

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ÇERÇEVE DESTEKLİ KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN DÜŞÜK
HIZLI DARBE DAYANIMLARININ İNCELENMESİ VE
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

HAZIRLAYAN

AHMET KAZIM ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2022

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SAVUNMA SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ÇERÇEVE DESTEKLİ KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN DÜŞÜK
HIZLI DARBE DAYANIMLARININ İNCELENMESİ VE
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

HAZIRLAYAN

AHMET KAZIM ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ. BEDİ CENK BALÇIK

ANKARA – 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Ahmet Kazım ÇELİK tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 25 / 11 / 2022

Tez Adı: Çerçeve Destekli Kompozit Malzemeler İçin Düşük Hızlı Darbe Dayanımlarının İncelenmesi Ve Etkilerinin Belirlenmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Dr. Öğr. Üyesi. Bedi Cenk Balçık, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ömer Faruk Elaldı, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ahmet Hakan Argeşo, Atılım Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : 25 / 11 / 2022

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 02 / 12 / 2022

Öğrencinin Adı, Soyadı: Ahmet Kazım ÇELİK

Öğrencinin Numarası: 21810434

Anabilim Dalı: Savunma Teknolojileri ve Sistemleri

Programı: Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi. Bedi Cenk Balçık

Tez Başlığı: Çerçeve Destekli Kompozit Malzemeler İçin Düşük Hizli Darbe

Dayanımlarının İncelenmesi Ve Etkilerinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 94 sayfalık kısmına ilişkin, 02 / 12 / 2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNITIN adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7'dir. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: 02 / 12 / 2022

Öğrenci Danışmanı Dr. Öğr. Üyesi

Bedi Cenk Balçık

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve değerli katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi. Bedi Cenk Balçık 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışmanın tamamlanmasında da her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen canım babam Mustafa Yavuz Çelik'e, canım annem Rukiye Çelik'e ve canım kardeşim Cemal Öktem Çelik'e sonsuz teşekkür ederim.



ÖZET

Ahmet Kazım ÇELİK

ÇERÇEVE DESTEKLİ KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN DÜŞÜK HIZLI DARBE DAYANIMLARININ İNCELENMESİ VE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı

2022

En az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleşerek oluşturduğu kompozit malzemeler savunma sanayi, zırh tasarımları, havacılık, uzay teknolojileri, otomotiv, robot teknolojisi, tıp alanı, inşaat ve yapı sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama yüzeyi olarak kullanılan kompozit plakların yük altında davranışları, bağlı oldukları yapısal yük taşıyıcı sistem ile birlikte değerlendirilmesi uygundur. Bu amaçla çerçeve destekli kompozit plakaların düşük darbe hızlarındaki mekanik performansı sayısal ve mekanik testlerle değerlendirilmiştir. Kompozit plakaları yerleştirmek için 9 karesel boşluklu ve 25 karesel boşluklu olan ve cidar kalınlığı 0,1 mm’ den başlayıp 5 mm ulaşan destek çerçeveleri tasarlanmıştır. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemeler ise 12 tabakalı ve $[0,45,-45,90]_3$ serim açısına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Çerçeve, zırh çeliği malzemesinden, kompozit malzeme ise e-cam/epoksi dokuma kumaş malzemesinden tasarlanmıştır. Tasarlanan numuneler 10 J’ lük çarpma etkisi altında hem ANSYS’ de analiz edilmiş, hem de Başkent Üniversitesi “Biyomekanik ve Mukavemet Laboratuvarında” bulunan düşük hızlı darbe test cihazı ile laboratuvar deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, çerçeve destekli ve kompozit kısımların şekil ve cidar kalınlığına göre düşük hızlı darbe enerji tutma ve hasar durumları değerlendirilmiş, cidar kalınlığı arttıkça kompozit plakada enerji tutma oranının azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzemeler, Düşük Hızlı Çarpma, Savunma Sanayi, E-Cam Elyaf Dokuma Kumaş, Zırh Çeliği

ABSTRACT

Ahmet Kazım ÇELİK

INVESTIGATION AND DETERMINATION OF LOW VELOCITY IMPACT RESISTANCE FOR COMPOSITE MATERIALS STRENGTHENED WITH FRAME

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Defense Technologies and Systems

2022

Composite materials formed by combining at least two different materials in macro dimensions are widely used in defense industry, armor designs, aviation, space technologies, automotive, robotics, medical field, construction and construction sectors. The behavior of composite plates used as coating surfaces under load is suitable to be evaluated together with the structural load carrier system to which they are connected. For this purpose, the mechanical performance of frame-supported composite plates at low impact rates was evaluated by numerical and mechanical tests. To accommodate the composite plates, support frames with 9 square gaps and 25 square gaps and wall thickness starting from 0.1 mm and reaching 5 mm are designed. The composite materials placed in the frame are designed to have 12 layers and a 3 laying angle [0,45,-45,90]. The frame is designed from armor steel material and composite material is designed from e-glass/epoxy woven fabric material. The designed samples were analyzed both in ANSYS under the impact of 10 J and subjected to laboratory testing with a low-speed impact tester in the "Biomechanics and Strength Laboratory" of Başkent University. As a result of the studies, low-speed impact energy retention and damage situations of the frame-supported and composite parts according to the shape and wall thickness were evaluated, and it was seen that the energy retention rate in the composite plate decreased as the wall thickness increased.

Keywords: Composite Material, Low Velocity Impact, Defense Industry, E-Glass Fiber Woven Fabric, Armor Steel

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Çalışma Grupları Oluşturulması.....	11
3.2. Kompozit Numunelerin Modellenmesi.....	12
3.3. Çerçeve Destekli Kompozit Numunelerin Modellenmesi	13
3.3.1.9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	13
3.3.2.9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	16
3.3.3.9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	19
3.3.4.9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	21
3.3.5.9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	23
3.3.6.25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	26
3.3.7.25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	29
3.3.8.25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	31
3.3.9.25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	33

3.3.10.25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi	36
3.4. Sonlu Eleman Analizi	39
3.5. Sınır-Temas Koşulları ve Problem Çözümü	41
4.ANALİZ SONUÇLARI VE DENEYSEL ÇALIŞMA.....	42
4.1. Sonlu Eleman Analiz Sonuçları	42
4.1.2. Çerçevelerde meydana gelen deformasyon değerleri	45
4.1.3. Çerçevelerde oluşan von-misses stres değerleri	48
4.1.4. Çerçevelerde oluşan gerinim değerleri	51
4.1.5. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemelerde oluşan deformasyon değerleri	52
4.1.6. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemelerde oluşan von-misses stres değerleri	57
4.1.7. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzeme de meydana gelen gerinim değerleri	62
4.1.8. Çerçeve desteksiz kompozit malzemelerde oluşan deformasyon, von-misses stres, gerinim ve absorbe edilen kinetik enerji değerleri	63
4.1.9. Analiz sonuçlarına göre uygun çerçeve kombinasyonunun belirlenmesi	64
4.2. Deney İçin Ön Çalışma ve Numunelerin İmalatı	65
4.2.1. Deney gruplarının oluşturulması	65
4.2.2. Deneyde kullanılacak kompozit numunelerin imalatı	66
4.2.3. Çerçeve destekli kompozit numunelerin imalatı	70
4.3. Deneysel Çalışma	74
4.3.1. Kuvvet (N) – Zaman (S) ilişkisi	77
4.3.2. Kuvvet (N) – Yer Değiştirme (MM) ilişkisi	79
4.3.3. Kuvvet (N) – Enerji (J) ilişkisi	82
4.3.4. Hız (N) – Zaman (S) ilişkisi	83
4.3.5. Strain (MM/MM) – Zaman (S) ilişkisi	85
4.3.6. Hasar bölgesi analizi	88
4.3.7. Alansal yoğunluk (kg/m^2) – absorbe edilen toplam kinetik enerji (J) arasındaki ilişki	90
5. SONUÇ	92
6. KAYNAKLAR	95

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan numune grupları.....	11
Tablo 3.2. Protection 500 zırh çeliği malzemesinin mekanik özellikleri.....	39
Tablo 3.3. Dokuma e-cam fiber kumaş/epoksi kompozit malzemesinin mekanik özellikleri	40
Tablo 3.4. Vurucu malzemesinin mekanik özellikleri	40
Tablo 4.1. Absorbe edilen kinetik enerji değerleri.....	42
Tablo 4.2. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevelerde meydana gelen deformasyon değerleri	45
Tablo 4.3. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede oluşan von-misses stres değerleri	48
Tablo 4.4. Çerçevede oluşan gerinim değerleri	51
Tablo 4.5. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede içerisinde bulunan kompozit malzemede meydana gelen deformasyon değerleri.....	52
Tablo 4.6. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stress değerleri.....	57
Tablo 4.7. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan gerinim değerleri	62
Tablo 4.8. 25 Kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit malzemelerde oluşan kinetik enerji, deformasyon von-misses stres ve gerinim değerleri.....	65
Tablo 4.9. Deney grupları	66
Tablo 4.10. Deney sonucu elde edilen zamana bağlı kuvvet değerleri.....	77
Tablo 4.11. Deney sonucu elde edilen maksimum kuvvet ve yer değiştirme değerleri	79
Tablo 4.12. Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak analiz ve deney sonucunda elde edilen absorbe edilen kinetik enerji değerleri.....	82
Tablo 4.13. Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak analiz ve deney sonucunda çerçevelerde oluşan gerinim değerleri	88
Tablo 4.14. Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak analiz ve deney sonucunda çerçeve içerisindeki kompozitte oluşan gerinim değerleri.....	88

Tablo 4.15. Analiz ve deney sonucunda çerçeve desteksiz kompozitte oluşan gerinim değerleri	88
Tablo 4.16. Deneyde kullanılan numunelerin alansal yoğunluk ve absorbe edilen kinetik enerji değerleri	91
Tablo 4.17. Deneyde kullanılmayan numunelerin analizde elde edilen değerlere göre hesaplanan alansal yoğunluk ve absorbe edilen kinetik enerjileri.....	91



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Tasarlanmış olan 12 tabakalı kompozit malzeme	12
Şekil 3.2. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları	13
Şekil 3.3. Çerçevenin üst ve alt tabakasını tabakalarını birleştiren orta tabakası	14
Şekil 3.4. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü	14
Şekil 3.5. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	15
Şekil 3.6. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme ...	15
Şekil 3.7. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve	16
Şekil 3.8. 9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	16
Şekil 3.9. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	17
Şekil 3.10. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	17
Şekil 3.11. 9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme ...	18
Şekil 3.12. 9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve	18
Şekil 3.13. 9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	19
Şekil 3.14. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	20
Şekil 3.15. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	20
Şekil 3.16. 9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme ...	20
Şekil 3.17. 9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve	21
Şekil 3.18. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	21
Şekil 3.19. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	22
Şekil 3.20. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	22
Şekil 3.21. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme	23
Şekil 3.22. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve	23
Şekil 3.23. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	24

Şekil 3.24. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	24
Şekil 3.25. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	25
Şekil 3.26. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme.....	25
Şekil 3.27. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve.....	26
Şekil 3.28. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	26
Şekil 3.29. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	27
Şekil 3.30. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	27
Şekil 3.31. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme .	28
Şekil 3.32. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve.....	28
Şekil 3.33. 25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	29
Şekil 3.34. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	30
Şekil 3.35. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	30
Şekil 3.36. 25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme .	30
Şekil 3.37. 25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve.....	31
Şekil 3.38. 25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	31
Şekil 3.39. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	32
Şekil 3.40. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	32
Şekil 3.41. 25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme .	33
Şekil 3.42. 25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve.....	33
Şekil 3.43. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	34
Şekil 3.44. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	34
Şekil 3.45. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	35
Şekil 3.46. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme	35
Şekil 3.47. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve.....	36
Şekil 3.48. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları.....	36

Şekil 3.49. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü.....	37
Şekil 3.50. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü.....	37
Şekil 3.51. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme	38
Şekil 3.52. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve	38
Şekil 4.1. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevenin absorbe ettiği kinetik enerji değerindeki değişim.....	43
Şekil 4.2. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçeve içerisindeki kompozit malzeme tarafından absorbe edilen kinetik enerjideki değişim	43
Şekil 4.3. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçeve deformasyonundaki değişim.....	45
Şekil 4.4. ANSYS programında 9 kareli çerçevelerde oluşan deformasyonları gösteren ekran çıktıları	46
Şekil 4.5. ANSYS programında 25 kareli çerçevelerde oluşan deformasyonları gösteren ekran çıktıları	47
Şekil 4.6. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede oluşan von-mises stres değerlerindeki değişim.....	48
Şekil 4.7. ANSYS programında 9 kareli çerçevelerde oluşan von-mises stress dağılımını gösteren ekran çıktıları	49
Şekil 4.8. ANSYS programında 25 kareli çerçevelerde oluşan von-mises stress dağılımını gösteren ekran çıktıları	50
Şekil 4.9. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede oluşan gerinim değerlerindeki değişim.....	51
Şekil 4.10. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede içerisinde bulunan kompozit malzemede oluşan deformasyonlardaki değişim	52
Şekil 4.11. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyonu görüntüleyen ekran çıktıları	53
Şekil 4.12. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyonu gösteren ekran çıktıları	54
Şekil 4.13. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan deformasyonun alttan görüntülerine ilişkin ekran çıktıları.....	55
Şekil 4.14. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan deformasyonun alttan görüntülerine ilişkin ekran çıktıları.....	56

Şekil 4.15. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres değerlerindeki değişim.....	57
Şekil 4.16. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres dağılımını gösteren ekran çıktıları	58
Şekil 4.17. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres dağılımını gösteren ekran çıktıları	59
Şekil 4.18. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan von-misses stres dağılımının alttan ekran çıktıları.....	60
Şekil 4.19. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan von-misses stres dağılımının alttan ekran çıktıları.....	61
Şekil 4.20. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan gerinim değerlerindeki değişim.....	62
Şekil 4.21. Çerçeve desteksiz kompozit malzemede darbe karşısında oluşan deformasyonun ekran çıktıları	63
Şekil 4.22. Çerçeve desteksiz kompozit malzemedeki von-misses streslerindeki dağılımı gösteren ekran çıktıları	64
Şekil 4.23. Numunelerin imalatı için kumaşların hazırlanması.....	67
Şekil 4.24. 266 gram reçine	68
Şekil 4.25. Kompozit numunelerin imalatında kullanılan reçinenin	68
Şekil 4.26. Kompozit numunelerin son katına atılan peel ply	69
Şekil 4.27. İmalat sonrası vakum altında bekletilen 5 adet kompozit numune.....	69
Şekil 4.28. İmalat sonrası vakum altında bekletilen diğer 5 adet kompozit numune	70
Şekil 4.29. 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı.....	71
Şekil 4.30. 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı.....	71
Şekil 4.31. 25 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı.....	72
Şekil 4.32. 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı.....	72
Şekil 4.33. 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli.....	73
Şekil 4. 34. 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli	73
Şekil 4.35. 25 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli.....	73

Şekil 4.36. 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli.....	74
Şekil 4.37. Çerçeve desteksiz kompozit numune.....	74
Şekil 4.38. Düşük hızlı darbe testi cihazı.....	75
Şekil 4.39. Strain gauge montajı sonrası 9 ve 25 kareli, 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneler	76
Şekil 4.40. Strain gauge montajı sonrası çerçeve desteksiz kompozit numune.....	76
Şekil 4.41. Düşük Hızlı Darbe Testi İçin Plakaların Test Plakasına Yerleştirilişi	77
Şekil 4.42. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune.....	78
Şekil 4.43. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune.....	78
Şekil 4.44. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune kuvvet-zaman grafiği.....	78
Şekil 4.45. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune kuvvet-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.46. Çerçeve desteksiz kompozit numune kuvvet-zaman grafiği	79
Şekil 4.47. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği	80
Şekil 4.48. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği	80
Şekil 4.49. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği	81
Şekil 4.50. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği	81
Şekil 4.51. Çerçeve desteksiz kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	81
Şekil 4.52. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği.....	83
Şekil 4.53. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği.....	84
Şekil 4.54. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği.....	84
Şekil 4.55. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği.....	84

Şekil 4.56. Çerçeve desteksiz kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği	85
Şekil 4.57. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği	86
Şekil 4.58. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği	86
Şekil 4.59. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği	86
Şekil 4.60. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği	87
Şekil 4.61. Çerçeve desteksiz kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği	87
Şekil 4.62. 9 kareli 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numunede darbe sonrası görüntüsü	89
Şekil 4.63. 25 kareli 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numunede darbe sonrası görüntüsü	89
Şekil 4.64. Çerçeve desteksiz kompozit numunede darbe sonrası görüntüsü.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Prepreg	Pre-İmpregnated
PVC	Polivinil Klorür
NaOH	Natrium Hidroksit
°C	Santigrad Derece
M	Metre
S	Saniye
mm	Milimetre
kPa	Kilopaskal
Pa	Paskal
MPa	Megapascal
J	Joule
Kg	Kilogram
KN	Kilonewton
N	Newton
K	Kelvin
W	Watt
E _k	Kinetik Enerji

1. GİRİŞ

İnsanların daha rahat ve daha güvenli ortamlarda barınma, seyahat etme, çevreden gelen etkilere karşı kendilerini savunma ve hayatlarını kolaylaştırma istekleri, kompozit malzemelerin gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Önemli bir yapı malzemesi niteliği taşıyan kompozit malzemeler günümüzde en çok savunma sanayi, robot teknolojisi, zırh tasarımları, havacılık, denizcilik, uzay teknolojileri, otomotiv, tıp, inşaat ve yapı sektörlerinde kullanılır.

Kullanım alanları bu kadar geniş olan kompozit malzemelerin beklentileri karşılaması, sahip olduğu mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile yakından ilişkilidir. Kompozit malzemelerin, mühendislik alanlarında kullanılan yaygın malzemelere göre daha üstün özelliklere sahip olması istenir. Kompozit malzemenin tanımı da sahip olduğu bu üstün özelliklerden hareketle yapılır. Kompozit malzemeler yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı, mümkün olduğu kadar hafif, ekonomik ve sağlam malzemelerdir.

Kompozit malzemelere bu özelliklerin kazandırılabilmesi için, birbirlerine göre üstünlükleri olan, kimyasal, fiziksel ve mekanik yönden farklı özelliklerdeki en az iki malzeme makro boyutlarda uygun bir yöntemle birleştirilir. Böylece iki malzemenin özelliklerini taşıyan tek bir malzeme imal edilmiş olur. İşte imal edilen bu yeni malzeme, kullanım amacına daha uygun, çevreden gelen etkilere karşı daha dayanımlı, bileşimindeki malzemelerin üstün yönlerini taşıyan kompozit bir malzemedir.

Bilindiği gibi yük, darbe ve benzeri bir etki altında malzemelerin yapısını korumasını ve dağılmasını önlemek amacıyla matris malzemeler kullanılır. Kompozit malzemeler bileşiminde bulunan matris malzemesi baz alınarak, metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler olmak üzere üç grupta incelenir [1]. Metal kompozit malzemelerin imalatında en çok alüminyum, magnezyum, demir, çelik, bakır ve titanyumun kullanılır. Genellikle uzay ve havacılık sektörlerinde tercih edilirler.

Seramik matrisli kompozitler yaygın olarak yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olması istenen malzemelerin imalatında kullanılır. Kırılgan bir yapıya sahiptirler. Bor, karbür, silisyum karbür ve alümina olarak kullanılan bu kompozitler, özellikle sandviç zırh yapımında ve uzay araçlarında kullanılır [2].

Polimer kompozit malzemelerin tercih edilmesindeki en önemli mühendislik özellikleri hafif olmaları ve işleme kolaylığıdır. Düşük maliyetle imal edilebilen bu kompozitlerin dayanımını artırmak için cam elyaf ve karbon takviyesi yapılmaktadır. Havacılık, uzay ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Gevrek bir yapıda

olan karbon, kompozit imalatında maliyetin yükselmesine neden olmakla birlikte, düşük yoğunluklu bir yapıya sahip olması, çekmeye ve basmaya karşı dayanımlarının yüksek olması gibi avantajları sayesinde özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde yaygın bir kullanıma sahiptir. Sürekli fiber takviyeli olarak kullanılan polimer matrisler termoset ve termoplastik olarak iki grupta ele alınır. Uygulamada en çok kullanılan epoksi ve polyester termoset plastik malzemedir. Epoksi sıvı halde bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda kirlenmesi sonucu katı hale geçer. Birçok elyaf ile iyi bağ oluştururlar.

Kompozitlerin imalatında kullanılan en önemli bileşenlerden biri de takviye malzemelerdir. Matris malzemeler gevrek yapıda ve kırılabilirler. Bu kırılabilirliği önlemek ve kompozitin mukavemetini artırmak ve daha fazla rijitlik kazandırmak amacıyla takviye malzemeler kullanılır. Kompozit malzemenin imalatında en çok tercih edilen takviye malzemeleri cam fiber, aramid (kevlar) fiber ve karbon fiberdir [3].

Kompozit malzemeler, imalatında kullanılan takviye malzemelere göre dört grup altında incelenmektedir. Bunlar elyaf (fiber), partikül (parçacıklı), karma ve tabakalı kompozitlerdir.

Elyaf ya da fiber takviyeli kompozitler, fiber malzemesi olarak genellikle cam, seramik ve metal kullanılarak imal edilirler. Fiber malzemeler kompozitin kullanım alanına ve amacına bağlı olarak matris içerisine farklı boyutlarda ve farklı doğrultularda yerleştirilmektedir. Burada esas amaç, fiber malzemenin sahip olduğu özellikleri kullanarak daha mukavemetli bir malzeme elde etmektir [4].

Partikül kompozitler genellikle seramik, metal veya polimer malzeme parçacıklarının matris içerisine homojen ve aynı boyutta dağıtılması suretiyle imal edilirler. Yaygın olarak plastik içinde metal parçacıklar şeklinde kullanılırlar.

Karma kompozitler, en az iki takviye elemanının, matris ile bir araya getirilerek daha iyi özellikte yeni bir kompozit elde edilmesi amacıyla imal edilirler. Hibrit kompozitler tek bir fiber kompozite göre daha iyi bir özellik birleşliği sunar. Ağırlıkları düşük olmasına karşın dayanımlarının metaller kadar yüksektir [5]. En yaygın kullanılanı cam fiber/karbon fiber hibrit kompozitidir.

Tabakalı kompozitler, birden fazla tabakanın matris malzemesi ile birleştirilmesi sonucu oluşur. Kompozit malzemenin kullanım amacına ve yerine bağlı olarak istenilen mukavemeti elde edebilmek için, elyafların farklı serim açılarında katmanlar halinde yerleştirilmesi suretiyle imal edilirler.

Kompozitler imal edilirken farklı yöntemler kullanılır. Bu yöntemler el yatırma, püskürtme, vakumlu torba, basınçla kalıplama, elyaf sarma, enjeksiyon, reçine transfer

kalıplama, merkezkaç döküm ve sürekli laminasyon yöntemleridir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanları ise; el yatırma, püskürtme, elyaf sarma ve vakumlu torba yöntemleridir.

El yatırma yöntemi uygulanarak hazırlanan tasarımlarda gerektiğinde tasarımda kolaylıkla değişiklikler yapılabilir. Üretilen parçaların boyutlarında kısıtlama yoktur. Ayrıca montaj kolaylığı ve yerinde kalıplama olanağı sağlar. Fakat işgücü yoğun bir prosestir. Belli bir üretim kalitesi yoktur. Üretim kalitesi işçi yeteneğine ve emeğine bağlıdır.

Püskürtme yöntemi, el yatırma yönteminin daha geliştirilmiş halidir. Proses adımları el yatırma yöntemine çok benzerdir. Reçine ve lifin kalıp yüzeyine uygulanma prosesi farklıdır. El yatırma yönteminde proses manuel olarak gerçekleştirilir iken, püskürtme yönteminde püskürtme tabancası kullanılarak gerçekleştirilir.

Elyaf sarma yöntemi sürekli elyaf sarma liflerinin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Liflerin farklı oryantasyon açılarında kalıba sarılması sonucu, farklı mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler imal edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katını sarılmasından sonra ürün sertleşir. Daha sonra döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle yapılan ürünler; silindirik boru, uçak su tankları, dairesel basınç tankları, araba şaftları ve yat direkleridir [6].

Malzeme performansının kritik olduğu parçaların imalatında vakumlu torba prosesi kullanılmaktadır. El yatırmasıyla en belirgin farkı basınç uygulanmasıdır. Bu yöntemler ıslak serim ya da prepreg kompozitlerin imalatında yaygın olarak kullanılırlar [7].

Günümüzde kompozit malzeme imalatı için en yaygın kullanılan takviye malzemeleri karbon fiber ve cam fiberdir. Cam fiber takviyesi ile imal edilen kompozit malzemelerin dayanımının, karbon fiber takviyesi ile imal edilen kompozit malzemelere nazaran daha düşük olduğu bilinmektedir. Fakat, cam fiber malzemesinin maliyeti, karbon fiber malzemesinin maliyetine göre daha uygundur. Bu çerçevede, cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin dayanımlarını arttırmaya yönelik bir çalışma yapılması havacılık, savunma ve uzay sanayi başta olmak üzere birçok sektör için yararlı olacaktır.

Karbon fiber ve cam fiber takviyesi ile imal edilen kompozit plakalar, yük taşıyıcı çerçeveler üzerine yerleştirilmiş olarak kullanılmaktadır. Böyle bir durumda çarpma sırasında çarpma hasarını belirleyen durum, kompozit plakanın kendi özelliğidir. Kuvvet arttıkça malzeme yapısının bozulduğu ve delinmeye başladığı da bilinmektedir. Çerçeve ile güçlendirilen kompozit malzemelerin darbe ve sertlik derecesi yüksek olabileceğinden dolayı, maruz kalabileceği kuvvetler sonucunda, kırılmalar ve hasar miktarı daha düşük tasarımlar yapılabilir. Bu tarz tasarımlar yapıldığı takdirde, çerçeve desteğinin kompozit

malzemelere etkisi pozitif yönde olacak ve kompozit malzemelerin çarpmaya karşı dayanımını arttırmak için kullanılabilecek önemli bir kompozit malzeme üretilmiş olacaktır. Bu şekilde tasarlanan çerçeveli yapıda kompozit plaka ile çerçeve rijitliğine bağlı olarak düşük hızlı darbe sırasında enerji tutma oranları, darbeye karşı dayanımı ve hasar durumuna karşı etkileşimi konusunda daha detaylı araştırma yapmaya ihtiyaç olduğu görülmüştür. Destek olarak kullanılan çerçevenin geometrisi veya cidar kalınlığı ayarlanarak, alansal yoğunluk değerlerini çok yükseltmeden darbe dayanımına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit malzemeler Solidworks programı kullanılarak tasarlanmış, tasarımlar ANSYS programına aktarılmış ve analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit numuneler imal edilmiştir. Numuneler imal edildikten sonra, düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan testler sonucunda elde edilen stres, strain, absorbe edilen enerji, kuvvet, yer değiştirme, hız ve zaman ilişkileri incelenmiştir. Elde edilen bu sonuçların ışığı altında, çerçeve destekli kompozit numunelerin çevreden gelen darbelere karşı darbe ve sertlik dayanımının çerçevesiz kompozit malzemelere nazaran daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Ortaya konulan sonuç, çalışmanın başında belirlenmiş olan tez hipotezini doğrulamıştır. Bu sonuç savunma sanayi başta olmak üzere farklı sektörlerde kullanımına başvuru söz konusu malzemelerin maliyeti ile alakalı harcamaların oldukça azalmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca daha yüksek hızlı darbe durumları için yapılabilecek başka çalışmalara veya geliştirmelere ışık tutacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kompozit malzemeler, yüksek veya düşük hızda cismin darbesine maruz kalması (çarpması veya üzerine düşmesi gibi) sonucu farklı davranışlar sergiler. Sergilemiş olduğu bu davranış, darbenin büyüklüğüne göre farklılıklar gösterir. Yüksek hızdaki bir darbe, gözle görülebilir hasarlara yol açarken, düşük hızdaki darbe gözle görünemeyecek kadar küçük hasarlara yol açabilir. Gözle görülemeyen bu hasarlar sebebiyle kompozit malzemelerde matris çatlamaları, matris kırılmaları ve delaminasyonlar gerçekleşebilir, zaman geçtikçe telafisi olmayan daha büyük hasarlara veya olaylara neden olabilir. Konu üzerinde çalışan araştırmacılar, kompozit malzemelerin, maruz kaldığı darbeler sonucu meydana gelen hasarların en aza indirilebilmesi için çok yönlü araştırmalar yapmışlardır. Bu araştırmalara günümüzde; ANSYS sonlu eleman analizi ile kompozit malzemelerin darbe dayanımlarının incelenmesi, kompozit imalatında farklı oranlarda reçine ve farklı özelliklerde takviye malzemesi kullanılarak mukavemetin artırılması, farklı kalınlık ve oryantasyon açılarında üretilen sandviç ve hibrit kompozit malzemelerin darbelere karşı göstermiş olduğu davranışlar gibi çok farklı konular üzerinde devam edilmektedir.

Akbulut ve arkadaşları (2015) LS-DYNA sonlu eleman analiz programını kullanarak, kompozit malzemelerin çarpmalara karşı gösterdikleri davranışları araştırmışlardır. Yapılan bu araştırmada, kompozit malzemelerin sahip olduğu serim açılarının, katman sayılarının, malzeme kalınlığının ve malzeme geometrisinin değişmesinin, düşük hızlı çarpmaya olan etkileri incelenmiştir. Yapılan bu analitik çalışma sonucunda kompozit malzemelerin alanının artmasına bağlı olarak, malzemede oluşan deformasyon değerlerinin arttığı, gerinim değerlerinin ise azaldığı görülmüştür [8].

Karakuzu ve arkadaşları (2016), farklı köpük çekirdek konfigürasyonlarından oluşan sandviç kompozitlerin düşük hızdaki darbe tepkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yüzey tabakası malzemesi olarak tek yönlü E-Cam elyafı, matris malzemesi olarak ARALDITE LY 1564 SP epoksi reçine, sertleştirici malzemesi olarak 3:1 oranında ARADUR 3487B ve çekirdek malzemesi olarak ise PVC köpüğü malzemeleri kullanılarak 3 farklı numune hazırlanmıştır. Sandviç kompozit laminatlar vakum destekli reçine infüzyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Araştırmacılar sertleştirme işlemini 1 bar basınç altında 80° C' lik sabit bir sıcaklıkta gerçekleştirmiştir. Hazırlanan bu 3 farklı numuneye 3 farklı adet PVC köpüğü çekirdek malzeme olarak yerleştirilmiştir. 1. numuneye tek adet PVC köpüğü, 2. numuneye 2 adet PVC köpüğü ve 3. numuneye 3 adet PVC köpüğü cam elyaf kumaşları ve epoksi arasına çekirdek malzeme olarak eklenmiştir. Her 1 cam elyaf kumaşı üzerine 1 PVC

köpük çekirdek konarak elde edilen bu 3 farklı numune sırasıyla 3, 5 ve 7 katmanlıdır. Elde edilen bu üç farklı sandviç kompozit konfigürasyonu, araştırmacılar tarafından düşük hızlı çarpma testine tabi tutulmuştur. Her numune için darbe testi beş kez tekrarlanmıştır ve ortalama değerler kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda iki çekirdekli sandviç kompozit malzemenin tek çekirdekli sandviç malzemeye kıyasla daha yüksek enerji emilimi gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir ve çekirdek malzemenin sayısının artmasının maksimum temas kuvveti değerlerinin azalmasına sebep olduğunu anlaşılmıştır [9].

Azmi ve arkadaşları (2013), cam elyaf takviyeli yüzey tabakasına ve hindistan cevizi lifleri ile takviye edilmiş poliüretan köpük çekirdek yapısına sahip sandviç kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini karakterize etmek ve hindistan cevizi liflerinin poliüretan köpük çekirdek malzemesindeki ve sandviç kompozit panellerdeki etkilerini belirlemek amacıyla deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılmış olan bu deneysel çalışmada hindistan cevizi lifleri, lif uzunluğu 0.5-1 cm arasında değişen granülatör makinesi kullanılarak ezilmiştir. Ezilen bu liflere, lif ve matris arasındaki yapışmayı azaltabilen hemiselüloz, lignin ve aromatik asitler gibi hindistan cevizi lifindeki safsızlıkları gidermek için ağırlıkça%5 Natrium Hidroksit (NaOH) ve ağırlıkça%95 su ilave edilmiştir. Bu işlem oda sıcaklığında 24 saat boyunca lifler temizlenene kadar devam etmiştir ve son olarak fırında 12 saat boyunca 80 ° C'de kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Lifler hazır hale geldikten sonra çekirdek malzeme hazırlanmaya başlanmıştır. 10 adet çekirdek malzeme üretilmiştir. Üretilen çekirdek malzemeler sırasıyla %0 %5 %10 %15 ve %20 oranında hindistan lifi içermektedir. Poliüretan köpük, poliöl ve izosiyanatın tek aşamalı bir işlem kullanılarak karıştırılmasıyla çekirdek malzemeler hazırlanmaya başlanmıştır. Bu karıştırma işlemi sırasında, ağırlıkça %0 ila ağırlıkça %20 arasında değişen, önceden hazırlanmış olan hindistan cevizi lifleri eklenmiş ve bu liflerin dağılımlarının eşit olması için karıştırma işlemine devam edilmiştir. Bir sonraki aşamada poliüretan köpük ve hindistan cevizi liflerinin karışmasıyla hazırlanan karışım kalıba dökülmüş ve döner sıcaklıkta kalıplama yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında sertleştirilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra çekirdek malzemelerin üretimi tamamlanmıştır. Alt ve üst yüzey takviye malzemeleri sıkıştırarak kalıplama tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Yoğunluk testi için 5 adet 300 mm x 300 mm x 18 mm, üç nokta eğme testi için ise 5 adet 375 mm x 75 mm x 18 mm ebatlarında, 3' er katmandan oluşan cam elyaf mat dokuma takviye malzemeleri kullanılmıştır. Toplamda 10 farklı alt ve yüz malzemesi üretilmiştir. Bu malzemeleri yapıştırmak için 2:1 oranında epoksi reçinesi kullanılmış olup, oda sıcaklığında 12 saat süreyle sertleştirme işlemi gerçekleştirilerek alt ve yüzey malzemeleri üretilmiştir.

Sandviç kompozit malzemelerin, alt ve üst takviye malzemeleri ve çekirdek malzemeleri epoksi reçinesiyle yapıştırılarak üretilmiştir. Üretilen sandviç kompozit malzemeler 3 katmandan oluşur. Bu katmanlar sırasıyla; üst yüzey tabakası/çekirdek malzeme/ alt yüzey tabakasıdır. Bu malzemeler arasında mükemmel bir bağlanma sağlamak için 100 kPa' da 8 saat boyunca sıkıştırma kalıplama yöntemi kullanarak kürlenmiştir. Toplamda 10 adet sandviç kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen sandviç kompozit malzemeler, çekirdek malzemenin yoğunluğunu ve fiziksel özelliklerini belirlemek için yoğunluk testine, sandviç kompozit malzemelerin eğilme dayanımını ve sertlik özelliklerini belirlemek için ise üç nokta eğme testine tabi tutulmuşlardır. Yoğunluk testi ASTM C271, üç nokta eğme testi ise ASTM C393 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışma sonucunda optimum performans, ağırlıkça %5 hindistan cevizi lifi içeren poliüretan köpük çekirdek malzemesi sahip olan sandviç kompozitler malzemelerde gözlemlenmiştir. Ayrıca, poliüretan köpük çekirdek yapısı, panellerin burkulmasını önlemek için bükülme stresine karşı dirençli sandviç kompozit malzeme imkânı sağladığını ve fiziksel ve mekanik özellik olarak çok iyi performans gösterdiğini araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir [10].

Bosco ve arkadaşları (2012), zırh çeliği çekirdek malzemesine sahip sandviç yapılı kompozit malzemelerin delinmesinin malzemelerin ayrılmasına etkisini incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada, ilk olarak yüzey malzemeleri imal edilmiştir. Yüzey malzemelerinin imalatından sonra, alt ve üst yüzey tabakaları arasında zırh çeliği çekirdek malzemesi yerleştirilerek 20 mm kalınlığına sahip sandviç kompozit malzeme imalatı tamamlanmıştır. Üretilen kompozitler delme testine tabi tutulmuşlardır. Malzemeye delik açma testi sonucunda, matkap uçlarının değiştirilmesi ile birlikte elde edilen sonuçlarında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak matkap uçlarının çaplarının artması ile birlikte malzemede oluşan hasarın arttığı ve bu hasarların artması ile malzemede oluşan ayrılmaların arttığı gözlemlenmiştir [11].

Ceyhun ve Turan (2003), kompozit malzemelerin maruz kaldığı darbeler sonucunda, ilk olarak malzemenin yüzey bölgesinde deformasyonların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu hasarın zamanla ilerlemesinden kaynaklı malzeme yüzeyinde çatlakların oluşacağını ve bu çatlakların zamanla ilerlemesi ile de malzemede tabakalar arası ayrışma gözlemlenebileceği vurgulanmışlardır [12].

Çakır ve Berberoğlu (2018) tarafından yapılan çalışmada dört farklı epoksi oranına sahip kompozit malzemeler imal edilmiş ve bu malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. İmal edilen kompozit malzemeler kesilerek; çekme, darbe ve eğme testlerine tabi tutulmuşlardır. Tüm bu çalışmaların sonucunda, kompozit malzemede bulunan glass

malzeme oranındaki artışın, kompozit malzemedeki gerilme, gerinim ve darbe dayanımını yükselttiği gözlemlenmiştir [13].

Esendemir ve Caner (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmada, iki farklı kalınlığa sahip kompozit malzemeler imal edilmiştir. İmal edilen malzemeler 2 farklı darbe enerjisi altında teste tabi tutulmuşlardır. Yapılan bu çalışma sonucunda kalınlığın artması ile birlikte, kompozit malzemedeki oluşan deformasyonun azaldığı ve dışarıdan gelen darbelere karşı dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kompozit malzemenin yuttuğu enerji değerinin de arttığı belirtilmiştir [14].

Hosseinzadeh ve arkadaşları (2005), düşük ağırlık etkilerine maruz kalan güçlendirilmiş kompozit plakaların hasar davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla dört farklı kompozit malzeme imal edilmiştir. Üretilen bu malzemeler dört farklı darbe enerjisi altında düşük hızlı çarpma testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma tamamlandıktan sonra, araştırmacılar tarafından LS-DYNA sonlu eleman analiz programında bu dört farklı kompozit malzeme tasarlanmıştır ve çarpma testi analizi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, kompozit ve karma kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin metaller kadar yüksek olduğu ve iyi mukavemete sahip oldukları ortaya konulmuştur. Ayrıca, yapılan bilgisayar destekli analizde sonuçları ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda analiz ve deneysel sonuçlarda farklılıklar olduğu da gözlemlenmiştir [5].

Askeri araçlarda, manevra kabiliyetinin önemlidir. Bu kabiliyetin artırılması için hafif ve yüksek dayanıma sahip malzemeler kullanılmalıdır. Günümüzde balistik paneller yerini kompozit malzemelere bırakmaktadır (Kılıç, 2014) [15].

Kıyak (2017) tarafından yapılan bir çalışmada çeşitli hücre yapılarına sahip kompozit yapıları çekirdek malzemeler imal edilerek, mekanik özellikleri sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda toplamda 60 adet kompozit numune imal etmiştir. Numuneler; kare, dikdörtgen ve üçgen kesitli olacak şekilde iç içe geçme yöntemi kullanılarak imal edilmiştir. İmal edilen bu numunelere basma ve eğme testi uygulanmıştır. Basma ve eğme dayanımı açısından dikdörtgen kesitli numunelerin, kare ve üçgen kesitli numunelere göre daha iyi özelliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Malzeme kalınlığının artması basma dayanımını azaltırken, eğme dayanımını arttırmakta olduğu görülmüştür [16].

Onyechi ve arkadaşları (2014), cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin vücut zırhlarındaki balistik penetrasyon tepkisini deneysel olarak incelemişlerdir. İncelemede, farklı katman sayısına ve kalınlığına sahip toplamda 6 adet kompozit zırh plakası imal edilmiştir. Üretilen bu numuneler balistik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan balistik testler

sonucunda en ince kalınlığa sahip numunenin başarısız olduğu ve delindiği, diğer numunelerin ise başarılı olduğu ve delinmediği gözlemlenmiştir. En yüksek kalınlığa sahip olan numunenin en iyi penetrasyon direncini gösterdiği anlaşılmıştır. İmal edilen balistik plakalarda, kalınlığın artmasının malzeme dayanımını, deformasyonu ve delinmesini azalttığı belirtilmiştir [17].

Öldürücü ve Karacan (2018) tarafından yapılan deneysel çalışmada, yükselen çarpma enerjilerinde, farklı serim açısına sahip kompozit numunelerin darbe davranışları incelenmiştir. Çalışmada farklı katman sayılarına sahip iki adet kompozit numune imal edilmiştir. İmal edilen bu numunelerden belli boyutta numune kesilmiş ve kesilen bu numune 3 farklı enerji altında darbe testine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda darbe enerjisinin artması ile birlikte kompozit numunede oluşan deformasyonun arttığı belirtilmiştir. Buna ek olarak kalınlığı fazla olan malzemenin daha yüksek dayanıma sahip olduğu ve daha fazla enerji emdiği gözlemlenmiştir [18].

