla üretilmiş alüminyum malzemelere iyi mekanik özellikleri taşıyan, kusursuz kaynaklı bağlantılar yapılabilir (Smith, 2001, Peel vd., 2003, Yavuz & Çam, 2001, Çam, 2002, Özsoy & Kaluç, 2002, Lee & Jung, 2003).



(1) (2) (3) (4)

**Şekil 2.1.** SKK Proses şeması, 1-Pim'in dönmesi, 2-Kaynak başlangıcı (pim'in batması), 3-Kaynağın devam etmesi (Pim'in ilerlemesi), 4-Kaynak sonu

Sürtünme karıştırma kaynağının geleneksel yöntemlere göre avantajları metalurjik, çevresel ve enerji olarak 3 grupta inceleyebiliriz.

**Çizelge 2.1.** Sürtünme karıştırma kaynağının avantajları

| | |
|---|---|
| Metalürjik Avantajlar | 1- Katı faz uygulamasıdır<br>2- İş parçasında büyük bir burulmaya neden olmaz<br>3- İyi bir boyutsal kararlılığa ve tekrar edilebilme özelliğine sahiptir<br>4- Alaşım elementlerinde kayıp yok denecek kadar az veya hiç yoktur<br>5- Birleşme hattında mükemmel metalürjik özelliklere sahiptir<br>6- Ufak taneli mikroyapı özelliklerine sahiptir<br>7- Çatlama oluşmaz<br>8- Bağlayıcı ekipmanlar ile bağlanan çoklu parçaların yerini alır. |
| Çevresel Avantajlar | 1- Koruyucu gaza veya toza ihtiyaç duyulmamaktadır<br>2- Yüzeylere ön işlem ve temizlenme yapılmasına ihtiyaç yoktur<br>3- Taşlama atıkları oluşmaz<br>4- Kir ve yağ temizleyicilere gerek yoktur<br>5- Maske, tel ya da gaz gibi sarf malzemelerden tasarruf edilir |
| Enerji Avantajları | 1- Gelişmiş malzemelerin kullanımına olanak sağlar (farklı kalınlıkları birleştirme gibi) ve bu sayede ağırlığı azaltır<br>2- Bir lazer kaynağında kullanılan enerjinin sadece %2.5'ini tüketir,<br>3- Hafif hava aracı, otomotiv ve gemi uygulamaları ile yakıt tüketimi sağlar |

**Çizelge 2.2** Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları

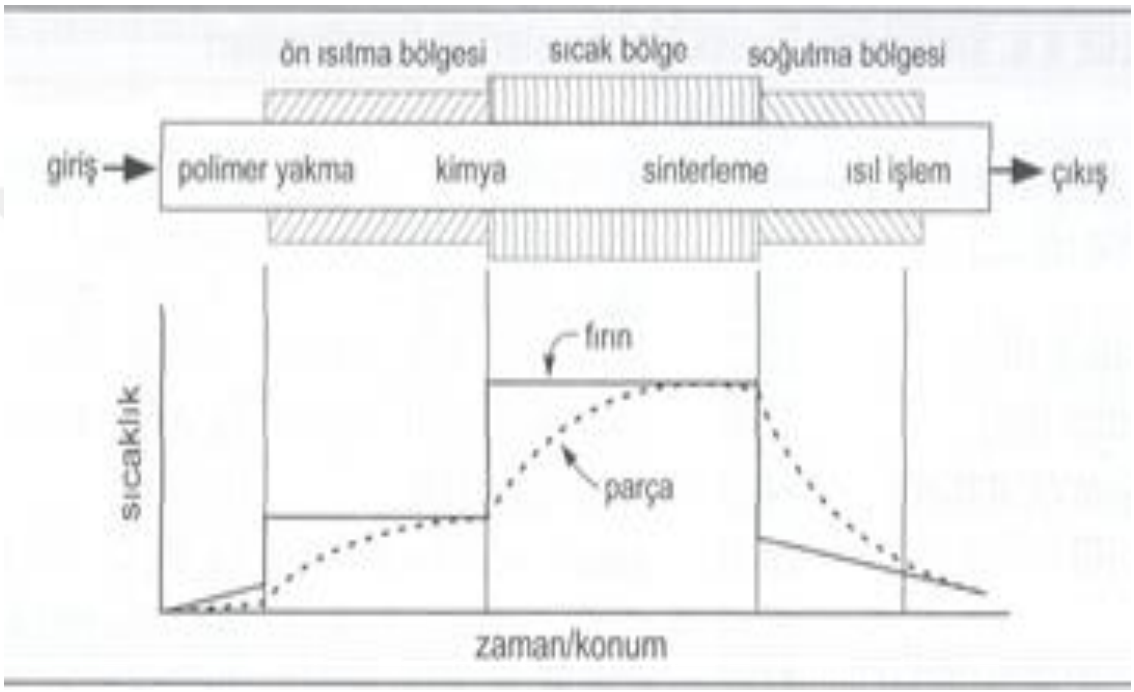
| | |
|---|---|
| SKK'nın dezavantajları | 1- Malzemenin üst kısmından kök kısmına doğru homojen olmayan bir ısı dağılımı oluştuğundan 6 mm'den kalın malzemelerin birleştirilmesi zordur<br>2- İş parçasını tezgaha tutturmak için özel bir kelepçe sistemine ihtiyaç vardır<br>3- Karmaşık geometrilerin birleştirilmesi zordur<br>4- TWI'den lisans almak gerekir (Mishra & Ma, 2005, Höflich, 2010, Tempus, 2001, Richter-Trummer vd., 2012). |

## 2.2. Toz Metalurjisi ve Sinterleme

Metal tozların ısıl ve mekanik yollarla birleştirilmesi ile nihai ürünlerin elde edilmesi işlemine toz metalürjisi denir. Son zamanlarda bu yöntem ile parça üretimi günden güne artarak kullanılmakta ve klasik üretim yöntemlerine alternatif bir üretim yöntemi olmaktadır (Ünlü vd., 2009).

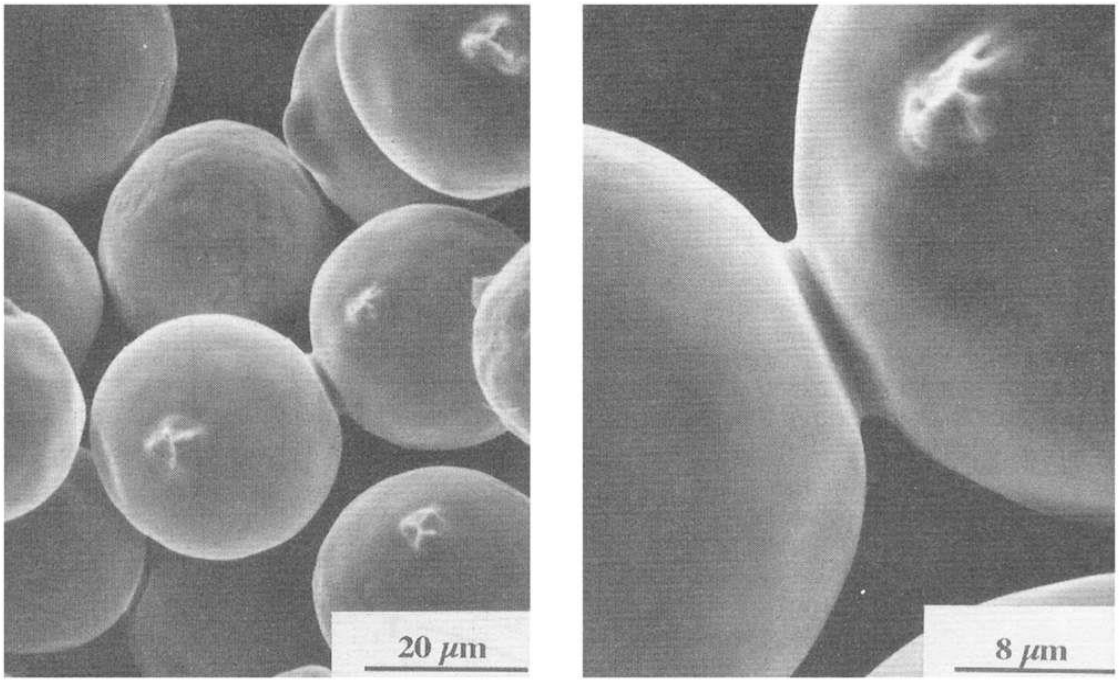
Toz metalürjisi metodunda, uygun işlem prosesi kalıplama biçimleri ile çok talaş kaldırma işlemlerine gerek duyulmadan ya da bölgesel alanlarda talaş kaldırma işlemi uygulanarak nihai ürünler üretilebilmektedir. İstenen özelliklerde bileşimde hazırlanan toz karışımları ilk olarak uygun kalıplar içerisinde alınarak preslenmektedir. Presleme basınç farklılığına ve pres etki sürelerine ve pres uygulama şekillerine bağlı olarak üretilecek ürünlerin yoğunluk özellikleri de değişmektedir. Bu ilk proses, elde edilmek istenen ürünlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin istenilen özellikler çerçevesinde oluşturulmasında önemli yere sahiptir. Toz metal yöntemi ile üretilecek parçalarda ikinci ve üretim prosesindeki en önemli olan aşama ise fırınlama yani sinterlemedir. Sinterleme işlemi malzemenin ergime sıcaklık seviyelerinin altında ve çoğu zaman koruyucu atmosfer ortamında yapılmaktadır. Bu aşamada, parça ısıtılmaya başlanarak

ve korozyon etkilerini minimuma indirmek amacıyla dış ortamla ilişiği olmayan fırın içerisinde önce yağ ve diğer olumsuzluk yaratabilecek maddelerden temizlenmek üzere ön ısıtma işlemine tabi tutulur. Oksit indirgenmesinden hemen sonra parçalar fırının sıcak kısmında gönderilerek sinterleme işleminin bitmesi beklenir. Sinterlemeden sonra fırından alınan parçalar işlemin son bulması için soğutma alanlarında bekletilir (Sarıtaş vd., 2007).



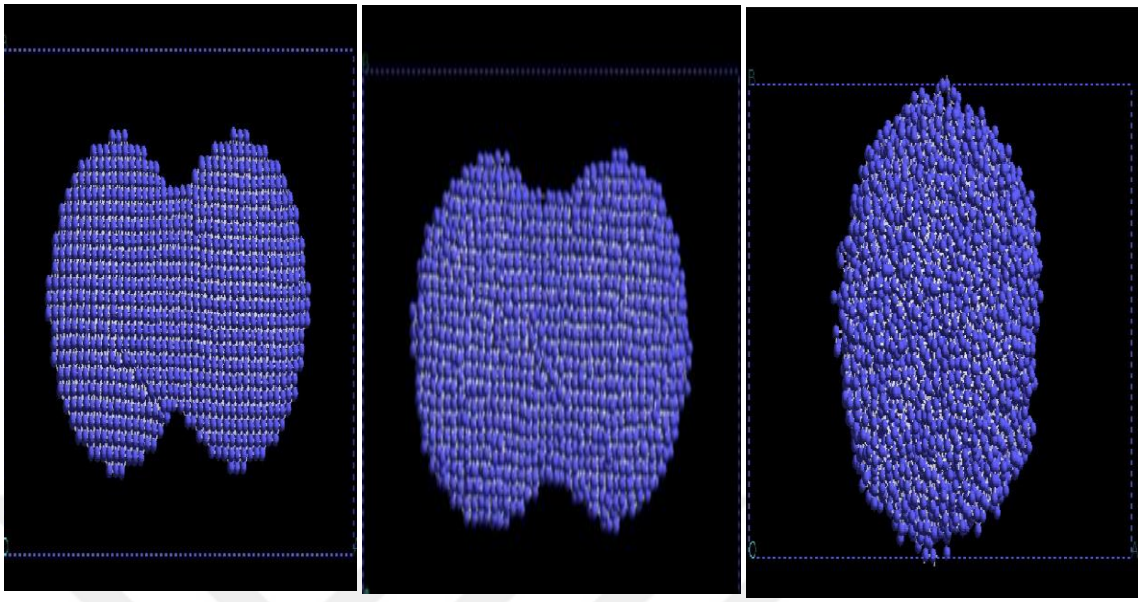

**Şekil 2.2.** Bir sinterleme fırınındaki işlemler zincirinin şematik gösterimi. Diyagram, tipik zaman-sıcaklık profilini göstermektedir (Sarıtaş vd., 2007).

