

## KARŞIT EKSTRÜZYON İŞLEMİNİN AL ESASLI KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Veysel Erturun\*  
ERÜ/Sivil Havacılık Y.O., Kayseri

M. Baki Karamış†  
ERÜ/ Mühendislik, Kayseri

### ÖZET

*MMK biletlerin üretimlerinde de, karıştırmalı döküm (KD) yöntemi kullanılmıştır. Her iki yöntemle de ekstrüzyon sonrası tane değişimini gözleyebilmek ve seramik partiküllerin davranışını anlayabilmek için takviyeli ve takviyesiz biletler üretilmiştir. Matris malzemesi olarak 6063 serisi Al alaşımı ve takviye elemanı olarak SiCp tozları kullanılmıştır. Karşit ekstrüzyon sistemi ile 200 °C işlem sıcaklıkları ve 0-5 geçiş sayılarında tekrarlı olarak ekstrüze edilmiştir. Karşit ekstrüzyon sonrası numunelerin mikro yapı, SEM ve optik mikroskop çalışmaları ile karakterizasyon, sertlik ve yoğunluk değişimleri ile yorulma davranışı üzerine geçiş sayısı ve tane boyutunun etkileri araştırılmıştır. Sertlik değişiminde en etkin faktörün işlem sıcaklığı olduğu, geçiş sayısının ise önce arttırıcı daha sonraki geçişlerin ise azaltıcı etkide buldukları tespit edilmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Karıştırmalı döküm, yorulma, metal matrisli kompozit, karşit ekstrüzyon

### GİRİŞ

Metal Matrisli Kompozitler, metal matrisler içine seramik takviyeler ilave ederek ve güçlü bir şekilde birleştirilerek üretilirler. Bu birleştirme, hasara uğrayan ve çatlayabilen matriste tokluğu yükseltmeyi sağlarken, seramiğin dayanımının avantajından yararlanmak suretiyle üretilmektedirler. Takviyeler çatlak yollarını değiştirdiğinden, çatlağın ilerlemesi için daha yüksek güç gerekmekte ve malzeme daha dayanıklı olmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarına takviye elemanı katılmasının ana sebebi mukavemeti, rijitliği ve aşınma direncini yükseltmektir. Genellikle takviye elemanı olarak alümina, silisyum karbür, bor karbür, zirkonyum oksit ve silisyum nitrür gibi inorganik malzemeler kullanılır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak, matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır [Şahin, 2000; Erturun, 2012].

Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak silisyum karbür katılması her şeyden önce fiziksel özellikleri, kullanılabilirliği ve uygun maliyetinin bir arada olmasındandır. Al/SiC partikül takviyeli kompozitin en önemli özellikleri, takviye elemanının miktarının ayarlanması ile birleştirilmiş elemanların termal genleşme katsayısı belirlenebilmesi ve yük altında deformasyona karşı yüksek dirence sahip olmasıdır. Takviyenin az olması malzemeyi daha yüksek mukavemetli ve sürünme direnci yapar.

---

\* Dr., Uçak Göv. Mot. Böl., E-posta: erturun@erciyes.edu.tr

† Prof. Dr., Makine Müh. Böl., E-posta: karamisb@erciyes.edu.tr

Metal biçimlendirme işlemleri içinde en fazla plastik deformasyon ya malzeme yada takım hasarlanması ile limitlendiğinden dolayı, aşırı plastik deformasyon [Severe plastic deformation (SPD)] elde edilmesi zor bir iştir. Buna rağmen bu yöntemlerle üretilen metal folyolar ve mikro kablolar istenen formlar için yeterli değildir. Bu nedenle kesitlerdeki büyük değişimlerin dışında, SPD için uygun özel metal biçimlendirme işlemleri uygulanmalıdır. Bunlar ard arda takip eden temel SPD yöntemleri ile yapılabilir [Zrnfk, 2008].