Potoğlu (2012) tarafından gerçekleştirilen ve sandviç kompozit plakaların darbe davranışlarının deneysel olarak araştırıldığı çalışmada, köpüklü sandviç kompozit malzemeler imal edilmiştir. İmal edilen kompozit malzemelerden testte kullanılacak boyutlarda numune alınıp, her bir numuneye düşük hızda çarpma testi uygulanmıştır. Darbe testine tabi tutulan numuneler için kuvvet, deplasman, absorbe edilen enerji, zaman ve hız parametrelerinin değişimi kaydedilmiş ve kendi aralarında köpüğe ve katman sayısına göre karşılaştırılmıştır. Darbe testi sonucunda ufak matris hasarları, üst ve alt kabukta fiber kırılmaları, delaminasyon, çekirdekte hücre ezilmesi ve alt kabuk ile çekirdek ara yüzünde ayrılmalar gözlemlenmiştir. Katman sayılarına göre karşılaştırdığında ise, katman sayısı arttıkça darbe dayanımının da arttığı ve daha iyi karakteristikler gösterdiği görülmüştür [19].

Sözen ve arkadaşları (2016), yapmış oldukları çalışmada balistik panel ve koruyucu zırhların enerji emilimini etkileyen en önemli faktörlerin malzeme cinsi, yapısı ve sıklığı (dokuma, örgü vb.), malzemeler arasındaki sürtünme katsayısı ve kullanılan katmanlarının sayısı ile darbe etkisi yaratan merminin geometrisi ve hızı olduğunu belirtmişlerdir [20].

Türkmen ve Köksal (2013) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada farklı cam elyaf katman sayısına sahip, el yatırması üretim yöntemiyle üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, farklı boyutlarda 3 adet kompozit malzeme üretilmiştir. Kompozitler imal edildikten sonra 3 farklı darbe enerjisi altında düşük hızlı çarpma testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan çarpma testleri sonucunda kompozit malzemelerde katman sayısı artışı ile birlikte, malzemelerin yuttuğu enerji değerlerinde artış olduğu ve dayanımının arttığı gözlemlenmiştir [21].

Wall (2002) tarafından yapılan araştırmada balistik alanında kullanılan kumaşları örgü ve dokuma kumaşları olmak üzere iki sınıfta incelemenin mümkün olduğu, karmaşık üretim yöntemleri ve maliyetleri nedeni ile dokuma kumaşların askeri alanlarda daha çok tercih edildiği bildirilmiştir. Araştırmacı lif takviyeli kompozitlerin anizotropik yapının malzemeleri karakterize etmeye çalışırken önemli bir faktör olarak göz önünde bulunması gerektiğini belirtmiştir [22].

Zırh tasarımlarından beklenen özellikler hafiflik, düşük maliyet ve yüksek hareket kabiliyeti sağlayabilmesidir. Bu özelliklerin hepsi bir arada kompozit malzemeler ile sağlanabilmektedir. Literatürde zırh tasarımında en çok rastlanan kumaşlar Aramid, Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWE), Polybenzobisoxazole (PBO) kumaşları, Cam Fiberler ve Polypyridobisimidazole (PPID) lifleri olmak üzere 5 gruba ayrılabilir. Tüm bu kumaş türleri incelendiğinde görölmektedir ki, tüm bu kumaşlar yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve düşük maliyet gibi faydalar sağlarken çevresel faktörler ve ortam koşullarına karşı hassasiyet göstermektedir. Bu hassasiyeti gidermek için literatürde çeşitli yüzey işlemleri ve nano-parçacık ilavesi yöntemlerine başvurulmaktadır (Yumak ve arkadaşları, 2013) [23].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kompozit malzemeler sahip oldukları yüksek performans, yüksek mukavemet, hafiflik ve bunlara bağlı olarak yüksek hareket kabiliyeti olanağı sağlaması gibi avantajlarından dolayı günümüzde savunma, havacılık, uzay ve otomotiv sanayinde kullanılan çok önemli bir malzeme konumundadırlar. Fiber takviyeli kompozit malzemelerden karbon ve aramid elyaf (kevlar) malzemeleri cam fibere göre daha yüksek basma, çarpma ve eğme dayanımı gösterdiğinden daha yaygın kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı geometrik yapıda tasarlanan çerçevelerin, alansal yoğunluk değerlerini çok yükseltmeden, çarpma dayanımına katkı sağlayabileceğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

3.1. Çalışma Grupları Oluşturulması

Çalışmada, kompozit malzemeler çerçeve içerisine yerleştirileceği göz önünde bulundurularak 94 x 94 mm boyutlarında, 3 mm kalınlığında, 12 katmanlı ve $[0^\circ/45^\circ/45^\circ/90^\circ]_3$ serim açısına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Kompozit malzemelerin E-cam fiber dokuma kumaş takviye malzemesi kullanılarak tasarlanmıştır.

Laboratuvar koşullarında kullanılacak düşük darbe testi cihazının özellikleri dikkate alınarak 100 x 100 x 9 mm boyutlarında, 9 ve 25 kareli ve kareler arasında 0,1 mm, 0,3 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına sahip olacak şekilde toplamda 10 adet çerçeve tasarlanmıştır. Çerçeve malzemesi olarak Protection 500 zırh çeliği malzemesi kullanılmıştır. Tablo 3.1’de, çalışmada kullanılacak numune grupları verilmektedir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan numune grupları

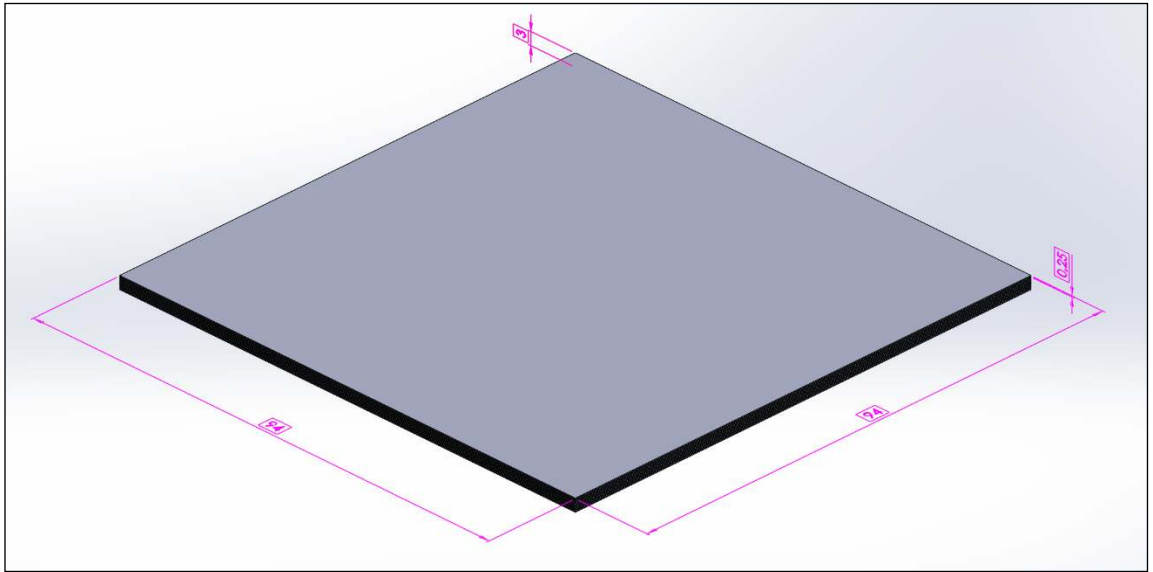
Kompozit numuneler	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık(mm)
Çerçeve Destekli	9	0,1	100	100	9
Çerçeve Destekli	9	0,3	100	100	9
Çerçeve Destekli	9	0,5	100	100	9
Çerçeve Destekli	9	3	100	100	9
Çerçeve Destekli	9	5	100	100	9

Tablo 3.1 devam ediyor.

Kompozit numuneler	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık(mm)
Çerçeve Destekli	25	0,1	100	100	9
Çerçeve Destekli	25	0,3	100	100	9
Çerçeve Destekli	25	0,5	100	100	9
Çerçeve Destekli	25	3	100	100	9
Çerçeve Destekli	25	5	100	100	9
Çerçeve Desteksiz	-	-	94	94	3

3.2. Kompozit Numunelerin Modellenmesi

Kompozit numunelerin bilgisayar ortamında tasarımı için, bilgisayar destekli modelleme ve 3 boyutlu tasarım programı olan Solidworks yazılımı kullanılmıştır. Kompozit malzemeler öncelikle tek tabakalı olarak 94 x 94 x 0,25 mm boyutlarında tasarlanmıştır. Daha sonra her bir tabaka üst üste montajlanarak 94 x 94 x 3 mm boyutlarında 12 tabakalı kompozit malzemenin tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.1). Kompozit malzemenin tasarımı, diğer çerçeveler için de aynıdır.



Şekil 3.1. Tasarlanmış olan 12 tabakalı kompozit malzeme

3.3. Çerçeve Destekli Kompozit Numunelerin Modellenmesi

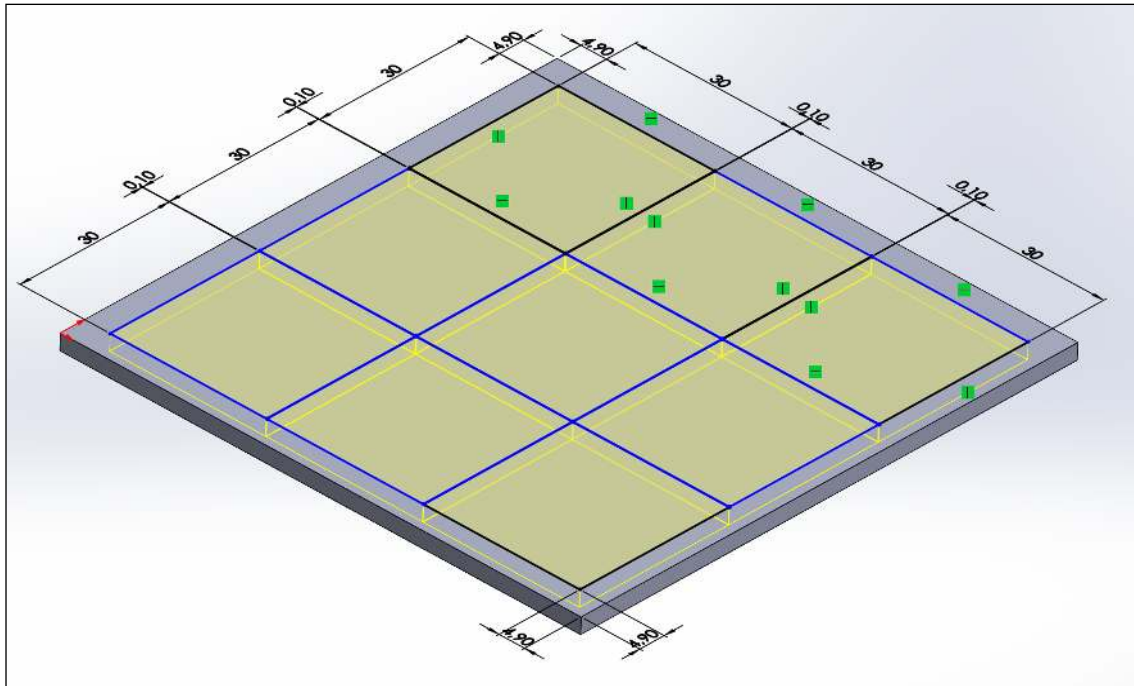
Kompozit malzemenin tasarımı tamamlandıktan sonra çerçevelerin tasarımına geçilmiştir. Tasarımlar kare sayıları ve kareler arasındaki cidar kalınlıkları dikkate alınarak 10 çerçeve için ayrı ayrı yapılmıştır. Modellemede 3 boyutlu tasarım programı olan Solidworks yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

3.3.1. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

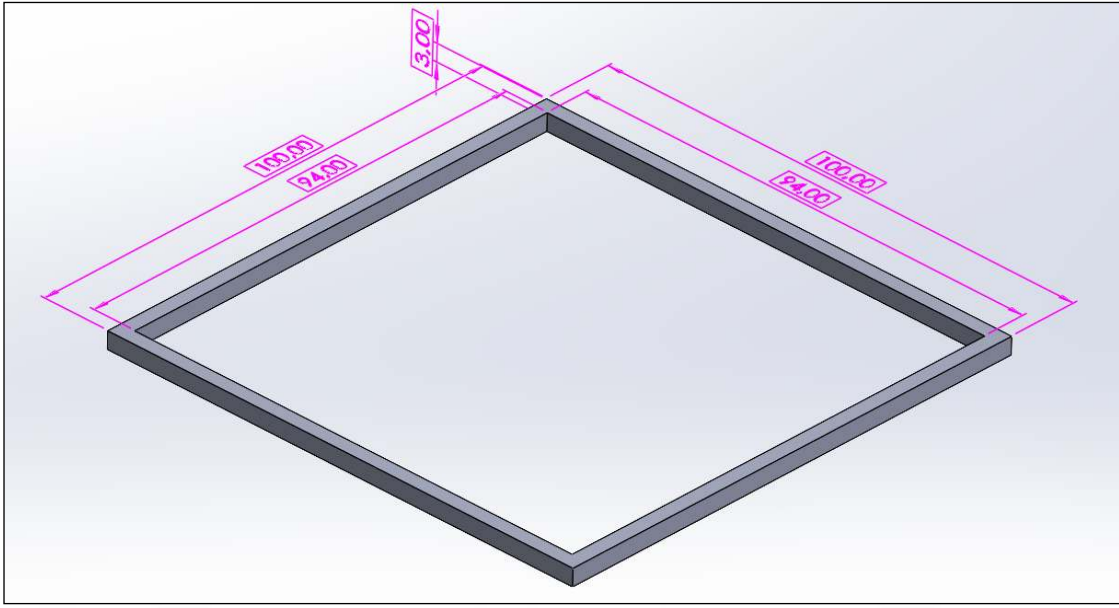
Kare sayısı 9, cidar kalınlığı 0,1 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 30 x 30 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 4,9 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 1,9 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.2).

Tasarlanan alt ve üst çerçeve tabakalarını birleştirmek için 100 x 100 x 3 mm boyutlarındaki plaka içerine 94 x 94 x 3 mm boyutlarında kare şeklinde kesit alınarak çerçevenin orta tabakası tasarlanmıştır (Şekil 3.3). Alt ve üst tabakaları birleştirmek için tasarlanan bu tabaka, diğer çerçeveler için de aynı olduğundan dolayı tekrar verilmeyecektir.

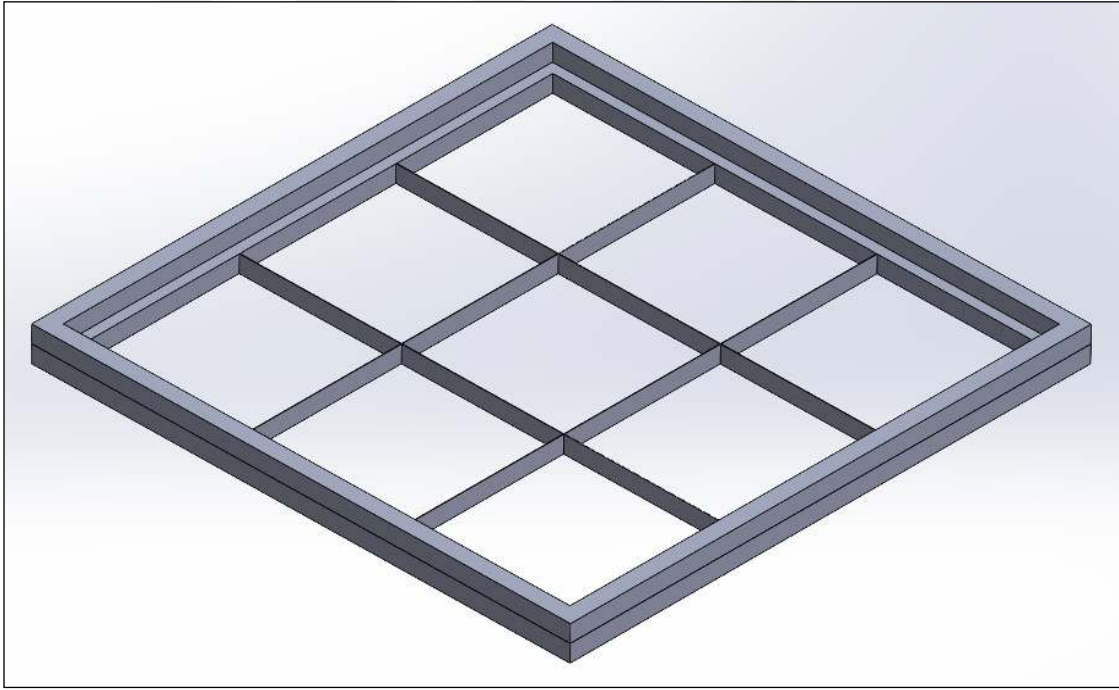
Şekil 3.2’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.4’te görüldüğü gibi birleştirilmiştir.



Şekil 3.2. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları

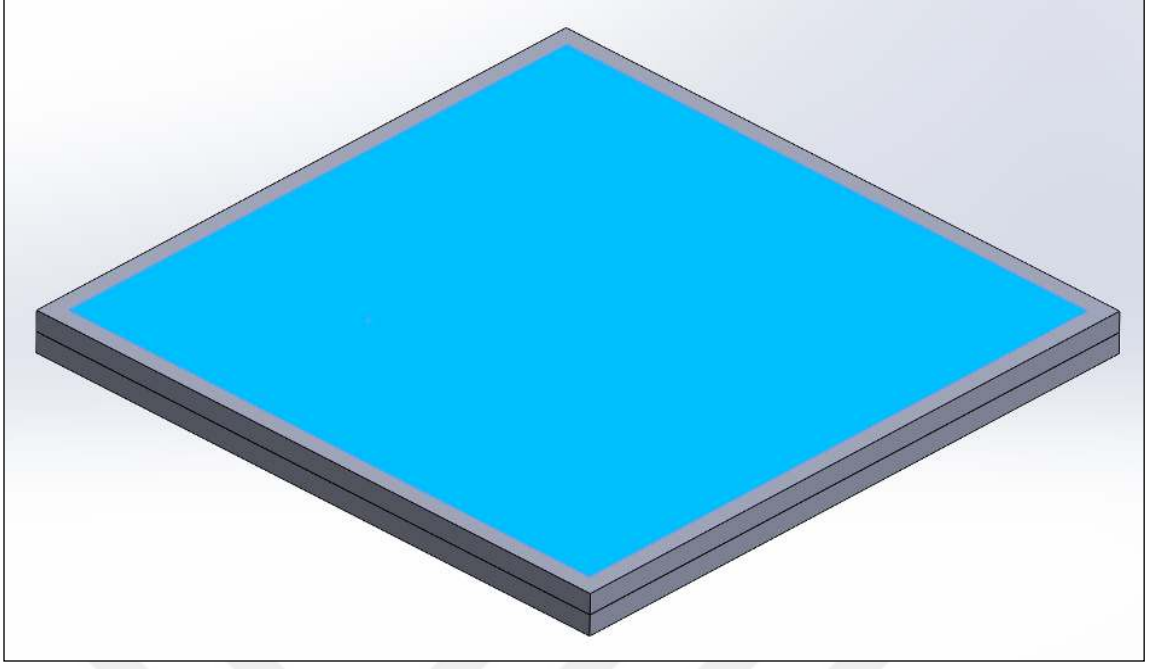


Şekil 3.3. Çerçevenin üst ve alt tabakasını tabakalarını birleştiren orta tabakası

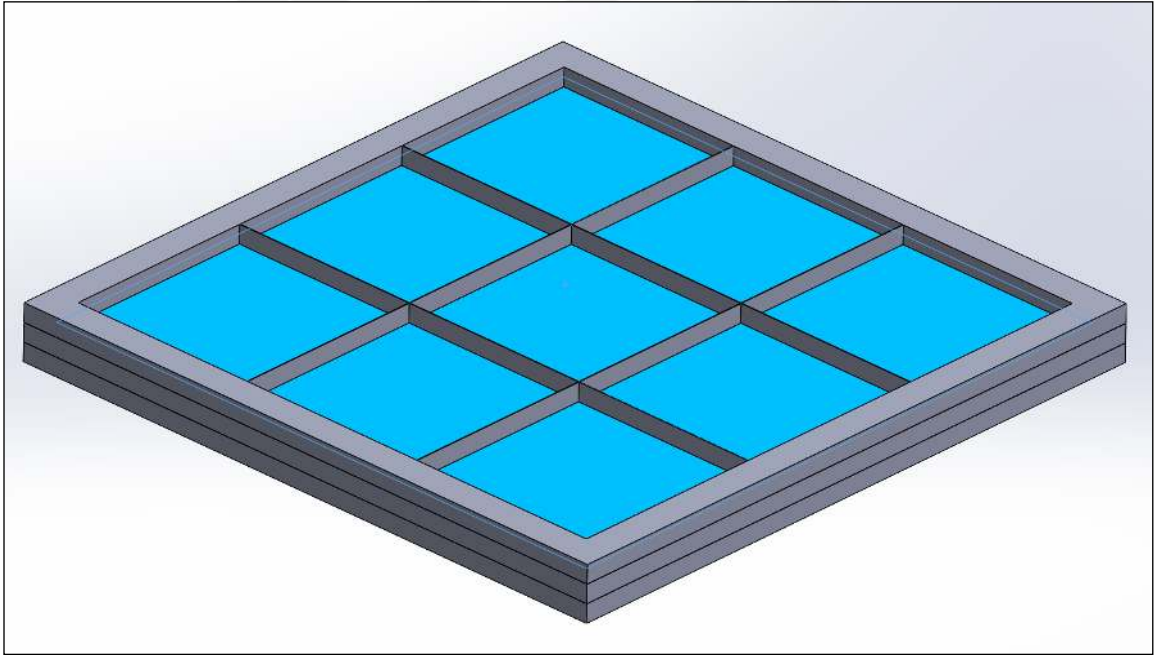


Şekil 3.4. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.4’de verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.5). Son aşamada ise Şekil 3.5’te verilen parçanın üzerine Şekil 3.2’de verilen üst tabaka montajlanarak, 9 kareli, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü

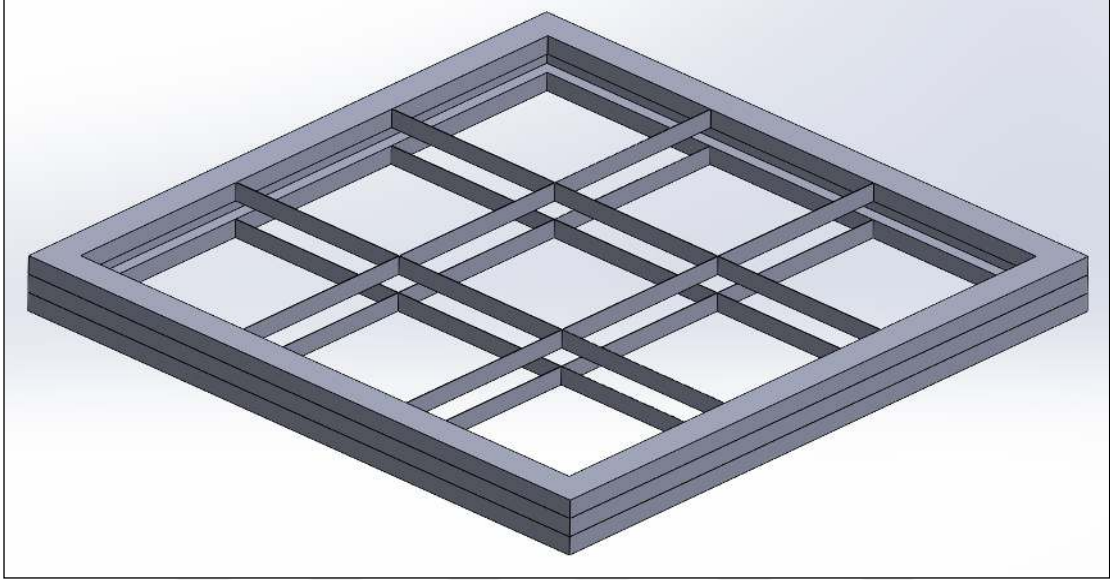


Şekil 3.6. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

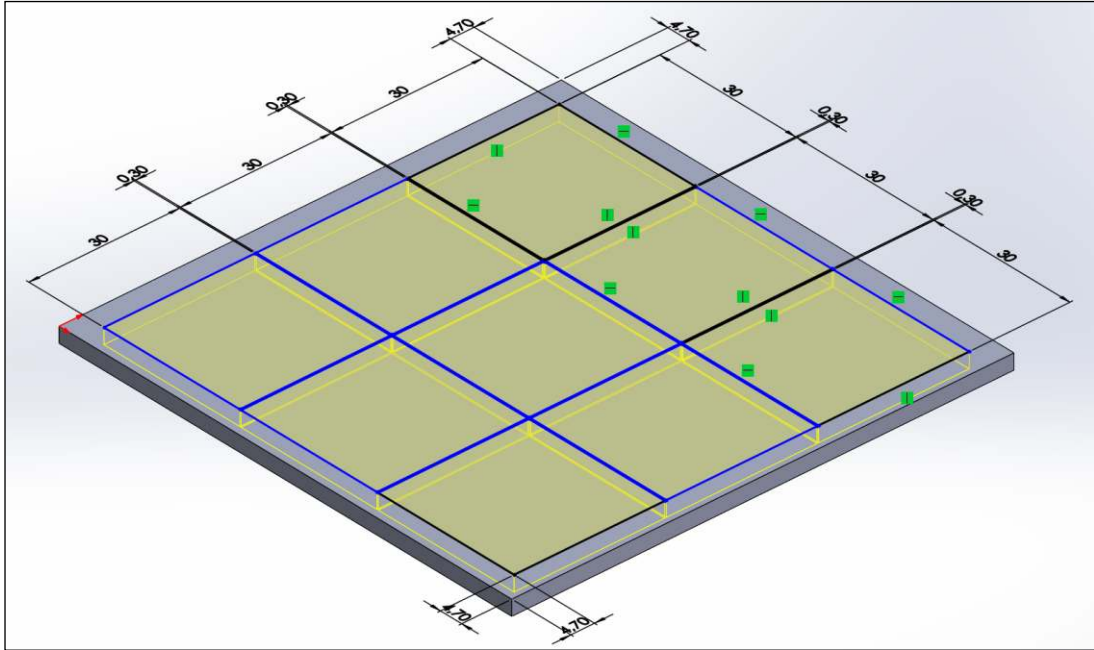
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 9 kareli, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.7’ de verildiği gibidir.

3.3.2. 9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 9, cidar kalınlığı 0,3 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 30 x 30 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 4,7 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 1,7 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.8).



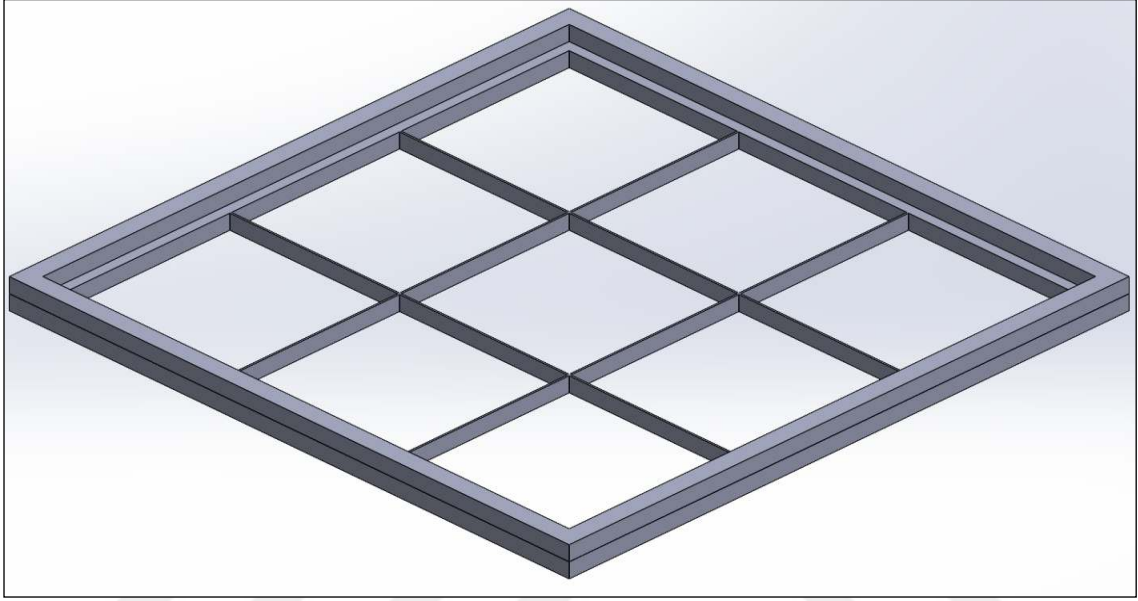
Şekil 3.7. 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve



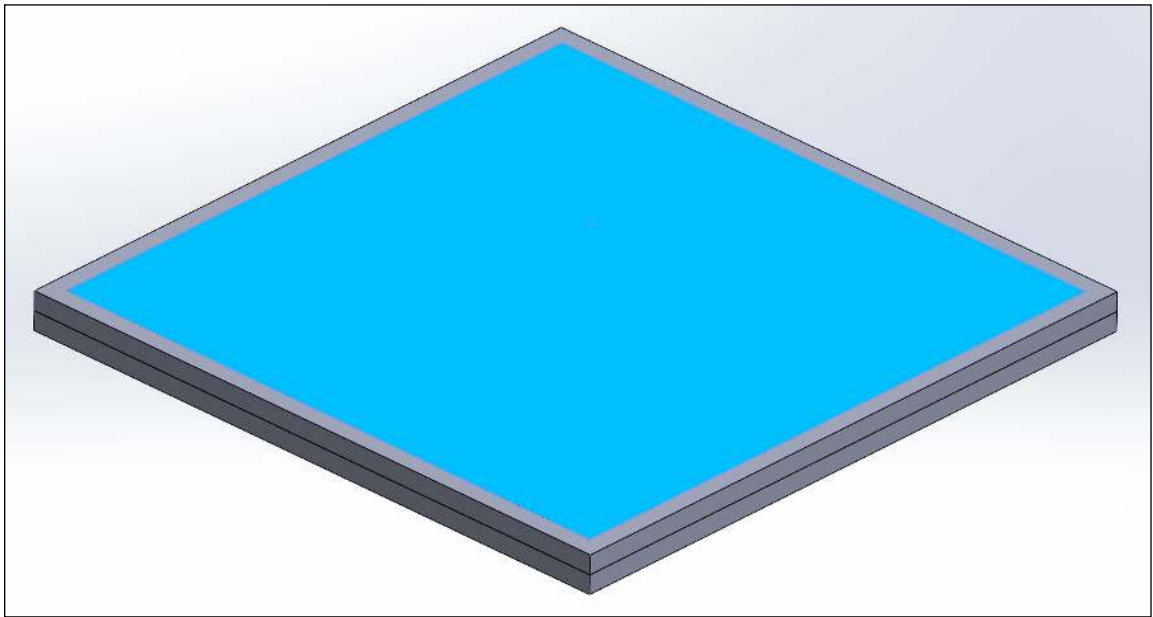
Şekil 3.8. 9 kareli 0.3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları

Şekil 3.8’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.9’da görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

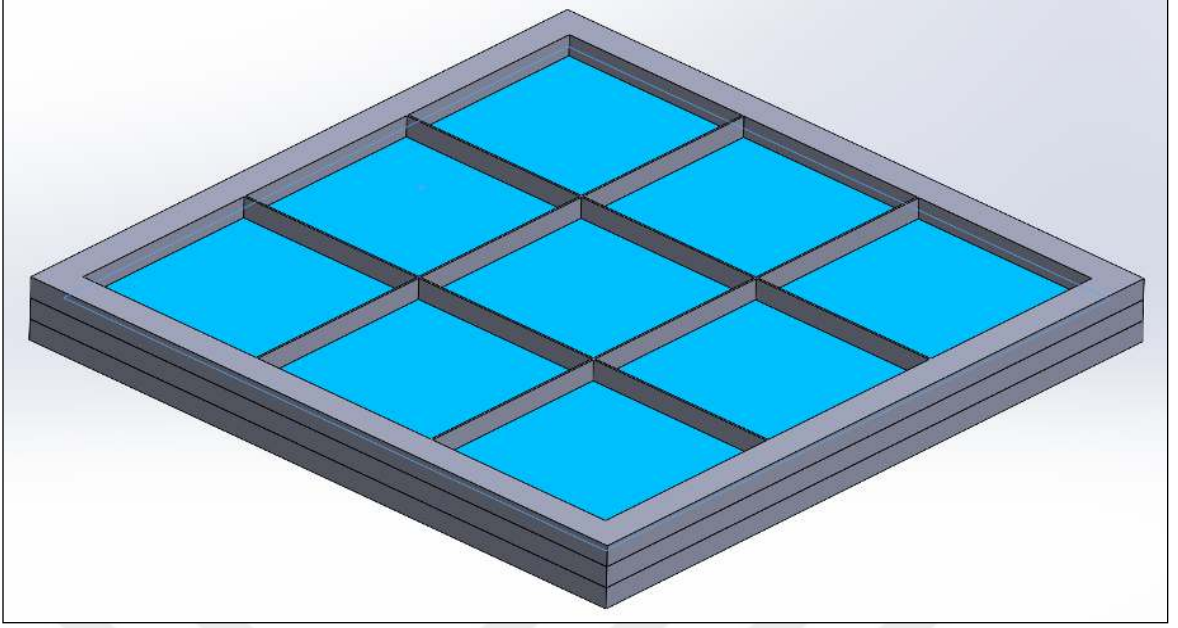
Daha sonraki aşamada, Şekil 3.9’de verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Son aşamada ise Şekil 3.10’da verilen parçanın üzerine Şekil 3.8’de verilen üst tabaka montajlanarak, 9 kareli, 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.9. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

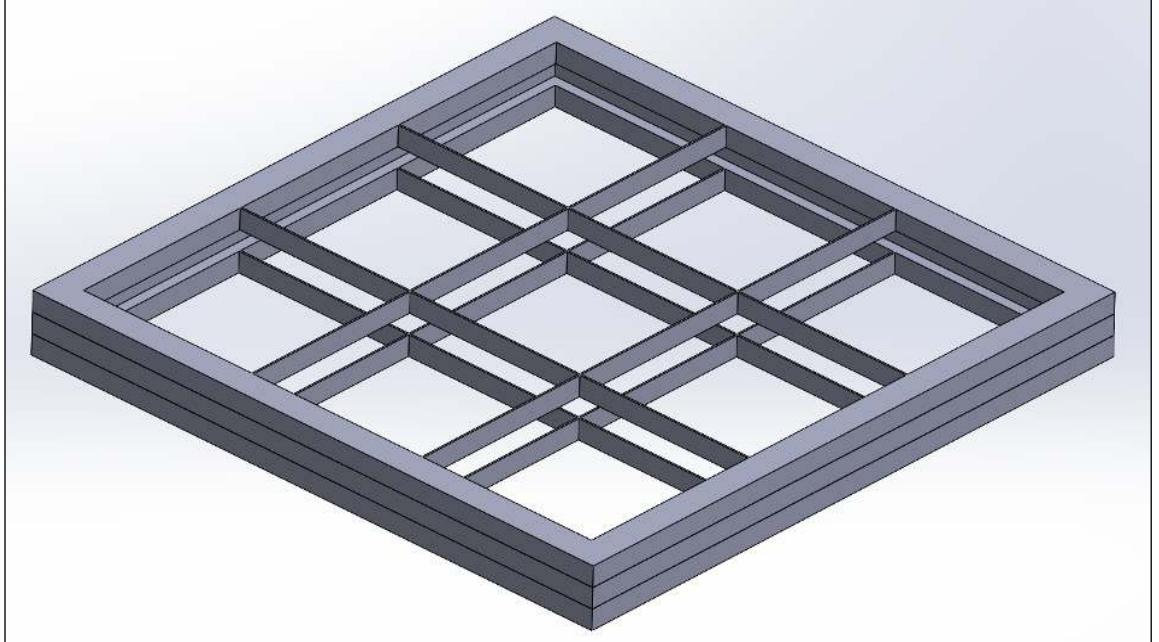


Şekil 3.10. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.11. 9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 9 kareli, 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.12’ de gösterildiği şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.12. 9 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

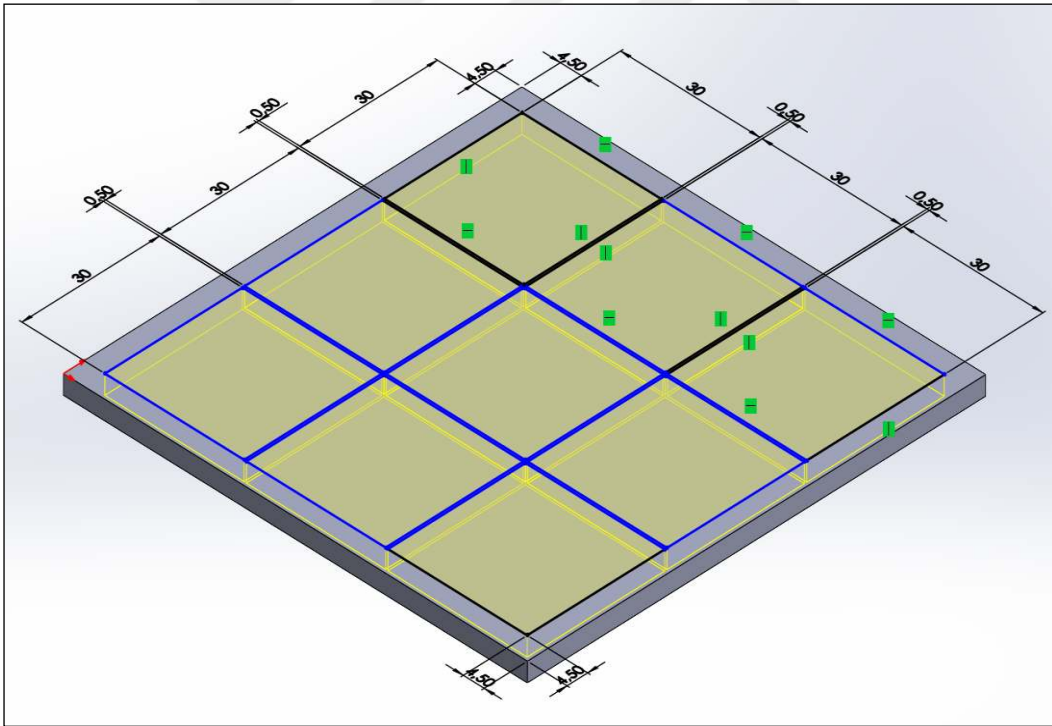
3.3.3. 9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 9, cidar kalınlığı 0,5 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 30 x 30 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 4,5 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 1,5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.13).

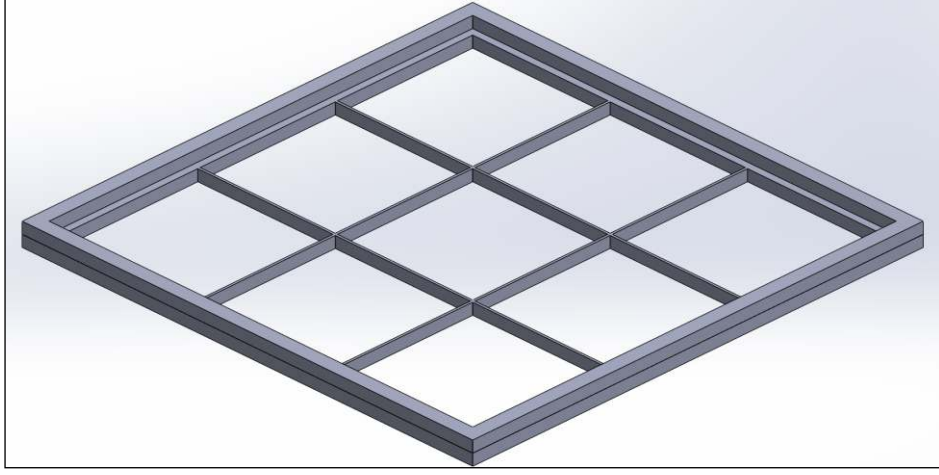
Şekil 3.13’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.14’te görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.14’te verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.15). Son aşamada ise Şekil 3.15’da verilen parçanın üzerine Şekil 3.13’de verilen üst tabaka montajlanarak, 9 kareli, 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.16).

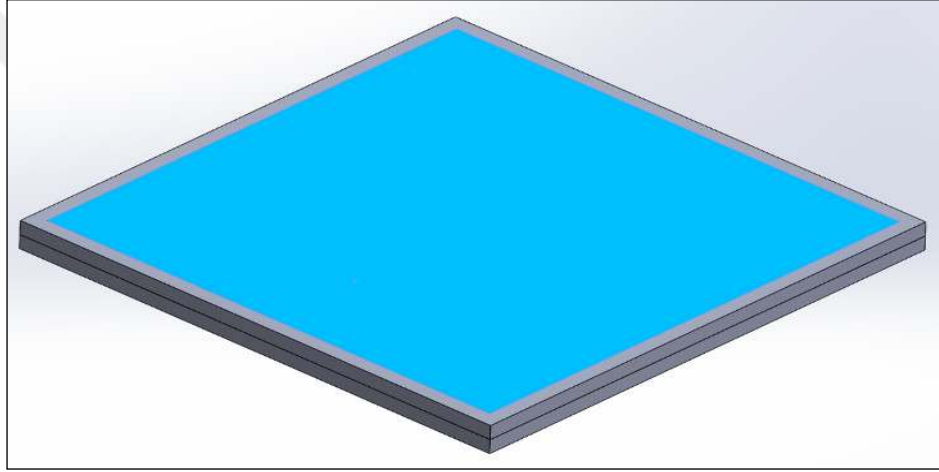
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 9 kareli, 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.17’ de verildiği gibidir.