Toz metal prosesi ile üretilmiş ürünler gözenekli ve kompakt parçalar şeklinde iki grupta incelenir. Son işlemlerin uygulanmasının ardından malzemede içinde %10-30 oranında gözenek bulunuyorsa, buna gözenekli malzeme, %1-3 oranında da gözenek ihtiva ediyorsa bu ürüne de kompakt malzeme adı verilir (Avcı, 1993, Bishop, 1998).

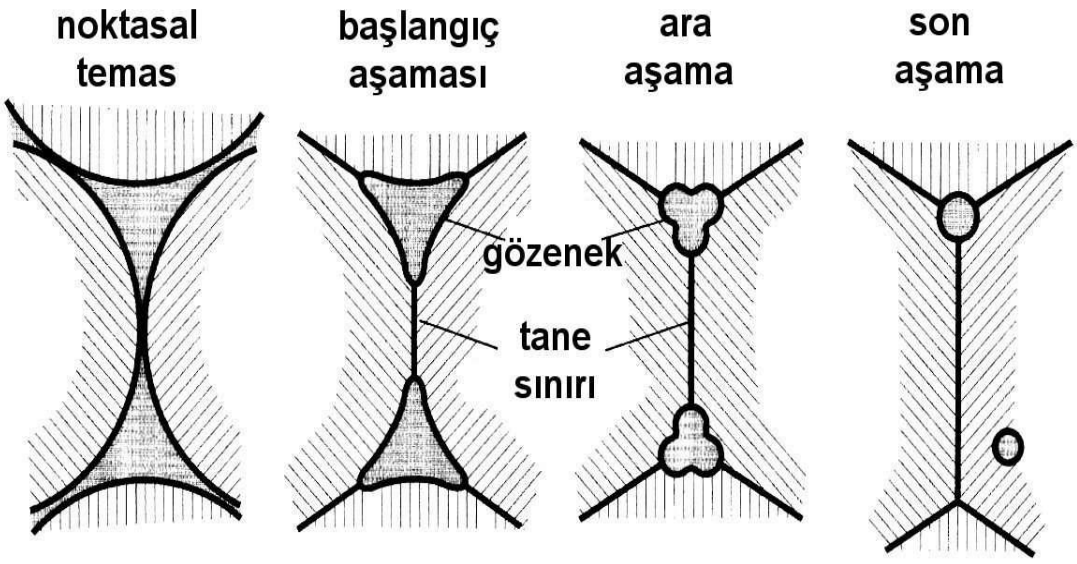



**Şekil 2.3.** Sinterleme ile toz partiküllerinde boyun oluşum başlangıcı

Preslenerek sıkıştırılmış toz parçaları arasındaki oluşan bağlar, yapışma, mekanik kilitleme ve benzeri türden zayıf bağlardır. Bu tarz bağlama ile oluşan bağlar kristal kafes yapısı içerisindeki oluşan bağların dayanımlarına oranla aşırı derecede zayıf kalmaktadırlar. Preslenerek sıkıştırılmış toz parçaları bir birleri arasında temas etmiş olsalar da bir birinden bağımsız bir yapıdadırlar. Sinterlemede yüksek sıcaklıktan etkilenen bu toz parçaları arasındaki temas alanları çoğalmaktadır. Bu uygulama ile malzeme içindeki iyon ve atomlar arasında bağ oluşturulması sağlanmaktadır. Sadece tek bileşenli olan sistemler için sinterleme işlemi tamamen katı faz olarak yapılır. Birden çok bileşen içeren yapılarda ise sıkıştırılmış parçalarının genel halini (iskeletini katı formunu) koruyacak şekilde katı veya sıvı fazlarda sinterleme işlemleri gerçekleştirilebilir. Aslen sinterleme prosesi yüksek basınç ve sıcaklık altında yapılan bir birleştirme işlemi olup, tozların birbirleriyle birleşerek difüzyon mekanizmasıyla sağlanması prensibine dayanır (Kurt vd., 2004).



**Şekil 2.4.** Toz malzemenin sinterleme etkisi ile difüzyona uğrama mekanizması



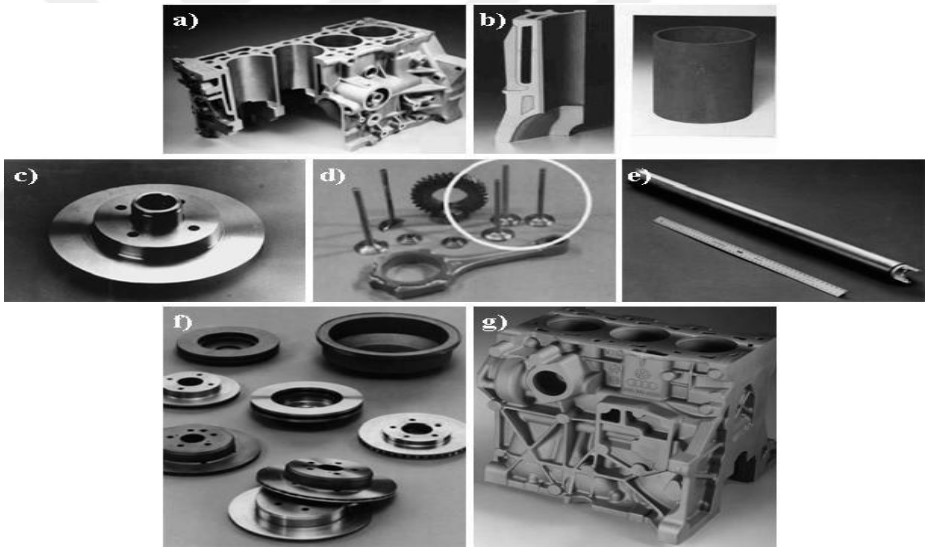

**Şekil 2.5.** toz partiküllerinin noktasal temasıyla başlayan sinterleme sırasında gözenek yapısının gösteren şematik diyagram.

Toz metalürjisi diğer üretim teknikleri olan, ekstrüzyon, plastik şekil verme, talaşlı imalat, döküm ve kaynaklı imalat (ergitme kaynağı) gibi üretim tekniklerine göre daha farklı bir imalat tekniğidir. Bu tekniğin kendince barındırdığı farklı özellikleri bulunmaktadır. Bunlar, üretimi ve üretim aşamaları pahalı, zor, aşırı zahmet ve zaman isteyen ürün ve alaşımların daha kolay üretilebilmesine olanak sağlar. Karmaşık şekillerdeki parçaların üretiminin kolaylığına, malzemelerde yoğunluk ve mukavemet kontrollerinin yapılabilmesine ihtimal sağlar. Bu yöntem teknolojinin gelişmesiyle birlikte diğer yöntemlere nazaran daha ekonomik ve daha çok kullanılabilecek olan bir yöntem olma hakkında hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Toz metalürjisi günümüzde ise daha çok kalite, zaman, maliyet, karmaşık işçilik gibi unsurlar gerektiren diğer yöntemler ile yapılması güç olan parçaların imalatında kullanılmaktadır. Günümüzde toz metalürjisi ile üretilmek istenen parçalar için, kalite, maliyet, zaman gibi kavramlar diğer imalat teknikleri ile mukayese edilmelidir. Karşılaştırmalar sonucunda elde edilen sonuca göre toz metalürjisi üretim prosesinin kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmelidir. Toz üretim teknolojisi, makine ve makine parçalarının yapımında bilinen diğer teknolojilerden sıra dışı özellikler göstermektedir. En önemli farklılığı ise istenilen mekanik, fiziksel ve şekilsel özelliklere sahip ürünlerin tek seferde başka bir işleme ihtiyaç duyulmadan elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Kaliteli ve karmaşık parçaların diğer yöntemlere göre daha ekonomik olarak üretilebilmesi toz metalurjisini günümüzde ön plana çıkarmaktadır (Federçenko & Pugina, 1980, Radomıselskiy, 1985, Babayev vd., 2005).

Bünyesinde karmaşık şekiller barındıran bir parçanın üretimi için bazı durumlarda, çoğunlukla da çok büyük boyutlara sahip parçaların imalatında diğer imalat yöntemleri ile toz metalürjisi yöntemi birlikte kullanılarak yapılabilir. Fazla karmaşık şekilli makine parça ve elemanları tek parça yerine çok parçalı imal edildikten sonra birbirleri ile birleştirilebilirler. Parçanın yekpare olarak hazırlanması üretim için gereken zamanı arttırmakta, daha büyük ölçülerde ve daha yüksek kapasitelere sahip preslere ihtiyaç duymakta ve pres kalıplarının büyüyerek maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca bunların yanında birçok teknik ve ekonomik sıkıntılarda baş gösterebilmektedir. Bu nedenle, bu tip elemanların, bir kaç uygun parçaya bölünerek istenilen parçalar elde

edildikten sonra modern kaynak veya birleştirme yöntemleri kullanılarak son şekle getirilmesi daha uygun olacaktır (Ordenko, 1987).

Toz metalürjisi ile üretilmiş malzemelerin kaynaklanması veya birleştirilmesi, döküm, ekstrüzyon, haddeleme veya diğer bilindik üretim teknikleri ile üretilmiş ürünlerin birleştirilmesi ve kaynaklamışına göre farklılıklar göstermektedir. Preslenmiş ve sinterlenmiş toz malzemeler kaynak edildiğinde ergiyen malzemenin hacimsel büzülmesi ve ısıl genleşme miktarının kaynak yapılmadan önce bilinmesi ve belirlenmesi gerekmektedir. Bunun haricinde parçaların birleştirilmesinde parçalar arasındaki ara boşlukların göz önünde bulundurulması gereken önemli bir durumdur. Bu ara boşlukların farklılık değerleri ana malzemeye bağlı olabileceği gibi bu malzeme içerisindeki ergiyen metal yoğunluğuna da bağlı olabilmektedir.




**Şekil 2.6.** sinterleme ile üretilmiş örnek malzemeler

Hemen hemen bütün malzemeler toz ve partikül formuna getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen metotlar malzeme özelliklerine bağlı olarak değişir. Toz üretimi ve toz ürünlerden parça imalatını aşağıdaki gibi ana başlıklar altında sıralayabiliriz.

