T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Al/Al-B_4C TAKVİYELİ SANDVİÇ KOMPOZİT ÜRETİMİ ve DARBE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Hazırlayan
Cihan KARATEPE

Danışman
Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ

Yüksek Lisans Tezi

Şubat 2023
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Al/Al-B_4C TAKVİYELİ SANDVİÇ KOMPOZİT ÜRETİMİ ve DARBE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Cihan KARATEPE

Danışman
Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ

Şubat 2023
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Cihan KARATEPE

İmza

“Al/Al-B_4C Takviyeli Sandviç Kompozit Üretimi ve Darbe Davranışının İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Cihan KARATEPE	Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ
İmza	İmza

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

İmza

TEŞEKKÜR

Bana lisans eğitimimden bu yana her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan ve emeklerinin karşılığını asla ödeyemeyeceğim danışman hocalarım sayın Prof. Dr. Mehmet Baki Karamış ve sayın Dr. Abdullah Göçer'e, desteklerini her zaman hissettiğim sayın Erkan Yılmaz hocama, sayın Dr. Ömer Barışkan Yasan hocama, sayın Doç. Dr. Murat Aydın hocama ve hayatım boyunca bana her konuda destek olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Cihan KARATEPE

Şubat 2023, KAYSERİ

Al/Al-B_4C TAKVİYELİ SANDVİÇ KOMPOZİT ÜRETİMİ ve DARBE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Cihan KARATEPE

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2023
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ

ÖZET

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler kompozit malzemelerin farklı uygulamalarından biri olup metal/metal, metal/seramik veya metal/metal-seramik gibi malzemelerin farklı kombinasyon veya oranlarda bir araya getirilmesiyle elde edilirler. Mekanik özellikler malzeme kesitindeki derecelendirmeye bağlı olarak değişim gösterirler. Bu çalışmada 5xxx serisi ve 6xxx serisi alüminyum alaşımları kullanılarak üç katmanlı bir kompozit malzeme üretilmiştir. Kompozit malzemenin alt katmanı Al 5005, orta katmanı Al 6061/B_4C metal matrisli kompozit, üst katmanı ise Al 6061'den oluşmaktadır. Malzemeler, iki plaka arasına Al6061/B_4C tozların serilmesi ve 80 MPa basınç altında 600 ˚C derece sıcaklıkta 1 saat sinterlenmesi ile üretilmiştir. Daha sonra malzemelere 530 ˚C sıcaklıkta su verilmiş ve 200 ˚C sıcaklıkta 1 saat suni yaşlandırma uygulanmıştır. Isıl işlemle birlikte darbe yüklerine maruz kalan malzemelerde tokluk değeri düşük malzemelerin kırılma enerjileri de düşmektedir. Üretilen bu malzemede kullanılan 5xxx serisi katman ısıl işlem ile mekanik özellikleri iyileştirilebilir malzeme olmadığı için ısıl işlem sonrası tokluk değerini muhafaza etmiştir. Dolayısıyla malzeme, dikey kesitinde sertliğin düşükten yükseğe değiştiği FDM bir malzemeye dönüşmüştür. Malzemelere uygulanan darbe testlerine göre FDM malzemeler ham Al 6061 malzemeye göre kırılma enerjilerini yüksek oranda arttırmıştır. Bazı test numunelerinin katmanları ayrılma göstermiş, bu da ısıl işlem sebepli ile arayüzey bağlarının zayıfladığını göstermiştir. Orta katmandaki B_4C oranının artması ile de maksimum temas kuvveti artarken kırılma enerjisi düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: FDM plaka, sinterleme, darbe testi, yaşlandırma, bor karbür

PRODUCTION OF Al/Al-B_4C REINFORCED SANDWICH COMPOSITE and INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOR

Cihan KARATEPE

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, February 2023
Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ

ABSTRACT

Functionally graded materials are one of the different applications of composite materials and they are obtained by combining materials such as metal/metal, metal/ceramic, or metal/metal-ceramic in different combinations or ratios. The mechanical properties of the material, vary depending on the gradation in the material cross-section. In this study, a three-layer laminated composite material was produced with Al 5xxx and Al 6xxx series aluminum alloys. The bottom layer of the composite material is an Al 5005 plate, the middle layer is Al 6061/B4C mixed metal composite and the top layer is Al 6061 plate and layer thicknesses are 2, 2, and 4 mm, respectively. The materials were produced by laying Al 6061 and Al 6061/B_4C mixed powders between two plates and sintering for 1 hour at 600 °C under 80 MPa pressure. Then, the materials were quenched at 530 °C and artificially aged at 200 °C for 1 hour. As heat treatment improves the mechanical properties, it also decreases the toughness values of the material. The fracture energies of materials with low toughness values also decrease in materials exposed to impact loads. The Al 5xxx series layer that has been used in this study, retained its toughness value after heat treatment since it is not a material that mechanical properties can be improved by heat treatment. However, the powder layer gained a lower hardness value compared to the Al 6061 plate. Therefore, the materials have evolved into an FGM material which has increased their fracture energies significantly compared to the raw Al 6061 material. But, some test samples showed separation between layers, indicating that the layer bonds weakened due to the heat treatment. With the increase of the B_4C ratio in the middle layer, while the maximum contact force increased, the fracture energy decreased.

Keywords: FGM plate, sintering, impact test, aging treatment boron carbide (B_4C)

İÇİNDEKİLER

Al/Al-B_4C TAKVİYELİ SANDVİÇ KOMPOZİT ÜRETİMİ ve DARBE DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK ii
KABUL VE ONAY ii
TEŞEKKÜR ii
ÖZET ii
ABSTRACT ii
İÇİNDEKİLER ii
KISALTMALAR ii
TABLOLAR LİSTESİ ii
ŞEKİLLER LİSTESİ ii
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Malzeme Seçimi 18
2.2. Üretim Yöntemi 21
2.3. Sertleştirme Mekanizması 25
2.3.1. Sertleştirme Mekanizması Adımları 25
2.4. Numune Parça Üretimi 27

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Giriş 30
3.2 Mekanik Karakterizasyon 30
3.2.1. Darbe Testleri 30
3.2.1.2 Darbe Testi Kuvvet-Zaman Çevrim Grafikleri 32
3.2.1.4. Darbe Testi Kuvvet-Yer Değiştirme Çevrim Grafikleri 61
3.2.1.4. Darbe Test Görüntüleri 92
3.2.2. Sertlik Testleri 101
3.2.2.1. Sertlik Grafikleri 102
3.2.3. Makro Görüntüler 103
KAYNAKÇA 107
ÖZGEÇMİŞ 110

KISALTMALAR

FDM :	Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzeme
HRA:	Rockwell A Sertliği
HV:	Vickers Sertliği
SEM:	Taramalı Elektron Mikroskobu
Al 1050:	Alüminyum 1050 alaşımı
Al 2024:	Alüminyum 2024 alaşımı
Al 2124:	Alüminyum 2124 alaşımı
Al 3003:	Alüminyum 3003 alaşımı
Al 5005:	Alüminyum 5005 alaşımı
Al 5083:	Alüminyum 5083 alaşımı
Al 6061:	Alüminyum 6061 alaşımı
Al 6063:	Alüminyum 6063 alaşımı
B_4C:	Bor karbür
SiC:	Silisyum karbür
Al_4C_3:	Alüminyum karbür
TiC:	Titanyum karbür
WC:	Tungsten karbür
BN:	Bor nitrür
Al_2O_3:	Alüminyum oksit
TiO_2:	Titanyum dioksit
K_2TiF_6:	Potasyum hekzafloro titanat
MPa:	Megapaskal
°C:	Santigrad derece

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Al 6061 ve Al 5005 alaşımlarının kimyasal bileşim tablosu……18
Tablo 2.2. Al 6061 ve Al 5005 alaşımlarının mekanik özellik tablosu……..19
Tablo 2.3. Bor karbür özellik tablosu……...20
Tablo 2.4. Sıcak takım iş çeliği kimyasal bileşimi……...22
Tablo 2.5. Numune İsimlendirme Tablosu……...28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Toz metalurjisi ile üretim metodu 3
Şekil 1.2. Basınçlı tübüler fırında üretim yönteminin şematik gösterimi 6
Şekil 1.3. Kademelendirilmiş-sandviç kompozit yapının şematik gösterimi..... 9
Şekil 1.4. Kademelendirilmiş kompozit malzemenin şematik gösterimi..... 10
Şekil 1.5. Fonksiyonel kademelendirilmiş numunenin şematik gösterimi 11
Şekil 1.6. Karıştırmalı döküm tekniği yöntemiyle üretilen numuneler 12
Şekil 1.7. Tekrarlı haddeleme adımlarının şematik gösterimi..... 14
Şekil 2.1. Metal matris içerisindeki bor karbürün SEM altındaki görüntüsü..... 21
Şekil 2.2. Toz metalurjisi ile üretim yöntemi..... 21
Şekil 2.3. a) Yüzey parlatma işlemi, b) Ultrasonik temizleme cihazıyla levha temizliği22
Şekil 2.4. Toz metalürjisi yönteminde numune üretimi için kullanılan sıcak pres 23
Şekil 2.5. Toz dağıtma aparatı ile Alüminyum levha üzerine tozların uniform yayılması 24
Şekil 2.6. Sıcak takım iş çeliği kalıp içerisine yerleştirilmiş numunelerin şematik görüntüsü..... 24
Şekil 2.7. Kompozit malzemelerin üretim sıcaklık-zaman çevrim grafiği 25
Şekil 2.8. Kompozit malzemeye uygulanan ısıl işlem sıcaklık-zaman çevrim grafiği... 26
Şekil 2.9. Isıl işlem için sabitlenen kompozit plakalar 27
Şekil 2.10. Numunelerin testereyle kesilmesi 27
Şekil 2.11. 1 numaralı 5-%100Al6-6 kodlu numune kesit görseli 29
Şekil 2.12. Üretim şematiği..... 29
Şekil 3.1. a) Darbe test cihazı tertibatı ve yüksek hızlı kamera, b) Darbe test cihazı 31
Şekil 3.2. 1 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 32
Şekil 3.3. 2 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 33
Şekil 3.4. 3 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 34
Şekil 3.5. 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 35

Şekil 3.6. 5 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 36
Şekil 3.7. 6 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 37
Şekil 3.8. 7 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 38
Şekil 3.9. 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 39
Şekil 3.10. 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli, c) Y2 yönünden 30J, 50J ve 70J enerji değerleriyle 40
Şekil 3.11. 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 41
Şekil 3.12. 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 42
Şekil 3.13. 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 43
Şekil 3.14. 14 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri 44
Şekil 3.15. 13 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri 44
Şekil 3.16. 15 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 45
Şekil 3.17. 16 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 46
Şekil 3.18. 1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden 47
Şekil 3.19. 1, 2, 3 ve 4 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden 48
Şekil 3.20. 5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden 49
Şekil 3.21. 5, 6, 7 ve 8 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden 50
Şekil 3.22. 9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden 51

Şekil 3.23. 9, 10, 11 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden 52
Şekil 3.24. 1, 5 ve 9 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 53
Şekil 3.25. 1, 5 ve 9 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 54
Şekil 3.26. 2, 6 ve 10 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 55
Şekil 3.27. 2, 6 ve 10 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 56
Şekil 3.28. 3, 7 ve 11 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 57
Şekil 3.29. 3, 7 ve 11 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 58
Şekil 3.30. 4, 8 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 59
Şekil 3.31. 4, 8 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 60
Şekil 3.32. 1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden 61
Şekil 3.33. 1, 2, 3 ve 4 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden 62
Şekil 3.34. 5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden 63
Şekil 3.35. 5, 6, 7 ve 8 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden 64
Şekil 3.36. 9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden 65
Şekil 3.37. 9, 10, 11 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden 66
Şekil 3.38. 1, 5 ve 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 67

Şekil 3.39. 1, 5 ve 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 68
Şekil 3.40. 2, 6 ve 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 69
Şekil 3.41. 2, 6 ve 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 70
Şekil 3.42. 3, 7 ve 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 71
Şekil 3.43. 3, 7 ve 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 72
Şekil 3.44. 4, 8 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli 73
Şekil 3.45. 4, 8 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli 74
Şekil 3.46. 1 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 75
Şekil 3.47. 2 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 76
Şekil 3.48. 3 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 77
Şekil 3.49. 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 78
Şekil 3.50. 5 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 79
Şekil 3.51. 6 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 80
Şekil 3.52. 7 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 81
Şekil 3.53. 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 82
Şekil 3.54. 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 83

Şekil 3.55. 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 84
Şekil 3.56. 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 85
Şekil 3.57. 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 86
Şekil 3.59. 13 numaralı kompozitin kuvvet-yer değiştirme grafikleri..... 87
Şekil 3.58. 14 numaralı kompozitin kuvvet-yer değiştirme grafikleri..... 87
Şekil 3.60. 15 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 88
Şekil 3.61. 16 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli 89
Şekil 3.62. a) Maksimum darbe kuvveti grafiği, b) Maksimum absorbe edilen enerji grafiği 90
Şekil 3.63. 1 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 92
Şekil 3.64. 2 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 92
Şekil 3.65. 3 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 93
Şekil 3.66. 4 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 93
Şekil 3.67. 5 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 94
Şekil 3.68. 6 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 94

Şekil 3.69. 7 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 95
Şekil 3.70. 8 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 95
Şekil 3.71. 9 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli, e) Y2 yönünden 30 J darbe enerjisi, f) Y2 yönünden 70 J darbe enerjisi..... 96
Şekil 3.72. 10 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 97
Şekil 3.73. 11 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 97
Şekil 3.74. 12 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 98
Şekil 3.75. 13 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 98
Şekil 3.76. 15 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 99
Şekil 3.77. 16 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli 99
Şekil 3.78. Mikrosertlik ölçüm cihazı..... 101
Şekil 3.79. 1-4 numaralı numunelerin sertlik grafikleri, a) Isıl işlemsiz, b) Isıl işlemli102
Şekil 3.80. 1-16 numaralı numunelerin makro görüntüleri..... 103
Şekil 3.81. a) Isıl işlem sonrası makro ayrılma görüntüsü, b) Isıl işlem sonrası mikro ayrılma görüntüsü 104
Şekil 3.82. Isıl işlemsiz malzeme arayüzey mikro görüntüsü 104

GİRİŞ

Bir maddeyi oluşturan doğal veya yapay maddelere malzeme adı verilir. Yüzyıllar öncesinde insanlar taş, kil, tahta ve deri gibi doğada bulunan ve kullanmak için herhangi bir işleme ihtiyaç duyulmayan malzemeleri kullanabiliyordu. Zaman geçtikçe bu malzemelere kıyasla daha iyi özelliklere sahip bazı metalleri keşfetmiş ve ihtiyaçlarına göre işleyerek kullanmışlardır. Fakat çağlar geçtikçe bu malzemeler değişen ve gelişen ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmiştir. Araştırmacılar bu gelişen ihtiyaçlara cevap verebilmek için yüksek teknoloji malzemeler üzerinde çalışarak monolitik malzemelerle (düşük yoğunluklu, yüksek mukavemete sahip, rijit, aşınma ve darbe dayanımı yüksek) elde edilemeyecek özelliklere sahip alternatifleri incelemiş ve bu malzeme özellikleri kombinasyonlarına kompozit malzemelerle sağlamışlardır.

Kompozit malzemeler ilk fazına matris adı verilen, ikinci fazına ise takviye adı verilen ve en az iki farklı fazın bir araya getirilerek elde edildiği malzeme grubudur. Takviye fazı matris içerisinde dağılır ve süreklilik sağlar. Birçok kompozit, rijitlik, tokluk ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi mekanik özelliklerin kombinasyonlarını geliştirmek üzere üretilirler ve bu özellikler kombinasyonu matris ve takviye malzemelerinin tür ve oranlarına göre değişir.

Bu tez çalışmasında hibrit seramik kompozit plaka üretilebilmesi için metal matrisli kompozitlerde en çok matris malzemesi olarak kullanılan ve düşük yoğunluk avantajı sunan Al 6061, Al 5005 malzemeleri ve takviye malzemesi olarak yüksek mukavemet avantajından dolayı B_4C tercih edilmiştir. Üretim adımında toz metalurjisi tekniğinden faydalanılmış olup farklı oranlarda ve kombinasyonlarda matris ve takviye malzemeleriyle numuneler çeşitlendirilmiştir. Üretilen numunelerin bir kısmı T6 ısıl işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen malzemenin mekanik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

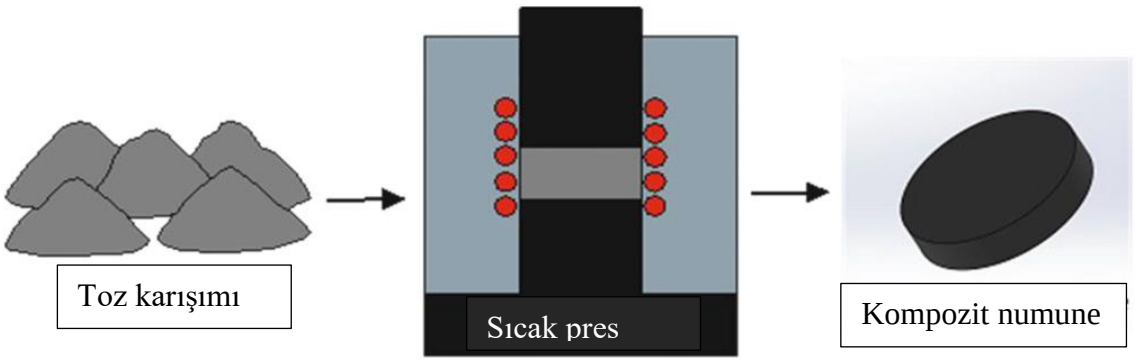
Literatür çalışmasında Alüminyum esaslı hibrit ve sandviç kompozit malzemelerin darbe davranışları incelenmiş ve sınıflandırılmıştır.

Ekici ve arkadaşları, B_4C takviyeli Al 6061 metal matrisli kompozitte takviye malzemesinin hacimsel oranının değişiminin düşük hızda darbe davranışlarını incelemişlerdir. Ortalama 90-100 µm boyutlarında B_4C ve Al 6061 tozunu %5, %10 ve %15 oranlarında sıcak takım iş çeliğinden imal edilmiş kalıp içerisine koyarak 630 °C sıcaklıkta 75 MPa basınç altında 1 saat süresince numuneleri sinterleyerek 50 mm çapında 7 mm kalınlığında numune üretimini gerçekleştirmişlerdir. Üretim esnasında Al6061 malzemesini oksidasyondan koruyabilmek için Argon gazı kullanmışlardır. 3 takım takviyeli ve 1 takım takviyesiz olmak üzere toplamda 12 adet numuneye düşük hızda darbe testi uygulamışlardır. Yarıküre şeklinde darbe başlığı 5,045 kg kütleye ve 10 mm çapa sahiptir. Darbe başlığı 4,55 m/sn hıza set edilmiş olup bu hız değeri 52,2 joule enerjiye eşdeğerdir. 4 farklı tipteki numunenin darbe testleri sonucunda çökme en fazla takviyesiz numunede, en az ise %15 B_4C takviyeli kompozitte meydana geldiği tespit edilmiştir. Enerji absorbe edebilme yetenekleri kıyaslandığında en yüksek enerji absorbe edebilme yeteneğinin yine %15 B_4C takviyeli kompozitte olduğu, en düşük ise takviyesiz malzemede olduğunu tespit etmişlerdir. [1]

Kaburcuk ve arkadaşları, SiC takviyeli Al 6061 metal matrisli kompozitte takviye malzemesinin hacimsel oranının değişiminin ve farklı tanecik boyutlarının darbe davranışlarını incelemişlerdir. Ortalama tane boyutu 10 µm olan Al6061 ve ortalama tane boyutları 37 µm, 102 µm ve 356 µm olan SiC taneciklerini %10, %20 ve %30 hacimsel oranlarında karıştırarak toz metalurjisi yöntemiyle 615 °C sıcaklıkta 350 MPa basınç

altında 30 dakika boyunca Argon gazı altında sinterlemişler ve 50 mm çaplı, 7 mm kalınlığında numuneler üretmişlerdir. 0,75 m/sn ila 4,6 m/sn hızlarında 0,6 J ila 755 J enerji üreterek hem gerçek ortamda hem de simülasyon ortamında numunelere darbe testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan testlerin sonuçlarında temas kuvvetleri ve sürelerinin hızla birlikte arttığı, takviye oranı arttıkça malzemenin de daha stiff hale geldiği gözlenmiştir. Böylelikle temas kuvveti tanecik boyutunun artmasıyla azalmış fakat darbe süresi uzamıştır. Darbe hızının ve tanecik boyutunun artmasıyla artık gerilme ve plastik şekil değişim oranı artmıştır. [2]

Kösedağ ve arkadaşları, farklı oranlarında 30-40 µm boyutlu SiC takviyeli Al 6061 metal matrisli kompoziti toz metalurjisi yöntemiyle üretmişler ve darbe testleri gerçekleştirmişlerdir. 75 MPa basınç altında 10 °C/dk sıcaklık arttırma oranıyla 620 °C'ye 62 dk'da ulaşmış ve 1 saat boyunca numuneleri sinterlemişlerdir. 1 saatin sonrasında numuneleri kalıp içerisinde 22 saat boyunca soğumaya bırakmışlardır. Bu yöntemle düşük hızlı darbe testleri için; takviyesiz, hacimsel olarak %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 takviye oranları ve balistik testleri için sırasıyla; takviyesiz, hacimsel olarak %10, %20 ve %30 takviye oranlarında numuneler üretmişlerdir. (Şekil 1.1.)



Şekil 1.1. Toz metalurjisi ile üretim metodu [3]

Düşük hızlı darbe testleri için 10 mm çaplı 5,045 kg ağırlığındaki darbe başlığını 4,45 m/sn hızla numunelere çarptırarak 50 J enerji açığa çıkarmışlardır. Balistik testlerinin 0,3 cal. AISI4340 çelikten imal edilmiş ve sertlik değeri ısıl işlemlerle yaklaşık 30 Rockwell C seviyesine çıkarılmış mermi kullanılarak yapılmıştır. Mermi hızları ortalama 500 m/sn hızlarında kompozit hedefe ateşlenmiştir. Testler sonrası yapılan incelemelerde düşük hızda darbe testleri için takviyesiz numunelerde sünek yapıdan dolayı arka yüzeyde hiçbir çatlama görülmemişken, takviye malzemesinin oranının artmasına bağlı olarak çatlakların ilerlediği tespit edilmiştir. Balistik testlerde yüksek hızdan dolayı tüm

numuneler parçalanmış olup, direnç kompozit hedefin arkasına yerleştirilmiş epoksi reçine ve sertleştirici karışımla hazırlanmış yapıya nüfuz derinliğinin ölçülmesi şeklinde tespit edilmiştir. Hacimsel olarak %30 ile en yüksek oranda nüfuz derinliği en az olurken, takviyesiz numunede mermi nüfuzun en yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. [3]

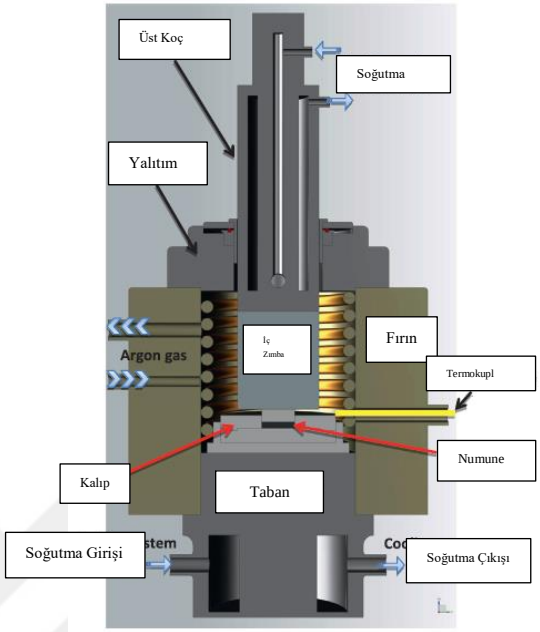
Nam ve arkadaşları, Alümina ve Karbon fiber malzemelerini takviye, AC8A Alüminyum alaşımını ise matris malzemesi olarak kullanarak sıkıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit numuneleri üretmişlerdir. İlk numune olarak Alümina fiberleri ile ikinci numune olarak ise hem Alümina fiberleri hem de karbon fiber kullanmışlardır. Takviye oranı hacimsel olarak %15 ile sabit tutulmuş, ikinci numunede Alümina fiberlerinin karbon fibere oranı 1:3 olarak belirlemişlerdir. Sıkıştırmalı döküm işleminden sonra numuneleri T6 ısıl işlemine tabii tutmuşlardır. 1 mm/dk sabit hızla numunelere çekme testi, kompozit malzemelerin elastiklik modüllerini tayin edebilmek için titreşim testi ve darbe dayanımları için ise Charpy darbe cihazı ile 2,6 kg yük kullanarak darbe testleri uygulamışlardır. Optik mikroskop altında inceledikleri numunelerde takviye malzemesinin kompozit içerisinde uniform dağıldığını ve iyi tutunma yakaladığını görmüşlerdir. Çekme kopma dayanımının takviyesiz numunelere nazaran daha iyi olduğunu ve birçok durumda metal matrisli kompozitin termal genleşme katsayısı farkının bir sonucu olarak yüksek dislokasyon yoğunluğunun, dislokasyon oluşumuna destek vermesiyle mekanik özelliklerinin yüksek olduğu görülmüştür. Alümina ve Karbonfiber takviyeli numunenin sadece Alümina takviyeli numuneye nazaran daha verimsiz mukavemet değerleri gösterdiği sebebinin ise karbon hibrit sistemlerde karbon fiber eriyik Alüminyum alaşımı tarafından kötü ıslatmak kabiliyetine sahip olması ve alaşımla tepkiye girerek kırılgan Alüminyum Karbür (Al_4C_3) yapısının oluşmasına sebebiyet vermesi olarak yorumlanmıştır. Kompozit numuneler tarafından sönümlenen darbe enerjisinin, takviyesiz numuneye nazaran daha az olduğu bunun sebebinin ise kısa fiberlerin şekil değiştirme kabiliyetini azaltması olarak yorumlamışlardır. [4]

Özden ve arkadaşları, SiC takviyeli Al 2124, Al 5083 ve Al 6063 metal matrisli kompozit numuneleri üretmişler ve farklı ortam sıcaklıklarında darbe deneylerini incelemişlerdir. Üç farklı matris malzemesi için de takviye oranı hacimsel olarak %10 ile sabit tutulmuş ve ortalama 167 μm tanecik boyutlu SiC kullanılmıştır. Ayrıca, tanecik boyutunun darbe dayanımına etkisini incelemek üzere Al6063 serisi matris malzemesi için 511 μm tanecik boyutlu SiC de kullanılmıştır. Takviyesiz ve takviyeli numunelerin hepsi karıştırmalı

döküm yöntemiyle imal edilmiş olup, Alüminyum alaşımları yaklaşık 800 °C sıcaklığa çıkarılarak 750 rpm açısal hızda 20 gr/sn ilave hızıyla SiC takviyesi eklenmiştir. İlave sonrası silindirik billetler 400 °C sıcaklıkta sıcak ekstrüzyon yöntemiyle kare kesite ekstrüze edilmiş ve çentik darbe deneyi için çentikler açılmıştır. Takviyesiz Al 2124 ve Al6063 numuneleri yapay yaşlandırmaya tabii tutulmuş diğer numunelere 515 °C'de 2 saat bekletilerek ısıl işlem uygulanmıştır. Çentik darbe deneyleri -176 °C, 21 °C, 100 °C, 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Takviyeli numunelerde sert SiC darbe tokluğunu düşürmüştür. Al 2124 ve Al 6063 matrisli numunelerde tespit edilen takviye malzemesinin kümelenmesi yine darbe tokluğunun azalmasında önemli rol oynamıştır. Sıcaklığın darbe tokluğunda ciddi bir etkisi olmadığı görülse de Al 2124 ve Al 6063 matrisli numunelerin 100 °C ve 200 °C dolaylarında darbe tokluğunun azaldığı görülmüştür. Fakat -176 °C sıcaklıkta tüm numuneler iyi darbe direnci sergilemişlerdir. [5]

Cerit, 2124 serisi 24 µm boyutunda toz Alüminyumu matris malzemesi, hacimce %10 oranında 2 µm, 53 µm, 167 µm boyutlarında SiC tozlarını kullanarak kompozit numuneler üretmiştir. Öncelikle takviyesiz ve tek boyutta takviye malzemesiyle tek tanecik boyutlu, sonrasında iki boyutta takviye malzemesiyle 2 µm ve 53 µm, 2 µm ve 167 µm, 53 µm ve 167 µm ile olmak üzere ikili tanecik boyutlu numuneler elde etmiştir.

Toz metalurjisi yöntemiyle numuneleri 615 °C'de 30 dk süresince 300 MPa basınç altında 3 lt/dk Argon atmosferi altında üretmiştir. (Şekil 1.2.)



Şekil 1.2. Basınçlı tübüler fırında üretim yönteminin şematik gösterimi [6]

Numuneleri basıncı kontrol ederek soğumaya bırakmış ve bu sayede termal şekil değiştirmenin önüne geçmiştir. 50 mm çaplı 12 mm kalınlıkta silindirik numuneler işlemiş ve bu numunelere 5,045 kg ağırlığında darbe başlığıyla düşük hızda darbe testleri gerçekleştirmiş ve Brinell sertlik değerlerini ölçmüştür. Numuneleri SEM altında incelediğinde 2 µm ve 53 µm boyutlu numunelerde takviye malzemesinin belirli bölgelerde kümelendiği ve sertlik ve mekanik özelliklere olumsuz etki ettiğini tespit etmiş fakat tanecik boyutunun daha fazla olduğu numunelerde kümelenme görmemiştir. Brinell sertlik değerlerini incelediğinde tekli partikül sisteminde en yüksek 53 µm boyutlu takviye ile, ikili partikül sisteminde ise en yüksek 2 µm-167 µm boyutlu takviyelerle en sert değeri yakalamıştır. Darbe testlerinde ise darbe enerjisinin %50-%60 arasında tüm numuneler tarafından absorbe edildiğini görmüştür. [6]

Demir ve arkadaşları, 40 µm ve 350 µm boyutlu Al 6061 matris malzemesiyle, %10, %20 ve %30 hacimsel oranlarda SiC seramik tozlarını kullanarak kompozit üretimi gerçekleştirmişlerdir. Proseste Argon gazı altında 75 MPa basınç altında 10 °C/dk ısıtma hızında 620 °C'a ulaşmışlar ve 1 saat boyunca bu sıcaklığa numuneleri maruz bırakmışlardır. Sonrasında numuneler 22 saat boyunca basınç altında soğutulmuştur. Kalıptan çıkardıkları numuneleri 50 mm çaplı 7 mm kalınlıklı test parçaları olarak

işlemişler ve sonrasında SEM görüntülerini incelemişlerdir. SEM görüntülerinde herhangi bir kümelenme görmemişlerdir. 5,045 kg kütleli darbe başlığı ile sırasıyla, tek seferde 15 J, üç tekrarlı 5 J, tek seferde 60 J ve son olarak üç tekrarlı 20 J olmak üzere dört farklı darbe yükü dolayısıyla darbe hızı üç farklı numuneye uygulamışlardır. Darbeye maruz kalan ve darbe uygulanmamış numunelerin yüzeylerinden Vickers sertlik ölçümleri yapmışlardır. Tekrarlı darbe deneylerinde malzemenin pekleşmesinden kaynaklı daha tok bir reaksiyon gösterdiğini tespit etmişlerdir. Takviye malzemesinin oranının arttırılmasıyla da temas kuvvetinin temas kuvvetinin arttığı ve temas süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Sertlik ölçümlerinde ise tekrarlı darbe uygulanan ve takviye malzemesinin oranının yüksek olduğu numunelerde daha yüksek sertlik değerleri yakalamışlardır. [7]

Wu ve arkadaşları, Al 2024 matris malzemesiyle hacimce %45 oranında ortalama tane boyutu 4,5 μm olan B_4C taneciklerini basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretmişler ve 90 mm çaplı 53 mm kalınlıkta kompozit hedef elde etmişlerdir. Ürettikleri kompozit hedefe 830 m/sn hızla 7,62 mm mermi ateşleyerek balistik testleri gerçekleştirmişlerdir. Test sonrası hedefin soğuması beklenmiş ve merminin açtığı ısıdan etkilenen krater parlatılmış ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Darbe sonra matris ve takviye malzemesinin deformasyonu incelenmiş ve yeniden kristallenme tespit etmişlerdir. Kompozit arayüzeyinde delaminasyona rastlamamışlardır fakat takviye malzemesinin monokristalden polikristale dönüşmesiyle plastik deformasyon tespit etmişlerdir. [8]

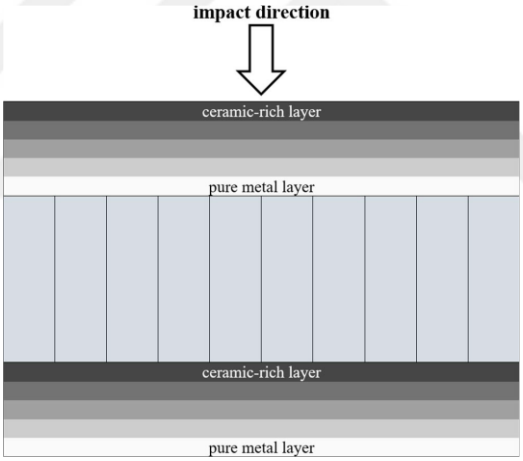
Topçu ve arkadaşları, saf Alüminyum ve 10 μm boyutlarındaki B_4C takviye malzemesini hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında karıştırarak ve toz metalurjisi yöntemiyle 600 °C, 625 °C ve 650 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıklarda 250 MPa altında sinterlemişlerdir. Sonrasında numuneleri parlatarak metalografik inceleme, Vickers sertlik testi, Charpy darbe deneyi ve sürünme testi yapmışlardır. Yoğunluklar incelendiğinde 650°C sıcaklıkta sinterlenmiş numunelerin yoğunluğunun en düşük olduğu tespit edilmiştir. SEM taramalarında takviye malzemesinin homojen olarak dağıldığını fakat yapılarda porozite olduğunu görmüşlerdir. Sertlik testlerinde takviye malzemesinin ve sinterleme sıcaklığının artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı fakat bu artış rejiminin 625 °C'de sinterlenmiş hacimce %15 B_4C takviyeli numunelerden sonra kaybolduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları Charpy çentik darbe testlerinde de B_4C yoğunluğunun artmasıyla darbe dayanımının azaldığı, %15 takviye oranından sonrasında

ise ciddi anlamda porozite kaynaklı düştüğünü gözlemlemişlerdir. Sürünme testleri 400 °C ve 450 °C sıcaklıklarda 6 saatte gerçekleştirilmiş olup %5 takviye oranlı numune en fazla şekil değişimine uğrayan numune olmuştur. [9]

Mehra ve arkadaşları, Al 6061-T6 alaşım malzemesinden ürettikleri içi boş boru şeklindeki dış çapı 2,4 cm ve iç çapı 1,1 cm olan 22,5 gr mermiyi ve Al 6061-T6 ile üretilen 1 mm kalınlığında sac plaka kullanarak düşük hızda darbe testleri gerçekleştirmiş ve bunu sonlu elemanlar metoduyla bilgisayar yazılımında modelleyerek sonuçları kıyaslamışlardır. Deneysel çalışmaları sırasında 65 m/sn ve 85 m/sn olmak üzere iki farklı hızla 13 cm x 13 cm ölçülerinde kare plakaya mermiyi ateşlemişlerdir. Modelleme olarak ise Johnson-Cook ve Bao-Wierzbicki hasar modellerini tercih etmişlerdir. 65 m/sn hızla yapılan gerçek testler ve bilgisayar çözümlemeleri kıyaslandığında, her iki model ve gerçek çalışmada çökme ve delik profili birbirini doğrulamıştır. Aynı şekilde 85 m/sn hızla yapılan test ve bilgisayar hesaplamaları kıyaslanmış ve Johnson-Cook modeliyle gerçek deney çalışmasının yakın olduğunu görmüşlerdir. [10]

Jiang ve arkadaşları, ortalama tanecik boyutu 4,5 µm olan hacimce %45 B_4C/Al 2024 kompozitini basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. B_4C taneciklerini kalıp içerisinde sıkıştırmışlar sonrasında eriyik AA 2024 alaşımını ön ısıtılmış kalıba dökmüşler ve katılaşma gerçekleşene kadar basınç uygulamışlardır. Bu yöntemle elde ettikleri 90 mm çapında 5,3 mm kalınlığındaki numuneleri T6 ısıl işlemine tabii tutmuşlardır. Hazırladıkları numunelere yoğunluk, elastiklik modülü, çekme testi ve darbe testleri gerçekleştirmişlerdir. Balistik testlerini ise 7,62 mm zırh delici mermilerle gerçekleştirmişlerdir. Silahın hedefe olan mesafesi 10 metre ve atış hızları ise 840 m/sn'dir. Ayrıca kompozit hedefle birlikte zırh çeliğine de mermi atılarak merminin her iki numunenin arkasında yer alan şahit plakaya batma derinliği incelenmiştir. Kompozit numunelerde şahit numuneye batma derinliği yaklaşık 16 mm olurken zırh çeliğine olan batma derinliği 21,5 mm ile sabit kalmıştır. [11]

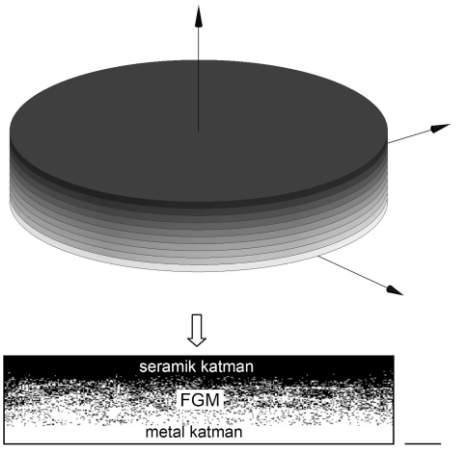
Arslan ve arkadaşları, Al 6061/B_4C matris ve takviye malzemesiyle fonksiyonel kademelendirilmiş plaka ile petek yapısını birleştirerek 5 farklı boyutsuz plaka kalınlığında sandviç yapılı kompozit üretmiş olup, yüksek hızlı darbe testlerini incelemişlerdir. Kademelendirilmiş plakaların çeşitliliğini kuvvet kanunundan faydalanarak belirlemişlerdir ve saf Alüminyum malzemeden başlayıp B_4C yoğun yapıya doğru kalınlığa bağlı olarak ilerlemişlerdir. Plakaların üretiminde vakumlu ortamda toz metalürjisi yöntemini kullanmışlardır ve kademelendirilmiş plaka 5 farklı yüzdeden oluşan toz karışımı barındırmaktadır. B_4C ve Al 6061 tozları için sırasıyla 44,5 µm ve 10 µm boyutlarda toz kullanmışlardır. Karışım oranları için ise saf Al 6061 alaşımıyla başlayıp %75 B_4C-%25 Al 6061 karışım oranına doğru kademelendirmişlerdir. Sandviç yapıyı ise Al3003-H19 malzemeden 70 µm folyo kalınlığı ile epoksi yapıştırıcı kullanarak plakalara sabitlemişler ve 56 mm x 56 mm x 8 mm boyutlarında numune elde etmişlerdir. Şekil (1.3.)



Şekil 1.3. Kademelendirilmiş-sandviç kompozit yapının şematik gösterimi [12]

Numune üretimlerinden sonra 605 m/sn hızla yüksek hızlı darbe deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Darbe testlerinde 0,30 cal. mermiyi gas-gun sistemiyle plakaya çarptırmışlardır. Kullanılan mermiler AISI 4340 çeliğinden imal edilmiş ve Rockwell C sertlik değerleri 30 gelmiştir. Yapılan testler neticesinde seramik oranının arttığı yerlerde merminin enerjisinin dağıldığı ve penetrasyon derecesinin azaldığı görülmüştür. [12]

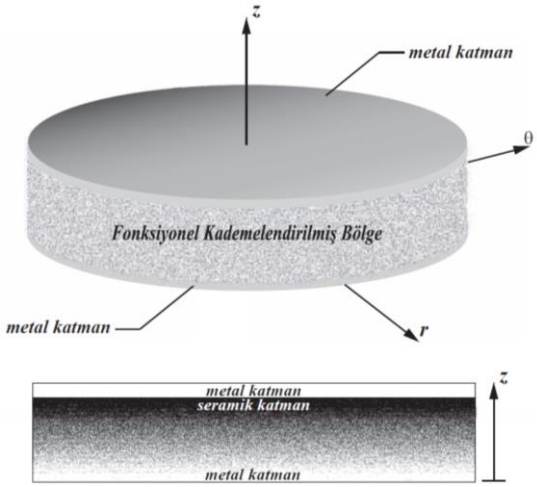
Aydın ve arkadaşları, 5 farklı malzeme kompoziyonu için Al/SiC kompozitini katmanlama yöntemi kullanarak numune üretmişlerdir. (Şekil 1.4.) Seramik faz için ortalama toz boyutu olarak 50 µm SiC ve metal faz olarak ortalama toz boyutu 10 µm olan Alüminyum tozlar kullanmıştır.



Şekil 1.4. Kademelendirilmiş kompozit malzemenin şematik gösterimi [13]

Üretilen numunelerin düşük hızda darbe testleri her beş farklı kompoziyon için 1 m/sn, 1,5 m/sn ve 2 m/sn hızlarında olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde ettikleri deneysel verileri nümerik analizlerle kıyaslamışlardır. Plaka kalınlığı boyunca artan kompozisyonel gradyant ile seramik zengin bölgeye geçişte von Mises gerilmelerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca seramik zengin bölgeye geçişte dairesel plakanın rijitliği arttığı için temas kuvvet değerlerinde de artış gözlemlemişlerdir. [13]

Aydın, 3 farklı malzeme kompozisyonu için kademelendirilmiş Al/SiC kompoziti üretmişler ve düşük hızda darbe deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında silindirik geometriye sahip plakaların kalınlıkları boyunca malzeme kompozisyonu değişirken, yatay düzlemde ise sabit kalmaktadır. Kullandıkları Al 6061 tozunun ortalama boyutu 10 µm, SiC tozunun ise 50 µm olmaktadır. Bu malzemeleri AISI 2344 sıcak takım iş çeliğinden üretilmiş kalıp içerisinde katmanlı olarak eklemişler ve 600 °C sıcaklıkta 90 dakika süresince düşük basınç uygulayarak preslemişlerdir. (Şekil 1.5.) Sinterleme sonrası kalıptaki numune basınç kontrollü olarak soğutulmuştur.



Şekil 1.5. Fonksiyonel kademelendirilmiş numunenin şematik gösterimi [14]

Yüksek hızlı balistik testleri 9 mm çaplı mermiyle 5 metre menzilden, 7,62 mm mermiyle 15 metre menzilden yapmışlardır. Balistik testler neticesinde 9 mm Parabellum mermisiyle yapılan testlerde üç farklı kompozisyona sahip kademelendirilmiş plakada da tam delinme olmuştur. Aynı şekilde 7,62 mm mermi ile yapılan testlerde de tüm numunelerde tam delinme olmuştur. Mermilerin yüksek hızlarından dolayı deformasyon çok hızlı gelişmekte ve plaka yüklemeye cevap verecek süre bulamamaktadır. Sayısal analizlerde de aynı sonuçlar yakalanmış olup buna ekstradan seramik zengin numunelerde mermi enerjisinin azaldığını da tespit etmişlerdir. [14]

Yin ve arkadaşları, basınçsız ön sinterlenmiş ve vakum ortamında infiltrasyon uygulanmış Al ile Al/B_4C kompoziti üretmişler ve çok yüksek hızlı darbe testleri gerçekleştirmişlerdir. B_4C malzemesinin 20 µm ve 1 µm olmak üzere iki farklı boyutunu 4:1 oranında ve ortalama tane boyutu 1 µm olan hacimce %10 oranında TiO_2 tozlarını karıştırmışlardır. Vakumlu ortamda tozları 2000 °C sıcaklığa kadar çıkararak 30 dakika boyunca sinterlemişlerdir. Son olarak Alüminyum bloklar sinterlenmiş B_4C takviye malzemesinin üzerine yerleştirilmiş ve yine vakumlu ortamda ön sinterlenmiş takviye malzemesine 1100 °C sıcaklıkta 120 dakika boyunca infiltrasyon uygulanmıştır. Hazırladıkları numunelere sırasıyla yoğunluk ölçümü, sertlik, eğilme mukavemeti, kırılma tokluğu testleri yapmışlardır. Bu değerleri sırasıyla 2,6 gr/cm^3, 83,5 HRA, 500 MPa ve 7,0 MPa olarak ölçmüşlerdir. Yüksek hızlı balistik testlerinde ise 3 farklı hızla 3 km/s, 5 km/s, 6,5 km/s deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Testleri esnasında 3 katlı sistem kullanmışlar. Bu sistem; tampon, kompozit numune ve arka duvar plakası şeklindedir.