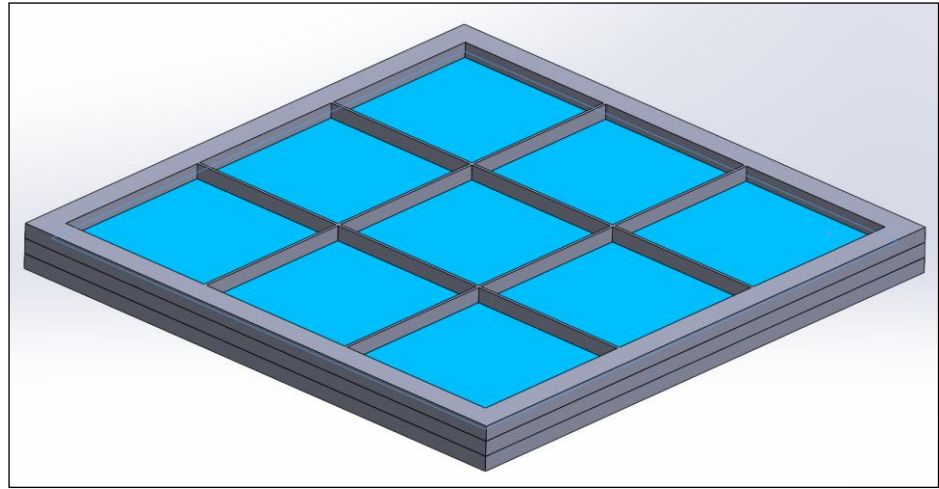
Şekil 3.13. 9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları



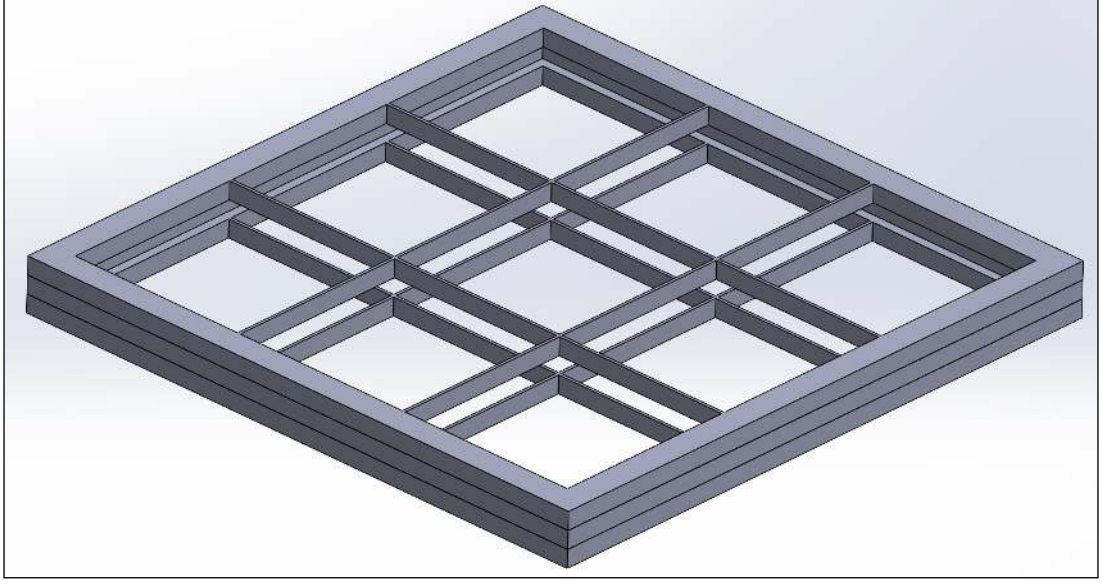
Şekil 3.14. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü



Şekil 3.15. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.16. 9 kareli 0,5 mm cıdar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

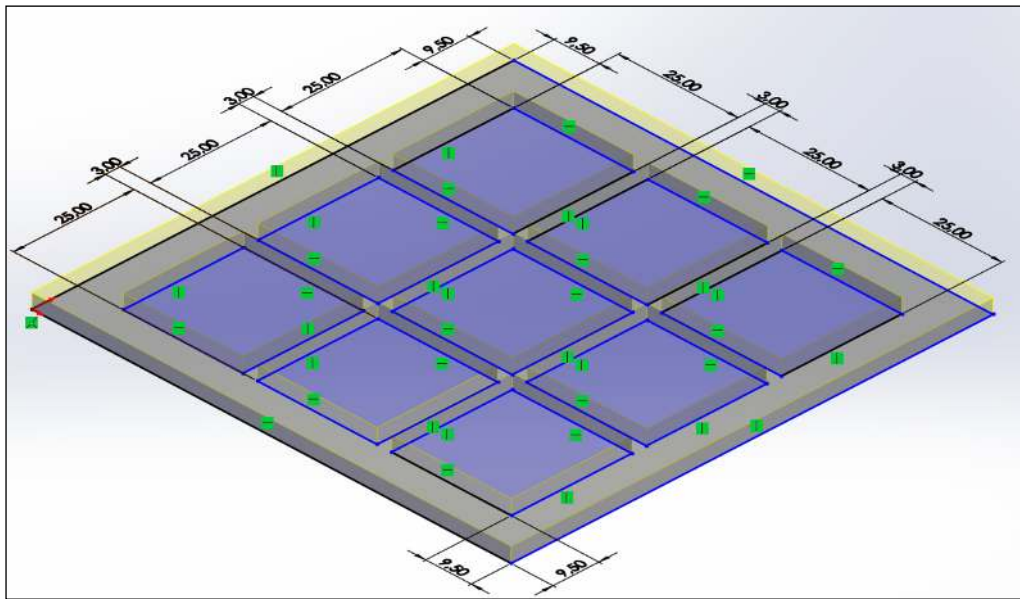


Şekil 3.17. 9 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

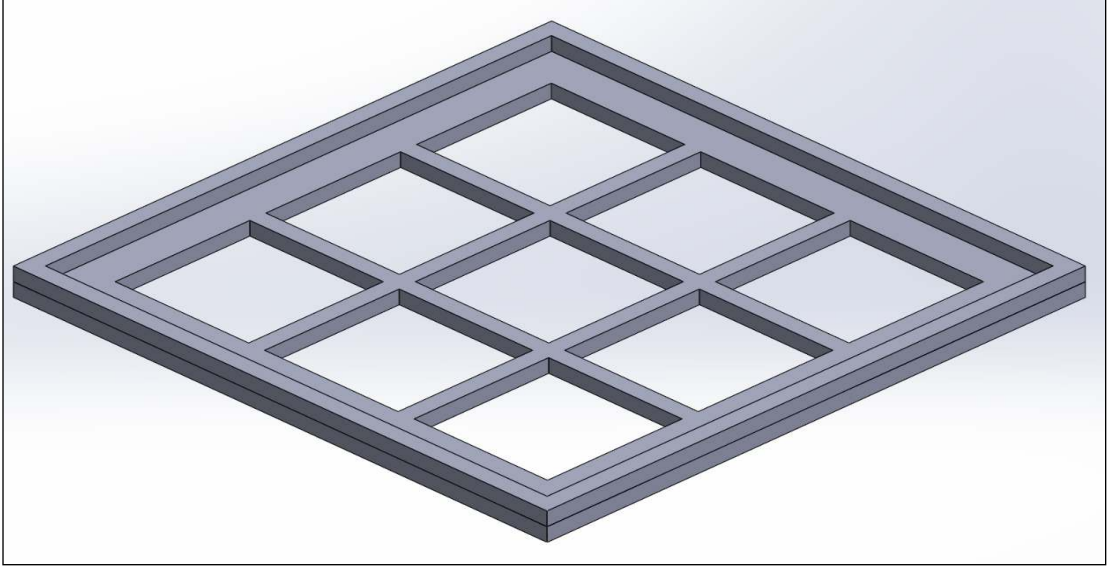
3.3.4. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 9, cidar kalınlığı 3 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 25 x 25 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 9,5 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 3,5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.18).

Şekil 3.18’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.19’da görüldüğü gibi birleştirilmiştir.



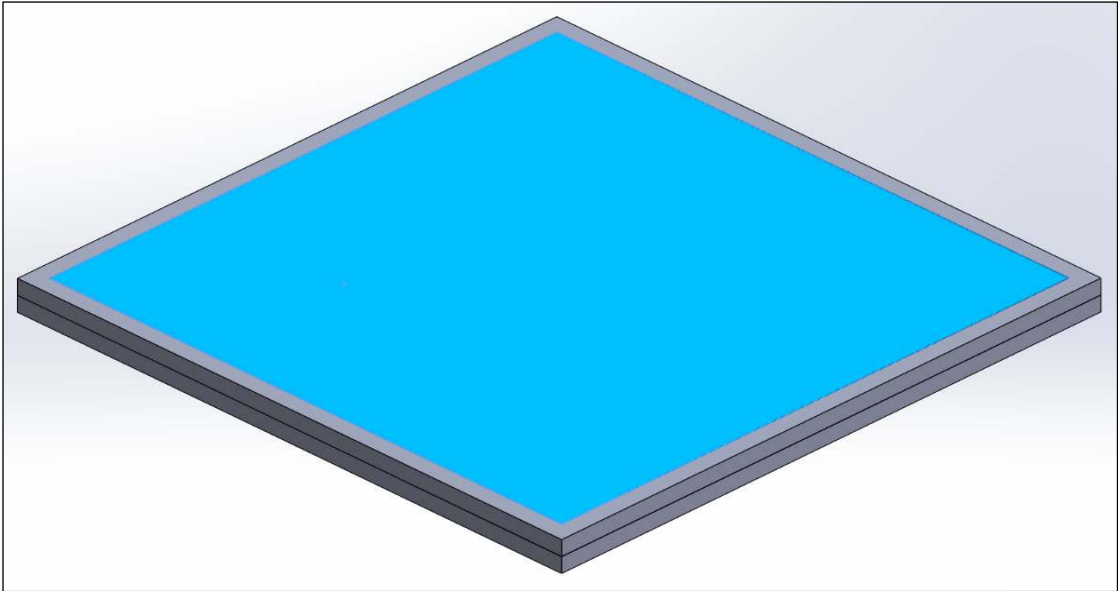
Şekil 3.18. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları



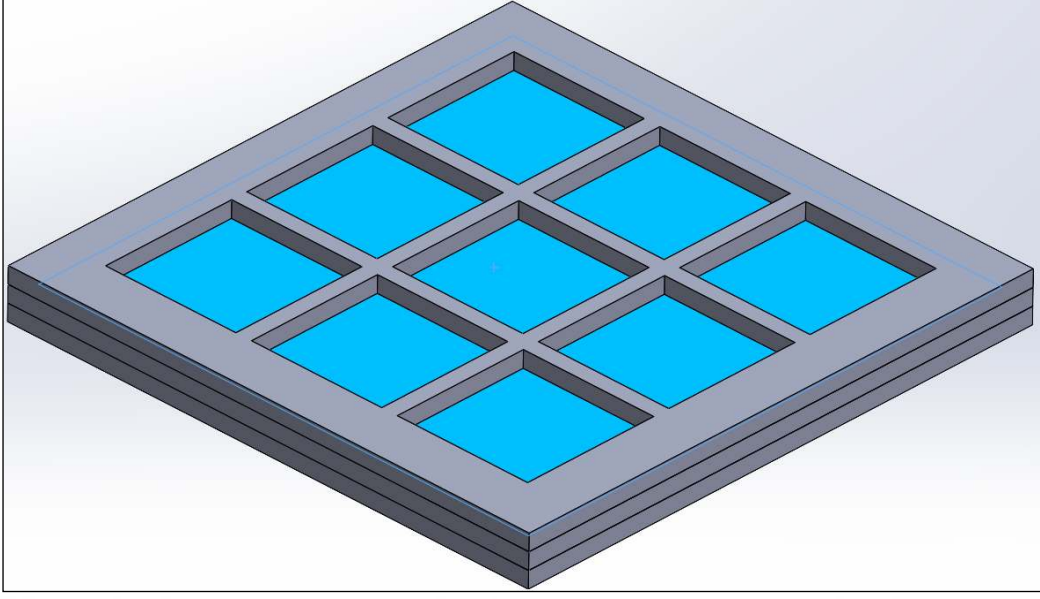
Şekil 3.19. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.19’da verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.20). Son aşamada ise Şekil 3.20’de verilen parçanın üzerine Şekil 3.18’de verilen üst tabaka montajlanarak, 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.21).

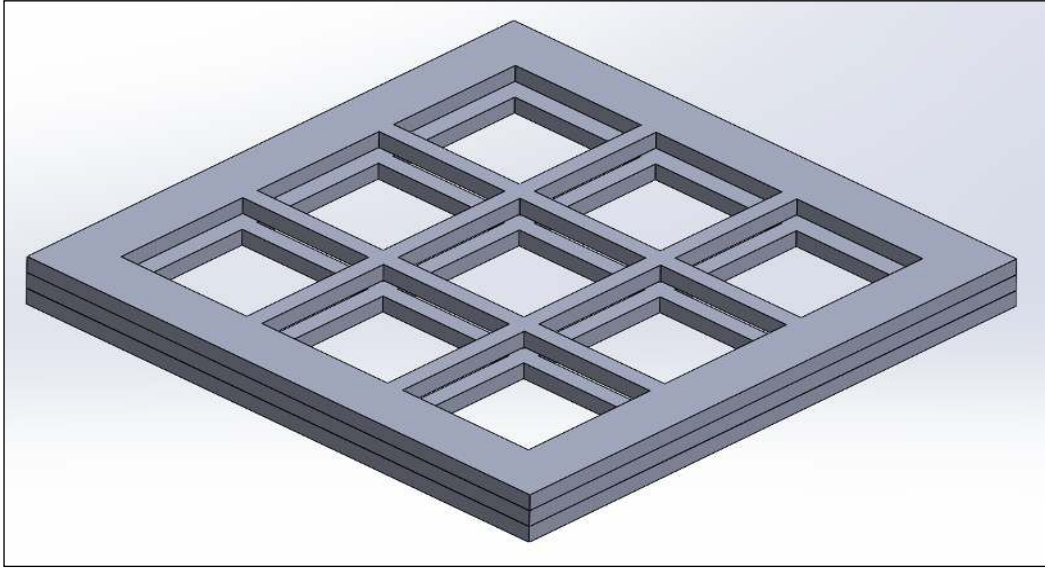
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.22’ de verildiği gibidir.



Şekil 3.20. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.21. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

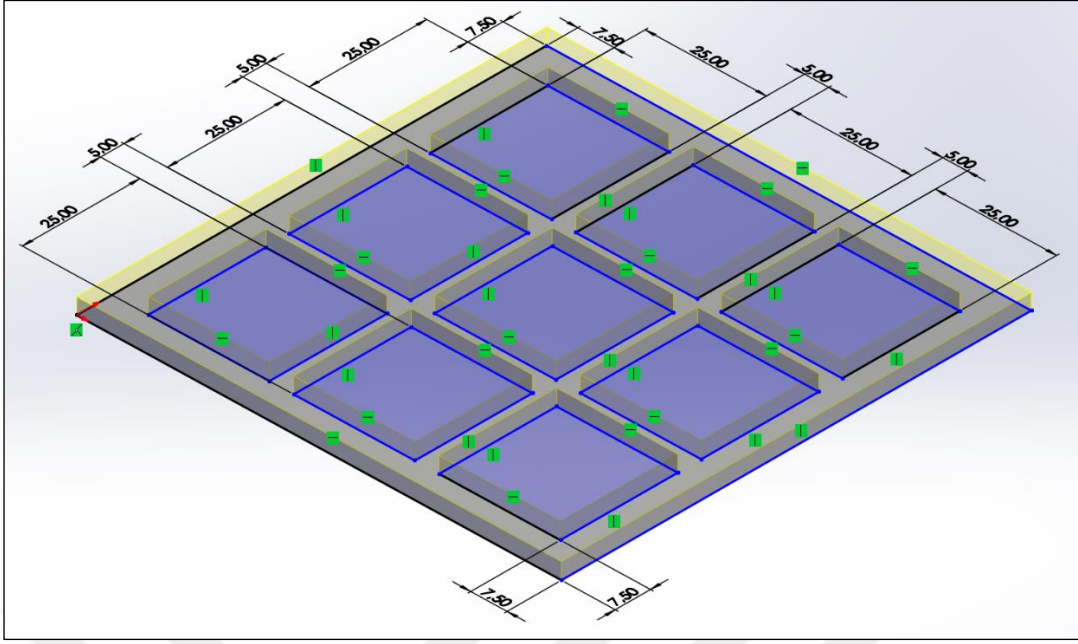


Şekil 3.22. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

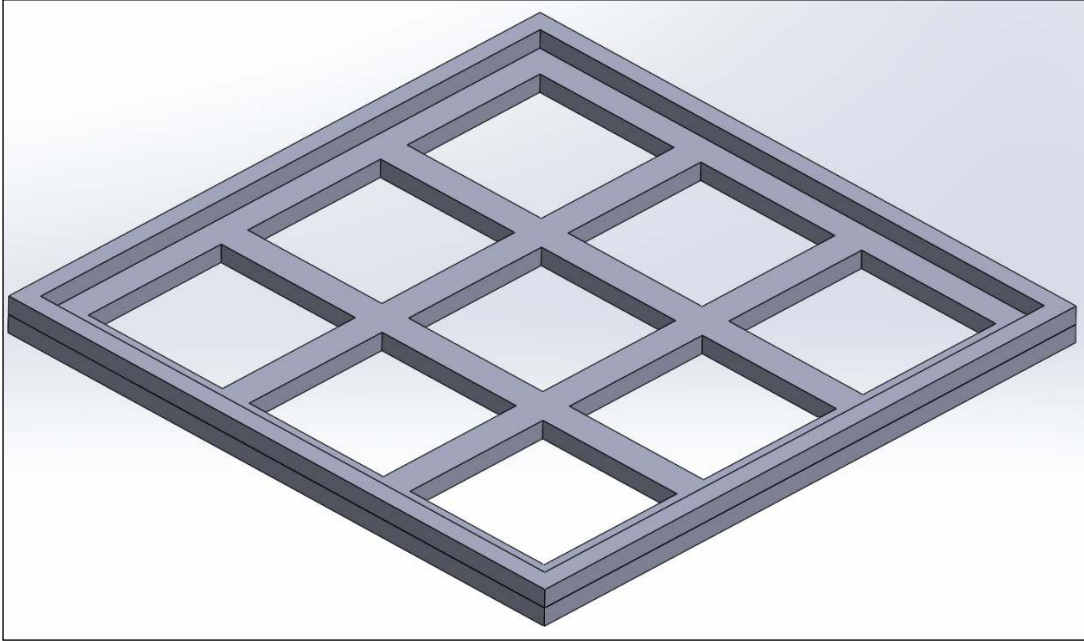
3.3.5. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 9, cidar kalınlığı 5 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 25 x 25 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 7,5 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 4,5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.23).

Şekil 3.23'te verilen alt tabaka ile Şekil 3.3'te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.24'da görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

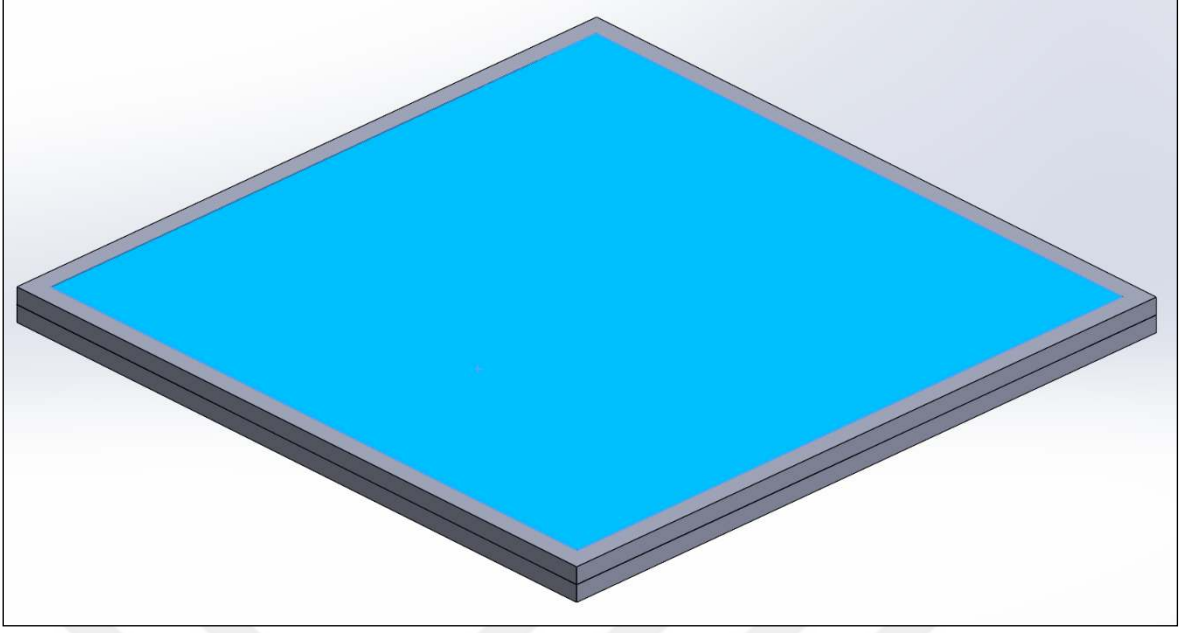


Şekil 3.23. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları

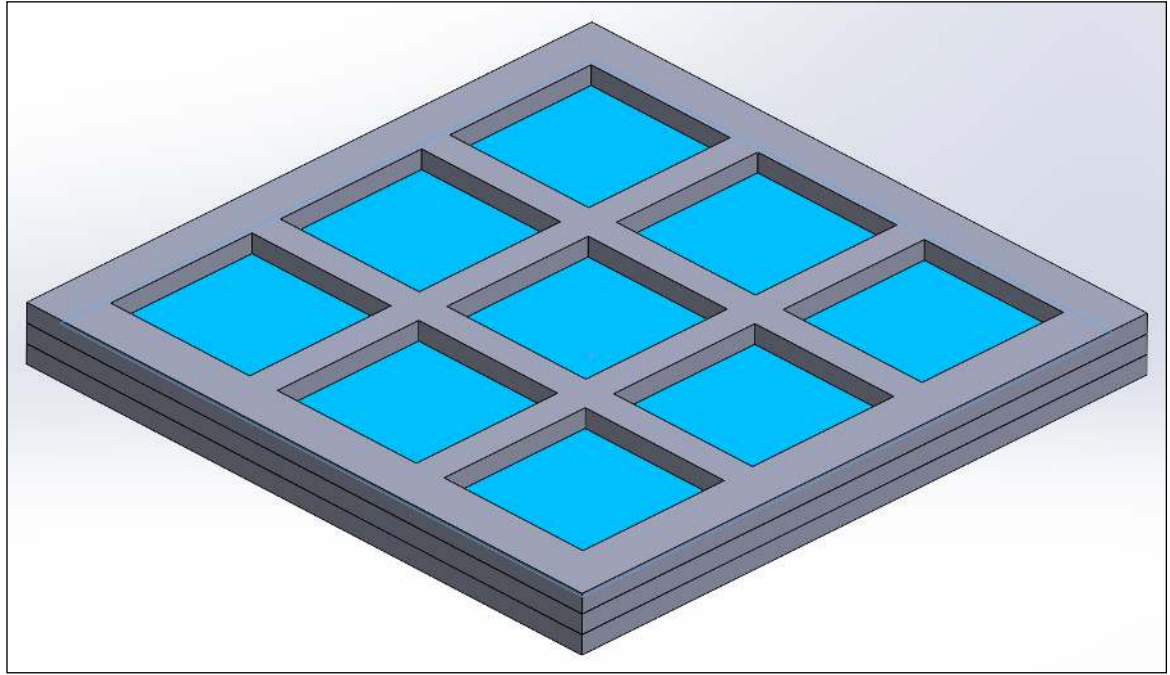


Şekil 3.24. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.24’de verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.25). Son aşamada ise Şekil 3.25’de verilen parçanın üzerine Şekil 3. 23’de verilen üst tabaka montajlanarak, 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.26).

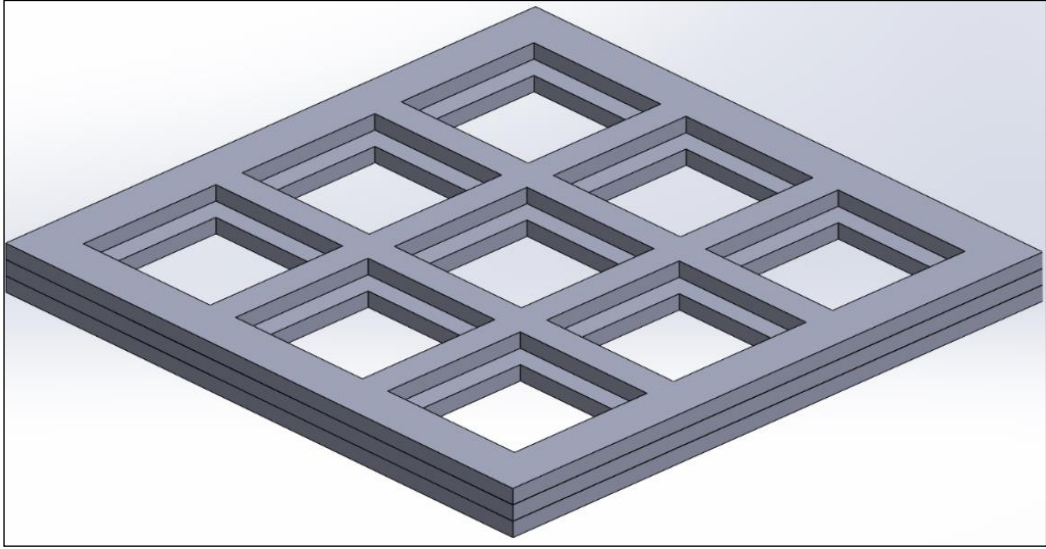


Şekil 3.25. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.26. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

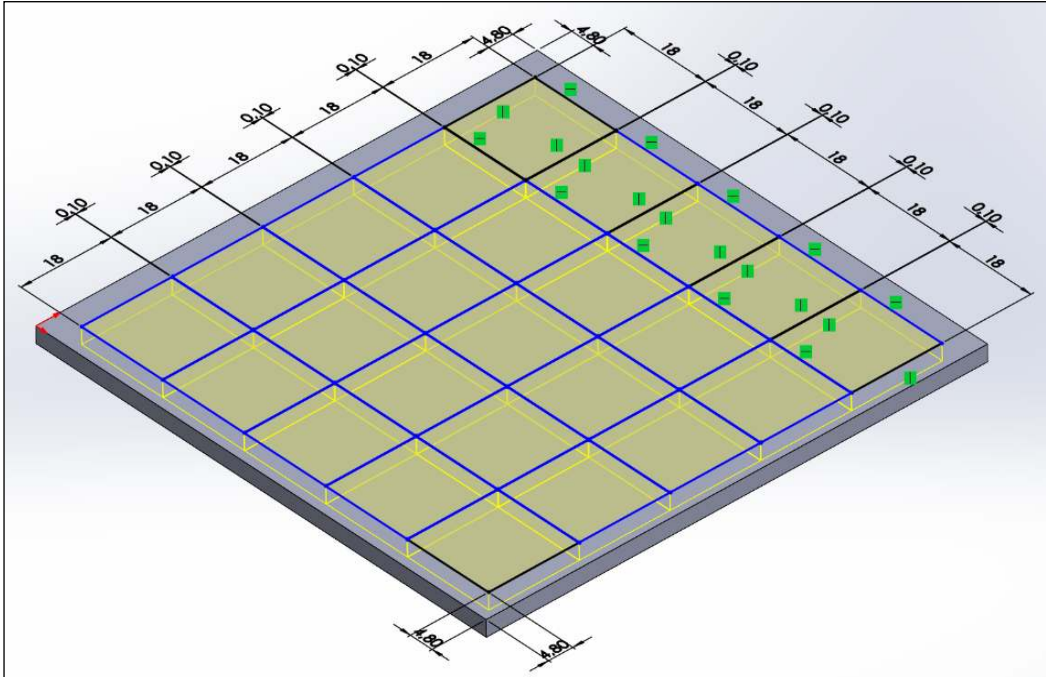
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.27’de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



Şekil 3.27. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

3.3.6. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

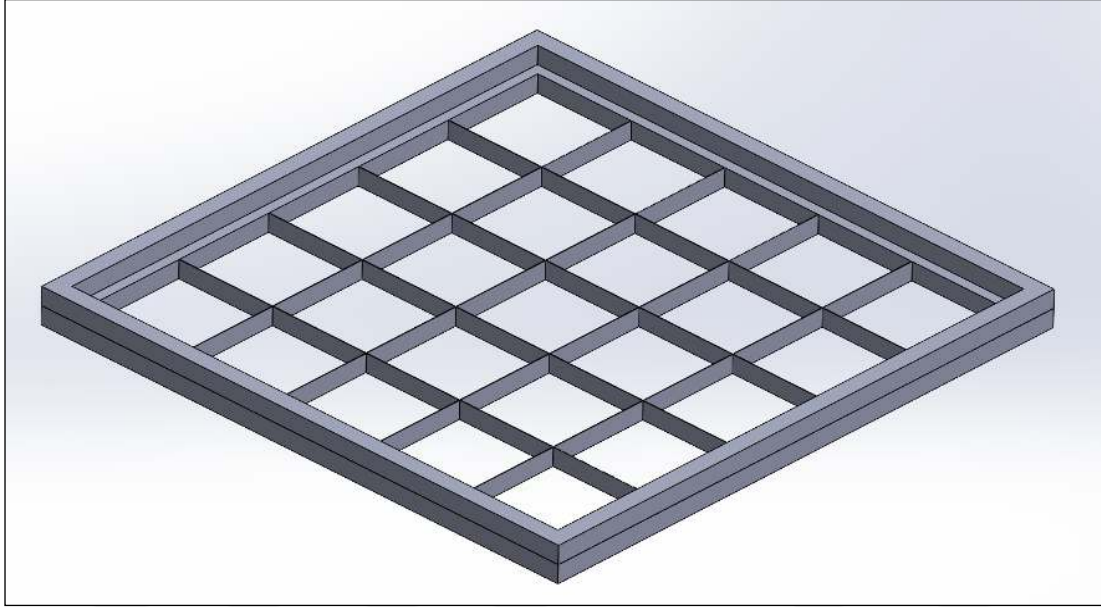
Kare sayısı 25, cidar kalınlığı 0,1 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 18 x 18 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 4,8 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 1,8 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.28).



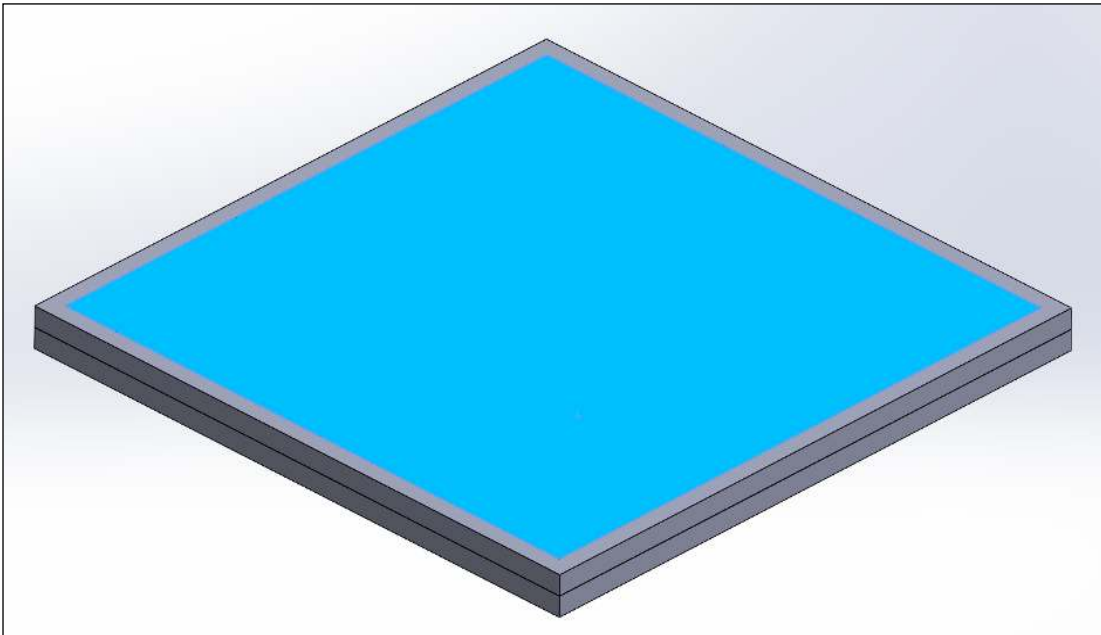
Şekil 3.28. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları

Şekil 3.28’de verilen alt tabaka ile Şekil 3. 3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.29’da görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

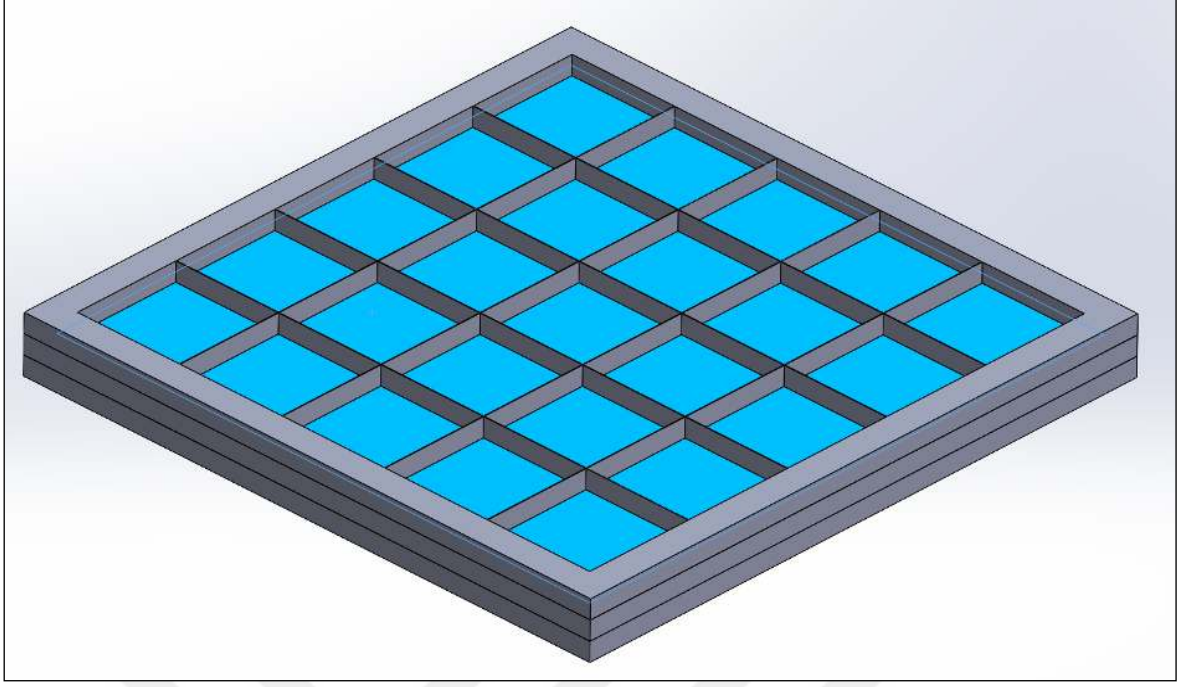
Daha sonraki aşamada, Şekil 3.29’da verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.30). Son aşamada ise Şekil 3.30’da verilen parçanın üzerine Şekil 3.28’de verilen üst tabaka montajlanarak, 25 kareli, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.31).



Şekil 3.29. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

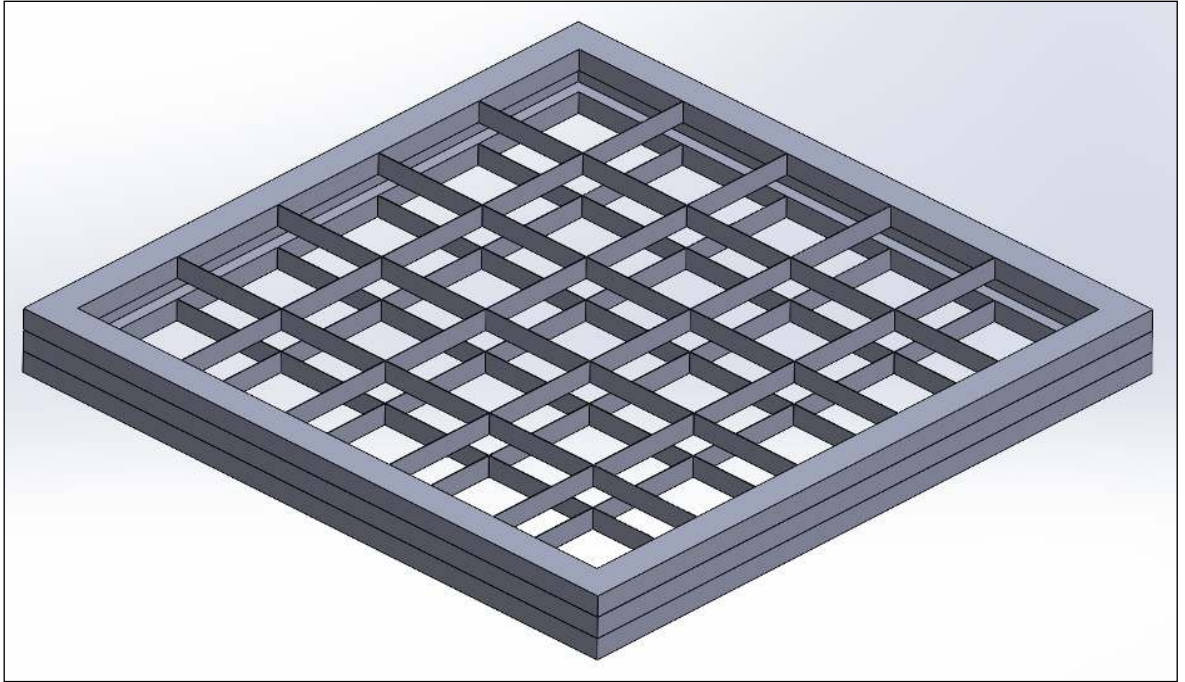


Şekil 3.30. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.31. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 25 kareli, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.32’ de verildiği gibidir.



Şekil 3.32. 25 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

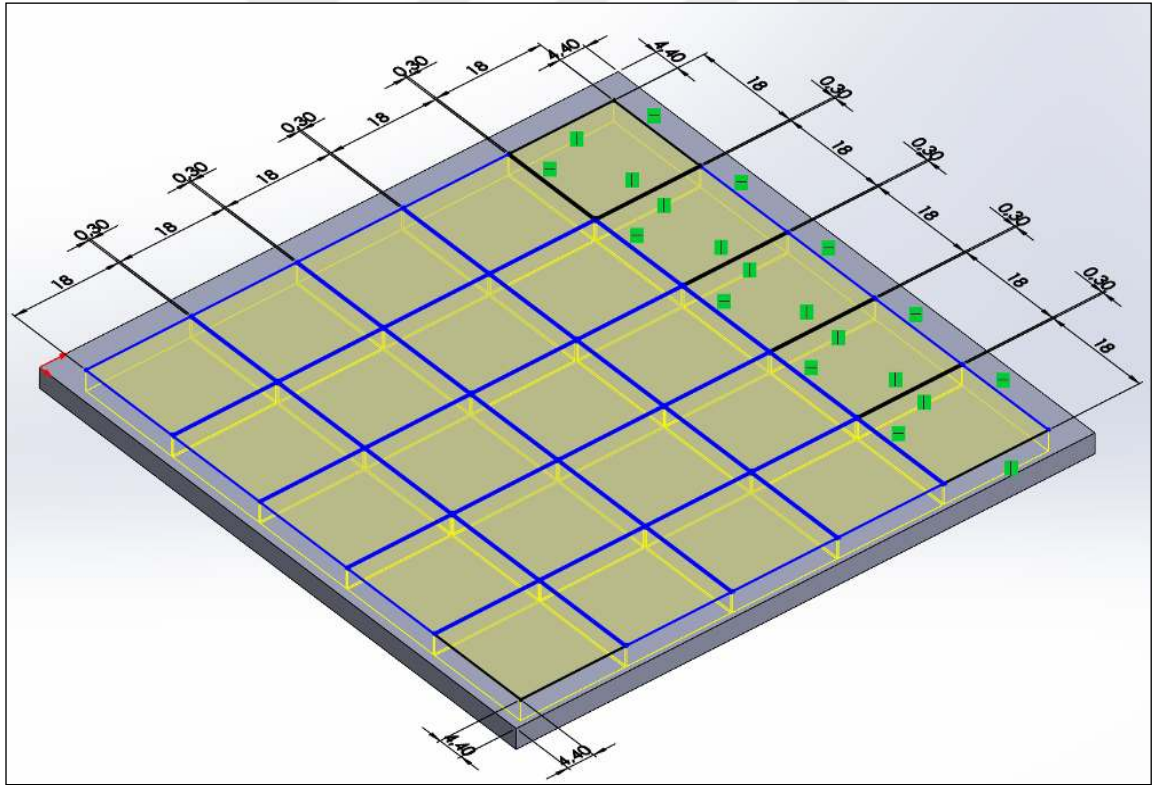
3.3.7. 25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 25, cidar kalınlığı 0,3 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 18 x 18 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 4,4 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 1,4 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.33).