**Çizelge 2.3.** Toz üretimi ve toz ürünlerden parça üretimi

| | |
|---|---|
| Toz Üretimi | 1- Öğütme<br>2- Elektroliz<br>3- Kimyasal İndirgeme<br>4- Atomizasyon |
| Toz Mamüllerden Parça Üretimi | 1- Karıştırma<br>2- Presleme<br>3- Sinterleme<br>4- İnfiltrasyon<br>5- Yağ emdirme<br>6- Boyutlandırma<br>7- İkincil presleme<br>8- Bularlama işlemi<br>9- Talaşlı imalat<br>10- Çapak alma<br>11- Birleştirme<br>12- Isıl işlem |

# BÖLÜM 3

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilmiş 750 Mpa basınçta ve 550$^{o}$C'de 4 saat sinterlenmiş AA 6063 alüminyum malzemenin Ø24 mm omuz çaplı SKK kaynak ucu kullanılarak belirli bir devir ve ilerleme hızında kaynaklanmasından sonra numunelerin mekanik özellikleri ve mikro yapı özellikleri incelenmiş ve araştırılmıştır.

SKK deneylerinde kullanılan deney araç ve gereçlerinin tümü Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Atölyesi ile Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezinin olanakları kullanılarak yapılmıştır.

## 3.1. Deney Numuneleri ile Deney Araç ve Teçhizatları

Bu çalışmada kullanılan malzemeler, hazır olarak alınmış 8x100x600mm ölçülerinde toz metalürjisi ile üretilmiş AA 6063 olarak adlandırılan ticari olarak üretimi yapılan alüminyum levhalardır. Numuneleri kaynaklama için Ø24 mm omuz çaplı, 8mm uç çapı ve 2,5$^{0}$ açı ile takım omuzuna doğru genişleyen ölçüde, 7.5mm uç uzunluğu olan 52 HRC sertlikte sürtünme karıştırma kaynak ucu kullanılmıştır. Numunelerin talaşlı işlemleri için kaba işçilikte Ø8mm çapında DIN844N - HSSCo8 normlarında 4 ağızlı parmak freze ve hassas işlemleri Ø16mm çapında için SB tip çapraz karbür kalıpçı freze uçları kullanılmıştır. Kaynaklama ve talaşlı imalar işlemleri Delta Seiki 1050 marka Mitsubishi M70 kontrol ünitesine sahip CNC dikey işleme merkezinde yapılmıştır. Numune tasarımları ve CNC kodları, Solidworks ve Solidcam yazılımları kullanılarak

çizilmiş ve oluşturulmuştur. Numunelerin çekme testleri Alşa marka çekme basma test cihazında yapılmıştır. Mikro yapı incelemeleri ve EDS analizi Zeiss EvoLS10 marka elektron mikroskobunda yapılmıştır. Sertlik testleri Tronik marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Numunelerin Makro görüntülemeleri Leica M205 C marka stereo mikroskop ile görüntülenmiştir.




**Şekil 3.1.** Numunelere yapılan işlemlerde kullanılan cihazlar.

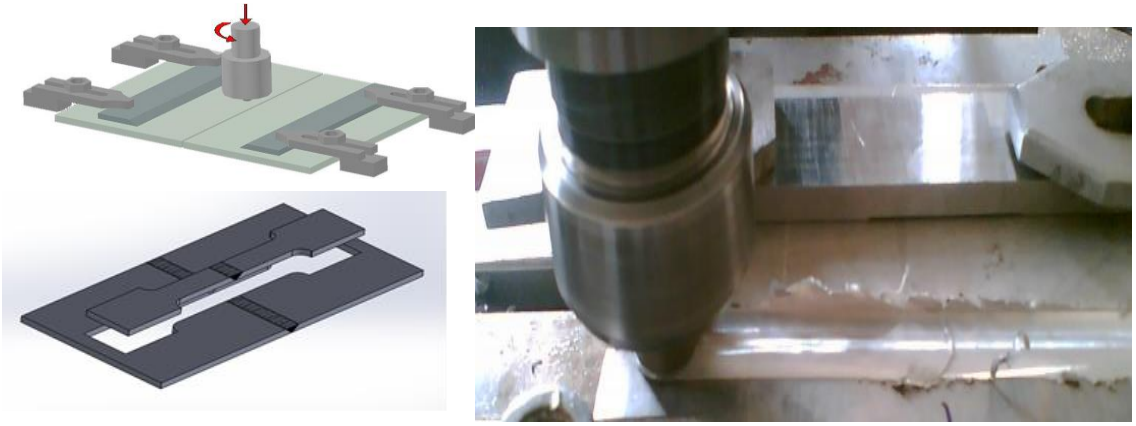
### 3.2. Numunelere Uygulanan İşlemler ve Bulguların Tartışılması

#### 3.2.1. Numunelere SKK İşleminin Uygulanması

İki adet AA 6063 sinterlenmiş alüminyum levha, kalıba yerleştirilerek tutturma aparatları ile sabitlenmiştir. Kaynak ucu aşağı doğru konik ve helisel bir düzende alüminyum numunelere daldırılarak SKK işlemi başlatılmıştır. Kaynaklama işlemi yayınlanan diğer makalelere göre biraz farklılık göstermiştir. Makalelerde genel olarak karıştırıcı uç numuneye belirli bir devir ile girdikten sonra aynı devir hızında ve sabit bir ilerleme hızı ile yapılmaktadır.

Sinterlenmiş alüminyum malzemelere uygulanan sürtünme karıştırma kaynağında ise yine sabit bir devir hızı (1000 dev/dak dönme ve 50mm/dak ilerleme) ile numuneye giren karıştırıcı uç belirli bir süre plastik deformasyonun oluşabilmesi için beklendikten sonra devir hızı biraz daha arttırılıp (3250dev/dak) sabit bir ilerleme hızı (100mm/dak) verilmektedir. Bu şekilde yapılmayan çalışmalarda kaynaklanma tam olarak mümkün olmamaktadır. Eğer karıştırma ucu kaynaklanacak malzemelere çok hızlı ya da çok yavaş girdiği takdirde numuneler parçalanarak etrafa sıçramaktadır.

Karıştırma ucu sinterlenmiş malzemelere ancak sabit bir devirde ve helisel bir şekilde sokularak kaynak başlangıcı yapılabilmektedir. Daha sonra kaynak ucu tamamen parçaya nüfuz ettikten sonra devir hızı biraz daha arttırılarak sabit bir ilerleme hızı verilmektedir. Kaynaklama bu şekilde yapılmadığı takdirde levhalar arasındaki sıvanma gerçekleşmemekte ve bir parçadan ayrılan metal diğerinde birikmektedir ya da ufak parçalar olarak dışarıya sıçramaktadır.



**Şekil 3.2.** SKK'nın şematik gösterimi ve SKK'nın uygulanması

Sonuç olarak karıştırıcı uç parçaya girişinde ilerleme hızına göre daha yavaş bir şekilde sokulduktan sonra sıvanma / yeniden kristallenme noktası yakalanacak şekilde devir hızı verilerek kaynaklama işlemi yapılmalıdır.

### 3.2.2. Kaynaklı Levhalardan Test Numunelerinin Hazırlanması

Kaynaklanmış numunelerden test yapılması için çekme testi, sertlik testi, stereo mikroskopta görüntülemesi ve elektron mikroskobunda görüntülenme ile yine elektron mikroskobunda EDS analizleri için farklı boyutlarda numuneler CNC tezgahında talaşlı işleme ile elde edilmiştir. Sertlik testi ve görüntülemeler için numunelere zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır.

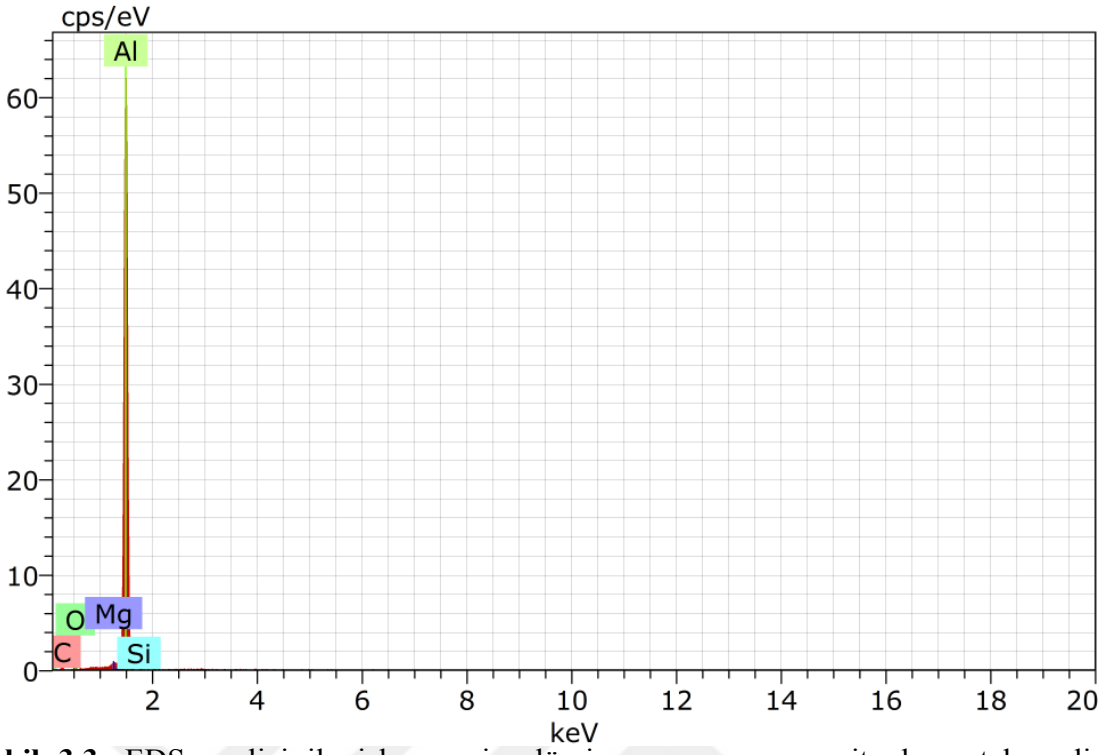
### 3.2.3. Numunelerin EDS analizleri

SKK öncesi numunelerin yüzdesel element miktarını belirlemek ve SKK sonrasında numunelerde meydana gelen element dağılım değişikliğini gözlemlemek üzere elektron mikroskobunda test numunelerine EDS mapping işlemleri uygulanmıştır.