Yaptıkları testler sonucunda 3-6,5 km/s hızlarda tampon olarak da kompozit kullanılması sonucu darbenin etkisini %20 azaltabildiklerini görmüşlerdir. [15]

Kalaiselvan ve arkadaşları, Alüminyum metal matrisli kompozitini Al6061-T6 alaşımı ve takviye malzemesini ise 10 µm ortalama tane boyutu olan B_4C ile karıştırmalı döküm tekniği yöntemiyle üretmişlerdir. Kullandıkları Al 6061-T6 malzemenin maksimum çekme gerilmesi 160 MPa ve sertlik değerleri ise 45 VHN ve 30 BHN olmuştur. 920 °C sıcaklığında eriyik Al 6061 malzeme içine önceden karıştırdıkları ve B_4C'nin Al6061'i ıslatma kabiliyetini iyileştirebilmek için 1/10 oranında K_2TiF_6 pastasını döküm esnasında karıştırarak ilave etmişlerdir. Bu yöntemle hacimce takviye oranı %4, %6, %8, %10 ve %12 olmak üzere beş farklı tipte numune elde etmişlerdir. (Şekil 1.6.)



Şekil 1.6. Karıştırmalı döküm tekniği yöntemiyle üretilen numuneler [16]

Bu numunelere SEM incelemesi gerçekleştirmişler ve takviye malzemesinin homojen olarak dağıldığını görmüşlerdir. Mikro ve makro sertlik testlerinde ise takviye malzemesinin oranının artmasıyla sertlik değerlerinde de artış gözlemlemişlerdir. Aynı durumu maksimum çekme mukavemeti değerinde de tespit etmişlerdir. %4 B_4C takviye oranında 185 MPa dolaylarına çıkan mukavemet değeri, takviye oranının %12'ye çıkarılmasıyla yaklaşık 215 MPa dolaylarına çıkmıştır. [16]

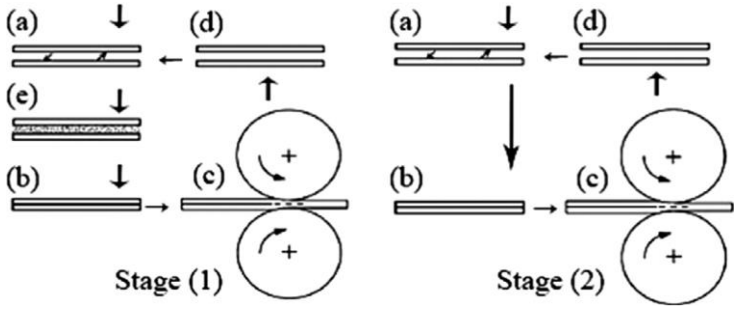
Karabulut ve arkadaşları, B_4C takviyeli Al 6061 metal matrisli kompozitinin hacimce %5, %10, %15 ve %20 olmak üzere, 4 farklı çeşit numunenin sertlik, kırılma tokluğu, çekme mukavemeti, enine kopma mukavemeti ve işlenebilirlikleri üzerine çalışmışlardır. Numunelerindeki metal matrisin ortalama tane boyutu 100 µm iken takviye malzemesinin ortalama tane boyutu 10 µm olarak kullanmışlardır. Karıştırdıkları tozları vakumlu ortamda 300 MPa basınçta 1 saat boyunca 550 °C sıcaklıkta sinterlemişler ardından

önceden ekstrüzyon kalıbında 500 °C'de ekstrüze edilmiştir. Ekstrüze edilmiş numuneler 530 °C'de 1 saat çözeltiye alınmış ve matris malzemesinin çözünmesini maksimize edebilmek için ısıl işlem sıcaklığı erime sıcaklığına mümkün olduğunca yakın tutulmuştur. Ardından numuneler oda sıcaklığındaki suya atılarak sertleştirilmiştir. Çözeltiye alma ve ısıl işlemlerin sonunda kompozit numuneler fırında 175 °C'de 8 saat boyunca yaşlandırılmıştır. Son olarak numunelere 22 mm kalınlığa inceltmek için sıcak haddelemeye tabii tutmuşlardır. Yaptıkları mekanik karakterizasyonlarda, takviye oranının artmasıyla sertlik değerinin arttığını, en yüksek çekme mukavemeti değerinin %5 oranında en düşüğünün ise %10 oranında olduğunu, en yüksek kırılma tokluğu değerinin takviyesiz Al 6061 malzemede olduğunu, enine kopma mukavemetinin ise en yüksek %5 oranındaki kompozitte elde etmişlerdir. İşlenebilirliği incelerlerken ise işleme esnasında yüzey pürüzlülüğü ve harcanan elektrik gücünü baz almışlardır. Numunelerin işlenmesi esnasında en iyi yüzey kalitesinin %15 Al 6061/B_4C kompozitinde 480 m/dk devirle ve 0,08 m/diş besleme hızı ve 0,8 mm paso ile kuru işlem esnasında yakalamışlardır. En düşük güç tüketimi ise, %10 Al 6061/B_4C kompozitini 220 m/dk devirle, 0,16 mm/diş besleme hızı ve 0,8 mm paso derinliği ile kuru ortamda elde etmişlerdir. [17]

Auradi ve arkadaşları, hacimce %11 B_4C_p tozu ve Al 6061 matris malzemesiyle karıştırmalı döküm tekniği kullanarak kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Takviye malzemesinin boyutu olarak 88 μm büyüklüğünde toz kullanmışlardır. 1000 °C'nin altında B_4C takviye malzemesinin ıslatması düşük olduğundan bu özelliği iyileştirebilmek adına K_2TiF_6 pastasını 1:0,3 oranında takviye malzemesine ilave etmişler ve 250 °C'lik eritme öncesi bir ısıtma uygulamışlardır. 750 °C'da yaklaşık 250 rpm açısal hızla 6 dk karıştırdıkları ergiyik matris malzemesi içerisine takviye karışımını eklemişlerdir. Yaptıkları mekanik testlerde akma gerilmesi değerinin %44,35 ve maksimum çekme gerilmesinin ise %42,6 oranında iyileştiğini fakat malzeme sünekliğinin ise B_4C ilavesiyle azaldığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları yoğunluk ve porozite ölçümlerinde döküm matris malzemesiyle, kompozit malzeme kıyaslandığında deneysel yoğunluğun takviye malzemesinin ilavesiyle azaldığını ve porozite değerinde ise ciddi artış olduğunu tespit etmişlerdir. Sertlik değerleri ise döküm Al6061 için 70.4 VHN iken kompozit malzemede 157,3 VHN olduğu görülmüştür. [18]

Sharifi ve arkadaşları, yüksek saflıktaki Alüminyum tozları ve bor karbür nanopartikülleri kullanarak metal matrisli kompozit numuneler üretmişlerdir. Kullandıkları matris malzemesi tanecik boyutları 60 µm ve takviye malzemesi için ise 10 ila 60 µm arasında değişmektedir. Hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında üç farklı tipte numune hazırlamışlardır. Bu tozları 600 devir/dk hızla ve bilya:toz oranı 10:1 olan bilyalarla öğütmüşlerdir. Öğütülen tozları olduğu gibi X40CrMoV15 malzemeden üretilen kalıba aktarmışlardır ve sabit 300 MPa basınçla 450 °C sıcaklıkta 30 dakika boyunca preslemişlerdir. Gözenek oluşmasını engellemek için numune tamamen soğumadan basıncı kaldırmamışlardır. Başlangıçta 340 nm tanecik boyutu olan Alüminyum matrisinin 2 saat öğütülme sonucu ortalama 74 nm, 5 saat sonra ise ortalama 52 nm değerine düştüğü görülmüştür. Vickers mikro sertlik deneylerinde en yumuşak toz malzemenin 33 HV ile takviyesiz malzeme olduğu, en sert toz malzemenin ise yaklaşık 160 HV ile %15 oranında olduğunu aynı şekilde 5 ilâ 40 saat arasındaki öğütme sürelerinin sertlik üzerinde çok büyük bir değişikliğe sebebiyet vermediğini de tespit etmişlerdir. Kompozitte artan B_4C nanopartikül oranının basma mukavemetini arttırdığı, yine aynı şekilde takviye oranının arttırılmasıyla aşınma direncinin de arttığı fakat her numunenin kendi içinde sürtünme katsayısı değerinin teste başladıktan kısa bir süre sonra düştüğü ve sonrasında aşınan yüzeyin yağlayıcı gibi bir etki gösterdiği sonrasında ise sürtünme katsayısı değerinin de sabit kaldığını tespit etmişlerdir. [19]

Danaee ve arkadaşları, saf Al 1050 malzemesini matris ve ortalama tane boyutu 75 µm'den küçük olan SiC taneciklerini ise takviye malzemesi olarak kullanarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Al 1050 malzemesini 2 saat boyunca 380 °C'de tavlamışlardır ardından aseton banyosuna daldırıp fırçayla safsızlıkları gidererek yüzey hazırlığı yapmışlardır. 20 cm x 5 cm x 0,1 cm ölçülerinde levhalarında arasına 0,26 gr SiC taneciklerini 5 tekrarda uniform olarak dağıtmışlardır ve haddelemişlerdir.



Şekil 1.7. Tekrarlı haddeleme adımlarının şematik gösterimi [20]

5 tekrar sonunda hacimce takviye malzemesi oranı %2'ye ulaşmıştır. (Şekil 1.7.) Toz serpme işleminden sonra kalınlığı yarı yarıya düşürecek şekilde 4 rpm açısal hızla ve 20 ton yükle numunelere haddeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Aynı işlemi numuneyi ortadan ikiye keserek tekrarlamışlardır. Testler için ise ölçüleri 1,5 cm x 0,7 cm ölçülerinde saf 1050 ve haddelenmiş kompozit olarak ise 1, 2, 4, 6, 8, 10 çevrim sayılarında numuneler hazırlamışlardır. Yaptıkları sertlik testi incelemelerinde 10 çevrim sayısıyla üretilen kompozitin en yüksek Rockwell C sertlik değerine sahip olduğunu görmüşlerdir. Sürtünme katsayısı incelemelerinde en yüksek sürtünme katsayısı değerinin saf Al malzemede en düşük ise 10 tekrarlı haddelenmiş kompozit malzemede oluğunu tespit etmişlerdir. Sürtünme testlerinde en çok kütle kaybı ise yine saf Al plakada olurken, en az kütle kaybı 10 tekrarlı haddelenmiş kompozitte olduğunu tespit etmişlerdir. Aşınma yüzeylerini SEM altında incelemişlerdir ve yüzeydeki sürtünme sebepli aşınma ve kırılmaları net bir şekilde tespit etmişlerdir. [20]

Baradeswaran ve arkadaşları, Al 7075 alaşımı matris malzemesi ve ortalama tane boyutu 16 µm ilâ 20 µm arasında olan B_4C takviye malzemesini hacimce %5, 10, 15 ve 20 olmak üzere 4 farklı çeşitle karıştırmalı döküm tekniği kullanarak üretmişlerdir. Islanabilirliği arttırması açısından 850 °C'de eriyik metale 500 rpm açısal hızla karışım yaparken, K_2TiF_6 pastasını takviye malzemesiyle eşit oranda eklemişlerdir. Ürettikleri numunelere 10 mm çaplı bilyeyle 500 kg uygulayarak Brinell sertlik testleri yine ASTM E08 standardında ve oda sıcaklığında çekme testleri, eğilme mukavemet testleri ve 0,6 m/sn kayma hızlarıyla 10 N, 20 N, 30 N ve 40 N yüklerle aşınma testleri yapmışlardır. Brinell sertlik testlerinde en sert numune %20 B_4C içeren kompozit olurken, çekme testlerinde en mukavim numune 300 MPa ile yine %20 B_4C içeren kompozit olmuştur. Eğilme mukavemeti testlerinde yaklaşık 500 MPa yüke dayanabilen %20 B_4C içeren kompozit olmuştur. Aşınma oranları incelendiğinde en fazla kütle kaybeden takviyesiz Al 7075 olurken takviye eklenen malzemeler baz alındığında kütle kaybı ciddi oranda azalmıştır. Yine en fazla aşınma miktarı ve kütle kaybı Al 7075 malzemede 40 N yük ile gerçekleşmiştir. En son olarak sürtünme katsayısı incelendiğinde saf Al 7075 malzemede sürtünme katsayısının en yüksek, %5 ve %10 B_4C takviye oranına sahip numunelerde ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. [21]

Kerti ve arkadaşları, 10 µm ve 20 µm olmak üzere, iki farklı tanecik boyutlu B_4C takviye malzemesini alüminyum matris malzemesiyle karıştırmalı döküm tekniği ile üreterek

kompozit malzeme elde etmişlerdir. Alüminyumun ıslatma özelliğini arttırmak için K_2TiF_6 pastası kullanmışlardır. 500 gram kütlesinde erittikleri matris malzemesine takviye malzemesi ve pastayı ekleyip sabit sıcaklıkta 5 dakika süresince beklemiş ve ardından eriyik malzemeyi kalıba dökmüşlerdir. Hazırladıkları 10 farklı numune için takviye malzemesi oranı %5, %10 ve %15 şeklinde iken döküm sıcaklıklarını tanecik boyutu açısından her ikili için toplam 6 numunede 800 °C ve karıştırma yapılmamış, %5 ve %10 takviye oranları için eriyik sıcaklığını 920 °C'ye çıkarmışlar ve karıştırma işlemi yapmışlardır. Yaptıkları SEM incelemelerinde tanecik boyutu 20 µm olan numunelerde B_4C takviyesinin kompozit içinde uniform dağıldığı fakat düşük tanecik boyutlarında bölgesel toplanmalar olduğu ve matris ve takviye malzemesi arasında güçlü bir tutunma sağlanabilmesi amacıyla pasta miktarının en az takviye oranı kadar olması gerektiğini ifade etmişlerdir. [22]

Das ve arkadaşları, iki farklı kompoziyonda alüminyum matrisli kompozit üretmişlerdir. İlk kompozisyon (hibrit A) AA 6061 matrisi ile tane boyutları 50 nm olan hacimce %0,5 SiC ve %1,5 B_4C, ikinci kompozisyon (hibrit B) ise AA6061 matrisi ile yine tane boyutu 50 nm hacimce %1,5 SiC ve %1,5 B_4C şeklindedir. Üretimi 700 rpm açısal hızla impellerla karıştırmalı döküm yöntemiyle yapmışlardır. Ürettikleri numunelerin mekanik karakterizasyonunda sertlik ölçümlerini gerçekleştirmiş olup literatürde üretilen mikro ve nano boyutlarda takviye olarak ayrı ayrı üretilmiş SiC ve B_4C tozlarıyla kıyaslamışlardır ve en yüksek sertlik değeri 173,97 HV ile hibrit B numunesinde ölçmüşlerdir. Uyguladıkları çekme testlerinde en yüksek çekme mukavemetini yine hibrit B numunesinde yakalamışlardır. Yaptıkları Charpy darbe deneyinde ise J/cm^2 cinsinden darbe mukavemetini ölçmüşler ve en yüksek darbe mukavemeti hazırladıkları hibrit A ve hibrit B numunelerinde 19,75 J/cm^2 olarak ölçmüşlerdir. SEM görüntülerinde ise hibrit numunelerde uniform parçacık dağılımı olduğunu tespit etmişler ve bu uniform dağılımın mekanik özelliklerini iyileştirdiğini yorumlamışlardır. [23]

Sharma ve arkadaşları, matris malzemesi olarak Al 6061 ve takviye malzemesi olarak 25 µm ortalama tane boyutlu ve %99,9 saflıkta SiC tozunu seçmişlerdir. Numune üretimi için karıştırmalı döküm tekniğini kullanmışlar ve bu teknikle Al 6061 alaşımını 750 °C'ta 15 dakika boyunca ısıtarak eriyik hale getirmişler ardından 720 °C'de 3 saat ön ısıtma uyguladıkları SiC taneciklerini sabit 450 dev/dk açısal hızla 15 dakika boyunca matris malzemesine ilave ederek karıştırmışlardır. Eriyik haldeki malzemeyi kalıba dökmeden

önce dökme demir kalıbı 250 °C sıcaklığa ısıtmışlardır. Bu yöntemle hacimce %4, %8 ve %12 SiC içeren üç farklı kompozisyonda kompozit malzeme üretmişlerdir. Numunelerin sertlikleri incelendiğinde en sert kompozit %12 oranlı kompozit olmuştur ve yine bu kompozitte en yüksek darbe dayanımını yakalarlarken, çekme testlerinde ise en yüksek %8 oranlı numunede yakalamışlardır. [24]

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Malzeme Seçimi

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup gümüş rengindedir. Alüminyum ve alaşımları 2,7 gr/cm^3 yoğunluk değeriyle çeliğe nazaran çok daha hafif, elektriksel ve termal iletkenliği yüksek ve atmosfer şartlarında pasivasyon özelliğiyle korozyona dirençli malzemeler olarak tanımlanır. Sünek bir malzeme olduğundan dolayı kolaylıkla işlenebilir, şekillendirilebilir, alaşımsız saf alüminyum süper ince folyo haline getirilebilir. Alüminyum yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahip bir malzeme olmasından dolayı çok düşük sıcaklıklarda sünek yapısını koruyabilir. Saf alüminyumun çekme mukavemeti yaklaşık 49 MPa iken alaşımlandırıldığında 700 MPa değerlerine kadar çıkabilir. Bu çalışmada metal matrisi olarak kullanılan iki tip alüminyum alaşımı olan Al6061 ve Al5005 için kimyasal bileşim tablosu aşağıdaki gibi verilmiştir. (Tablo 2.1.) [25]

Tablo 2.1. Al 6061 ve Al 5005 alaşımlarının kimyasal bileşim tablosu

Alaşım	Al	Cr	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Fe
Al 6061	95,8 – 98,6	0,04 – 0,35	0,4 – 0,8	0,15 – 0,4	Maks. 0,15	0,8 – 1,2	Maks. 0,25	Maks. 0,15	Maks. 0,7
Al 5005	98,6	-	0,02	-	0,03	1,18	-	0,04	0,03

Alüminyum alaşımları, alüminyum esas metalinin yanında Bakır (Cu), Magnezyum (Mg), Manganez (Mn), Silisyum (Si), Çinko (Zn), Kurşun (Pb) gibi metallerin eşlik ettiği alaşımlardır. Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve oksitlenme direncinden dolayı endüstride sıklıkla kullanılır. Al6061 alaşımının en sık kullanıldığı alanlar arasında; savunma sanayi, havacılık ve uzay, denizcilik, demiryolu vagonları, köprüler gibi alanlardır. Yine bu çalışmada kullanılan diğer bir alaşım malzemesi olan Al 5005'in en sık kullanıldığı alanlar arasında ise; ısıtma ve soğutma ekipmanları, marina ve offshore uygulamaları için inşa edilen yapılarda, gıda ve kimya ekipmanlarında, boru ve tüp üretimlerinde kullanılmaktadır. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları tek fazlıdır ve bu malzemelerde mukavemet ancak katı çözelti sertleşmesiyle arttırılabilir. Diğerlerine uygun alaşımlandırma ile çökelme sertleştirilmesi kabiliyeti kazandırılır. Dolayısıyla bu malzemelere ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları denir. Alüminyum 6061 alaşımı, T4 ve T6 gibi ısıl işlemlerin uygulanmasına müsaitken, Alüminyum 5005 alaşımı için ısıl işlem uygulamasıyla mekanik özelliklerinin iyileşmesi mümkün değildir. [27] Al 6061 ve Al 5005 alaşımlarının özellikleri tablodaki gibidir. (Tablo 2.2.)

Tablo 2.1. Al 6061 ve Al 5005 alaşımlarının mekanik özellik tablosu

Özellik	**Al 6061**	**Al 5005**
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,70	2,70
Sertlik (Brinell)	30	28
Akma Mukavemeti (MPa)	55,2	41,4
Kopma Mukavemeti (MPa)	124	124
Elastiklik Modülü (GPa)	68,9	68,9

Havacılık, sualtı uygulamaları, biyomühendislik ve taşımacılık endüstrilerinde yüksek teknoloji uygulamaları kullanılır ve genelde bu alanlarda alışılmışın dışında özelliklere ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaca cevap verebilmek için zaman içerisinde kompozit malzeme kavramı gelişmiştir. Kompozit malzeme yapay olarak elde edilen ve en az iki farklı

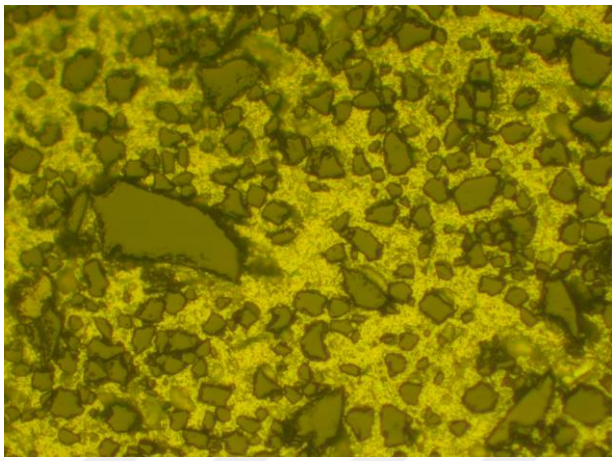
fazdan oluşan malzemedir. İlk faza matris adı verilir ve matris fazı genelde metal, seramik ve polimerden oluşur. İkinci faz ise takviye veya saçınmış faz olarak nitelendirilir ve ilk fazı yani matrisi sarar [28]. Metal matris malzemelerine örnek olarak, alüminyum alaşımları, magnezyum alaşımları, titanyum alaşımları, bakır alaşımları takviye malzemeleri için ise; SiC, Al_2O_3, WC, TiC, BN, B_4C verilebilir.

Bu çalışma kapsamında üretilen kompozit malzemelerde kullanılan bor karbür dünyadaki en sert malzemelerden biridir. Düşük yoğunluğu ve yüksek kimyasal dayanımı bor karbürü çekici hale getirmektedir. Bor karbür; zımpara gibi aşındırıcı malzemelerde, nozzle ve balistik zırh uygulamalarında mekanik özelliklerin iyileştirilebilmesi için takviye malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bor karbür özelliği tablodaki gibidir. (Tablo 2.3.)

Tablo 2.1 Bor karbür özellik tablosu

Özellik	**B_4C**
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,70
Erime Noktası (°C)	2445
Sertlik (Knoop 100 gr.) ($kg.mm^{-2}$)	3200
Elastiklik Modülü (GPa)	460

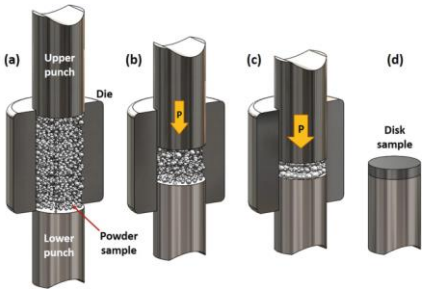
Yapılan çalışmada kullanılan bor karbür ve Al 6061 tozlarının tanecik boyutları sırasıyla ortalama 17 µm ve 44 µm'dir.



Şekil 2.1. Metal matris içerisindeki bor karbürün SEM altındaki görüntüsü [29]

2.2. Üretim Yöntemi

Kompozit malzemelerin üretiminde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu üretim yöntemlerinden birisi bu çalışmada da uygulanan yöntem olan toz metalürjisidir. Toz metalürjisi, metal veya alaşım tozlarının istenilen şekilde bir kalıba konularak yüksek basınç ve sıcaklık altında sıkıştırılması ve sonrasında ısıl işlem uygulanarak yoğunluk artışı elde edilmesine prensibine dayanır. Isıl işlem uygulanırken meydana gelen atomsal yayınma istenilen özelliklerin sağlanmasına destek olmaktadır [28].



Şekil 2.2. Toz metalurjisi ile üretim yöntemi

Çalışma kapsamında hacimce %5, %10 ve %15 olmak üzere, üç farklı oranda B_4C ve Al6061 tozları kaplara hazırlanmış kapların içine paslanmaz çelik bilyeler atılarak maksimum karışım verimi sağlanmak istenmiş ve TURBULA T2F marka 3 boyutlu toz karıştırma cihazında 2 saat boyunca karıştırılarak homojen karışım elde edilmeye çalışılmıştır. Ardından 40 mm x 60 mm boyutlarında Al 6061 ve Al 5005 serisi levhalar

CNC ile kesilerek hazırlanmıştır. Levha yüzeylerinin oksijenle reaksiyonu sonucu oluşan oksit tabakalarını gidermek ve toz metalurjisi yönteminde yüksek bağ kuvveti yakalayabilmek için Metkon marka yüzey patlatma cihazında 400, 800 ve 1200 grit kâğıt zımpara ve son olarak elmas pasta damlatılan çuha kullanılarak parlatılmıştır. (Şekil 2.3.) Parlatma işlemi sonrası yüzeye yapışıp kalabilecek tozlar için ise levha yüzeyleri suyla temizlenmiş olup, ardından Bandelin Sonorex marka ultrasonik temizleyiciyle aseton kullanılarak tüm levhalar 3 dakika boyunca temizlenmiş (Şekil 2.4.) ve yüzeyleri basınçlı havayla kurutulmuştur.

Tablo 2.4. Sıcak takım iş çeliği kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Cr	Mo	V
Oran (%)	0,37	1,00	5,30	1,30	0,40

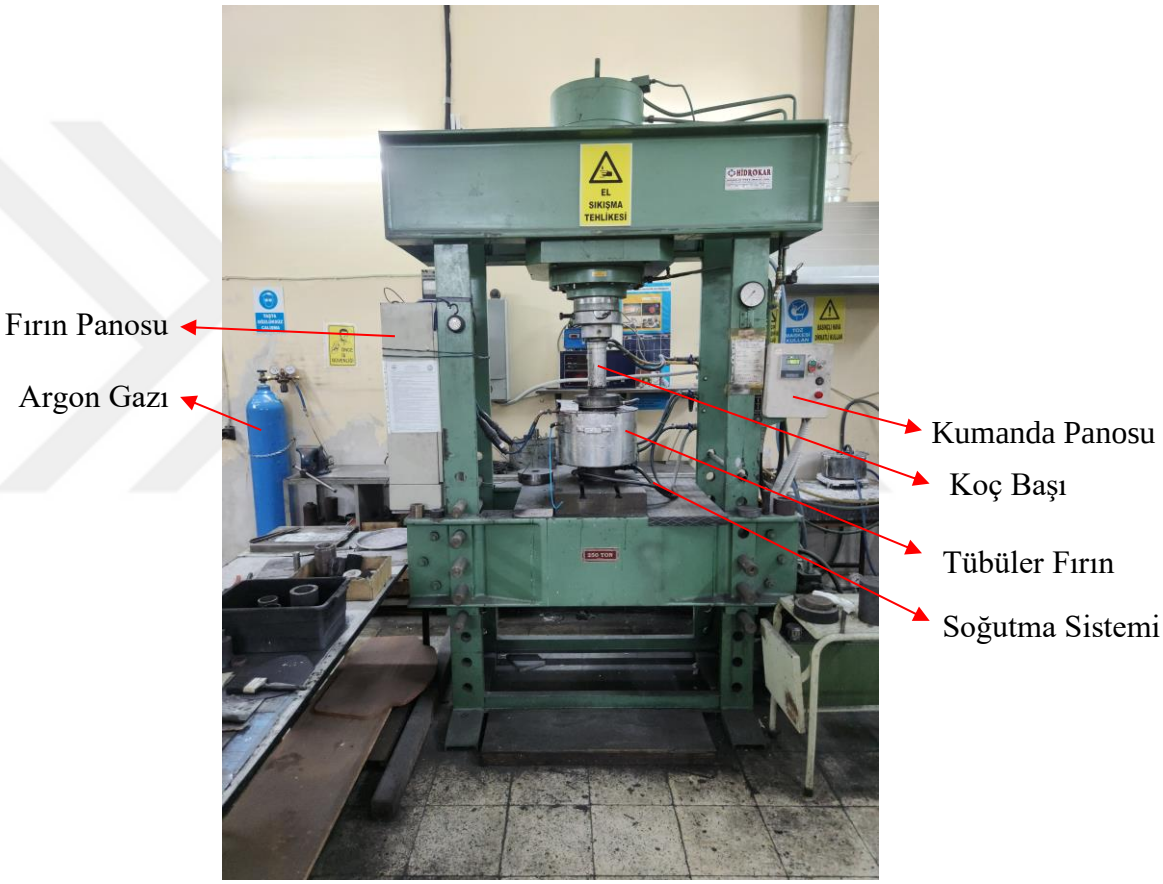


a) b)

Şekil 2.3. a) Yüzey parlatma işlemi, b) Ultrasonik temizleme cihazıyla levha temizliği

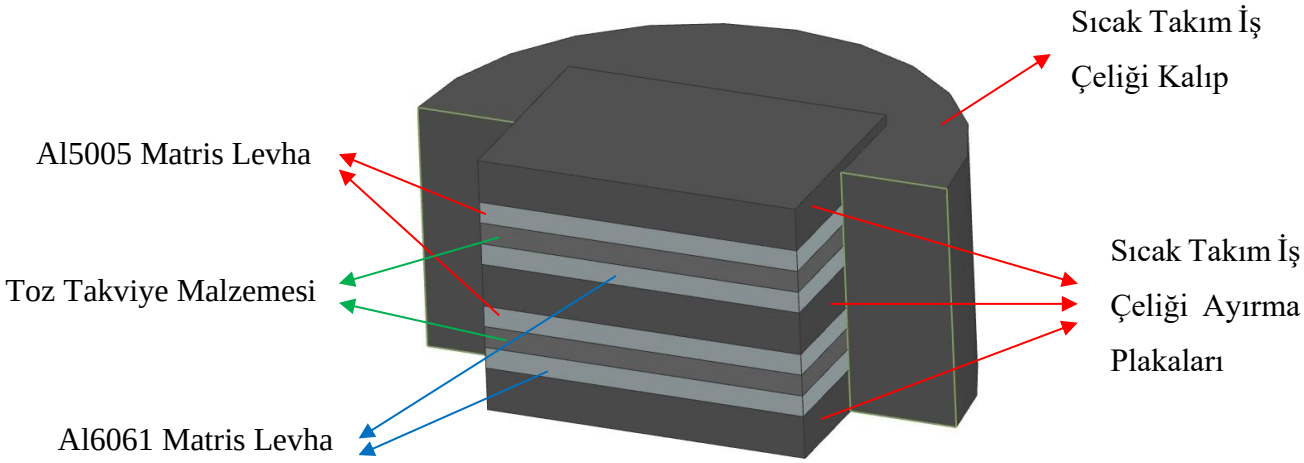
Toz metalurjisi yönteminin uygulanabilmesi için sabit basınç sağlayabilen sıcak pres kullanılmıştır (Şekil 2.5.). Numuneler sıcak takım iş çeliğinden imal edilmiş kalıp

içerisine sırasıyla Al 6061 levha – toz karışımı – Al 5005 levha şeklinde yerleştirilmiştir (Şekil 2.6.). Toz karışımının kalıp Alüminyum levha üzerinde uniform olarak dağıtılabilmesi için 3D yazıcı ile üretilmiş toz dağıtma aparatı kullanılmıştır (Şekil 2.7.). Hidrokar marka presle numuneler 79 MPa basınç altında 600 °C sıcaklığa çıkarılmıştır. Koruyucu atmosfer olarak 4 lt/dk sabit debiyle Argon gazı kullanılmış olup, 600 °C sıcaklıkta 1 saat basınç altında bekletilmiş ve sabit basınç altında doğal soğumaya bırakılmıştır. (Şekil 2.7.)



Şekil 2.4. Toz metalürjisi yönteminde numune üretimi için kullanılan sıcak pres

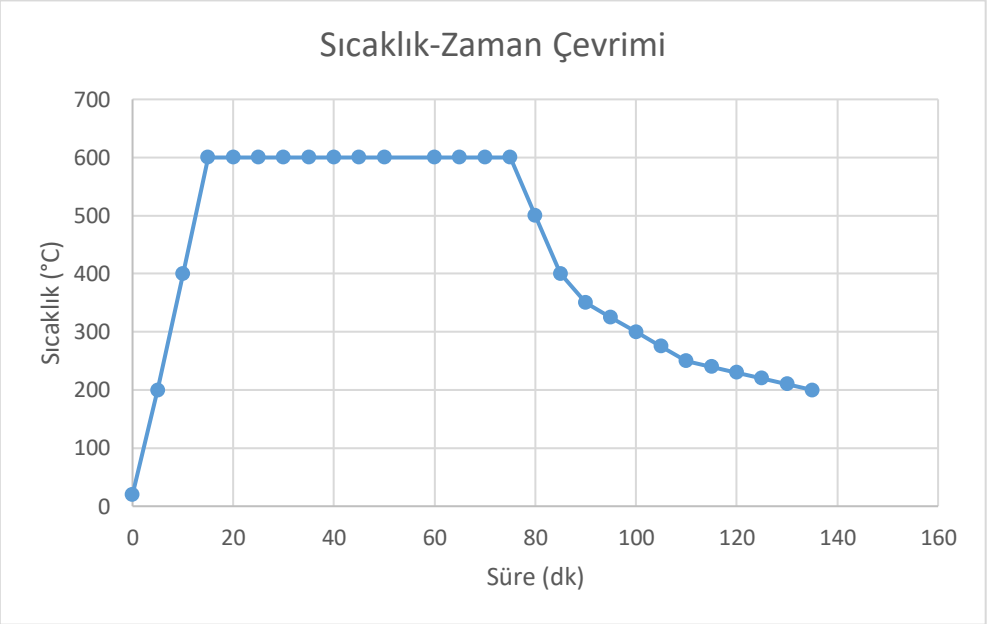
Soğuma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler kalıptan çıkarılmış ve sistematik olarak işaretlenmiştir.



Şekil 2.5. Sıcak takım iş çeliği kalıp içerisine yerleştirilmiş numunelerin şematik görüntüsü



Şekil 2.6. Toz dağıtma aparatı ile Alüminyum levha üzerine tozların uniform yayılması



Şekil 2.7. Kompozit malzemelerin üretim sıcaklık-zaman çevrim grafiği

2.3. Sertleştirme Mekanizması

Sertleştirme mekanizmaları malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılırlar. Bu malzemeler arasında Alüminyum alaşımları da yer almaktadır. Fakat bazı Alüminyum alaşımları ısıl işlemle sertleşmezler. Sadece Alüminyum 2XXX, 6XXX ve 7XXX serileri ısıl işlem uygulanması sonucu mekanik özelliklerinde iyileşme gözlenebilir. Al 6061 serisine sıklıkla iki tip ısıl işlem uygulanır, bunlar T4 (doğal yaşlandırma) ve T6 (yapay yaşlandırma) olarak adlandırılır.

2.3.1. Sertleştirme Mekanizması Adımları

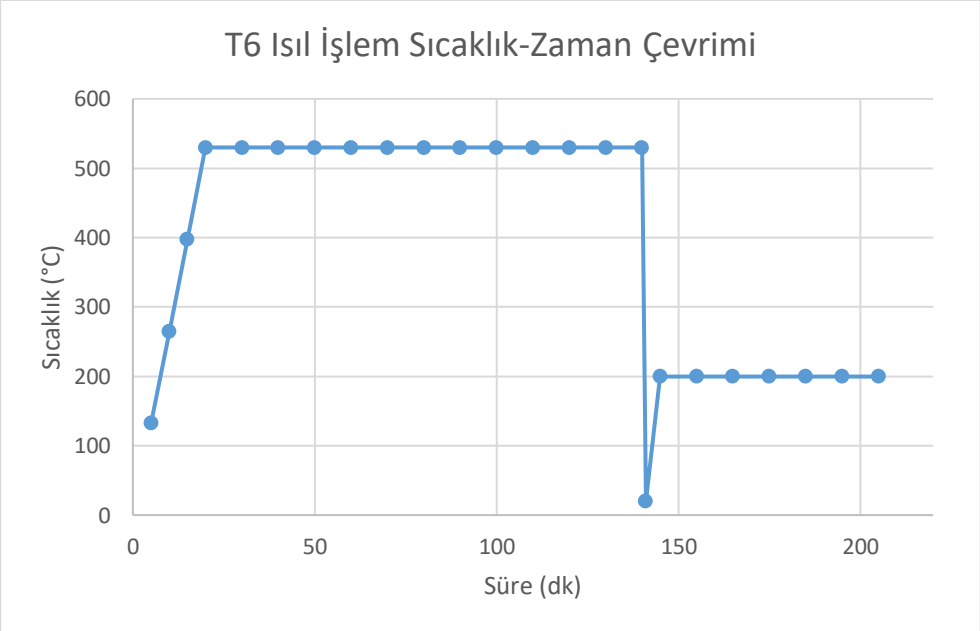
Alüminyum malzemelere uygulanan ısıl işlemler genelde üç adımdan oluşur. Bunlar; çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma olarak adlandırılır.

Çözeltiye alma: Bu işlemde alaşım içerisinde bulunan bakır ve magnezyum gibi bileşiklerin çözünürlüğünün yüksek olduğu solidüs sıcaklığı üzerindeki bir sıcaklığa çıkarılarak bu elementlerin katı hal çözünürlüğünün arttırılması amaçlanır.

Su verme: Su verme işleminde alaşım aniden soğutularak alaşım içinde çözünmüş elementlerin çökelmesinin önüne geçilmektedir.

Yaşlandırma: Isıl işlemin son adımı olan yaşlandırmada ise kararlı çökeltiler oluşturarak mekanik özelliklerin iyileşmesi hedeflenmektedir. Bu süreç bir fırın içerisinde belirli bir süre ve sıcaklık altında gerçekleştirilirse yapay yaşlandırma (T6), oda sıcaklığında gerçekleştirilirse doğal yaşlandırma (T4) olarak isimlendirilir.

Bu çalışma kapsamında Alüminyum 6061 kullanılmasından ötürü kompozite T6 ısıl işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2.8. Kompozit malzemeye uygulanan ısıl işlem sıcaklık-zaman çevrim grafiği

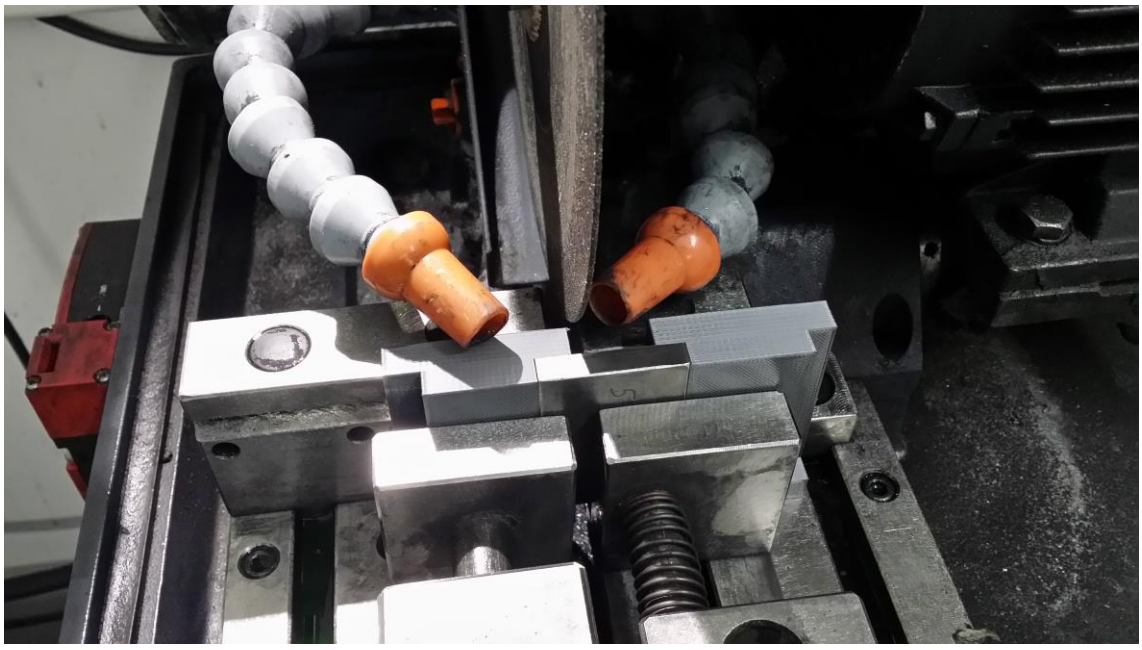
Kompozit malzeme 20 dakikada 530 °C sıcaklığa çıkarılmış olup 120 dakika boyunca sabit sıcaklık altında tutularak çözeltiye alma işlemi gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2.8.) Ardından fırından çıkarılan numunelere ani su verilerek sıcaklık aniden düşürülmüş ve alaşım içinde çözünen elementlerin çökelmesinin önüne geçilmiştir. Sonrasında sertlik ve mukavemet gibi özelliklerin iyileştirilmesi için T6 yapay yaşlandırması 60 dakika süresince 200 °C sıcaklıkta uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan iki Alüminyum alaşımı tek kompozitte kullanıldığı için ısıl işlem esnasında herhangi bir çarpılmanın önüne geçebilmek için kompozit numuneler iki kenarından çelik lama ile sabitlenmiştir ve bu sayede malzemenin çarpılması önlenerek boyutsal kararlılık sağlanmıştır. (Şekil 2.9.)



Şekil 2.9. Isıl işlem için sabitlenen kompozit plakalar

2.4. Numune Parça Üretimi

Isıl işlem uygulandıktan sonra numuneler boyut farklılığının da mekanik karakterizasyona dahil edilebilmesi için 3 farklı boyutta olmak üzere CNC'de işlenmiştir. Ardından numuneler testere ile kesilerek nihai 8 mm x 10 mm ölçülerine getirilmiştir. (Şekil 2.10.)



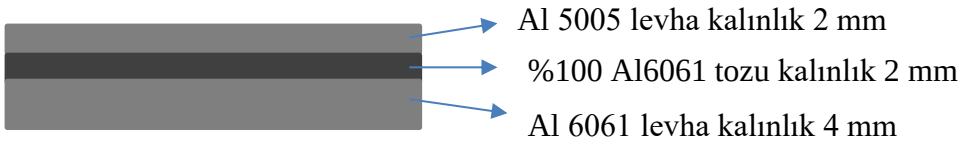
Şekil 2.10. Numunelerin testereyle kesilmesi

16 adet ısıl işlemsiz, 16 adet ısıl işlemli olmak üzere toplamda 32 adet farklı tipte numune üretilmiş ve mekanik karakterizasyon için hazırlanmıştır.