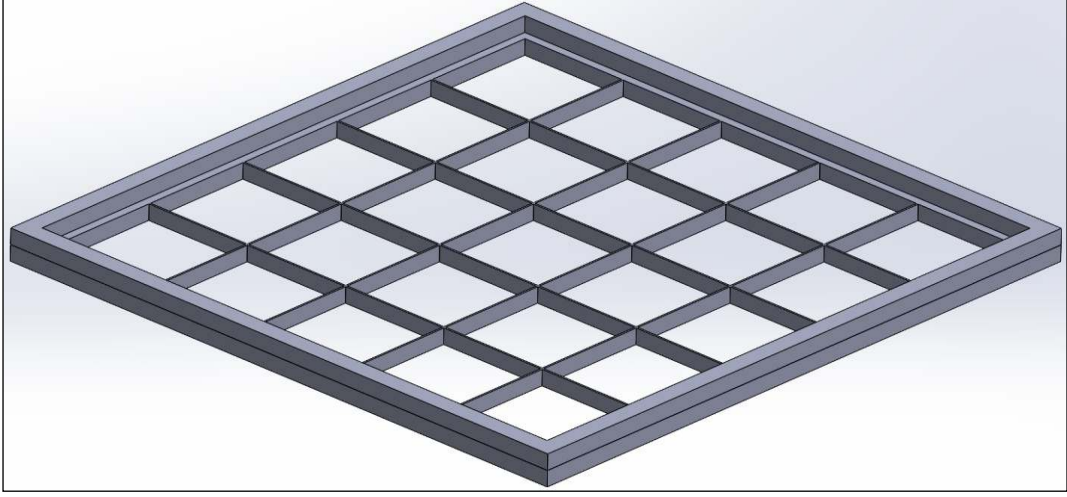
Şekil 3.33’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.34’te görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.34’te verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.35). Son aşamada ise Şekil 3.35’te verilen parçanın üzerine Şekil 3.33’te verilen üst tabaka montajlanarak, 25 kareli, 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 36).

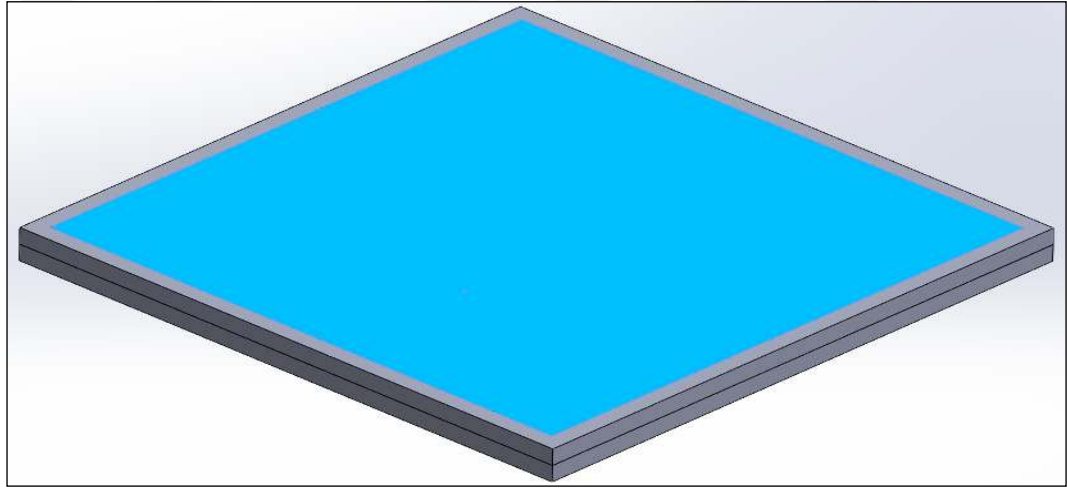
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 25 kareli, 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.37’ de verildiği gibidir.



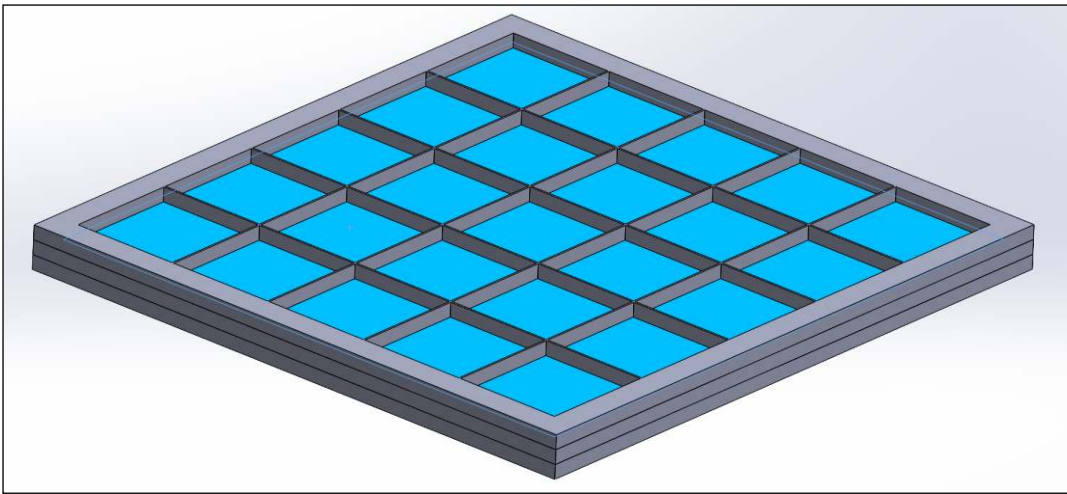
Şekil 3.33. 25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları



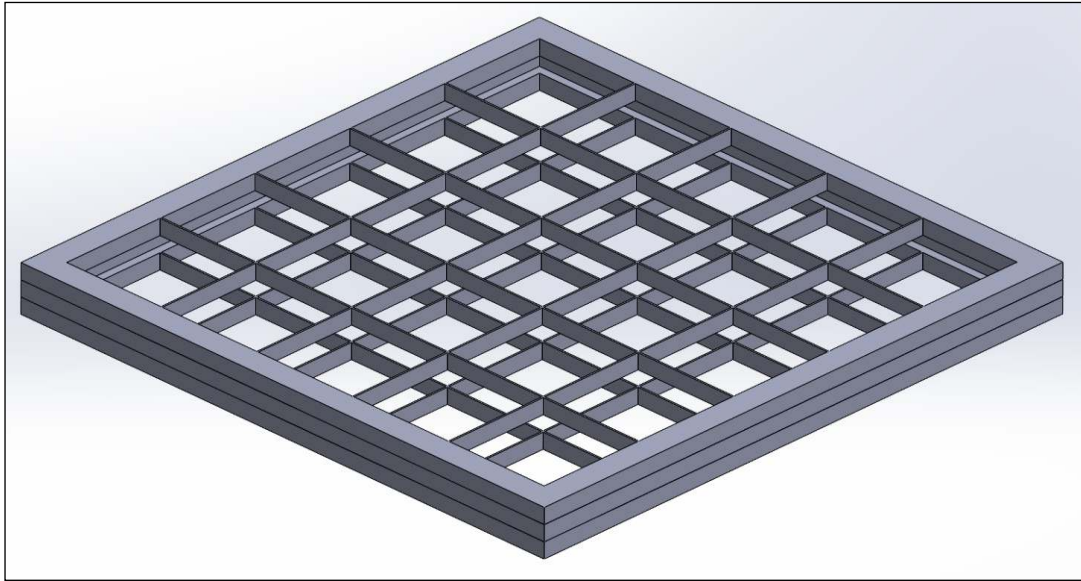
Şekil 3.34. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü



Şekil 3.35. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



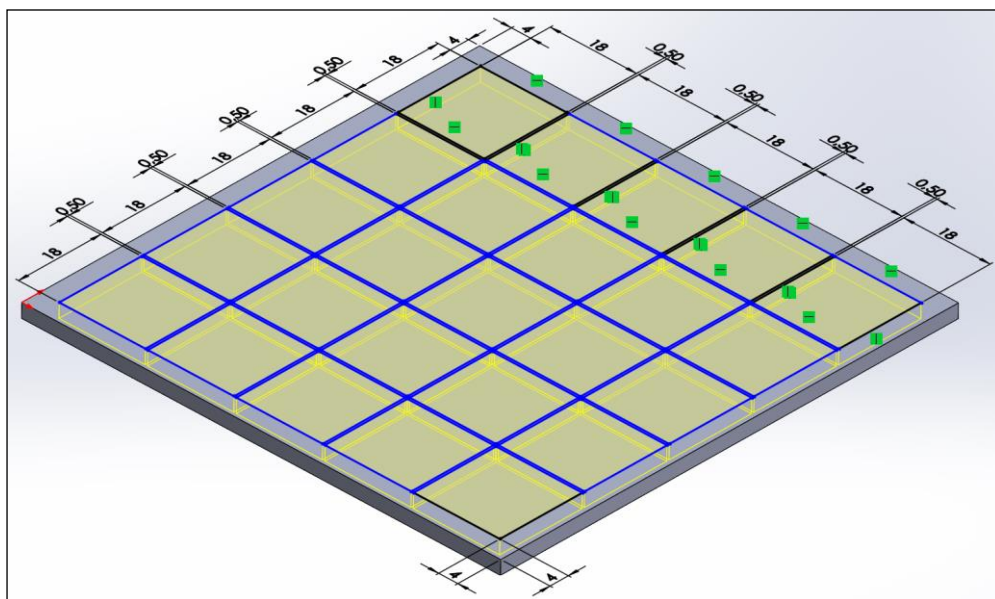
Şekil 3.36. 25 kareli 0,3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

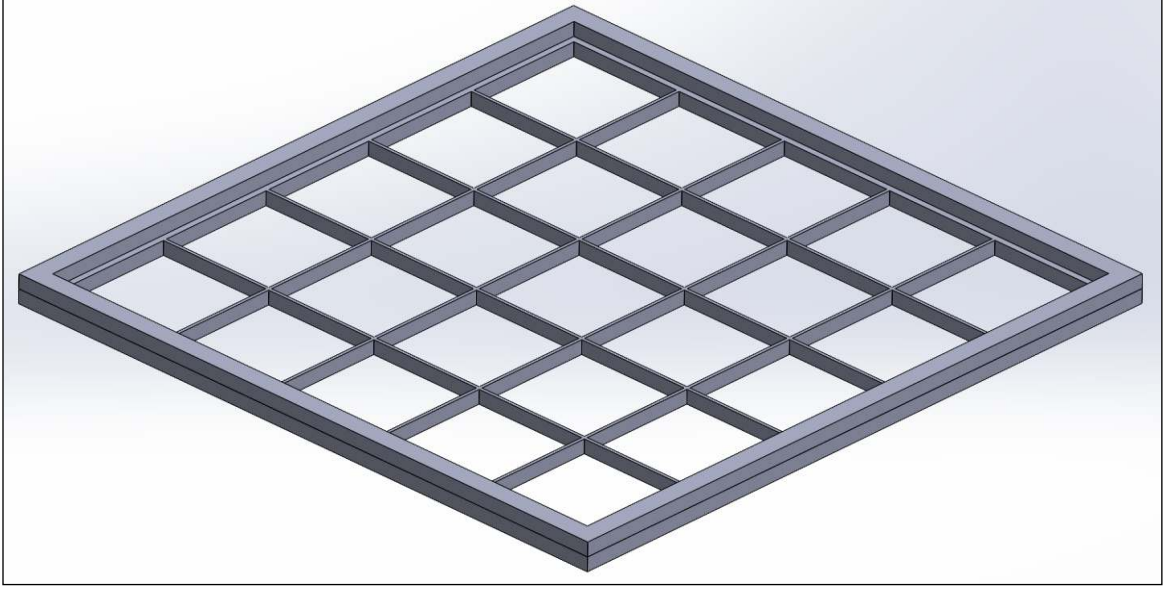


3.3.8. 25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 25, cidar kalınlığı 0,5 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 18 x 18 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 4 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 1 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.38).

Şekil 3.38’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.39’da görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

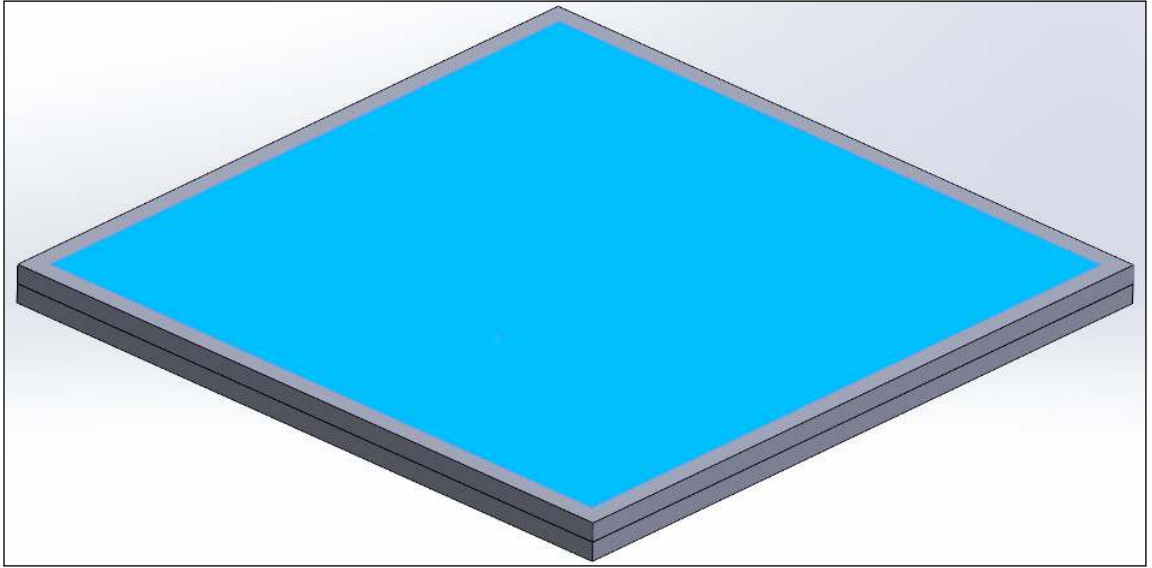




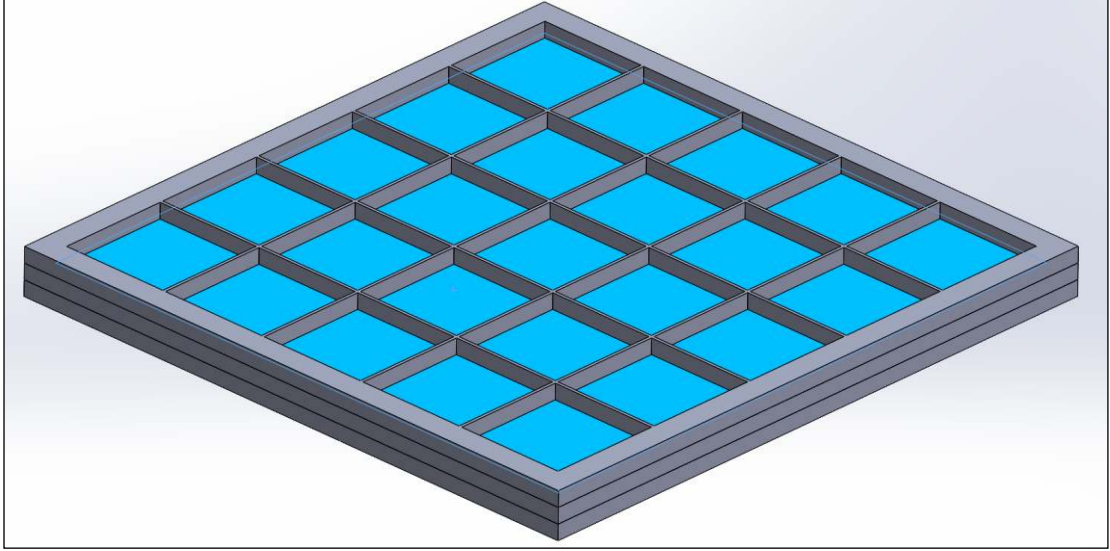
Şekil 3.39. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.39’da verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.40). Son aşamada ise Şekil 3.40’ta verilen parçanın üzerine Şekil 3.38’de verilen üst tabaka montajlanarak, 25 kareli, 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 41).

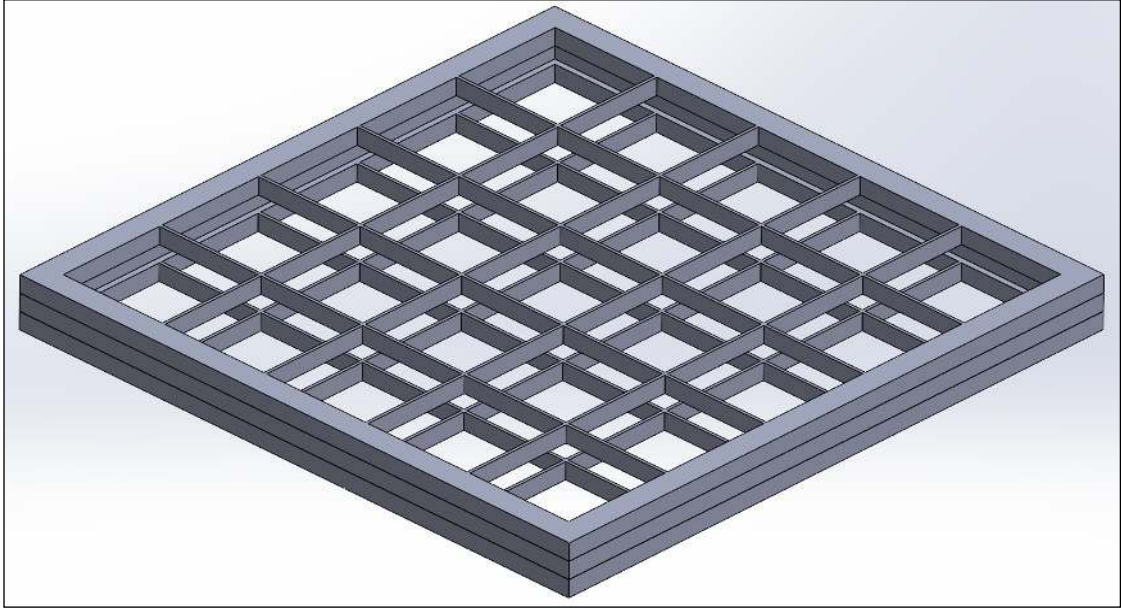
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 25 kareli, 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.42’ de verildiği gibidir.



Şekil 3.40. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.41. 25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

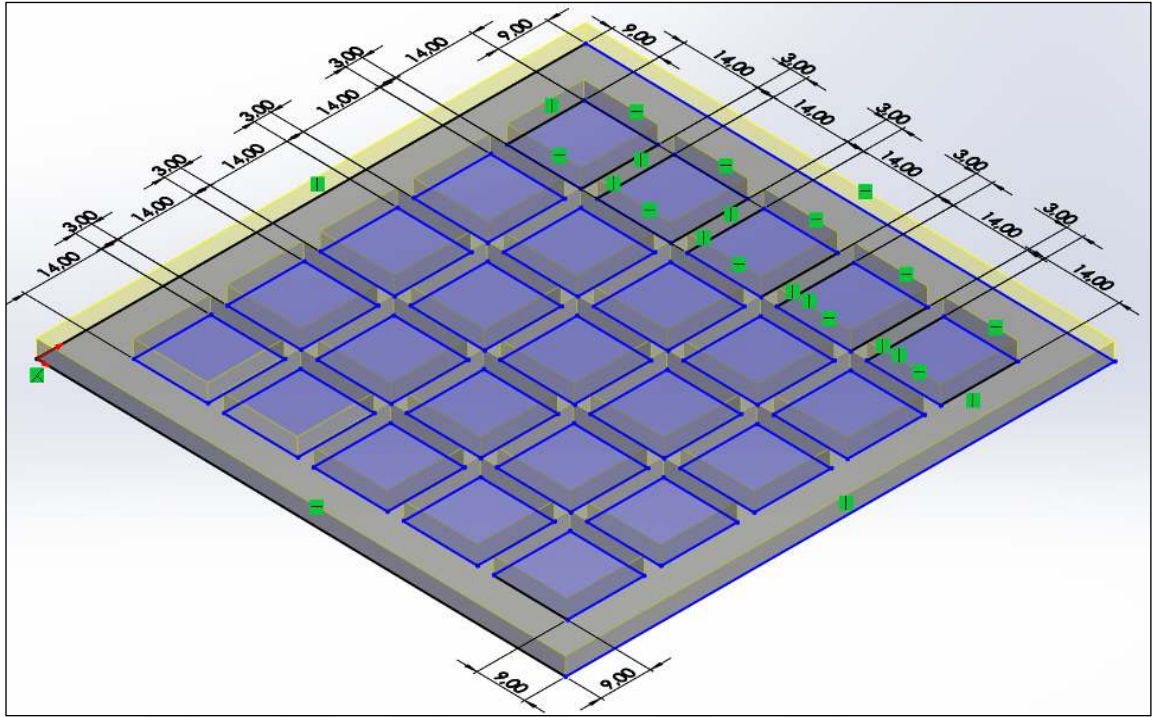


Şekil 3.42. 25 kareli 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

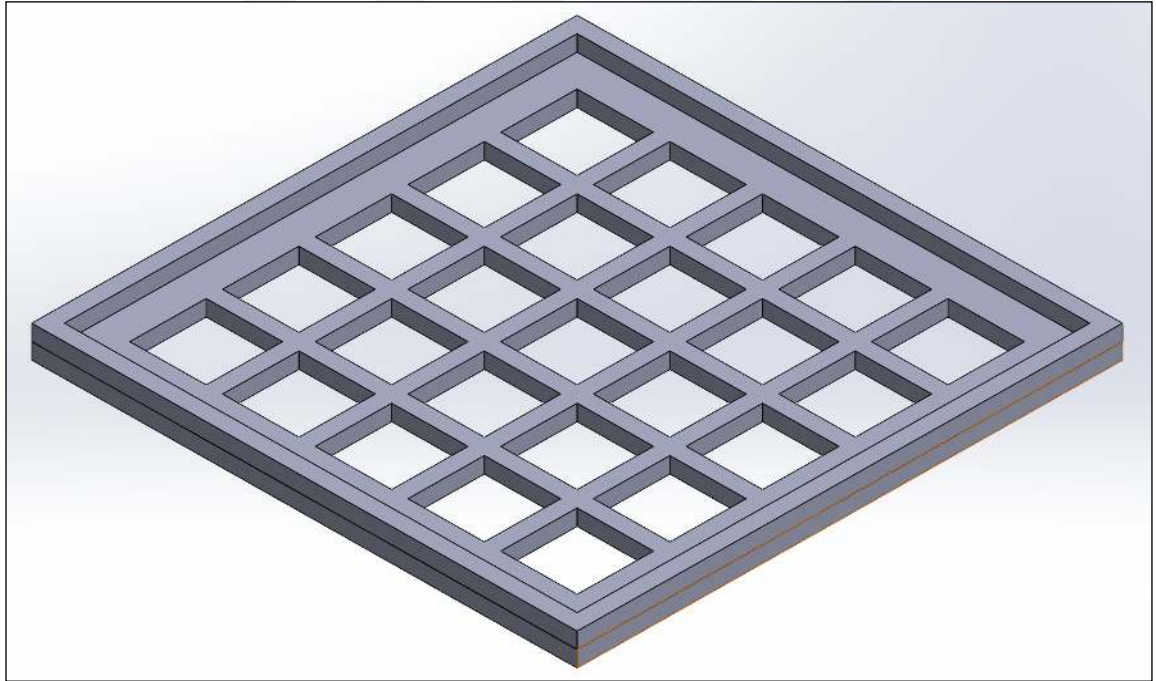
3.3.9. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 25, cidar kalınlığı 3 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 14 x 14 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 9 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 6 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.43).

Şekil 3.43’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.44’de görüldüğü gibi birleştirilmiştir.



Şekil 3.43. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları

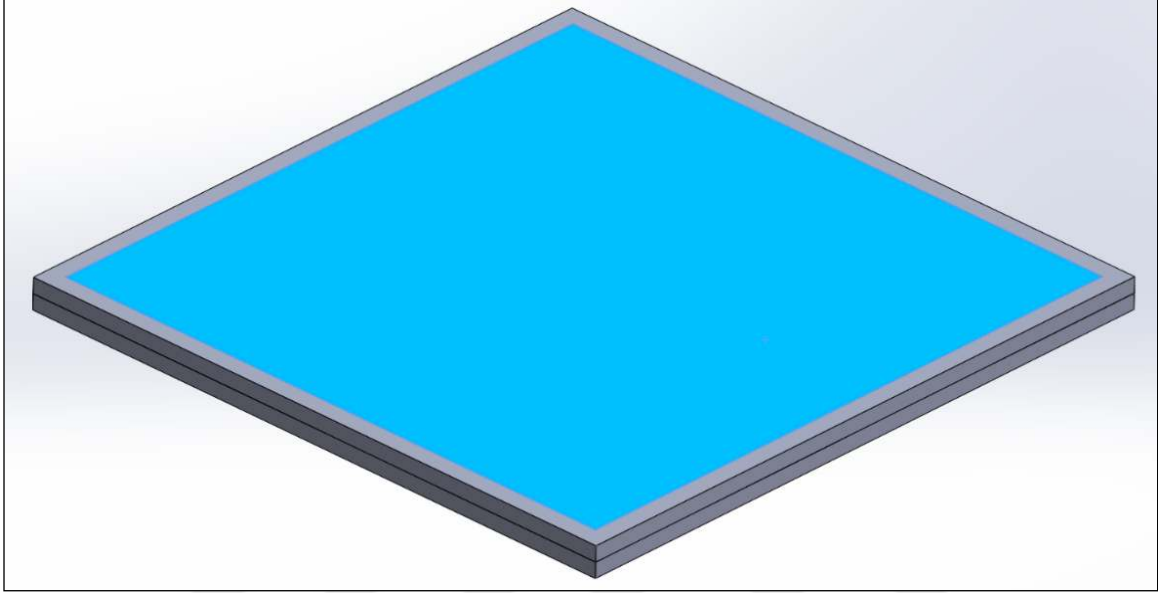


Şekil 3.44. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

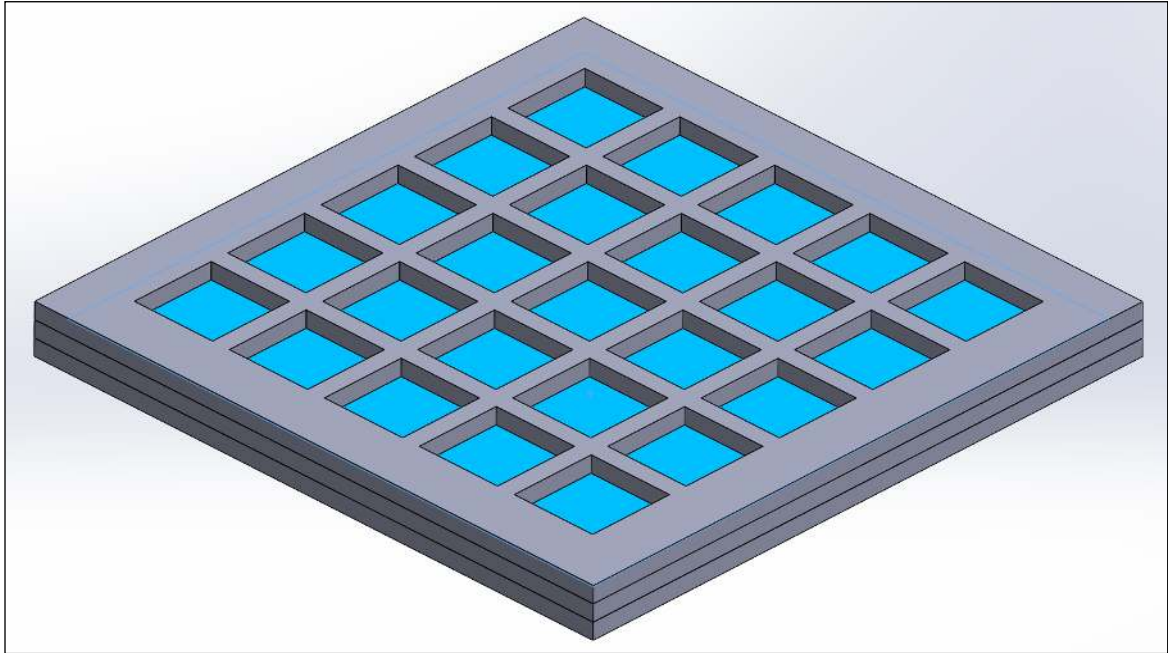
Daha sonraki aşamada, Şekil 3.44’de verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.45). Son aşamada ise Şekil 3.45’te verilen

parçanın üzerine Şekil 3.43'te verilen üst tabaka montajlanarak, 25 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.46).

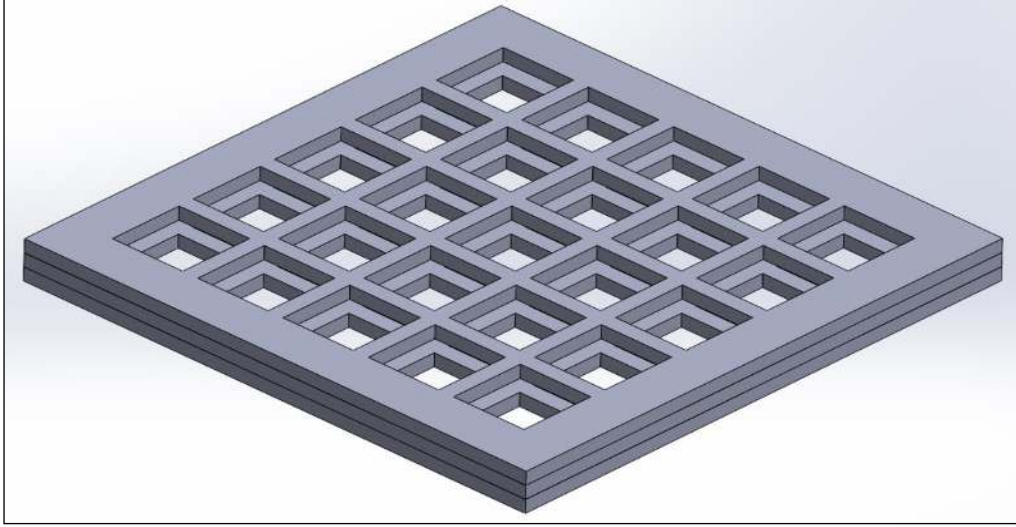
Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 25 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.47'de verildiği gibidir.



Şekil 3.45. Kompozit malzemenin çerçeve içersine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.46. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

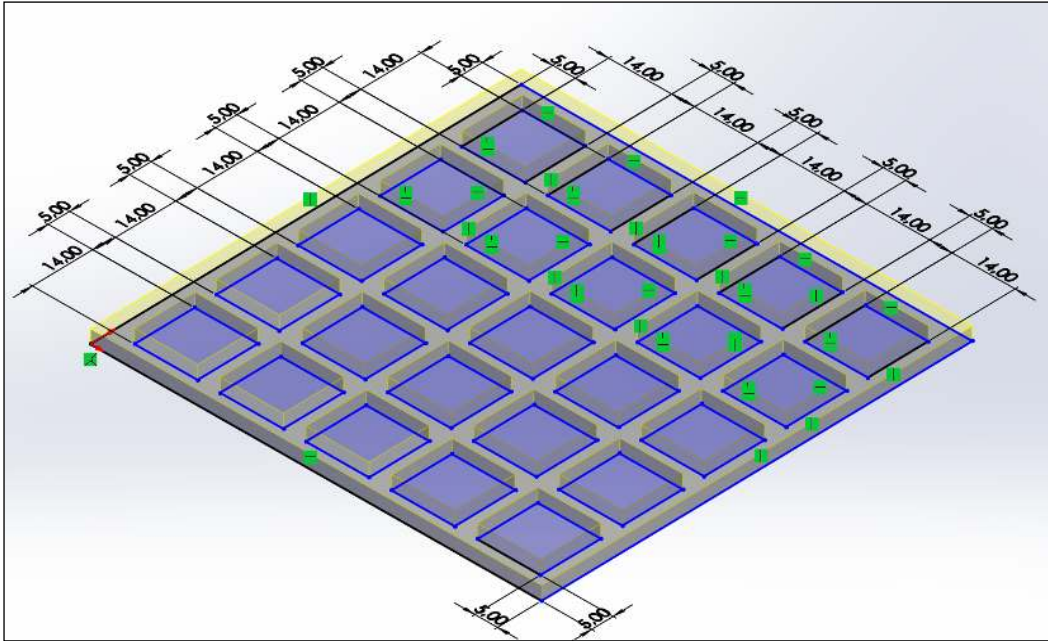


Şekil 3.47. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

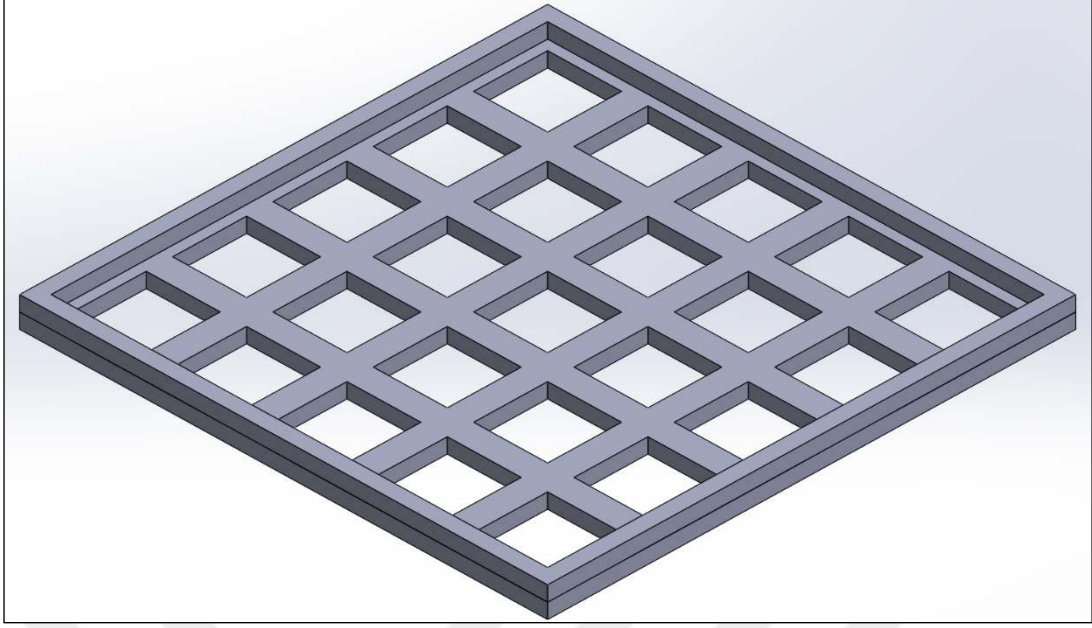
3.3.10. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune modellemesi

Kare sayısı 25, cidar kalınlığı 5 mm olan çerçevenin alt ve üst tabakaları, kare boyutları 14 x 14 mm, çerçeve sonunda kalan mesafe 5 mm ve kompozit malzemenin oturacağı bindirme payları 2 mm olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.48).

Şekil 3.48’de verilen alt tabaka ile Şekil 3.3’te verilen orta tabaka, kenarlarından montajlanarak Şekil 3.49’da görüldüğü gibi birleştirilmiştir.

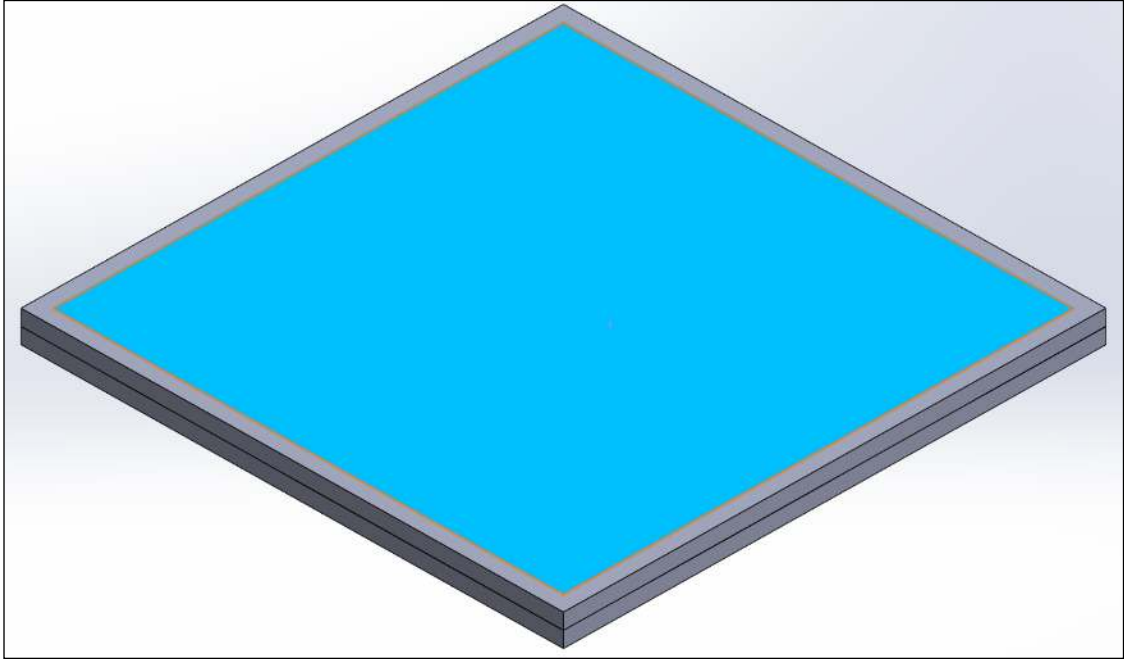


Şekil 3.48. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin üst ve alt tabakaları

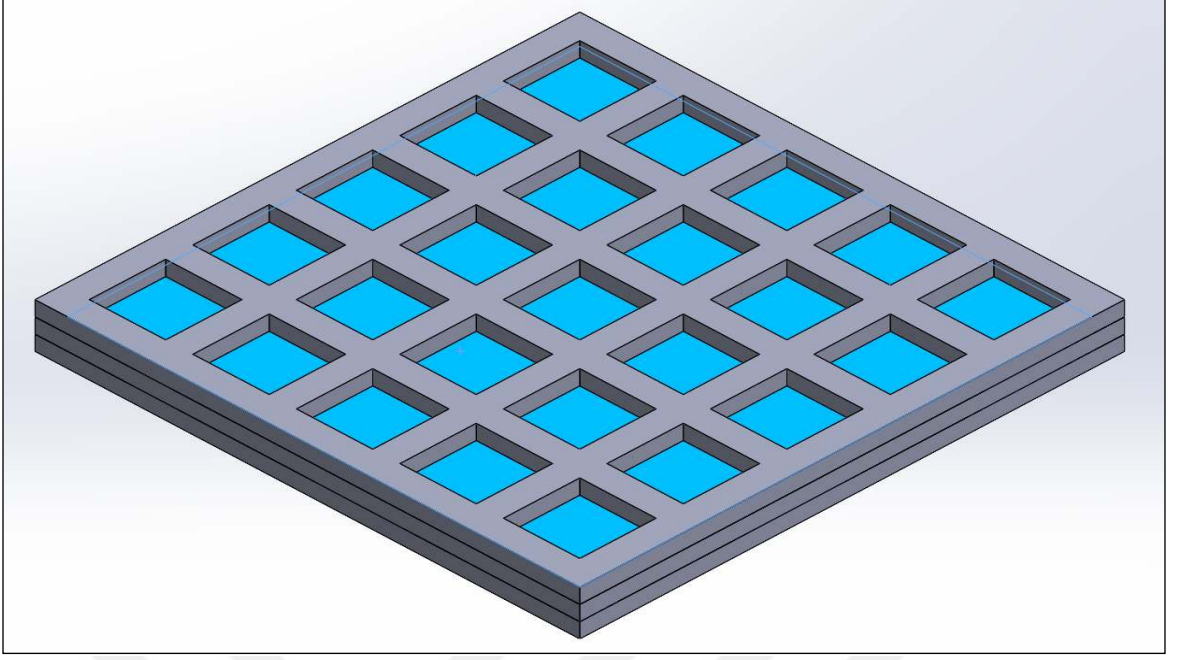


Şekil 3.49. Alt ve orta tabakanın montajlanmış görüntüsü

Daha sonraki aşamada, Şekil 3.49’da verilen tasarımın içerisine, Şekil 3.1’de verilen kompozit malzeme yerleştirilmiştir (Şekil 3.50). Son aşamada ise Şekil 3.50’de verilen parçanın üzerine Şekil 3.48’de verilen üst tabaka montajlanarak, 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tasarımı tamamlanmıştır (Şekil 3.51).