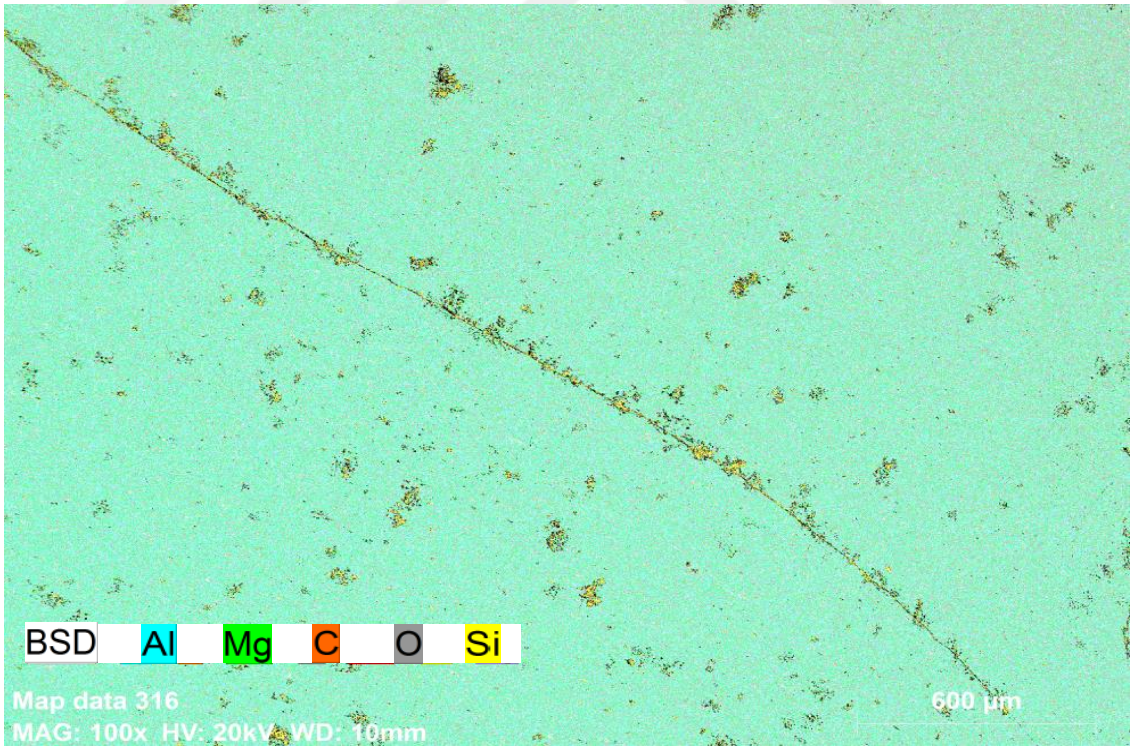
**Çizelge 3.1.** EDS analizi ile işlenmemiş alüminyum numuneye ait elementel analiz değerleri

Spectrum: Acquisition 749

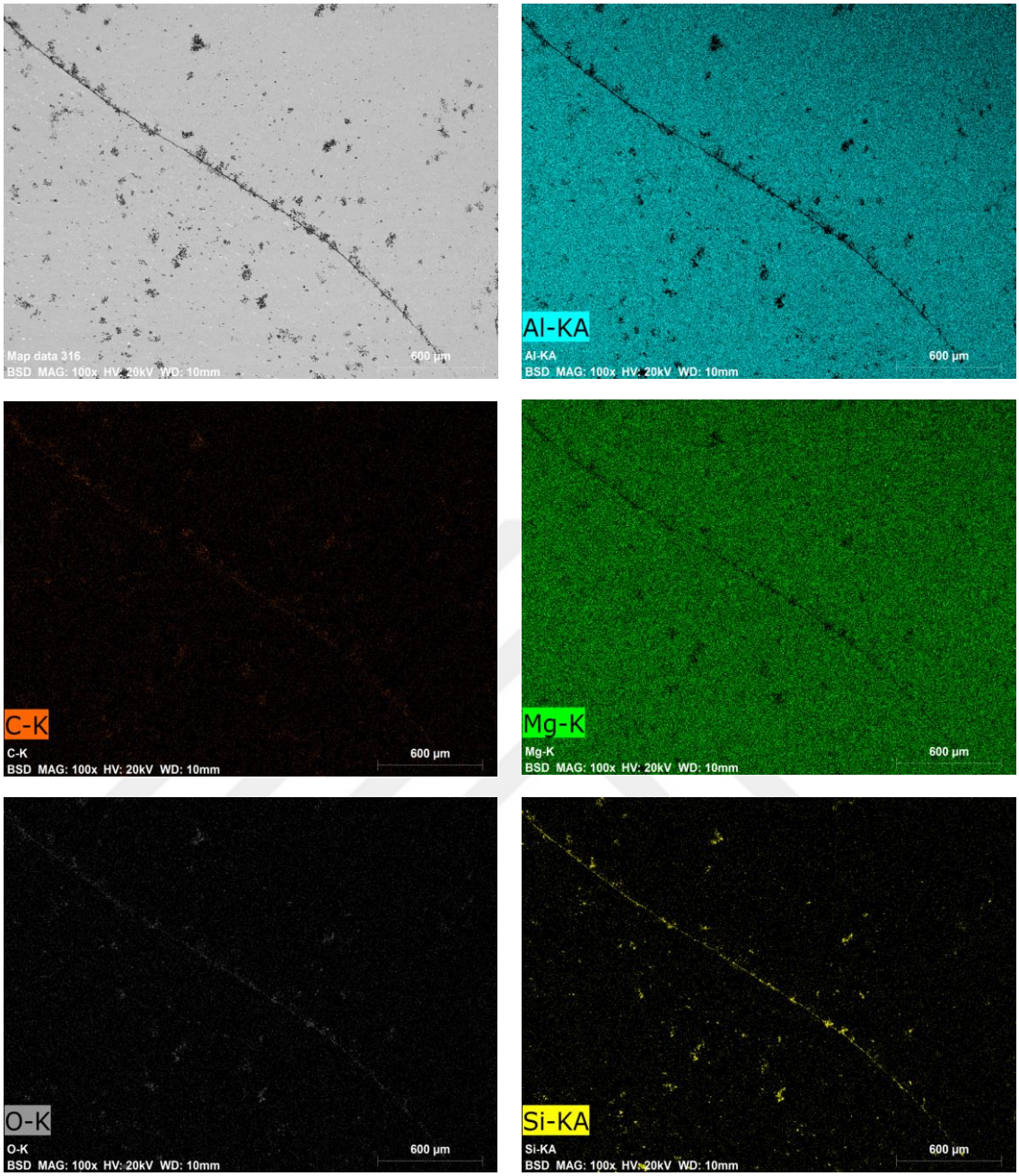
| El | AN | Series | Net | unn. C [wt.%] | norm. C [wt.%] | Atom. C [at.%] | Error (1 Sigma) [wt.%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Al | 13 | K-series | 41146 | 83.78 | 86.02 | 74.86 | 4.07 |
| C | 6 | K-series | 137 | 10.22 | 10.50 | 20.52 | 4.54 |
| O | 8 | K-series | 136 | 2.48 | 2.55 | 3.74 | 1.13 |
| Mg | 12 | K-series | 363 | 0.69 | 0.71 | 0.68 | 0.09 |
| Si | 14 | K-series | 47 | 0.22 | 0.22 | 0.19 | 0.06 |
| | | Total: | | 97.39 | 100.00 | 100.00 | |




**Şekil 3.3.** EDS analizi ile işlenmemiş alüminyum numuneye ait elementel analiz spektrumu



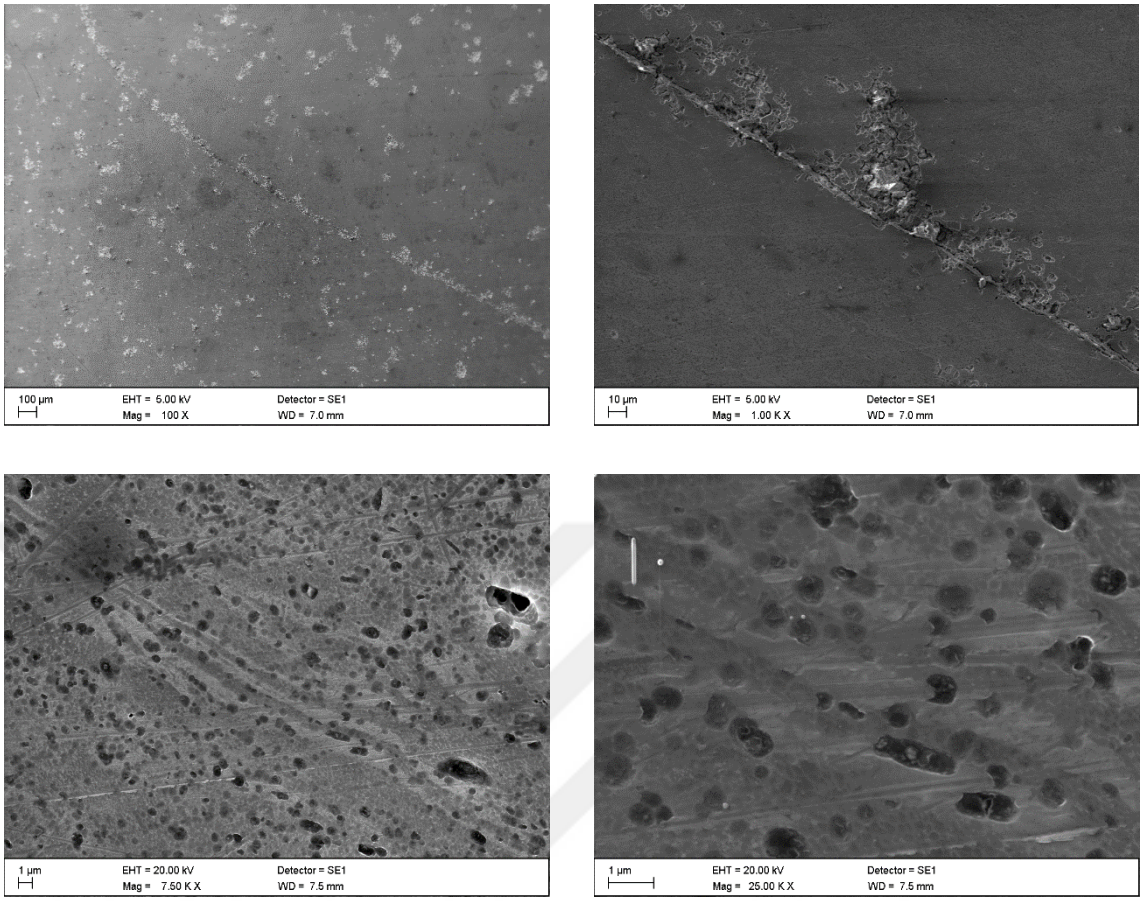

**Şekil 3.4.** EDS Mapping görüntüsü




**Şekil 3.5.** SKK sonrası EDS Mapping element dağılım görüntüsü

EDS analizi için levha üzerinde eksene dik yönde olacak şekilde kaynak bölgesini incelemek amacı ile numune alınmıştır. Daha sonra sırasıyla 320, 800, 1200 ve 2000'lik zımpara kâğıtlarında zımparalanmış, 6 µm ve 1 µm tane boyutunda $Al_2O_3$ (Alümina) solüsyonu parlatılmıştır. Alümina solüsyonunun artık yapı bırakmaması için tekrar ultra saf su kullanılarak parlatma disklerinde parlatılmıştır.

### 3.2.4. Numunelerin SEM görüntüleri




**Şekil 3.6.** SKK sonrası numunelerin SEM görüntüleri

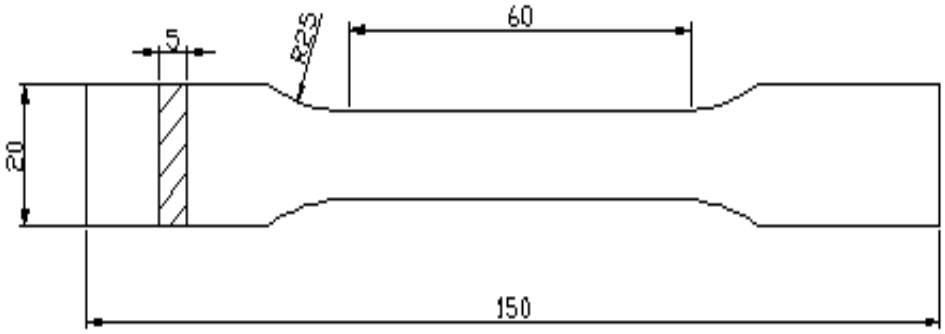
Sem görüntülemesi için levha üzerinde eksene dik yönde olacak şekilde kaynak bölgesinde oluşan içyapıyı incelemek amacıyla metalografik numune alınmıştır. Alınan numuneler kaynak kesiti yüzeyde bakacak şekilde oda koşullarında katılaşan epoksi içine gömülerek kalıplanmıştır. Daha sonra sırasıyla 320, 800, 1200 ve 2000 gridlik zımparalar ile zımparalanmıştır. 6 µm ve 1 µm tane boyutunda $Al_2O_3$ (Alümina) solüsyonu ile parlatılmıştır. Parlatma işlemi yapıldıktan sonra hazır hale gelen numuneler 50 ml HF (%30'luk) ve 50 ml saf su karışımından yapılmış çözeltiye konularak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde son olarak kaynak bölgesinde oluşan mikro yapı ve herhangi bir kaynak hatasının olup olmadığının belirlenmesi için Elektron mikroskobunda incelenerek SEM görüntüleri çekilmiştir.

