



**3 BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK ÜRETİLEN BAL
PETEĞİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN MEKANİK
PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI**

Eyüp ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

KASIM-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**3 BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK ÜRETİLEN BAL PETEĞİ SANDVIÇ
KOMPOZİTLERİN MEKANİK PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYÜP ÇELİK

(161120101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Temmuz 2019
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Kasım 2019

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ (FIRAT Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ (İNÖNÜ Ü.)

Prof. Dr. Mete Onur KAMAN (FIRAT Ü.)

KASIM - 2019

ÖNSÖZ

Her zaman her konuda destek veren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca değerli zamanlarını bana ayıran bilgi, tecrübe ve değerli katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Mete Onur KAMAN' a ve Sayın Öğretim Üyesi Dr. Mustafa GÜR' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Üç nokta eğilme deneylerinde İnönü Üniversitesi laboratuvar imkânlarını kullanmama imkân sağlayan Sayın Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ' e teşekkürlerimi sunarım

Basma deneylerinde Sabancı Üniversitesi laboratuvar imkânlarını kullanmama imkân sağlayan Sayın Süleyman ÇELİK' e teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda destek veren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli ağabeyim Dr. Ümit Çelik' e ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan desteklerini esirgemeyen değerli eşim Şükran Çelik'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan çalışmanın yararlı olması temennisiyle.

Eyüp ÇELİK

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. ERGİYİK BİRİKTİRME YÖNTEMİ	6
2.1. 3D Yazıcılar	7
2.2. 3 Boyutlu Üretim.....	8
2.3. 3 Boyutlu Yazıcı Çalışma Prensibi	8
2.4. 3D Yazıcı Teknolojileri.....	9
2.5. 3D Yazıcıların Tarihi	9
2.6. 3D Yazıcı Uygulamaları	9
2.7. 3D Yazıcılar ile Hızlı Modelleme Makineleri Arasındaki Farklar	10
2.8. 3D Yazıcılarda Kullanıma Uygun Hammaddeler	10
2.9. ABS Filament.....	11
2.10. PLA Filament	11
2.11. ABS Ve PLA Filament Karşılaştırılması	12
3. KOMPOZİT MALZEMELER	13
3.1. Kompozit Malzeme	13
3.1.1. Matris Fazı.....	13
3.2.2. Takviye (fiber) fazı.....	14
3.2. Kompozit Malzemenin Geçmişi	14
3.3. Kompozitlerin Kullanım Alanları	15
3.4. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	15
3.5. Kompozit Malzemelerin sınıflandırılması	16
3.5.1. Takviye Elemanının Şekli ve Yerleşimine Göre Kompozitler.....	16
3.5.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler	16

3.5.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler	17
3.5.1.3. Karma Kompozit Malzemeler	17
3.5.1.4. Tabakalı Kompozit Malzemeler	18
3.5.1.5. Sandviç kompozitler	19
3.5.1.6. Bal Peteği Sandviç Kompozitler	19
3.5.1.7. Bal Peteği Sandviç Kompozit Üretim Yöntemleri	22
3.5.1.7.1. Uzatarak Şekil Verme Yöntemi	22
3.5.1.7.2. Kıvrırma Metodu	22
3.5.1.7.3. Bal Peteği Kompozit Panel Tipleri ve Kullanım Alanları	24
4. MATERYAL VE METOT	27
4.1. Petek Yapıya Sahip Kompozit Levhaların Üretimi	27
4.2. Basma Deneyi	30
4.3. Üç Nokta Eğilme Deneyi	32
4.4. Sonlu Eleman Analizleri	34
4.4.1. Basma Deneyleri İçin Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi	34
4.4.2. Üç Nokta Eğilme Deneyleri İçin Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi	36
5. SONUÇ	39
5.1. Basma Deneyi Sonuçları	39
5.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi Sonuçları	58
5.4. Sıcaklık ve Basınç Altında Üretilen Numunelerin Üç Nokta Eğilme Deneyi Sonuçları	73
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	85
KAYNAKÇA	87
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