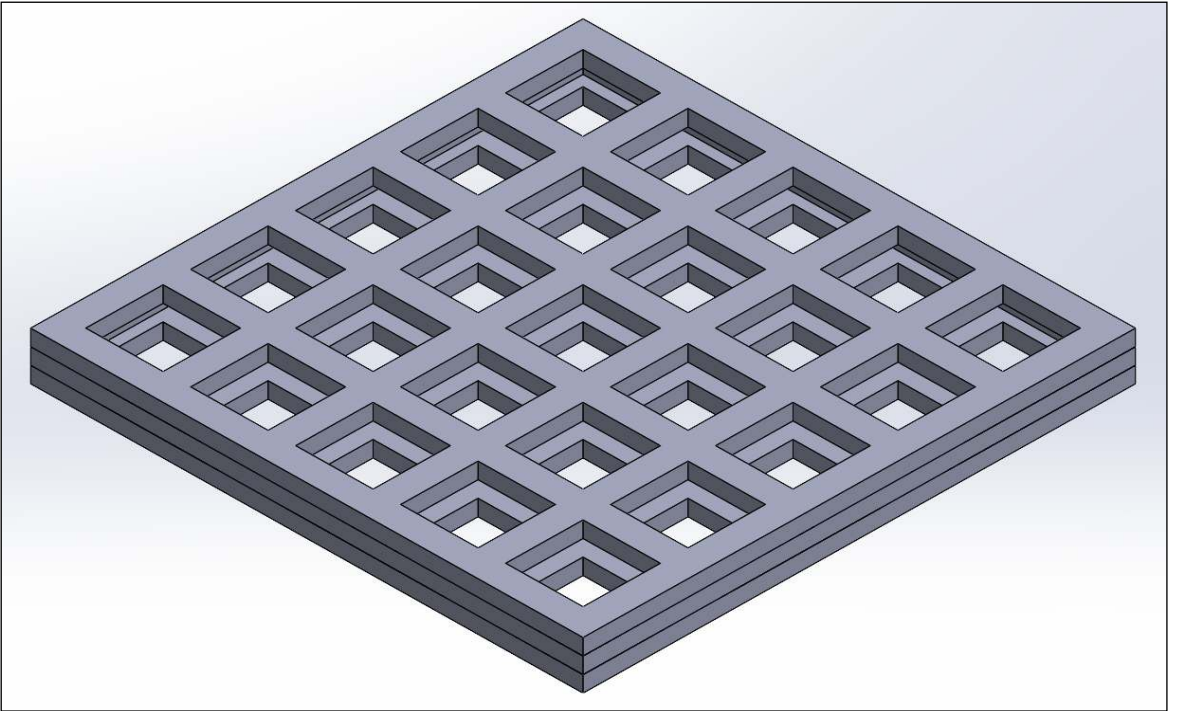


Şekil 3.50. Kompozit malzemenin çerçeve içerisine yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 3.51. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme

Çalışmada kompozit malzemenin dayanımını artırmak üzere tasarlanan 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, kompozit malzeme olmadan Şekil 3.52’de verildiği gibidir.



Şekil 3.52. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve

3.4. Sonlu Eleman Analizi

Tasarımlar tamamlandıktan sonra, ANSYS Sonlu Eleman Analiz programı açılmış ve araç çubuğu (Toolbox) bölümünde mevcut olan Analiz Sistemi (Analysis System) kısmından “LS-DYNA” modülü seçilerek, tasarlanan kompozit malzemeler teker teker Aktarma (Import) komutu kullanılarak ANSYS sonlu elemanlar analiz programına aktarılmıştır. Çerçeve sistemi için Protection 500 zırh çeliğine (Tablo 3.2) ait mekanik özellikler, kompozit malzeme için dokuma e-cam fiber kumaş/Epoksi (Tablo 3.3) malzemesine ait mekanik özellikler ve vurucu için ise Steel 4340 (Tablo 3.4) malzemesine ait mekanik özellikler programdaki Mühendislik Verisi (Engineering Data) bölümüne tanımlanmıştır.

Bu tanımlama yapıldıktan sonra, analiz ağacında mevcut olan Geometri (Geometry) kısmındaki Malzeme Atama (Material Assignment) bölümünden numunelere malzeme atama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2. Protection 500 zırh çeliği malzemesinin mekanik özellikleri

Density	7850 kg m ⁻³
Tensile Yield Strength	1,25E+9 Pa
Tensile Ultimate Strength	1,6E+9 Pa
Isotropic Thermal Conductivity	47 W m ⁻¹ C ⁻¹
Specific Heat	450 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Young's Modulus	2,01E+11 Pa
Poisson's Ratio	0,33
Bulk Modulus	1,9706E+11 Pa
Shear Modulus	7,5564E+10 Pa
Strain Rate Correction	First Order
Initial Yield Stress	1,3725E+9 Pa
Hardening Constant	8,3502E+8 Pa
Hardening Exponent	0,2467
Strain Rate Constant	0,0617
Thermal Softening Exponent	0,84
Melting Temperature	1526,9 C
Reference Strain Rate (/sec)	1
Damage Constant D1	0,04286
Damage Constant D2	2,1521
Damage Constant D3	-2,7575
Damage Constant D4	-0,0066
Damage Constant D5	0,86

Tablo 3.3. Dokuma e-cam fiber kumaş/epoksi kompozit malzemesinin mekanik özellikleri

Density	1850 kg m ⁻³
Young's Modulus X Direction	3,5E+10 Pa
Young's Modulus Y Direction	9E+9 Pa
Young's Modulus Z Direction	9E+9 Pa
Poisson's Ratio XY	0,28
Poisson's Ratio YZ	0,4
Poisson's Ratio XZ	0,28
Shear Modulus XY	4,7E+9 Pa
Shear Modulus YZ	3,5 E+9 Pa
Shear Modulus XZ	4,7E+9 Pa
Tensile X Direction	7,8E+8 Pa
Tensile Y Direction	3,1E+7 Pa
Tensile Z Direction	3,1E+7 Pa
Compressive X Direction	-4,8E+8 Pa
Compressive Y Direction	-1E+8 Pa
Compressive Z Direction	-1E+8 Pa
Shear XY	6E+7 Pa
Shear YZ	3,5E+7 Pa
Shear XZ	6E+7 Pa
Coupling Coefficient XY	-1
Coupling Coefficient YZ	-1
Coupling Coefficient XZ	-1
Material Classification	Glass
Compressive Inclination XZ	0,25
Compressive Inclination YZ	0,2
Tensile Inclination YZ	0,3
Tensile Inclination YZ	0,2
Interface Weakening Factor	0,8
Degradation Parameter s	0,5
Degradation Parameter M	0,5
Ply Type	Woven

Tablo 3.4. Vurucu malzemesinin mekanik özellikleri

Density	7830 kg m ⁻³
Tensile Yield Strength	4,7E+8 Pa
Tensile Ultimate Strength	7,45E+8 Pa
Isotropic Thermal Conductivity	44,5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Specific Heat	477 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Young's Modulus	2,0948E+11 Pa
Poisson's Ratio	0,28042
Bulk Modulus	1,59E+11 Pa
Shear Modulus	8,18E+10 Pa
Strain Rate Correction	First Order
Initial Yield Stress	7,92E+8 Pa
Hardening Constant	5,1E+8 Pa
Hardening Exponent	0,26
Strain Rate Constant	0,014
Thermal Softening Exponent	1,03
Melting Temperature	1519,9 C
Reference Strain Rate (/sec)	1

Malzeme atama işlemi tamamlandıktan sonra, numune şekilleri ve boyutsal özellikleri referans alınarak ağ yaratma işlemi ağ yapma (Mesh) komutu ile gerçekleştirilmiştir. Vurucu cisim için üçgen piramid ağ yapma yöntemi, çerçeve ve kompozit malzeme için ise otomatik ağ yapma yöntemi kullanılmıştır. Bu işlem gerçekleştirilir iken, ağ özellikleri kısmının altında yer alan eleman boyutu değerine farklı değerler atanarak uygun eleman boyutu değeri ön analiz sonuçlarına göre bulunmuştur. İdeal eleman sayısı bulunur iken, ağ yapısı özellikleri kısmı altında bulunan kalite bölümündeki metrik ağ (Mesh Metric) kriterlerine ait değerler de ağ kalitesinin uygunluğunu ölçmek için dikkate alınmıştır.

3.5. Sınır-Temas Koşulları ve Problem Çözümü

Mesh operasyonunun ardından, başlangıç ve sınır koşulları kriterleri tanımlanmıştır. Sınır koşulları, malzemenin köşe kenarlarından sabit destek (Fixed Support) komutu ile sabitlenmesi şeklinde, başlangıç koşulu ise vurucuya düşük hızlı çarpma analizinde 10 J' e karşılık gelecek hız değeri atanması şeklinde tanımlanmıştır. Başlangıç koşul girdisi yapılırken vurucuya tanımlanan hız değeri denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_k(t) = \frac{mV_i^2}{2} \quad (3.1)$$

$E_k(t)$ = Kinetik Enerji (J)

m = Vurucu Kütlesi (Kg)

V_i = Vurucu Hızı (m/s)

Başlangıç ve sınır koşulları ile ilgili girdiler tamamlandıktan sonra analiz ağacında bulunan “Analysis Settings” bölümünden analiz süresi değeri girilmiştir. Son olarak, görmek istenilen sonuç verileri “Solution” bölümünden seçilerek analiz başlatılmıştır. Analizlerden elde edilen kinetik enerji, total deformasyon ve Von-Misses stres sonuçları dikkate alınarak yorumların daha net anlaşılır olması için gerekli grafikler hazırlanmıştır. Grafiklerden elde edilen veriler karşılaştırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Araştırmada ANSYS programında elde edilen analiz sonuçları referans alınarak, çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit numunelere 10 J etkisi altında düşük hızlı çarpma testleri uygulanması planlanmıştır.

4. ANALİZ SONUÇLARI VE DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Çalışmanın bu aşamasında, ANSYS sonlu eleman analiz sonuçlarından absorbe edilen kinetik enerji, deformasyon stres ve gerinim değerleri grafikler halinde verilerek değerlendirilmiştir.

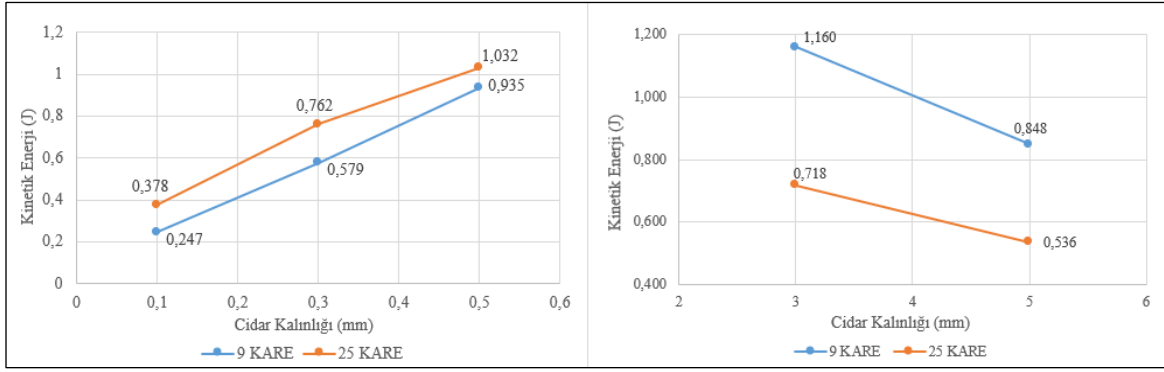
4.1.1. Absorbe edilen kinetik enerji değerleri

Sonlu eleman analizinin ilk aşamasında, tasarlanan ve analizi yapılan numunelerde kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçeve ve çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemeler tarafından absorbe edilen kinetik enerji değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Analizde elde edilen absorbe edilen kinetik değerlerinden faydalanılarak grafikler çizilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2).

Çerçeve tarafından absorbe edilen kinetik enerji miktarları (Şekil 4.1), 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,247 J, 0,935 J, 1,160 J ve 0,848 J olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,378 J, 1,032 J, 0,718 J ve 0,536 J’dür. Çerçeve tarafından absorbe edilen kinetik enerji miktarları, 9 kareli çerçevenin cidarı 0,1 mm kalınlıktan, 0,5 mm kalınlığa çıktığı zaman 2,7 kat; 25 kareli çerçeve için ise 3,8 kat artış olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4.1. Absorbe edilen kinetik enerji değerleri

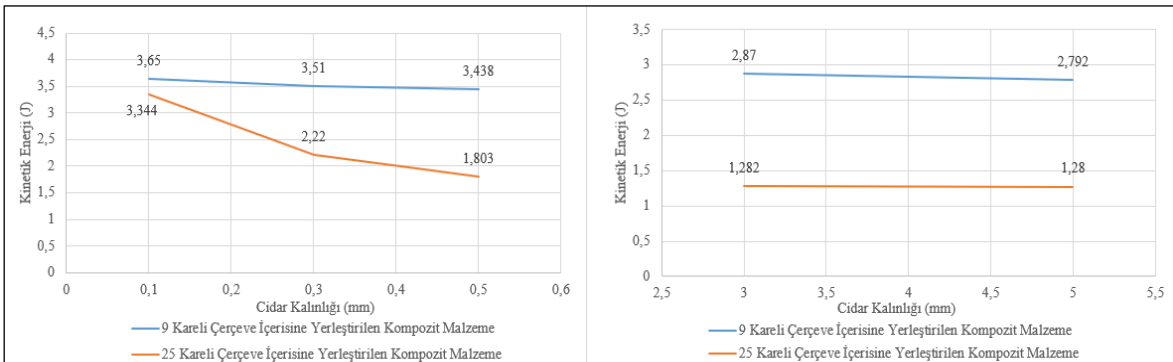
Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Çerçevede absorbe edilen kinetik enerji (J)	Çerçeve içindeki kompozit malzemede absorbe kinetik enerji (J)	Absorbe edilen toplam enerji (J)	Absorbe edilen kinetik enerji oranları (%)	
					Çerçeve	Kompozit
9	0,1	0,247	3,650	3,897	6,34	93,66
9	0,3	0,579	3,510	4,089	14,16	85,84
9	0,5	0,935	3,438	4,373	21,38	78,62
9	3,0	1,160	2,870	4,030	28,78	71,22
9	5,0	0,848	2,792	3,640	23,30	67,70
25	0,1	0,378	3,344	3,722	10,16	89,84
25	0,3	0,762	2,220	2,982	25,55	74,45
25	0,5	1,032	1,803	2,835	36,40	63,60
25	3,0	0,718	1,282	2,000	36,00	64,00
25	5,0	0,536	1,280	1,816	29,52	70,48



Şekil 4.1. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevenin absorbe ettiği kinetik enerji değerindeki değişim

Diğer taraftan, çerçeve tarafından absorbe edilen kinetik enerji miktarının 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 3 mm' den 5 mm' ye çıktığında 1,4 kat; 25 kareli çerçeve için 1,3 kat azaldığı görülmüştür.

Çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemelerde absorbe edilen kinetik enerji miktarları (Şekil 4.2), 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozitlerde cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 3,650 J, 3,438 J, 2,870 J ve 2,792 J olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozitlerde cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 3,344 J, 1,803 J, 1,282 J ve 1,280 J'dür. Bu değerler, çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemelerde absorbe edilen kinetik enerji miktarında, 9 kareli çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemeler için cidar kalınlığı 0,1 mm' den 5 mm' ye çıktığında 1,3 kat; 25 kareli çerçeve içerisine yerleştirilmiş kompozit malzemeler için ise 2,6 kat azalış olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçeve içerisindeki kompozit malzeme tarafından absorbe edilen kinetik enerjideki değişim

Elde edilen sonuçlara göre, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin absorbe ettiği kinetik enerji değeri 1,5 kat, 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevenin absorbe ettiği enerji değeri ise 1,1 kat artmaktadır. Fakat bu artışın tersine, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevelerin absorbe ettiği kinetik enerji değerinin 1,6 kat azaldığı anlaşılmıştır. Çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemeler için ise, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemenin absorbe ettiği kinetik enerji değeri 1,1 kat, 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemenin absorbe ettiği kinetik enerji değeri ise 1,9 kat azalmıştır. Kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisine yerleştirilmiş kompozit malzemelerin absorbe ettiği kinetik enerji değerinin 2,2 kat arttığı anlaşılmıştır.

Çerçeve destekli kompozit malzemelerde çerçeve ile çerçeve içerisinde bulunan kompozit malzemedeki absorbe edilen toplam kinetik enerji değerleri 9 kareli ve çerçeve destekli kompozitler için cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 3,897 J, 4,373 J, 4,030 J ve 3,640 J olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli ve çerçeve destekli kompozitler için cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 3,722 J, 2,835 J, 2,000 J ve 1,816 J'dür. Çerçeve destekli kompozit malzemelerde çerçeve ile çerçeve içerisinde bulunan kompozit malzemedeki absorbe edilen toplam kinetik enerji değeri kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman 3 mm ve 5 mm cidar kalınlıkları için 2,0 kat azaldığı görülmüştür.

Analiz sonuçlarına göre, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 3 mm'nin üzerine çıktığında, 25 kareli çerçevede ise cidar kalınlığı 0,5 mm'nin üzerine çıktığında çerçeve sisteminin absorbe ettiği kinetik enerji değerlerinin azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Çerçevede absorbe edilen en yüksek kinetik enerji değeri 9 kare 3 mm cidar kalınlığına sahip numune için 1,160 J, çerçeve içerisindeki kompozit malzemedeki absorbe edilen en yüksek kinetik enerji değeri ise 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip numune için 3,650 J olarak belirlenmiştir. Ancak çerçeve tarafından absorbe edilen toplam kinetik enerji oranları değerleri incelendiğinde, 25 kareli 0,3 mm ve 3 mm cidar kalınlıklarına sahip numunelerde elde edilmiş olduğu gözlemlenmiş olup, bu değer % 36 olduğu görülmüştür.

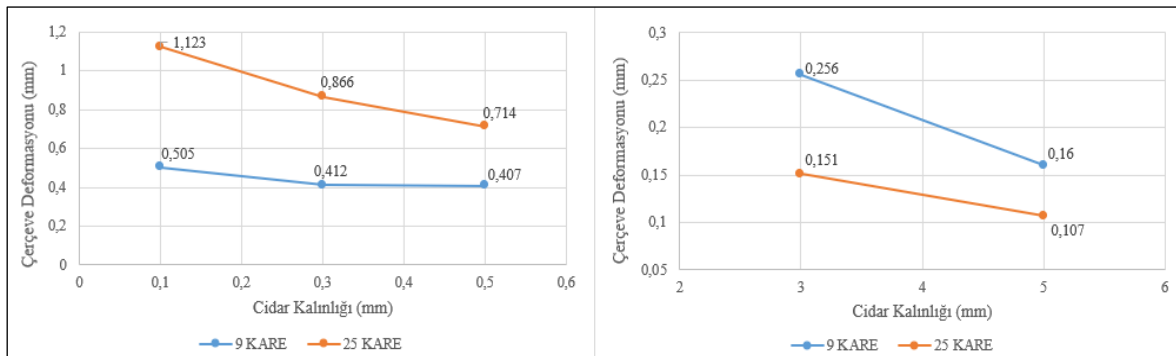
4.1.2. Çerçevelerde meydana gelen deformasyon değerleri

Sonlu eleman analizinin bu aşamasında, tasarlanan ve analizi yapılan numunelerde kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçevede meydana gelen deformasyon değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Analizde elde edilen deformasyon değerlerinden faydalanılarak Şekil 4.3’te verilen grafik oluşturulmuştur.

Çerçevede meydana gelen deformasyon değerlerinin, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,505, 0,407, 0,256 ve 0,160 mm olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 1,123 mm, 0,714 mm, 0,151 ve 0,107 mm’dir. Şekil 4.3’ ün incelenmesinden de görülebileceği gibi, çerçevede oluşan deformasyon 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 0,1 mm’ den 5 mm’ye yükseltildiğinde 3,2 kat; 25 kareli çerçeve için ise 10,5 kat azalmaktadır. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevedeki deformasyon 2,2 kat; 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve için ise 1,8 kat arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.2.Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevelerde meydana gelen deformasyon değerleri

Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Çerçevede oluşan deformasyon (mm)
9	0,1	0,505
9	0,3	0,412
9	0,5	0,407
9	3,0	0,256
9	5,0	0,160
25	0,1	1,123
25	0,3	0,866
25	0,5	0,714
25	3,0	0,151
25	5,0	0,107

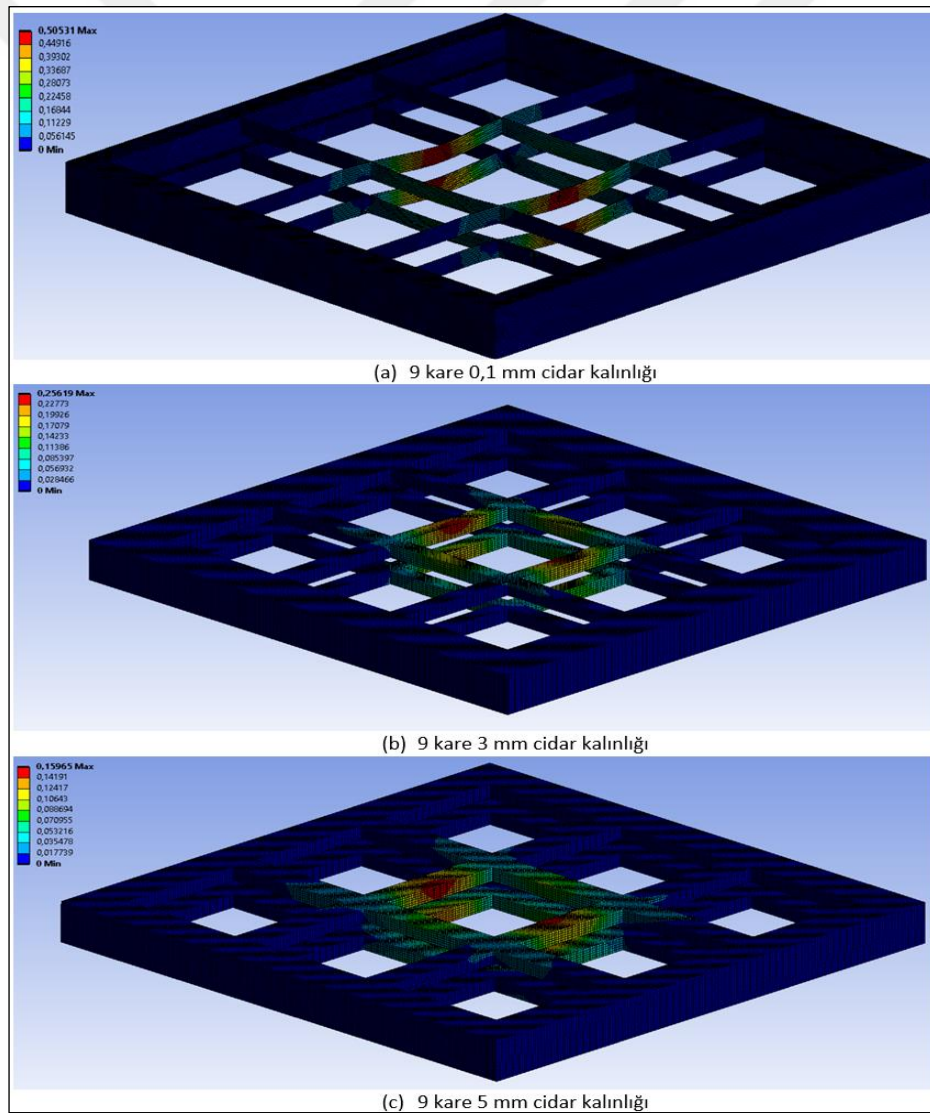


Şekil 4.3. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçeve deformasyonundaki değişim

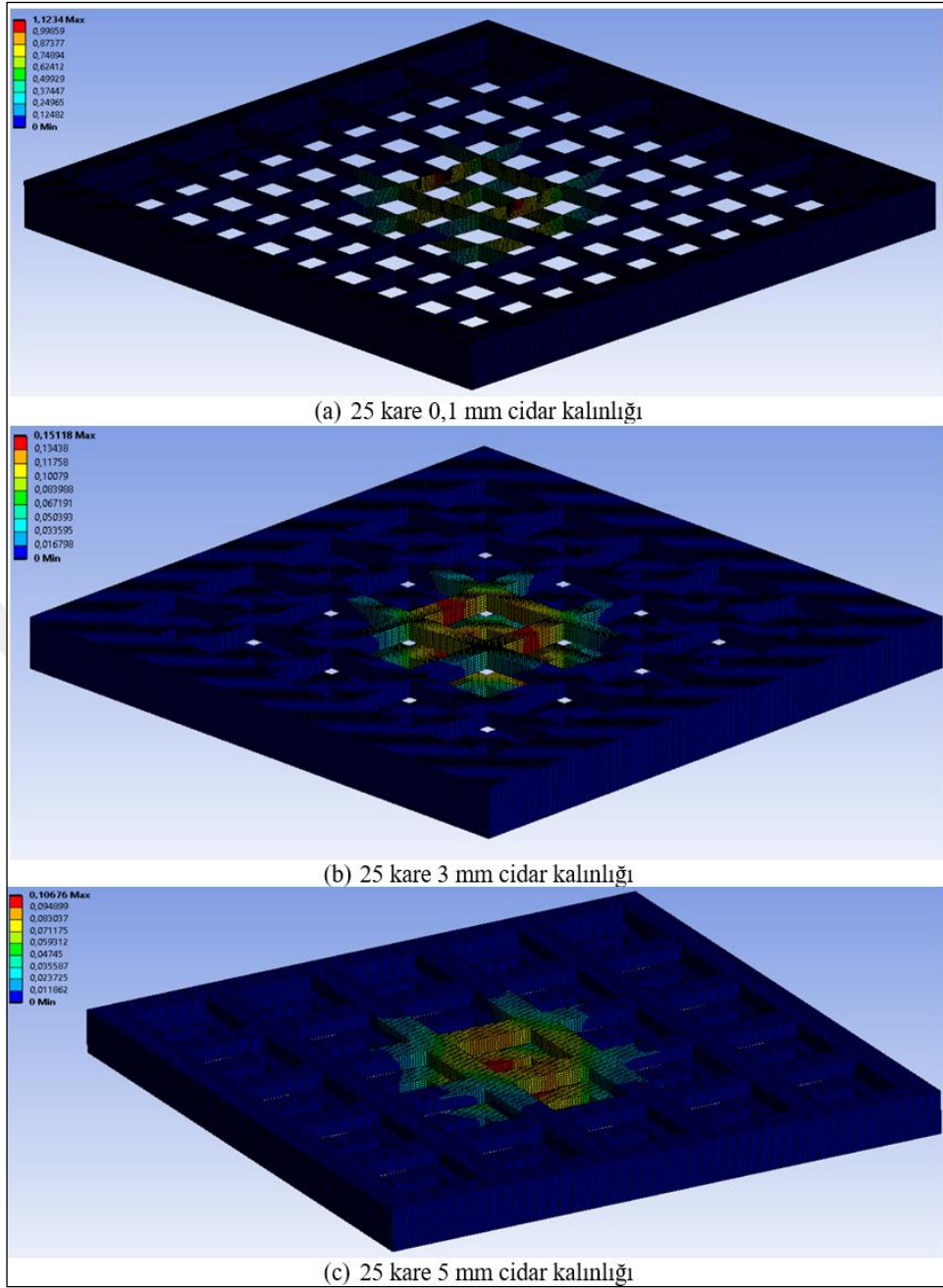
Elde edilen sonuçlara göre bu artışın tersine, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede oluşan deformasyon değerinin 1,7 kat azaldığı anlaşılmış olup, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede oluşan deformasyon değerinin ise 1,5 kat azaldığı gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar, cidar kalınlığının artmasının, çerçeve deformasyonu azalttığını göstermektedir. Kare sayısına göre ise, kare sayısının artmasına bağlı olarak 3 mm cidar kalınlığına kadar deformasyonda bir artış olmasına rağmen, 3 mm’den itibaren kare sayısını ile çerçeve deformasyonu arasında ters bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

Çerçevede oluşan deformasyonu daha net görebilmek için ANSYS LS-DYNA analiz programından elde edilen ekran çıktıları 9 kareli çerçeve için Şekil 4.4’te, 25 kareli çerçeve için ise Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.4. ANSYS programında 9 kareli çerçevelerde oluşan deformasyonları gösteren ekran çıktıları



Şekil 4.5. ANSYS programında 25 kareli çerçevelerde oluşan deformasyonları gösteren ekran çıktıları

Her iki şeklin incelenmesinden de görülebileceği gibi, darbenin uygulandığı bölgeye yakın çerçeve cidarlarında deformasyonun daha fazla olduğu, darbe uygulanan bölgeden kenarlara doğru gidildikçe ise bu deformasyonun azalmaya başladığı gözlemlenmiş olup, deformasyonun en fazla 25 kareli 0.1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede, en az 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede olduğu belirlenmiştir.

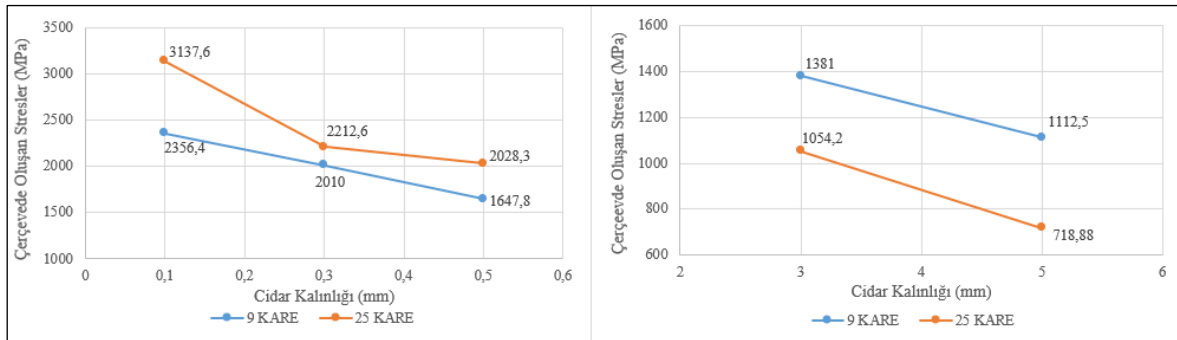
4.1.3. Çerçevelerde oluşan von-misses stres değerleri

Sonlu eleman analizinde, tasarlanan ve analizi yapılan numunelerde kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçevede oluşan Von-Misses stres değerleri Tablo 4.3'te verilmiş olup, analizde elde edilen Von-Misses stres değerlerinden faydalanılarak, Şekil 4.6'te verilen grafik oluşturulmuştur.

Vurucunun darbe etkisinden dolayı çerçevede oluşan Von-Misses stres değerlerinin, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 2356,40 Mpa,

Tablo 4.3. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede oluşan von-misses stres değerleri

Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Çerçevede oluşan von-misses stres değerleri (MPa)
9	0,1	2356,40
9	0,3	2010,00
9	0,5	1647,80
9	3,0	1381,00
9	5,0	1112,50
25	0,1	3137,60
25	0,3	2212,60
25	0,5	2028,30
25	3,0	1054,20
25	5,0	718,88



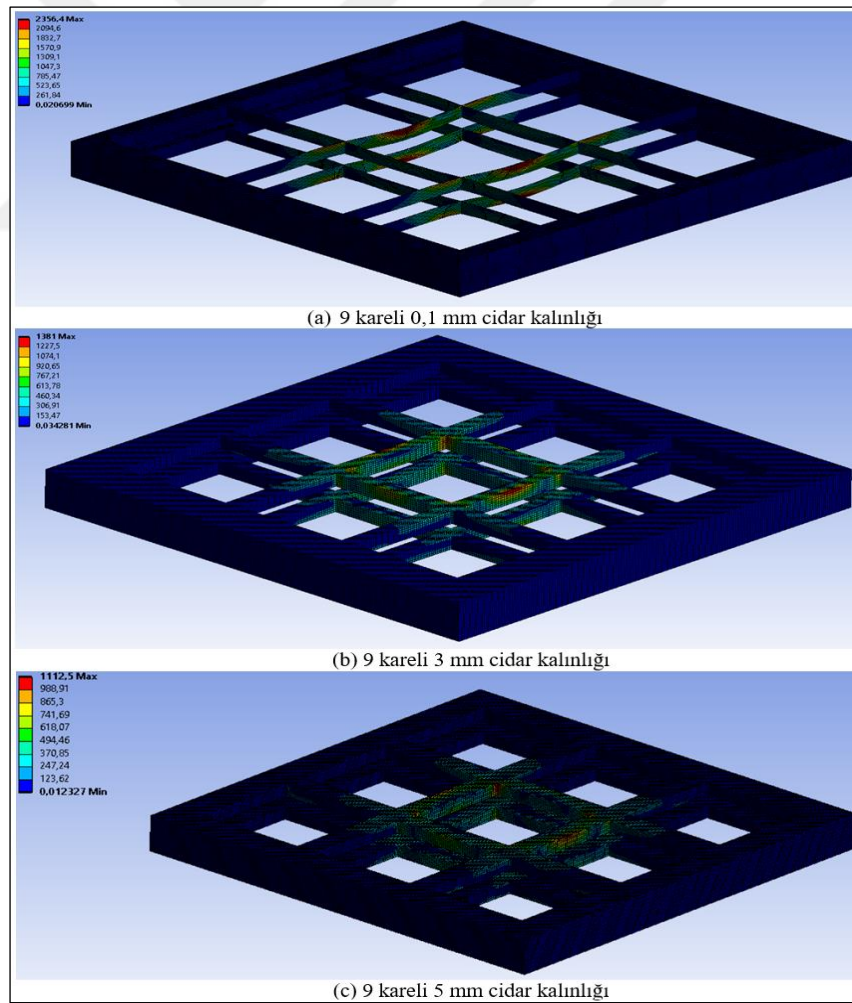
Şekil 4.6. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede oluşan von-misses stres değerlerindeki değişim

1647,80 MPa, 1381,00 MPa ve 1112,50 MPa olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 3137,60 MPa, 2028,30 MPa, 1054,20 MPa ve 718,88 MPa'dır. Şekil 4.6'nın incelenmesinden de görülebileceği gibi, çerçevede oluşan von-misses stres değerleri 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 0 ,1 mm' den 5 mm'ye yükseltildiğinde 2,1 kat; 25 kareli çerçeve için ise 4,4 kat azalmaktadır. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar

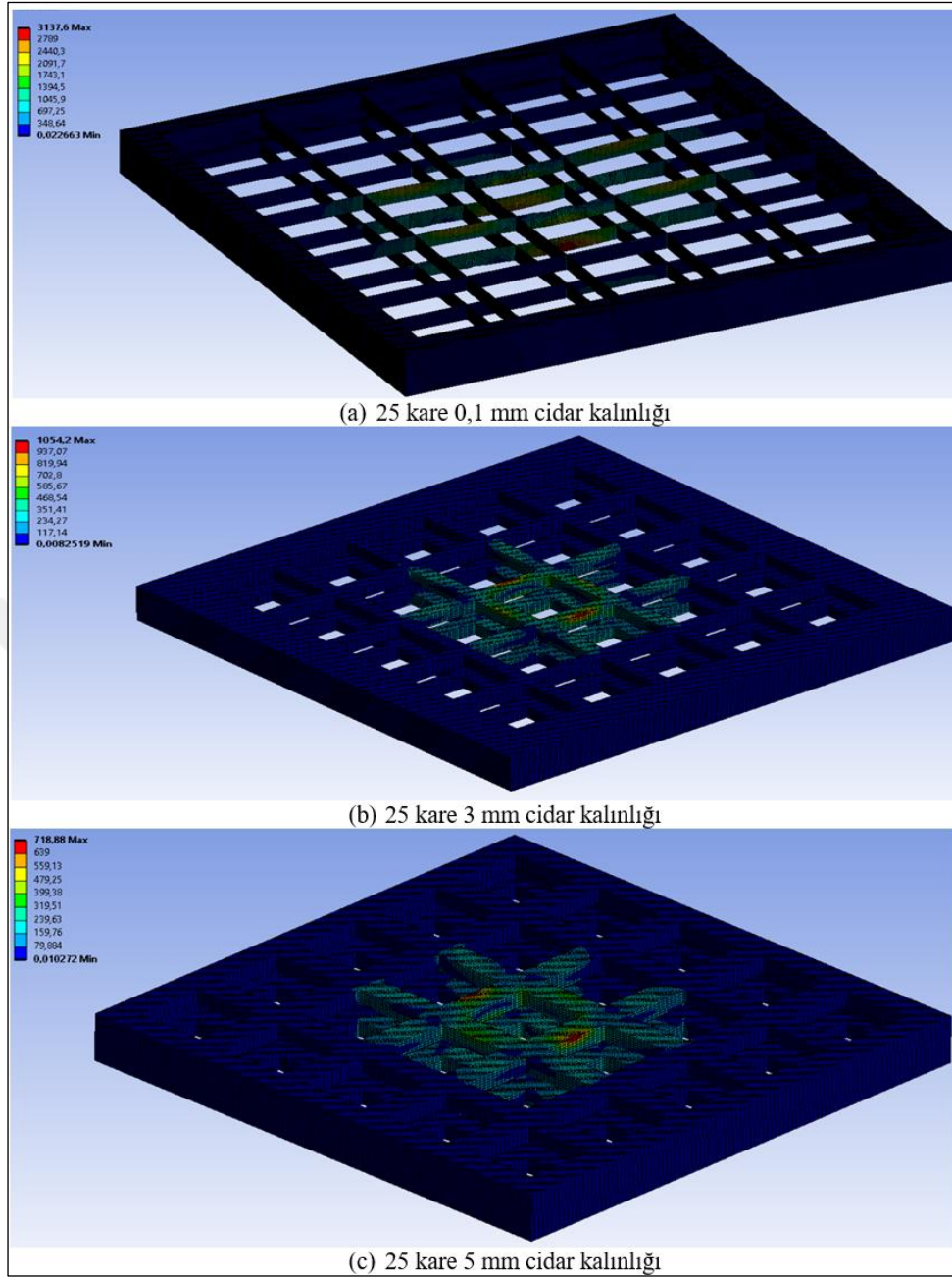
kalınlığına sahip çerçeveindeki von misses stres değeri 1,3 kat; 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve için ise 1,2 kat arttığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre bu artışı tersine, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve de oluşan von-misses stres değeri 1,3 kat azaldığı anlaşılmış olup, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve de oluşan von-misses stres değeri ise 1,5 kat azaldığı gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar, cidar kalınlığının artmasının, çerçeve de oluşan von-misses stres değeri azalttığını göstermektedir. Kare sayısına göre ise, kare sayısının artmasına bağlı olarak 3 mm cidar kalınlığına kadar von-misses stres değeri bir artış olmasına rağmen, 3 mm’den itibaren kare sayısını ile çerçeve de oluşan von-misses stres değeri arasında ters bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Çerçeve de oluşan von-misses stres dağılımını daha net görebilmek için ANSYS LS-DYNA analiz programından elde edilen ekran çıktıları 9 kareli çerçeve için şekil 4.7’de, 25 kareli çerçeve için ise şekil 4.8’de verilmiştir.



şekil 4.7. ANSYS programında 9 kareli çerçevelerde oluşan von-misses stress dağılımını gösteren ekran çıktıları



Şekil 4.8. ANSYS programında 25 kareli çerçevelerde oluşan von-misses stress dağılımını gösteren ekran çıktıları

Her iki şeklin incelenmesinden de görülebileceği gibi, darbenin uygulandığı bölgeye yakın çerçeve cidarlarında von-misses stres değerlerinin daha fazla olduğu, darbe uygulanan bölgeden kenarlara doğru gidildikçe ise bu değerlerin azalmaya başladığı gözlemlenmiş olup, von-misses stres değerlerinin en fazla 25 kareli 0.1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede, en az 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede olduğu belirlenmiştir.

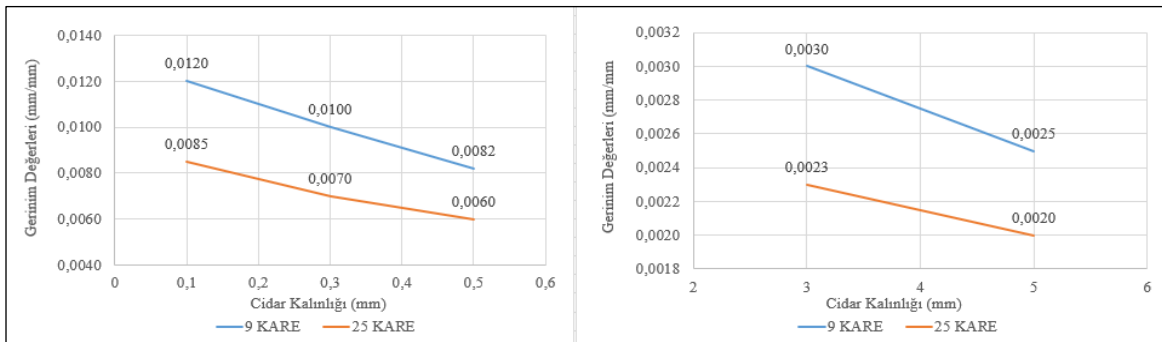
4.1.4. Çerçevelerde oluşan gerinim değerleri

Tasarlanan ve analizi yapılan numunelerde, kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçevelerde oluşan gerinim değerleri Tablo 4.4'te verilmiş olup, analizde elde edilen bu değerlerden faydalanılarak Şekil 4.9'da verilen grafik oluşturulmuştur.