Sem görüntüleri alınan numunelerin kaynaklı birleştirme kısımlarında yer yer kaynak hataları görülmekle birlikte kaynak hattının büyük bir bölümünün muazzam bir şekilde birleştiği görülmektedir.

### 3.2.5. Numunelerin Çekme Testleri

Çekme deneyi, bir malzemenin güvenli olarak ve en fazla ne kadar yük taşıyacağını yanında yükleme sırasındaki şekil değiştirme (uzama) davranışlarının belirlendiği bir ölçme yöntemidir. Bu kısımda kaynaklanmış numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çekme testleri, çekme kapasitesi 600kN olan ALŞA çekme cihazında 5mm/dak çene ayırma hızı ile gerçekleştirilmiştir.

Çekme testleri için kaynaklı levhalardan kaynak bölgesinin eksenine dik olmak üzere 3 adet numune kullanılmıştır. Numuneler CNC dikey işleme merkezinde talaş kaldırma ile işlenmiştir. Talaş kaldırmanın kaba paso işlemleri parmak freze ile hassas işlemesi kalıpçı frezesi ile yapılmıştır. İşlem sırasında soğutma için yarı sentetik kesme sıvısı kullanılmıştır. Çekme testlerinin tamamı art arda 19-20 $^{o}$C sıcaklıkta yapılmıştır.

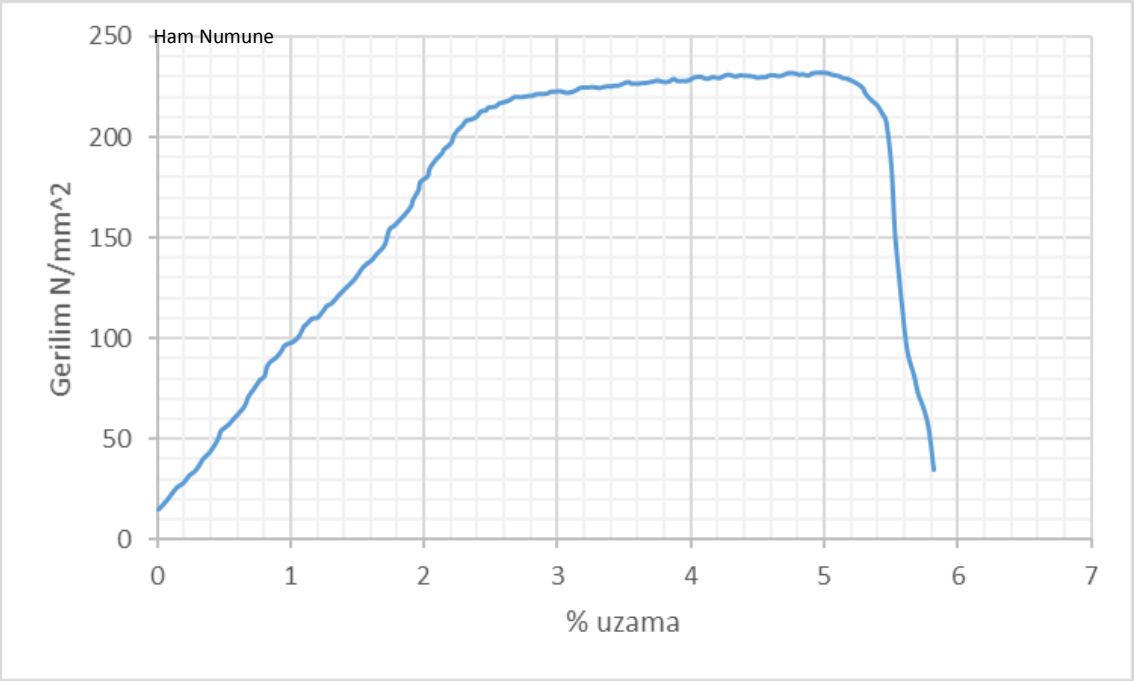



**Şekil 3.7.** Çekme numunesi ölçüleri

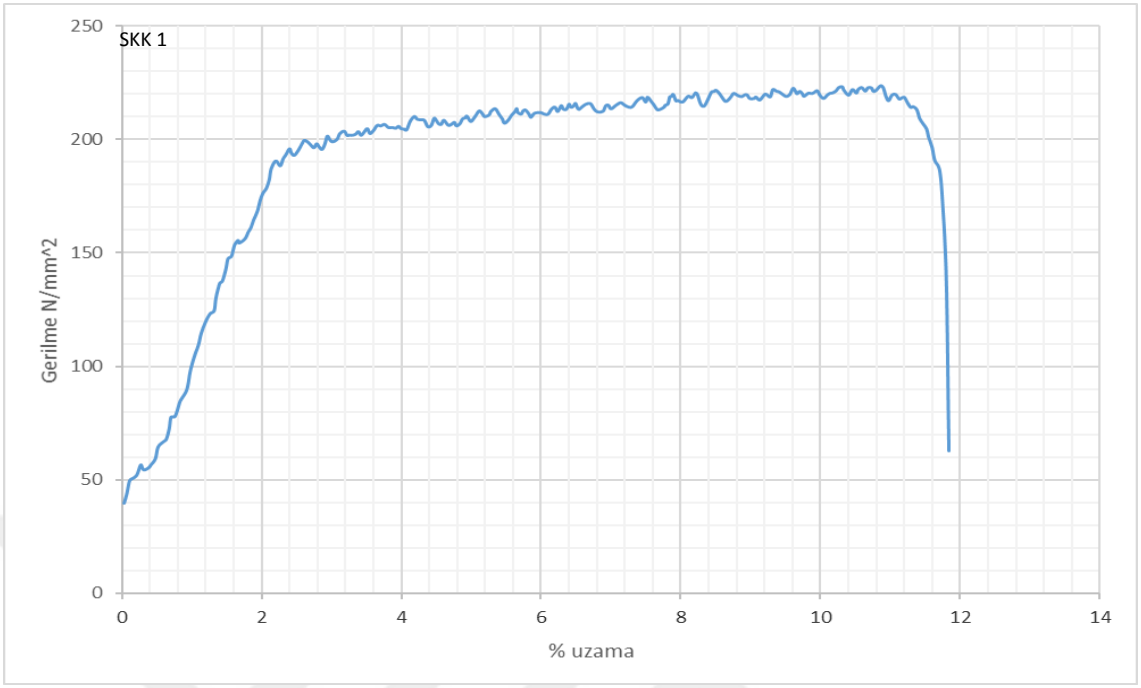
Numunenin hazırlanması sırasında kaynaklamadan kalan tüm çapak ve olumsuzluk teşkil edecek unsurlar temizlenerek, numuneler TSE ISO EN 6892-1 standardında belirtilen kurallara göre hazırlanmaya çalışılmıştır.

| Numune No | Akma Dayanımı %0,2 ($N/mm^2$) | Çekme dayanımı ($N/mm^2$) | % Uzama |
|---|---|---|---|
| Ham Numune | 208,26 | 232,21 | 5,91 |
| SKK 1 | 190,37 | 223,77 | 11,94 |
| SKK 2 | 201,09 | 251,44 | 11,84 |
| SKK 3 | 198,76 | 230,34 | 12,71 |

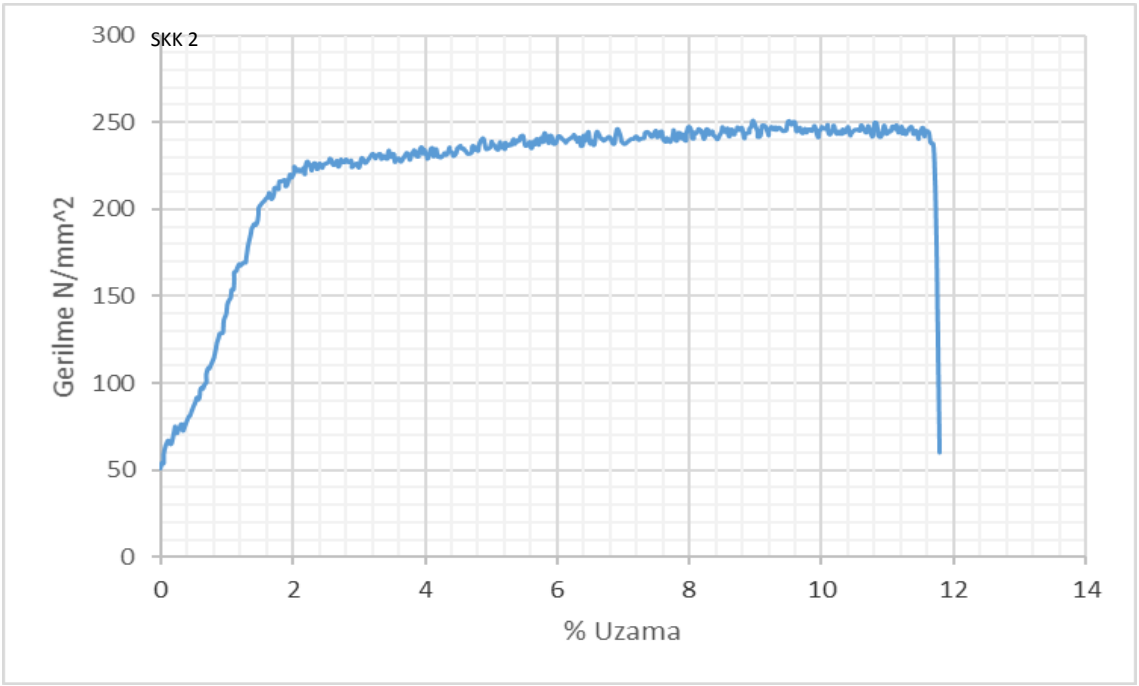
**Çizelge 3.2**. Numunelere ait çekme testi değerleri