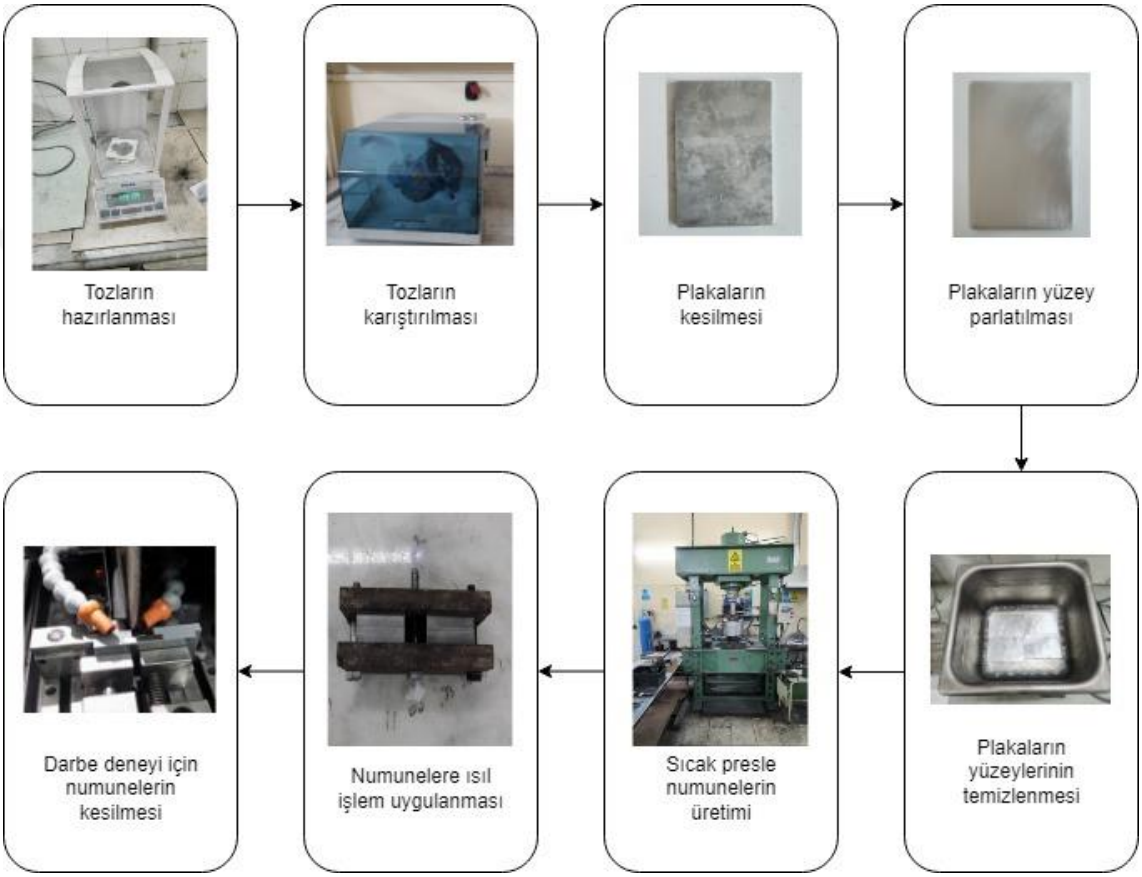
Tablo 2.5. Numune İsimlendirme Tablosu

Malzeme Numarası	Malzeme Kodu	Katman Kodu
1	5-%100Al6-6	2-2-4
2	5-%5B4C-6	2-2-4
3	5-%10B4C-6	2-2-4
4	5-%15B4C-6	2-2-4
1*	5-%100Al6-6	2-2-4
2*	5-%5B4C-6	2-2-4
3*	5-%10B4C-6	2-2-4
4*	5-%15B4C-6	2-2-4
5	5-%100Al6-6	3-2-3
6	5-%5B4C-6	3-2-3
7	5-%10B4C-6	3-2-3
8	5-%15B4C-6	3-2-3
5*	5-%100Al6-6	3-2-3
6*	5-%5B4C-6	3-2-3
7*	5-%10B4C-6	3-2-3
8*	5-%15B4C-6	3-2-3
9	5-%100Al6-6	4-2-2
10	5-%5B4C-6	4-2-2
11	5-%10B4C-6	4-2-2
12	5-%15B4C-6	4-2-2
9*	5-%100Al6-6	4-2-2
10*	5-%5B4C-6	4-2-2
11*	5-%10B4C-6	4-2-2
12*	5-%15B4C-6	4-2-2
13	%100Al6	8
14	%10B4C	8
15	6-%100Al6	4-4
16	6-%10B4C	4-4
13*	%100Al6	8
14*	%10B4C	8
15*	6-%100Al6	4-4
16*	6-%10B4C	4-4

İsimlendirme tablosunda “Malzeme Kodu” sırasıyla numunedeki malzeme isimlerini ve içeriğini belirtmektedir. (Tablo 2.5.) “Katman Kodu” ise malzeme kalınlıklarını mm cinsinden, malzeme numarası ise sırayla verilmiş olup sonunda “*” işareti olanlar T6 ısıl işleme tabii tutulmuş numuneleri ifade etmektedir.



Şekil 2.11. 1 numaralı 5-%100Al6-6 kodlu numune kesit görseli



Şekil 2.12. Üretim şematiği

Hazırlanan kompozitlerin üretim süreci toplamda 8 adımdan oluşmaktadır. (Şekil 2.12.)

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Giriş

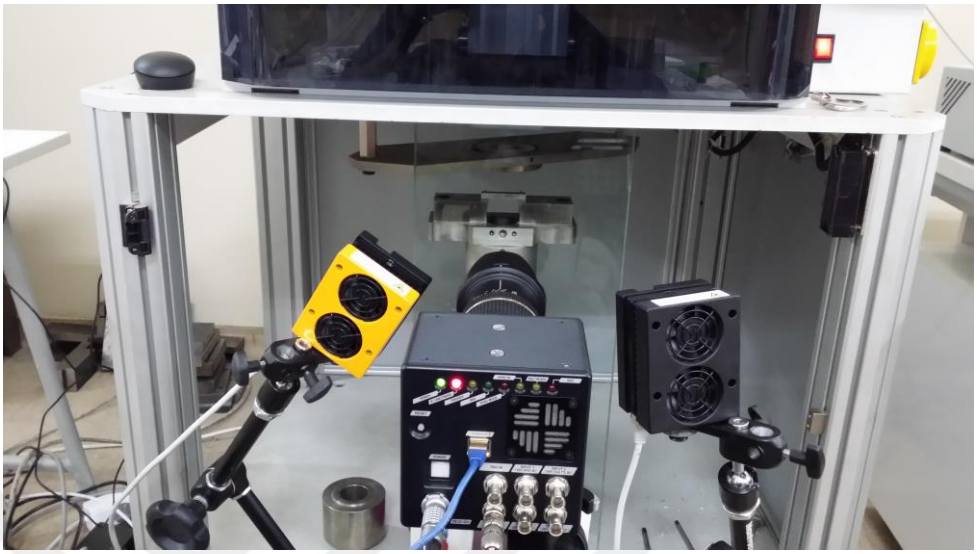
Hibrit kompozit plakaların mekanik karakterizasyonunu belirlenebilmesi için çentiksiz darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Malzemelerdeki üretim değişkenleri; katman kalınlıkları, katmanlardaki malzeme tipleri ve B_4C oranlarıdır. Yapılan çentiksiz darbe testlerine bağlı olarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen numunelerde ara yüzey bağlantılarının incelenebilmesi için makro görüntüler alınmış ve uygulanan T6 yaşlandırma işleminin etkilerini gözlemleyebilmek için darbe testlerine mikrosertlik ölçümleri eşlik etmiştir. Tüm bu değerler birlikte değerlendirilmiştir.

3.2 Mekanik Karakterizasyon

3.2.1. Darbe Testleri

Darbe testleri ASTM E23 standardına göre yapılmıştır. Bu test için standartta yer alan değere göre 8 mm x 10 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Testler 50 J enerji ile Fractovis Plus marka darbe test cihazı kullanılarak yapılmıştır. (Şekil 3.1.) Testin esası iki çene arasına sabitlenen numuneye vurucu bir başlığın çarptırılmasına dayanmaktadır. Bu çarptırılma esnasında veriler toplanarak değerlendirmeler gerçekleştirilir. Yapılan bu darbe testinde sonuçlar; malzeme katman kalınlıklarına, katman yönüne ve malzeme

içeriğinin değişimine göre incelenmiş kuvvet-zaman grafikleri çizilmiş, yüksek hızlı kameralarla kayıt alınarak grafikler bu kayıtlarla eşleştirilmiş ve yorumlanmıştır.



a)

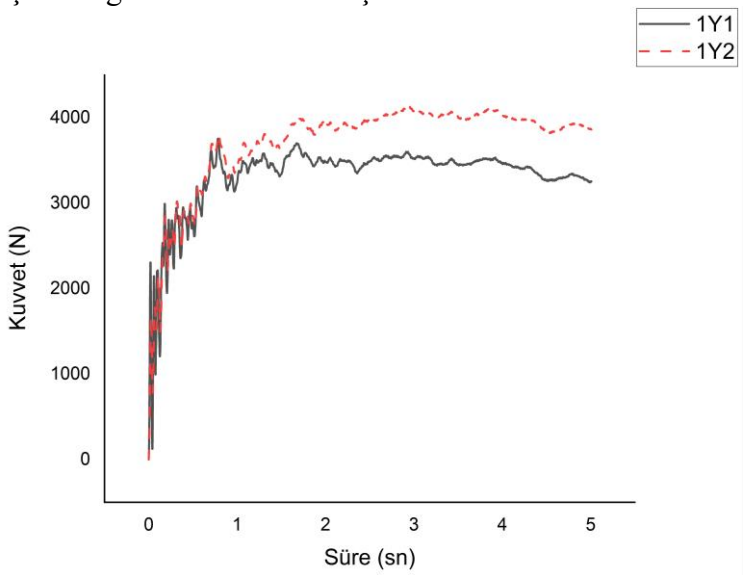


b)

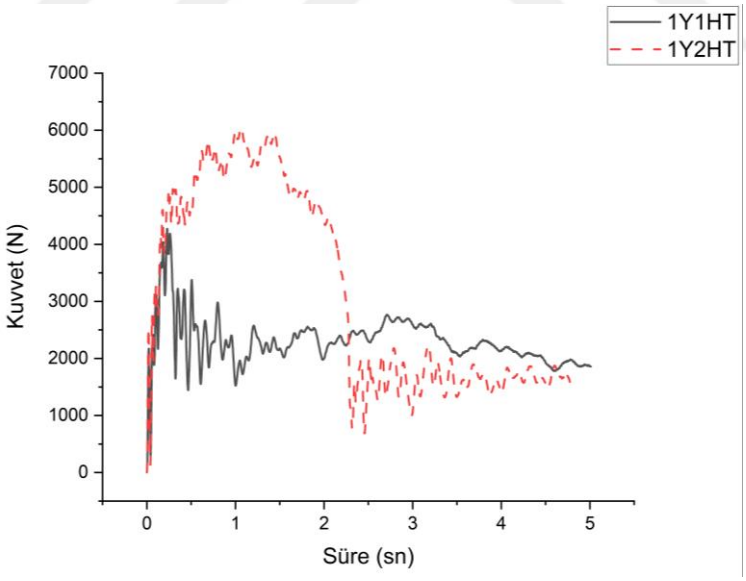
Şekil 3.1. a) Darbe test cihazı tertibatı ve yüksek hızlı kamera, b) Darbe test cihazı

3.2.1.2 Darbe Testi Kuvvet-Zaman Çevrim Grafikleri

Kompozit malzemelere uygulanan darbe testleri sonunda malzemenin kırılmadan mukavemet gösterebildiği noktayı gözlemleyebilmek için malzemeye uygulanan temas kuvvetleri-süre çevrim grafikleri incelenmiştir.

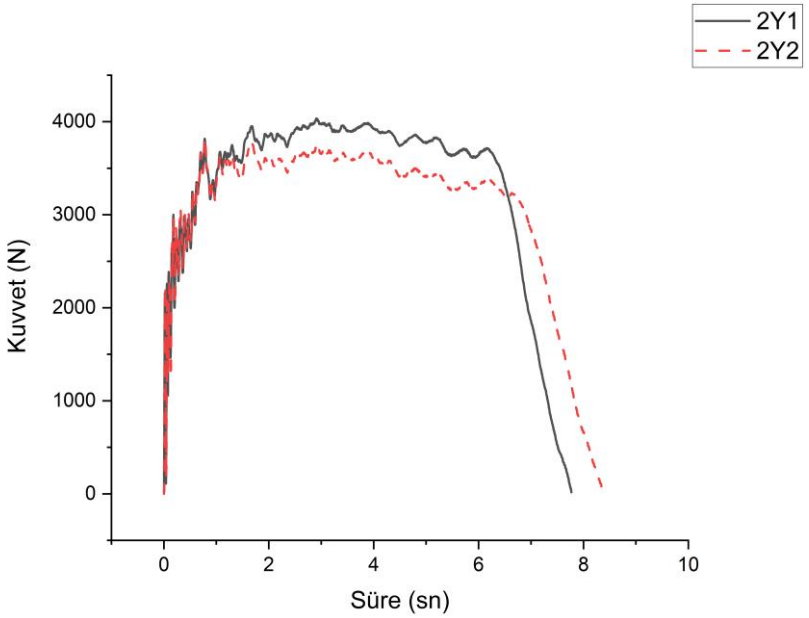


a)

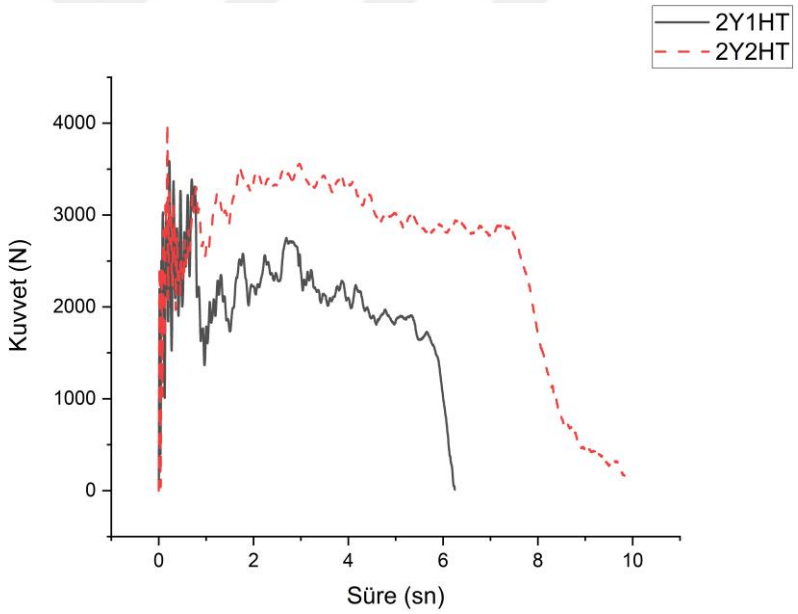


b)

Şekil 3.2. 1 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

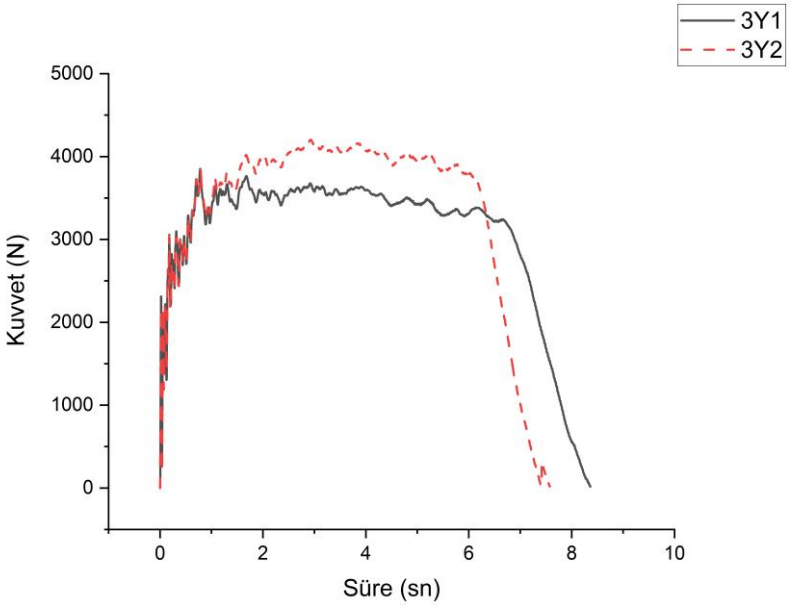


a)

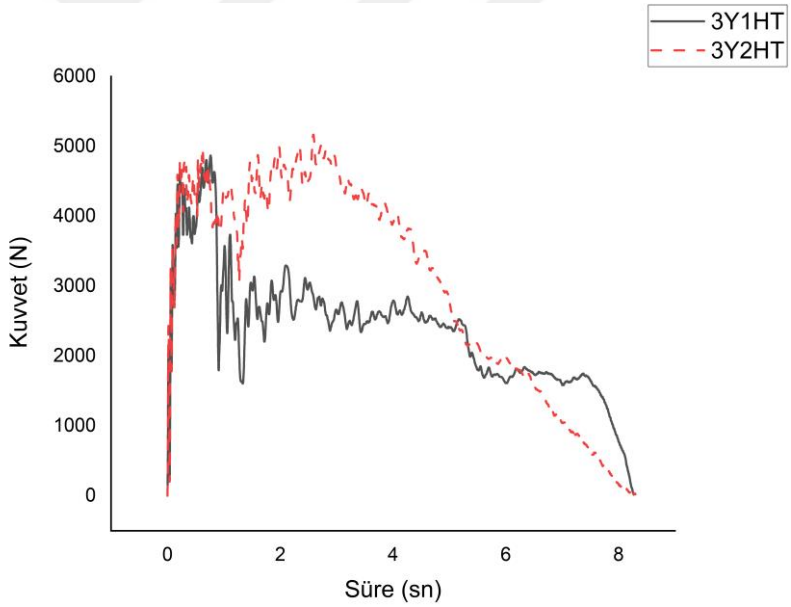


b)

Şekil 3.3. 2 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

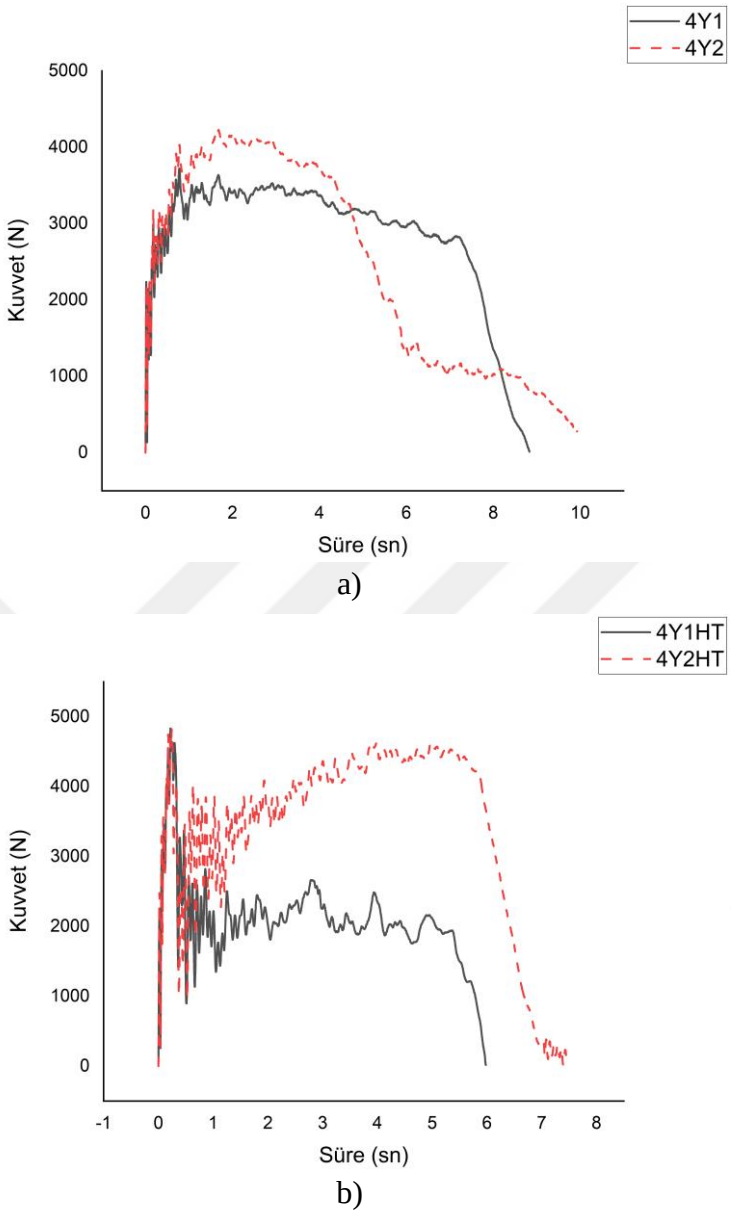


a)



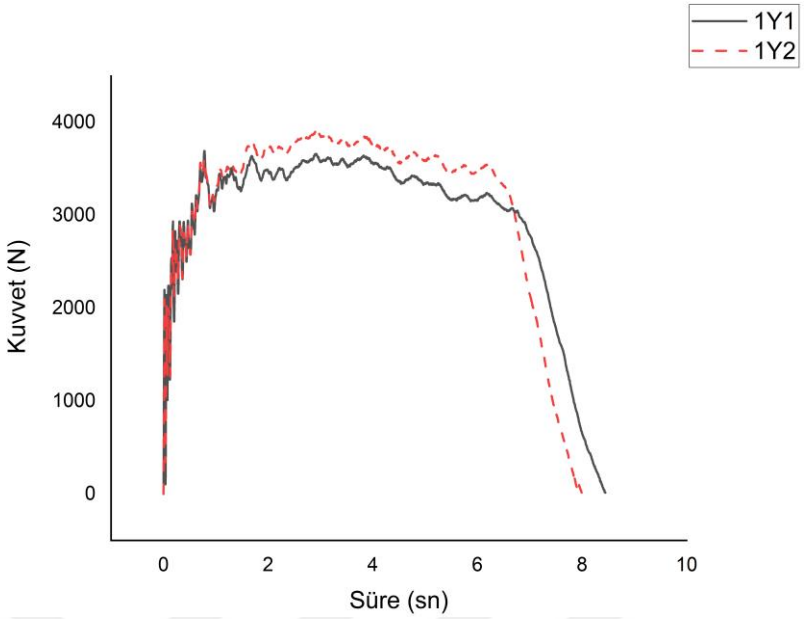
b)

Şekil 3.4. 3 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

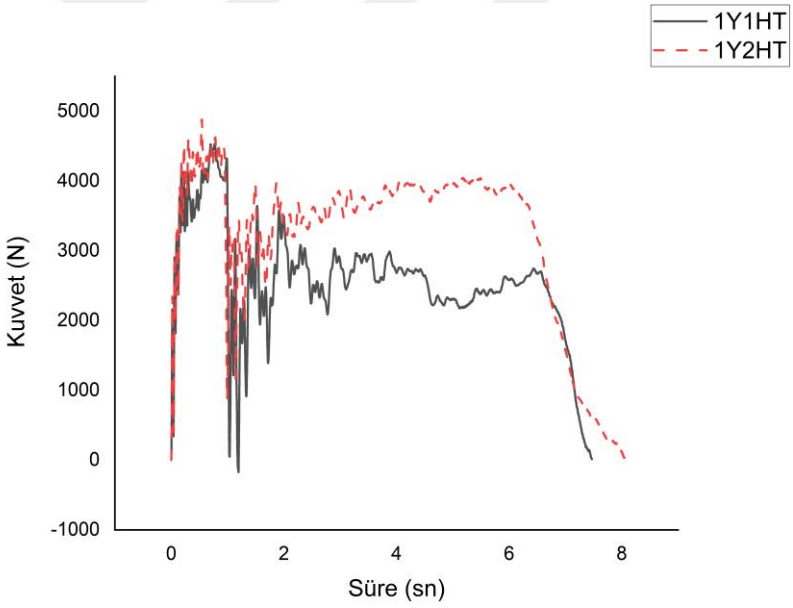


Şekil 3.5. 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrimleri incelendiğinde (Şekil 3.2., Şekil 3.3., Şekil 3.4., Şekil 3.5.) ısıl işlemsiz kompozitlerin gösterdiği maksimum kuvvet davranışına yönün etkisi olmamaktadır. Fakat ısıl işlem uygulanmış kompozitlerde grafik incelendiğinde Y2 darbe yönlü kompozitler Al 6061'in yüksek sertlik özelliğinden dolayı daha yüksek maksimum darbe kuvveti değerlerine çıkmışlardır.

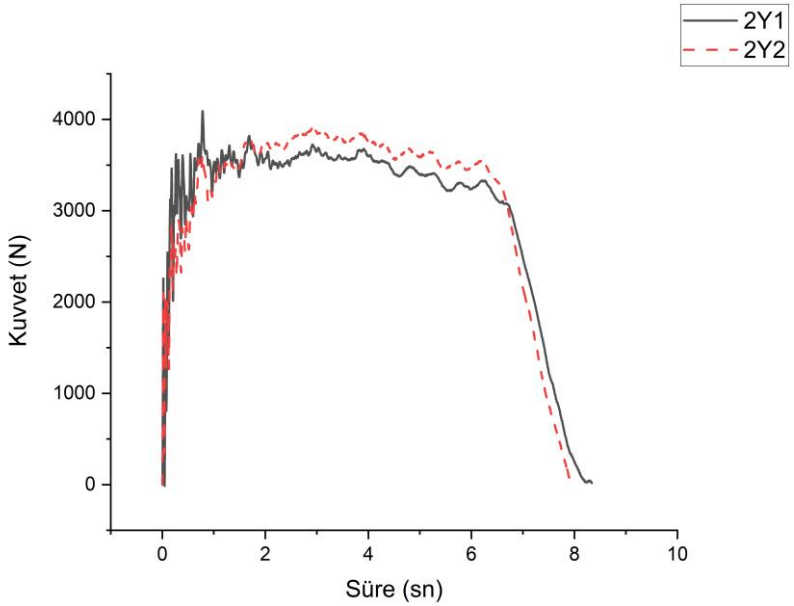


a)

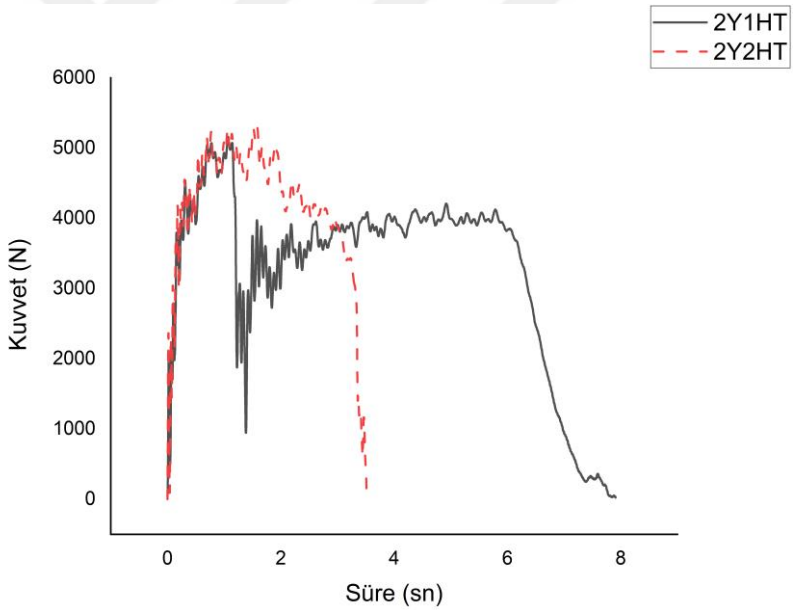


b)

Şekil 3.6. 5 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

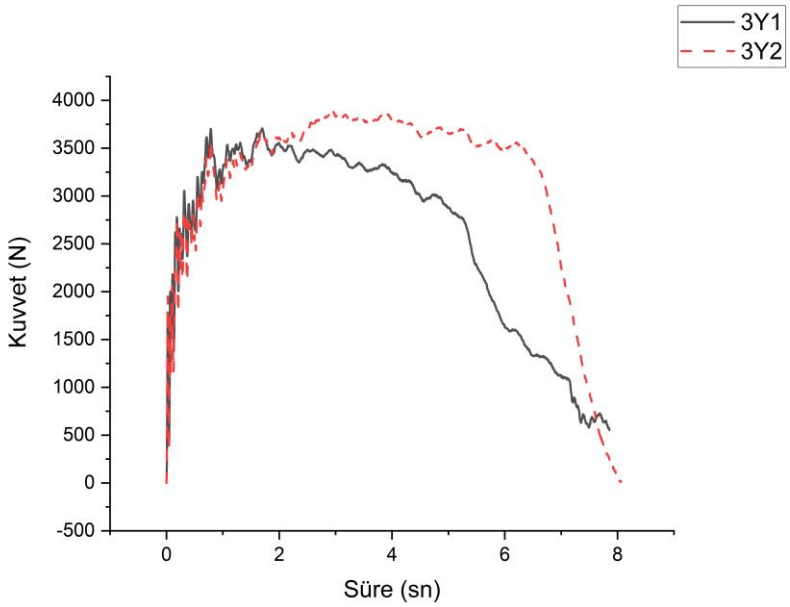


a)

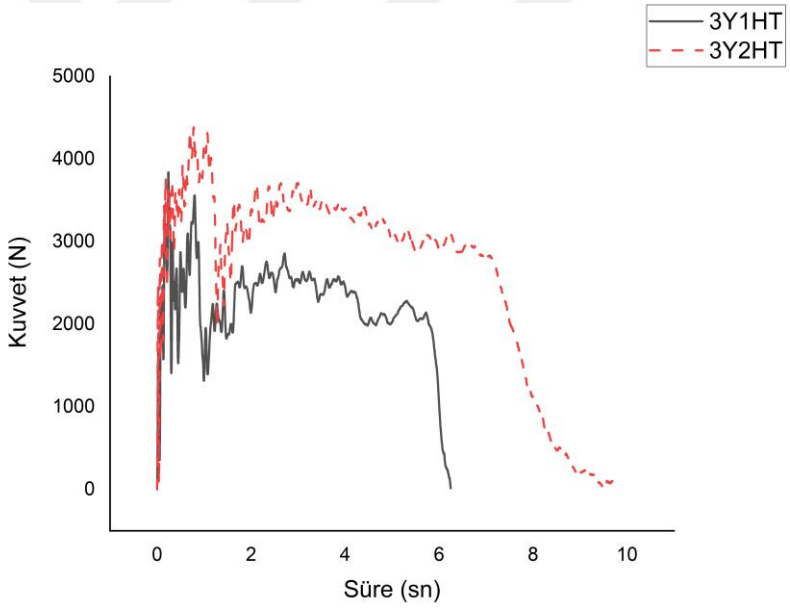


b)

Şekil 3.7. 6 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

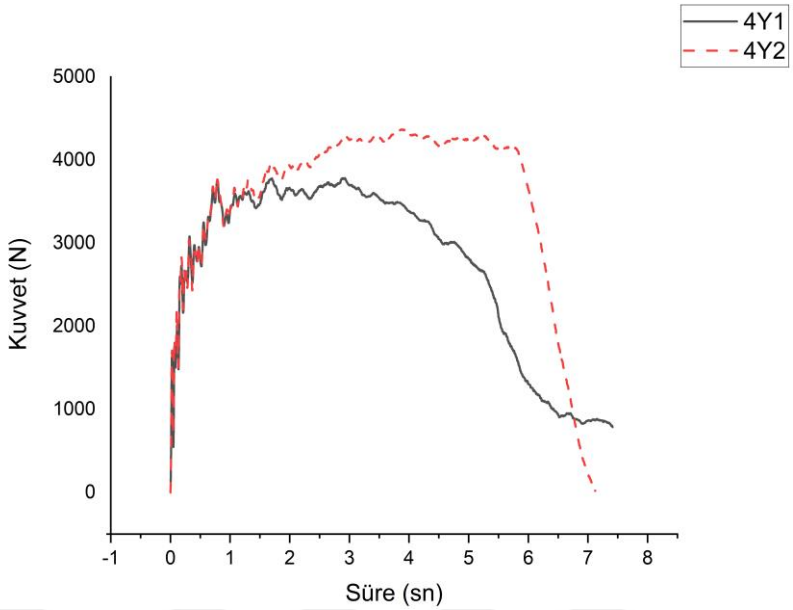


a)

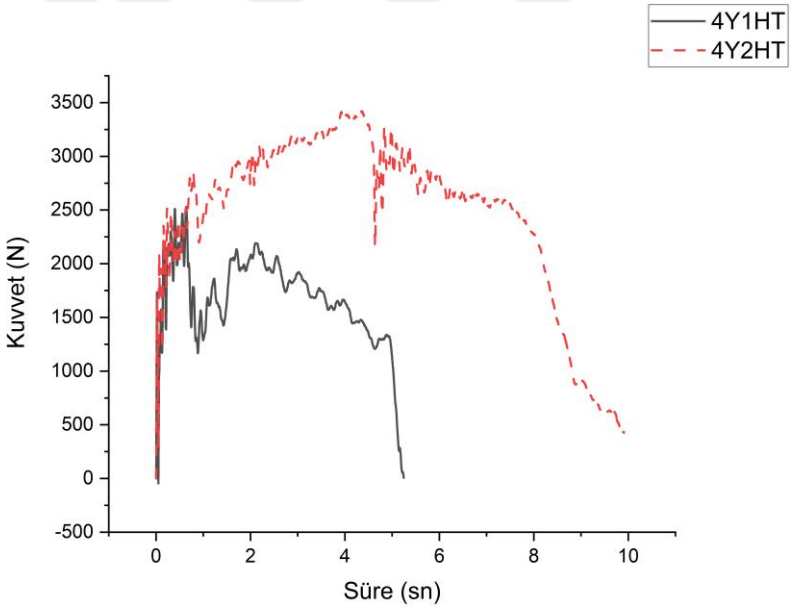


b)

Şekil 3.8. 7 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli



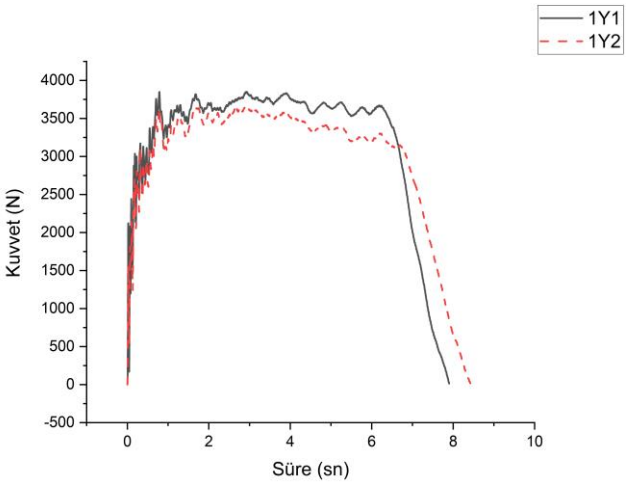
a)



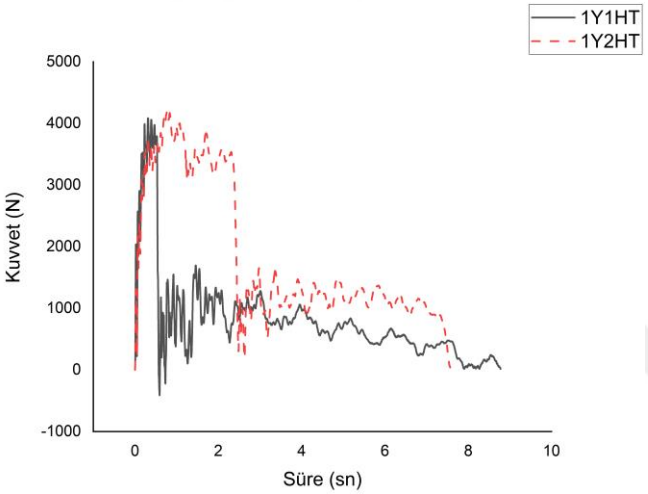
b)

Şekil 3.9. 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

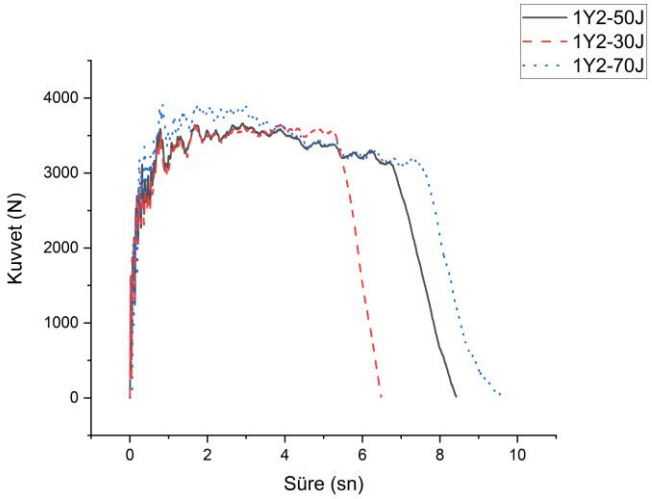
5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrimi grafiklerinde (Şekil 3.6., Şekil 3.7., Şekil 3.8., Şekil 3.9.) ısıl işlem uygulanmayan numunelerde yön değişimleri darbe dayanımlarına etki etmezken, ısıl işlem uygulanan numunelerde arayüzey ayrılmaları kaynaklı grafikler stabil değildir ve tüm kompozitlerin darbe dayanımları azalmıştır.



a)

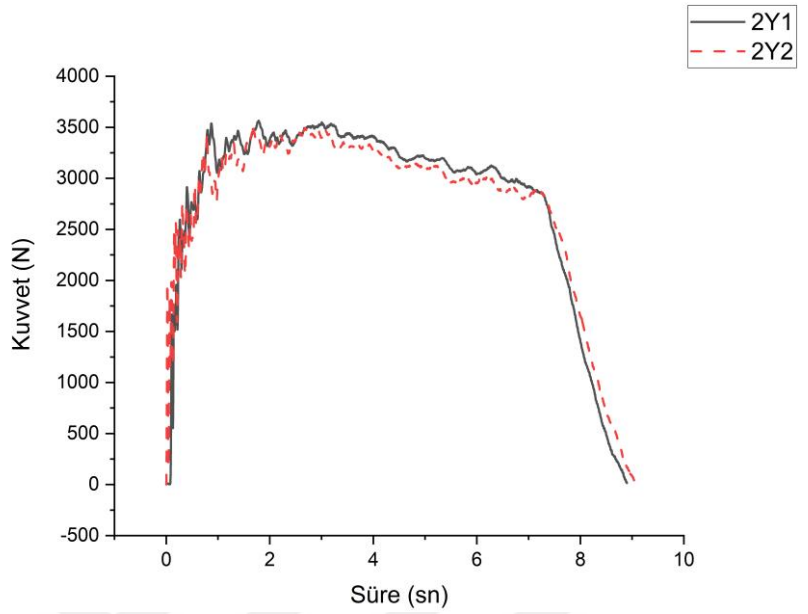


b)

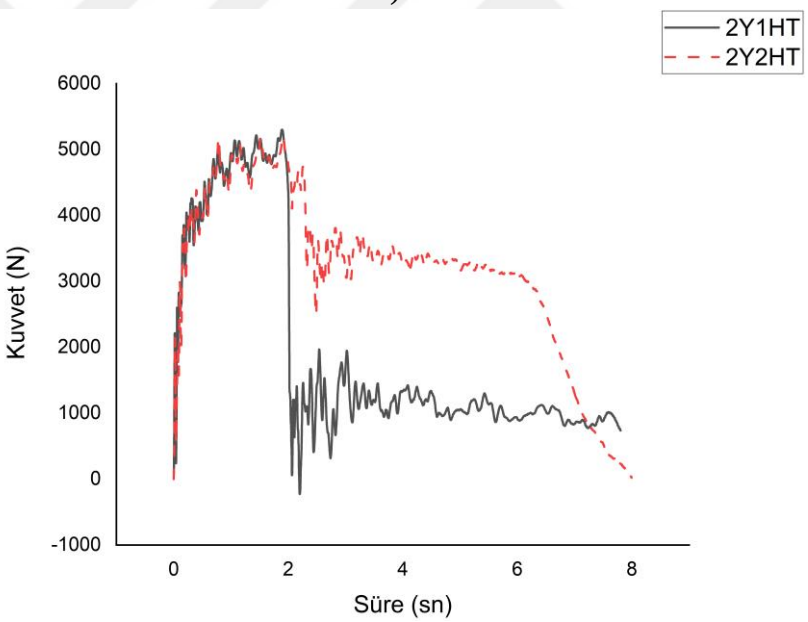


c)

Şekil 3.10. 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli, c) Y2 yönünden 30J, 50J ve 70J enerji değerleriyle

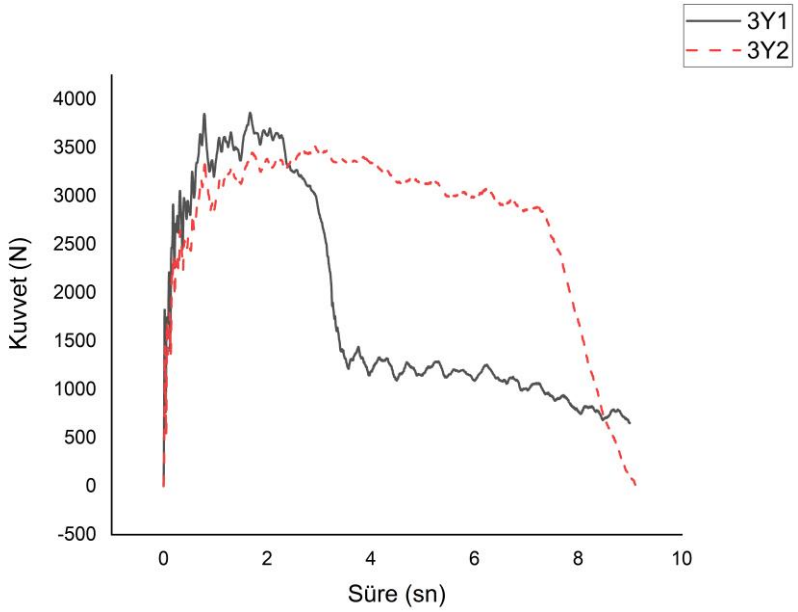


a)

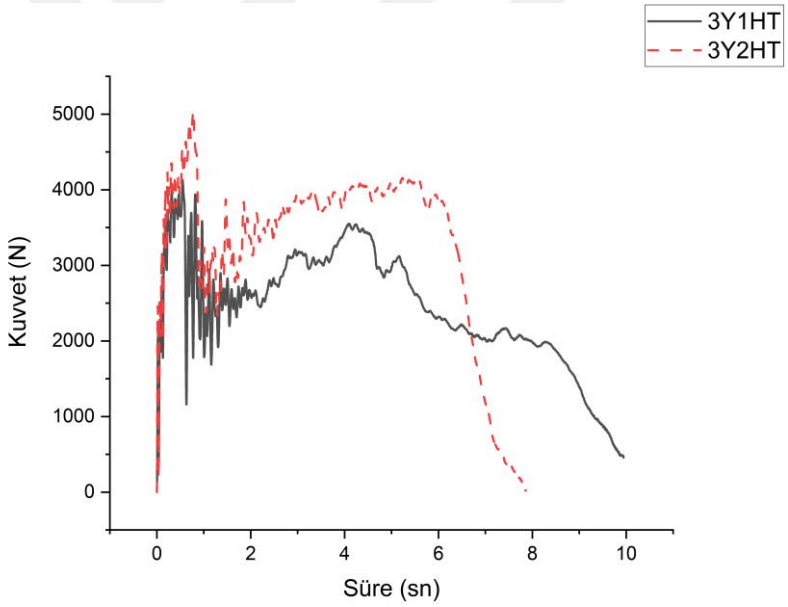


b)

Şekil 3.11. 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

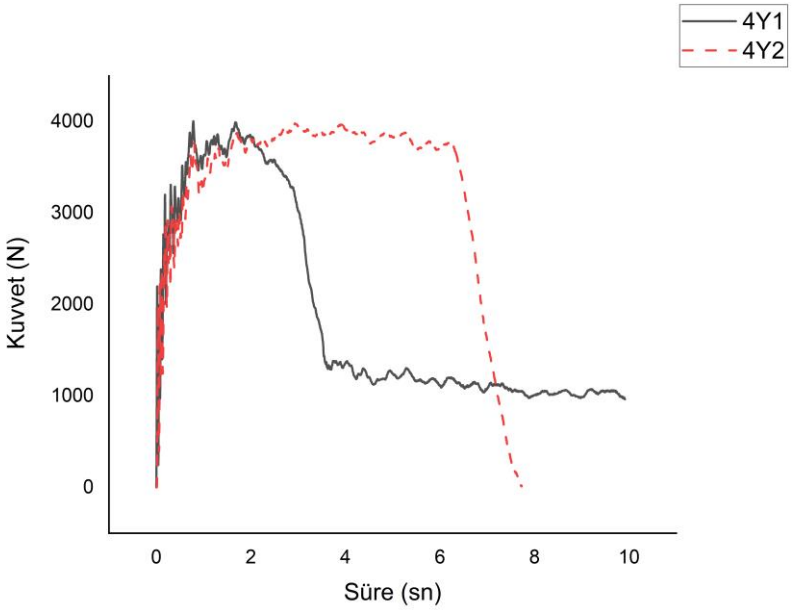


a)

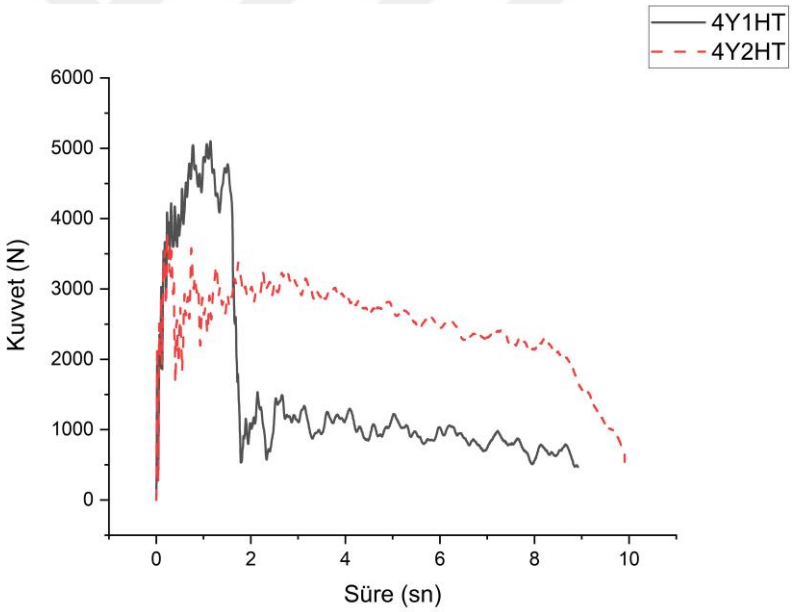


b)

Şekil 3.12. 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli



a)

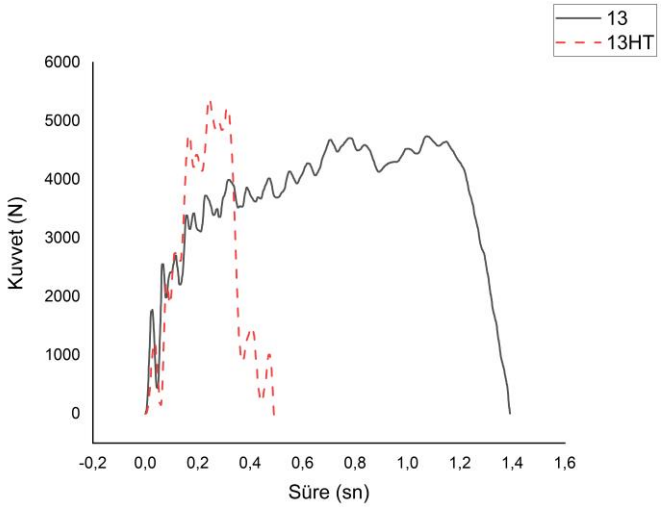


b)

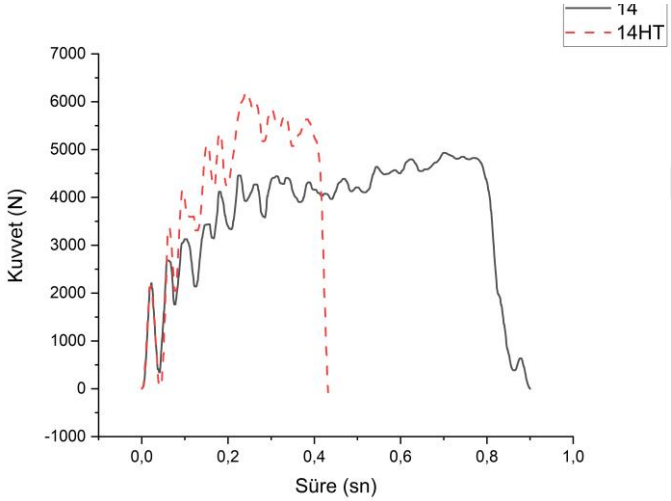
Şekil 3.13. 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri incelendiğinde ısıl işlemsiz 9 ve 10 numaralı kompozitlerin grafiklerinde yönün etkisi olmadığı, fakat (Şekil 3.10., Şekil 3.11.) 11 ve 12 numaralı kompozitlerin grafiklerinde Y1 yönünden darbede Al 6061 malzemesi 2 mm olduğu için darbe kuvvetini uzun süre taşıyamadığı

görülmektedir. (Şekil 3.12., Şekil 3.13.) Isıl işlemli kompozitlerde ise diğer tüm kompozitlerdeki gibi arayüzey bağı kaynaklı stabil olmamaktadır.