Çerçeve oluşan gerinim değerlerinin, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,0120 mm/mm, 0,0082 mm/mm, 0,0030 mm/mm ve 0,0025 mm/mm olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,0085 mm/mm, 0,0060 mm/mm, 0,0023 mm/mm ve 0,0020 mm/mm'dir. Şekil 4.9' un incelenmesinden de görülebileceği gibi, çerçevede oluşan gerinim değerlerinin 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 0 ,1 mm' den 5 mm'ye yükseltildiğinde 4,8 kat; 25 kareli çerçeve için ise 4,3 kat azalmaktadır. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede meydana gelen gerinim 1,4 kat; 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve için ise 1,4 kat azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.4. Çerçevede oluşan gerinim değerleri

Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Çerçevede oluşan gerinim değerleri (mm/mm)
9	0,1	0,0120
9	0,3	0,0100
9	0,5	0,0082
9	3,0	0,0030
9	5,0	0,0025
25	0,1	0,0085
25	0,3	0,0070
25	0,5	0,0060
25	3,0	0,0023
25	5,0	0,0020



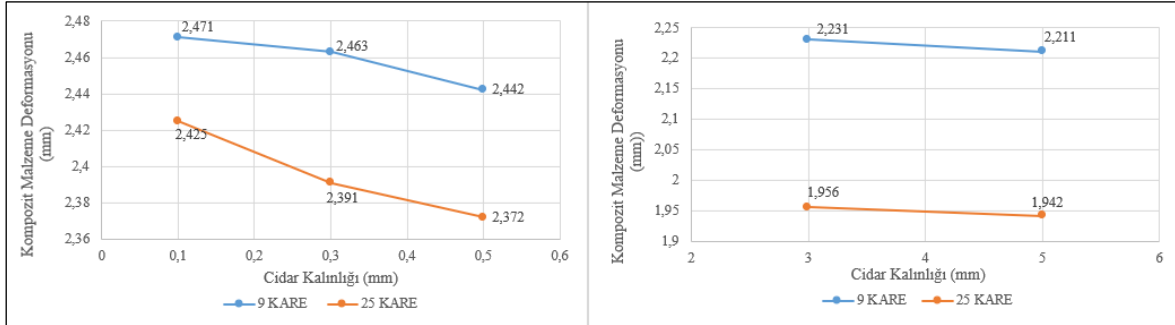
Şekil 4.9. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede oluşan gerinim değerlerindeki değişim

4.1.5. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemelerde oluşan deformasyon değerleri

Sonlu eleman analizinde, tasarlanan ve analizi yapılan numunelerde kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemede meydana gelen deformasyon değerleri Tablo 4.5'te verilmiş olup, analizde elde edilen bu deformasyon değerlerinden faydalanılarak Şekil 4.10'da verilen grafik oluşturulmuştur.

Tablo 4.5. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede içerisinde bulunan kompozit malzemede meydana gelen deformasyon değerleri

Sahip olduğu çerçeveye ait kare sayısı (Adet)	Sahip olduğu çerçeveye ait cidar kalınlığı (mm)	Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemede oluşan deformasyon (mm)
9	0,1	2,471
9	0,3	2,463
9	0,5	2,442
9	3,0	2,231
9	5,0	2,211
25	0,1	2,245
25	0,3	2,391
25	0,5	2,372
25	3,0	1,956
25	5,0	1,942



Şekil 4.10. Kare sayısı ve cidar kalınlığına göre çerçevede içerisinde bulunan kompozit malzemede oluşan deformasyonlardaki değişim

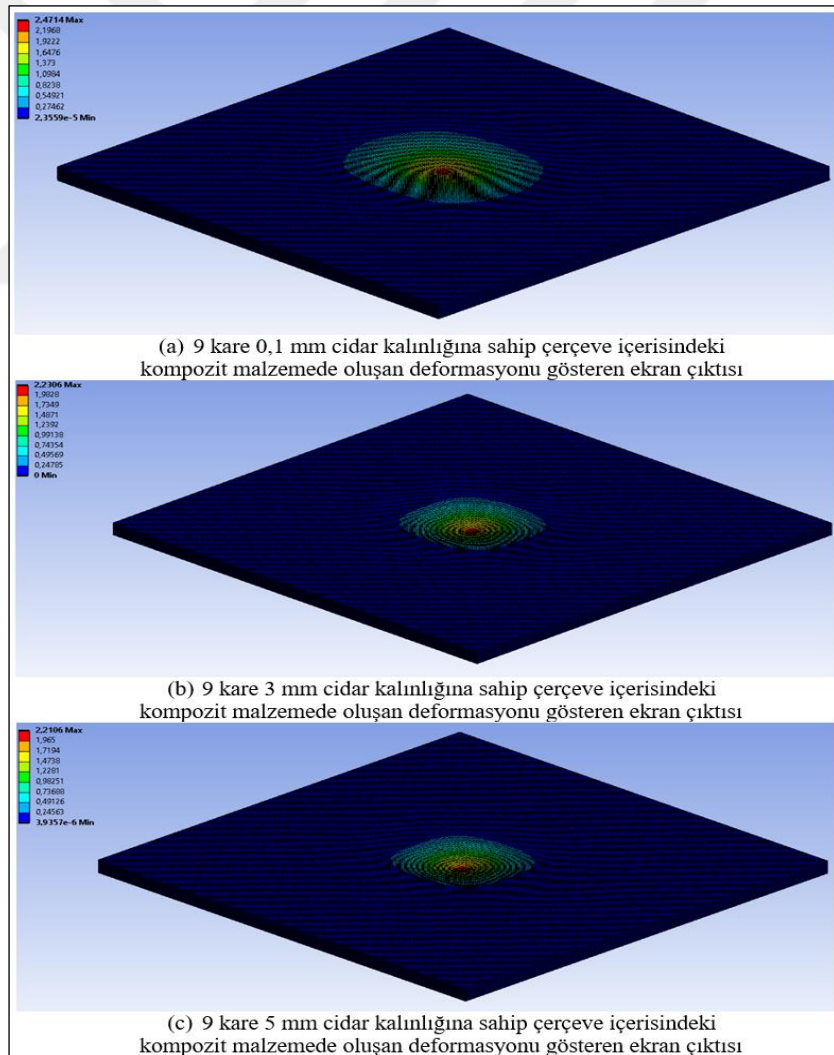
Çerçeve içerisine yerleştirilmiş kompozit malzemelerde oluşan deformasyon değerlerinin, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 2,471 mm, 2,442 mm, 2,231 mm ve 2,211 mm olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 2,245 mm, 2,391 mm, 1,956 mm ve 1,942 mm'dir. Şekil 4.8'in incelenmesinden de görülebileceği gibi, çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyon değerleri 9 kareli çerçeve

için cidar kalınlığı 0,1 mm' den 5 mm'ye yükseltildiğinde 1,1 kat; 25 kareli çerçeve için ise 1,2 kat azalmaktadır. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 ve 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyon değerlerindeki değişimin fazla olmadığı belirlenmiştir.

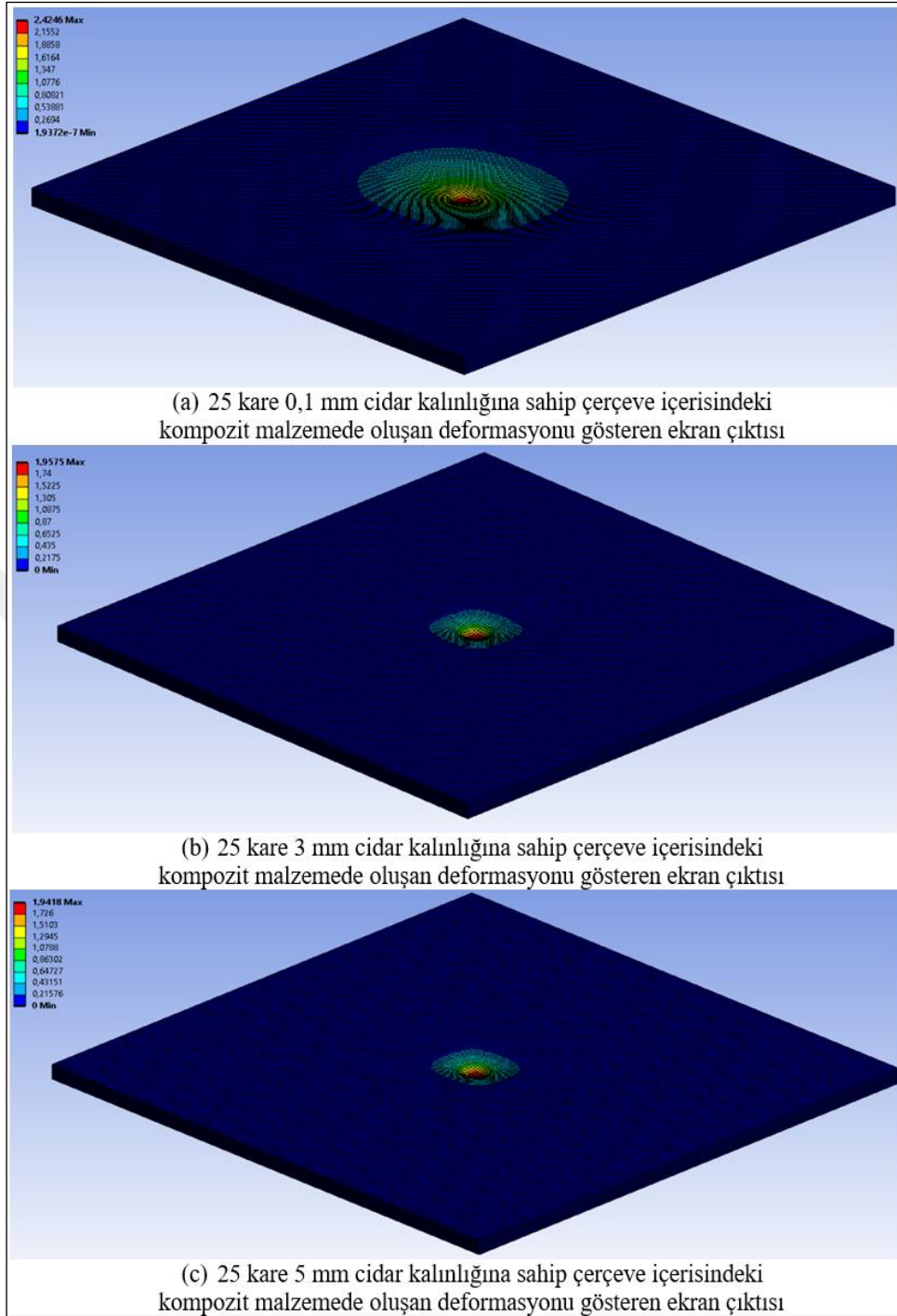
Elde edilen sonuçlara göre, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyon değerleri 1,1 kat azaldığı anlaşılmıştır.

Bu sonuçlar, cidar kalınlığının ve kare sayısının artmasının, çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyon değerlerini azalttığını göstermektedir.

Çerçevede içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyonların daha net görebilmek için ANSYS LS-DYNA analiz programından elde edilen ekran çıktıları 9 kareli çerçeve için Şekil 4.11'de, 25 kareli çerçeve için ise Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



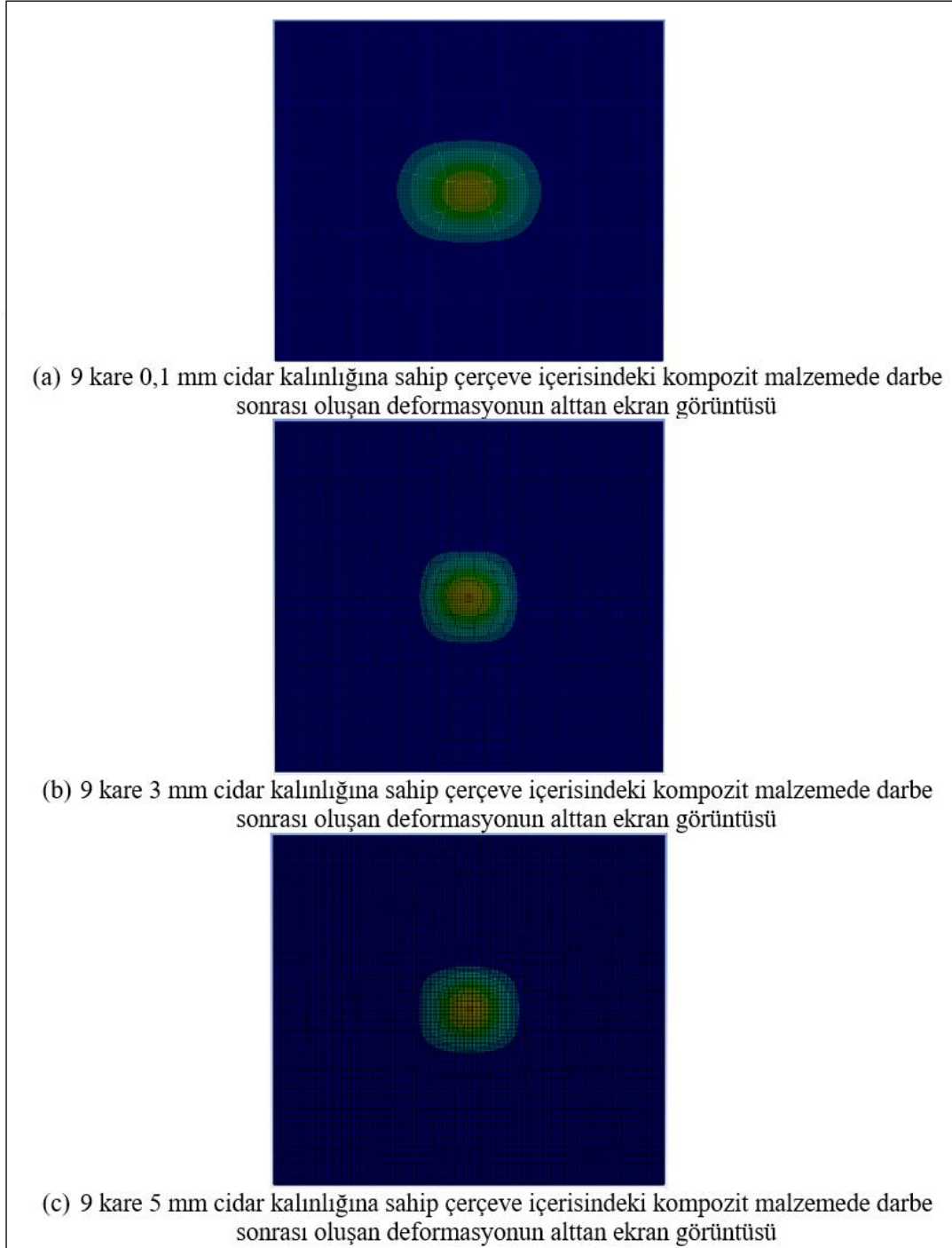
Şekil 4.11. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyonu görüntüleyen ekran çıktıları



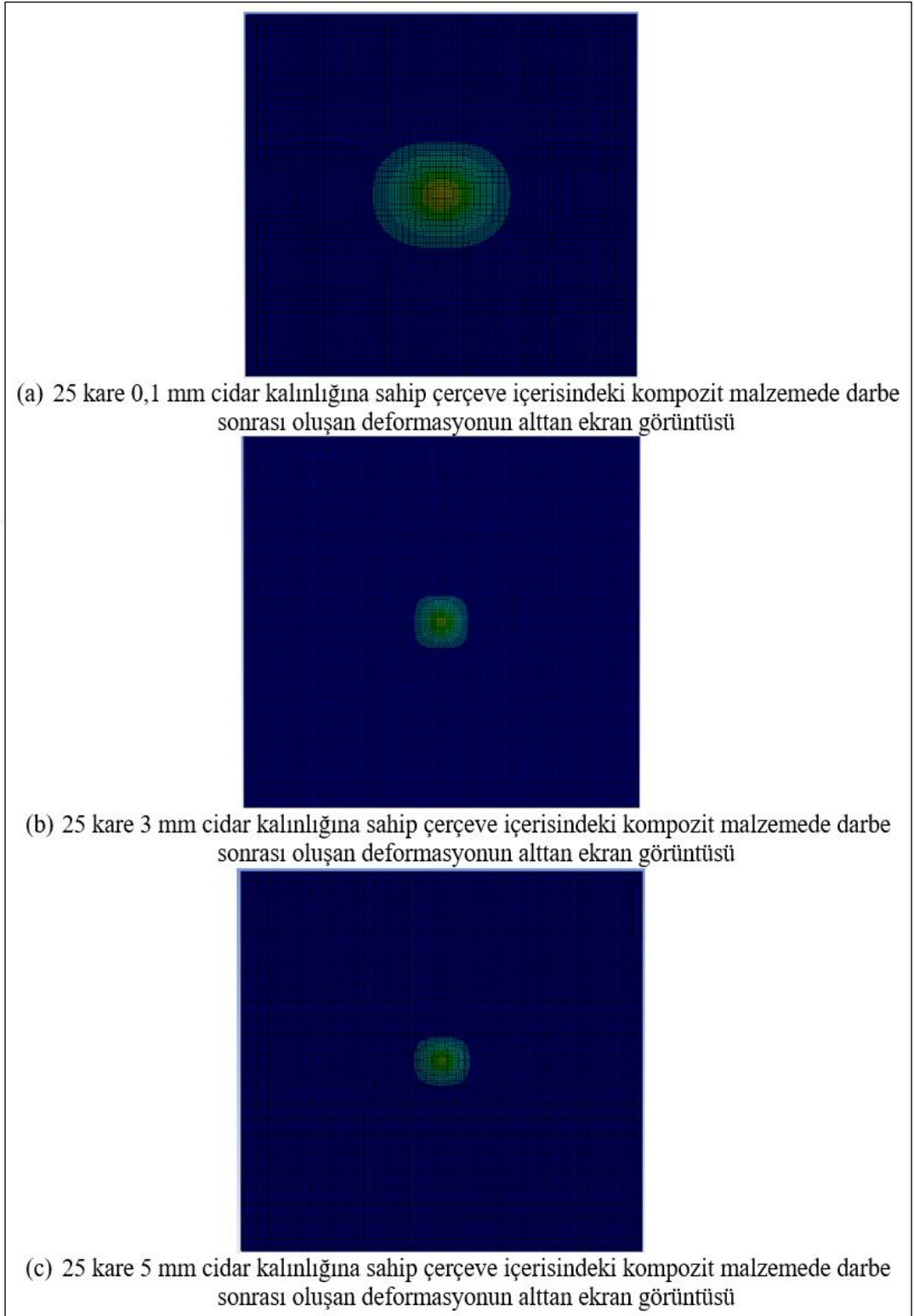
Şekil 4.12. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan deformasyonu gösteren ekran çıktıları

Her iki şeklin incelenmesinden de görülebileceği gibi, darbenin uygulandığı bölgeye yakın bölgede deformasyonun daha fazla olduğu, darbe uygulanan bölgeden kenarlara doğru gidildikçe ise bu deformasyonun azalmaya başladığı gözlemlenmiş olup, deformasyonun en fazla 25 kareli 0.1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede, en az 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede olduğu belirlenmiştir.

Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede 10 J değerindeki darbe etkisi altında herhangi bir delinme olmadığı görülmüş olup, analiz sonuçlarından elde edilen ekran çıktıları 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemesi için Şekil 4.13'te 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemesi için ise Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan deformasyonun alttan görüntülerine ilişkin ekran çıktıları



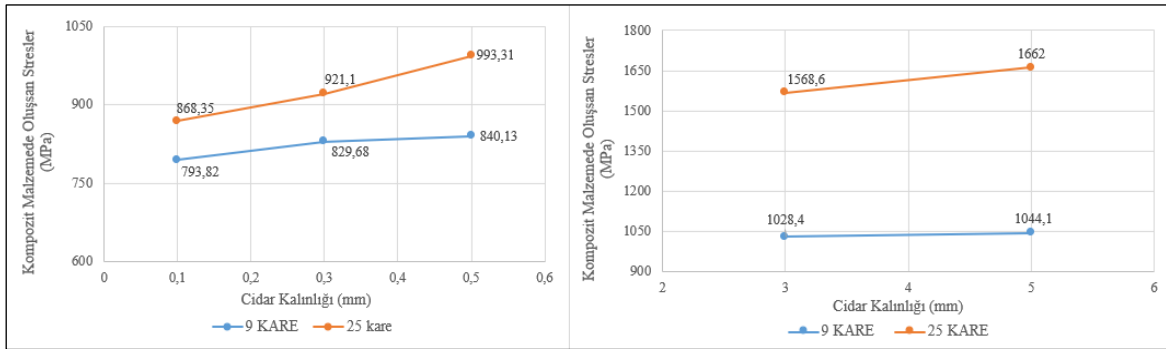
Şekil 4.14. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan deformasyonun alttan görüntülerine ilişkin ekran çıktıları

4.1.6. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemelerde oluşan von-misses stres değerleri

Tasarlanan ve analizi yapılan numunelerde, kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemede oluşan von-misses stres değerleri Tablo 4.6'da verilmiş olup, analizde elde edilen bu değerlerden faydalanılarak Şekil 4.15'de verilen grafik oluşturulmuştur. Çerçeve içerisine yerleştirilmiş kompozit malzemelerde oluşan von-misses stres değerlerinin, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 793,82 MPa, 840,13 MPa, 1028,4 ve 1044,10 MPa olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 868,35 MPa, 993,31 MPa, 1568,60 MPa ve 1662,00 MPa'dır.

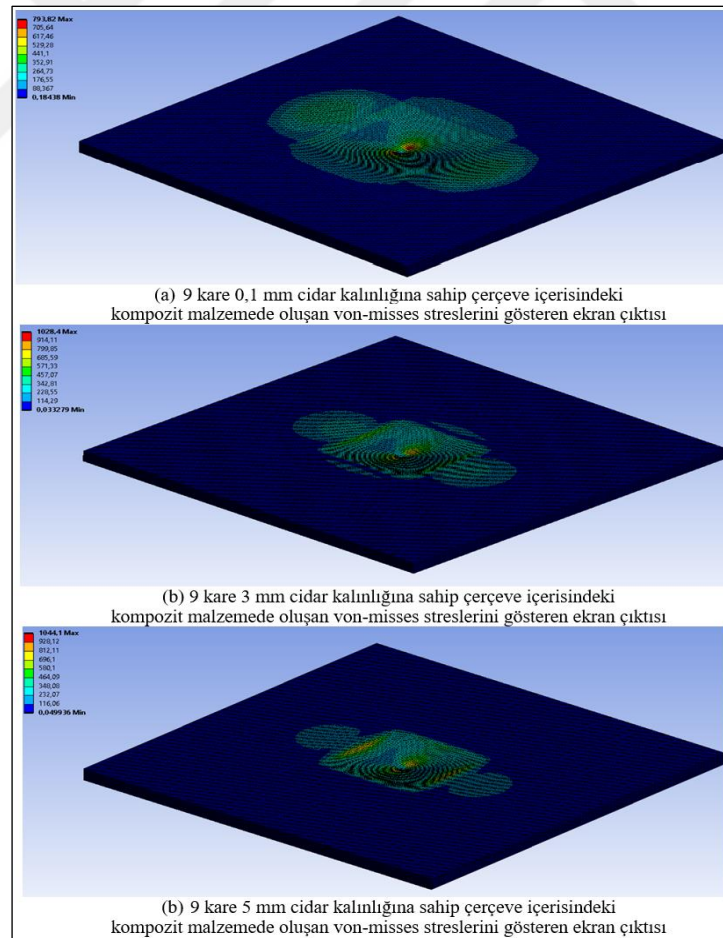
Tablo 4.6. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stress değerleri

Sahip olduğu çerçeveye ait kare sayısı (Adet)	Sahip olduğu çerçeveye ait cidar kalınlığı (mm)	Çerçeve içerisindeki kompozitlerde oluşan von-misses stres değerleri (MPa)
9	0,1	793,82
9	0,3	829,68
9	0,5	840,13
9	3,0	1028,40
9	5,0	1044,10
25	0,1	868,35
25	0,3	921,10
25	0,5	993,31
25	3,0	1568,60
25	5,0	1662,00

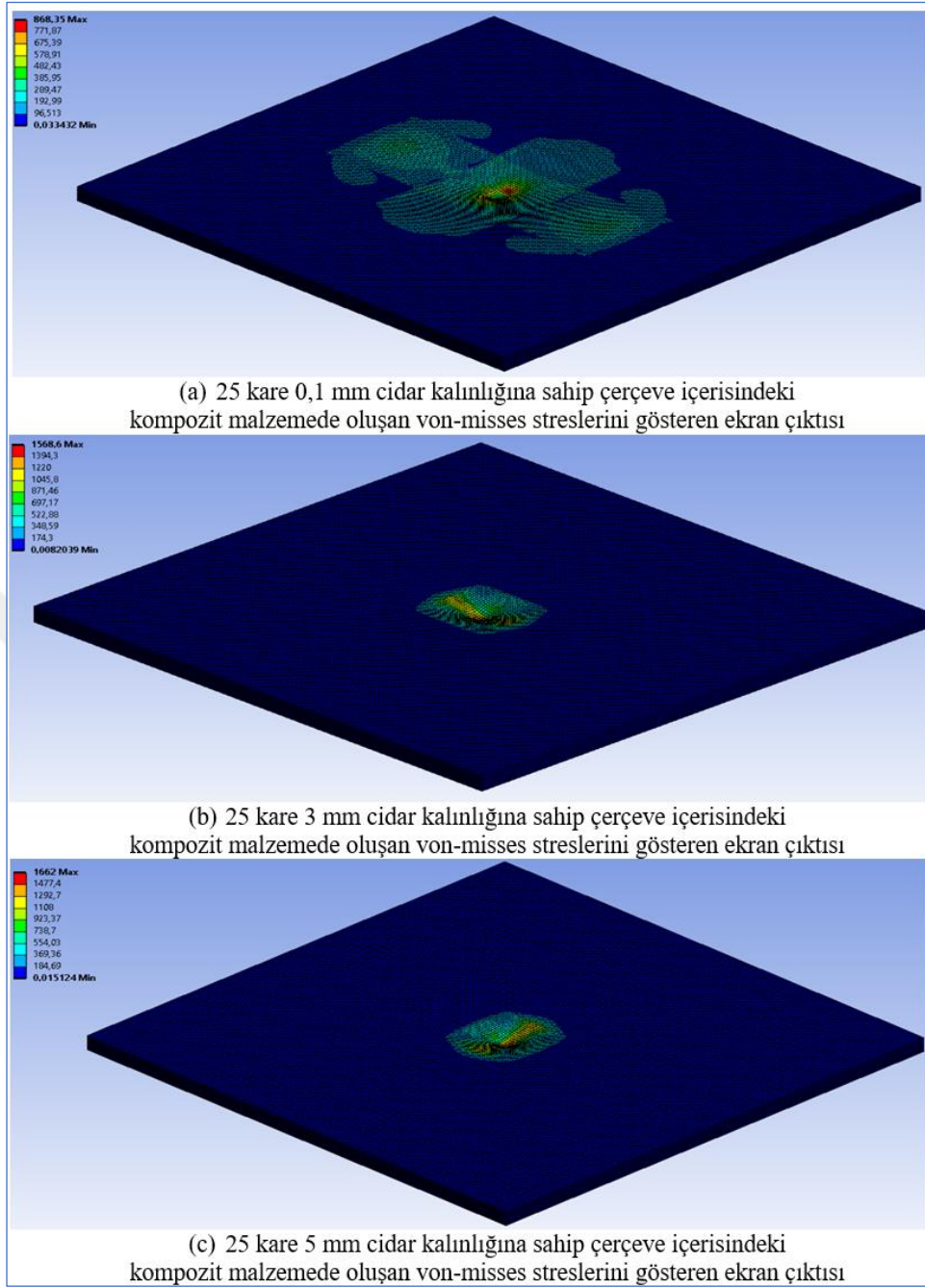


Şekil 4.15. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres değerlerindeki değişim

Şekil 4.15'in incelenmesinden de görülebileceği gibi, çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von misses stres değerleri 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 0,1 mm' den 5 mm'ye yükseltildiğinde 1,3 kat; 25 kareli çerçeve için ise 1,9 kat artmaktadır. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres değeri 1,1 kat; 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres değeri ise 1,2 kat artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses değerlerinin sırasıyla 1,5 ve 1,6 kat arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, cidar kalınlığının ve kare sayısının artmasının, çerçeve içerisindeki kompozit malzeme üzerinde oluşan von-misses stres değerlerini arttırdığını göstermektedir. Çerçevde içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres durumunu daha net görebilmek için ANSYS LS-DYNA analiz programından elde edilen ekran çıktıları 9 kareli çerçeve için Şekil 4.16'da 25 kareli çerçeve için ise Şekil 4.17'de verilmiştir.



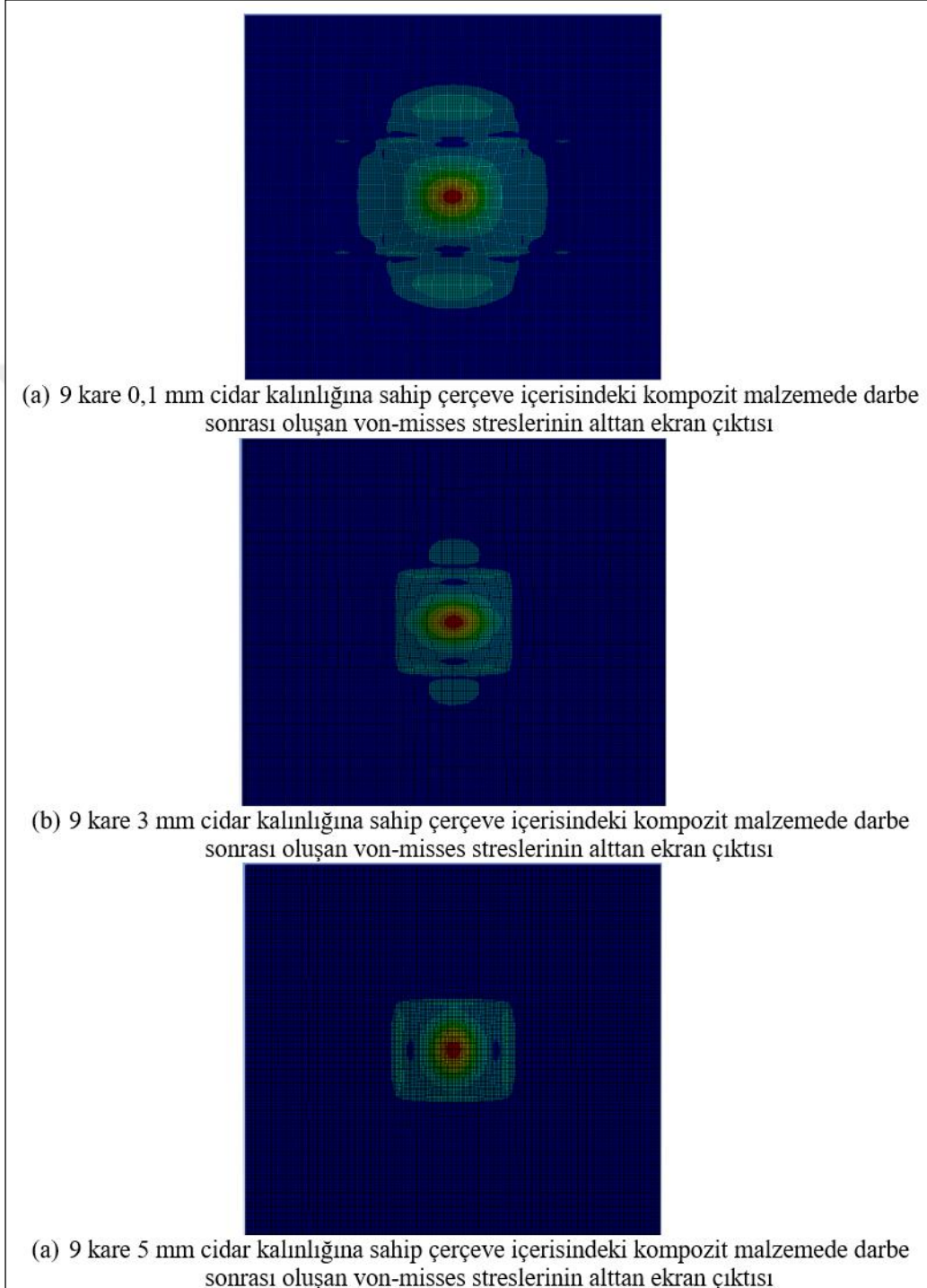
Şekil 4.16. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres dağılımını gösteren ekran çıktıları



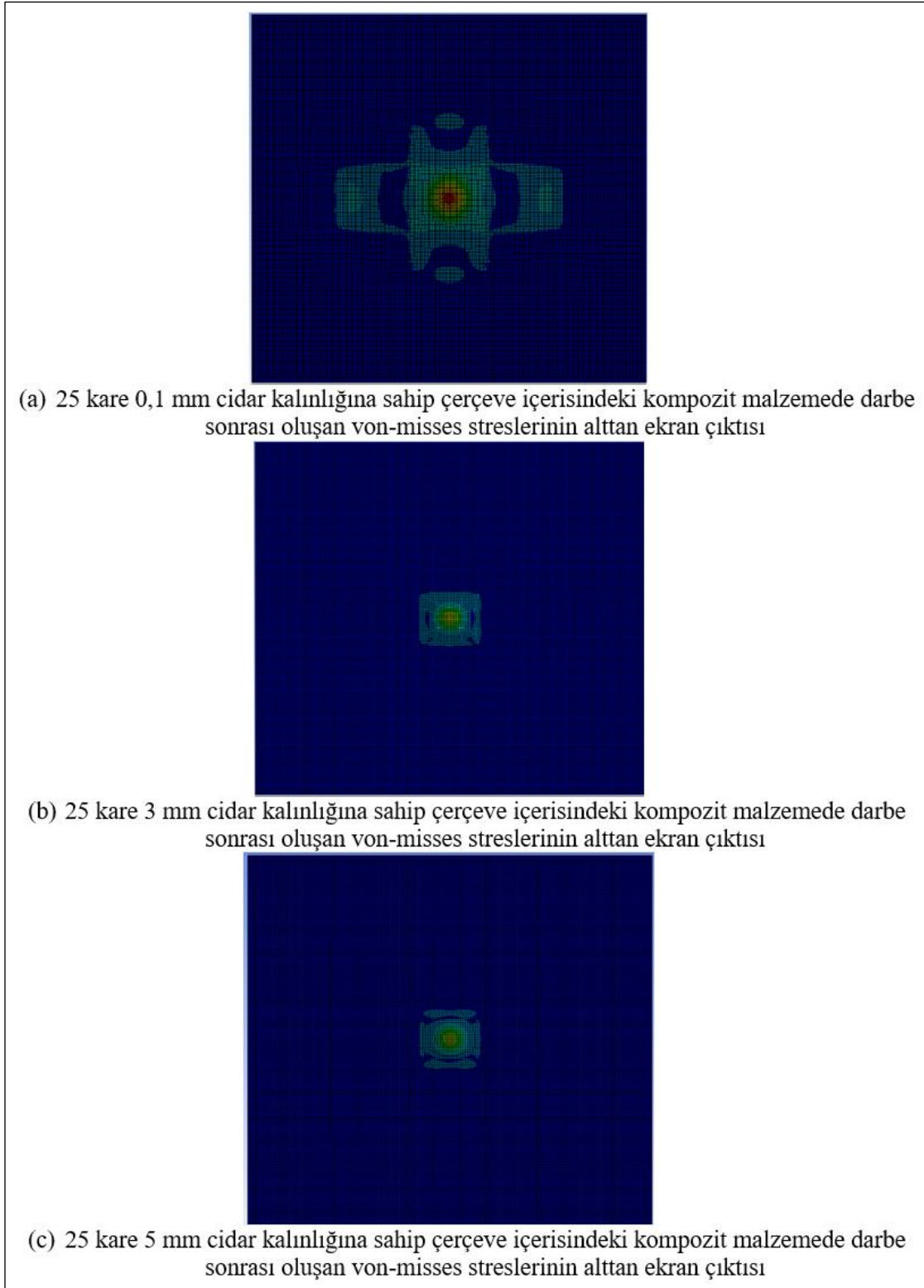
Şekil 4.17. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan von-misses stres dağılımını gösteren ekran çıktıları

Her iki şeklin incelenmesinden de görülebileceği gibi, darbenin uygulandığı yere yakın bölgede von-misses streslerin daha fazla olduğu, darbe uygulanan bölgeden kenarlara doğru gidildikçe ise bu streslerin azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Streslerin en az 9 kareli 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede, en fazla ise 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve içerisindeki kompozit malzemede olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'un incelenmesinden de görülebileceği gibi, analizde 10 J'lük darbe etkisi altında oluşan von-misses stres değerleri, kompozit malzemenin altında, vurucunun çarptığı bölgede daha yoğundur.