Hücresel kompozitlerde altıgen petek yapıda boşluklara sahip petek hücre yapılı kompozit levhaların yüksek enerji sönümleme kabiliyeti, hafiflik, yüksek kayma ve eğilme rijitliği, ses yalıtımı ve yüksek korozyon dayanımı özellikleri nedeniyle havacılık ve diğer endüstri dallarında kullanımı artmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada altıgen petek (bal peteği) yapılı sandviç kompozitlerin basma ve üç nokta eğilme kuvveti etkisi altındaki davranışları sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Kompozit levhaların yüzey örtüsü tabakalı kompozitten (polyester/cam fiber) üretilmiş olup petek hücrelerin üretiminde ABS ve PLA gibi 2 farklı özelliğe sahip termoplastik malzeme kullanılmıştır. Sandviç yapıların çekirdek kısmının üretimi üç boyutlu (3D) yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3 farklı hücre boyutuna ve 3 farklı hücre yüksekliğine sahip petek yapılı sandviç numuneler aksel basma ve üç nokta eğilme deneyine maruz bırakılmıştır. Basma ve üç nokta eğilme davranışlarının deneysel tespitinden sonra aynı sınır şartları için Ansys Workbench paket programı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bal peteği hücre yüksekliğinin artmasına bağlı olarak basma dayanımının azaldığı eğilme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Artan hücre boyutuna bağlı olarak her iki yükleme durumu içinde numune mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Basma deneylerinde maksimum dayanım minimum hücre boyutu ve minimum hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik malzeme yapılı numunede elde edilmiştir. Üç nokta eğilme deneylerinde maksimum eğilme dayanımı minimum hücre boyutu ve maksimum hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik malzeme yapılı numunede elde edilmiştir.

Ansys Workbench paket programı kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlarla uyumlu olarak tespit edilmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sonucunda PLA malzemenin ABS malzemeye göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bal Peteği, 3D, Sandviç Kompozitler, Üç Nokta Eğilme, Basma, ABS, PLA

SUMMARY

Investigation of Mechanical Performance of Honeycomb Sandwich Composites

Produced By Using A 3D Printer

Because of the high energy damping ability, lightness, high slip and bend rigidity, sound insulation and high corrosion resistance properties of honeycomb cell composite sheets with hexagonal honeycomb structure gaps in cellular composites, their use is increasing in aerospace and other industries.

In this study, the behavior of hexagonal honeycomb sandwich composites under the influence of compression and three-point bending force was studied numerically and experimentally. The surface cover of composite sheets is made of layered composite (polyester/glass fiber) and thermoplastic materials with 2 different properties such as ABS and PLA are used in the production of honeycomb cells. The production of the core part of sandwich structures was carried out using a three-dimensional (3D) printer. Honeycomb sandwich samples with 3 different cell sizes and 3 different cell heights were subjected to axial compression and three-point bending experiments. After experimental determination of compression and three-point bending behaviors, numerical analysis was performed using the ANSYS Workbench package program for the same boundary conditions. As a result of the experiments, it was observed that the pressure resistance decreased due to increased honeycomb cell height but the bending strength increased. Due to increased cell size, sample strength decreased in both loading states. The maximum strength was obtained in the sample of PLA thermoplastic material with minimum cell size and minimum cell height. In three - point bending experiments, maximum bending strength was obtained in a sample of PLA thermoplastic material with minimum cell size and maximum cell height. The results obtained from the numerical work performed using the ANSYS Workbench package program were obtained in accordance with the results obtained from the experimental studies. As a result of experimental and numerical studies, it was determined that PLA material has superior mechanical properties compared to ABS material.

Keywords: Honeycomb, 3D, Sandwich Composites, Three Point Bending, Compression, ABS, PLA

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. EBY Sisteminin çalışma prensibi	6
Şekil 2.2. 3D Yazıcı	7
Şekil 2.3. 3D yazıcı çalışma prensibi	8
Şekil 2.4. 3D yazıcı ile üretilmiş insan kafatası	10
Şekil 2.5. 3D yazıcı filament çeşitleri	11
Şekil 2.6. ABS filament örneği	11
Şekil 2.7. PLA filament örneği.....	12
Şekil 3.1. Kompozit malzeme.	13
Şekil 3.2. Matris fazı ve takviye fazı temsili resmi	14
Şekil 3.3. Elyaf takviyeli kompozit malzeme	17
Şekil 3.4. Partikül Takviyeli Kompozit Malzeme	17
Şekil 3.5. Karma kompozit malzeme.	18
Şekil 3.6. Tabakalı kompozit malzeme [28].	19
Şekil 3.7. Sandviç kompozit [29].	19
Şekil 3.8. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi [2].	20
Şekil 3.9. Bal peteği geometrisi [2]	21
Şekil 3.10. Nomex, kevlar, alüminyum ve termoplastik bal petekleri [26].	21
Şekil 3.11. Uzatarak şekil verme metodu ile petek hücre imalatı [2].	22
Şekil 3.12. Kıvrırma metodu ile petekli yapı hücre imalatı [2].	23
Şekil 3.13. Özel işleme maruz bırakılmış petek yapılı kompozitler [2].	23
Şekil 3.14. Alüminyum petek yapılı kompozit levha [26].	24
Şekil 3.15. Polipropilen petek yapılı kompozit panel [26].	25
Şekil 4.1. Ergiyik biriktirme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi	27
Şekil 4.2. Petek hücre ile kompozit levhaların yapıştırılması	28
Şekil 4.3. Katılaşma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen basma deneyi numuneleri	29
Şekil 4.4. Katılaşma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen üç nokta eğilme deneyi numuneleri	29
Şekil 4.5. Basma deney numuneleri	30