K. Mueller ve S. Mueller AZ31 magnezyumun aşırı plastik deformasyonunu incelemişlerdir. Hafif malzemelerin otomobil ve uzay endüstrisinde kullanımı önemli olmasına rağmen, ekstrüde edilmiş magnezyum profiller seri üretim otomobillerde kullanılmamaktadır. Bunun başlıca sebebi magnezyum profillerin basma yükü altındaki indüklenmiş akma mukavemeti çekme yükü altındakinden daha düşüktür. Bu etkiye ekstrüzyon işlemi görmüş doku bileşimi sebep olmaktadır. Bu yüzden, ekstrüzyon işleminin geliştirilmesi ile bu sorun ortadan kaldırılabılır. Bu çalışmada uygulanan yükler için mekanik özellikler optimize edilmiştir [Mueller, 2007].

Chawla ve arkadaşları [19], 5 µm'lik sabit bir partikül boyutunda AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetine partikül hacim oranının etkisini incelemişlerdir. Hacim oranın artırılması ile birlikte maksimum akma ve çekme mukavemetlerinde artış elde etmişler ve senekliğinde ise azalma gözlemlenmişlerdir. Üretim yöntemiyle ilgili intermetalik kalıntı formundaki kusurlar veya partikül kümeleşmeleri de matris mikro yapısının bir parçasıdır ve özellikle TM ile üretilen malzemelerin yorulma davranışında önemli bir rol oynar. Stres yoğunlaştırıcı etki oluşturan bu kusurlar, malzemedeki bölgesel gerilme yoğunluğunu artırır ve çatlak oluşum etkisini kolaylaştırır. Yorulma esnasında çatlak oluşumunun, tipik olarak numunenin yüzeyinde bulunan bu kusurlarla meydana geldiği görülmüştür [Chawla, 2002; Nair, 2005].

Mazahery ve Ostadshabani, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapmışlardır. Hacimce % 0.75, 1.5, 2.5, 3.5 ve 5 oranındaki alüminyum oksit nano partiküllerini A356 alüminyum içinde mekanik karıştırıcı ile karıştırılarak, dokum işlemi 800-900 °C de gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikro yapı karakterizasyonu sonucunda, takviye elemanlarında düzgün dağılım, alüminyum matriste tane incilmesi ve minimum porozite gözlemlenmiştir. Mekanik özellikler göstermiştir ki nano partiküllerin varlığı basma ve çekme gerilmelerini her iki sıcaklıkta da belirgin olarak artırmıştır [Mazahery ve Ostadshabani, 2011].

Eşit kanal acılı presleme işlemi(ECAP) metodunun yüksek basınç içermemesi makine ve kullanılan aletler için avantajlıdır. İşlem gevrek malzemelere uyguladığı zaman bu dezavantaja dönebilir. Hatta sünek malzemelerde hasar oluşumundan kaçınmak için biraz daha yüksek basınç gerekli olabilir ve sünekliğide büyük ölçüde düşürebilir. Sıcaklık yeterince yüksek olursa düşük basınçlarda kırılmalan malzemeleri işlemek mümkün olabilir. Yinede bu durum uygun olmayan akış ve kırılma sebebiyle malzeme davranışlarını değiştirebilir [Zrnfk, Dobatkin, ve Mamuzic, 2008].

## YÖNTEM

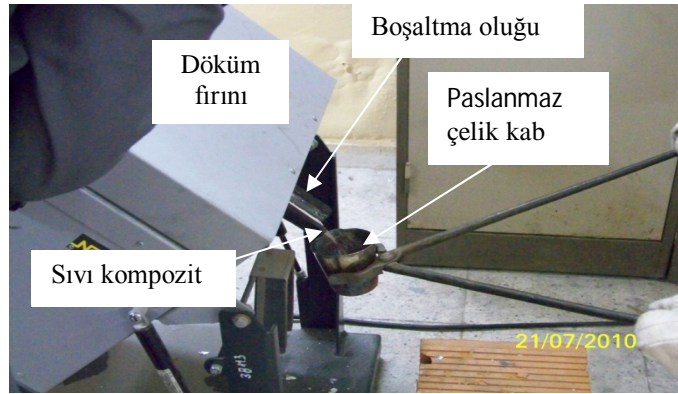
### Billetlerin Hazırlanması

MMK billetlerin üretimlerinde de, karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Ekstrüzyon sonrası tane değişimini gözleyebilmek ve seramik partiküllerin davranışını anlayabilmek için % 5 hacim oranında takviye içeren takviyeli ve takviyesiz billetler üretilmiştir. AA 6063 sarf malzemelerin ergitilmesi suretiyle karıştırmalı döküm yöntemi ile takviyesiz ve %5 SiC (20µm) takviyeli billetlerde imal edilmiştir.