Şekil 4.18. 9 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan von-misses stres dağılımının alttan ekran çıktıları



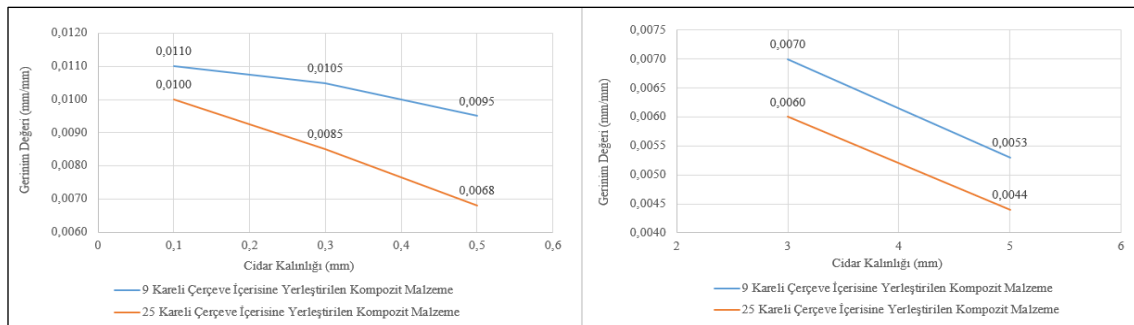
Şekil 4.19. 25 kareli çerçeve içerisindeki kompozit malzemede darbe sonrası oluşan von-misses stres dağılımının alttan ekran çıktıları

4.1.7. Çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemede meydana gelen gerinim değerleri

Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak çerçeve içerisine yerleştirilen kompozit malzemede oluşan gerinim değerleri Tablo 4.7’de verilmiş olup, analizde elde edilen bu değerlerden faydalanılarak Şekil 4.20’de verilen grafik oluşturulmuştur. Çerçeve içerisine yerleştirilmiş olan kompozit malzemelerde oluşan gerinim değerlerinin, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm, 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,0110 mm/mm, 0,0095 mm/mm, 0,0070 mm/mm ve 0,0053 mm/mm olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 25 kareli çerçevede cidar kalınlığı 0,1 mm 0,5 mm, 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,0100 mm/mm, 0,0068 mm/mm, 0,0060 mm/mm ve 0,0044 mm/mm’dir. Şekil 4.20’nin incelenmesinden de görülebileceği gibi, çerçevede oluşan gerinim değerlerinin 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 0,1 mm’ den 5 mm’ye yükseltildiğinde 2,1 kat; 25 kareli çerçeve için ise 2,3 kat azalmaktadır. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman, 0,1 mm cidar kalınlığına sahip çerçevede meydana gelen gerinim 1,1 kat; 0,5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve için ise 1,2 kat azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.7. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan gerinim değerleri

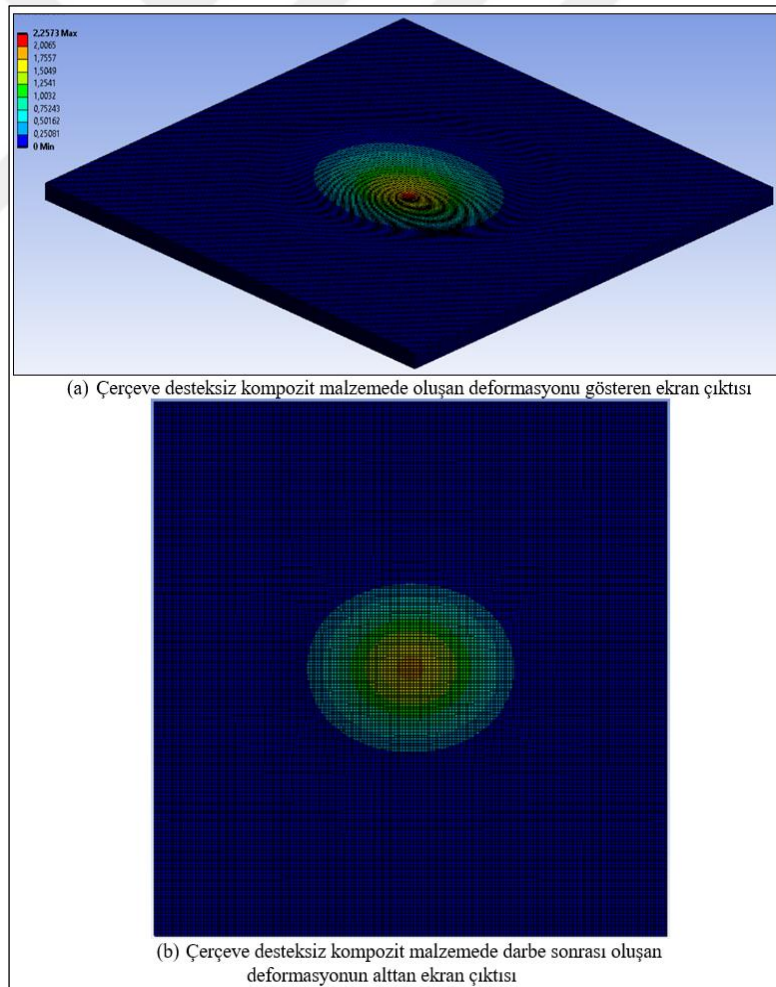
Sahip olduğu çerçeveye ait kare sayısı (Adet)	Sahip olduğu çerçeveye ait cidar kalınlığı (mm)	Çerçevede içerisindeki kompozit malzemede oluşan gerinim (mm/mm)
9	0,1	0,0110
9	0,3	0,0105
9	0,5	0,0095
9	3,0	0,0070
9	5,0	0,0053
25	0,1	0,0100
25	0,3	0,0085
25	0,5	0,0068
25	3,0	0,0060
25	5,0	0,0044



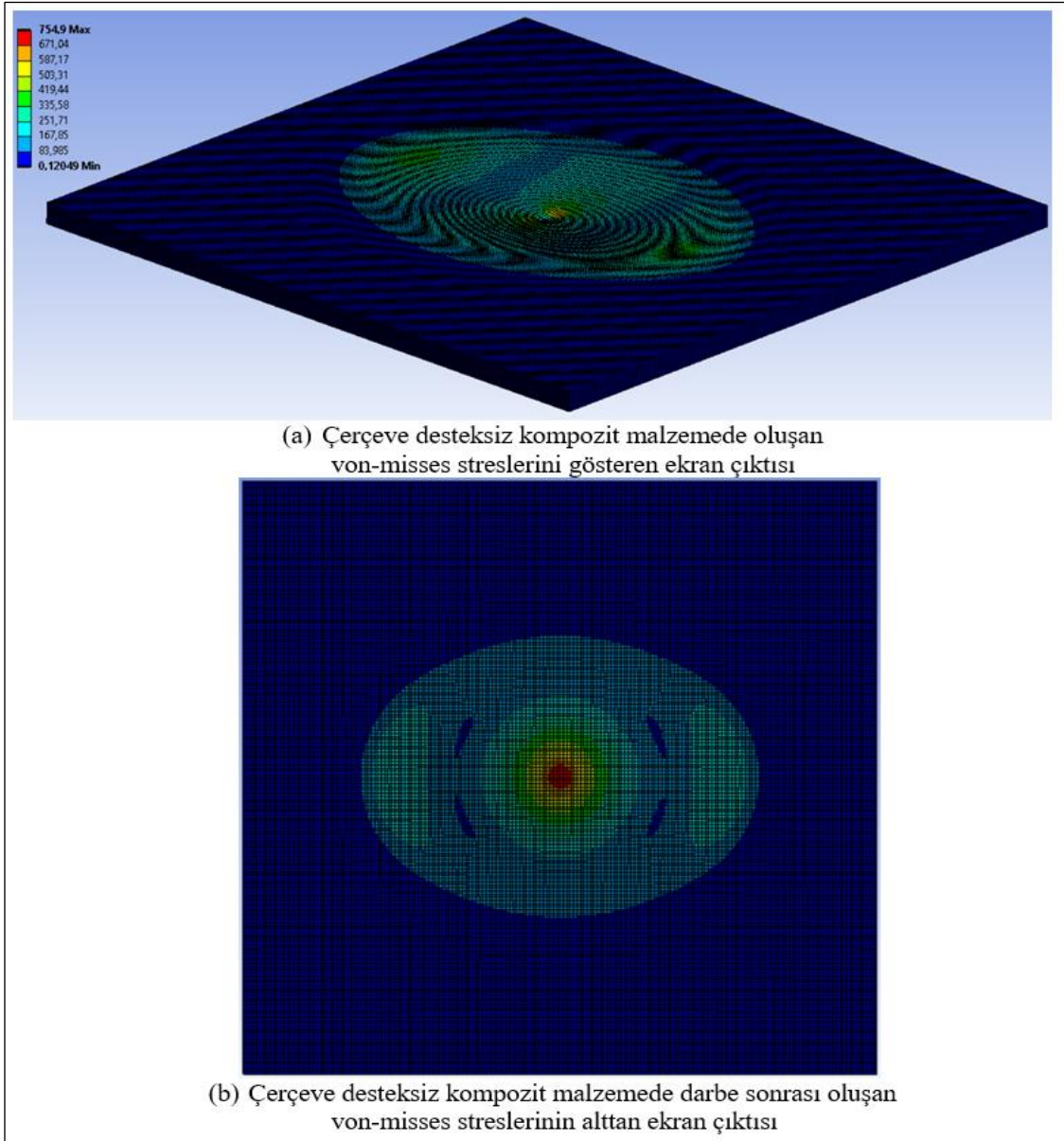
Şekil 4.20. Çerçeve içerisindeki kompozit malzemede oluşan gerinim değerlerindeki değişim

4.1.8. Çerçeve desteksiz kompozit malzemelerde oluşan deformasyon, von-misses stres, gerinim ve absorbe edilen kinetik enerji değerleri

Çerçeve desteksiz kompozit malzeme için yapılan sonlu eleman analizi sonucunda, deformasyon değerinin 2,257 mm, von-misses stres değerinin 754,9 MPa, maksimum gerinim değerinin 0,0084 mm/mm ve absorbe edilen kinetik enerji değerinin 4,42 J olduğu gözlemlenmiştir. Çerçeve desteği olmayan kompozit malzemeye 10 J' lük bir darbe etkisi karşısında malzemenin davranışlarını ortaya koyabilmek için yapılan analiz sonuçlarına göre deformasyon ve von-misses stres değerlerine ilişkin şekiller sırası ile Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'da verilmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde, darbenin uygulandığı bölgeye yakın bölgede deformasyonun daha fazla olduğu, darbe uygulanan bölgeden kenarlara doğru gidildikçe ise bu deformasyonun azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, darbe etkisi altında herhangi bir delinme olmadığı görülmüştür. Şekil 4.22'deki Von-misses stres değerleri ise, kompozit malzemenin altında, vurucunun çarptığı bölgede, daha yoğun olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Çerçeve desteksiz kompozit malzemede darbe karşısında oluşan deformasyonun ekran çıktıları



Şekil 4.22. Çerçeve desteksiz kompozit malzemedeki von-misses streslerindeki dağılımı gösteren ekran çıktıları

4.1.9. Analiz sonuçlarına göre uygun çerçeve kombinasyonunun belirlenmesi

Buraya kadar verilen analiz sonuçları birleştirildiğinde, 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip olan çerçeve içindeki kompozit malzemenin, 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip olan çerçeve içindeki kompozit malzemeye göre daha fazla strese maruz kaldığı halde, daha az deforme olduğu anlaşılmıştır. 25 kareli 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin içerisinde bulunan kompozit malzemelerin deformasyon değerleri benzer olmasına rağmen, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeveye göre, % 33 daha fazla kinetik enerji emilimi ile 93 MPa daha az

strese maruz kalmaktadır. Bu nedenle 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme ile çerçeve desteksiz kompozit malzemenin aynı yük altında gösterdiği davranışların belirlenmesi amacı ile hesaplanan kinetik enerji, deformasyon, hasar oluşmaya başlamadan önceki limit von-misses stres ve gerinim değerleri Tablo 4.8 'de verilmiştir.

Tablodaki değerler incelendiğinde, aynı yük altında çerçeve destekli kompozit malzemenin çerçeve desteksiz kompozit malzemeye göre 814 MPa daha fazla strese maruz kaldığı halde, çerçeve desteksiz kompozit malzemeye oranla % 15 daha az deformasyona uğradığı ve 1,4 kat daha az gerilme oluştuğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, çerçeve destekli kompozit malzemede absorbe edilen kinetik enerjinin çerçeve desteksiz kompozit malzemeye göre 2,42 J daha az olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebi, çerçeve destekli kompozit malzemede mevcut olan çerçevenin enerji emilimine katkı sağlamasından kaynaklıdır.

Tablo 4.8. 25 Kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit malzemelerde oluşan kinetik enerji, deformasyon von-misses stres ve gerinim değerleri

	Kinetik enerji (J)	Deformasyon (mm)	Von-Misses stres (MPa)	Gerinim (mm/mm)
Çerçeve Destekli Kompozit Malzeme	2,00	1,96	1569	0,0060
Çerçeve Desteksiz Kompozit Malzeme	4,42	2,26	755	0,0084

4.2. Deney İçin Ön Çalışma ve Numunelerin İmalatı

Analitik çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar referans alınarak deneysel çalışma aşaması başlatılmıştır.

4.2.1. Deney gruplarının oluşturulması

Araştırmada uygulamaya yönelik sonuçların elde edilebilmesi için zırh çeliği tasarımı üzerinde çalışan firmalarda görevli teknik elemanlarla yapılan görüşmelerde, deney kullanılacak numuneleri istenilen özellikte hazırlanması için lazer, tel erezyon ve su jeti yöntemleri olmak üzere üç farklı yöntemin uygulanabileceği belirlenmiştir. Lazer kesim yönteminde alt ve üst çerçeve tabakalarına açılan kareler arasındaki cidar kalınlığının en az malzeme kalınlığı kadar olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Başka bir deyişle, karelerin

kesimi için lazer tercih edildiğinde cidar kalınlıkları en az 3 mm alınmalıdır. Bunun 2 önemli nedeni olduğu ifade edilmiştir. Birinci nedeni, kareler arasında 3 mm'den daha az cidar payı bırakılarak kesim yapıldığında, iki kare arasındaki bölgede kalan çeliğin, kesim esnasında oluşan yüksek sıcaklık sebebiyle erimesidir. İkinci nedeni ise, söz konusu erimeye bağlı olarak kareler arasında kalan bölgede deformasyon oluşması ve malzemenin darbeye karşı dayanımının azalmasıdır. Daha düşük cidar kalınlıklarına sahip kare kesimlerinin tel erezyon ve su jeti yöntemi ile de yapılabileceği, ancak bu yöntemlerin lazer yöntemine göre hem çok maliyetli hem de çok uzun sürdüğü anlaşılmıştır. Mühendislik tasarımında maliyetin artması ve imalat süresinin uzaması istenmez. Bununla birlikte, lazer yöntemi ile yapılan kesimlerin diğer yöntemlere göre çok daha düzgün ve hassas olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonuçlarının uygulamaya yönelik olması amacıyla lazer kesim yönteminin en uygun yöntem olduğu ve 3 mm'lik zırh çeliği kalınlığı için cidar mesafesinin minimum 3 mm olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu noktadan hareketle laboratuvar koşullarında, düşük hızlı çarpma testine tabi tutulacak çerçeve destekli kompozit malzemeler 9 ve 25 kareli, 3 mm ve 5 mm cidar kalınlıklarına sahip olacak şekilde sayısal analiz için kullanılan boyutlarda imal edilmiştir. (Tablo 4.9).

Tablo 4. 9. Deney grupları

Kompozit numuneler	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	En (mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)
Çerçeve Destekli	9	3	100	100	9
Çerçeve Destekli	9	5	100	100	9
Çerçeve Destekli	25	3	100	100	9
Çerçeve Destekli	25	5	100	100	9
Çerçeve Desteksiz	-	-	94	94	3

4.2.2. Deneyde kullanılacak kompozit numunelerin imalatı

Laboratuvar deneyine tabii tutulacak olan 5 adet asil, 5 adet yedek olmak üzere toplamda 10 adet, 94 mm x 94 mm x 3 mm boyutsal özelliğinde, $[0,45,-45,90]_3$ serim açısına sahip, 12 tabakalı kompozit numuneler el yatırma yöntemiyle imal edilmiştir. Kompozit numunelerin imalatında; E-Cam, 165 GR/M2 2x2 Twill, kuru cam kumaşı, reçine malzemesi

olarak Sika Bresin CR80 epoksi ve epoksi sertleştiricisi olarak ise Sika Bresin CH80-6 kullanılmıştır. 10 adet numune aynı anda, 1500 mm x 1000 mm cam kalıp üzerinde aşağıdaki adımlar izlenerek imal edilmiştir.

- 1) Parça imalatında kullanılacak cam kalıbın serim yapılacak yüzeyi alkol ile iyice temizlenmiştir. Temizlik tamamlandıktan sonra, kompozit numunelerin alt yüzeylerinin, numuneler imal edilirken kullanılacak cam kalıp yüzeyine yapışmasını önlemek için, serim işlemi gerçekleştirilecek cam kalıp yüzeyine 3 kat “Renlease QZ 5111” ayırıcısı uygulanmıştır.
- 2) Kalıp hazırlandıktan sonra kompozit numunelerin imalatında kullanılacak olan, 100 mm x 100 mm boyutlarında, 60 adet 0^0 ve 30’ar adet 45^0 ve -45^0 katmanları el ile kesilmiştir (Şekil 4.23). Tüm numunelerin imal edilebilmesi için toplamda 2 m² kuru kumaş kullanılmıştır.
- 3) Kesim işleminin ardından; 200 gram epoksi ve 66 gram sertleştirici kullanılarak 266 gram reçine hazırlanmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.23. Numunelerin imalatı için kumaşların hazırlanması

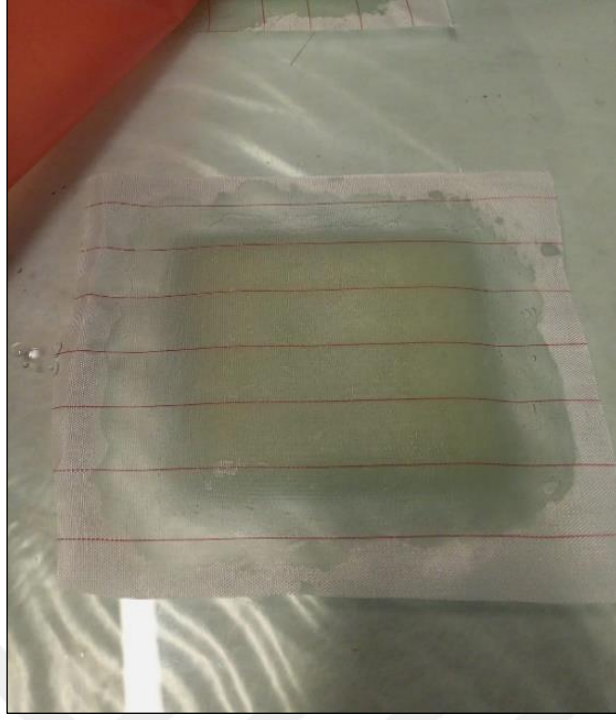


Şekil 4.24. 266 gram reçine

- 4) Kalıp yüzeyindeki ayırıcı iyice sertleştikten sonra, önceden kesilmiş 0° serim açısına sahip 10 numunenin ilk kat takviye malzemeleri kalıp üzerine yerleştirilmiş ve hazırlanmış olan reçine kumaşın üzerine uygulanmıştır. Takviye malzemesi üzerine sürülen reçine sertleşene kadar rulolama işlemi gerçekleştirilmiş olup (Şekil 4.25), bu işlem tüm tabakalar için ayrı ayrı uygulanmıştır. İşlem her numune için yinelenmiştir.
- 5) Şekil 4.26’da görüldüğü üzere, numunelerin üst yüzeyinin düzgün ve pürüzsüz çıkması için numunelerin son serim katının üzerine “Peel Ply” uygulanmıştır.



Şekil 4.25. Kompozit numunelerin imalatında kullanılan reçinenin takviye malzemesine uygulanışı

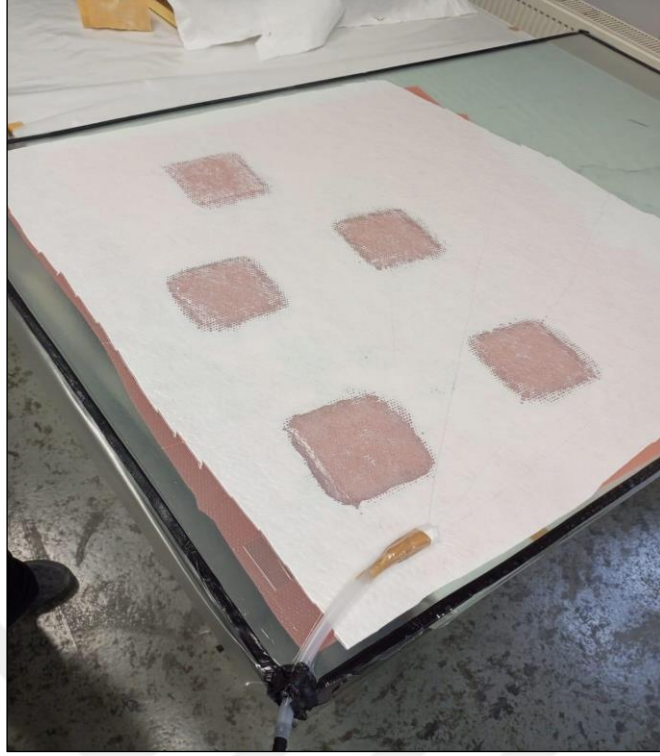


Şekil 4.26. Kompozit numunelerin son katına atılan peel ply

- 6) Bu işlemler tamamlandıktan sonra numuneler vakuma alınarak 12 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve 12 saat sonunda numuneler vakumdan sökülmüştür (Şekil 4.27 ve 4.28).



Şekil 4.27. İmalat sonrası vakum altında bekletilen 5 adet kompozit numune



Şekil 4.28. İmalat sonrası vakum altında bekletilen diğer 5 adet kompozit numune

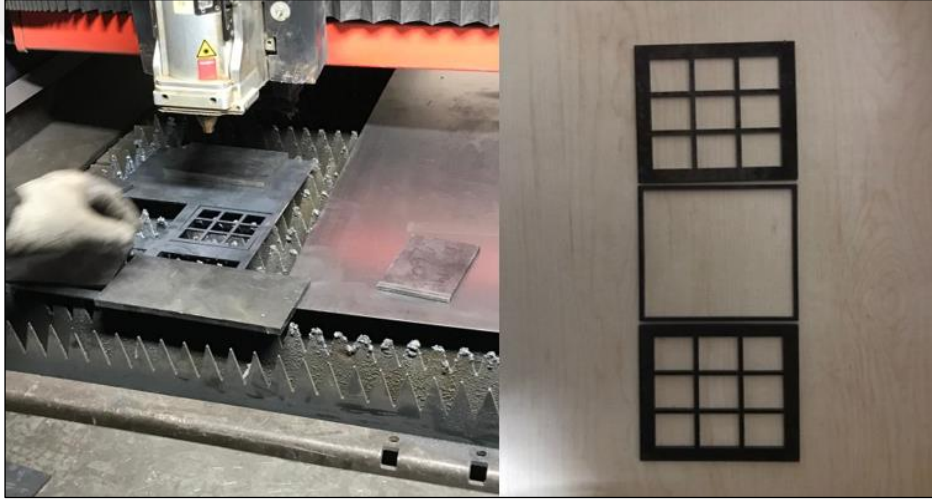
- 7) Vakumdan sökülen numuneler teker teker cam kalıptan ayrıştırılmıştır.
- 8) Numuneler kalıptan ayrıştırıldıktan sonra fırına atılmış ve 55 °C 'de 8 saat süreyle kürlenmiştir.
- 9) Kürleme işleminin ardından parçalar fırından çıkartılmış ve nihai ölçülerine gelecek şekilde trim edilmiştir.
- 10) Trim işleminin ardından, deneysel çalışmada kullanılacak olan, çerçeve desteğine sahip olacak ve çerçeve desteğine sahip olmayacak olan kompozit numune imalatları tamamlanmıştır.

4.2.3. Çerçeve destekli kompozit numunelerin imalatı

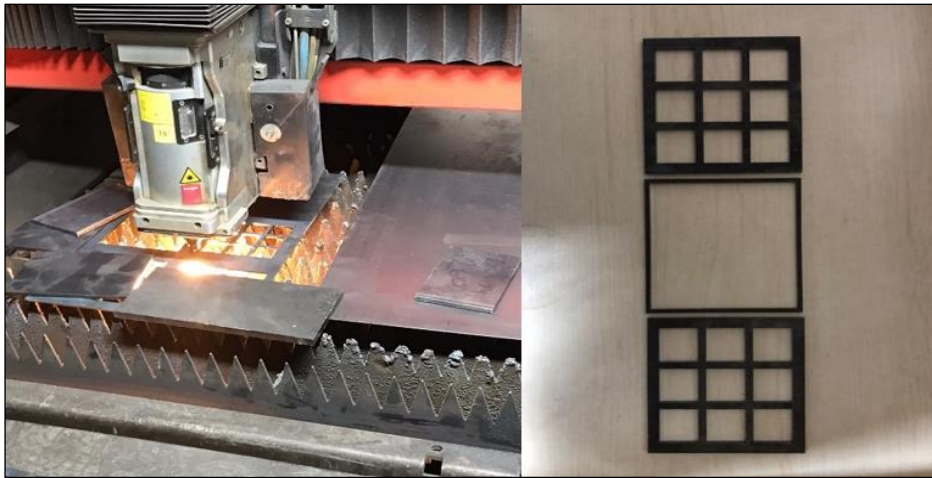
Kompozit numuneler imal edildikten sonra, çerçeve destekli kompozit numunelerin imalatına geçilmiştir. Çerçeve destekli kompozit malzemelerin sahip olduğu 4 farklı çerçeve sistemleri; 100 mm x 100 mm x 9 mm boyutlarında, 9 ve 25 kareli olarak, kareler arasındaki cidar kalınlıkları 3 mm ve 5 mm olacak şekilde, Protection 500 zırh çeliği malzemesinden aşağıdaki adımlar izlenerek imal edilmiştir.

- 1) 12 adet 100 mm x 100 mm x 3 mm boyutsal özelliklerine sahip Protection 500 zırh çeliği plakaları temin edilmiştir.

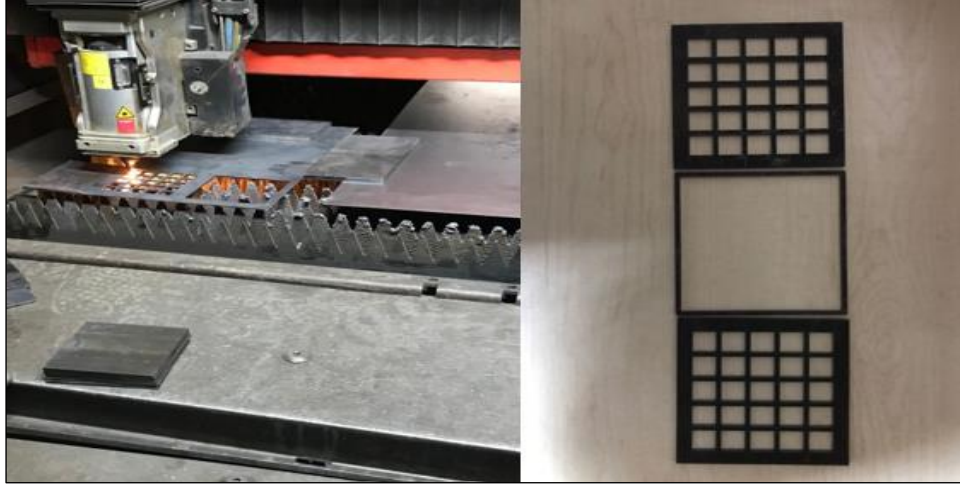
- 2) Bir çerçeve desteğinin imalatında 3 adet Protection 500 zırh çeliği plakası kullanılması gerektiğinden dolayı, temin edilen 12 plaka, her bir grup 3'er adet plakadan oluşacak şekilde 4 farklı gruba ayrılmıştır.
- 3) Her grupta yer alan 3 plaka, analitik çalışmada yapılmış olan tasarımlar kullanılarak, BySprinter Pro 3015 lazer kesim aletinde, 0.6 bar basınç altında, 3200 V gerilimde ve 3600 m/s lazer hızında işlenmiştir. Lazer kesimlere ve kesimler sonucu elde edilen çerçeve desteğinin imalatında kullanılacak üst, alt ve orta tabakaların görüntüleri 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteği için Şekil 4.29' da, 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteği için Şekil 4.30' da, 25 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteği için Şekil 4.31' de ve 25 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteği için ise Şekil 4.32' de verilmiştir.



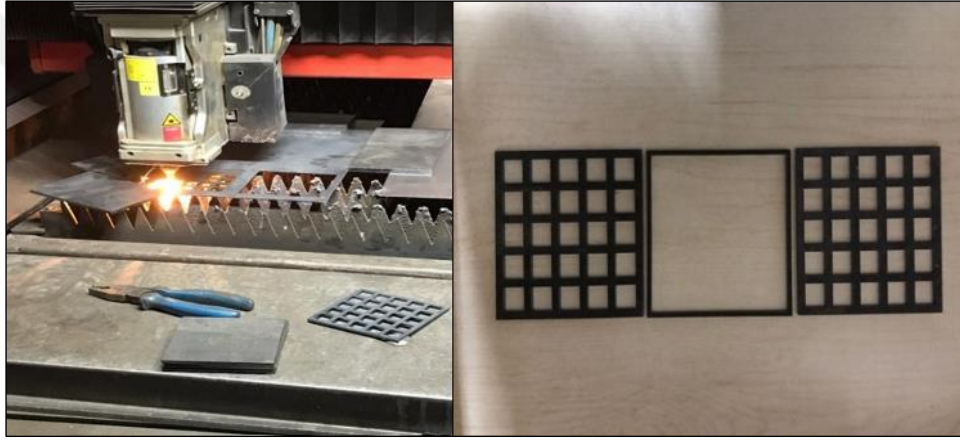
Şekil 4.29. 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı



Şekil 4.30. 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı



Şekil 4.31. 25 kareli, 3 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı



Şekil 4.32. 25 kareli, 5 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve desteğinin imalatı

- 4) Her bir plakalarının lazer kesim işlemleri tamamlandıktan sonra, alt ve orta plakaların birleşme yüzeyleri punto kaynak yöntemiyle sabitlenmiştir. Bu işlem gerçekleştirilirken orta ve alt tabakaların birleşme yüzeylerine noktasal kaynak uygulanmıştır. Daha sonra, birleşmiş olan alt ve orta tabakanın içerisine 1 adet kompozit numune yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminin ardından, çerçeve desteğinin üst tabakası, punto kaynak ile orta tabaka ile birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra tasarımı biten çerçeve destekli kompozit numunelerin görüntüleri 9 kareli, 3 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve desteği için Şekil 4.33' te 9 kareli, 5 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve desteği için Şekil 4.34' te, 25 kareli, 3 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve desteği için Şekil 4.35' te ve 25 kareli, 5 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve desteği için ise Şekil 4.36' da verilmiştir.

Şekil 4.37'de ise, imalatı tamamlanmış çerçeve desteksiz kompozit numune gösterilmektedir.



Şekil 4.33. 9 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune



Şekil 4.34. 9 kareli, 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune



Şekil 4.35. 25 kareli, 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune



Şekil 4.36. 25 kareli, 5 mm cıdar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune



Şekil 4. 37. Çerçeve desteksiz kompozit numune

4.3. Deneysel Çalışma

İmalatları tamamlanmış olan çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit numuneler, 10 J etkisi altında, düşük hızlı çarpma testine tabii tutulmuştur. Deneyler Başkent Üniversitesi “Biyomekanik ve Mukavemet Laboratuvarında” bulunan düşük hızlı darbe test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.38).

Laboratuvar deneyinin yapılmış olduğu düşük hızlı darbe testi cihazı beton kaide, numunenin bağlandığı tabla, yatakların hareket ettiği düşey miller ve sensörler olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır. Ayrıca yük hücresi, pozisyon ve hızölçer sensörleri olmak üzere de üç çeşit sensör bulunmaktadır.



Şekil 4.38. Düşük hızlı darbe testi cihazı

Çalışmada, 16 kg sabit ağırlıkta, yarı küresel geometriye sahip vurucunun uç kullanılmıştır. Vurucunun sahip olması gerektiği hız değeri ise denklem (4.1) kullanılarak 1,12 m/s olarak hesaplanmıştır.

$$V_i = \sqrt{\frac{2E_k(t)}{m}} \quad (4.1)$$

V_i = Hızı (m/s)

$E_k(t)$ = Kinetik Enerji (J)

m = Vurucu Kütlesi (Kg)

Düşük hızlı çarpma testi gerçekleştirilirken vurucu, belli bir yükseklikten kompozit malzeme üzerine düşürülmüştür. Vurucunun konumundan dolayı sahip olduğu potansiyel enerji ve enerjinin korunumundan hareketle, yerçekimi ivmesi $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak kabul edilerek, vurucunun numunelere bırakılacağı yükseklik değeri denklem (4.2) kullanılarak 63,7 mm olarak hesaplanmıştır.

$$h = \frac{V_i^2}{2g} \quad (4.2)$$

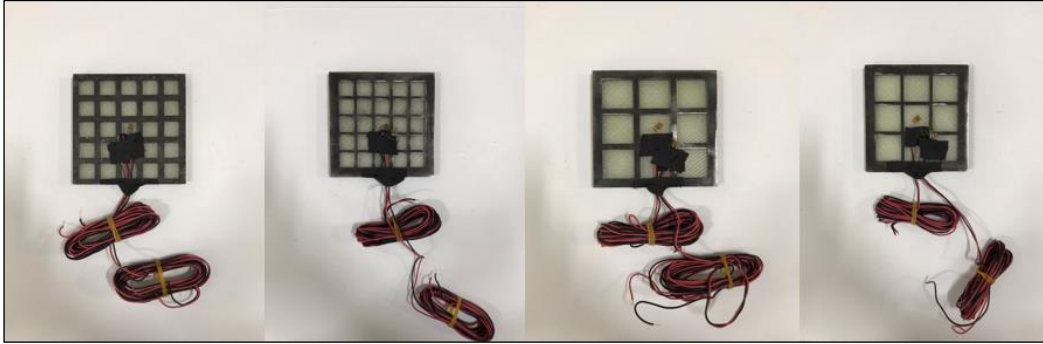
h = Yükseklik (m)

V_i = Vurucu Hızı (m/s)

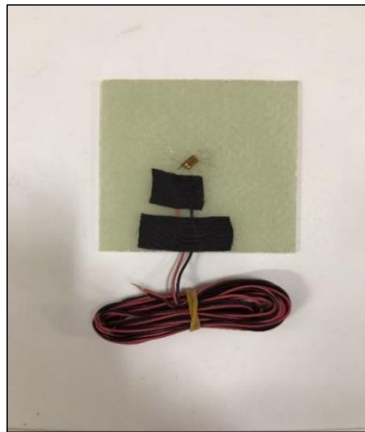
g = Yerçekimi İvmesi (m/s^2)

Test esnasında, kompozit numunelerdeki gerinimleri ölçmek amacıyla 350 ohm değerine sahip 9 adet strain gauge kullanılmıştır. Çerçeve destekli kompozit numunelerde, 1 adet strain gauge kompozit malzemenin alt kısmına, 1 adet strain gauge ise çerçeve sisteminin alt kısmına olacak şekilde Loctite yapıştırıcısı kullanılarak sabitlenmiştir. Çerçeve desteksiz kompozit numunede ise 1 adet strain gauge kompozit numunenin alt kısmına Loctite yapıştırıcısı kullanılarak sabitlenmiştir. Strain gauge malzemelerinin diğer uçları ise test esnasında gerinim değerlerinin alınabilmesi için data logger 'a bağlanmıştır. Şekil 4.39'da strain gauge montajı sonrası 9 ve 25 kareli, 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneler, Şekil 4.40'ta ise strain gauge montajı sonrası çerçeve desteksiz kompozit numune gösterilmiştir.

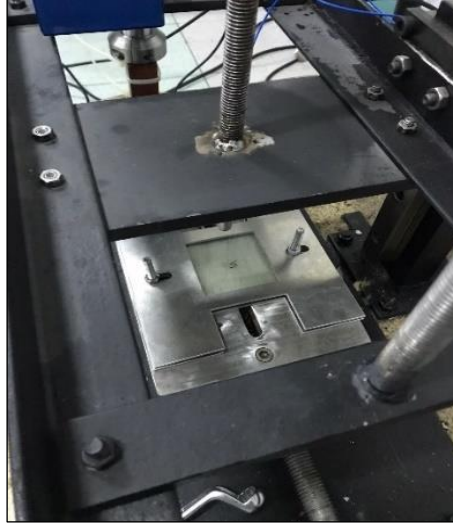
Yapılmış olan laboratuvar testlerinde, kompozit test numuneleri merkezlenerek tutucular ile bağlanmıştır (Şekil 4.41). Daha sonra sistem kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra kompozit numunelere uygulanacak ağırlık, mekanik bir dişli ile kaldırılmış ve mekanik bir start butonu ile serbest düşme sağlanarak test tamamlanmıştır. Bu işlem tüm test numuneleri için aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.39. Strain gauge montajı sonrası 9 ve 25 kareli, 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneler



Şekil 4.40. Strain gauge montajı sonrası çerçeve desteksiz kompozit numune



Şekil 4.41. Düşük Hızlı Darbe Testi İçin Plakaların Test Plakasına Yerleştirilişi

4.3.1. Kuvvet (N) – Zaman (S) ilişkisi

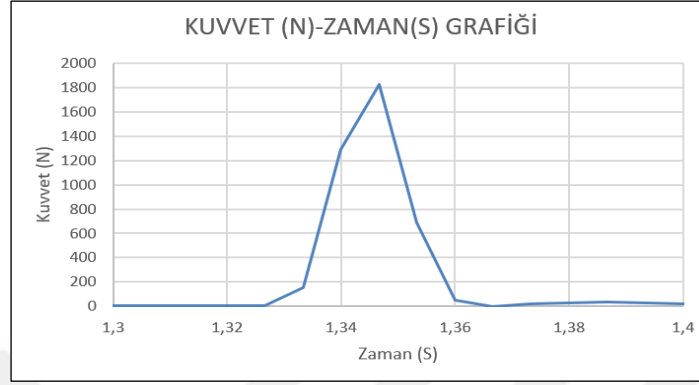
Deneyden elde edilen sonuçların Kuvvet (N) - Zaman (s) ilişkisi açısından değerlendirmeleri amacıyla, kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak her bir numunede oluşan zamana bağlı kuvvet değerleri Tablo 4.10’da verilmiş olup, deneyde elde edilen bu değerlerden faydalanılarak Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46’ da verilen grafikler oluşturulmuştur.

Vurucu hesaplanan 63,7 mm yükseklikten serbest düşmeye bırakıldıktan sonra deney numunelerine temas edene kadar geçen sürede kuvvet değerlerinin sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Vurucu, numuneler ile temas ettikten sonra kuvvet değerlerinde artış olmaya başladığı görülmüştür. Deneyin belli bir anında kuvvetin en maksimum değerine ulaştığı ve bu değerden sonra azalmaya başladığı belirlenmiştir. Kuvvet değeri sıfır olduğunda ise vurucu geri sekme yapmıştır. Geri sekmenin ardından vurucu ve numune arasındaki temas kesilmiştir.

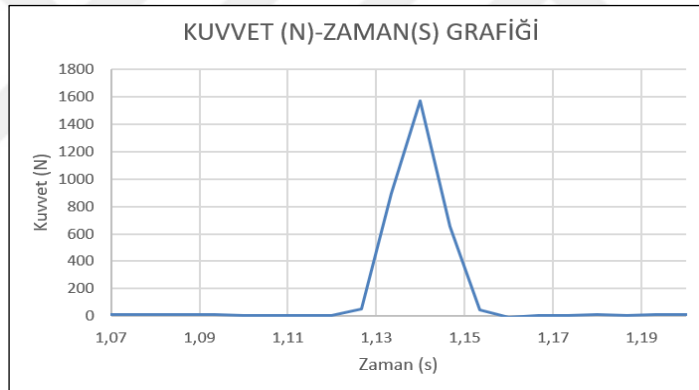
Tablo 4.10. Deney sonucu elde edilen zamana bağlı kuvvet değerleri

Numune	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Maksimum kuvvet (N)	Zaman (s)
Çerçeve Destekli	9	3	1829,30	1,35
Çerçeve Destekli	9	5	1573,62	1,14
Çerçeve Destekli	25	3	1982,11	1,05
Çerçeve Destekli	25	5	1753,00	1,28
Çerçeve Desteksiz	-	-	1975,50	0,84

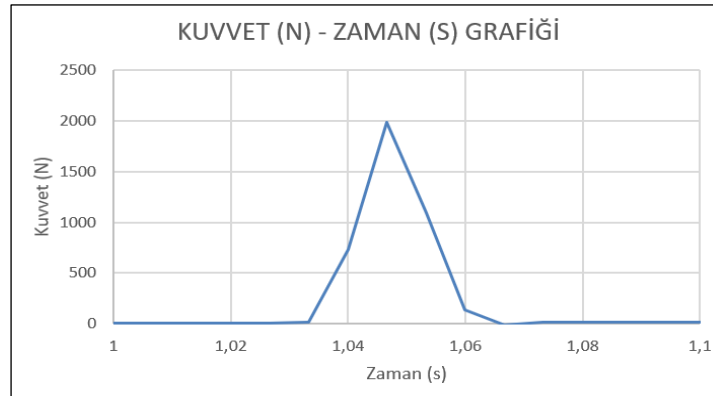
Tepki kuvvet değeri en yüksek 1.05 s' de 1982 N ile 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli numune için elde edilmiştir (Şekil 4.44). Bu değer deney numuneleri içerisinde vurucuya karşı en yüksek tepkinin 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme tarafından verildiğini göstermektedir.



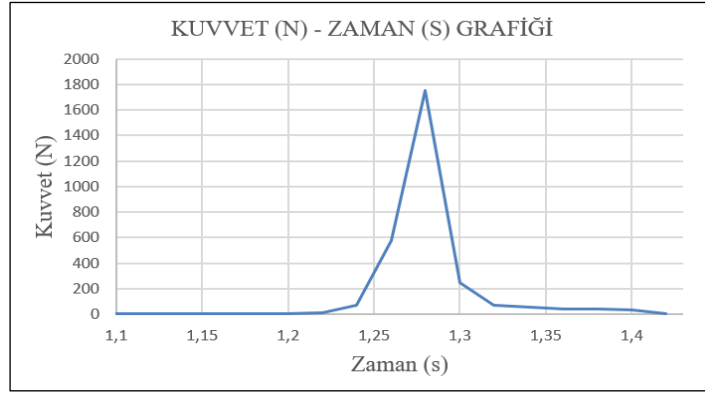
Şekil 4.42. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune kuvvet-zaman grafiği



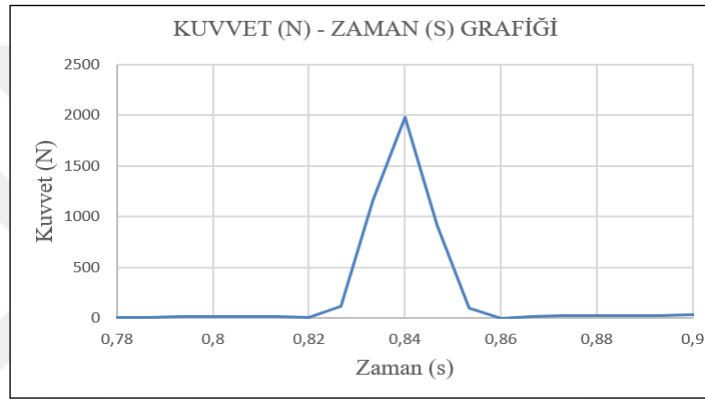
Şekil 4. 43. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune kuvvet-zaman grafiği



Şekil 4.44. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune kuvvet-zaman grafiği



Şekil 4.45. 25 kareli 5 mm cedar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune kuvvet-zaman grafiği



Şekil 4.46. Çerçeve desteksiz kompozit numune kuvvet-zaman grafiği

4.3.2. Kuvvet (N) – Yer Değiştirme (MM) ilişkisi

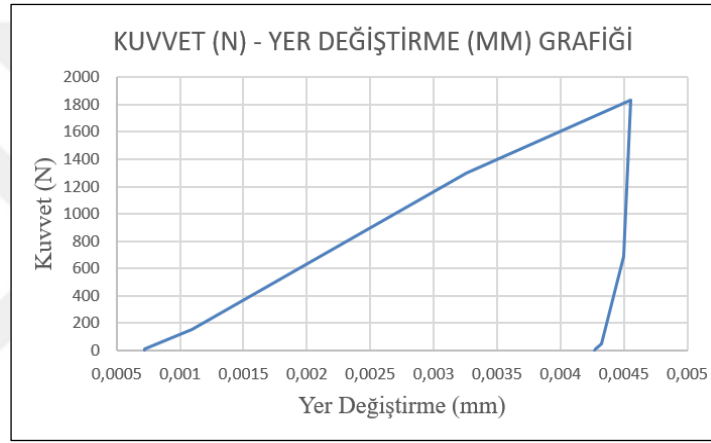
Deney sonuçlarının Kuvvet (N) - Yer Değiştirme (mm) ilişkisi yönünden ortaya konulabilmesi için darbe testi sonucunda elde edilen değerlerden hareketle her bir numune için maksimum tepki kuvveti ve yer değiştirme değerleri Tablo 4.11’de verilmiş olup, deneyde elde edilen bu değerlerden faydalanılarak Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’ de verilen grafikler oluşturulmuştur.