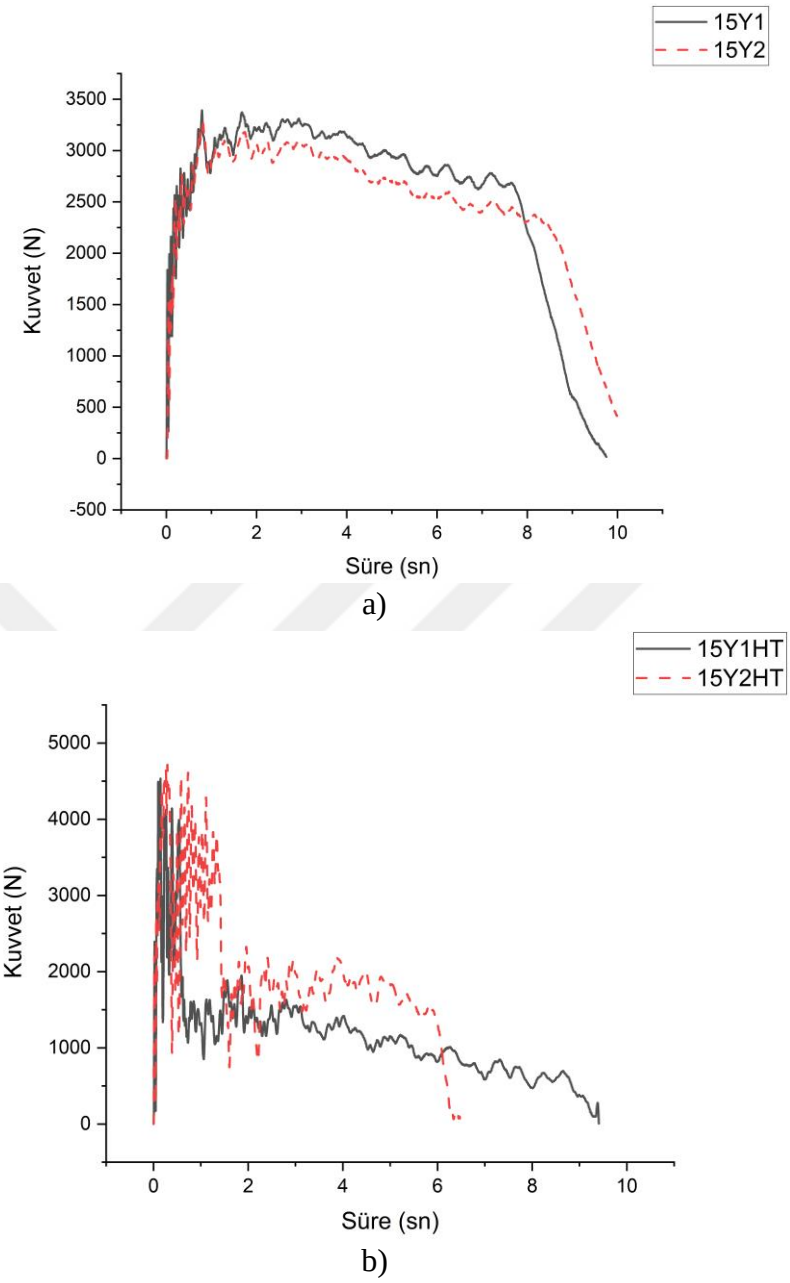


Şekil 3.15. 13 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri



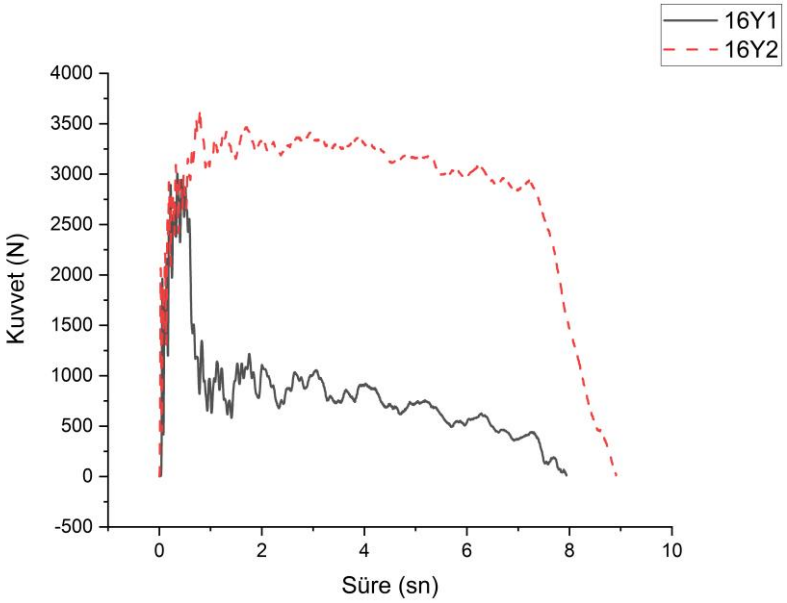
Şekil 3.14. 14 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri

13 ve 14 numaralı kontrol grubu kompozitlerinin kuvvet-zaman çevrim grafiklerinde kompozitlerin yüksek anlık darbe yüküne çıkabildiğini fakat bu yükleri 0,9 ve 1,4 saniyeden fazla taşıyamadığını göstermektedir. (Şekil 3.14., Şekil 3.15.) Ham olarak elde edilen 13 numaralı kompozitte B_4C bulunmadığı için darbeye faydalı etki görülmemektedir. 14 numaralı kompozitte ise %10 oranında yer alan B_4C'ün bu oranlarda ıslatma kabiliyetinin zayıflamasından dolayı tanecik bağı mukavemeti düşmekte ve bu sebeple yük taşıma kabiliyeti zayıflamaktadır.

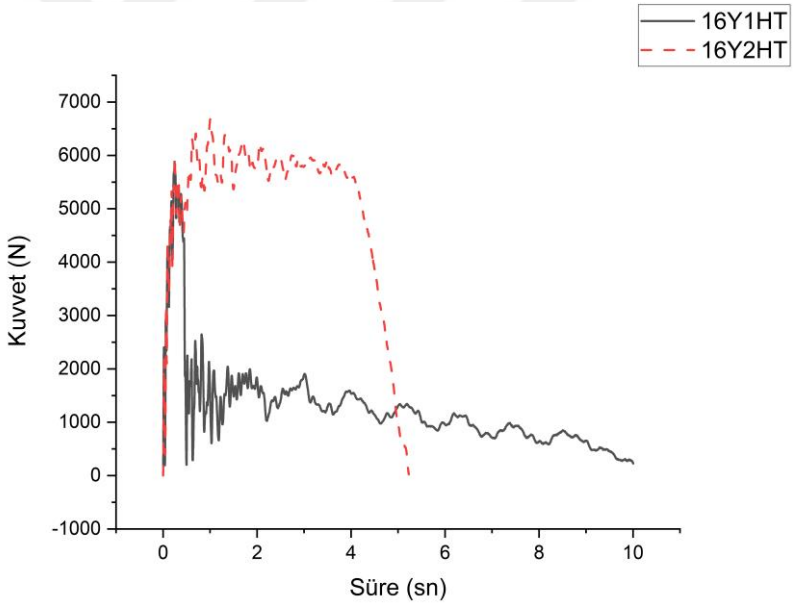


Şekil 3.16. 15 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

15 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrimlerinde ısıl işlemsiz numunelerde yön değişimi darbe kuvvetine etki etmemektedir. Isıl işlemli numunelerde ise 2 saniyede maksimum kuvvet değerlerine ulaşıldıktan sonra değerlerin aniden düştüğü gözlenmiştir. (Şekil 3.16.)



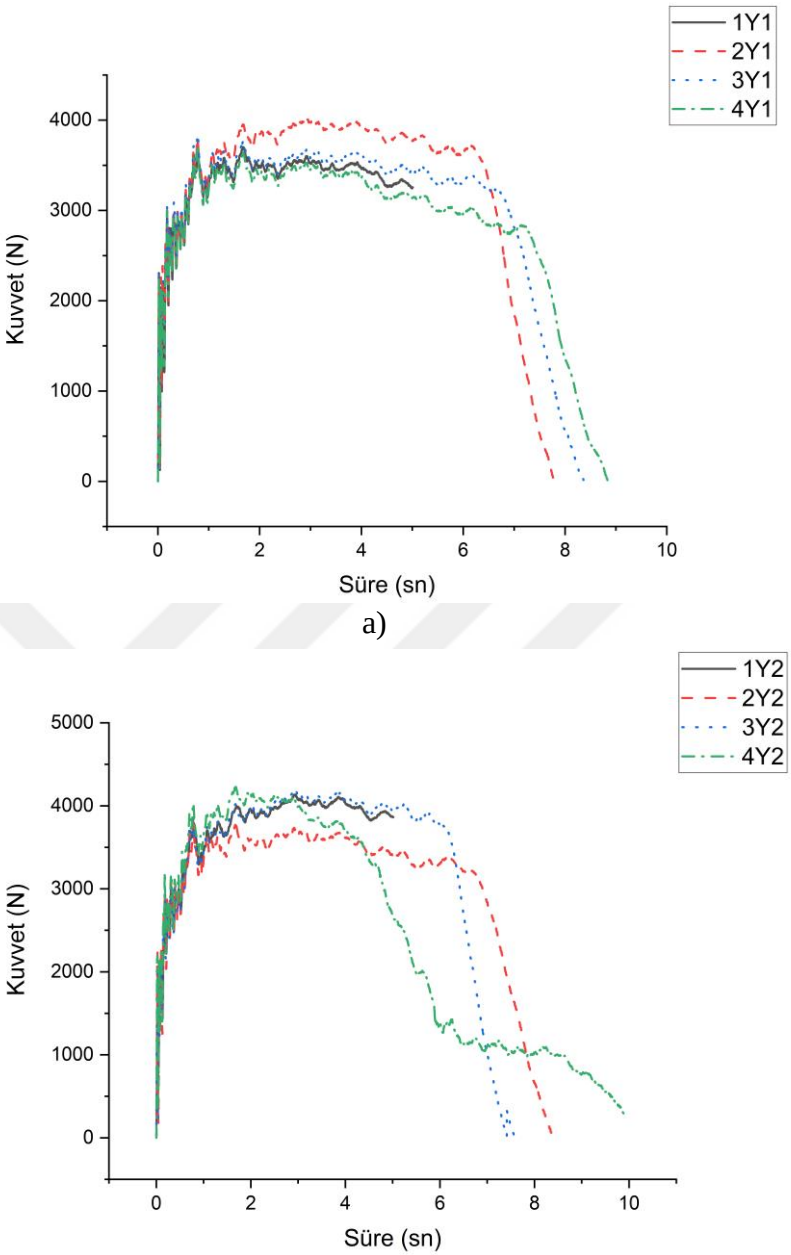
a)



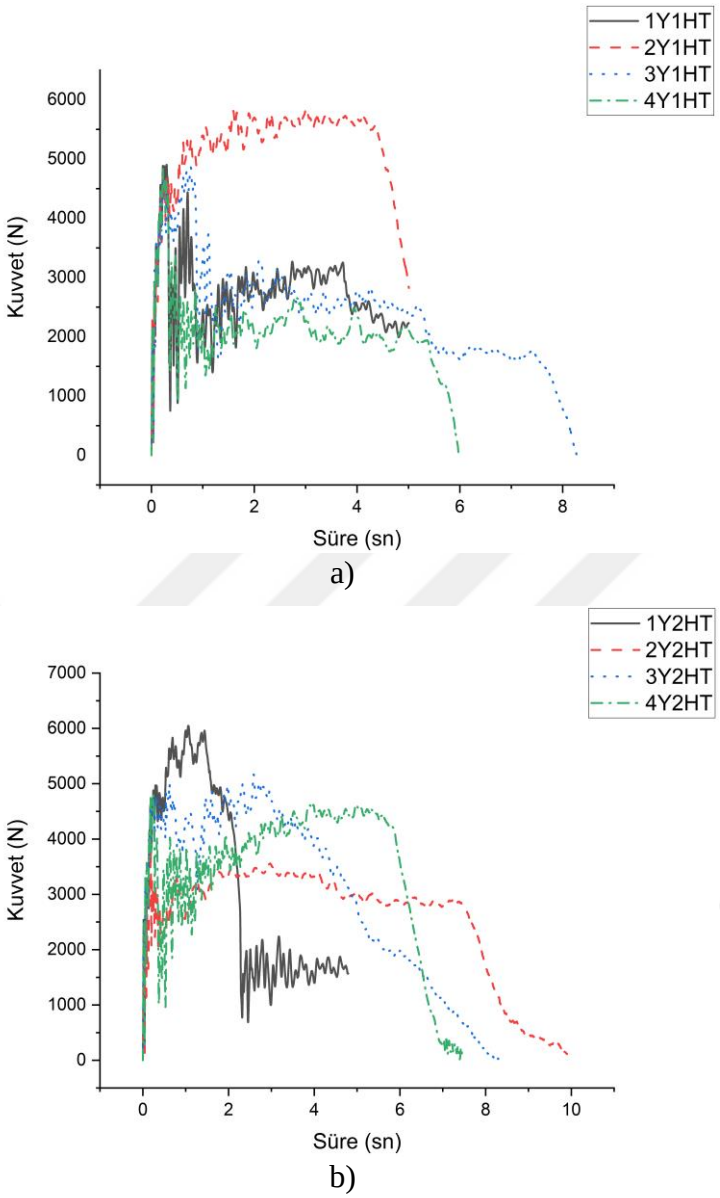
b)

Şekil 3.17. 16 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

16 numaralı kompozitlerin ısıl işlemsiz kuvvet-zaman çevrim grafiğinde Y2 yönünden alınan darbeyle Y1 yönünden alınan darbeye kıyasla maksimum kuvvet değerleri daha yüksektir. Y2 yönünde sertliğin daha fazla olması kompozitin darbe direncini ve tokluğunu arttırmaktadır. Aynı durum ısıl işlemli kompozitte de geçerli olmaktadır fakat burada ısıl işlemle arayüzey bağının kopması kompozitin daha kısa sürede kırılmasına sebep olmuştur. (Şekil 3.17.)

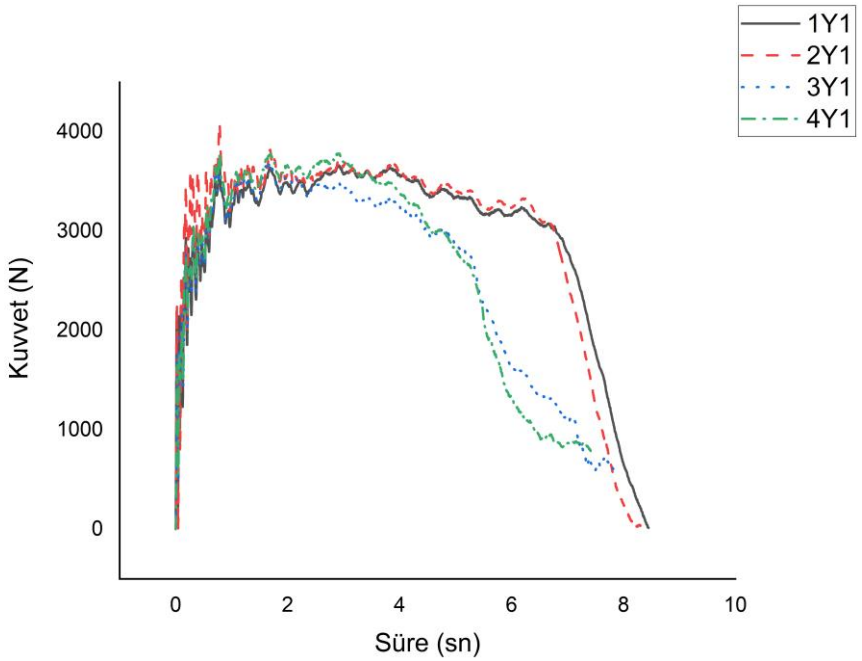


Şekil 3.18. 1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden

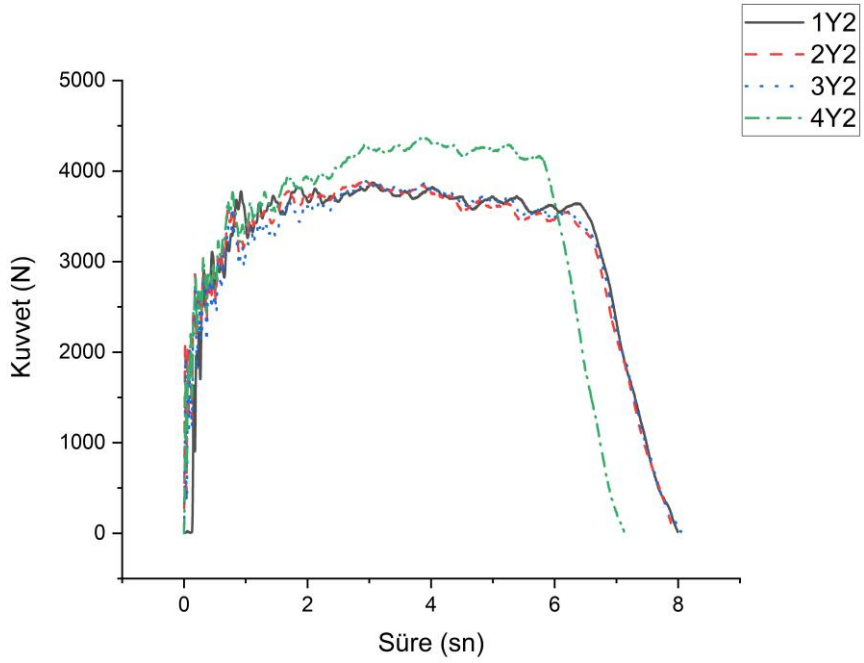


Şekil 3.19. 1, 2, 3 ve 4 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden

1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafiklerinde yön değişimlerinin maksimum kuvvete etkisinin olmadığı görülmüştür. (Şekil 3.18.) Isıl işlemli kompozitlerde ise sertliğin artmasıyla tokluk artışı gözlenmiş ve maksimum kuvvet değerleri ısıl işlemsiz kompozitlere göre daha yüksek çıkmıştır. (Şekil 3.19.)

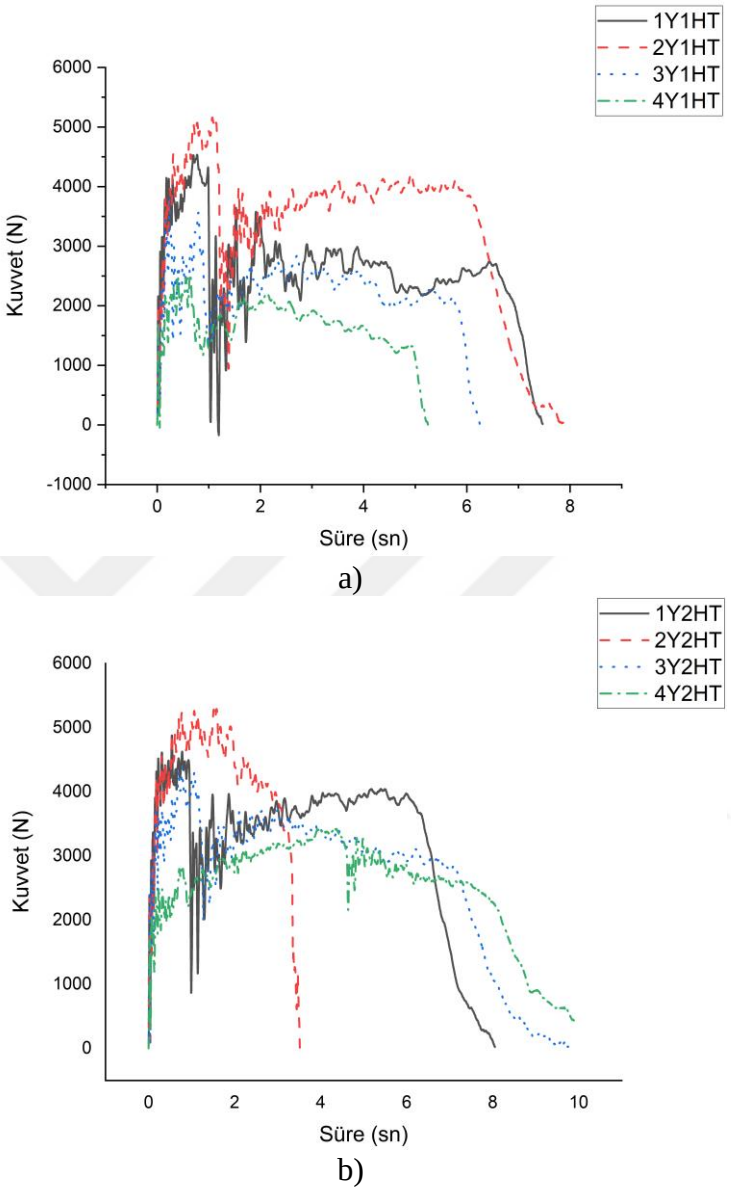


a)



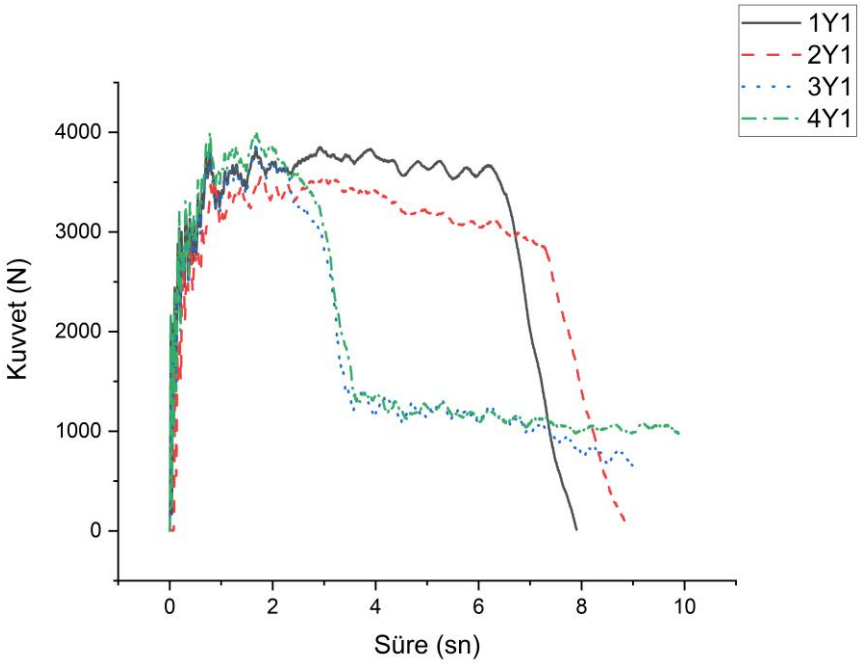
b)

Şekil 3.20. 5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden

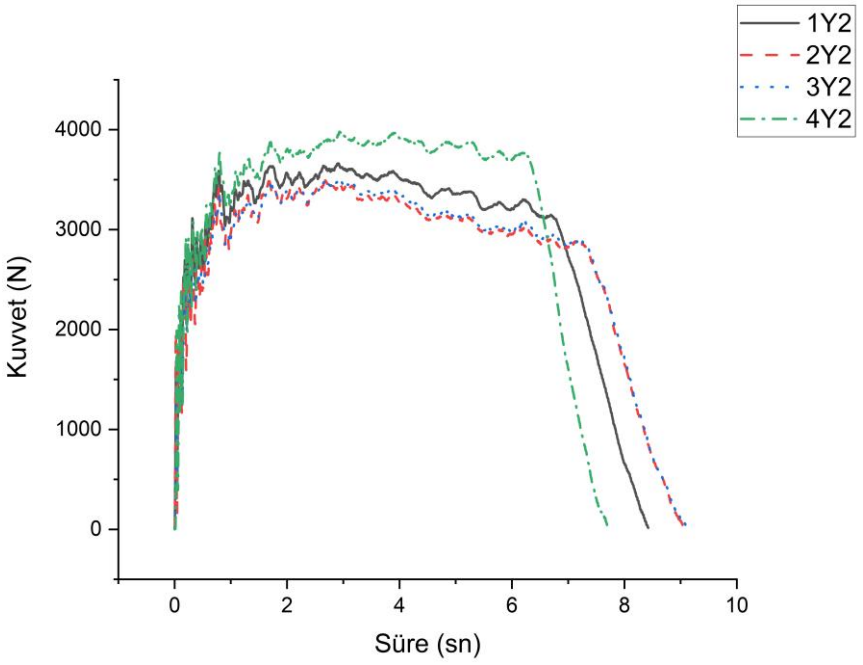


Şekil 3.21. 5, 6, 7 ve 8 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden

5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri incelendiğinde kuvvet değerleri kompozisyona bağlı değişme göstermediği görülmüştür. (Şekil 3.20.) Isıl işlemli kompozitlerde grafik eğrileri arayüzey bağlarının zayıf olması kaynaklı stabil ilerlememiştir. (Şekil 3.21.)

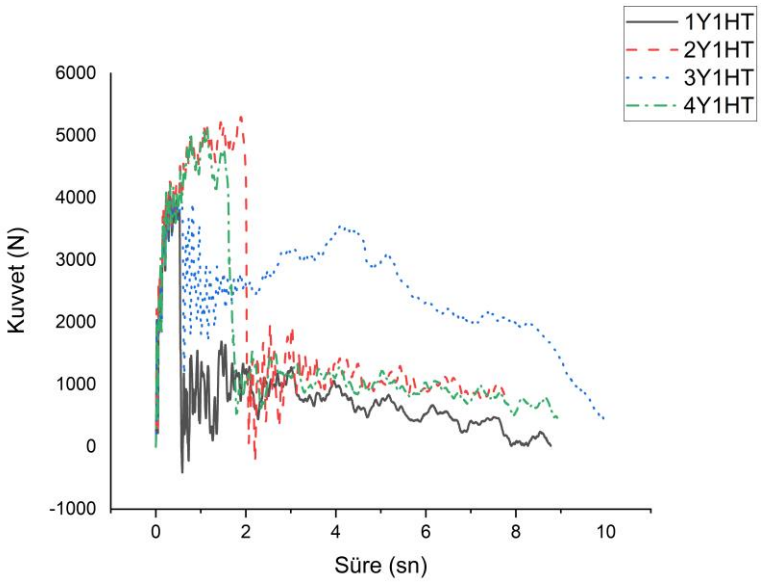


a)

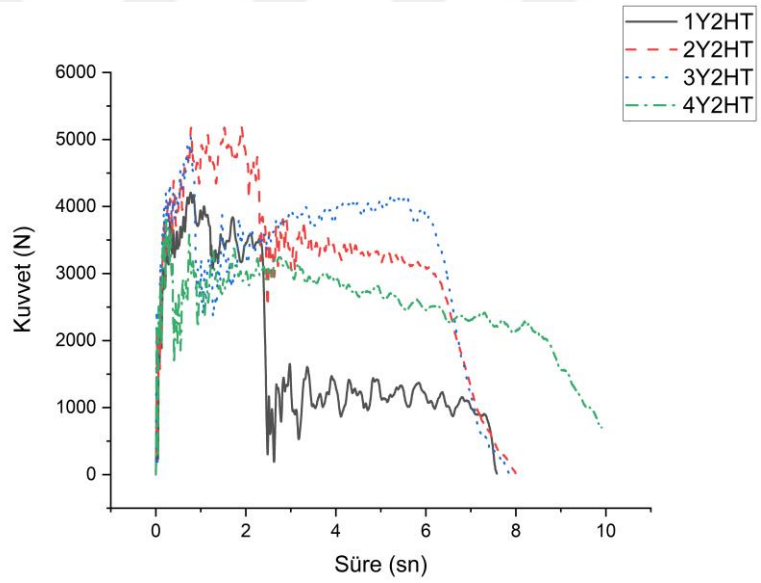


b)

Şekil 3.22. 9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden



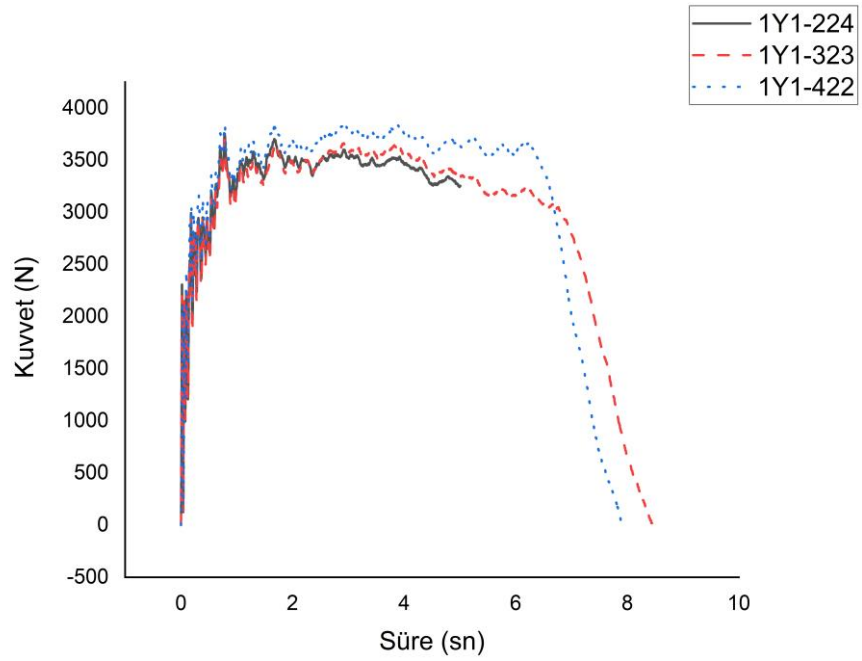
a)



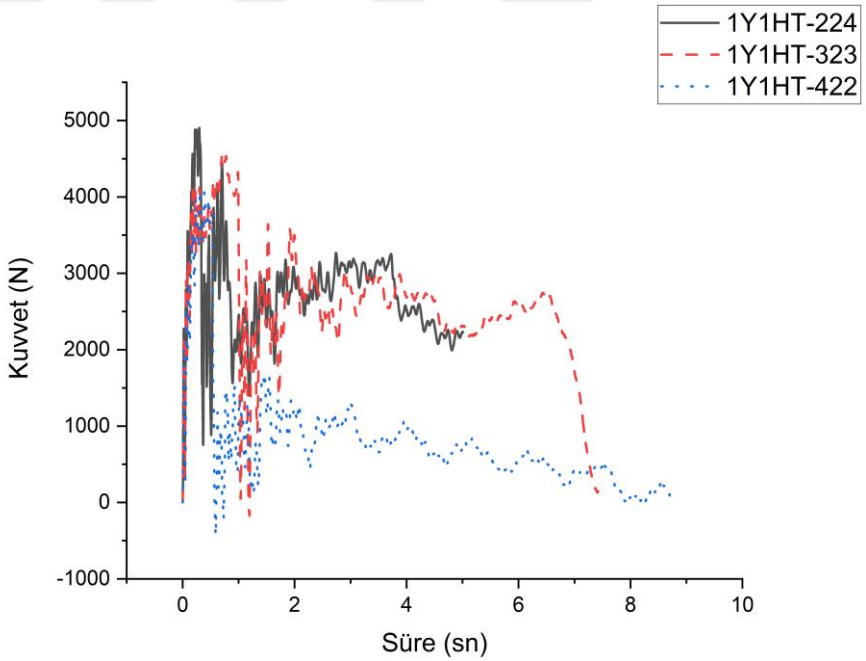
b)

Şekil 3.23. 9, 10, 11 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden

9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim eğrilerinde tüm kompozit malzemelerin maksimum kuvvet dayanımı birbirine yakın çıkmaktadır. (Şekil 3.22.) Isıl işlemli kompozitlerde maksimum kuvvet değerleri birbirinden farklı çıkmakta fakat sertleşme mekanizması kaynaklı maksimum kuvvet değerleri ısıl işlemsiz numunelerden yüksek çıkmaktadır. (Şekil 3.23.)

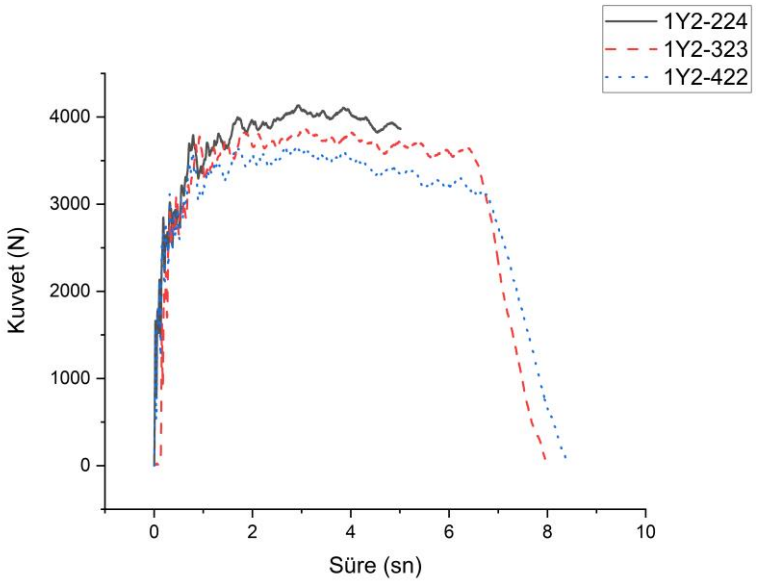


a)

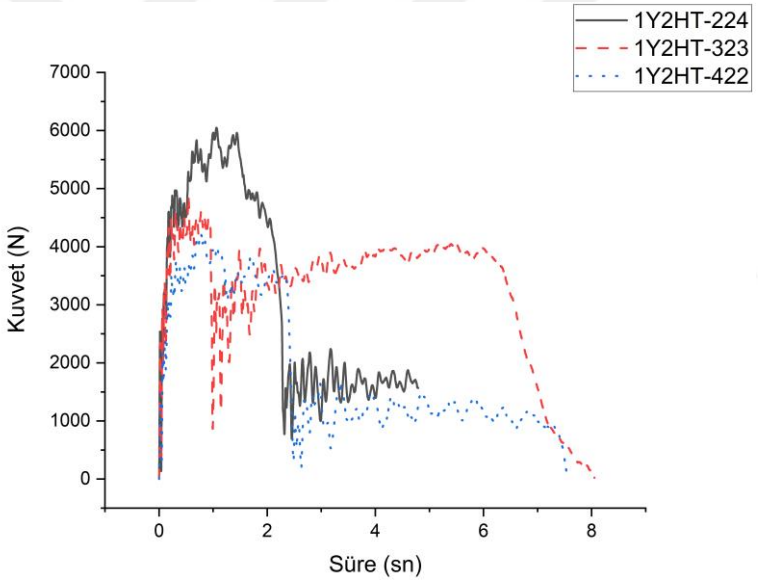


b)

Şekil 3.24. 1, 5 ve 9 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



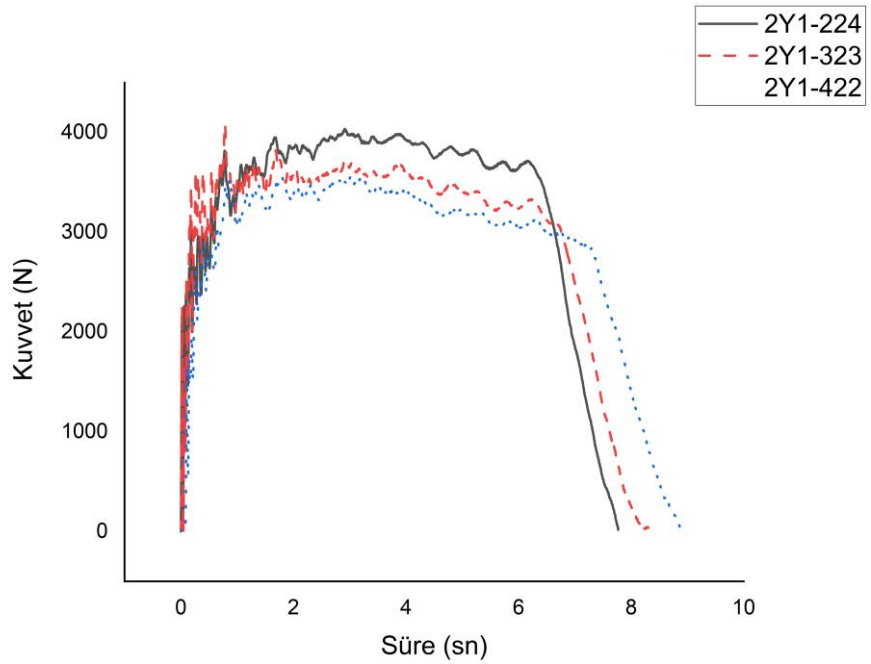
a)



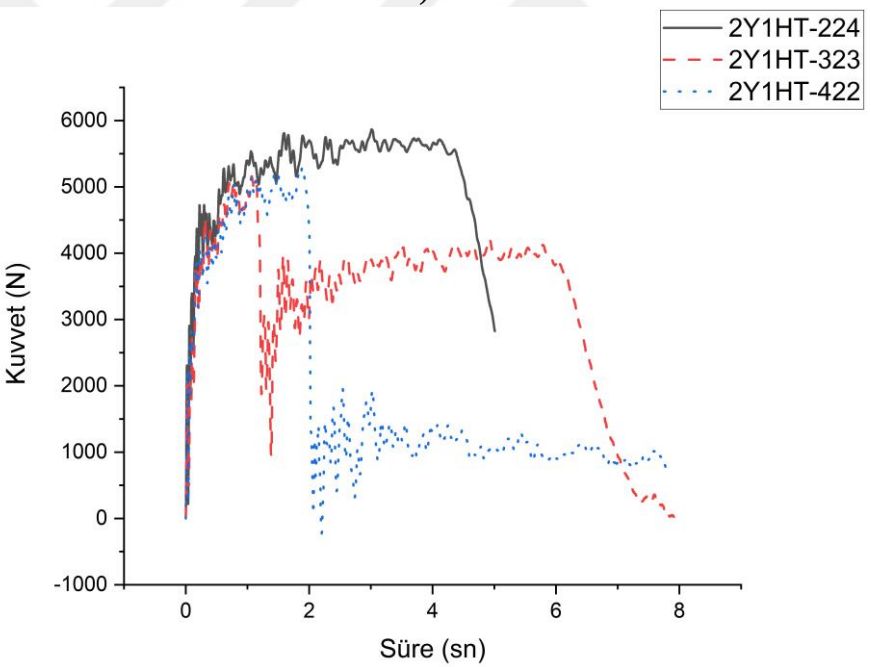
b)

Şekil 3.25. 1, 5 ve 9 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

1, 5 ve 9 numaralı ısıl işlemsiz kompozit malzemelerin katman kalınlıklarına göre kuvvet-zaman çevrim grafiklerinde Y1 ve Y2 darbe yönlü grafik eğrileri stabil ve birbirine yakın çıkmaktadır. Isıl işlemli numunelerde sertlik artışıyla tokluk değerleri artış göstermektedir fakat eğriler ve kırılma süreleri arayüzey bağı kaynaklı birbirinden çok farklı çıkmaktadır. (Şekil 3.24., Şekil 3.25.) Isıl işlemli malzemelerde 9 numaralı kompozitin ortalama sertlik değeri Al 5005 malzemesinin kalınlığı fazla olması nedenli daha az olduğundan dolayı taşıyabildiği maksimum darbe yükü değeri daha düşüktür.