MMK billetlerin karıştırmalı döküm ile üretilmesi; ergitme, karıştırma ve döküm aşamalarından oluşmaktadır. İngot çubuk olarak temin edilen 6063 Al matris alaşımı, elektrik

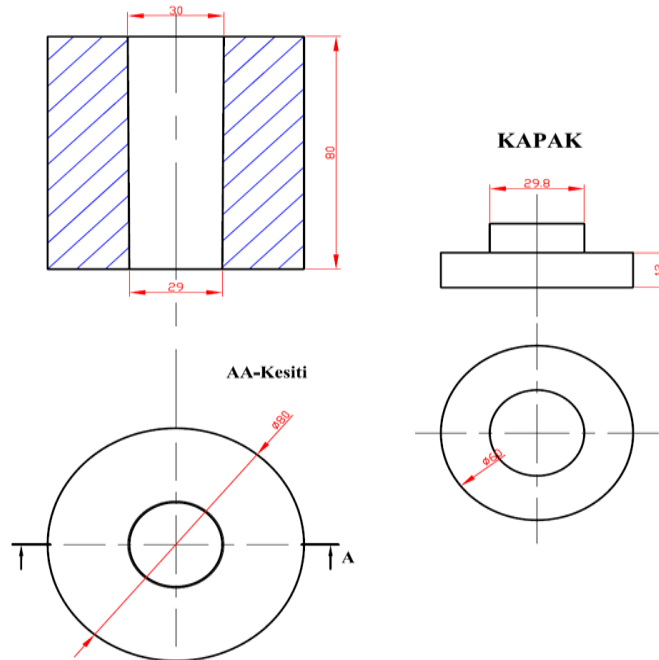
direnç ısıtmalı bir fırın içerisinde yerleştirilen grafit potada eritilmiş ve eriyik sıcaklığı 850 °C'ye çıkarılmıştır. SiC tozları eriyik üzerine metal huni ile ilave edilirken, sıvı metal içerisine daldırılan karıştırıcı vasıtasıyla SiC parçacıklarının matris alaşımı içerisine düzgün dağılması sağlanmıştır. Karıştırmalı döküm yöntemiyle takviyesiz alüminyum ve %5, %10, %20 hacim oranlarında 20 µm SiC takviyeli kompozit ekstrüzyon biletleri üretilmiştir.

Seramik partiküller ilave edilip karıştırma işlemi bittikten sonra sıvı kompozit paslanmaz çelik kaba alınıp hazırlanan bilet metal kalıbına dökülmüştür (Şekil 1). Dökümden sonra biletler suda soğutulularak kalıptan çıkarılmıştır. Döküm kalıbının üst kısmı 30 ve alt kısmı 29 mm çapında yapılarak konikleştirilmiş ve biletlerin kolayca çıkması sağlanmıştır.



Şekil 1: Sıvı kompozitin paslanmaz çelik kaba alınması

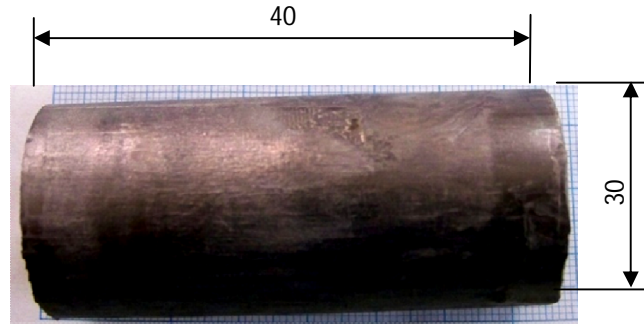
Döküm kalıbı ve kapağının şematik gösterilimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Döküm kovanı ve kapağı

Döküm yöntemiyle üretilen takviyesiz ve %5 hacim oranlı 20 µm SiC takviyeli kompozit biletler karşıt ekstrüzyonla ekstrüze edilmişlerdir. %10, %20 hacim oranlarındaki kompozitlerin karşıt ekstrüzyonlarından verim alınamamıştır. Bu yüzden çalışmalar %5 hacim oranındaki kompozitlerle yapılmıştır.