Şekil 4.6. Numune boyutları ve yükleme koşulları [30].	30
Şekil 4.7. Zwick Roell Z100 (100 kN) çekme/basma test cihazı	31
Şekil 4.8. H=7 mm hücre boyutu ve T=30 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhanın basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	32
Şekil 4.9. Üç nokta eğilme deney numuneleri	32
Şekil 4.10. Üç nokta eğilme deneyi numune boyutları ve yükleme koşulları	33
Şekil 4.11. Shimadzu (100 kN) çekme/basma test cihazı	33
Şekil 4.12. Solidworks'de çizilen basma deney tasarımı	35
Şekil 4.13. Ansys Workbench ile oluşturulmuş basma deney düzeneği	35
Şekil 4.14. Solidworksde çizilen üç nokta eğilme deney tasarımı	36
Şekil 4.15. Ansys Workbench ile oluşturulmuş üç nokta eğilme deney düzeneği	37
Şekil 4.16. Sayısal analizlerde kullanılacak olan deplasman miktarı	38
Şekil 5.1. H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	39
Şekil 5.2. H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	40
Şekil 5.3. H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	41
Şekil 5.4. H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	42
Şekil 5.5. H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	43
Şekil 5.6. H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği	44
Şekil 5.7. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel maksimum kritik burkulma yükleri	45
Şekil 5.8. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel maksimum kritik burkulma yükleri	46
Şekil 5.9. H=7 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum kritik burkulma yükleri	47
Şekil 5.10. H=14 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel ve teorik maksimum kritik burkulma yükleri	48

Şekil 5.11. H=25 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel ve teorik maksimum kritik burkulma yükleri	49
Şekil 5.12. H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği.....	58
Şekil 5.13. H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği.....	59
Şekil 5.14. H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği.....	60
Şekil 5.15. H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği.....	61
Şekil 5.16. H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği.....	62
Şekil 5.17. H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği.....	63
Şekil 5.18. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum eğilme kuvvetleri ve deplasman miktarları	64
Şekil 5.19. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların hücre boyutuna karşı deneysel ve sayısal deplasman miktarları	65
Şekil 5.20. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların hücre boyutuna karşı deneysel ve sayısal maksimum eğilme kuvvetleri	66
Şekil 5.21. Fırınlama işlemi esnasında sıcaklıktan dolayı çarpılan hücre duvarı.....	74
Şekil 5.22. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların yük-yer değiştirme grafiği	75
Şekil 5.23. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların yük-yer değiştirme grafiği	76
Şekil 5.24. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm, H=25 mm hücre boyutuna ve T=25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların yük-yer değiştirme grafiği	77

Şekil 5.25. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların deneysel maksimum eğilme kuvvetleri	78
Şekil 5.26. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların deneysel maksimum eğilme kuvvetleri	79
Şekil 5.27. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm, H=25 mm hücre boyutu ve T=25 hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların deneysel maksimum eğilme kuvvetleri	80



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. ABS ve PLA filament karşılaştırılması	12
Tablo 4.1. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri	34
Tablo 4.2. Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları	36
Tablo 4.3. Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları	37
Tablo 5.1. SEY ve deneysel maksimum kritik burkulma yük değerleri	50
Tablo 5.2. H =7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	51
Tablo 5.3. H =14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	52
Tablo 5.4. H =25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	53
Tablo 5.5. H =7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	55
Tablo 5.6. H =14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	56
Tablo 5.7. H =25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	57
Tablo 5.8. H =7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	68
Tablo 5.9. H =14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	69
Tablo 5.10. H =25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	70
Tablo 5.11. H =7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	71
Tablo 5.12. H =14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları	72