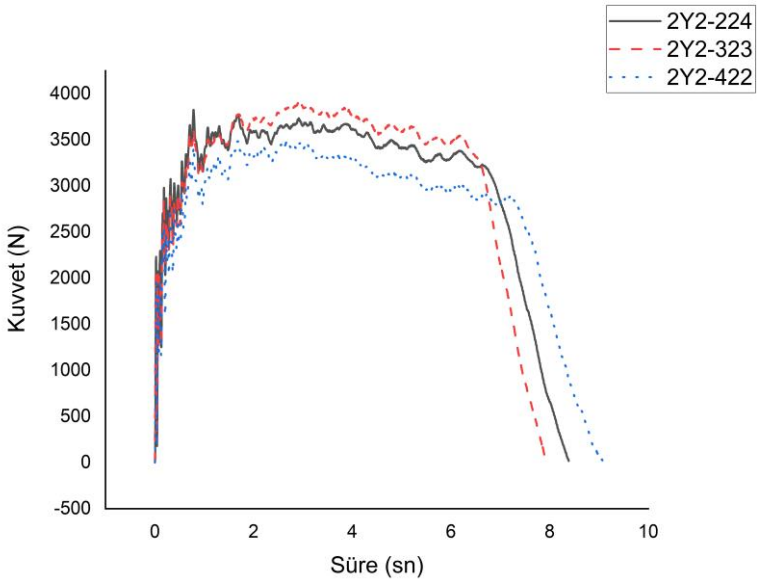


a)

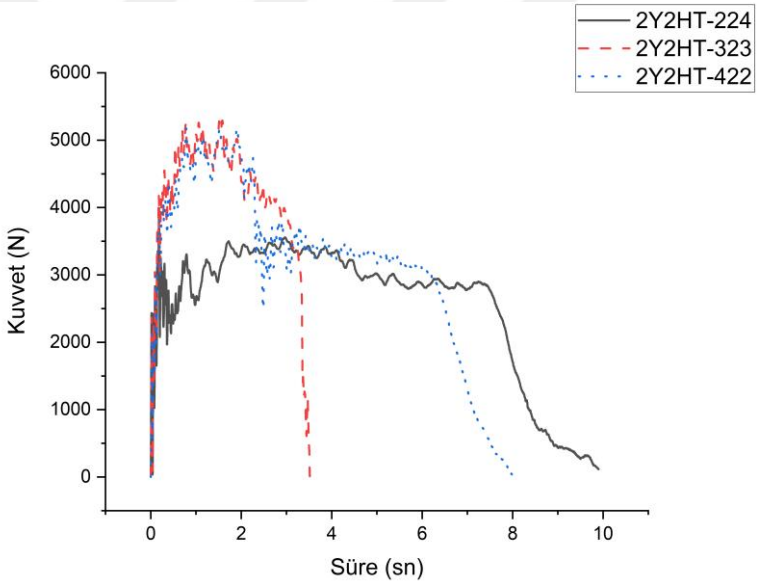


b)

Şekil 3.26. 2, 6 ve 10 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



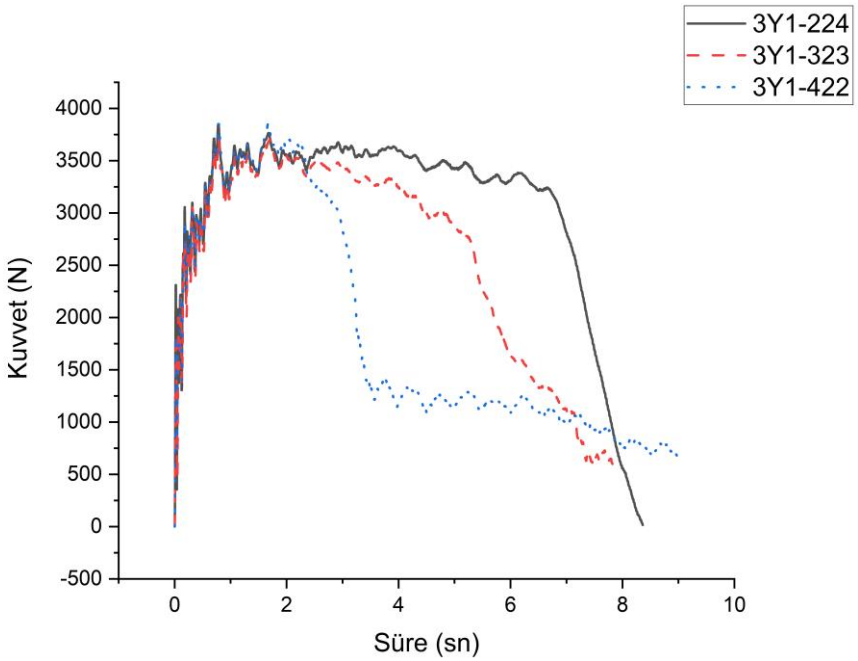
a)



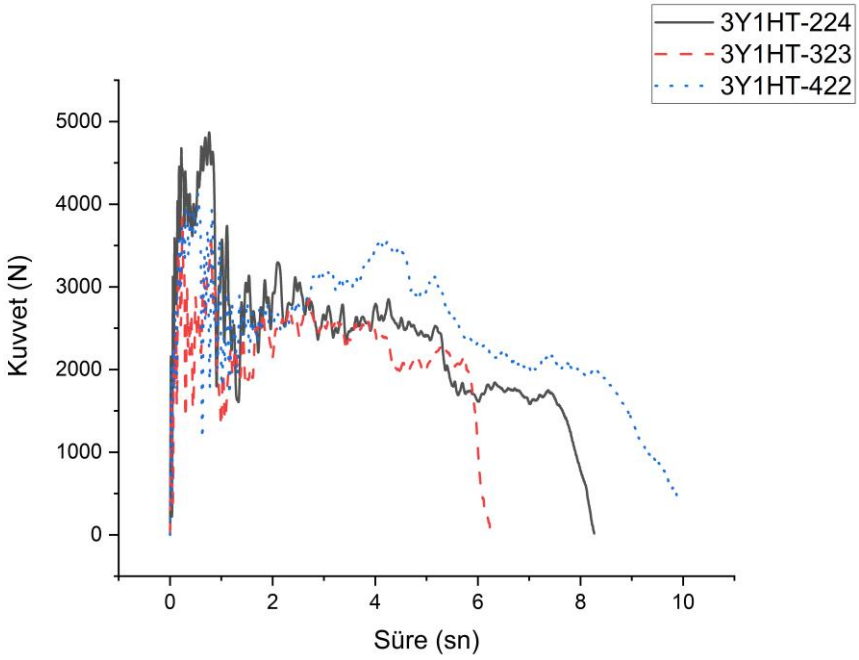
b)

Şekil 3.27. 2, 6 ve 10 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

2, 6 ve 10 numaralı kompozitlerin Y1 ve Y2 yönünden kuvvet-zaman çevrimleri incelendiğinde ısıl işlemsiz malzemelerde maksimum kuvvet değeri ve grafik eğrileri birbirine yakın ve stabil çıkmaktadır. (Şekil 3.26., Şekil 3.27.) Isıl işlemli kompozitlerde değerler ve eğriler stabil değildir ve kırılma süreleri arasında bariz farklar bulunmaktadır. (Şekil 3.26, Şekil 3.27.)

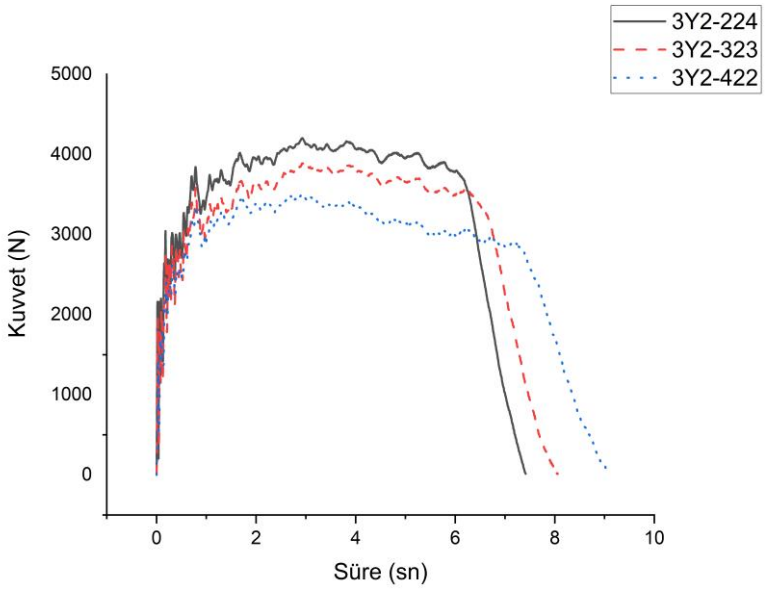


a)

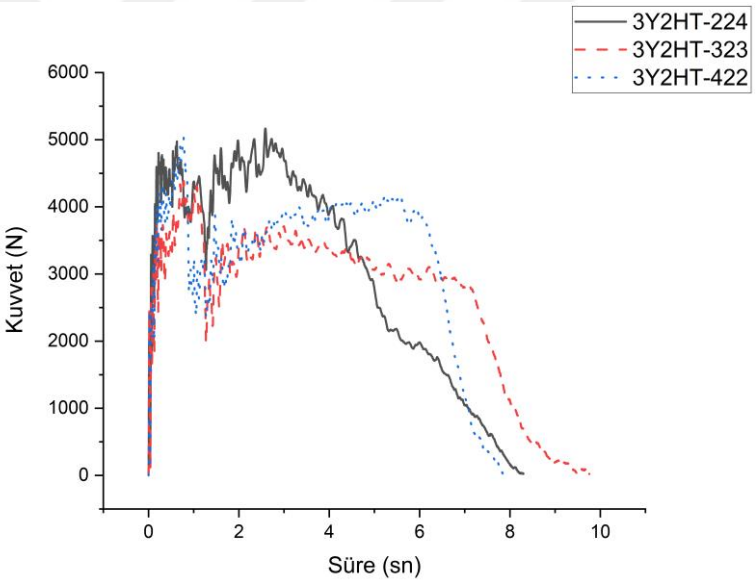


b)

Şekil 3.28. 3, 7 ve 11 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



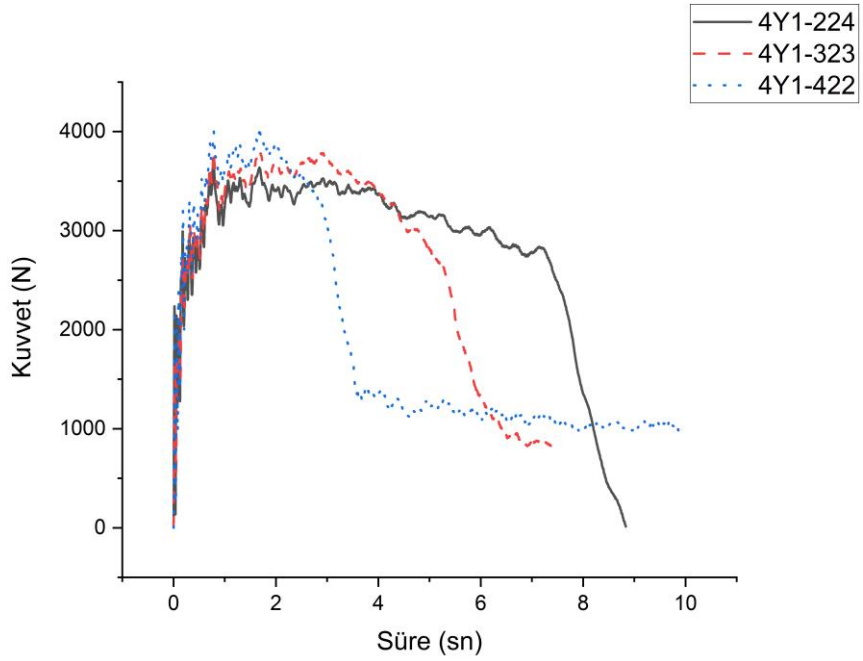
a)



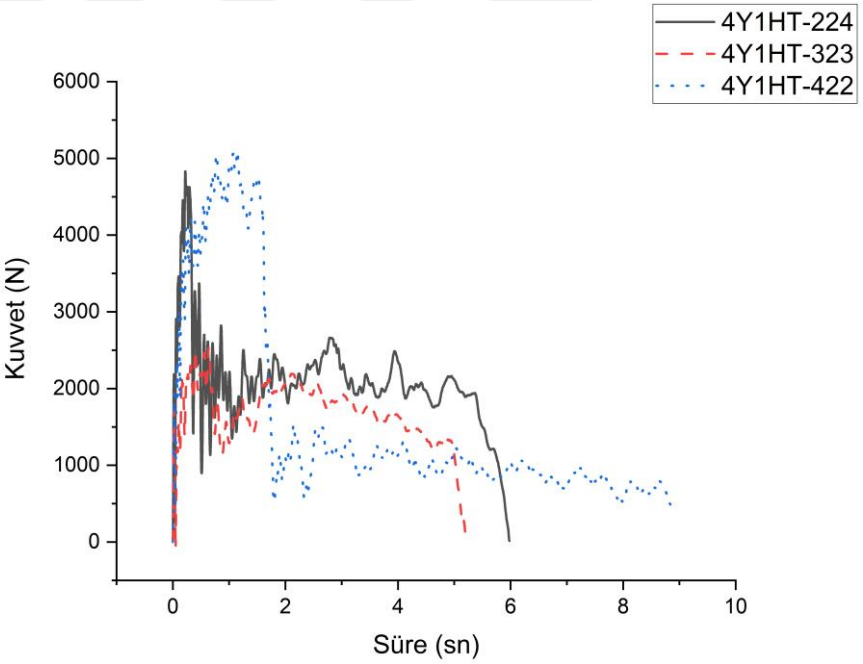
b)

Şekil 3.29. 3, 7 ve 11 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

3, 7 ve 11 numaralı kompozitlerin ısıl işlemsiz grubu kuvvet-zaman çevrim eğrilerinde maksimum kuvvet değeri kompozisyon değişimine bağlı olmadığı görülmüştür. Isıl işlemli kompozitlerde eğriler birbirinden uzaklaşmakta olup maksimum kuvvet değerleri ısıl işlemsiz grupla yakın çıkmaktadır. (Şekil 3.28., Şekil 3.29.)

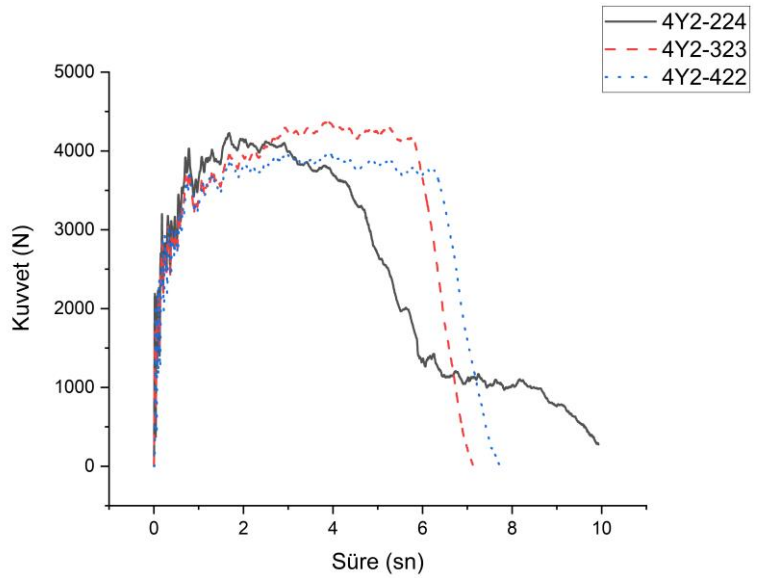


a)

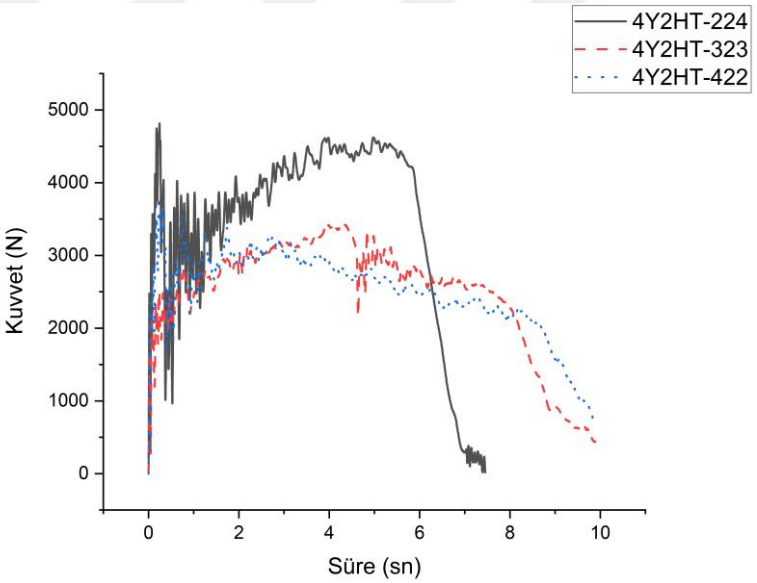


b)

Şekil 3.30. 4, 8 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



a)

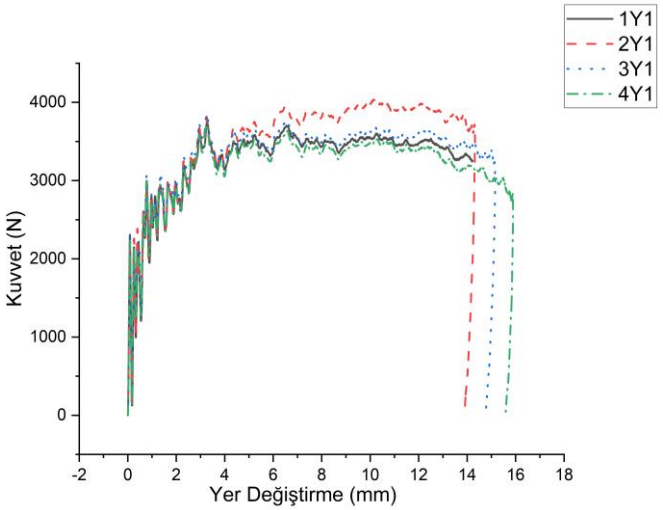


b)

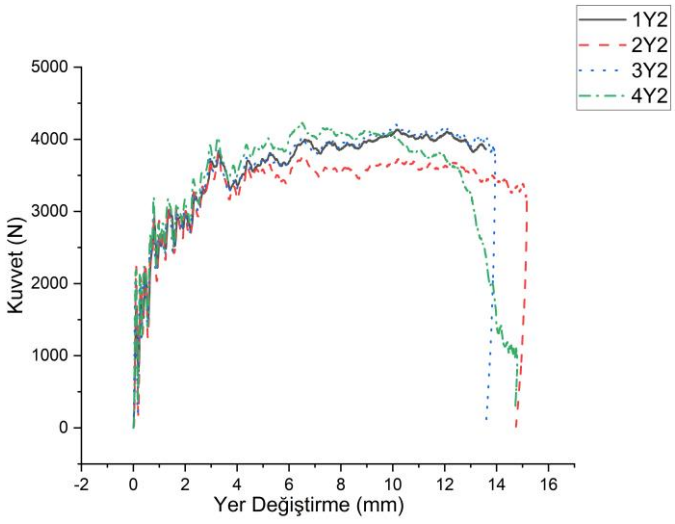
Şekil 3.31. 4, 8 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-zaman çevrim grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

3.2.1.4. Darbe Testi Kuvvet-Yer Değiştirme Çevrim Grafikleri

Darbe testleri sonunda malzemenin absorbe edebildiği enerji değerlerinin kıyaslanabilmesi için malzemeye uygulanan temas kuvvetleri-yer değiştirme grafikleri incelenmiştir. Kuvvet-yer değiştirme grafiğinin altında kalan malzemenin absorbe ettiği enerji değerini vermektedir. Bu tez çalışmasının enerji hesaplamalarında en az sehimle kırılan malzemenin sehim değeri 7 mm olduğu için, integral sınırları 0-7 mm olarak belirlenmiştir.

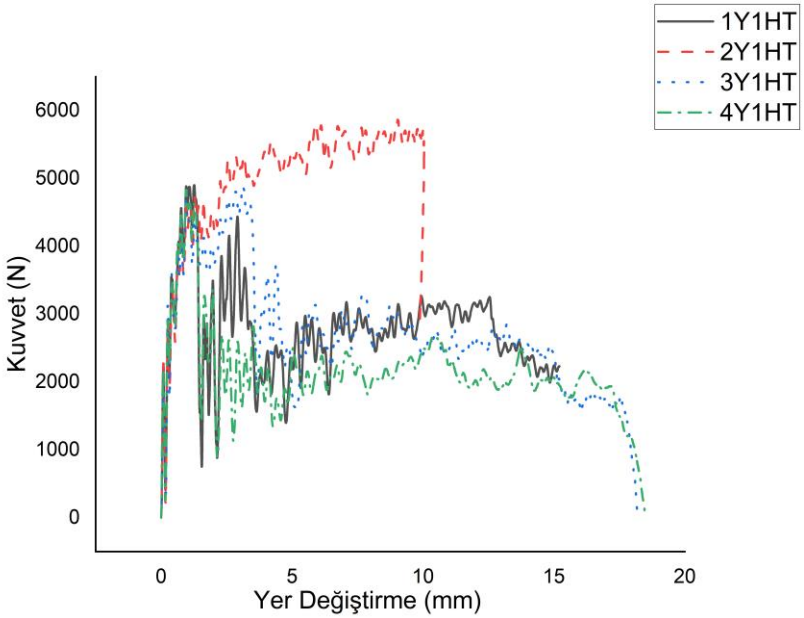


a)

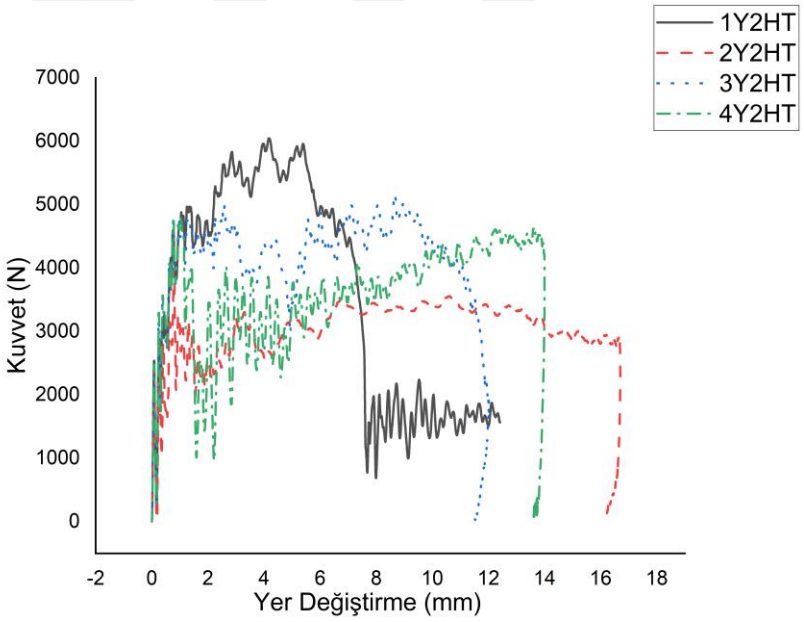


b)

Şekil 3.32. 1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden



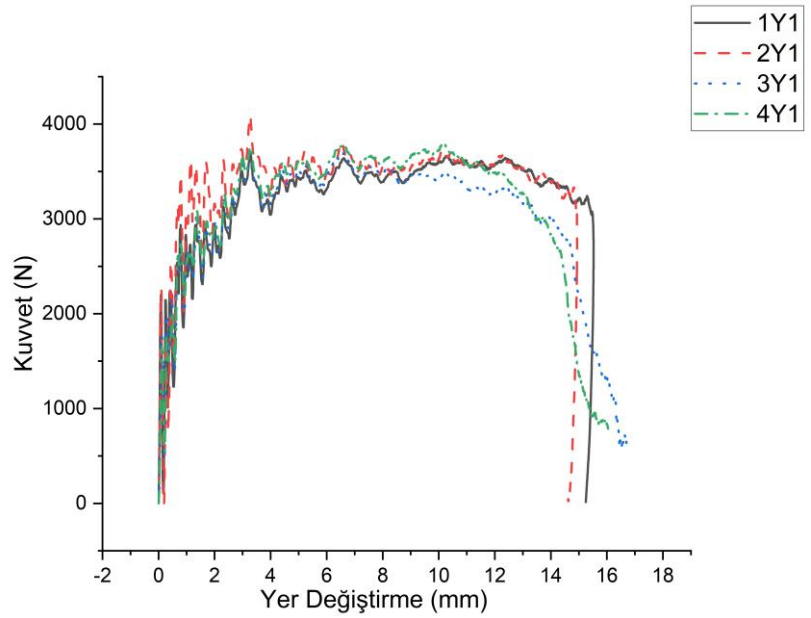
a)



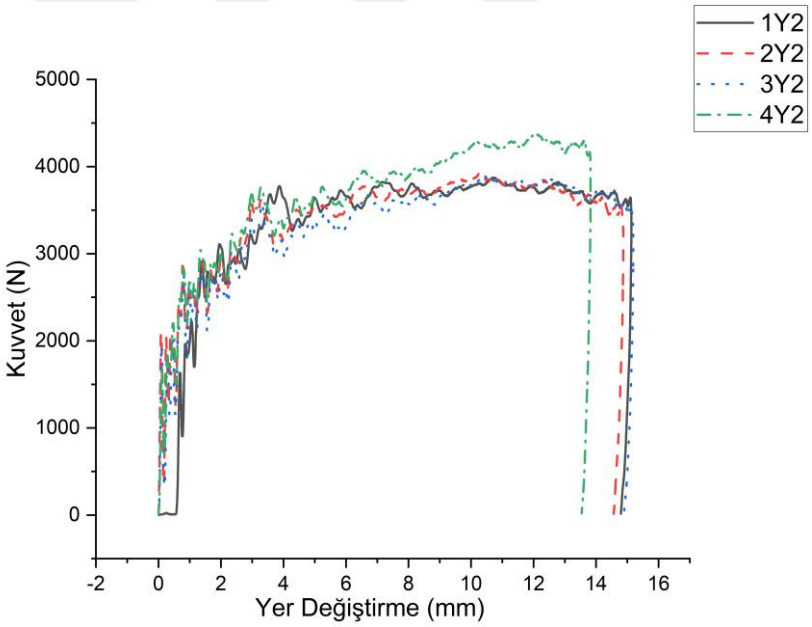
b)

Şekil 3.33. 1, 2, 3 ve 4 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden

1, 2, 3 ve 4 numaralı kompozitlerin absorbe edebildikleri enerji değerleri ve grafikleri yönden bağımsız olarak birbirine yakın çıkmaktadır dolayısıyla absorbe edilen enerji yönden bağımsız olmaktadır. Isıl işlemli Y1 yönünden darbe alan kompozitlerde Al 6061 malzeme çekme gerilmesine daha fazla mukavemet gösterebildiği için ısıl işlemli Y2 yönünden darbe alana göre daha fazla sehim vermiştir. (Şekil 3.32., Şekil 3.33.)

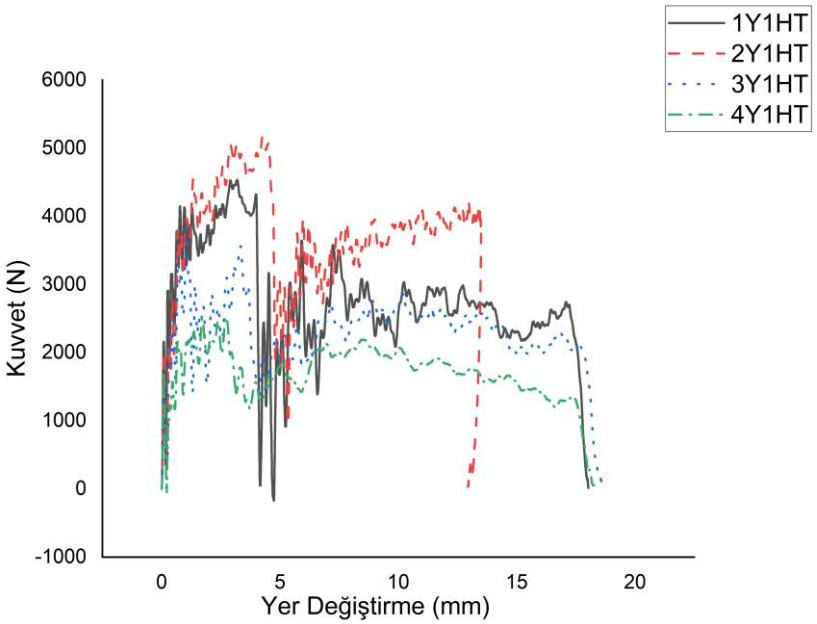


a)

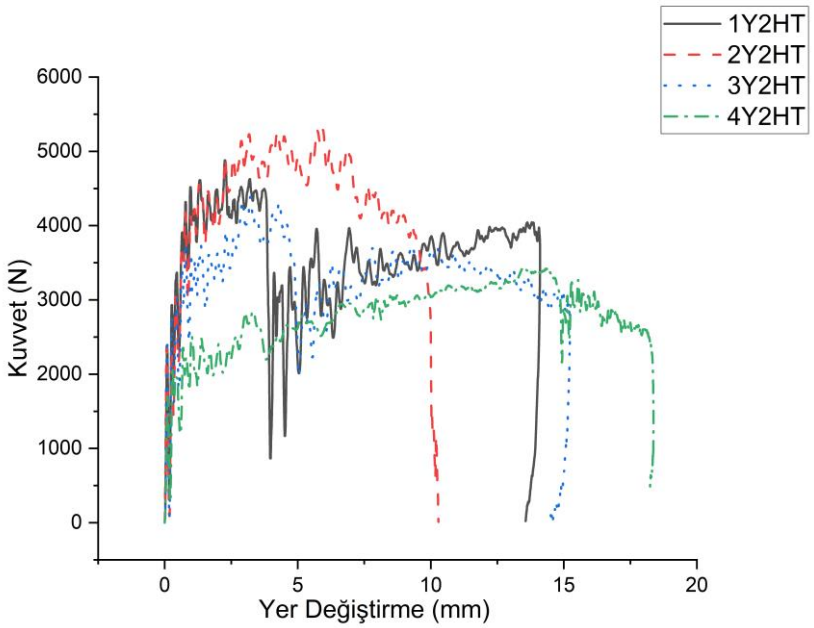


b)

Şekil 3.34. 5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden



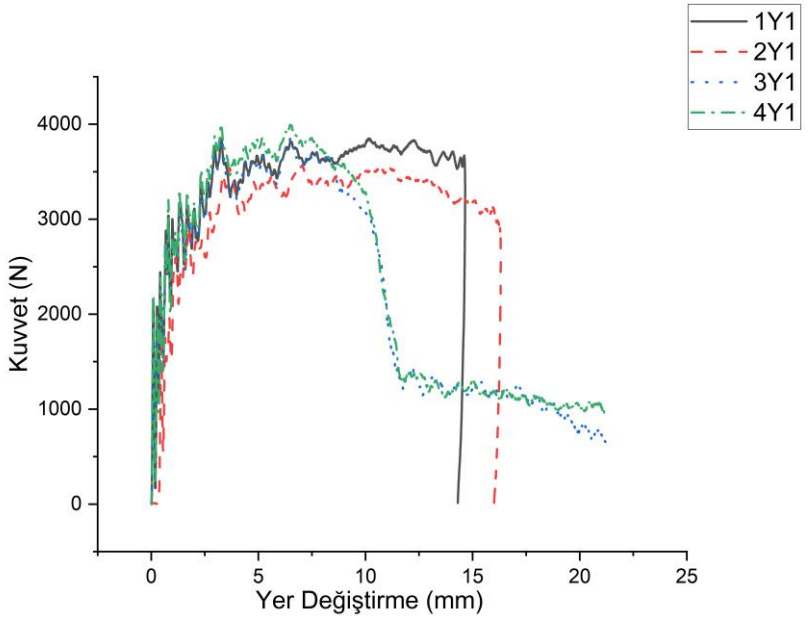
a)



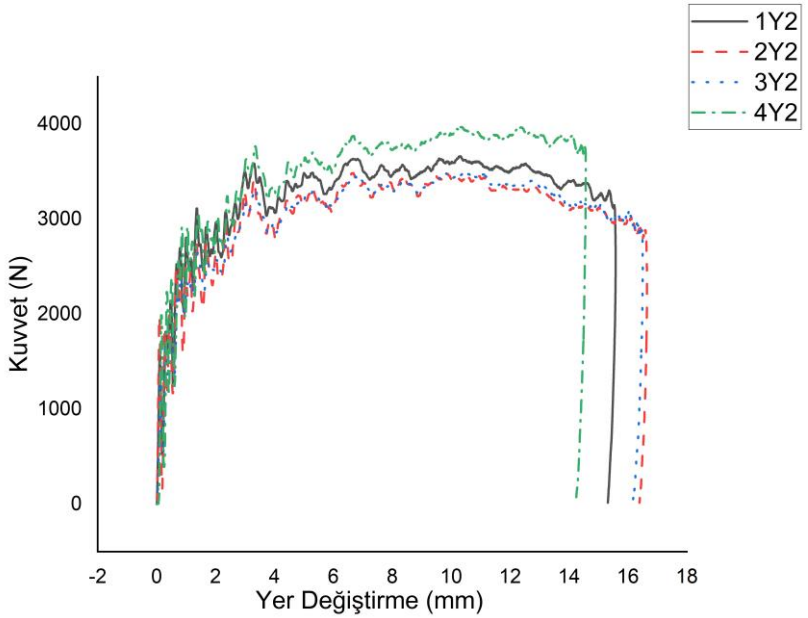
b)

Şekil 3.35. 5, 6, 7 ve 8 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden

5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme eğrileri incelendiğinde ısıl işlemsiz seride absorbe edilen enerji değerleri yakın çıkmakta ve yön değişiminin buna etkisinin olmadığı görülmektedir. Isıl işlemli kompozitlerde arayüzey bağlantılarında meydana gelen zayıflama sebepli değerler ve eğriler stabil olmamaktadır. (Şekil 3.34., Şekil 3.35.)

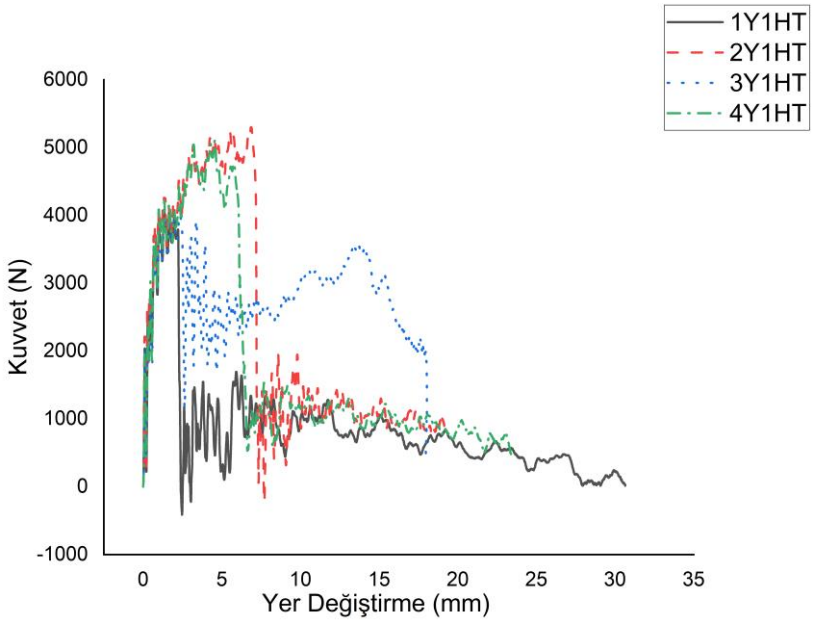


a)

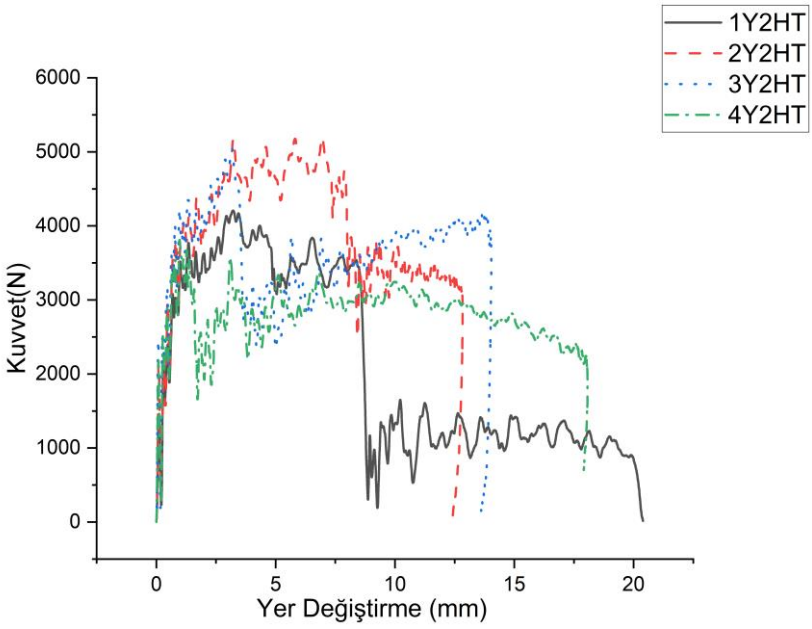


b)

Şekil 3.36. 9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden



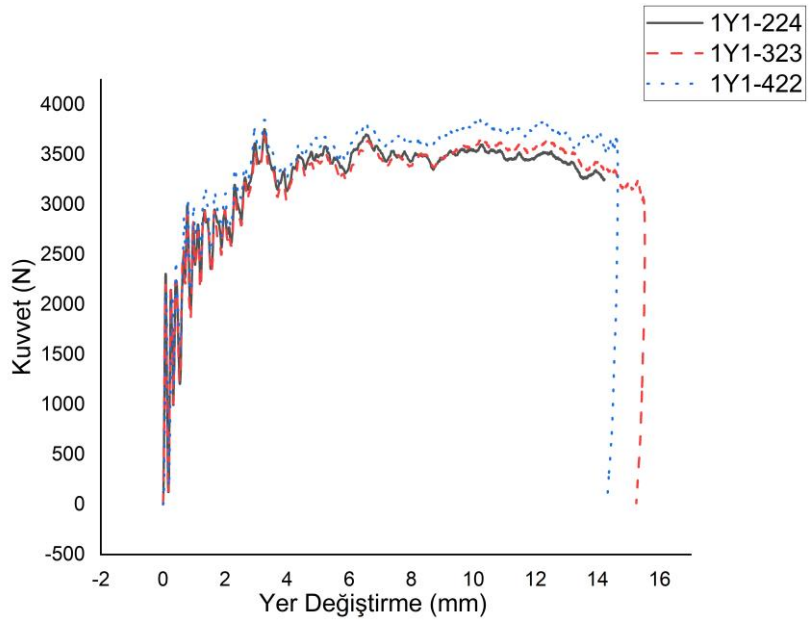
a)



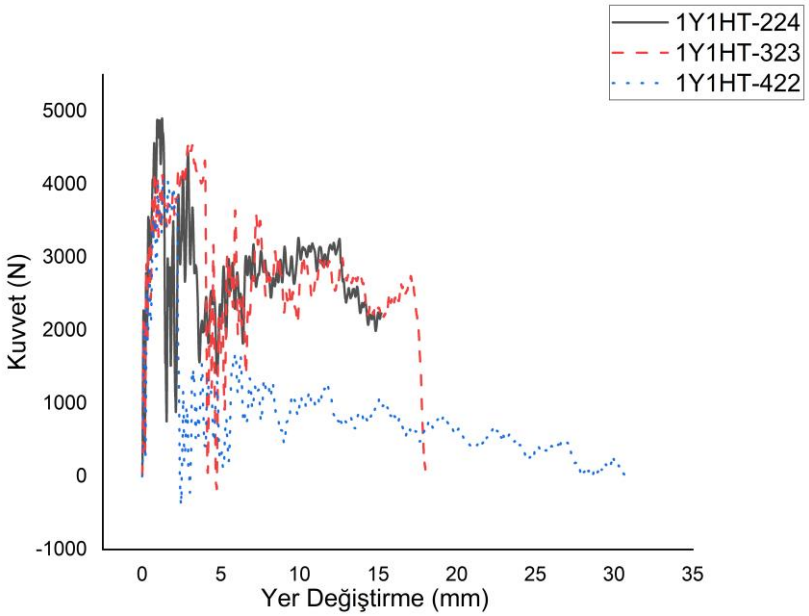
b)

Şekil 3.37. 9, 10, 11 ve 12 numaralı ısıl işlemli kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden b) Y2 yönünden

9, 10, 11 ve 12 numaralı kompozitlerin yönlere göre absorbe etmiş olduğu enerji miktarı değişmemektedir. (Şekil 3.37.) Isıl işlemli serilerde Al 6061 malzemesinin kalınlığının artışıyla birlikte Y2 yönünden darbelerde absorbe edilen enerji miktarı artmaktadır.

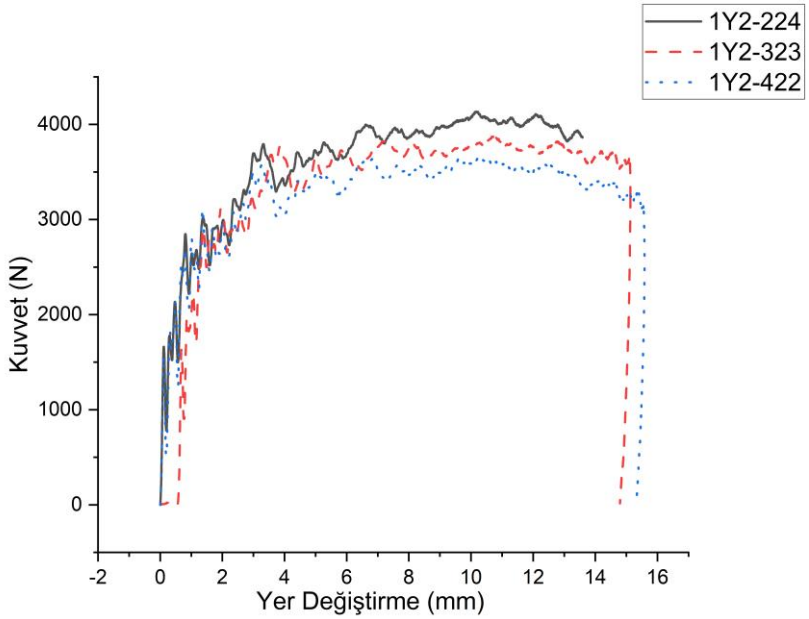


a)

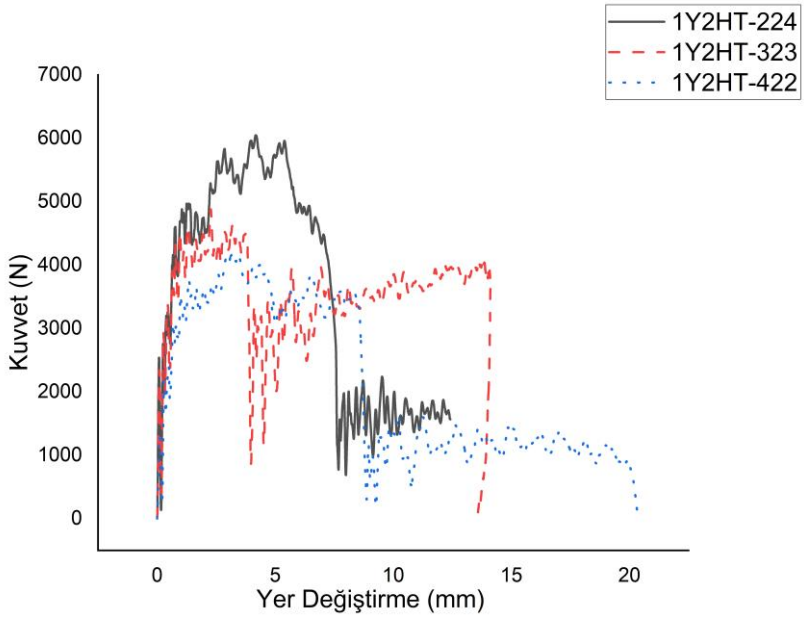


b)

Şekil 3.38. 1, 5 ve 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



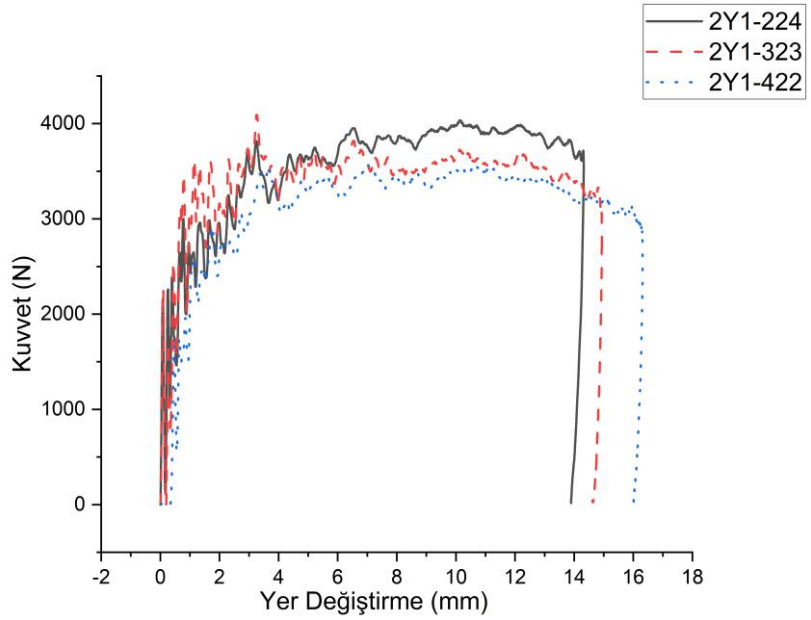
a)



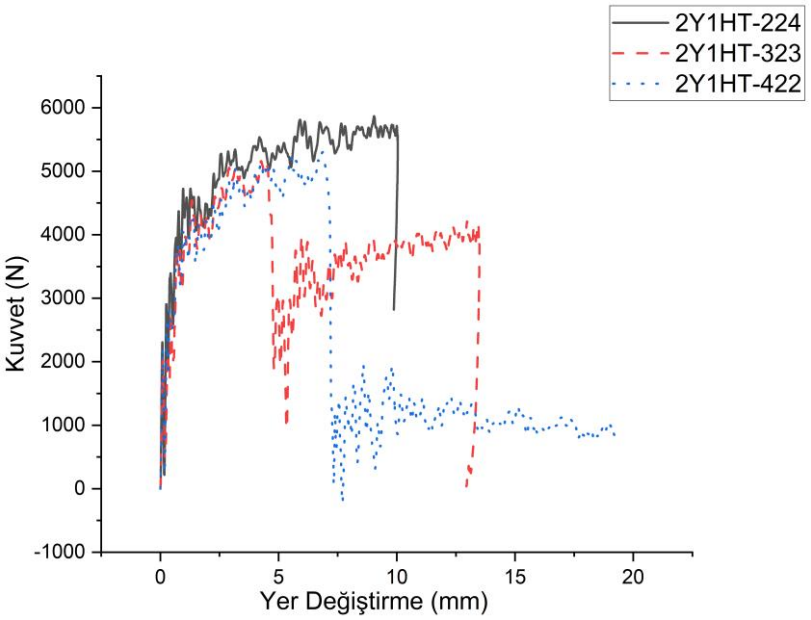
b)

Şekil 3.39. 1, 5 ve 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

1, 5, 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafiklerinde ısıl işlemsiz numunelerin absorbe etmiş olduğu enerji katman kalınlığından bağımsız ve birbirine yakın çıkmaktadır. Isıl işlemli kompozitlerde grafikler stabil değildir. (Şekil 3.38., Şekil 3.39.)