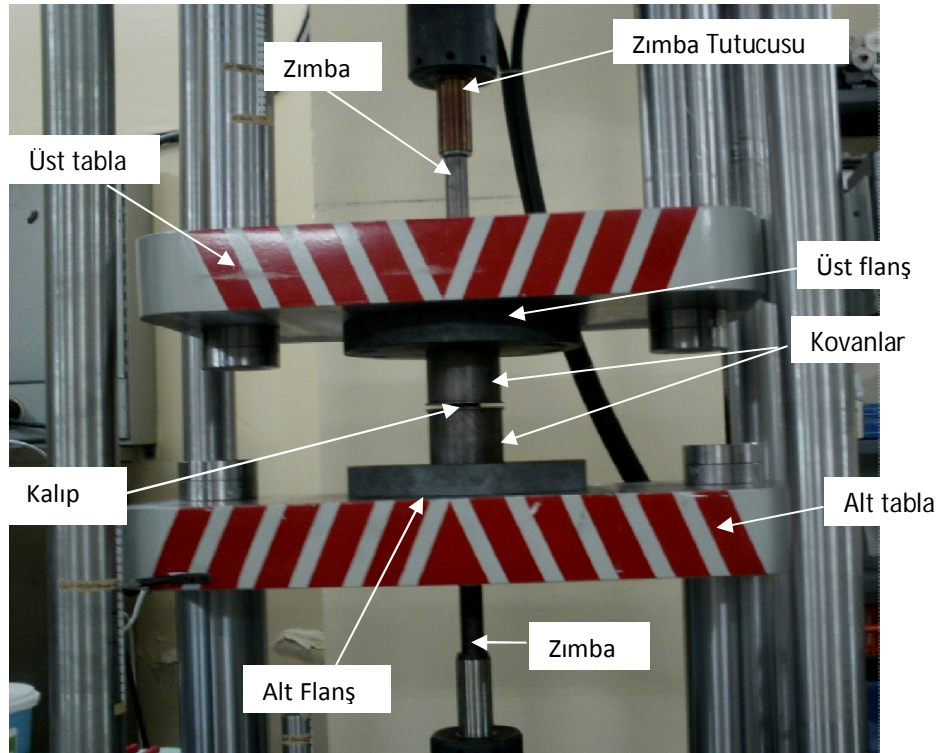
Karıştırmalı döküm yöntemiyle imal edilen billet boyutları Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3: Üretilmiş billet resmi ve boyutları

### Karşit Ekstrüzyon İşlemi

Karıştırmalı döküm yöntemi ile elde edilen billetler karşit ekstrüzyon işlemi ile aşırı deformasyona tabi tutulmuşlardır. Karşit ekstrüzyon işlemi için imal edilen kalıplar, 150 tonluk karşit ekstrüzyon presine Şekil 4'de görüldüğü gibi monte edilmiştir. İlk önce numunelerin kalıplara yapışmaması için zimbalar ve kovanlar grafitle spreylenebilir. Numune alt kovana yerleştirildikten sonra 4:1 ekstrüzyon oranındaki kalıp alt kovana yerleştirilir. Alt tabla yukarı hareket ettirilerek kalıp tablalar arasına sıkıştırılır ve alt tabla kilitlenir. Her iki kovana üzerinde bulunan ısıtıcıyla kovanlar istenilen ekstrüzyon sıcaklığına kadar ısıtılır. Alt zimba hareket ettirilip kovani merkezlemesi sağlanır ve billete temas edene kadar hareket ettirilir. Üst zimba da aşağıya doğru hareket ettirilip kovani merkezlemesi sağlanarak kovanın alt noktasına kadar hareket ettirilir. Alt zimba yukarı hareket ettirilerek basınç yükseldiğinde üst zimba yukarı doğru çekilirken, aynı zamanda alt zimbada yukarı doğru hareket etmektedir. Alt zimba üstte maksimum noktaya gelince işlem durdurulur. Sonra bu işlem üstten alta doru tekrarlanır. Kaç geçiş yapılması isteniyorsa işlem bir yukarı bir aşağı tekrarlanarak karşit ekstrüzyon işlemi tamamlanır.