Tablo 5.13. H =25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları.....	73
Tablo 5.14. Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış PLA termoplastik petek yapılı numunelerin maksimum eğilme kuvveti	81
Tablo 5.15. Fırınlanmamış ve fırınlanmış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları.....	82
Tablo 5.16. Fırınlanmamış ve fırınlanmış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları.....	83
Tablo 5.17. Fırınlanmamış ve fırınlanmış ABS termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları	84

KISALTMALAR LİSTESİ

EBY	: Ergiyik Biriktirme Yöntemi
ABS	: Akrilonitril-Butadien-Stiren
PLA	: Polilaktik Asit
Tg	: Camsı geçiş sıcaklığı
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi



1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler günümüz mühendislik uygulamalarında kullanılan temel bileşenlerden birisidir. Kompozit malzemelerin birçok mühendislik uygulamasında kullanılmasının nedeni düşük ağırlığa karşın yüksek mukavemet göstermesidir. Kompozit malzeme iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulur. Kompozit malzemeler farklı mühendislik uygulamaları için uyarlanabilir [1].

Düşük ağırlık ve yüksek mukavemetin istendiği uygulamalarda sandviç kompozit malzemeler tercih edilir. Oldukça hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına petekli yapılar yerleştirilir [2]. Bal peteği kompozit yapıların alt ve üst yüzeyleri kompozit levhalarla kaplanarak sandviç kompozit levhalar elde edilir [3].

Üretim sürecinin zor ve pahalı olması nedeniyle bal peteği yapıların mekanik davranışlarının belirlenmesi zor bir durumdur. Bal peteği yapıların kullanılması için mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir [4].

Mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için basma, darbe, soyulma, eğilme, çekme testleri yaygın olarak yapılmaktadır [3,4].

Bal peteği kompozit levhaların basma mukavemetlerinin iyi olmasına karşın eğilme ve kesme mukavemetlerinin iyi olmadığı hasarın uygulanan yüke bağlı olarak genelde yapışma noktalarından ayrılma şeklinde meydana geldiği bilinmektedir [5].

Galleti ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada petek yapılı kompozit levhalar eğilmeye maruz bırakılarak kompozit levhalarda meydana gelen hasar tiplerini ve eğilme mukavemetlerini araştırmışlardır. Numunelerde meydana gelen hasar oluşumunun alt ve üst tabakanın yüzey örtüsünün mekanik dayanımının aşıldığı durumlarda oluştuğunu gözlemlemişlerdir [6].

Fiedler ve Öchsner tarafından yapılan bir çalışmada farklı hücre modelindeki sandviç yapıların eğilme mukavemetlerini incelemişlerdir. Bu yapıların eğilme mukavemetlerini ve numunelerde meydana gelen hasar modellerini belirlemişlerdir. Sandviç yapılarda hücre malzemesi olarak; petek, alüminyum, köpük ve küre şeklinde boşluklu metal yapılar tercih etmişlerdir [7].

He ve Hu gerçekleştirdikleri bir çalışma sonucunda petek yapılı kompozit levhalarda alt ve üst tabaka ile çekirdek hücre ağırlık oranlarının %50 – 66.7 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu ağırlık oranı aralığında üretilen numunelerin eğilme mukavemetleri ile teoriksel değerler arasındaki sonuçların uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [8].

Othman ve Barton, dinamik ve statik çarpma kuvveti etkisinde bulunan petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen hasar başlangıcı ve hasarın ilerlemesini incelemişlerdir. Sandviç levhaları üç nokta eğilme deneyine maruz bırakarak levhaların taşıyabileceği yükü, enerji absorbe edebilme özelliği ve oluşacak olan hasar mekanizmalarını belirlemişlerdir. Etkili hasar tiplerini; kuvvet temas yüzeyi etrafında basınç hasarı, hücre duvarı ezilmesi ve alt ve üst tabakada çekme hasarı olarak belirtmişlerdir [9].

Davalos ve arkadaşları, gerçekleştirdiği bir çalışmada sinüzoidal petek yapıya sahip fiber takviyeli bal peteği kompozit kirişlerde meydana gelen burulmayı incelemişlerdir. Burulma kuvvetine maruz kalan fiber takviye edilmiş polimer sandviç kirişleri analitik, nümerik ve sayısal olarak araştırmış ve üç yöntemle elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğunu belirlemişlerdir [10].