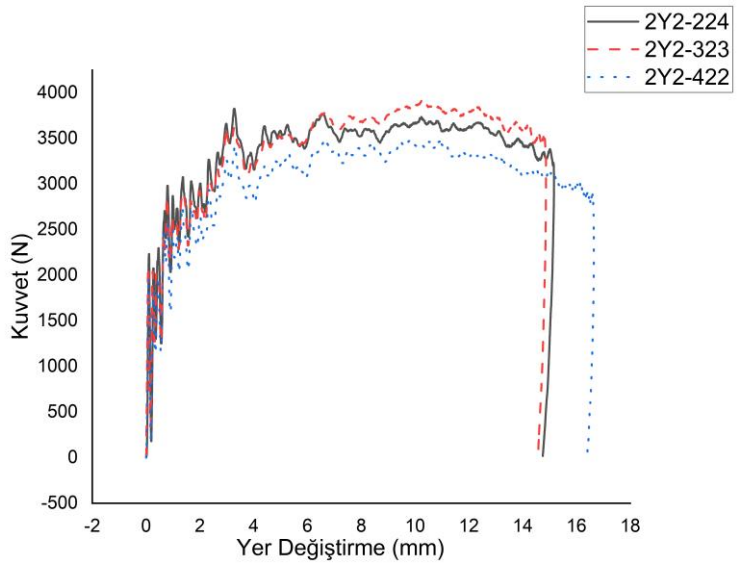


a)

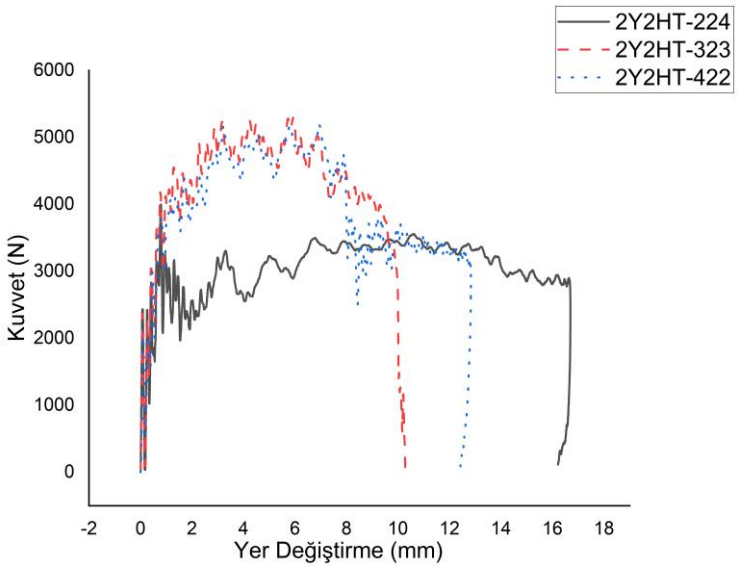


b)

Şekil 3.40. 2, 6 ve 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



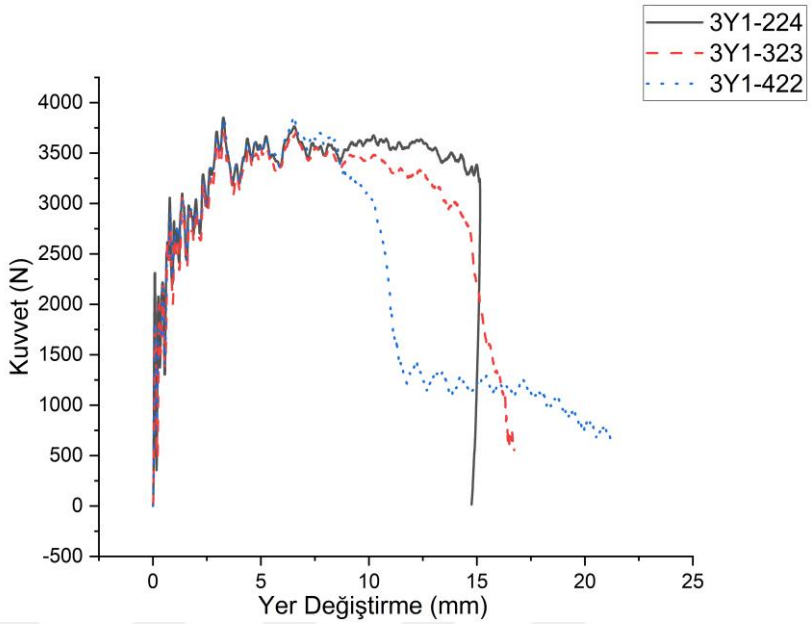
a)



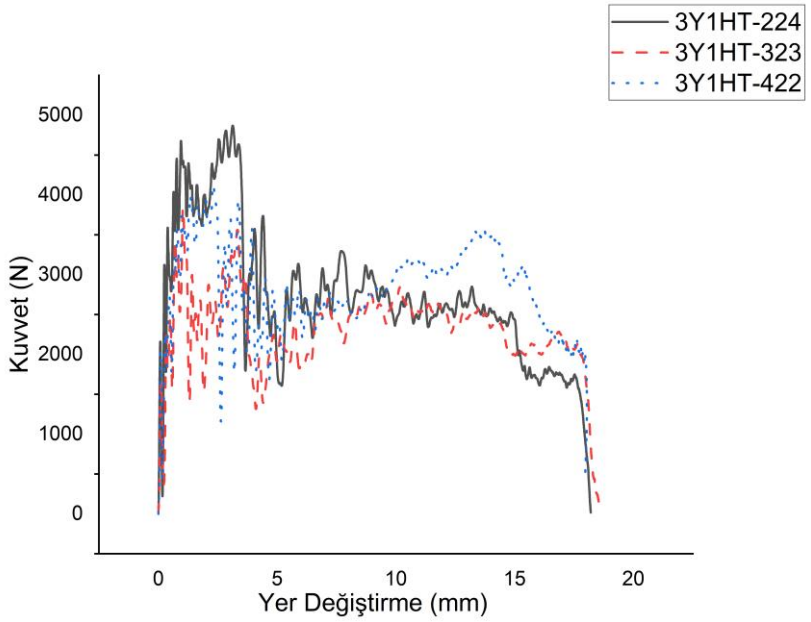
b)

Şekil 3.41. 2, 6 ve 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

2, 6 ve 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri incelendiğinde ısıl işlemsiz malzemelerin enerji absorbe edebilme kabiliyeti katman değişiminden bağımsız olduğu görülmektedir. Isıl işlemli kompozitlerde 422 serisinin yöne bağlı enerji absorbe edebilme yeteneği incelendiğinde Y1 yönünden gelen darbede sehim azken taşıyabildiği temas kuvveti fazla, Y2 yönünden gelen darbede sünek Al 5005 serisi altta kaldığı için sehim fazlayken taşıyabildiği temas kuvveti düşük kalmaktadır. (Şekil 3.40., Şekil 3.41.)

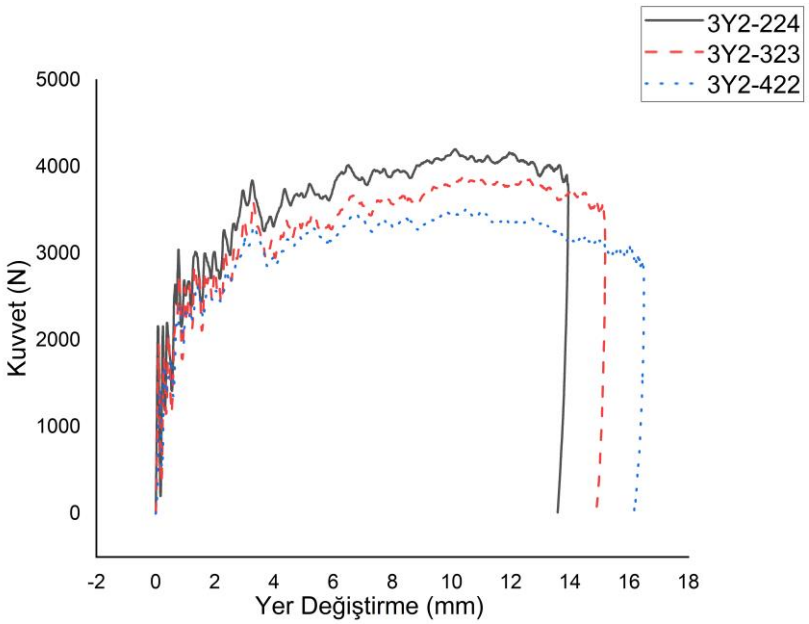


a)

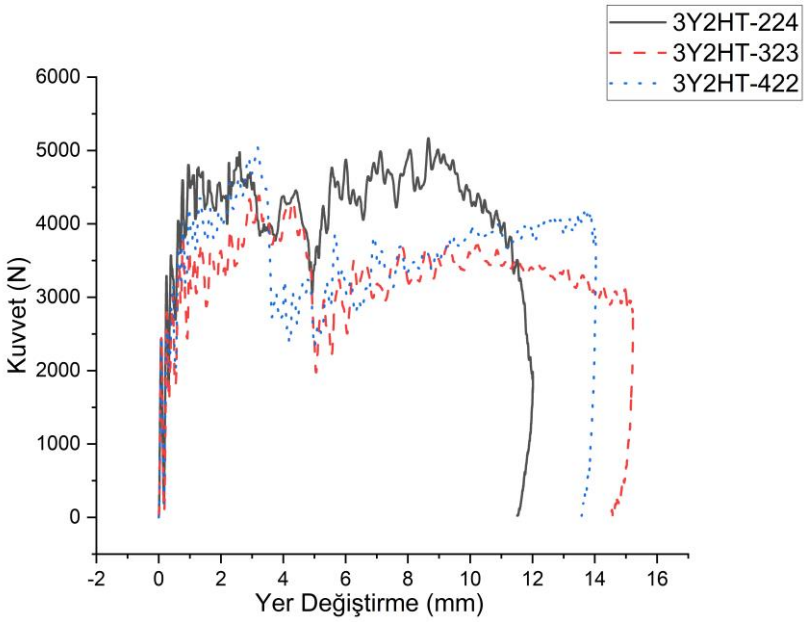


b)

Şekil 3.42. 3, 7 ve 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



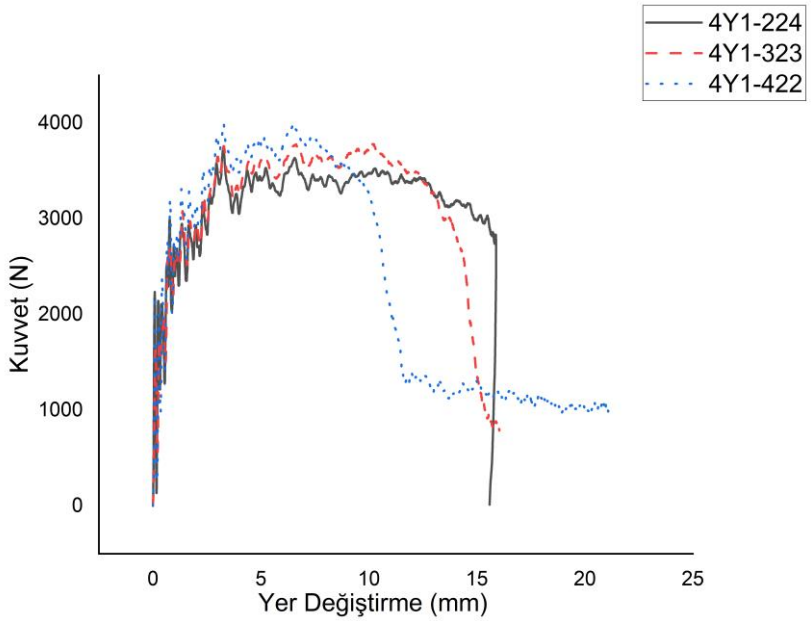
a)



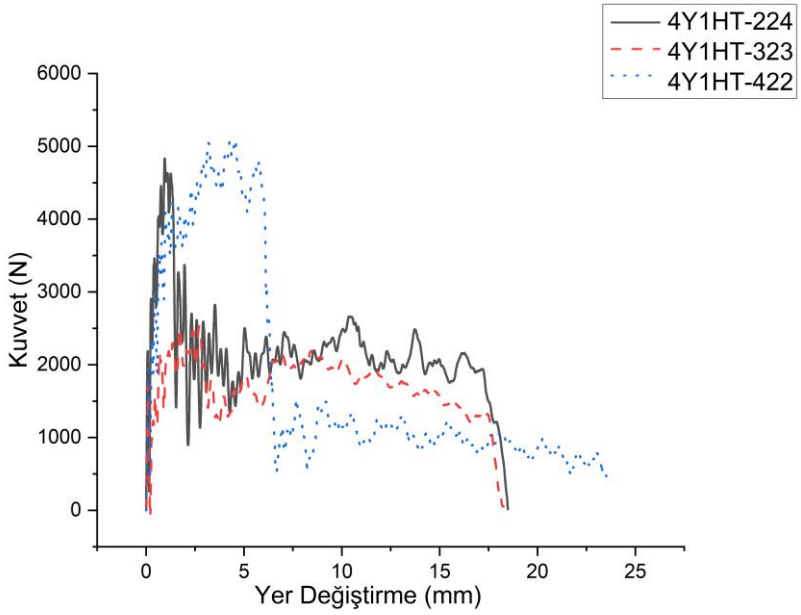
b)

Şekil 3.43. 3, 7 ve 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

3, 7 ve 11 numaralı kompozitlerin ısıl işlemsiz serilerinde kuvvet-yer değiştirme eğrileri birbirine yakın çıkarken, ısıl işlemli numunelerde Y1 yönünde 4 mm sehim sonrası kuvvet değerinde düşme gözlenirken, Y2 yönünde kırılmalar yaklaşık 5 mm sehim değerlerinde gelmektedir. (Şekil 3.42. Şekil 3.43.)

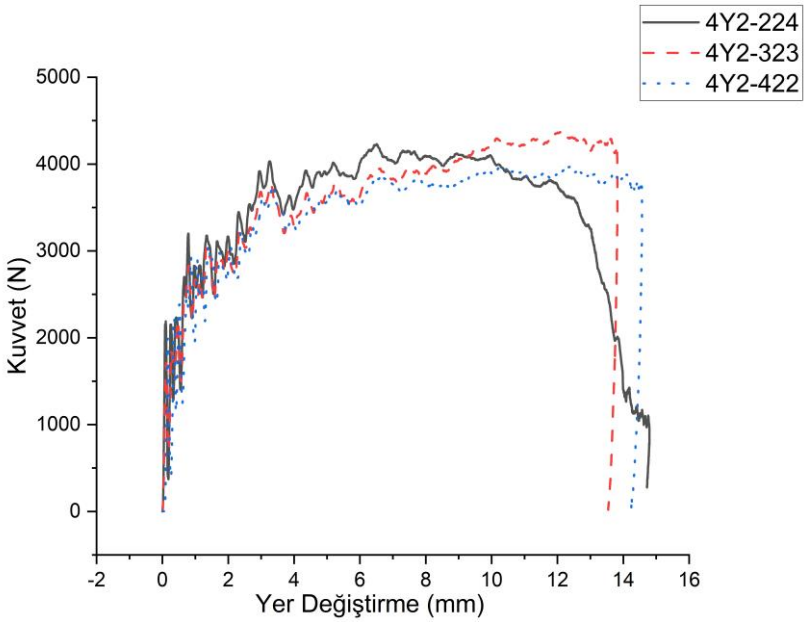


a)

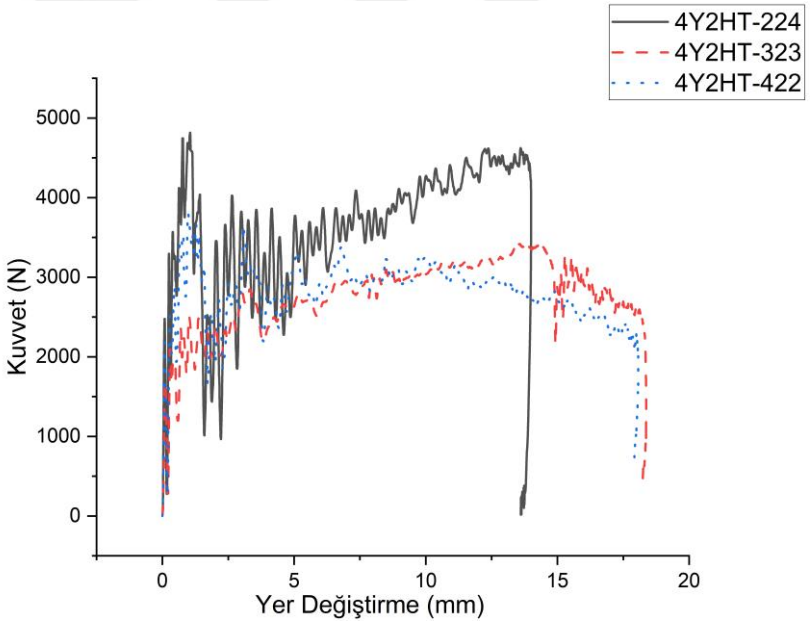


b)

Şekil 3.44. 4, 8 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 yönünden, b) Y1 yönünden ısıl işlemli



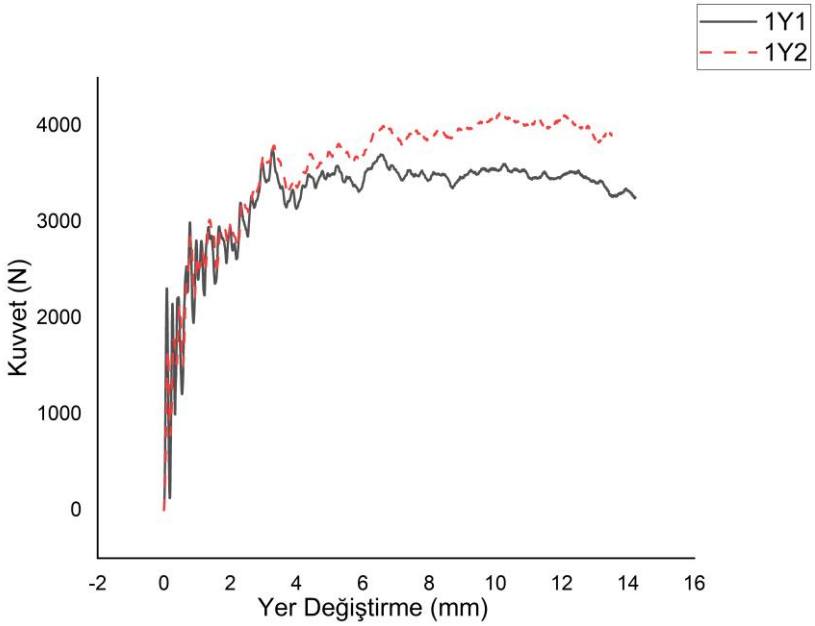
a)



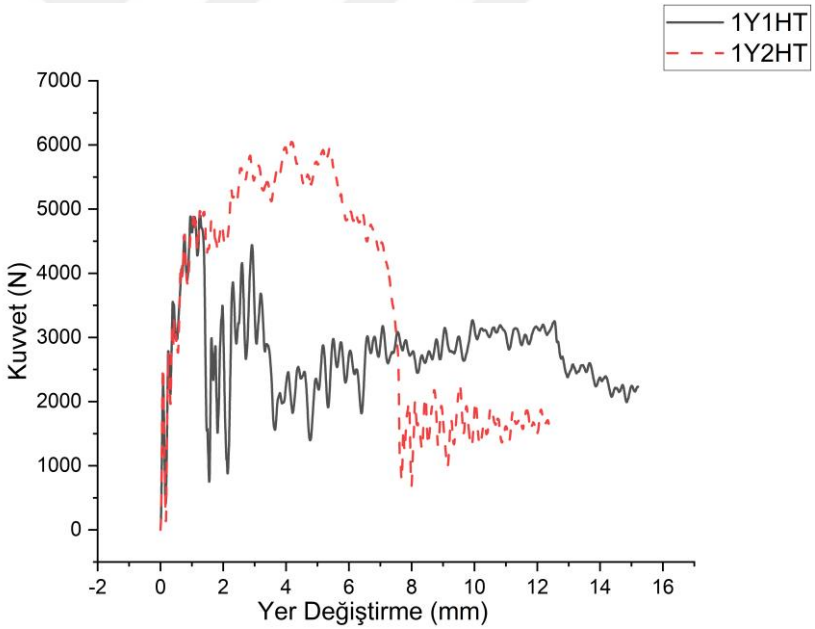
b)

Şekil 3.45. 4, 8 ve 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y2 yönünden, b) Y2 yönünden ısıl işlemli

4, 8 ve 12 numaralı kompozitlerin ısıl işlemsiz serisinde katman ve yön değişikliğine bağlı absorbe edilen enerji miktarlarında değişiklik gözlenmemiştir. Isıl işlemli seride Y2 yönünden gelen darbeye karşı daha yüksek kuvvet değerlerinde sehim vermiştir. (Şekil 3.44., Şekil 3.45.)

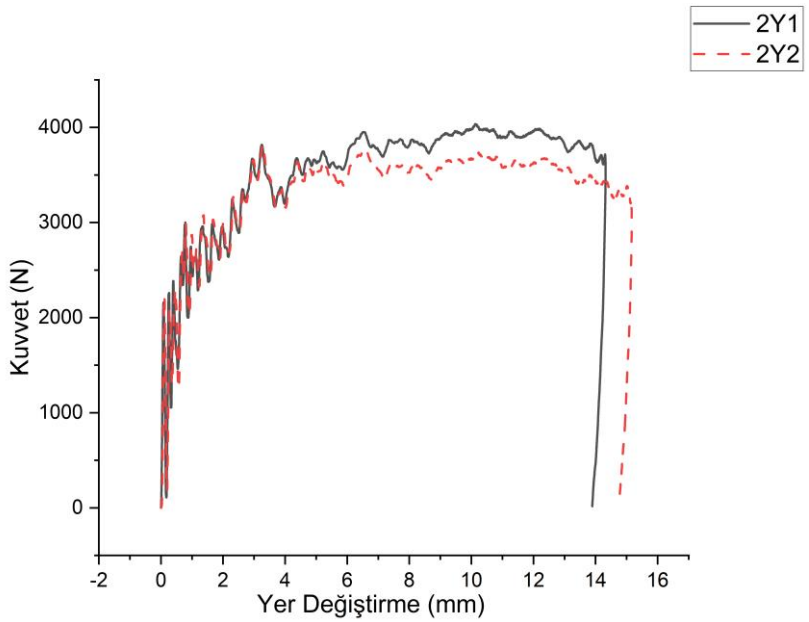


a)

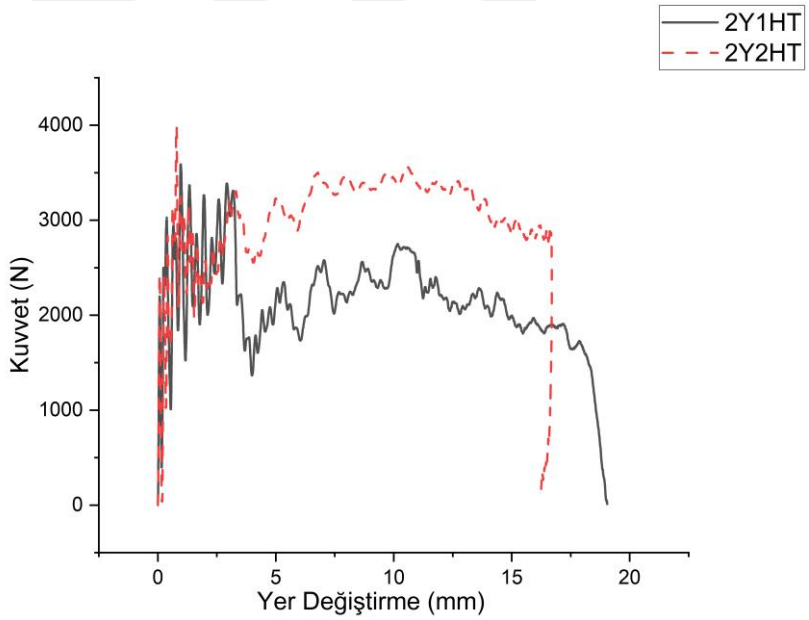


b)

Şekil 3.46. 1 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

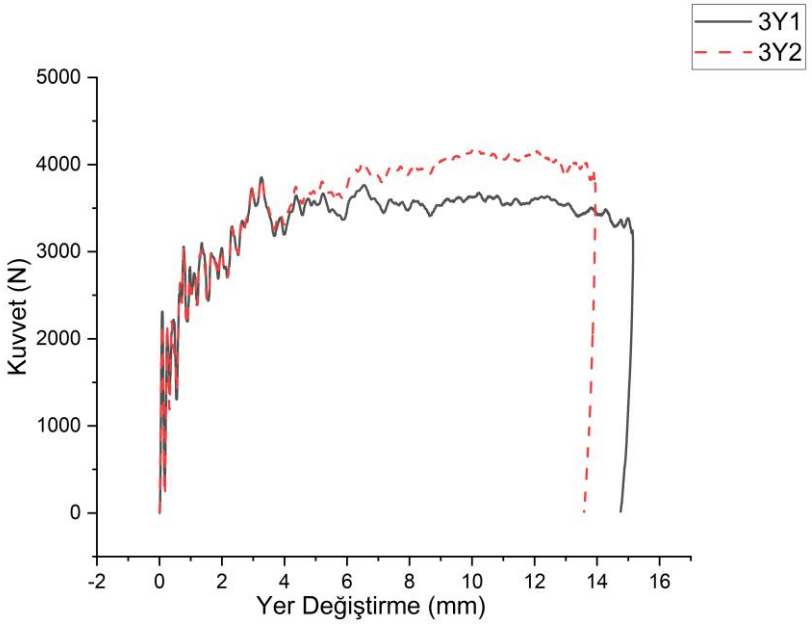


a)

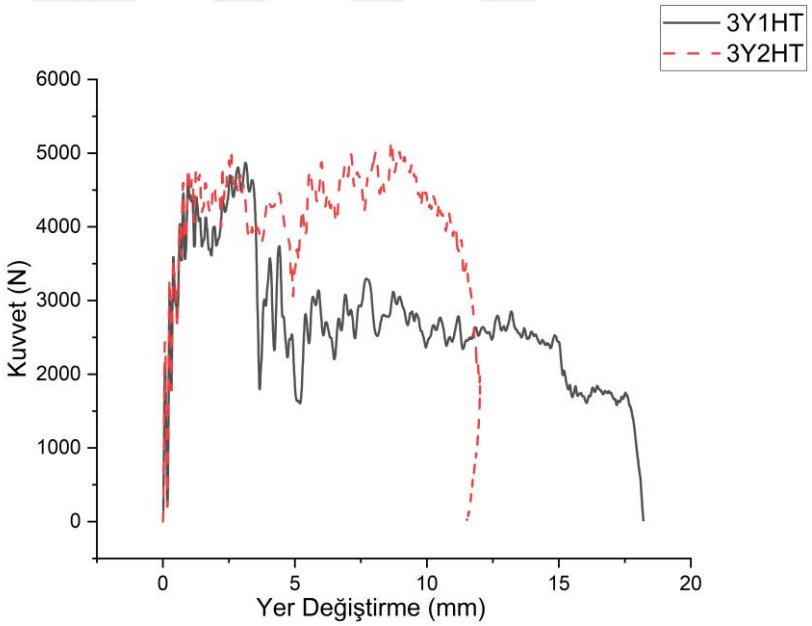


b)

Şekil 3.47. 2 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

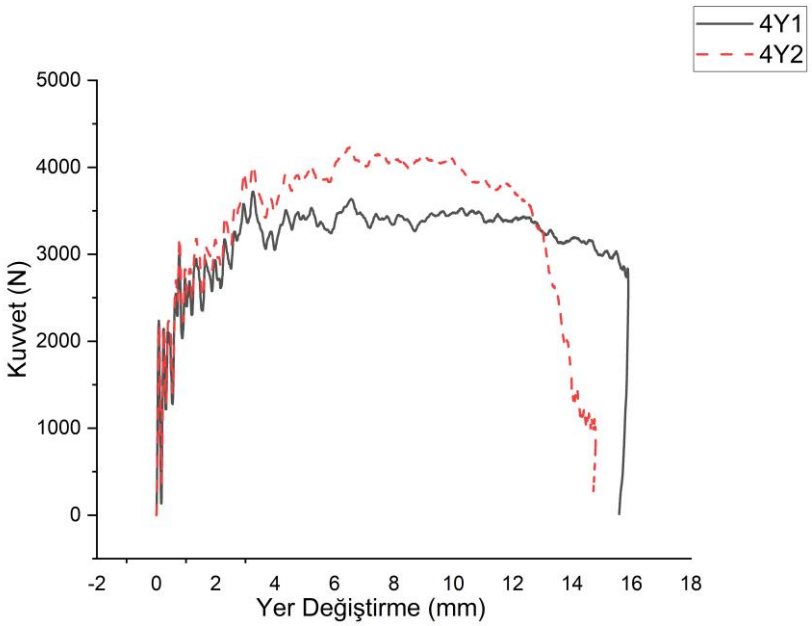


a)

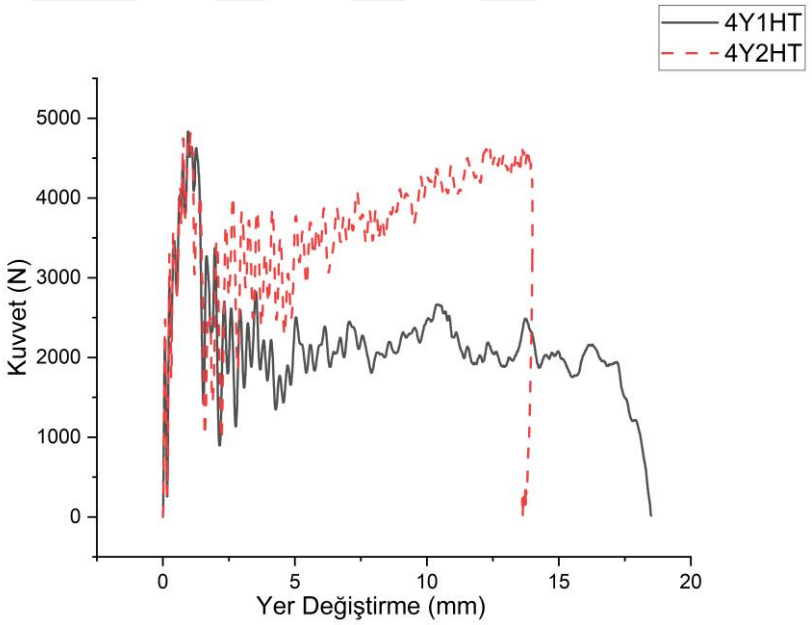


b)

Şekil 3.14. 3 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli



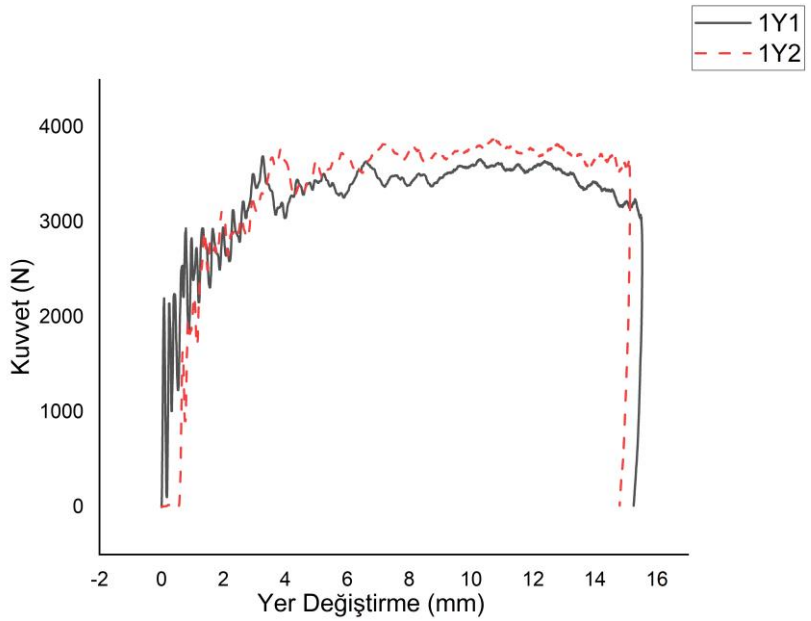
a)



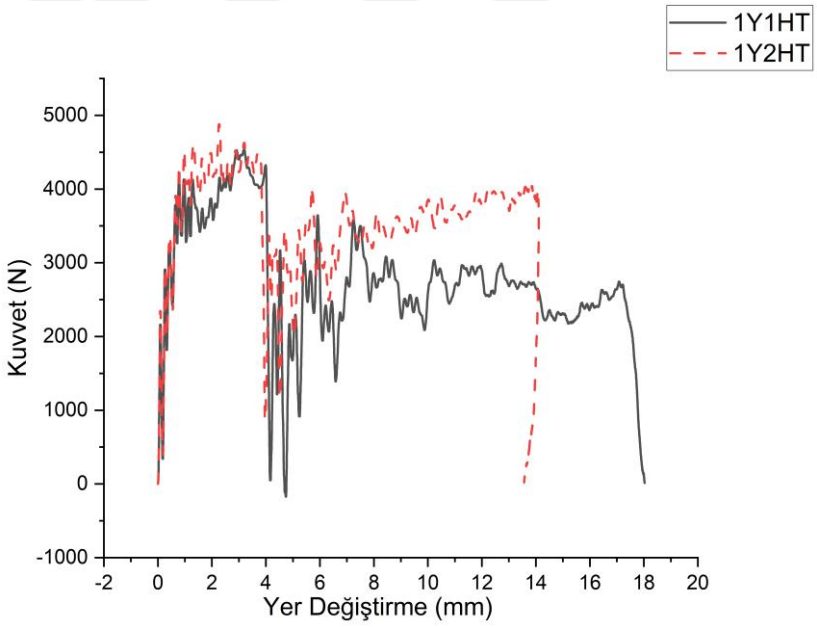
b)

Şekil 3.49. 4 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

1, 2, 3 ve 4 nolu kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri yön değişimi açısından incelendiğinde yön değişiminin absorbe edilen enerji üzerinde etkisi olmamıştır. Isıl işlemli numunelerde Y2 yönünden gelen darbelerde daha yüksek kuvvet değerlerine çıkılabilmiş olup, sehim miktarı sınırlı kalmıştır. (Şekil 3.46, Şekil 3.47, Şekil 3.48, Şekil 3.49.)

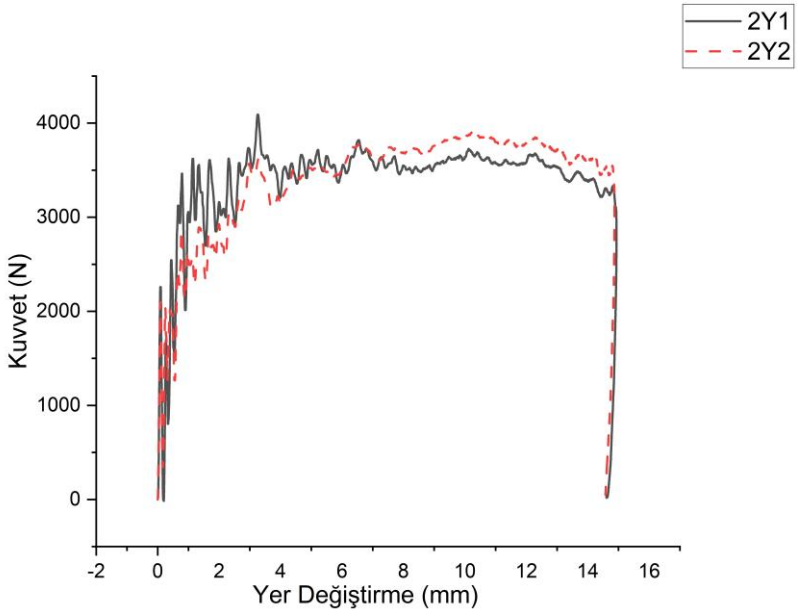


a)

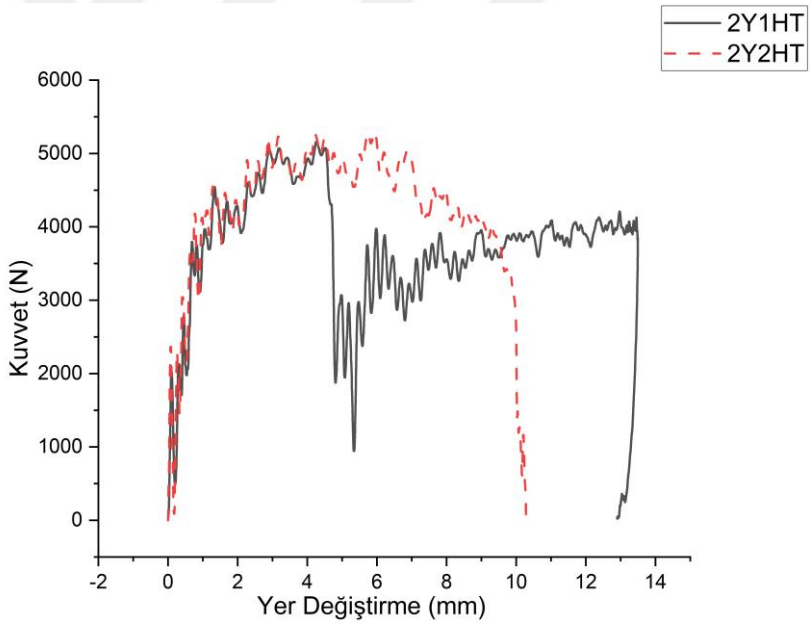


b)

Şekil 3.50. 5 kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri,
a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

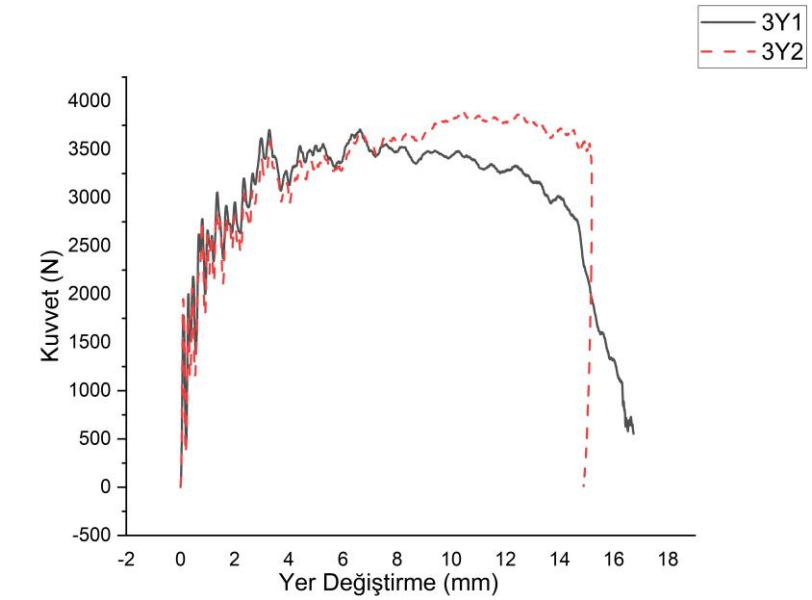


a)

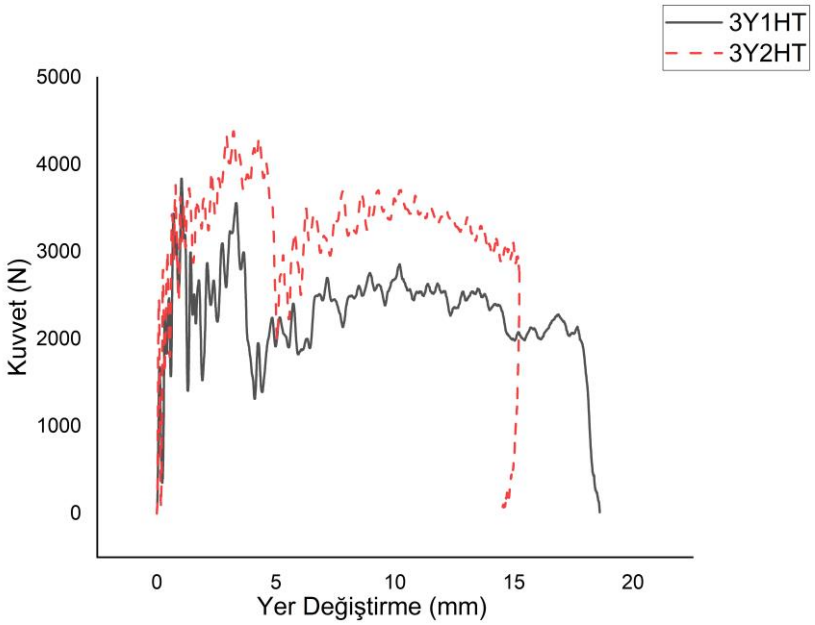


b)

Şekil 3.51. 6 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

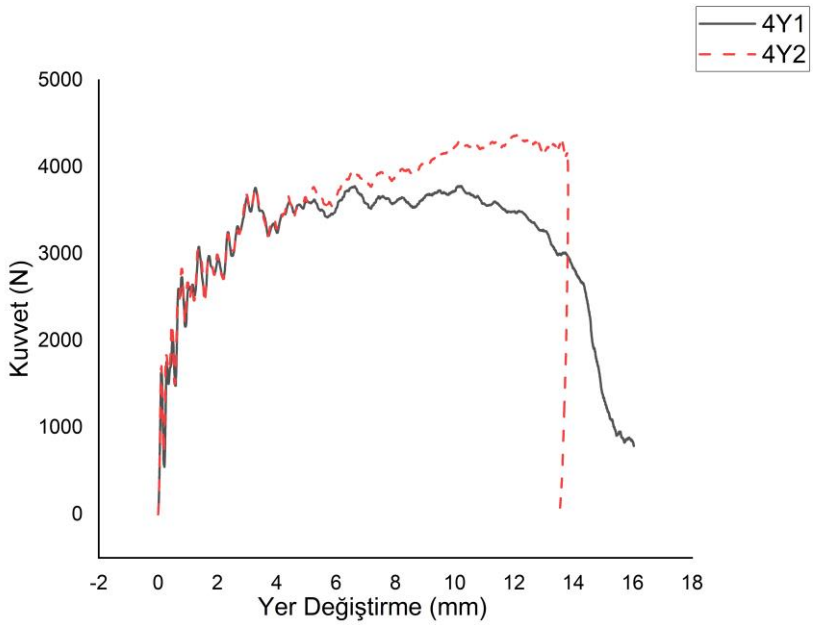


a)

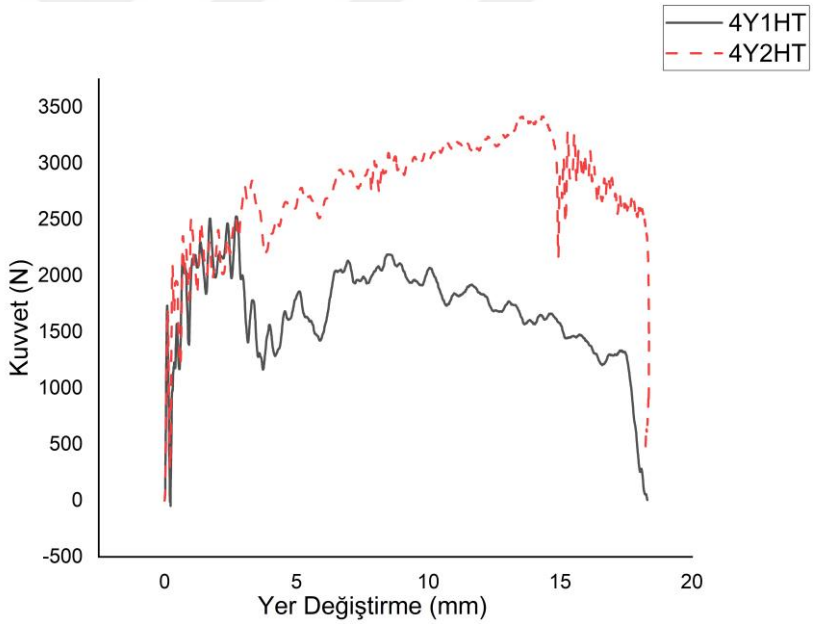


b)

Şekil 3.52. 7 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli



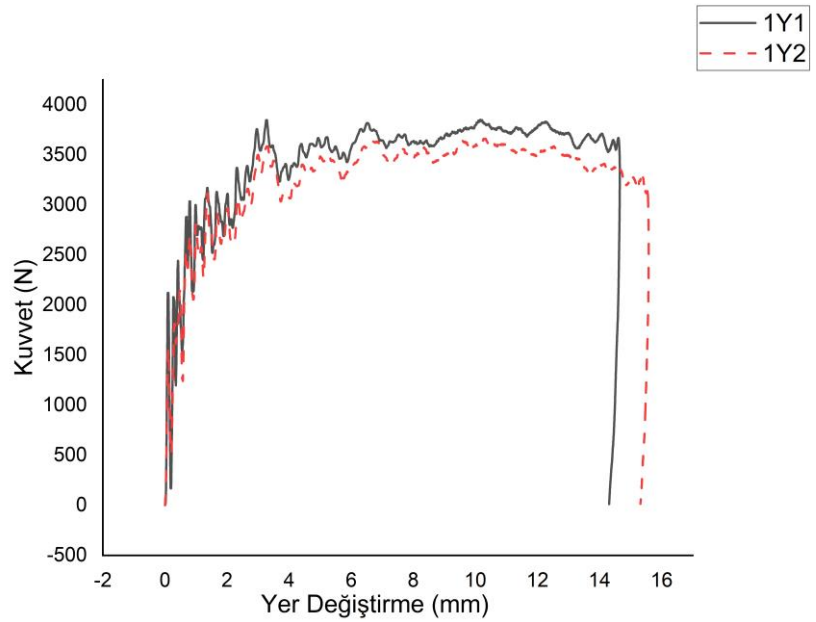
a)



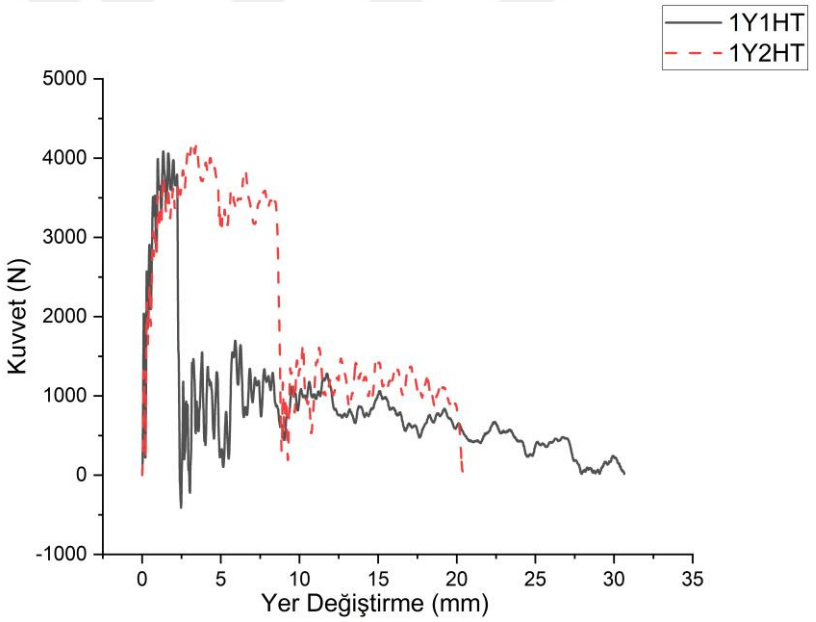
b)

Şekil 3.53. 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

5, 6, 7 ve 8 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri incelendiğinde ısıl işlemsiz serilerde yön değişiminin absorbe edilen enerjiye bir etkisi olmamaktadır. Isıl işlemli serilerde ise arayüzeydeki kırılmalardan dolayı grafikler stabil değildir. (Şekil 3.50., Şekil 3.51., Şekil 3.52, Şekil 3.53.)