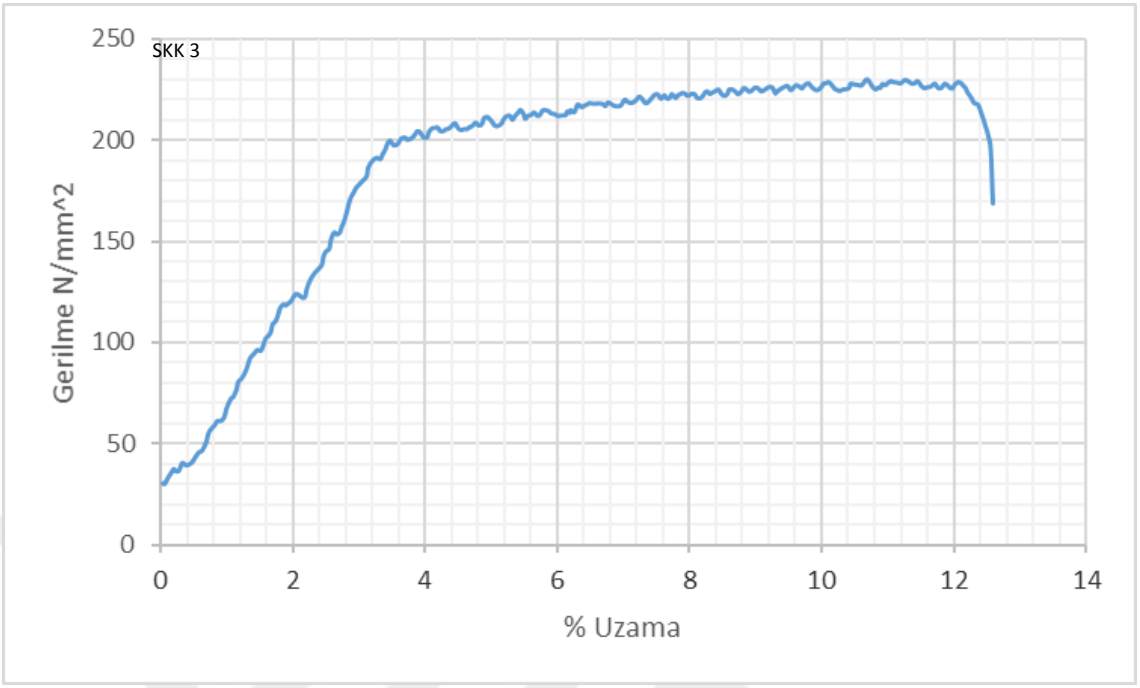

**Şekil 3.8.** Ham numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği



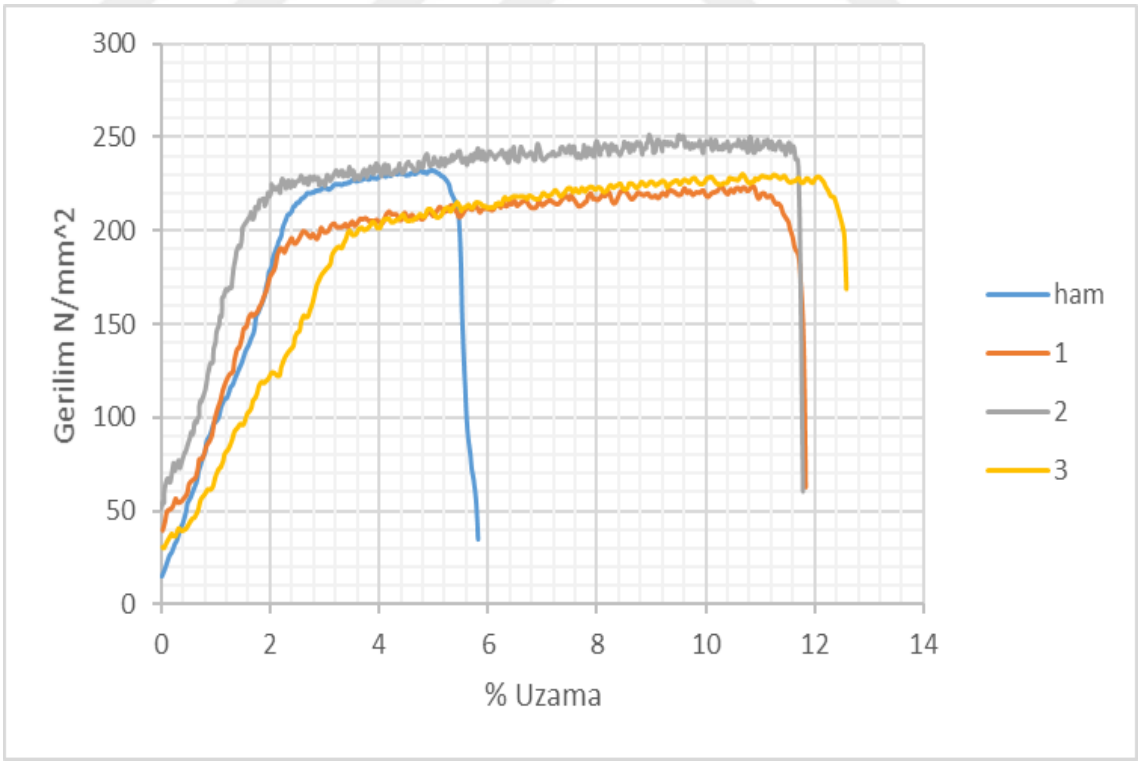

**Şekil 3.9.** SKK1 numaralı numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği




**Şekil 3.10.** SKK2 numaralı numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği




**Şekil 3.11.** SKK1 numaralı numunelerine ait Gerilme - %uzama grafiği

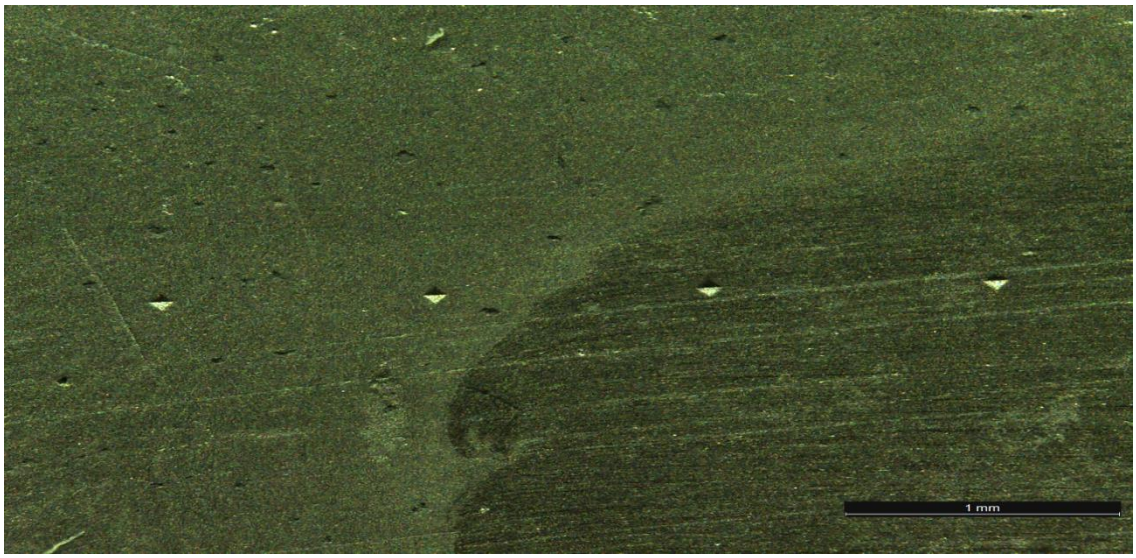



**Şekil 3.12**. Çekme numunelerine ait Gerilme - %uzama karşılaştırma grafiği

Çekme testleri için 1 adet ana numune ve sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış 3 adet numune hazırlanmıştır. Yapılan testler sonucunda numunelerin akma değerleri, çekme değerleri ve yüzde uzamaları bulunmuştur. Bulunan değerler çizelge 3.2.'de verilmiştir. Yapılan testlerde akma dayanımları ve çekme dayanımları ± %8'lik bir fark gösterirken, yüzde uzama değerinde yaklaşık %50'lik bir değer farkı oluşmuştur.

### 3.2.6. Numunelerin Sertlik Testleri

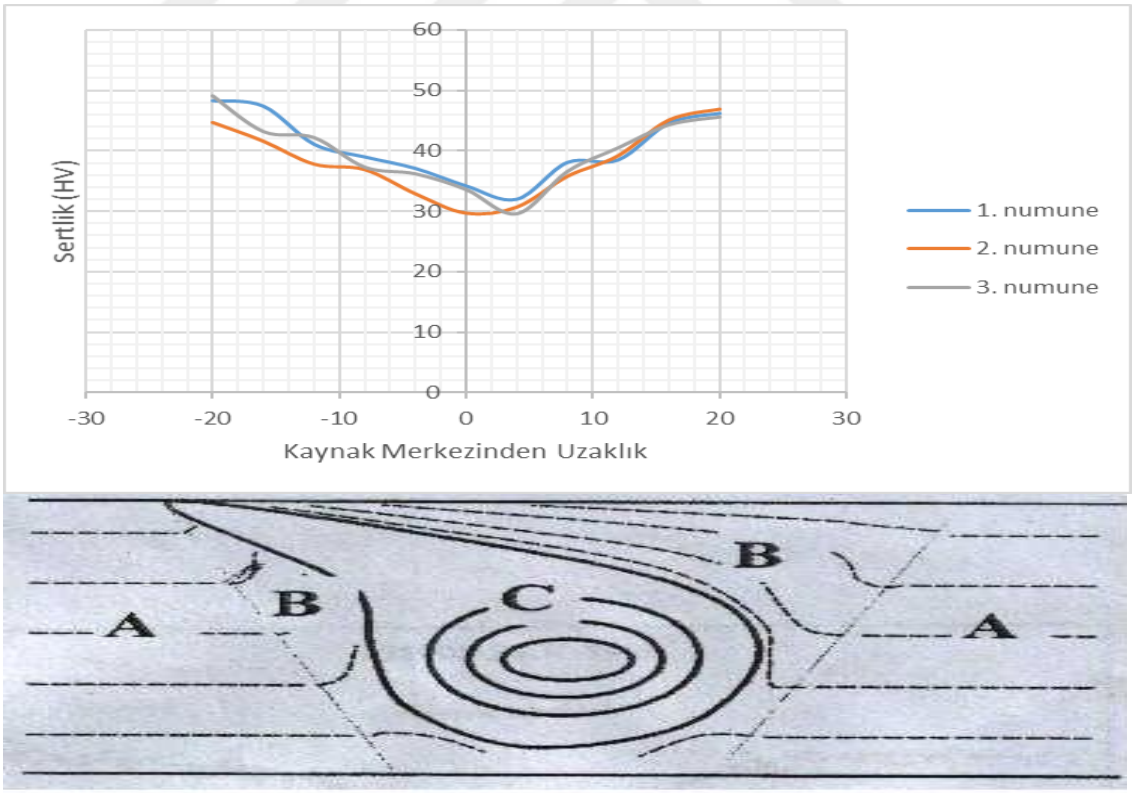
Malzemeler üzerinde yapılan en yaygın deneylerden biri de sertliğinin ölçülmesidir. Bunun genel sebebi, deneyin basit ve kolay oluşu ile diğer testlere oranla numuneye daha az tahrip etmesi ve numuneye daha az zarar vermesidir. Diğer bir avantajı ise, bir malzemenin sertlik değeri ile diğer mekanik ve fiziksel özellikleri arasında paralel bir ilişkinin var olmasıdır. Örneğin metal malzemelerde, çekme mukavemeti ile sertlik değeri doğru orantılı bir yol izlemektedir. Bu nedenle, yapılan sertlik ölçümü sonucunda malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür. Sertlik izafi bir ölçü olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence denir.