Chen ve diğerleri, yaptıkları bir çalışmada ileri sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bal peteği sandviç yapıların rijitliği ve mukavemeti üzerine inklizyonların ve deliklerin etkisini incelemişlerdir. Inklizyonların bal peteği sandviç yapıların rijitliğinin ve mukavemetinin üzerine çok az bir etkiye sahip olduğunu, deliklerin ise sıkışma modülünü ve hidrostatik akma mukavemetini yüksek miktarda düşürdüğünü belirtmişlerdir [11].

Arslan ve Kaman tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada alüminyum, polyester reçine emdirilmiş cam elyaf ve kâğıt petek hücreli kompozit levhalar üretmiştir. Ürettikleri bal peteği sandviç kompozitlerin, maksimum dayanımlarını, kırılma ve deformasyon değerlerini ve enerji absorbe edebilme özelliklerini basma ve çarpma kuvvetleri altında deneysel olarak belirtmişlerdir. Petek yapıya sahip hücrelerin farklı hücre boyutu ve hücre malzemesi seçimini birlikte ele alıp, uygun değerleri belirtmişlerdir [12].

Balawi ve Abot, bal peteği yapıların relativ yoğunluğunun bal peteği yapının düzlem elastisite modülü üzerine etkilerini üç nokta eğilme ve kayma deneyleri yaparak araştırmışlardır. Relativ yoğunluk için çift hücre duvarı doğrultusunda malzeme davranışının daha iyi olduğunu belirlemişlerdir [13].

Solmaz ve Topkaya tarafından yapılan bir çalışmada elipsoit petek yapıya sahip sandviç levhaların maksimum kritik burkulma yük değerlerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmalarında alüminyum ve bakır olmak üzere 2 farklı petek malzemesi ve 6 farklı petek boyutu kullanılarak 12 farklı sandviç numune elde ederek kritik burkulma yük değerlerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde etmişlerdir [14].

Solmaz ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada bal peteği sandviç levhaların petek hücre boşluklarına köpük ilave edilerek köpüğün kritik burkulma yük değerine etkisini sonlu elemanlar yöntemi ile belirtmişlerdir. Sonuç olarak hücre boşluklarına ilave edilen köpüğün kritik burkulma yük değerini arttırdığını belirtmişlerdir [15].

Solmaz ve Kaman yaptıkları bir çalışmada bal peteği sandviç yapılarda köpük dolgusunun maksimum kritik burkulma yüküne etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 4 farklı hücre boyutu ve yüksekliğine sahip numune üretmişlerdir. Sonuç olarak en ince hücre duvarı kalınlığına sahip olan (0.05 mm) köpüklü levhaların ağırlığında ortalama %95'lik artış oranına karşılık, maksimum kritik burkulma yük değerlerinde ortalama %160 artış elde edilirken, en kalın hücre duvarına sahip olan numunelerde (0.15 mm) ortalama %45 ağırlık oranı artışına karşılık kritik burkulma yükü artışı ortalama %32 olarak belirtmişlerdir [15].

Arslan ve Güneş tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada petek sandviç yapıların Al6061 / B4C FGM yüzey plakalarına sahip, 0.30 kalibrelik parçaya simüle edilmiş mermi darbesini simüle eden yüksek hızlı darbe davranışı bir tekli gaz tabancası ile incelemişlerdir. Örneklerin darbe testi sonuçlarını hasar ve deformasyon mekanizmaları açısından değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak FGM yüzey plakalarının malzeme bileşimi varyasyonunun, hasar modları, enerji emme kapasitesi ve sandviç yapının darbe dayanımı için oldukça etkili bir parametre olduğunu ve bal peteği çekirdeğinin, sandviç yapının enerji emme kapasitesine katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir [16].

Zhang ve diğerleri yarı statik kombine sıkıştırma–kesme yüküne maruz kalan alüminyum yapıli peteklerin mekanik davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında 3 farklı hücre konfigürasyonu ve 3 farklı yükleme açısı kullanmışlardır.

Özellikle yükleme açısının normal yüzey gerilmesine olan etkisini gösteren bir model önermişlerdir [17].

Khoshravan ve Pour tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada bal peteği sandviç levhaların hücre eksenli boyunca basma kuvvetine karşı göstermiş olduğu mukavemeti deneysel ve sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelenmiştir. Sonuç olarak hücre boyutunun azalması ve hücre duvarı kalınlığının artması bal peteği yapıların basma mukavemet değerlerini arttırdığını görmüşlerdir [18].