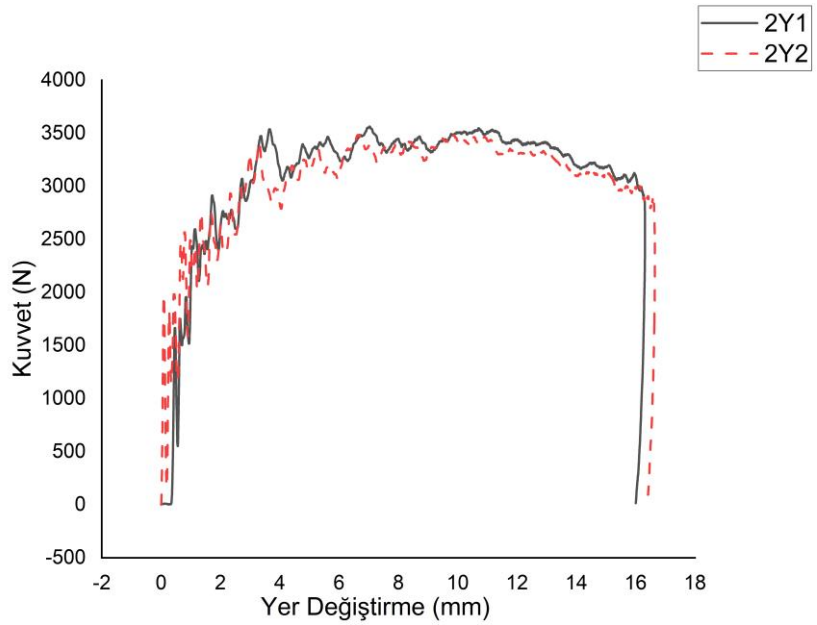


a)

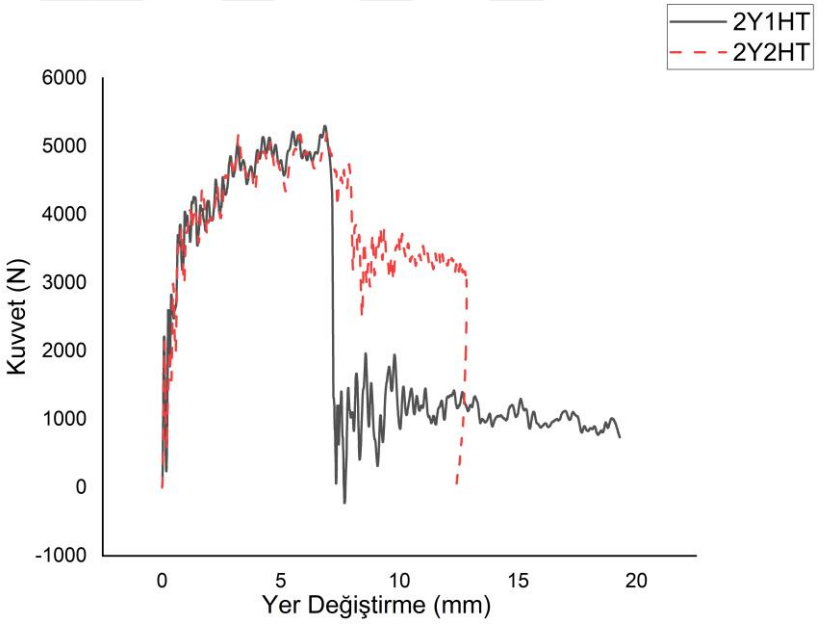


b)

Şekil 3.54. 9 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

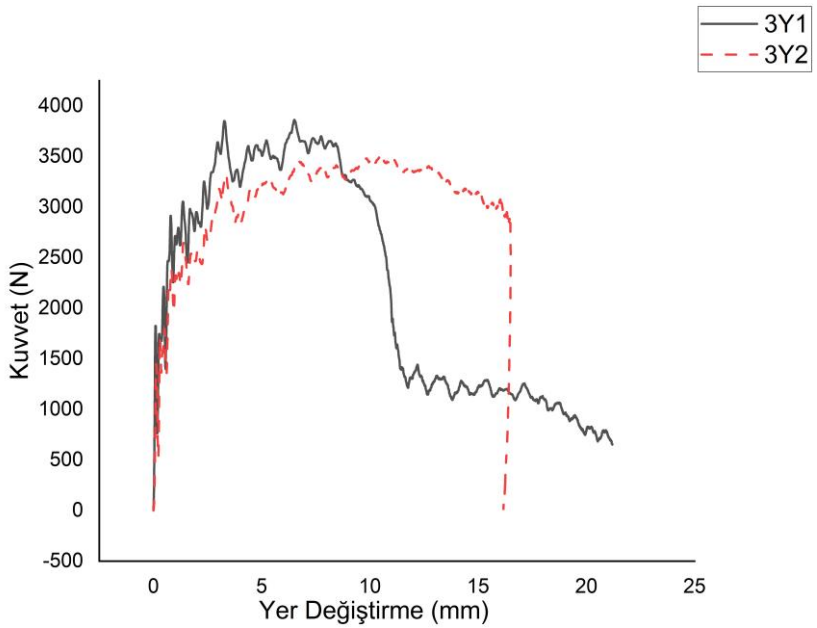


a)

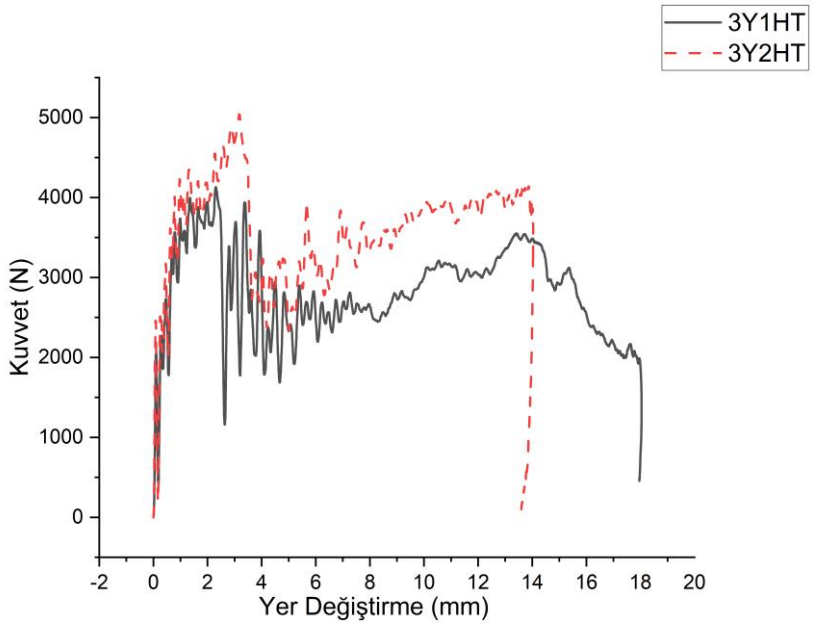


b)

Şekil 3.55. 10 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

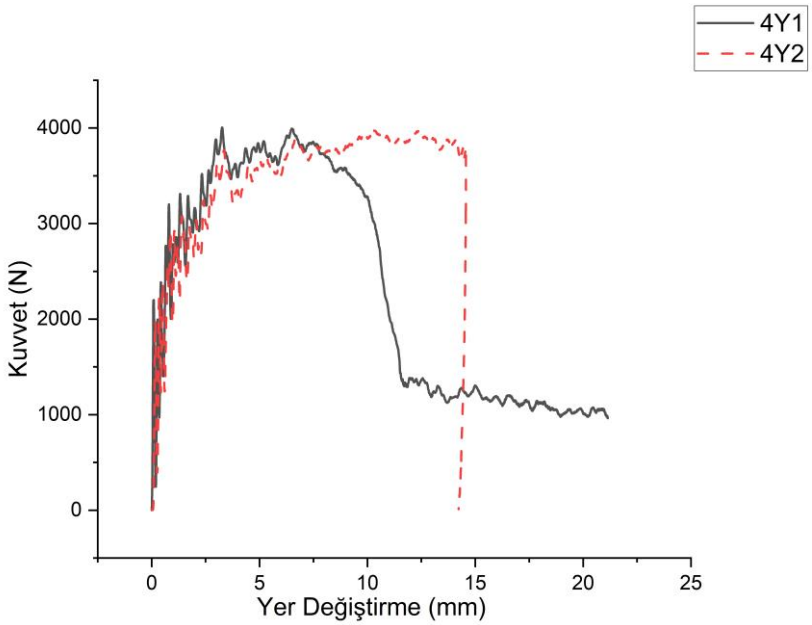


a)

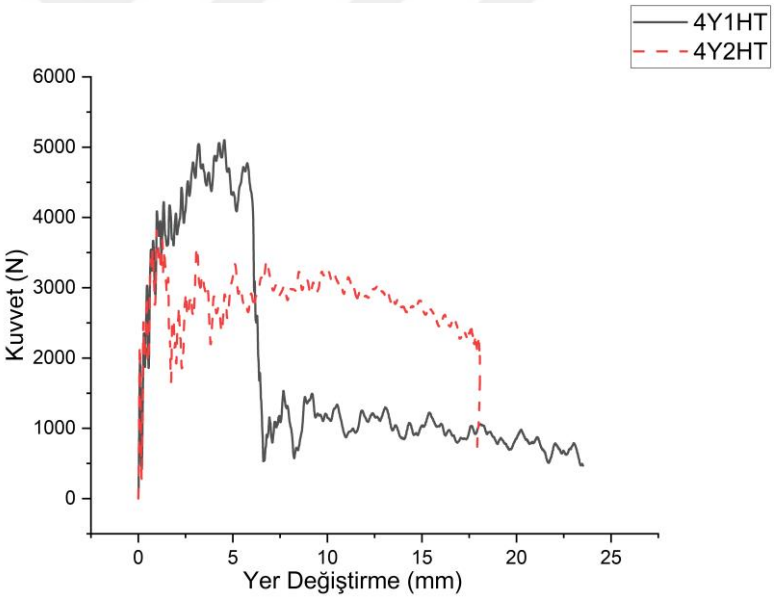


b)

Şekil 3.56. 11 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli



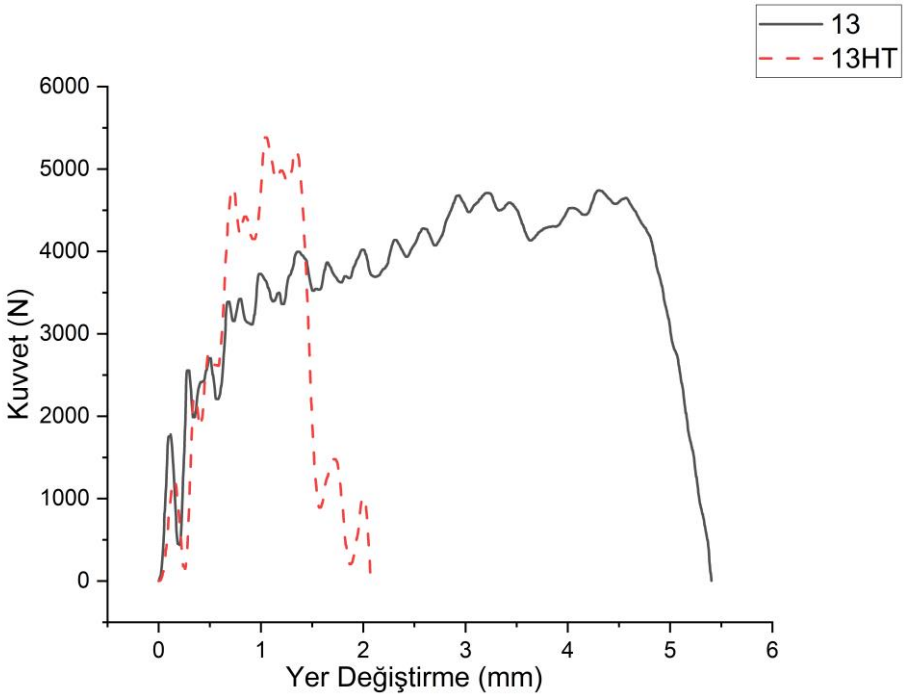
a)



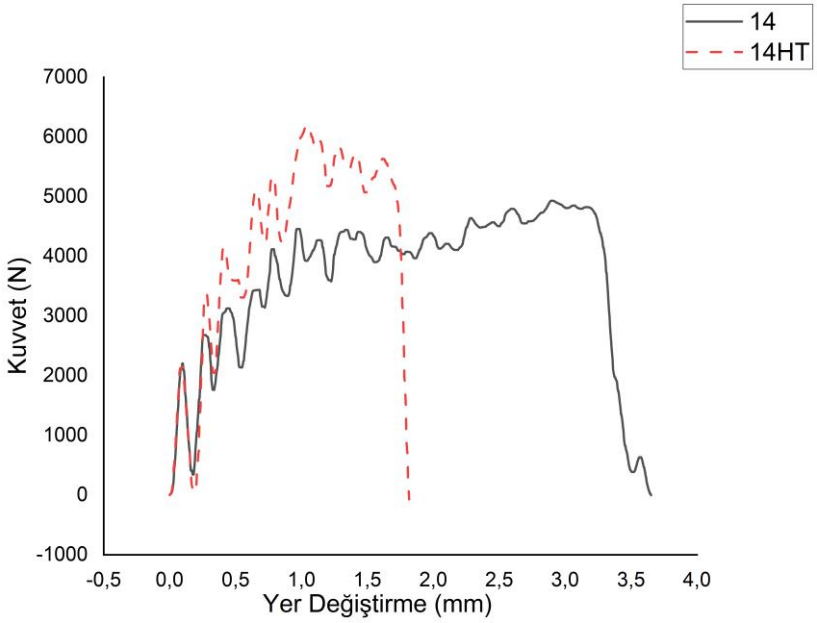
b)

Şekil 3.57. 12 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

9, 10,11 ve 12 numaralı kompozitlerinde ısıl işlemsiz serilerinde yön değişimi absorbe edilen enerjiye etki etmemektedir. Isıl işlemli serilerde ise arayüzey ayrılması sebepli grafikler stabil değildir. (Şekil 3.54., Şekil 3.55., Şekil 3.56., Şekil 3.57.)

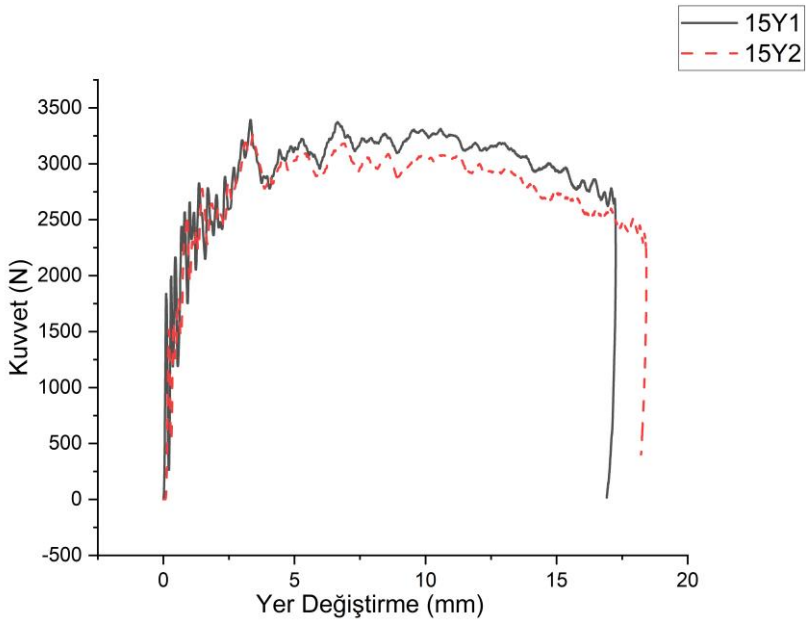


Şekil 3.58. 13 numaralı kompozitin kuvvet-yer değiştirme grafikleri

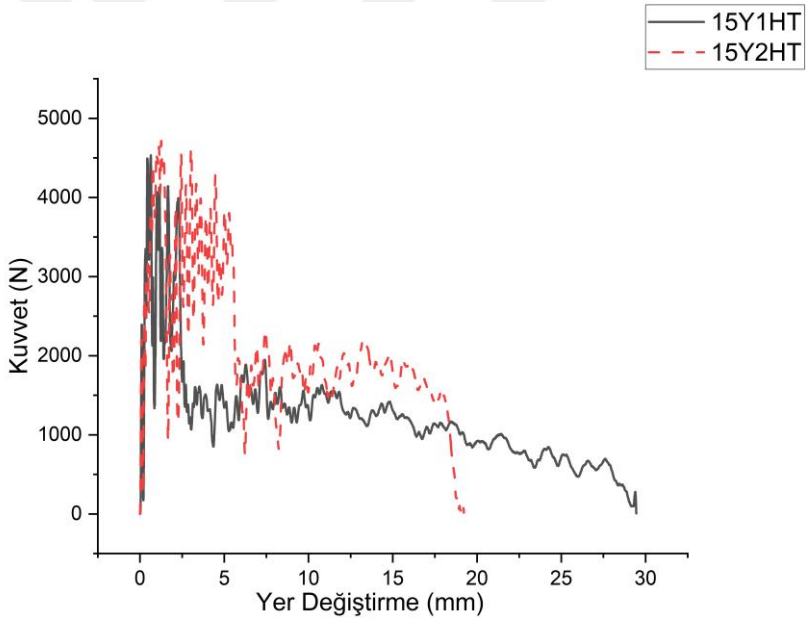


Şekil 3.59. 14 numaralı kompozitin kuvvet-yer değiştirme grafikleri

Kontrol grubu olan 13 ve 14 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri incelendiğinde sehim değerleri kompozit malzemelere nazaran daha az kalmaktadır. Özellikle 14 numaralı kompozitte %10 B_4C takviyesi yapıyı gevrek hale getirdiği için sehim değeri en düşük kalmıştır. (Şekil 3.58., Şekil 3.59.)



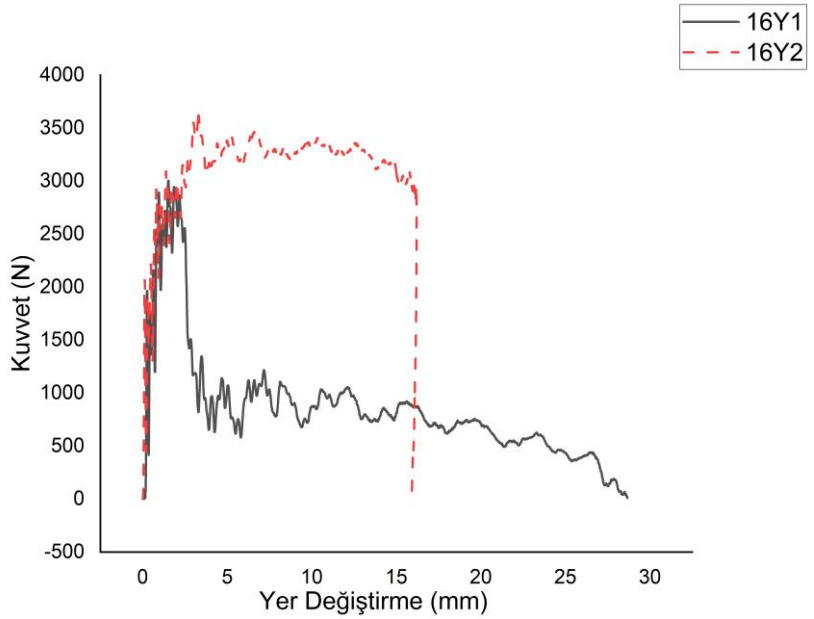
a)



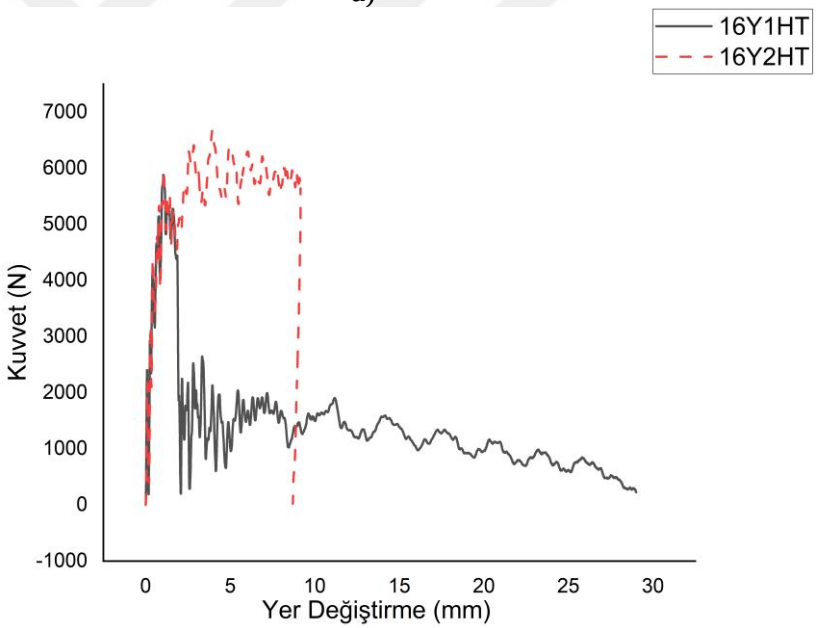
b)

Şekil 3.60. 15 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

15 numaralı kompozitin ısıl işlemsiz numunelerinde darbe yönü grafikleri stabil olup absorbe edilen enerji miktarları yakın çıkmaktadır. Isıl işlemli seride ise sehim miktarları numunenin tamamının sünek Al 6061 olması kaynaklı çok yüksektir. (Şekil 3.60.)



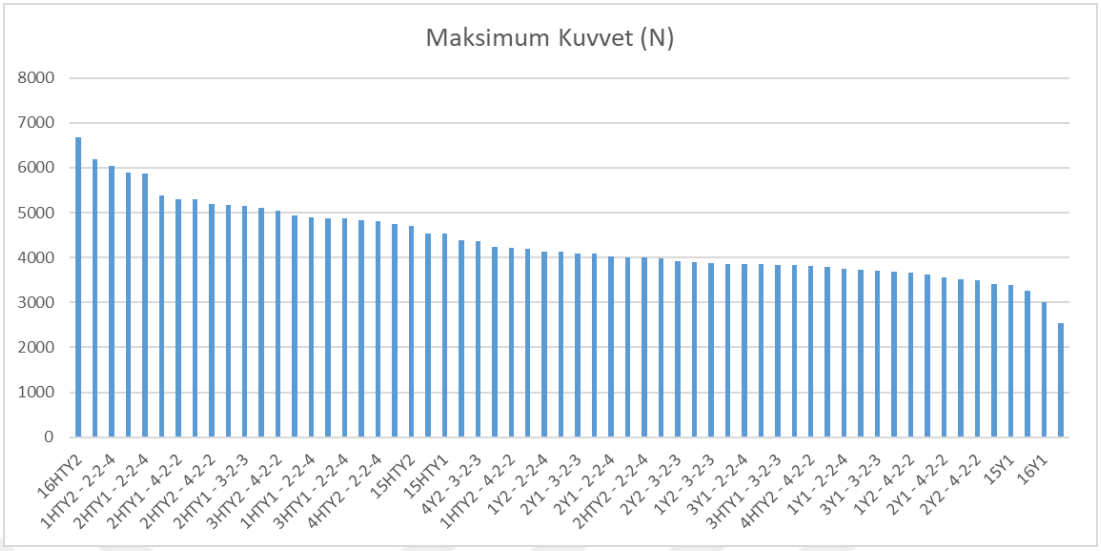
a)



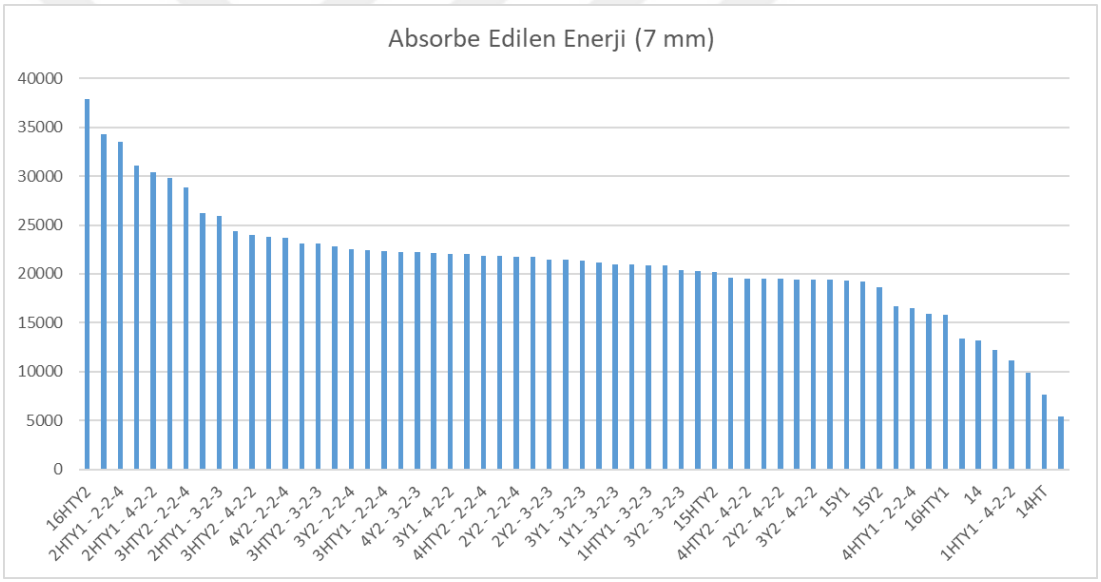
b)

Şekil 3.61. 16 numaralı kompozitlerin kuvvet-yer değiştirme grafikleri, a) Y1 ve Y2 yönü, b) Y1 ve Y2 yönü ısıl işlemli

16 numaralı kompozitte hem ısıl işlemsiz hem de ısıl işlemli darbe deneylerinde Y2 yönünden aldığı darbe sonucu gevrekleşmiş %10 B_4C takviyesi sebepli sehim miktarları çok az kalmıştır. Y1 yönünden alınan darbelerde Al 6061 ısıl işlemli plaka enerjiyi büyük oranda absorbe etmesini sağlamıştır. (Şekil 3.61.)



a)



b)

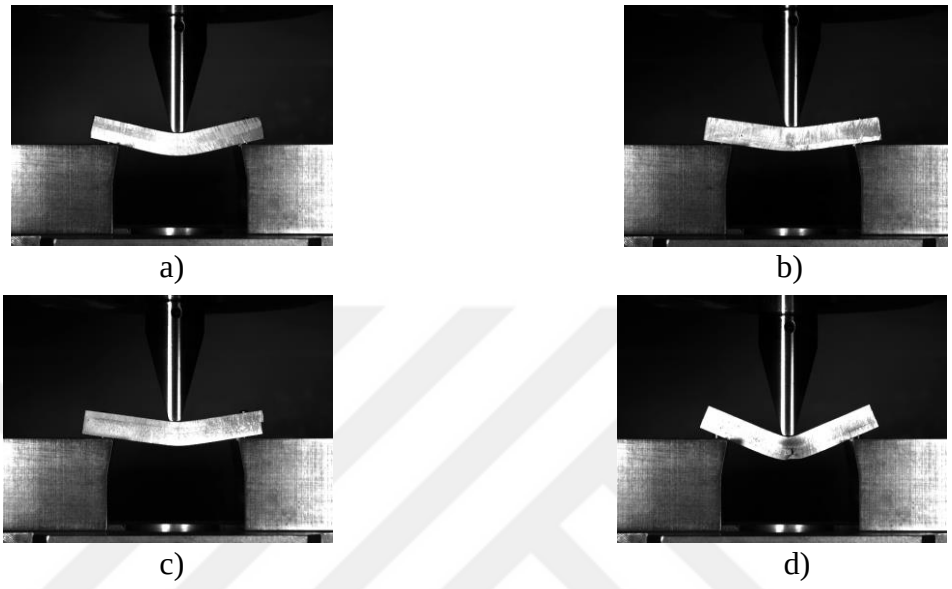
Şekil 3.62. a) Maksimum darbe kuvveti grafiği, b) Maksimum absorbe edilen enerji grafiği

Yapılan darbe testlerinde kompozit malzemelerin maruz kaldığı maksimum darbe kuvveti ve sehim değerleri kaydedilmiştir. (Şekil 3.62.) Absorbe edilen enerji değerleri kuvvet-yer değiştirme grafiklerinde 0-7 mm aralığında yer değiştirme seçilerek, grafiğin altında kalan alanın integralle hesaplanması ile elde edilmiştir. Yer değiştirme limitinin 7 mm olarak seçilmesinin sebebi tüm numunelerin grafikleri incelendiğinde en erken kırılan numune 7 mm sehim verdikten sonra kırılmasıdır. Maksimum darbe kuvvet grafiğinde tüm numuneler kıyaslandığında 16 numaralı ısıl işlemli numunede toz tabaka yönünden gelen darbede, sertleştirilmiş Al 6061 katman kalınlığının diğer kompozitlere kıyasla daha kalın olması malzemeyi çekme kuvveti altında daha tok hale getirerek en iyi enerji

absorbe ve maksimum kuvvet davranışı sergilemesini sağlamıştır. Yine absorbe edilen enerji değerleri incelendiğinde numune gruplarından %5 B_4C içeren 2 numaralı numunelerin en yüksek enerji absorbe edebilme kabiliyetine sahip olduğu gözlenmektedir. Fakat B_4C oranının artmasıyla birlikte absorbe edilen enerji değerlerinin düştüğü görülmüştür. B_4C oranının artmasıyla birlikte ıslatma kabiliyetinin ve dolayısıyla matris-takviye malzemeleri arasındaki bağın zayıfladığı tespit edilmiştir. Yapılan testlerde kontrol grubu olarak seçilen ham malzemelerin kompozitlere nazaran daha az enerji absorbe edebildiği tokluklarının daha az olduğu bulgusuna rastlanmıştır.

3.2.1.4. Darbe Test Görüntüleri

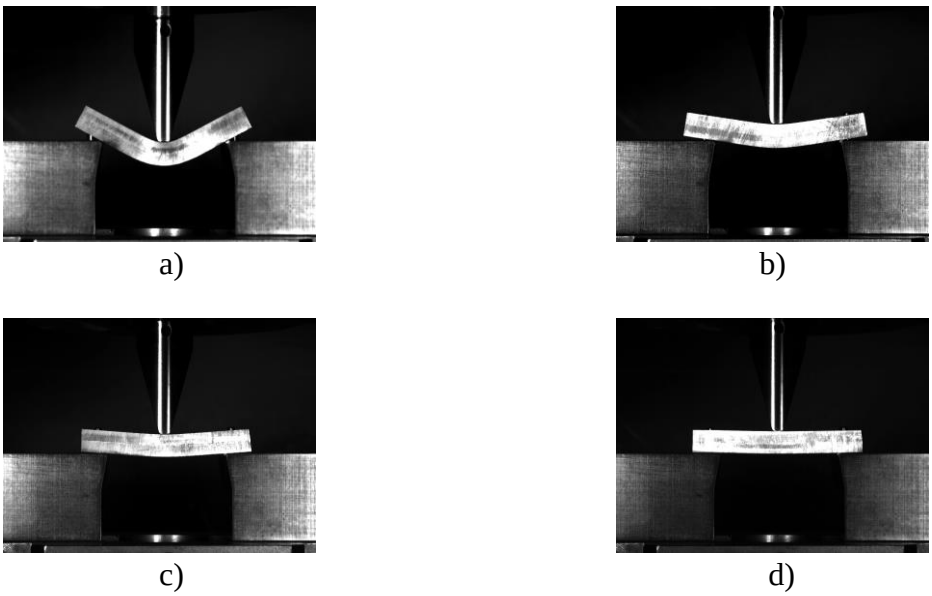
Numunelere uygulanan darbe testleri esnasında özel olarak kurulan yüksek hızlı kamera sistemiyle darbe anında oluşan görüntüler kayıt altına alınmış, maksimum kuvvet anında ve kırılan numunelerde ise kırılma anlarının görüntüleri kaydedilmiştir.



a) b)

c) d)

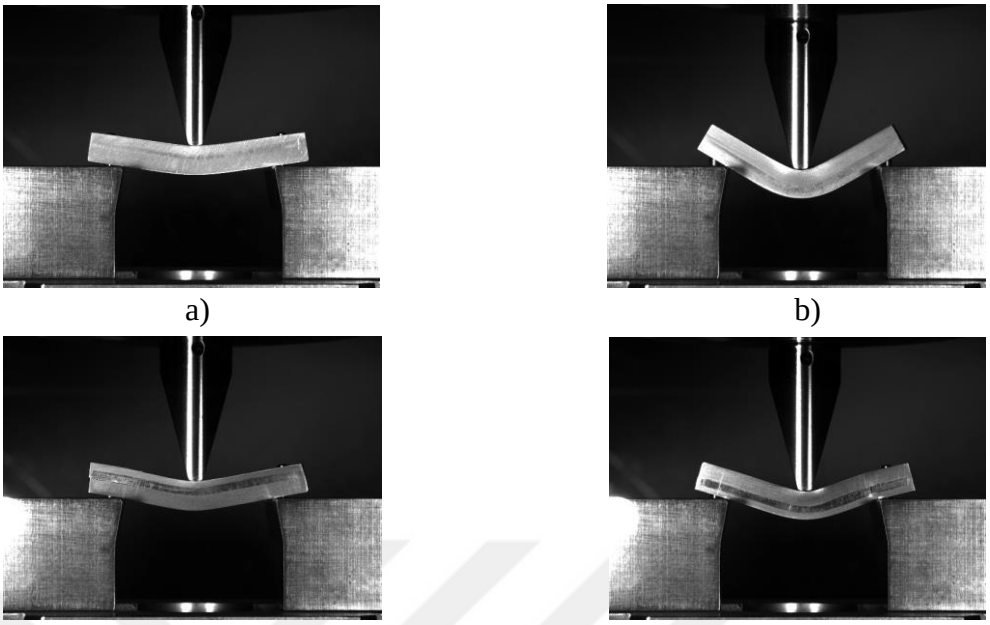
Şekil 3.63. 1 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

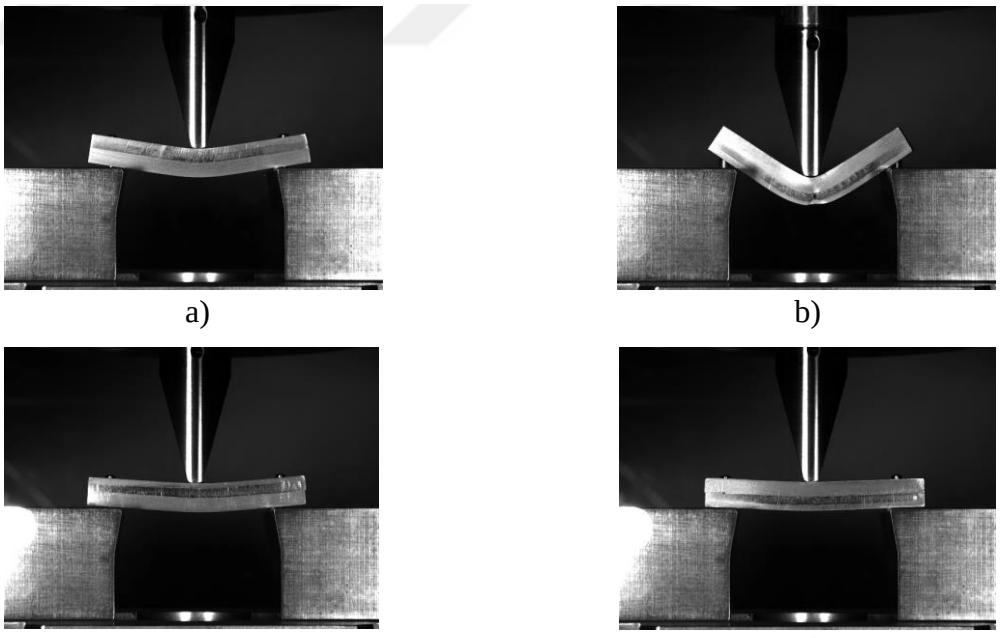
Şekil 3.64. 2 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

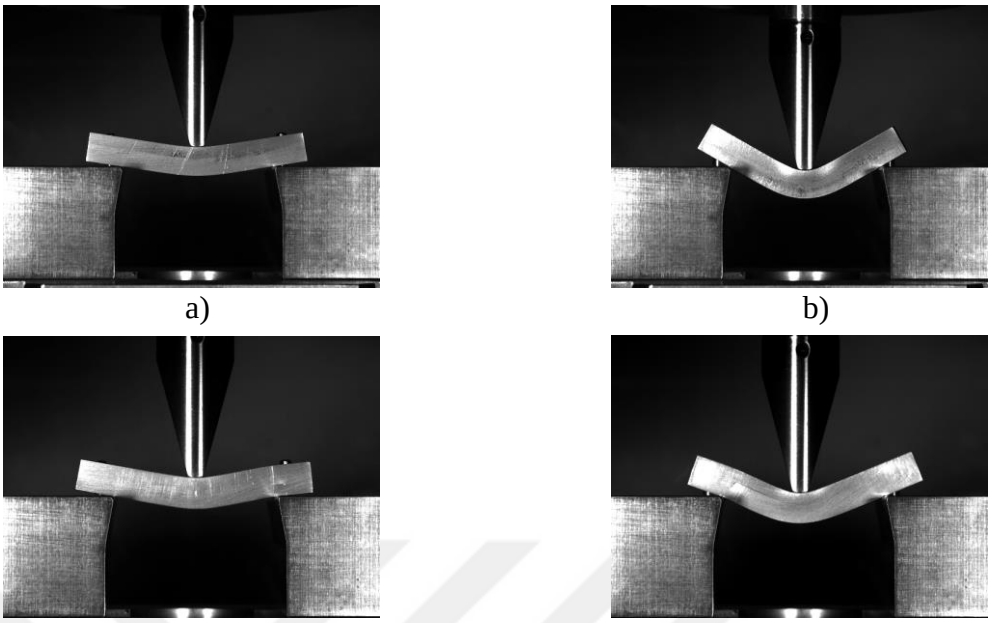
Şekil 3.65. 3 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

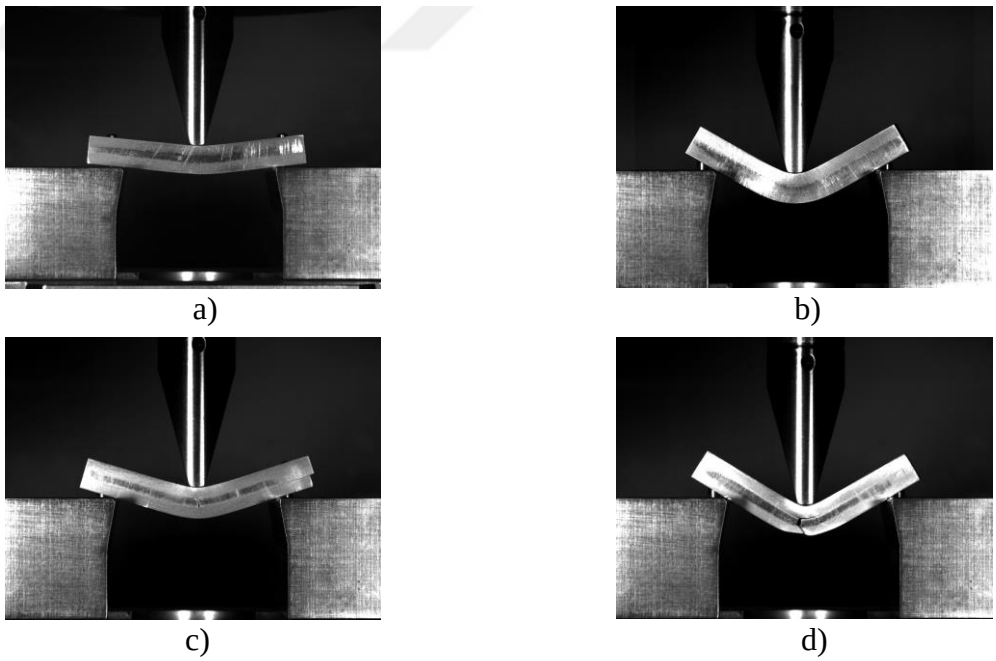
Şekil 3.66. 4 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