Tablo 4.11. Deney sonucu elde edilen maksimum kuvvet ve yer değiştirme değerleri

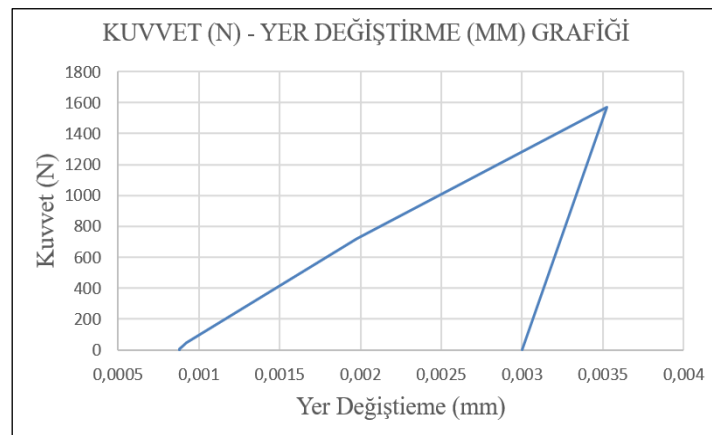
Numune	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Maksimum kuvvet (N)	Yer değiştirme (mm)
Çerçeve Destekli	9	3	1829,30	0,0046
Çerçeve Destekli	9	5	1573,62	0,0035
Çerçeve Destekli	25	3	1982,11	0,0040
Çerçeve Destekli	25	5	1753,00	0,0029
Çerçeve Desteksiz	-	-	1975,50	0,0049

Bu değerler incelendiğinde 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip ereve destekli kompozit numunede 0,0046 mm yer değiştirmenin 1829 N kuvvet altında 1,35. Saniyede (şekil 4.47), 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip ereve destekli kompozit numunede ise 0,0029 mm 1753 N kuvvet altında 1,28. saniyede olduğu (şekil 4.50) belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlarla birlikte, ereve destekli kompozit numunelerde deney esnasında oluşan maksimum kuvvet değerinin, maksimum yer değiştirme değerinden daha önce olduğu gözlemlenmiştir [24].

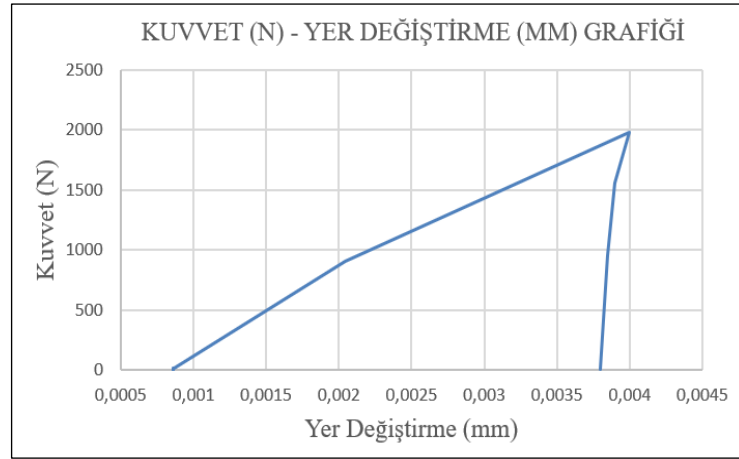
Yapılan deneyde ereve desteksiz kompozit malzemede meydana gelen maksimum 0,0049 mm'lik yer değiştirmenin 1975 N yük altında ve 0,84. saniyede olduğu anlaşılmıştır (şekil 4.51).



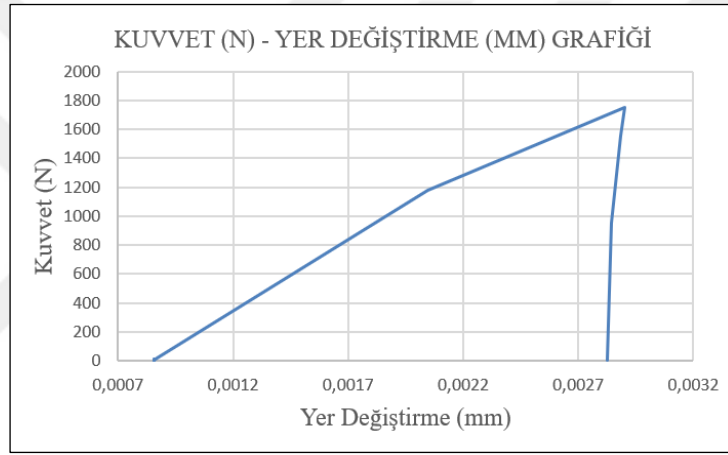
şekil 4.47. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip ereve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği



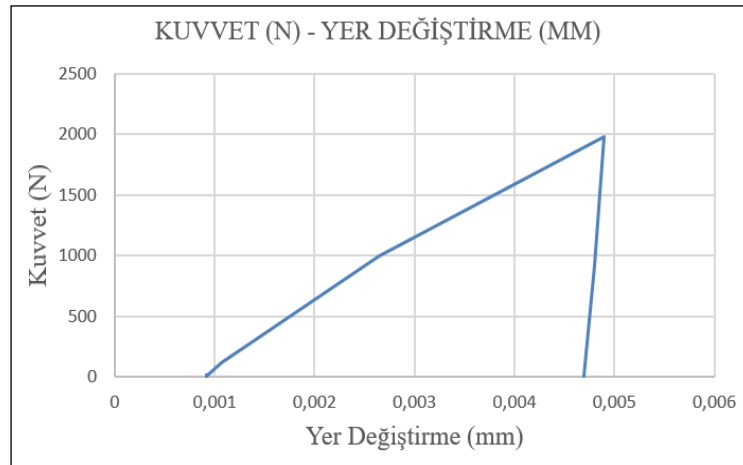
şekil 4.48. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip ereve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği



Şekil 4.49. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği



Şekil 4.50. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği



Şekil 4.51. Çerçeve desteksiz kompozit numuneye ait kuvvet-yer değiştirme grafiği

4.3.3. Kuvvet (N) – Enerji (J) ilişkisi

Deney sonuçlarının Kuvvet (N) – Enerji (J) ilişkisi yönünden ortaya konulabilmesi için darbe testi sonucunda elde edilen değerlerden hareketle her bir numune için maksimum tepki kuvveti ve enerji değerleri Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12’de verilen değerler arasındaki ilişkilere bakıldığında, deney sonucunda absorbe edilen kinetik enerji miktarının 9 kareli çerçeve için cidar kalınlığı 3 mm’ den 5 mm’ ye çıktığında 1,12 kat, 25 kareli çerçeve için 1,1 kat azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman ise 3 mm ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçevelerin absorbe ettiği kinetik enerji değerinin 2,0 kat azaldığı anlaşılmıştır.

Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak, deney ve analiz sonucunda belirlenen absorbe edilen kinetik enerji değerleri arasında 9 kareli, 3 mm ve 5 mm cidar uzunluklarına sahip çerçeve destekli kompozit numuneler için 0,28 J, 25 kareli 3 mm ve 5 mm cidar kalınlıklarına sahip çerçeve destekli kompozit numuneler için ise 0,14 J’ lük bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Bu farklılığın deneyin yapıldığı düşük hızlı darbe testi cihazının kalibrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.12. Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak analiz ve deney sonucunda elde edilen absorbe edilen kinetik enerji değerleri

Numune	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Maksimum kuvvet (N)	Analiz sonucu elde edilen absorbe edilen kinetik enerji (J)	Deney sonucunda elde edilen absorbe edilen enerji (J)
Çerçeve Destekli	9	3	1829,30	4,030	3,750
Çerçeve Destekli	9	5	1573,62	3,640	3,350
Çerçeve Destekli	25	3	1982,11	2,000	1,850
Çerçeve Destekli	25	5	1753,00	1,820	1,680
Çerçeve Desteksiz	-	-	1975,50	4,420	3,950

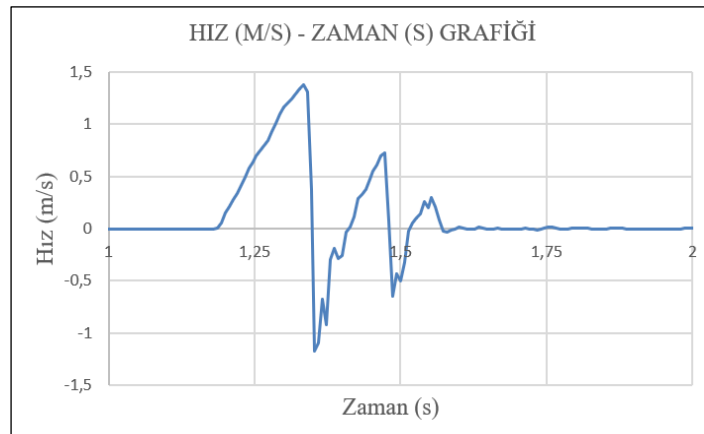
Yapılan çalışmada, Kuvvet (N) – Yer Değiştirme grafiğinin altında kalan alanlar hesaplanarak çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit numunelerin absorbe ettikleri kinetik enerji değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune için 3,48 J, 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune için 1,8 J, 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune için 4,81 J, 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune için 1,86 J ve çerçeve desteksiz kompozit numune için ise 3,8 J olarak belirlenmiştir. Bu değerler karşılaştırıldığında çarpma

anında en fazla kinetik enerjinin 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune tarafından absorbe edildiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numune tarafından absorbe edilen enerjinin çerçeve desteksiz numuneye göre 1,27 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.

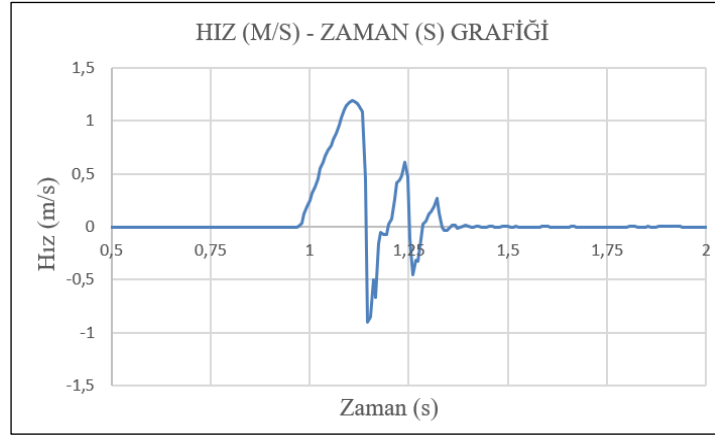
4.3.4. Hız (N) – Zaman (S) ilişkisi

Deneyssel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Hız (m/s) – Zaman (s) ilişkisi açısından değerlendirildiğinde, vurucu kompozit malzeme ile ilk teması yaptığı andan itibaren hız değerinin zamana bağlı olarak azalmaya başladığı görülmüştür. Buna ek olarak, kompozit numunelerin vurucuya karşı gösterdiği tepki kuvveti arttıkça, hızın sifıra yaklaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, vurucu kompozit numunelere çarptıktan sonra çarpma yönüne ters yönde geri sekmeler oluşmuş ve bu sebepten dolayı da vurucunun hızının negatif değerler aldığı belirlenmiştir. Vurucunun kompozit numuneleri delerek başarısızlığa uğratmadığı da gözlemlenmiştir.

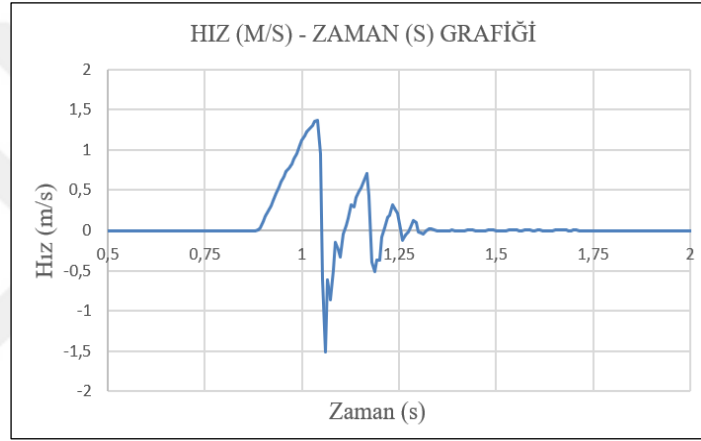
Çerçeve destekli kompozit numuneler içerisinde 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip olan numune, en kısa sürede (1.05. saniyede) vurucuya karşı en yüksek tepki kuvvetini (1982 N) göstermiştir. Başka bir deyişle, söz konusu numune göstermiş olduğu bu yüksek tepki kuvveti sayesinde, vurucunun hızının 1.05. saniyede sifıra en erken yaklaşan numune olmuştur. Deneye tabi tutulan çerçeve desteğine sahip kompozit numunelere ait hız zaman grafikleri Şekil 4.52 ile Şekil 4.55 arasında, çerçeve desteksiz kompozit numune için ise Şekil 4.56'da verilmiştir.



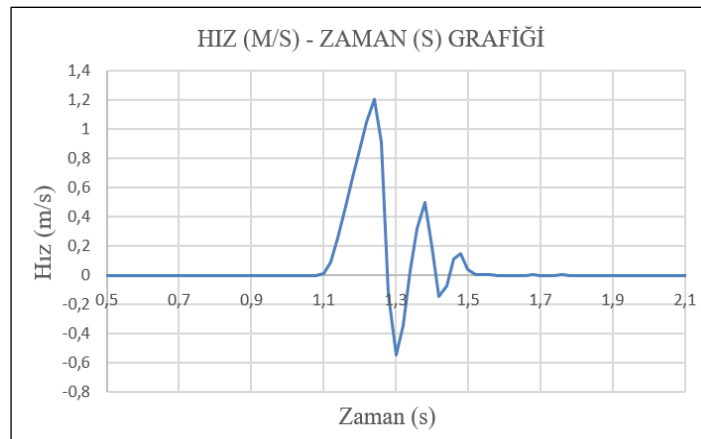
Şekil 4.52. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği



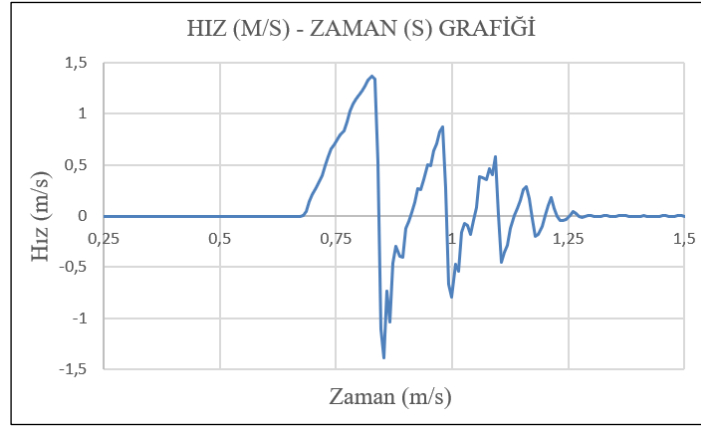
Şekil 4.53. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.54. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.55. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.56. Çerçeve desteksiz kompozit numuneye ait hız-zaman grafiği

Numunelerin vurucunun darbe etkisine karşılık olarak göstermiş olduğu tepki kuvveti altında birim zamanda strain değerleri incelendiğinde en yüksek tepki değerinin 1982 N olarak belirlendiği 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip numunede hem kompozit malzemede hem de çerçeve sisteminde strain değerlerinin en düşük düzeylerde kaldığı belirlenmiştir.

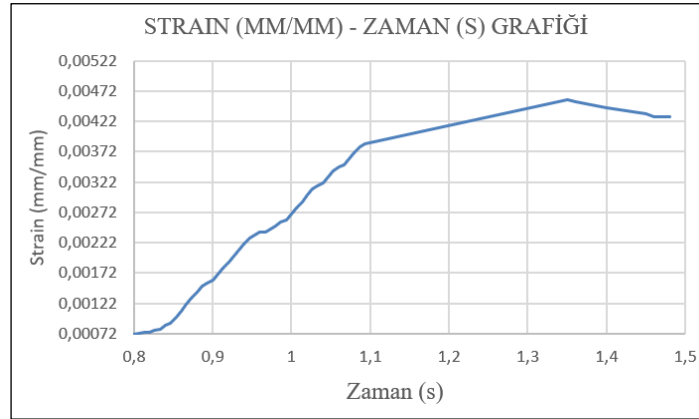
4.3.5. Strain (MM/MM) – Zaman (S) ilişkisi

Elde edilen deney sonuçları ışığında, kare sayısı ve cidar kalınlığı referans alınarak çerçeve içerisindeki kompozit numuneler ve çerçeveler üzerinde oluşan strain değerleri gözden geçirilmiştir. Bu değerler, 9 kareli çerçeve içerisinde yer alan kompozit numunelerde cidar kalınlığı 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,0046 mm/mm ve 0,0035 mm/mm olup, 1,31 kat azalışa; 25 kareli çerçeve içerisinde yer alan kompozit numunelerde ise cidar kalınlığı 3 mm ve 5 mm için sırasıyla 0,0040 mm/mm ve 0,0029 mm/mm olup, 1,38 kat azalışa işaret etmektedir. Diğer taraftan, kare sayısı 9 kareden 25 kareye çıkarıldığı zaman ise, çerçeve desteği içerisinde bulunan kompozit numunelerde oluşan strain değerinin 1,2 kat azaldığı görülmüştür.

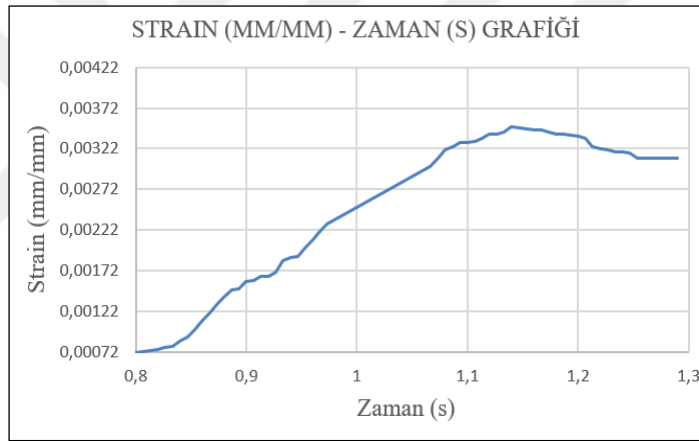
Strain değerleri 9 kareli 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip olan çerçeve desteğinde 0,0019 mm/mm iken, 25 kareli 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve desteklerinde 0,0012 mm/mm'dir. Bu değerlere göre, kare sayısının artmasının, çerçevelerde oluşan strain değerlerinin 1,58 kat azalmasına sebep olduğu görülmüştür.

Deneye tabi tutulan çerçeve desteğine sahip kompozit numunelerde oluşan strain değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri Şekil 4.57, 4.58, 4.59 ve 4.60'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

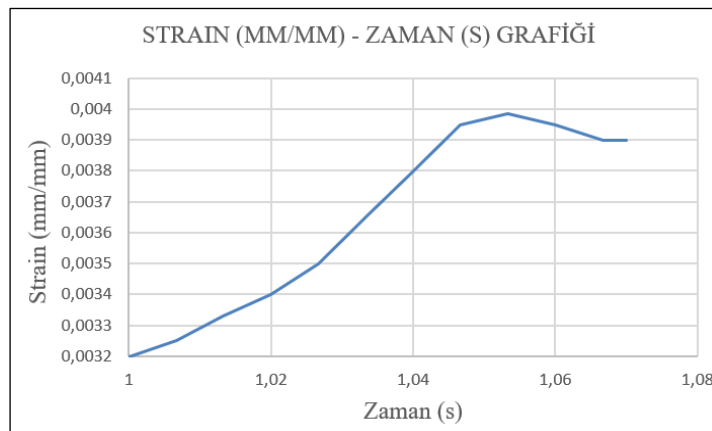
Çerçeve desteksiz kompozit numunede ise en yüksek strain değeri gözlemlenmiş olup, bu değerin 0,0049 mm/mm olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.61).



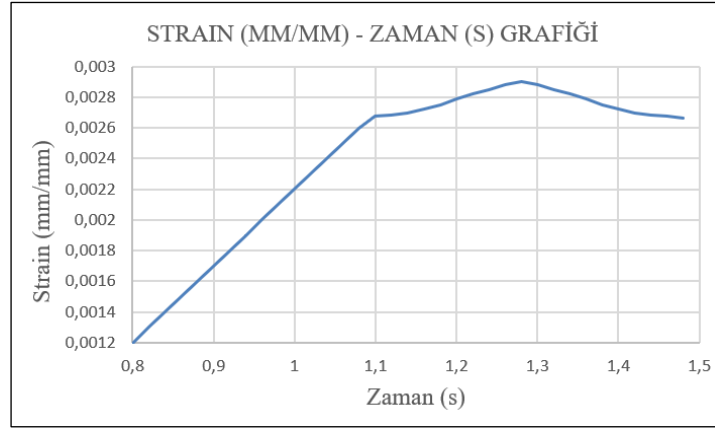
Şekil 4.57. 9 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği



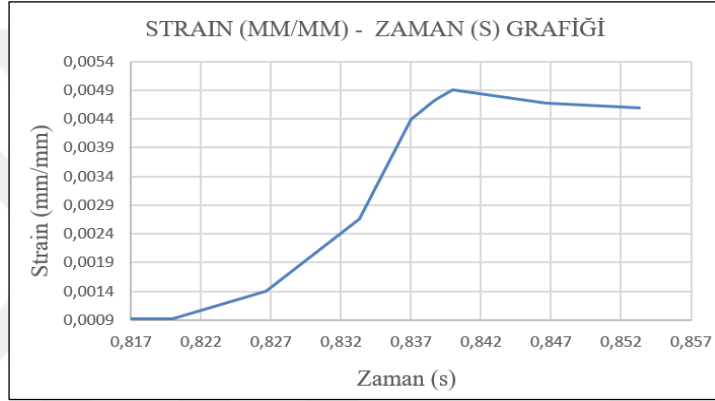
Şekil 4.58. 9 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği



Şekil 4.59. 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği



Şekil 4.60. 25 kareli 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği



Şekil 4.61. Çerçeve desteksiz kompozit numuneye ait strain-zaman grafiği

Strain değerlerine ilişkin elde edilen bu sonuçlar çerçeve desteğinin kompozit malzemede yer değişimine olumlu etki yaptığını, başka bir deyişle çerçeve destekli kompozit malzemede oluşan strain değerinin çerçeve desteksiz kompozit malzemede oluşan strain değerinden daha az olduğunu göstermiştir. Nitekim maksimum tepki kuvvetinin olduğu 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numunedeki strain değeri, çerçevesiz kompozit numune için hesaplanandan 1,23 kat daha az olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar çerçeve desteğinin strain yönünden kompozit malzeme dayanımını artırdığının net bir göstergesidir.

Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak her bir numune için analizde ve deneyde elde edilen gerinim değerleri Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te, çerçeve desteksiz kompozit numune için ise bu değerler Tablo 4.15'te verilmiştir.

Analiz ve deney sonuçlarında elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, 0,0006 mm/mm-0,0011 mm/mm arasında değişen bir farklılık olduğu anlaşılmış olup, oluşan bu

farklılıkların deneyin yapıldığı düşük hızlı darbe testi cihazının kalibrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.13. Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak analiz ve deney sonucunda çerçevelerde oluşan gerinim değerleri

Numune	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Analiz sonucunda çerçevede oluşan gerinim (mm/mm)	Deney sonucunda çerçevelerde oluşan gerinim (mm/mm)
Çerçeve Destekli	9	3	0,0030	0,0019
Çerçeve Destekli	9	5	0,0025	0,0019
Çerçeve Destekli	25	3	0,0023	0,0012
Çerçeve Destekli	25	5	0,0020	0,0012

Tablo 4.14. Kare sayısı ve cidar kalınlığına bağlı olarak analiz ve deney sonucunda çerçeve içerisindeki kompozitte oluşan gerinim değerleri

Numune	Sahip olduğu çerçevenin kare sayısı (Adet)	Sahip olduğu çerçevenin cidar kalınlığı (mm)	Analiz sonucunda çerçeve içerisindeki kompozitte oluşan gerinim (mm/mm)	Deney sonucunda çerçeve içerisindeki kompozitte oluşan gerinim (mm/mm)
Çerçeve Destekli	9	3	0,0070	0,0046
Çerçeve Destekli	9	5	0,0053	0,0035
Çerçeve Destekli	25	3	0,0060	0,0040
Çerçeve Destekli	25	5	0,0044	0,0029

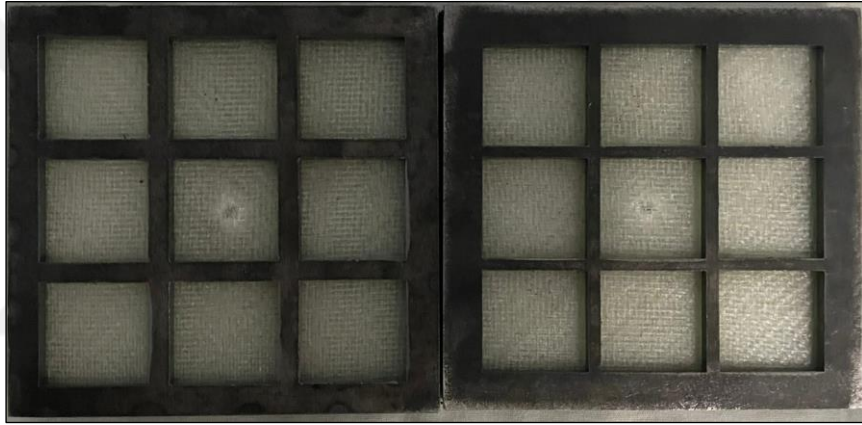
Tablo 4.15. Analiz ve deney sonucunda çerçeve desteksiz kompozitte oluşan gerinim değerleri

Numune	Analiz sonucunda kompozitte oluşan gerinim (mm/mm)	Deney sonucunda kompozitte oluşan gerinim (mm/mm)
Çerçeve Desteksiz	0,0084	0,0049

4.3.6. Hasar bölgesi analizi

Deney sonrası darbeye maruz bırakılan numunelere çıplak gözle yapılan incelemede, delinme, delaminasyon ve nüfuziyet oluşmadığı, elle numunelere dokunulduğu zaman, çok düşük düzeylerde vurucunun temas ettiği yüzeylerde sehim meydana geldiği belirlenmiştir. Çerçeve destekli kompozit numunelerde meydana gelen sehimler 25 kareli numunelerde 9 kareli numunelere oranla daha az olduğu anlaşılmıştır. Çerçeve desteksiz kompozit

numunede oluşan sehım miktarının daha fazla olduğu görölmüşür. Vurucunun kompozit malzemeye çarptığı nokta merkez olarak alındığında, numuneler üzerinde daire şeklinde oluşan hasar izinin çapı; çerçeve destekli 9 kareli numunelerde 3 mm, 25 kareli numunelerde 2 mm ve çerçeve desteksiz kompozit numunede ise 4 mm olarak ölçölmüşür. Ölçölen bu değler ışığında, en az hasar izinin 25 kareli çerçeve desteğine sahip kompozit numunelerde oluştuğu görölmüşür. Çerçeve desteksiz kompozit numunede görölen hasar izinin çapı 25 kareli çerçeve desteğine sahip kompozit numunede görölene göre 2 kat daha fazladır. Buda, çerçeve desteğinin kompozit numunelerin dayanımına katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'ün incelenmesinden de görölebileceğı gibi, numunelerin alt tabakalarında çatlama meydana gelmemiştir. Numuneler yapılan deneyler sonucunda başarısızlığa uğramamıştır.



Şekil 4.62. 9 kareli 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numunede darbe sonrası görüntüsü



Şekil 4.63. 25 kareli 3 ve 5 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit numunede darbe sonrası görüntüsü



Şekil 4.64 Çerçeve desteksiz kompozit numunede darbe sonrası görüntüsü

4.3.7. Alansal yoğunluk (kg/m^2) – absorbe edilen toplam kinetik enerji (J) arasındaki ilişki

Deneyde, üzerinde çalışılan numunelerin ağırlık ve yüzey alanları dikkate alınarak, alansal yoğunluk değerleri hesaplanmış ve çerçeve destekli kompozit numune tarafından absorbe edilen toplam kinetik enerji değerleri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bu amaçla, hesaplanan alansal yoğunluk değerleri ile daha önce belirlenen çerçeve destekli ve çerçeve desteksiz kompozit malzeme tarafından absorbe edilen toplam kinetik enerji değerleri Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablodaki değerler incelendiğinde, çerçevelerin ve içerisindeki kompozit numunelerin aynı malzemelerden imal edildiğinden dolayı alansal yoğunluk değerleri kare sayısı ve cidar kalınlıkları farklı olsa da birbirine çok yakın değerler olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, aynı kare sayısına sahip çerçeve destekli kompozitlerde alansal yoğunluk değerleri azaldığında, absorbe edilen kinetik enerji değerlerinde de azalma olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan, deneyde kullanılmayan fakat sonlu eleman analizi yapılmış olan numuneler için de hesaplanan alansal yoğunluk değerleri ile daha önce belirlenen çerçeve destekli kompozit malzeme tarafından absorbe edilen toplam kinetik enerji değerleri Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.16. Deneyde kullanılan numunelerin alansal yoğunluk ve absorbe edilen kinetik enerji değerleri

Numune	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Alansal yoğunluk (kg/m ²)	Absorbe edilen toplam kinetik enerji (J)
Çerçeve Destekli	9	3	25,9	3,750
Çerçeve Destekli	9	5	25,7	3,350
Çerçeve Destekli	25	3	25,4	1,850
Çerçeve Destekli	25	5	25,2	1,680
Çerçeve Desteksiz	-	-	2,7	3,950

Tablo 4.17. Deneyde kullanılmayan numunelerin analizde elde edilen değerlere göre hesaplanan alansal yoğunluk ve absorbe edilen kinetik enerjileri

Numune	Kare sayısı (Adet)	Cidar kalınlığı (mm)	Alansal yoğunluk (kg/m ²)	Absorbe edilen toplam kinetik enerji (J)
Çerçeve Destekli	9	0,1	25,4	3,897
Çerçeve Destekli	9	0,3	25,6	4,089
Çerçeve Destekli	9	0,5	25,8	4,373
Çerçeve Destekli	25	0,1	25,2	3,722
Çerçeve Destekli	25	0,3	25,0	2,982
Çerçeve Destekli	25	0,5	25,0	2,835

5. SONUÇ

Bu çalışmada 9 ve 25 kare yapılı, kareler arasında farklı cidar kalınlıkları olacak şekilde tasarlanan çerçeveye desteklenmiş kompozit numunelerin ve çerçeve desteksiz kompozit numunelerin, ANSYS sonlu analiz programında ve laboratuvarında deney cihazında ayrı ayrı düşük hızlı darbe testi altında göstermiş oldukları davranışlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kare sayısındaki ve kareler arası cidar kalınlıklarındaki değişime bağlı olarak çerçeve ve çerçeve içerisindeki kompozit plaka ile çerçeve desteksiz kompozit plakanın stres, strain, alansal yoğunluğa göre absorbe edilen kinetik enerji ve hasar alanı yönünden değerlendirilmiştir.

Çerçeve desteğinin sahip olduğu kare sayısındaki ve cidar kalınlıklarındaki değişim, çerçevede oluşan deformasyonu ve gerinimi etkilemiştir. Çerçevenin sahip olduğu kare sayısının artması ile birlikte karenin boyutları küçülmüştür. Bu sebepten dolayı çarpma sonucu çerçevede oluşan deformasyon geniş bir alana yayılarak, daha fazla karesel yapının etkilenmesine neden olmuştur. Bununla birlikte çerçevenin sahip olduğu kare sayısının artması ve kare boyutlarının küçülmesi, çerçevede oluşan deformasyonun ve gerinimin azalmasını sağlamıştır. Kareler arasındaki cidar kalınlıklarında meydana gelen artış, çerçevede oluşan deformasyonun ve gerinimin azalmasına neden olmuştur. Çerçeve desteği içindeki kompozit malzemede oluşan deformasyon ve gerinim, çerçevenin sahip olduğu kare sayısının artmasıyla birlikte azalmıştır. Kare sayısının artmasından kaynaklı kare boyutlarının küçülmesi, çarpma sonucu kompozit malzemede oluşan deformasyon alanının azalmasına sebep olmuştur.

Çerçeve desteğindeki kare sayısındaki ve cidar kalınlıklarındaki değişim, çerçevede oluşan gerilmeyi etkilemiştir. Çerçevenin sahip olduğu kare sayısının artması ile birlikte karenin boyutları küçülmüştür. Bu sebepten dolayı çarpma sonucu çerçevede oluşan gerilme geniş bir alana yayılarak, daha fazla karesel yapının etkilenmesine neden olmuştur. Başka bir deyişle kare sayısının artması ile birlikte, çarpma sonucu daha fazla karesel bölge gerilmeye maruz kalmıştır. Bununla birlikte, kareler arası cidar kalınlığının sabit tutulup kare sayısının artırılması sonucunda, 3 mm cidar kalınlığına kadar gerilme değerlerinde artış oluşmuş, 3 mm'den sonra ise çerçevenin gerilme tutma özelliğini kaybetmeye başlamasından dolayı azalmıştır. Çerçevenin sahip olduğu kare sayısı sabit tutulup cidar kalınlığı artırıldığında, çerçevede oluşan gerilme değerleri çerçevenin gerilme tutma özelliğini kaybetmeye başlamasından dolayı azalmıştır.

Numunelerin alansal yoğunluk değerleri, kare sayısı ve cidar uzunlukları farklı olsa da birbirine çok yakın değerler olarak hesaplanmıştır. Çerçevenin sahip olduğu kare sayısı ve kareler arası cidar kalınlıkları azaldığında, çerçeve destekli kompozitlerde alansal yoğunluk değerleri ve absorbe edilen kinetik enerji değerleri azalmıştır. Absorbe edilen kinetik enerjideki bu azalmanın bir diğer sebebi de çerçevenin sahip olduğu kare sayısının ve kareler arası cidar kalınlıklarının artmasına bağlı olarak, çerçeve ve çerçeve içindeki kompozit malzemede oluşan gerinim değerlerinin azalmasıdır. Çerçeve tarafından absorbe edilen kinetik enerji ele alındığında, 9 kareli çerçevede cidar kalınlığı 3 mm'nin üzerine çıktığında, 25 kareli çerçevede ise cidar kalınlığı 0,5 mm'nin üzerine çıktığında çerçeve desteğinin absorbe ettiği kinetik enerji değerlerinin azalmaya başladığı görülmüştür. Çerçeve tarafından absorbe edilen en yüksek kinetik enerji değeri oranının 25 kareli 0,3 mm ve 3 mm cidar kalınlıklarına sahip çerçevelerde olduğu gözlemlenmiş olup, bu değer % 36 olduğu görülmüştür.

Çerçeve desteği olmayan kompozit malzemeye 10 J' lük bir darbenin uygulandığı yere yakın bölgede deformasyonun daha fazla olduğu, darbe uygulanan bölgeden kenarlara doğru gidildikçe ise bu deformasyonun azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, darbe etkisi altında herhangi bir delinme olmadığı görülmüştür. Von-mises stres değerlerinin ise, kompozit malzemenin altında, vurucunun çarptığı bölgede, daha yoğun olduğu görülmüştür.

Analiz ve deney sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, 25 kareli 3 mm cidar kalınlığına sahip çerçeve destekli kompozit malzeme düşük hızlı darbe etkisi altında istenilen mukavemeti gösteren geometrik yapı olarak belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçların ışığı altında, farklı geometrik yapı içeren çerçeve desteklerin, çevreden gelen darbelere karşı dayanımlarının çerçevesiz kompozit malzemelere nazaran daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Ortaya konulan sonuç, çalışmanın başında belirlenmiş olan tez hipotezini doğrulamıştır. Bu sonuç ülkemizde gelişmekte olan savunma, havacılık ve uzay sanayilerinde, geçmiş dönemlere nazaran daha yaygın kullanılan kompozit malzemeler üzerinde yapılabilecek başka çalışmalara veya geliştirmelere ışık tutacaktır.

Destek olarak kullanılan çerçevenin geometrisi veya cidar kalınlığı ayarlanarak, alansal yoğunluk değerlerini çok yükseltmeden darbe dayanımına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Kareli grid yapıya sahip çerçevelerde, kare sayısının ve cidar kalınlıklarının artmasıyla birlikte kare grip alanları azalmakta, çarpma alanları küçülmekte, grid yapı enerji emilimi

sağlandığından dolayı çerçevede deformasyon ve gerinim azalması görülmektedir. Bu sonuç hipotezi doğrulamaktadır.

Araştırmada elde edilen sonuçlar grid yapının çevreden gelen etkilere karşı çerçeve dayanımını arttırdığı, çarpma etkisi sonucu oluşan kinetik enerjiyi grid yapının şekline bağlı olarak farklı oranlarda absorbe ettiğini, içindeki kompozit malzemeyi çarpma etkilerine karşı güçlendirdiği ortaya konulmuştur. Farklı grid yapıya sahip çerçevelerin ve içerisindeki kompozit malzemelerin farklı çarpma etkileri karşısında gösterdikleri davranışlarının incelenmesi suretiyle araştırmanın genişletilmesinin, savunma sanayi için önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- [1] S. Gülmez, “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler,” Tezsiz Yüksek Lisans Projesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, 2018.
- [2] B. Akçay, “Bor Karbür ve Alumina Seramik Zırh Plakaların Mekanik ve Balistik Özelliklerinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye, 2020.
- [3] Y. Şahin, “Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları ve Özellikleri,” *Mühendislik Alanında Teknolojik Gelişmeler*, İstanbul, Türkiye, Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları, 45/2020, pp. 679-713, [Online]. Available: <https://www.research-gate-.net>
- [4] F. Yastımoğlu and A. Özkan, “Tekrarlanan Yükler Altında Kompozit Malzemelerin Yapılarının İncelenmesini Amaçlayan Deney Aygıtı Tasarımı”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, sayı. 1, pp 56-66, 2017.
- [5] R. Hosseinzadeh, M. M. Shokrieh, and L. Lessard, “Damage Behavior Of Fiber Reinforced Composite Plates Subjected To Drop Weight Impacts,” *Composite Science and Technologies*, vol. 66, pp. 61-68. January 2006, doi:10.1016/j.compscitech.2005.05.025
- [6] M. Kaplan. “Kompozit Üretim Yöntemleri.” BLOGSPOT.com. <http://www.tekstil-teknik.blogspot.com/p/kompozit.uretim.yontemleri-html> (Accessed: March 10, 2020).
- [7] A. Işık, “Kompozit Malzemedan İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yükü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.

- [8] H. Akbulut, S. Karadayı, F.A. Shishevan, and V. Acar, “Cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Nümerik Analizi,” *Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, Bayburt, Türkiye, Ekim 22-23, 2015.
- [9] A. K. J. Al-Shamary, R. Karakuzu, and O. Özdemir, “Low-Velocity Impact Response of Sandwich Composites with Different Foam Core Configurations,” *Journal of Sandwich Structures and Materials*, vol.18, pp. 754-768. Nov. 2016, doi: 10.1177/1099636216653267
- [10] M. A. Azmi, H. Z. Abdullah, and M. I. Idris, “Properties of polyurethane foam/coconut coir fiber as a core material and as a sandwich composites component,” *2nd International Conference on Mechanical Engineering Research (ICMER 2013)*, Kuantan, Pahang, Malaysia, July 1–4, 2013
- [11] M. Bosco, K. Palanikumar, B. D. Prasad, ve A. Velayudhamd, “Influence of machining parameters on delamination in drilling of GFRP-armour steel sandwich composites,” *Chemical, Civil and Mechanical Engineering Tracks of 3rd Nirma University International Conference (NUICONE 2012)*, Ahmedabat, İndia, 2013, pp. 758-763.
- [12] V. Ceyhun and M. Turan, “Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, vol. 44, no. 516, pp. 35-41, June 2017, doi: 10.19113/sdufbed.727.32
- [13] M. Çakır and B. Berberoğlu, “E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış ile Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi,” *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 5, no. 3, pp. 734-740, September 2018, doi: 10.31202/ecjse.415482
- [14] Ü. Esendemir and A. Y. Caner, “Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 22, no. 1, pp. 207-215, June 2017, doi: 10.19113/sdufbed.727.32

- [15] N. Kılıç, “Development of Multi-Layer Ballistic Armor Panel with Simulation and Ballistic Tests,” Ph. D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Marmara University Institute For Graduate Studies In Pure and Applied Sciences, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [16] B. Kıyak, “Karbon Fiber Kompozit Çekirdekli Sandviç Levhaların İmalatı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, Türkiye, 2017.
- [17] P. C. Onyechi, S. O. Edelugo, E. O. Chukwumuanya, and S. P. N. Obuka, “Ballistic Penetration Response Of Glass Fibre Reinforced Polyester (Gfrp) Composites: Body Amour,” *International Journal Of Scientific & Technology Research*, vol. 3, no. 8, pp. 226-237, August 2014.
- [18] A. Öndürücü and A. Karacan, “Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışlarının Deneyisel Olarak İncelenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 435-447, July 30, doi: 10.21923/jesd.363292
- [19] U. Potoğlu, “Sandviç Kompozit Plakların Darbe Davranışları,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2012.
- [20] E. Sözen, G. Gündüz, and E. İmren, “Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif Ve Kompozit. Malzemeler,” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 18, no. 2, pp. 194-204, December 2016, doi: 10.24011/barofd.267.304
- [21] İ. Türkmen and N. S. Köksal, “Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde (CTP) Elyaf Tabaka Sayısına Bağlı Mekanik Özelliklerin ve Darbe Dayanımlarının İncelenmesi,” *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 17-30, June 2016.

- [22] J. W. Wall, “An Investigation of The Ballistic Impact Resistance of Modified 2x1, Four-Step, Three-Dimensionally Braided Composites with Axial Reinforcement,” M.S.thesis, Department of Textile and Apparel, Technology, and Management, Graduate Faculty of North Carolina State University, Carolina, USA, 2002.
- [23] N. Yumak, Y. Pekbey, and K. Aslantaş, “Zırh Tasarımında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Deformasyon Karakteristiğinin Araştırılması,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 10, no. 4, pp. 1-21, Nov. 2013.
- [24] İ. Yapıcı and A. Yapıcı, “E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerde Düşük Hızlı Darbe Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi,” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 48-60, July 2016, doi: 10.28948/ngumuh.239.393