Xie ve Zhou tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada alüminyum bal peteği çekirdek yapısının ezilme davranışını sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel, sonlu elemanlar analiz yöntemi ve polinom yüzey cevap yöntemi arasındaki sonuçları sayısal olarak hesaplayıp kıyaslamışlardır. Sonuç olarak kalınlık arttıkça ve boy azaldıkça bal peteği yapıların enerji absorbe yeteneğinin arttığını gözlemlemişlerdir [19].

Hong ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada alüminyum 5052-H38 bal peteği yapıları sandviç yapıların ezilme mukavemetlerini yarı-statik basma deneyleri ile incelenmiştir. Yaptıkları deneylerin sonuçlarında dikey eksenle yapılan yüklemenin yatay eksenle yapılan yükleme göre 9 kat daha fazla mukavemetli olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak bal peteği yapıları basma ya karşı mukavemetleri yüksek iken kaymaya karşı mukavemetleri zayıftır [20].

Nia ve Sadeghi tarafından yapılan bir çalışmada köpük dolgunun bal peteği yapıları etkisini eksenel basma deneyi ile incelenmiştir. Petek malzemesi olarak alüminyum 5052-H39'u kullanmışlardır. Sonuç olarak köpük dolgunun ezilme mukavemetini %300 arttırdığını gözlemlemişlerdir [21].

Jiang ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada çekirdek yapının köpükten üretildiği sandviç kompozitlerin hasar tiplerini üç nokta eğilme testi ile analitik metotla incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda yüzey malzemesi hasarı, çekirdek kayma hasarı ve çökme gibi hasar tiplerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Teorik analizlerin sonuçlarını yorumlayabilmek için üç nokta eğilme testlerini de gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak analitik yöntem ile elde edilen hasar tipleri ve maksimum kritik hasar yükünün deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu görmüşlerdir [22].

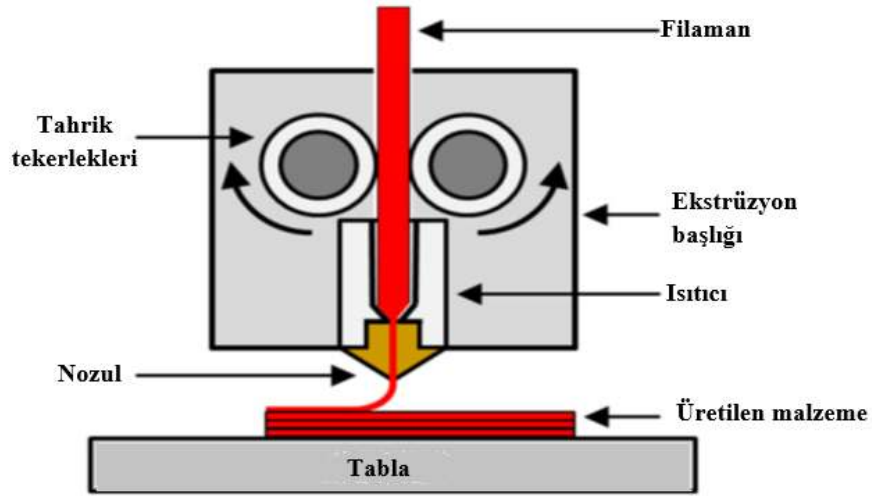
Shi ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada bal peteği sandviç kompozitlerin çekirdek yapısına alüminyum takviyeler yapmış ve üç nokta eğilme deneyi ile bu takviyelerin eğilme mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak takviye yapılan numunelerin daha ağır olduğu özgül mukavemet, enerji emme ve hasar yük değerlerinin takviyesiz olanlar göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir [23].

Kowalska ve arkadaşları gerçekleştirdikleri bir çalışmada bal peteği sandviç yapıları numunelerin eğilme davranışlarını üç nokta ve dört nokta eğilme deneyi ile incelemişlerdir. Sonuç olarak bal peteği sandviç yapıların maruz bırakıldığı sehim miktarı arttıkça yük değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir [24].

Gerçekleştirilen literatür araştırmalarında üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen bal peteği kompozit levhaların basma ve üç nokta eğilme deneylerine rastlanmamıştır. Sunulan bu çalışmada üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen bal peteği sandviç kompozitlerin basma ve eğilme yükü altındaki mekanik performansları araştırılmıştır.