**Şekil 3.13.** sertlik ölçümü yapılan numune görseli

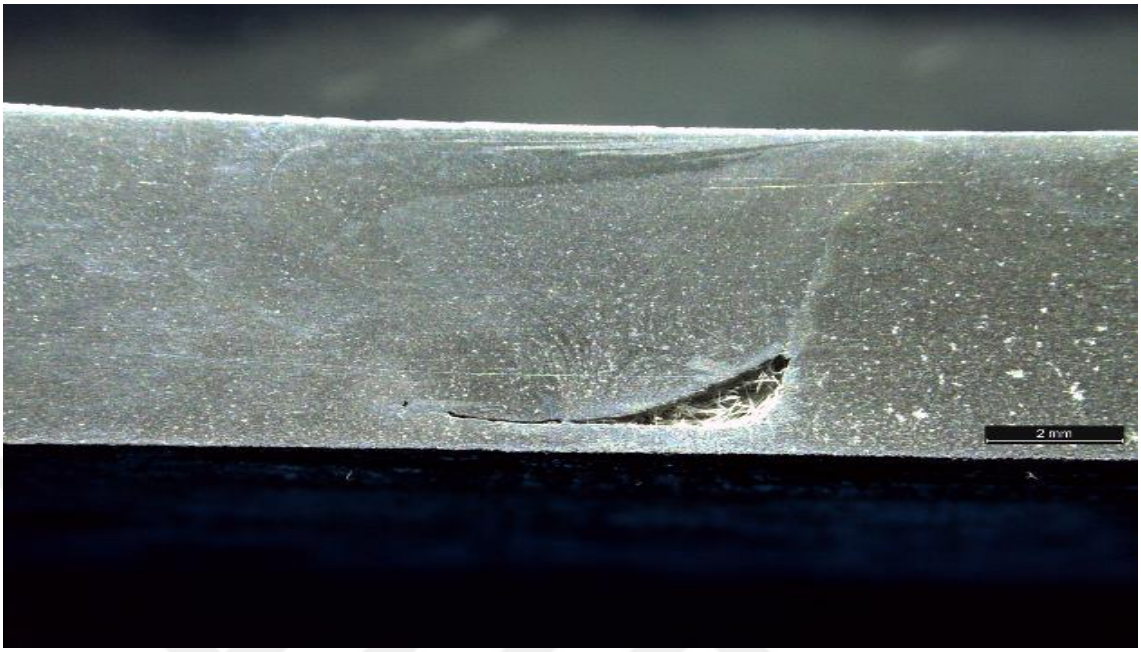
Uygulamada numuneler sırasıyla sırasıyla 320, 800,1200 ve 2000'lik zımpara kâğıtları ile zımparalanmış 6 µm ve 1 µm tane boyutunda $Al_2O_3$ (Alümina) solüsyonu kullanılarak parlatma işlemi uygulanmıştır.

Kaynak yapılan bölge ana malzemeye göre daha az dayanıklıdır çekme testinden anlaşılacağı gibi daha elastik bir yapıya sahiptir. Parçada ısıdan etkilenmiş alan en az mukavim olan bölgedir. Bu sertlik değerlerindeki farklılık kaynak merkezinin her iki tarafından yaklaşık 15mm uzaklıktan merkeze doğru gidildikçe görülmektedir. . Sertlikteki en büyük azalma firar kenarına yakın olan bölgede merkeze yaklaşık 4mm mesafede gerçekleşmiştir. 3 farklı numuneye yapılan sertlik testi sonucunda sinterlenmiş malzemelerde sertlik grafiği farklı bir şekli önümüze koymaktadır. Firar kenarından kaynak merkezine doğru gidildikçe azalmaya başlayan sertlik değeri merkeze 4mm kala en düşük değerini almaktadır. Bu seviyeden itibaren hücum kenarına doğru gidildikçe sertlikte sürekli bir artış görünmektedir.




**Şekil 3.14.** Kaynak merkezine farklı mesafelerdeki sertlik değeri arasındaki ilişki. A) Ana malzeme B) Toparlanma bölgesi (termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge), C) Yeniden kristalleşme bölgesi

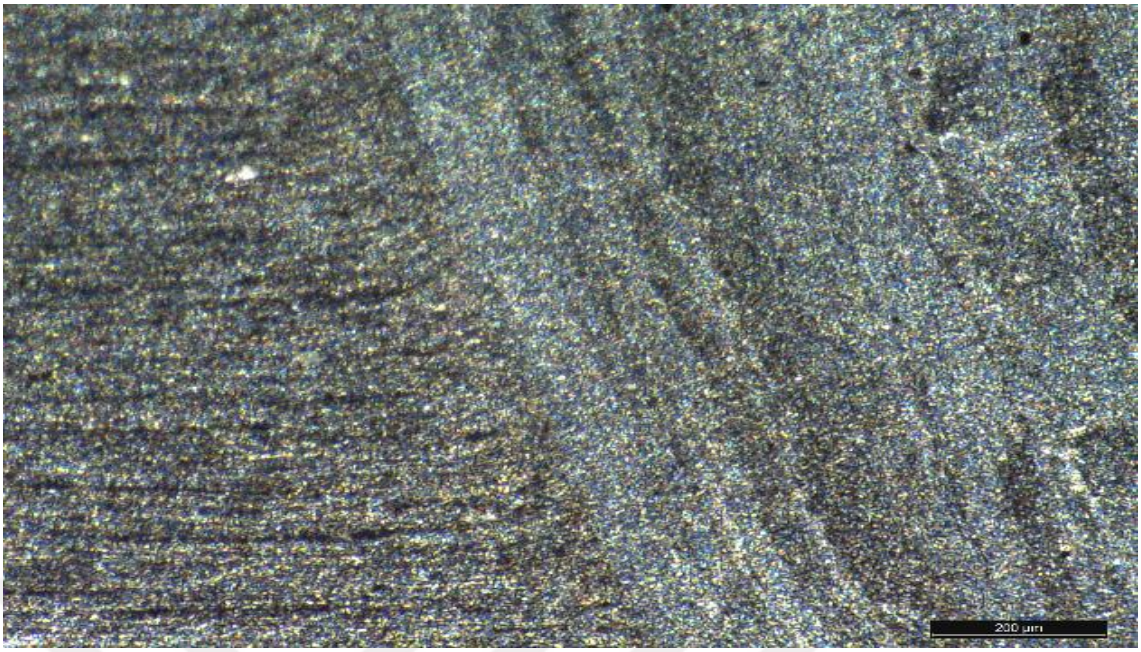
### 3.2.7. Numunelerin Makro Görüntüleri



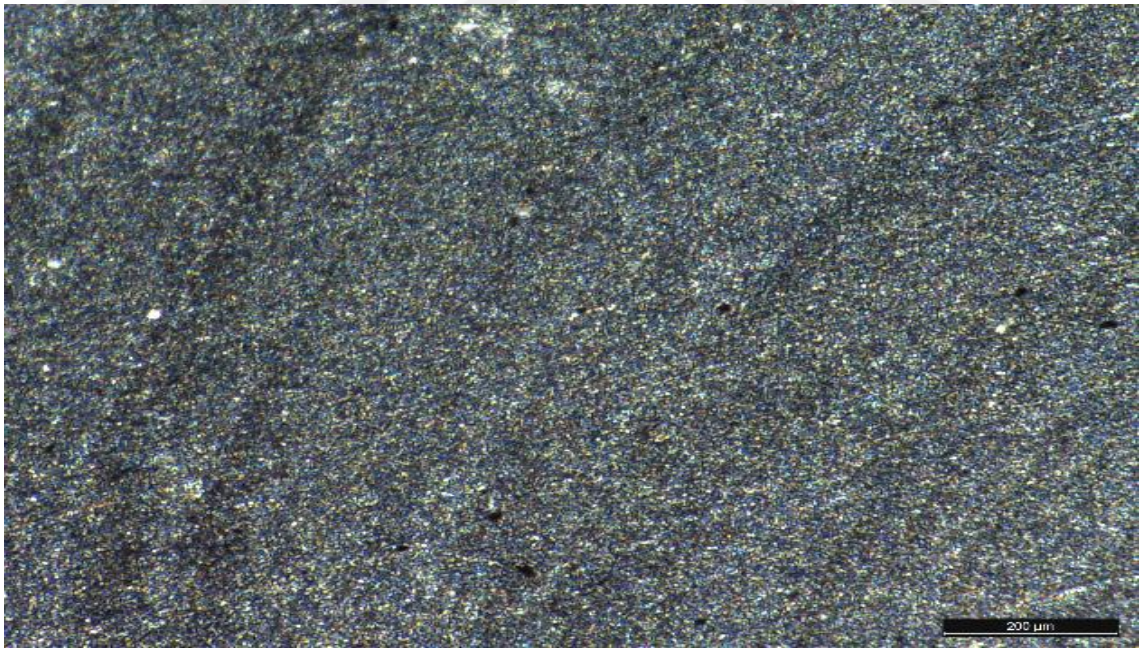

**Şekil 3.15.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen genel görünümü




**Şekil 3.16.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen hücum kenarı görüntüsü




**Şekil 3.17.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen firar kenarı görüntüsü




**Şekil 3.18.** Kaynaklama sonrası numunelerin stereo mikroskop ile çekilen kaynak merkezi görüntüsü

Kaynakla birleştirme işlemi malzeme makroyapısını etkilemektedir. Bu nedenle etkilenen bölgeler mikroskop altında incelenmiştir. Sinterlenmiş alüminyum malzemelerin makro görüntüleri geleneksel yöntemlerle üretilmiş malzemelerle benzerlik gösterirken, sinterlenmiş malzemelerin yapısından kaynaklanan bazı farklılıklar vardır. Döküm ve haddeleme gibi üretim yöntemleri ile üretilmiş parçalarda yüzey pürüzlülüğü daha düzgün yapıdayken, sinterlenmiş malzemelerin yüzeyleri daha pürüzlü bir yapı sergilemektedir.

# BÖLÜM 4

# SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilmiş 750 Mpa basınçta ve 550$^{o}$C'de 4 saat sinterlenmiş AA 6063 alüminyum malzemenin Ø24 mm omuz çaplı SKK kaynak ucu kullanılarak belirli bir devir ve ilerleme hızında kaynaklanmasından sonra numunelerin mekanik özellikleri ve mikro yapı özellikleri incelenmiş ve araştırılmıştır.

Numunelerde kaynaklama işlemi en zorlanılan prosestir. Sinterlenmiş malzemelerin plastik deformasyonu geleneksel yöntemler ile üretilmiş malzemelerden çok farklı özellikler göstermektedir. Geleneksel üretimle yapılmış malzemelerde SKK ucu kaynak parçalarına daldırıldıktan sonra aynı devir ve ilerleme hızı ile kaynaklama işlemi gerçekleşmektedir. Sinterlenmiş malzemelerde ise bu durum biraz farklıdır. Önce malzemeye belirli bir devir ve ilerleme hızı ile karıştırıcı uç numuneye helisel şekilde daldırılmaktadır. Belirli bir süre dairesel hareket yaptırılarak yeterli ısının açığa çıkması ve malzemelerin yeterli şekilde plastik deformasyona uğraması beklenmelidir. Metalin karıştığı görüldüğü anda devir hızı bir miktar daha arttırılarak sabit hızda kaynaklama işlemi yapılmalıdır. Kaynak için olması gereken devir ve ilerleme hızı denenerek bulunmalıdır. Aksi takdirde kaynaklama başarılı bir şekilde gerçekleşmemektedir. Kaynaklama bu şekilde yapılmadığı takdirde levhalar arasındaki sıvanma gerçekleşmemekte ve bir parçadan ayrılan metal diğerinde birikmektedir ya da ufak parçalar olarak dışarıya sıçramaktadır. Sinterlenmiş alüminyum malzemelerin sürtünme

karıştırma kaynağı halen çalışılan bir konu olduğundan malzemelerin hangi devir ve ilerleme hızlarında kaynatılabileceği araştırmalar arttıkça belirginleşecektir.