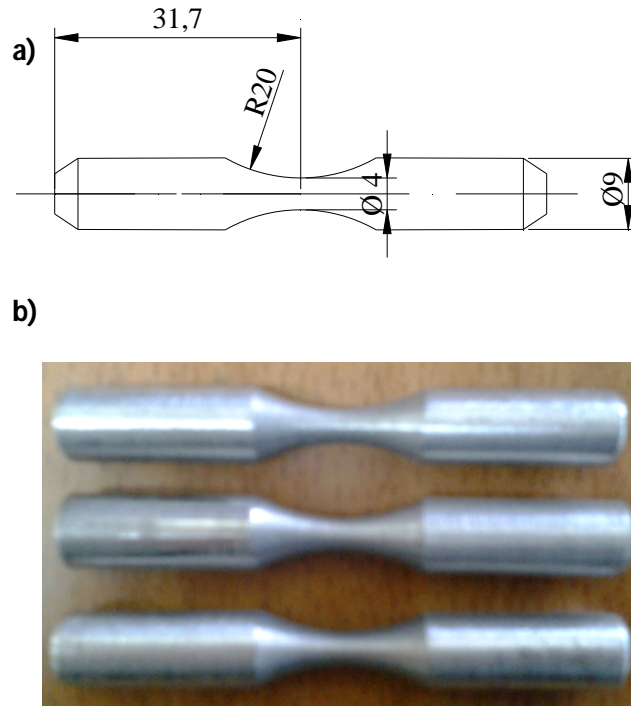


Şekil 4: Karşit ekstrüzyon presini, ekipmanları ve kalıp sistemi

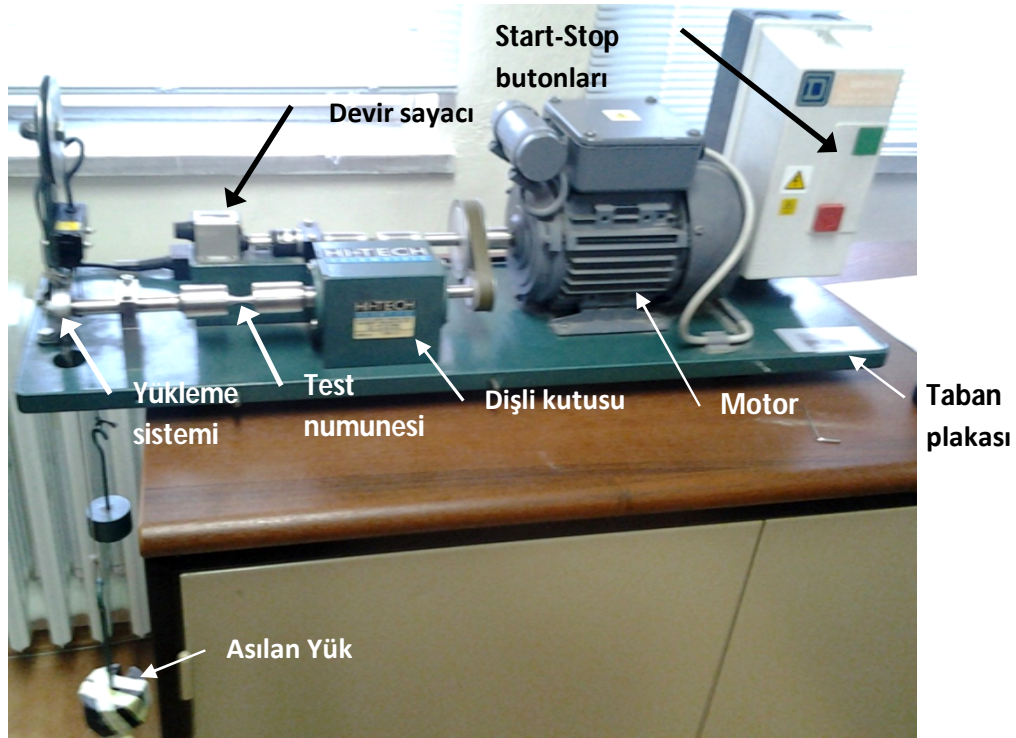
## UYGULAMALAR

### Yorulma Testleri

Yorulma deneyi, HITECH marka eğerek dönme esasına göre çalışan, wöhler test numuneleri için tasarlanmış standard numunelerdeki (kritik kesit çapı 4 mm) tam değişken gerilmenin sıfır olduğu yorulma deney cihazında yapılmıştır. Yorulma deney cihazı 6000 dev/dak ile dönmektedir, yani frekans 100 dür. Şekil 5 de standart deney numunesi şekil ve boyutları görülmektedir. Deney numunelerinde, uygulanan yükün meydana getirdiği gerilmeler dışında oluşabilecek gerilmeleri önleyecek şekilde test cihazına yerleştirilmiş ve salgı kontrolleri komparatörle yapılmıştır. Numunelere  $120 \text{ N/mm}^2$  gerilme (6N sabit yük altında; numune çapına ve yükün eğmeye çalıştığı kesite olan uzaklığına göre gerilme  $120 \text{ N/mm}^2$ ) uygulanmıştır. Gerilme  $120 \text{ N/mm}^2$ 'nin üstünde ve altında alınarak da deneyler yapılmış, ancak bu gerilmenin üstündeki değerlerde çevrim sayısı çok düşük çıkmış, bu gerilmenin altındaki