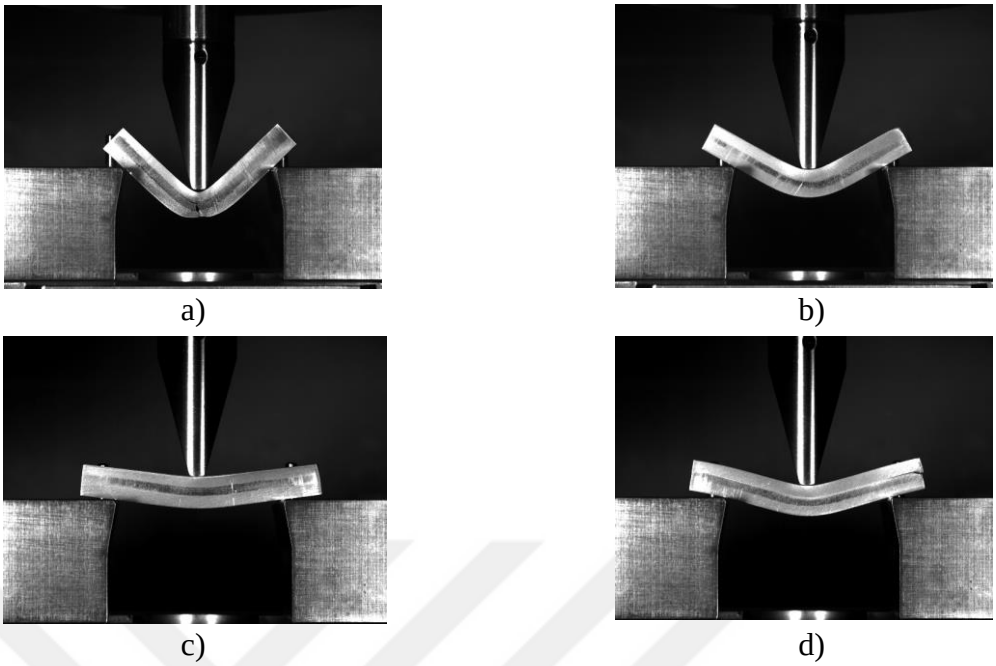
Şekil 3.67. 5 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



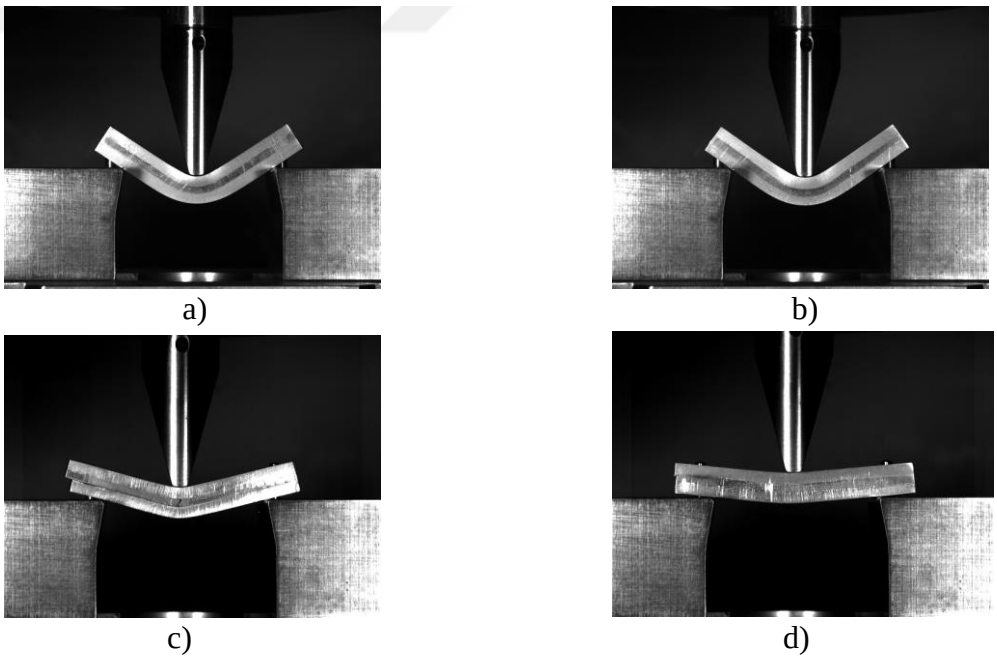
a) b)

c) d)

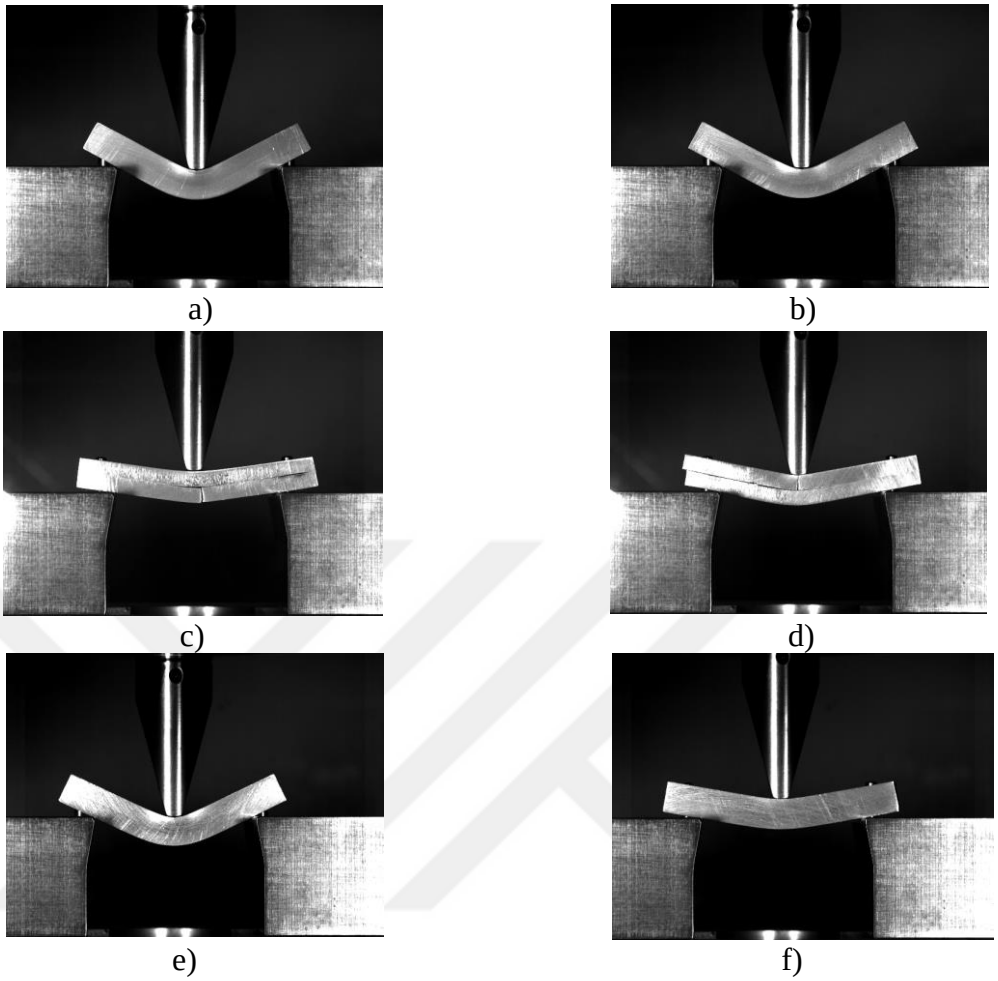
Şekil 3.68. 6 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



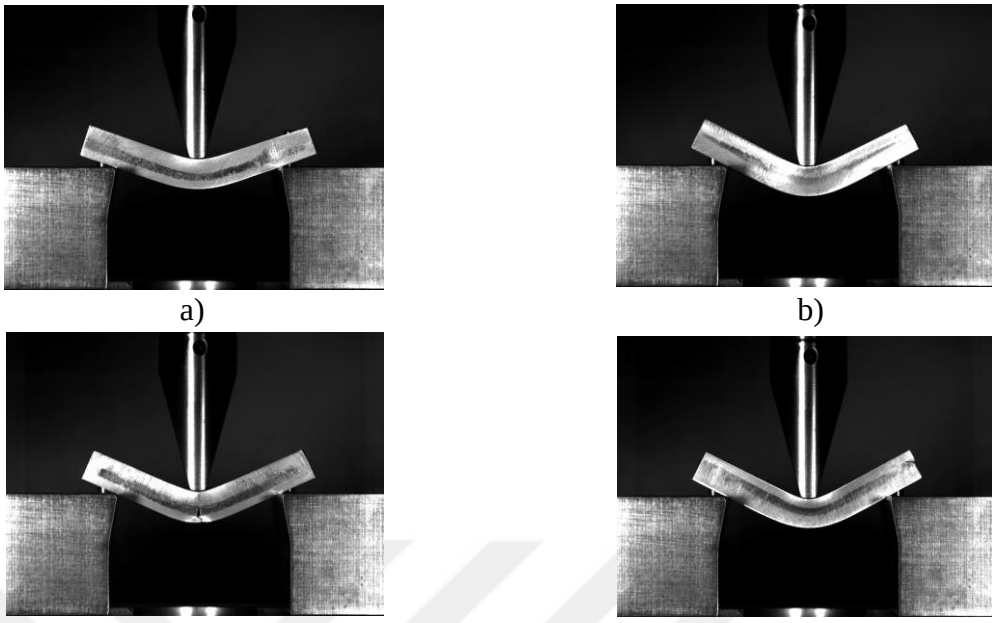
Şekil 3.69. 7 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



Şekil 3.70. 8 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



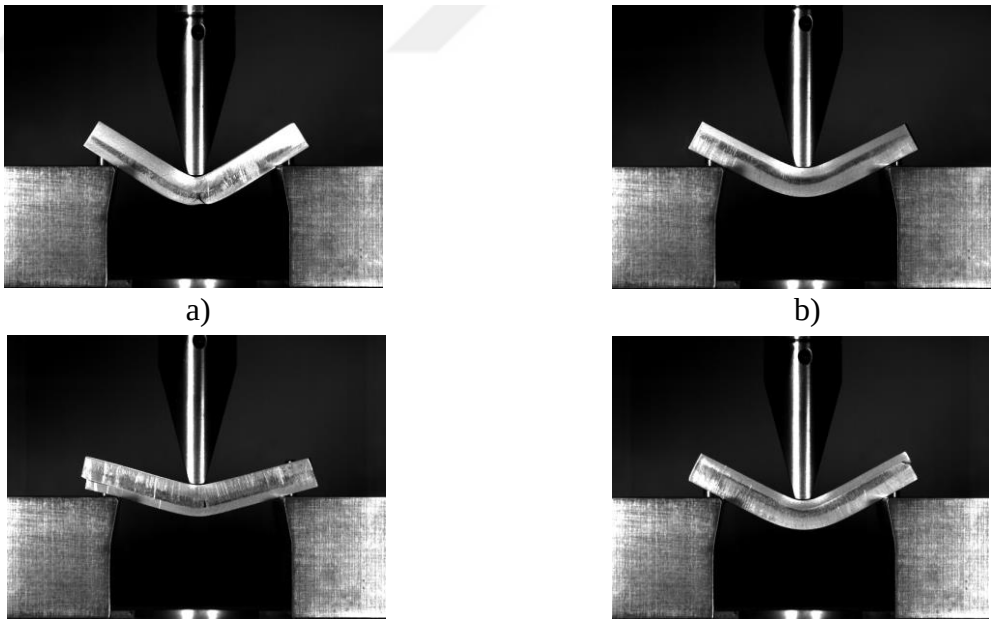
Şekil 3.71. 9 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli, e) Y2 yönünden 30 J darbe enerjisi, f) Y2 yönünden 70 J darbe enerjisi



a) b)

c) d)

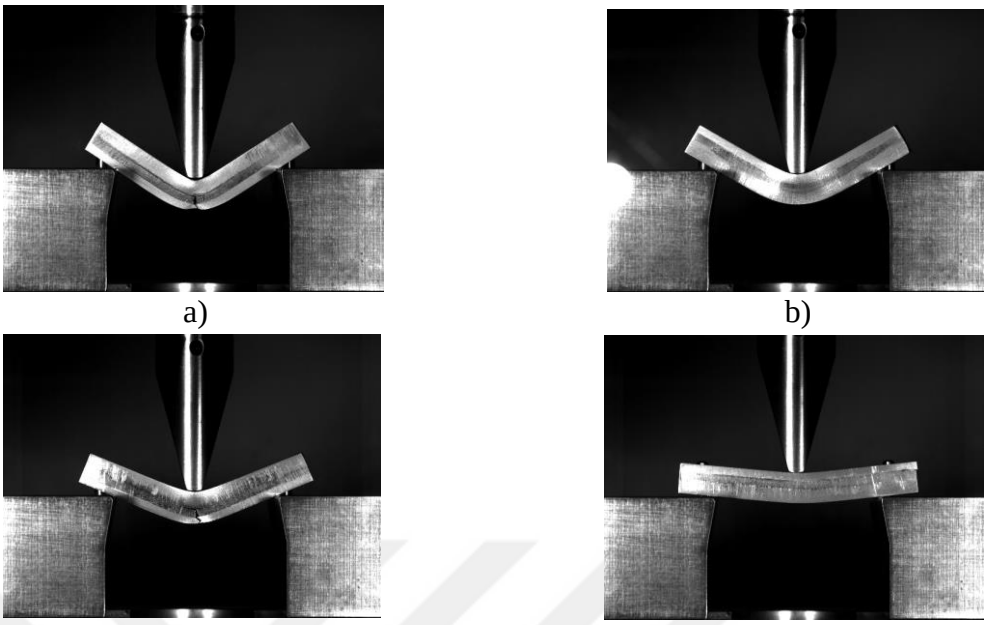
Şekil 3.72. 10 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

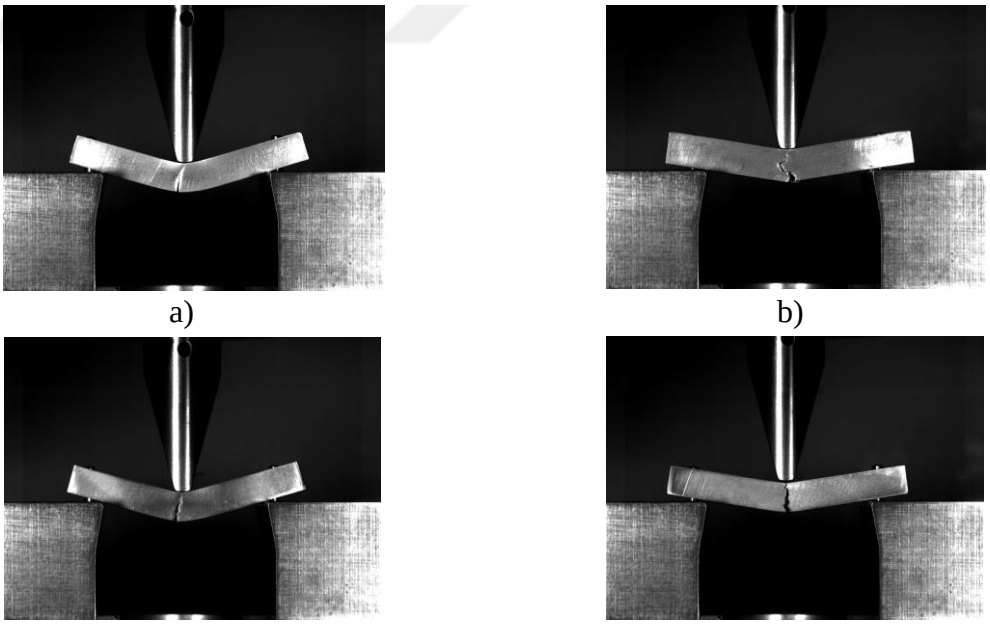
Şekil 3.73. 11 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

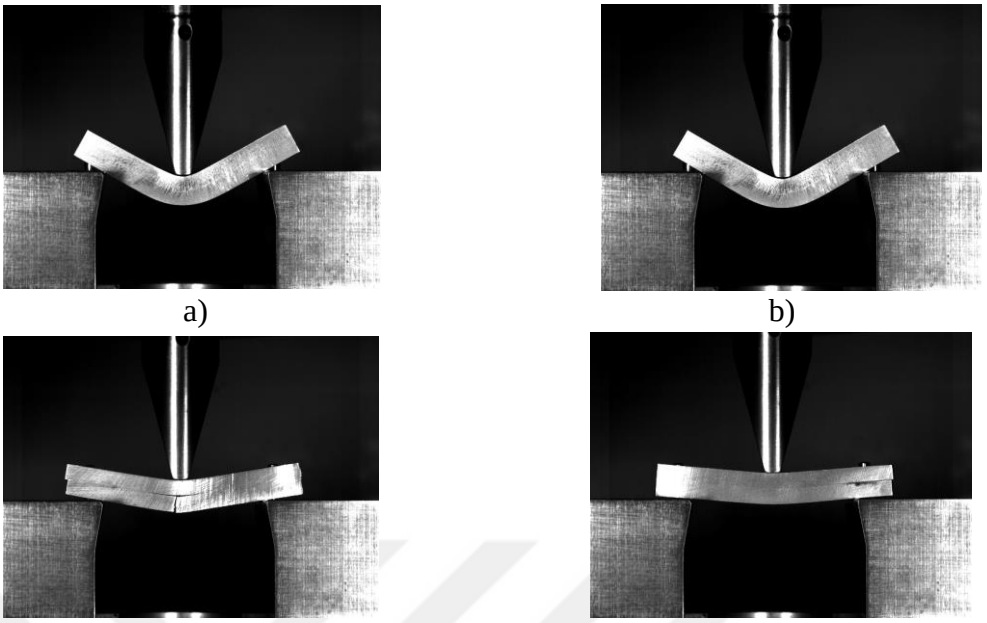
Şekil 3.74. 12 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

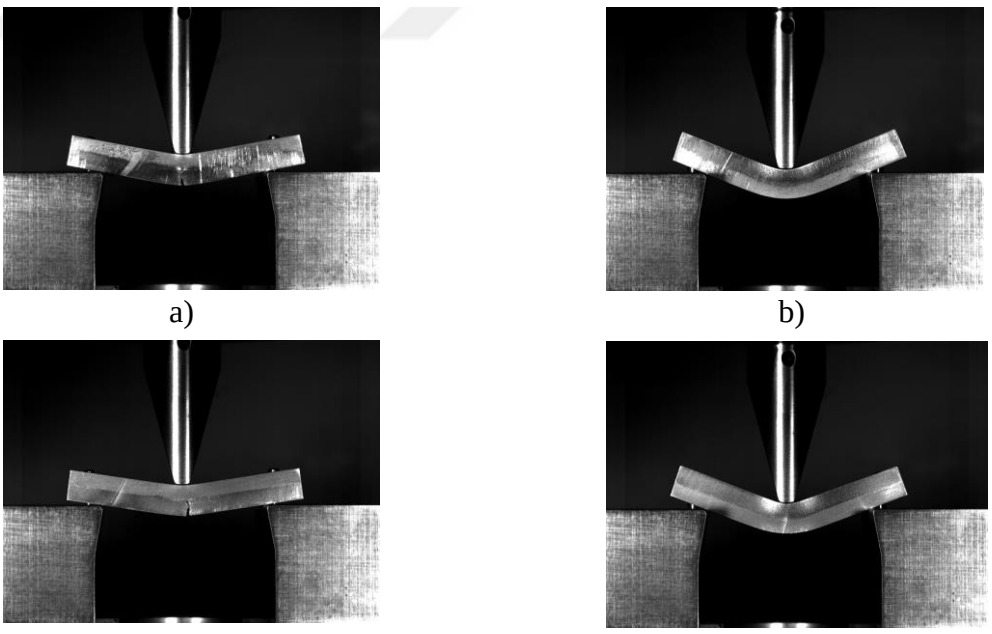
Şekil 3.75. 13 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

c) d)

Şekil 3.76. 15 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli



a) b)

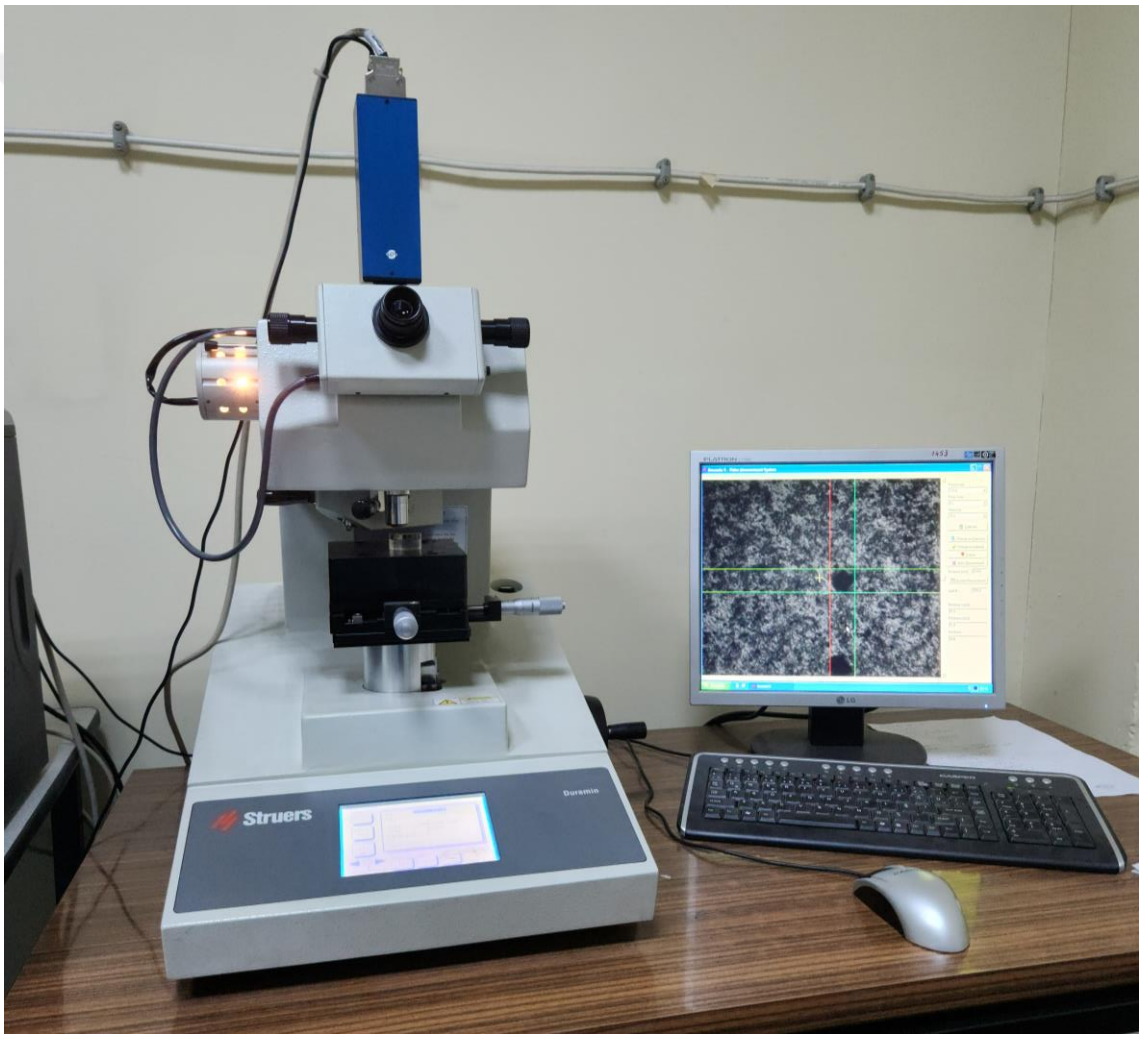
c) d)

Şekil 3.77. 16 numaralı numunelerin maksimum temas kuvvetine ulaştığı an görüntüleri, a) Y1 yönünden, b) Y2 yönünden, c) Y1 yönünden ısıl işlemli, d) Y2 yönünden ısıl işlemli

1-16 numaralı numunelerin darbe testleri esnasında alınan görüntülerde ısıl işlemli numunelerin daha kısa temas zamanında kırıldığı, 1-4 numaralı numunelerde Al 6061 yönünden alınan darbelerde çoğu numunede kırılma gerçekleşmediği, B_4C takviyeli numunelerde katman ayrılmaları gözlenmiştir. Isıl işleme tabii tutulmuş numunelerde yine kısa temas süresinde maksimum kuvvete ulaşılmış olup, katman arası bağ yapılarının zayıflaması nedeniyle kırılmalar gözlenmiştir. (Şekil 3.63., Şekil 3.64., Şekil 3.65., Şekil 3.66., Şekil 3.67., Şekil 3.68., Şekil 3.69., Şekil 3.70., Şekil 3.71., Şekil 3.72., Şekil 3.73., Şekil 3.74., Şekil 3.75., Şekil 3.76., Şekil 3.77.)

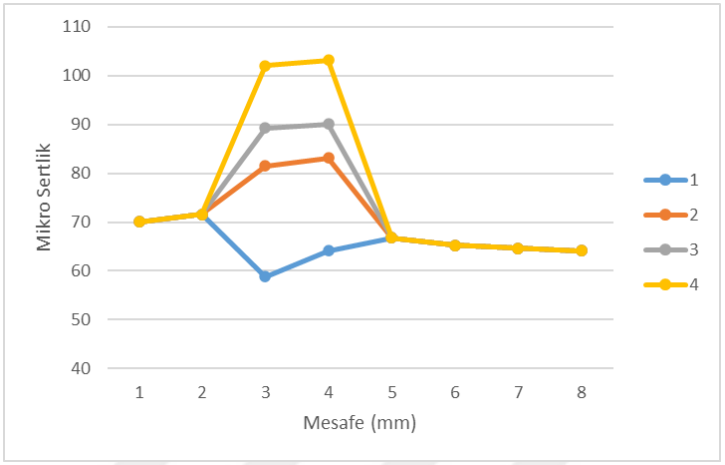
3.2.2. Sertlik Testleri

Üretilen kompozit malzemelerin katmanlarından sertlik ölçüleri alınmıştır. Malzemelerde sertlik tayini için kullanılan yöntemler arasında Vickers, Brinell, Rockwell ve Mikrosertlik ölçme sıklıkla tercih edilir. Çalışmada mikrosertlik ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. Sertlik testleri Struers Duramin marka cihazla gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.78.) Bu yöntemde sertlik ölçümü yapılması istenen örnek üzerine kare tabanlı piramit şeklindeki uç belirli bir yük doğrultusunda uygulanır. Yük kaldırıldığında numune üzerinde bıraktığı izin köşegen uzunlukları sertliğin ölçülmesini sağlar.

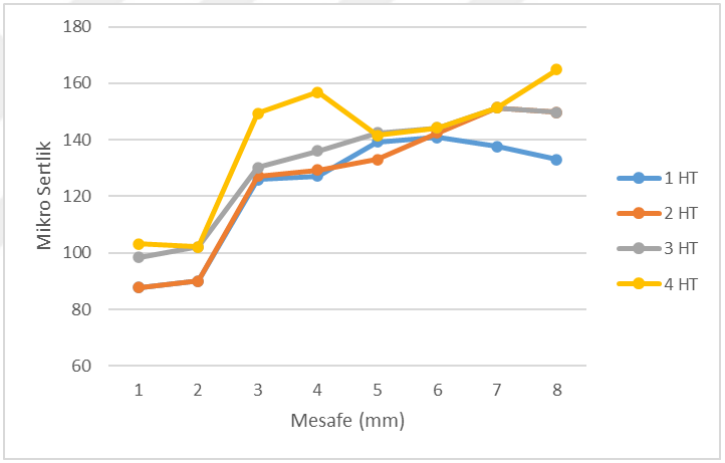


Şekil 3.78. Mikrosertlik ölçüm cihazı

3.2.2.1. Sertlik Grafikleri



a)

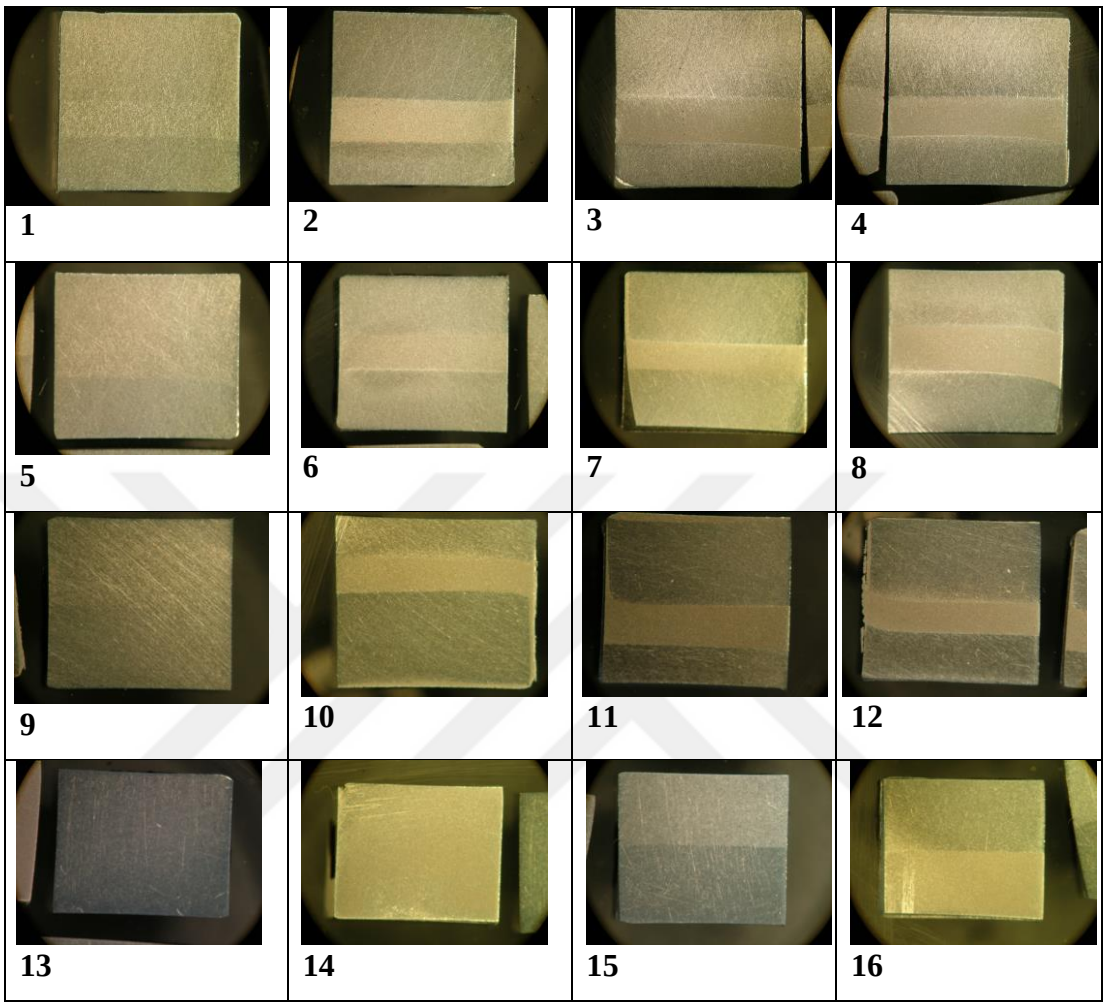


b)

Şekil 3.79. 1-4 numaralı numunelerin sertlik grafikleri,
a) Isıl işlemsiz, b) Isıl işlemli

Numunelere uygulanan ısıl işlem sonrası Al 6061 serisi numunelerin sertleşerek B_4C sertlik değerlerine yaklaştığı ve B_4C değerinin %15 dolaylarına ulaşmasıyla sertlik değerlerinin neredeyse eşitlendiği görülmektedir. Tüm numunelerde Al 6061 sertlik değerleri birbirine yakın çıkmaktadır. Fakat ısıl işlemle sertleşmeyen Al 5005 serisi yapıda kayda değer bir sertleşme görülmemiştir. (Şekil 3.79.)

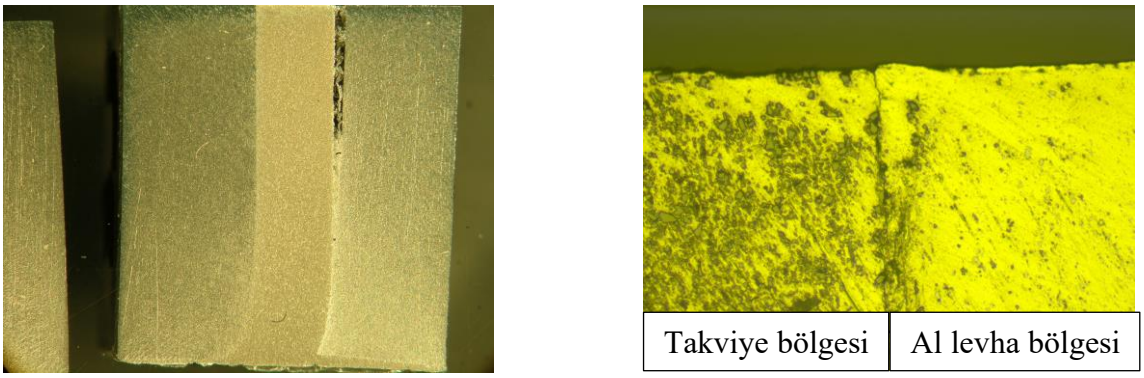
3.2.3. Makro Görüntüler



Şekil 3.80. 1-16 numaralı numunelerin makro görüntüleri

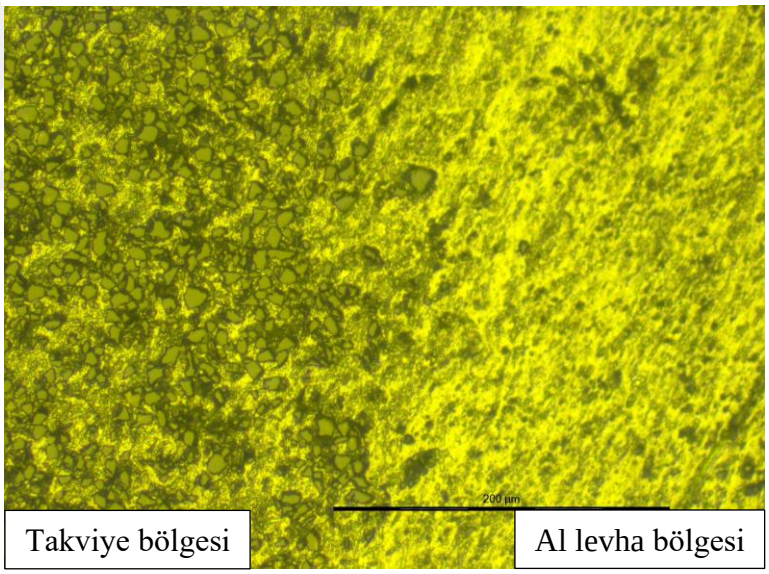
Bakalite alınan numuneler sırasıyla 400 grit, 800 grit ve 1200 grit zımparalarla yüzeyleri parlatılmış, sonrasında kamera düzeneği ile görüntü alınmıştır. Makro görüntülerde hibrit kompozitlerin geçiş bölgeleri açıkça görülmekte olup, arayüzey bağlantılarında herhangi bir açılma görülmemiştir. Isıl işlem sonrası kompozit malzemelerdeki arayüzey incelendiğinde, 6 numaralı kompozit malzemede arayüzeyler arasında ısıl işlem

esnasında termal genleşme farklılıklarının olması sebebiyle meydana gelen ayrılmalar gözlenebilmektedir. (Şekil 3.81.)



a) b)

Şekil 3.81. a) Isıl işlem sonrası makro ayrılma görüntüsü,
b) Isıl işlem sonrası mikro ayrılma görüntüsü



Şekil 3.82. Isıl işlemsiz malzeme arayüzey mikro görüntüsü

Isıl işlem uygulanmayan malzemelerin mikroyapı görüntülerinde arayüzey bölgesinde herhangi bir ayrılma gözlenmemiştir. (Şekil 3.82.)

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Al/Al-seramik hibrit kompozit üretilmesi ve üretilen bu kompozitin ısıl işlemle mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Hibrit kompozit 3 yapıdan oluşmakta olup bu yapı sırasıyla Al 6061 – Toz malzeme – Al 5005 malzemeleridir. Bu yapı dolayısıyla malzeme hibrit kompozit sınıfına girmektedir. Kompozit malzemeler yüksek sıcaklıkta basınç altında tutularak toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen kompozitlerde katman kalınlığına göre 3 farklı tip kompozit üretilmiştir. Bunlar sırasıyla; 2-2-4 mm, 3-2-3 mm, 4-2-2 mm kalınlığa sahiptirler. Toz malzeme olarak 4 farklı tip kompozit üretilmiştir. Bunlar ise sırasıyla %100 Al 6061 tozu, %5 B_4C, %10 B_4C ve son olarak %15 B_4C'dir. Ayrıca numuneler T6 ısıl işlemine tabii tutulmuştur. Üretilen bu kompozit malzemelere ASTM E23 standardında darbe deneyi, mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş olup, numuneler bakalite alınarak arayüzey bağlantıları ve kırılma bölgeleri incelenmiştir.

- Darbe testi uygulanan numunelerde absorbe edilen enerji miktarı yöne bağlı kalmadan ortalama eşit miktarda olmaktadır.

- B_4C yüzdesi arttıkça maksimum temas kuvveti artmıştır fakat kırılma enerjisinde düşme meydana gelmektedir.

- Isıl işlem uygulanan numunelerin hepsinde arayüzey bağlantılarında bariz zayıflamalar gözlenmiş, yapılan darbe testlerinde de arayüzey bağlantılarının darbe başlangıcında kolaylıkla ayrıldığı görülmüştür.

- Uygulanan ısıl işlem de arayüzeyde açılmalara sebebiyet vermiştir.

- Mikrosertlik testlerinde Al 5005 plakada sertlik değişimi gözlenmezken, Al 6061 serisi plakada sertlik artışı vardır. Al 6061 plakaların sertlik değeri orta bölümde yer alan toz malzemede en yüksek B_4C oranı olan %15 değerinin sertliğine çok yaklaşmıştır.

- En yüksek kuvvet dayanımını ve absorbe edilen enerji miktarını ısıl işlemli 16 numaralı kompozit vermiştir.

- En düşük dayanım ise 16 numaralı kompozitin Y1 yönünden darbe alması esnasında gerçekleşmiştir.

4.2.Öneriler

Sonuçlar bölümünde de ifade edildiği üzere, kompozitlerin ısıl işleme tabii tutulması arayüzeylerde ayrılmalara sebebiyet vermiştir. Bu ara yüzey ayrılmalarını önleyebilmek için ısıl işlem parametrelerinde değişiklik uygulanabilir, su verme işlemi daha kontrollü yapılabilir ya da ısıtma süresi daha uzun tutulabilir.

Kompozitlerin kayma kuvvetlerine karşı mukavemetinin de incelenmesi dayanımları açısından fikir sağlayabilir.

KAYNAKÇA

1. Kosedag E., Ekici R., 2019. Low-velocity impact performance of B4C particle-reinforced Al 6061 metal matrix composites. **Mater. Res. Express 6** 126556.

2. Kaburcuk M., Ekici R., 2015. Low-velocity impact behavior of Al 6061/SiC particulate metal matrix composites. **Journal of Composite Materials, Vol. 49(7)** ss.853–871.

3. Kosedag E., Ekici R., 2022. Low-Velocity and Ballistic Impact Resistances of Particle Reinforced Metal-Matrix Composites: **An Experimental Study. Journal of Composite Materials.**

4. Nam H.W., Gamal A., Takahashi K., Han K.S., 2000. The dynamic behavior of metal-matrix composites under low-velocity impact. **Composites Science and Technology 60** ss.817-823.

5. Ozden S., Ekici R., Nair F., 2007. Investigation of impact behaviour of aluminium based SiC particle reinforced metal‑matrix composites. **Composites: Part A 38** ss.484‑494.

6. Cerit A.A., 2014. Investigation of the low-speed impact behavior of dual particle size metal matrix composites. **Materials and Design 57** ss.330‑335.

7. Ekici R., Kosedag E., Demir M., 2022. Repeated low-velocity impact responses of SiC particle reinforced Al metal-matrix composites**. Ceramics International 48** pp. 5338–5351.

8. Zhou Z., Wu G., Jiang L., Xu Z., 2014. The deformation of B4C particle in the B4C/2024Al composites after high velocity impact**. Micron 67** ss.107–111.

9. Topcu I., Gulsoy H.O., Kadioglu N., Gulluoglu A.N., 2009. Processing and mechanical properties of B4C reinforced Al matrix composites. **Journal of Alloys and Compounds 482** ss.516‑521.

10. Mehra V., Sambaran P., Chaturvedi S., 2014. Possibility of Shear Fracture in Low-Velocity Impact of Al-6061 Projectiles on Al-6061Plates. **Procedia Engineering 86** ss.295 – 301.

11. Chao Z.L., Sun T.T., Jiang L.T., Zhou Z.S., Chen G.Q., Wu G.H., 2019. Ballistic behavior and microstructure evolution of B4C/AA2024 composites. **Ceramics International 45** ss.20539–20544.

12. Arslan K., Gunes R., 2018. Experimental damage evaluation of honeycomb sandwich structures with Al/B4C FGM face plates under high velocity impact loads. **Composite Structures 202** ss.304–312.

13. Aydın M., 2009. Düşük Hızlı Çarpma Yükleri Altında Fonksiyonel Kademelendirilmiş Dairesel Plakaların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, s.76.

14. Aydın M., 2014. Fonksiyonel Kademelendirilmiş Sandviç Plakaların Balistik Davranışı, Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, Kayseri, s.109.

15. Huang X., Yin C., Ru H., Zhao S., Deng Y., Guo Y., Liu S., 2020. Hypervelocity impact damage behavior of B4C/Al composite for MMOD shielding application. **Materials and Design 186** s.108323.

16. Kalaiselvan K., Murugan N., Parameswaran S., 2011 Production and characterization of AA6061‑B_4C stir cast composite. **Materials and Design 32** ss.4004‑4009.

17. Karabulut Ş., Karako. H., Çıtak R., 2016. Influence of B_4C particle reinforcement on mechanical and machining properties of Al6061/B_4C composites. **Composites Part B 101** ss.87-98.

18. Auradi V., Rajesh G.L., Kori S.A., 2014. Processing of B_4C Particulate Reinforced 6061Aluminum Matrix Composites by melt stirring involving two-step addition. **Procedia Materials Science 6** ss.1068 – 1076.

19. Sharifi E.M., Karimzadeh F., Enayati M.H., 2011. Fabrication and evaluation of mechanical and tribological properties of boron carbide reinforced aluminum matrix nanocomposites. **Materials and Design 32** ss.3263‑3271.

20. Darmiani E., Danaee I., Golozar M.A., Toroghinejad M.R., Ashrafi A., Ahmadi A., 2013. Reciprocating wear resistance of Al‑SiC nano-composite fabricated by accumulative roll bonding process. **Materials and Design 50** ss.497‑502.

21. Baradeswaran A., Perumal A.E., 2013. Influence of B_4C on the tribological and mechanical properties of Al 7075‑B_4C composites. **Composites: Part B 54** ss.146‑152.

22. Kerti I., Toptan F., 2008. Microstructural variations in cast B4C-reinforced aluminium matrix composites (AMCs). **Materials Letters 62** ss.1215–1218.

23. Das S., Chandrasekaran M., Samanta S., 2018. Comparison of Mechanical properties of AA6061 reinforced with (SiC/B_4C) micro/nano ceramic particle reinforcements. **Materials Today: Proceedings 5** ss.18110–18119.

24. Sharma H., Tiwari S. K., Kumar A., Singh D., 2022. Investigation of mechanical and erosive behaviour of the Al 6061-SiC composites fabricated by stir casting. **Materials Today: Proceedings 69** ss.446‑453.

25. Chawla K., Chawla N., 2007. Metal Matrix Composites. Springer New York, s.381.

26. Karamış, M. B., 2005. İmalat Yöntemleri, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, s.381.

27. Kumar S., Dhruthi, Pramod G.K., Samrat P., Sadashiva M., 2022. A Critical Review on Heat Treatment of Aluminium Alloys. **Materials Today: Proceedings 58** ss.71-79.

28. Callister W., Rethwisch D., 2015. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel, ss. 627-628.

29. Karatepe C., Barun Ö., 2018, Al 6061 ve Seramik Katkılı Kompozitlerinin Yorulma Davranışı, Kayseri.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Cihan Karatepe

Uyruğu: Türkiye (T.C.)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2018
Lise	Fevzi Çakmak Lisesi, Kayseri	2013

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2020-Halen	Mega Metal A.Ş.	3 yıl
2019-2020	Femaş Metal A.Ş.	1 yıldan az

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. GÖÇER, A. KARATEPE, C. And KARAMIŞ, M. B. (2018). "Investigation on Fatigue Behavior of B4C Powder Size in Al 6061-B4C Composites." IV. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES (ICENS), Kiev, Ukraine, pp.378-384.