Yapılan EDS analizlerinde, sürtünme karıştırma kaynağı uygulanan numunelerden kaynaklı birleştirme yönüne dik kesitli olarak alınan numuneye uygulanan EDS mapping sonuçlarına göre kaynak hattı boyunca bazı bölgelerde metallerin birleşme yüzeylerindeki homojen yapının bozulduğu, kaynak çizgisinde silisyum ve oksijen elementlerinin birikimi gözlemlenmiştir. Alüminyum, magnezyun ve karbon elementlerinin ana malzemelerde ve kaynaklı birleştirme yapılan alanda yine homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Kaynak hattında silisyum birikinkintilerinin olumasının nedeni silisyum elementinin ergine sıcaklığının alüminyum alaşımının ergime sıcaklığının çok üzerinde olması ve silisyumun alüminyum içindeki kararlı yapısının ısı etkisi ile kararsız bir yapıya dönüşerek alüminyum alaşımından ayrılması olarak değerlendirilebilir.

SEM görüntülerinde oluşan kaynak hatalarının malzemenin sinterleme yolu ile üretilmiş olmasından ve kaynak kenarlarında silisyum ve oksijen elementlerinin birikinti yapmış olmasından kaynaklandığı görülmektedir. SKK sırasında silisyum ve oksijen elementlerinin silisyum oksit meydana getirerek kum veya kuartz şeklinde bu kaynak hattında toplandığı EDS analizi ile gösterilmişti. Bu nedenle sinterlenmiş alüminyum alaşımlarındaki kaynaklı bağlantılarında silisyumun oksijenle yaptığı birleşiklerin kaynaklı bağlantıları olumsuz yönde etkilediği kanısına varılmaktadır.

Çekme testlerinde ise sinterlenmiş alüminyum malzemelerde kaynak verimliliği ana malzemeye nazaran çekme ve akma değerleri göz önüne alındığında %90 bir verimlilik söz konusudur. Fakat yüzde uzama ele alındığında uzama miktarı iki katına çıkmıştır ve uzama miktarının büyük bir bölümü kaynaklı bölgede meydana gelmiştir. Bunun nedeni SKK sırasında açığa çıkan ısının ve plastik deformasyonun bu bölgedeki malzeme karakterizasyonunu önemli ölçüde değişikliğe uğratmış olmasıdır.

Sertli testlerinde literatür incelendiğinde ve mukayese edildiğinde, sertlikteki düşüş hem hücum kenarından hem de firar kenarından eşit mesafelerde azalma göstermesi ve azalmanın ardından kaynak merkez bölgesinde hafif bir artış olması beklenirken böyle bir durum meydana gelmemiştir. Sertlikteki en büyük azalma firar kenarına yakın olan bölgede merkeze yaklaşık 4mm mesafede gerçekleşmiştir. Yine geleneksel üretimle

üretilmiş malzemelerin literatür taramasında görülen ana malzemelerdeki sertlik, kaynak merkezine doğru gidildikçe önce büyük bir düşüş göstermekte ve kaynak merkezi bölgesinde biraz artış göstererek neredeyse simetrik bir sertlik grafiği görmemizi sağlamaktadır. 3 farklı numuneye yapılan sertlik testi sonucunda sinterlenmiş malzemelerde sertlik grafiği farklı bir şekli önümüze koymaktadır. Firar kenarından kaynak merkezine doğru gidildikçe azalmaya başlayan sertlik değeri merkeze 4mm kala en düşük değerini almaktadır. Bu seviyeden itibaren hücum kenarına doğru gidildikçe sertlikte sürekli bir artış görünmektedir.

Numunelerin makro görüntüleri incelendiğinde, sinterlenmiş malzemelerde kaynaklı birleştirmenin gerçekleşebilmesi için geleneksel yöntemlerle üretilmiş malzemelere oranlar kaynaklı birleştirmeler daha hızlı devirlerde ve daha düşük ilerleme hızlarında yapılmak zorundadır. Bu özellik toz partiküllü yapıya sahip olan sinterlenmiş malzemeye ekstra bir avantaj getirmektedir ve kaynaklı bölgenin daha fazla homojen karışmasına ve ısıl tesiri altındaki bölgenin de daha az olmasına olanak sağlamaktadır. Numunelerin makro görüntülerinden de (Şekil 3.15., Şekil 3.16., Şekil 3.17., Şekil 3.18.) anlaşılacağı gibi gözenekli yapıya sahip olan malzemeler birbirleri arasında daha iyi kaynaklanabilmekte ve mukavemet değerleri diğer malzemeler göre daha iyi olmaktadır.

Birleştirme prosedürlerinden biri olan sürtünme karıştırma kaynağı, gelişen teknoloji ürünleri olan hafif metaller, kompozit malzemeler ve sinterlenmiş malzemelere uygulanabilir bir yöntem olmakla birlikte gün geçtikçe daha çok araştırılan, bilinen ve uygulanan bir kaynak yöntemi olmakla birlikte sanayi ve ticari kullanımda göz ardı edilemeyen bir yöntem olacaktır.

# KAYNAKLAR


1- Avcı A.U. (1993), ***"Toz metalürjisi ders notları"***, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

2- Babayev Y., Karadeniz S. ve Memmedov A. (2005), ***"Fe-Cu karışımı toz malzemenin tribolojik özelliklerinin incelenmesi"***, 3. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, 16-17 Eylül, s. 127-130.

3- Bishop D.P. (1998). ***"Diffusion-based micro-alloying via reaction sintering"***, Ph.D. Thesis, Dalhousie University.

4- Buffa, G., Campanile, G., Fratini, L. ve Prisco, A. (2009), ***"Friction Stir Welding of Lap Joints: Influence of Process Parameters on The Metallurgical and Mechanical Properties"***, Materials Science and Engineering A Vol. 519, 19-26.

5- Çam, G. (2002), ***"Sürtünme karıstırma kaynagı ve uygulamaları. Denizli Malzeme Sempozyumu"*** Bildiriler Kitabı, 450-458 .

6- Çam, G. (2003), ***"Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler"***, TMMOB Makine Mühendisleri Odası "Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi", 47-62, KOCAELİ -.

7- Çam, G. (8–10 May 2002), ***"Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları"***, 9. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Pamukkale Üniversitesi, S. 450–458, 2002, DENİZLİ.

8- Dr.Ing. Staniek G., Dr.Ing. Hillger W. Ve Dr.Ing. Dalle Donne C. (2003), ***"Ultrasonic testing on friction stir welded aluminium alloys, Testing on friction stir welds"*** .

9- Federçenko İ.M. ve Pugina L.İ.,(1980). ***"Kompoziçionnıe speçennıe antifrikçionnıe materialı"***, Kiev: Nauk.

10- Höflich, W., EADS (Sept. 30, 2010), ***"Technology Licensing Initiative Webinar"***, www.technologylicencing.eads.net.

11- Kafalı, H., (2011) ***"Sürtünme Karıştırma Kaynağıyla Birleştirilmiş Al 6013 Alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin İncelenmesi"***, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü, Eskişehir.

12- Kurt, A., Boz, M., Özdemir, M. , (2004), ***"Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi"*** ,Gazi Üniv., Müh. Mim. Fak. Der. 19 (2), 191-197.

13- Külekçi, M.K., Şık, A. (2003), ***"Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhaların birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri"*** Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.3 :70–75, ISPARTA.

14- Lee, W.B., Jung, S.B. (2003), ***"The joint properties of copper by friction stir welding"***, Materials Letters, 58, (6), 1041-1046.

15- Messler, R.W., (1993) ***"Joining of advanced materials"***, Reed Publishing Inc., USA.

16- Mishra, R.S. ve Ma, Z.U. (2005), ***"Friction Stir Welding and Processing"***, Materials Science and Engineering R Vol. 50, 1-78.

17- Ordenko V.B. (1987) ***"Proizvodstvo i primeneniya izdeliy iz metalliçeskix poroikov"***, Kiev.

18- Özsoy, M., Kaluç, E. (2002), ***"Sürtünen eleman ile birlestirme kaynagının esasları"*** Mühendis ve Makine Dergisi 43, (513), 19-26.

19- Peel, M., Steuwer, A., M. Preuss and P. J. Withers, (2003). ***"Microstructure, mechanical properties and residual stresses as a function of welding speed in aluminium AA5083 friction stir welds"*** Acta Materialia, 51, 4791-4801.

20- Radomıselskiy İ.D. (1985), ***"Poroşkovıe konstrukçionnıe detali. Sovremennoe sostoyanıe, perespektnıe razvitiya",*** Poroşkovaya Metallurgiya, (10), s. 37-41.

21- Randall M.G., Editörler; Sarıtaş, S. Türker, M., Durlu, N., (2007), ***"Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri"***, p.p. 2-9, 143, 233-273, 279-296, TMMD, Ankara/Türkiye,.

22- Richter-Trummer, V. ve diğerleri, (2012), ***"Influence of the FSW Clamping Force on the Final Distortion and Residual Stress Field"***, Materials Science and Engineering A, Vol. Xxx.

23- Smith, W.F. (2001), Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (Çev. N. G. Kınıkoğlu), Literatür Yayıncılık, 855s.

*24*- Taban, E. ve Kaluç, E. (2005)., ***"Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Standart Gösterimleri,"*** MakineTek. P.178, İstanbul

25- Tempus, G. (May 18, 2001), ***"New Aluminium Alloys and Fuselage Structures in Aircraft Design"***, Wekstoffe Für Transport und Verkehr, Zurich, Switzerland.

26- Ünlü, B.S., Kurgan, N., Yılmaz, S.S. , (2009), ***" Toz Metal Çeliklerin Mikro Yapı ve Mekanik Özellikleri "***, Mühendis ve Makine, 50, 588: 11-19.

27- www.fswelding.com

28- Yavuz H., Çam G. (2001) ***"Yeni bir Kaynak Teknolojisi: Sürtünme Karıstırma Kaynagı"*** Endüstri ve Otomasyon, 51, 18-20.

29- Yurdakul, M., Özbay, O. ve İç, Y.T. (2002), ***"Havacılık alanında kullanılan alüminyum alaşımlarının seçimi,***" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 17, No: 2, 1-23.

# ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Bulgaristan'da doğdu. İlköğrenimi Çanakkale Gazi İlköğretim Okulunda, orta öğretimi Çanakkale İbrahim Bodur Lisesinde tamamladı. 2006-2008 yılları arasında Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın Meslek Yüksekokulunda ön lisans eğitimimi, 2008-2014 yılları arasında Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisansını tamamladıktan sonra 2015 yılında Trakya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

Orta öğretimden sonraki hayatı boyunca eğitimine devam ederken, okulunun bulunduğu illerde ders zamanları dışında kimi zaman yerel esnaf yanında, kimi zaman sanayi firmalarında part-time olarak çalıştı. 2014 yılında Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Uzman Analist olarak göreve başladı. Burada 4 yıl kadar çalıştıktan sonra görevinden ayrılarak demir çelik sanayinde işe başladı.

# BİLİMSEL FAALİYETLER

**Faydalı Modeller**

- Şaban AKTAŞ, Oğuzhan DOĞANLAR, Güner TEZCAN, Yücel KURTDERE, Tıbbi Atık Çöp Kutusu Ve Paketleme Cihazı. Yayın Tarihi: 2014/09/22, Ulusal yayın, Tescil Numarası: 2014 07383 Tescil Tarihi: 2015/06/22
- Şaban AKTAŞ, Oğuzhan DOĞANLAR, Güner TEZCAN, Yücel KURTDERE, Akıllı Rack. Yayın Tarihi: 2014/10/21, Ulusal yayın, Tescil Numarası: 2014 07338 Tescil Tarihi: 2015/06/22