değerlerde numuneler kopmamıştır. Bu verilere göre geçiş sayılarının etkisinin görülebileceği en uygun gerilme  $120 \text{ N/mm}^2$  olarak alınmıştır. Deney cihazlarında çevrim sayısını kaydeden sayaç bulunmaktadır. Sayaç, numune kırıldığı anda otomatik olarak durabilecek özelliğe sahiptir (Şekil 6).



Şekil 5: Yorulma test numuneleri a) Boyutları b) Fotoğrafi

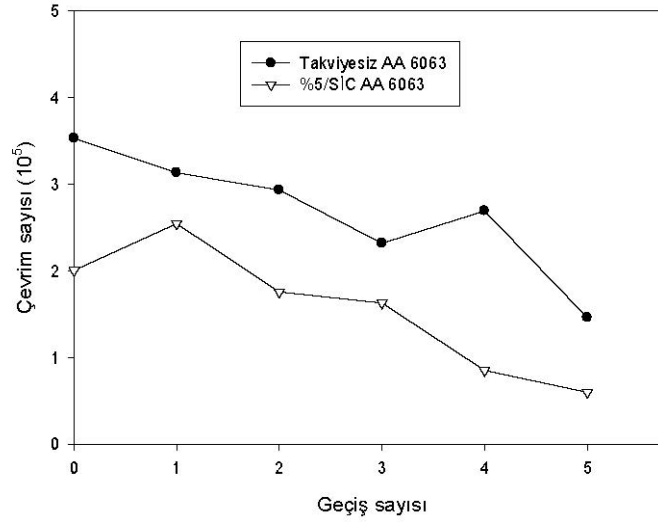


Şekil 6: Yorulma test düzeneği

Numunelerin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri Tablo 1’de ve Şekil 7’de verilmiştir. Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre daha yüksektir. Kırılma çevrim sayısı hem takviyeli hem de takviyesiz numunelerde geçiş sayısıyla azalmıştır. En düşük çevrim sayıları 5 geçişli numunelerde meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, diğer numunelere göre, aynı numunelerin sertlik değerleri de en düşük ölçülmüştür. Yani tüm numuneler için sertlik değeri en düşük olan numunelerin çevrim sayıları da en az olmuştur. 5 geçişli numunelerin kırılma enerji değerlerinin de en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