2. ERGİYİK BİRİKTİRME YÖNTEMİ

Modern hızlı prototiplemede kullanılan Biriktirmeli Üretim (Additive Manufacturing) yöntemlerinin gelişimi 1980'lere dayanmaktadır. Akrilonitril-butadien-stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA) gibi termoplastik polimerlerin piyasaya sürülmesinden sonra Biriktirmeli Üretim Yöntemlerinin alt başlıklarından biri olan Ergiyik Biriktirme Yöntemi (EBY) ile üretimde kullanılabilir hale gelmiştir. Tipik bir Ergiyik Biriktirme Yönteminde termoplastik polimer hammaddesi filament şeklinde üretilir ve camsı geçiş sıcaklığının (Tg) üstünde ısıtılır ve bir nozülde akıtılır. Akıtılan polimer filament ardışık olarak istiflenen katmanlar şeklinde biriktirilerek bilgisayar tarafından tasarlanmış 3B nesneler bir tabla üzerinde oluşturulur. Baskı işlemi sadece kolay ve hızlı olmakla kalmaz aynı zamanda geleneksel döküm ve kaynak tekniklerine meydan okuyan egzotik topolojik yapılar da Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile üretilebilmektedir. Şekil 2.1'de EBY Sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. EBY Sisteminin çalışma prensibi [25].

EBY metodu ile içi boş kabuk şeklinde ürünler ile tasarlanan yapıda iç boşluklar ağ şeklinde doldurularak üretilebilir. Bu metot ile çok parçalı, hareketli mekanizmalar ve karmaşık parçalar üretilebilir. EBY metodu ile üretim sonucunda hafif ve dayanımlı parçalar tasarlanıp üretilebilmektedir. Çoğu düşük maliyetli masaüstü 3D yazıcılar, üretim süreci olarak EBY'yi kullanmaktadır. EBY, ekstrüde edilmiş termoplastik filamentlerin ayrı

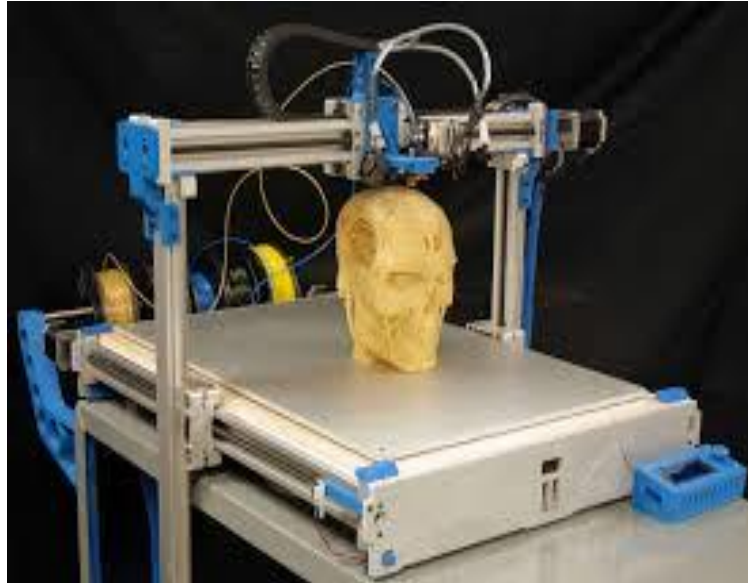
katmanlarını bir araya getirerek bir 3D geometri oluşturur. EBY üretim süreci, prototiplerin hızla üretilmesi için kullanışlıdır ve bazı durumlarda işlevsel bileşenler üretmek için kullanılabilir.

2.1. 3D Yazıcılar

3D yazıcı bir bilgisayar yardımı ile modelinmiş ve ya 3D olarak taranmış parçaları, birçok farklı ham maddeyi kullanarak hızlı ve fazladan bir kalıba gerek duyulmadan üretim yapan bir cihazdır.

EBY teknolojisini kullanarak çalışan 3D yazıcılar çoğunlukla ABS ve PLA gibi termoplastik polimerden üretilmiş malzemeleri kullanmaktadır. Filament şeklindeki malzeme yüksek sıcaklığa sahip bir nozül yardımı ile eritilerek katmanlar halinde üst üste yığılarak elde edilir.