Tablo 1: Yorulma numunelerinin geçiş sayısına göre kırılma çevrim sayısı değişimleri

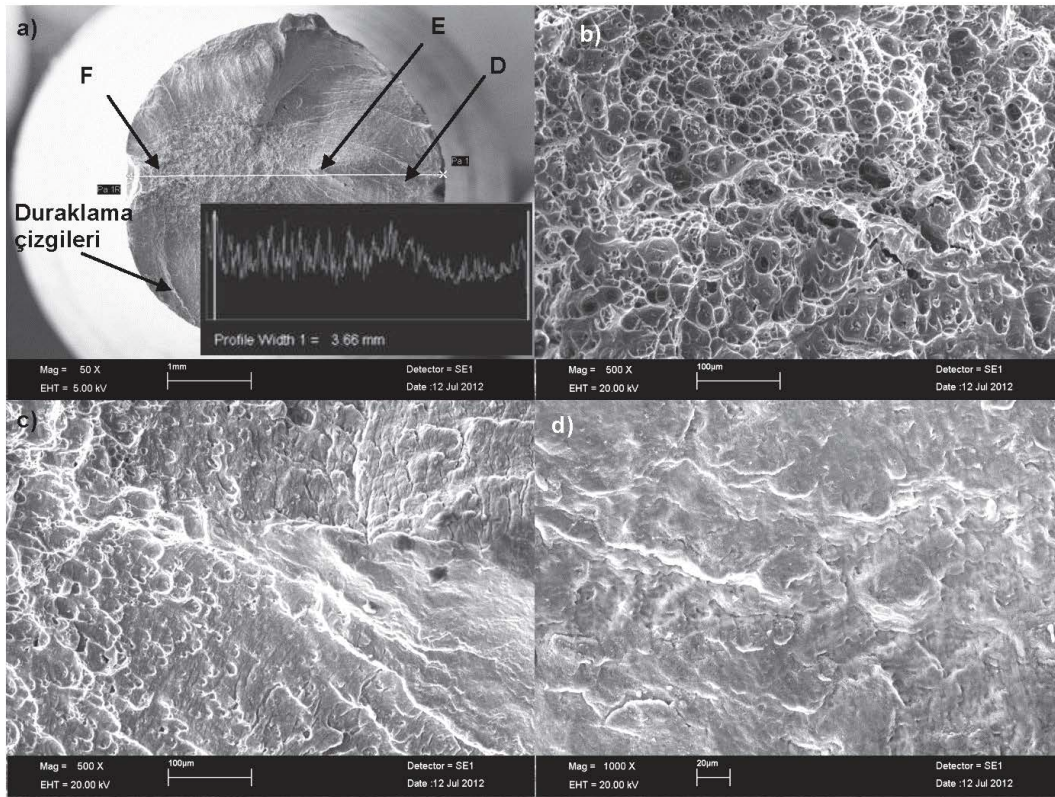
KE. Geçiş Sayısı	Kırılma Çevrim Sayısı	
	Takviyesiz AA6063	AA6063/SiC20µm/5
0	353.100	200.600
1	313.500	254.700
2	293.400	175.800
3	231.900	163.100
4	269.300	85.200
5	146.100	59.900



Şekil 7: Yorulma numunelerinin geçiş sayısı ile oluşan çevrim sayıları

Takviyesiz 2 geçişli numunelerin SEM görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Yorulma yüzeylerinde yorulma çatlakları başlama ve ilerleme kısımları net olarak görülmektedir.

Yüzeyde, çatlakların başladığı yorulma odağı, onu çevreleyen aynı merkezli durak çizgileri ve bunların yanında taneli bir bölge görülür. Çatlak zamanla yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirine sürtünmesi sonucu yorulma kırılmasının ilk başladığı yüzey parlak görünmektedir. Çatlak ilerleyip geri kalan dolu kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelmekte ve kırılma yüzeyinde taneli izlenmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Takviyesiz 2 geçişli numune SEM görüntüsü a) Yorulma yüzeyi ve pürüzlülüğü b) Yorulma yüzeyi F bölgesi detayı c) Yorulma yüzeyi E bölgesi detayı d) Yorulma yüzeyi D bölgesi detayı.

Yorulma hasarının ilk başladığı bölge Şekil 8-d' de görüldüğü gibi plastik şekil değişim izleri içermektedir. Çatlağın başladığı bölgede yüzeyler birbirleri ile sürtünerek yüzeyleri plastik deformasyona uğratmaktadır. Bu bölgede sürtünme ve aşınma ile oluşan düzgün ve parlak yüzeyler mevcuttur. Çatlağın ilerlemesi ile bu parlak yüzeyler arasında plastik deformasyonla oluşmuş akma bölgeleri görülmektedir. Akmalar parlak yüzeyler arasında çizgi şeklinde meydana gelmiştir. Yorulma çatlağının tüm kesite yayılması ile oluşan şekil 8-a,b' de görülen bölgelerde, yüzeylerin birbirine sürtünmeksizin kopmasından dolayı bu yüzeyler kaba ve pürüzlü olmuştur. Ayrıca zorlamaların durdurulduğu aralıklar nedeniyle, yüzeyde duraklama çizgileri oluşmuştur.

## SONUÇ

Takviyesiz numunelerin çevrim sayıları takviyeli numunelere göre daha yüksektir. Kırılma çevrim sayısı hem takviyeli hem de takviyesiz numunelerde geçiş sayısı azalmıştır. En düşük çevrim sayıları 5 geçişli numunelerde meydana gelmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi, diğer numunelere göre, aynı numunelerin sertlik değerleri de en düşük ölçülmüştür. Yani tüm numuneler için sertlik değeri en az olan numunelerin çevrim sayıları da en az olmuştur.

İşlem sonucu Tüm numunelerin gerçek yoğunlukları teorik yoğunluk değerlerine oldukça yaklaşmaktadır. Dolayısıyla deformasyon sonucu malzeme içerisinde gözenekliliğin en az seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

Geçiş Sayısının artması ile seramik partiküler matris içinde homejen olarak dağılmakta ve kırılarak daha küçük boyutlara inmektedir.

Tüm numuneler için sertlik değeri en düşük olan numunelerin çevrim sayıları da en az olmuştur. 5 geçişli numunelerin kırılma enerji değerlerinin de en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

TÜBİTAK'a 108M562'nolu ve Erciyes Üniversitesine FBD-09-668'nolu proje ile bu çalışmanın oluşumunda ve devamında vermiş olduğu destekler için teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

Chawla, N. ve Williams, J., and Saha, R., 2002. Mechanical behavior and microstructure characterization of sinter-forged SiC particle reinforced aluminum matrix composites, *Journal of Light Metals*, 2:215 – 227.

Erturun V., 2012. Karşıt ekstrüzyon işleminin al esaslı seramik takviyeli kompozitlerin içyapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi FB enstitüsü.

Mazaheryi, A. ve Ostadshabani, M., 2011. Investigation on mechanical properties of nano- $Al_2O_3$  reinforced aluminum matrix composites, *Journal of Composite Materials*, 24:2579–2586.

Mueller K. ve Mueller S., 2007. Severe plastic deformation of the magnesium alloy AZ31, *Journal of Materials Processing Technology*, 187–188, 775–779.

Nair, F., 2005. Al SiC Kompozitlerin Ekstrüzyonunda Kalıp Sürtünme Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi FB enstitüsü.

Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.

Zrnfk J., 2008. Processing of Metals By Severe Plastic Deformation (Spd) – Structure And Mechanical Properties Respond, *Metalurgija*, 47, 211-216.



Zrnik, J., Dobatkin, S.V., ve Mamuzic, I., 2008. Processing of Metals By Severe Plastic Deformation (Spd) Structure, 3; 211-216