3D yazıcılar ile üretim gerçekleştirebilmek için 3D bir tasarıma gerek duyulmaktadır. 3D tasarım çiziminde kullanılan yazılımlardan bazıları, Auto CAD, Solid Works, Google Sketchup, Rhino3D'dir. Bu tasarım programları ile tasarlanan tasarımlar STL dosya uzantısına dönüştürülerek 3D yazıcılar ile üretilir. Şekil 2.2' de 3D yazıcı temsili resmi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 3D Yazıcı

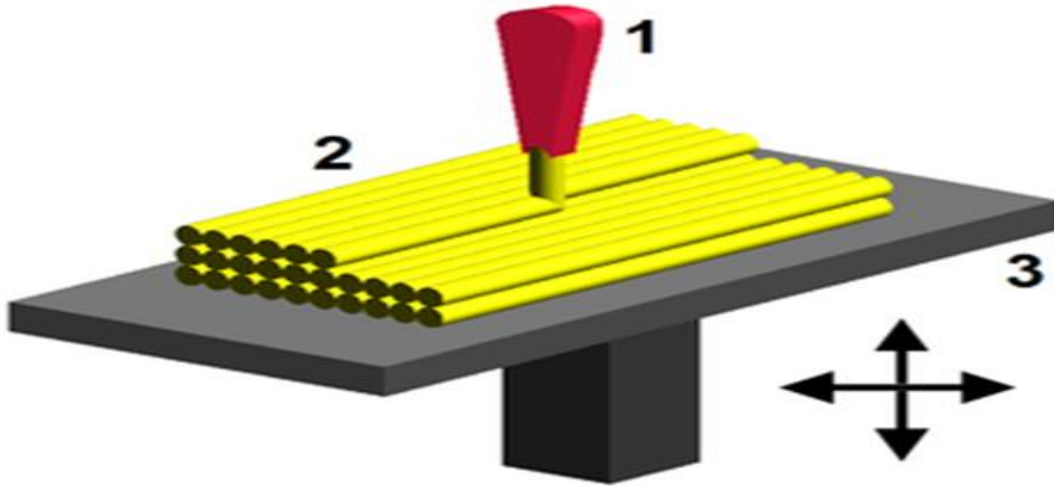
2.2. 3 Boyutlu Üretim

3 boyutlu üretim, tabla üstü üretim ya da İngilizce "additive manufacturing" katkısız üretim olarak bilinen bir imalat tekniğidir. Hızlı prototipleme olarak da bilinen bu teknoloji 3 boyutlu bilgisayar modelini gerçek objeye dönüştürür. 3D sayısal model STL uzantısına dönüştürülerek 3D yazıcıya yollanır ve 3D yazıcı yollanan modeli katman katman üreterek gerçek nesneye dönüştürür.

2.3. 3 Boyutlu Yazıcı Çalışma Prensibi

3D yazıcı, üst üste yığılma yöntemi ile çalışmaktadır. Baskı için genellikle termoplastik materyal olan filament kullanılır.

Baskı işlemi uygulamaya başlanmadan önce nozulun ısıtılması gerekmektedir. Bunun nedeni eriyen filamentin 3D baskı ile üst üste yığılmasıdır. Filamentin düzgün bir biçimde dağılabilmesi için kafadan çıkarken yüksek sıcaklıkta erimesi gerekir. Bu yüksek sıcaklıkta kafadan çıkan filament tablaya yayılır yayılmaz katılaşır ve donar. Bütün katmanların üst üste yığılması ile tasarım tamamen katı formda üretilmiş olur. Şekil 2.3' de 3D yazıcı çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2.3. 3D yazıcı çalışma prensibi

2.4. 3D Yazıcı Teknolojileri

3D Yazıcılar birçok farklı teknolojiyi kullanabilmektedir. Teknolojiler arasında bulunan farklılık genellikle katmanların nasıl üretildiği ile ilgilidir.

3D yazıcıların kullanabildiği birkaç teknolojiyi vermek gerekirse, Seçici Lazer Sinterleme - SLS (Selective Laser Sintering), FDM (Fused Deposition Modelin), Stereolithography günümüzde yaygın olarak kullanılan 3D yazıcı teknolojileri arasındadır.

3 Boyutlu yazıcı teknolojisi (3D Printing) 3 boyuta sahip modellerin 3 boyutlu dijital datalarından yararlanılarak üretilmesine dayanan bir metottur. Bu yöntemde geleneksel olan talaş kaldırma yönteminden farklı olarak parçada talaş kaldırmaya yönelik değil malzemeyi üst üste eklemeye yönelik bir teknolojidir.

Bu yöntem genel olarak ABS ve PLA vb. plastik tasarım ya da model üretimindeki bu teknoloji 10 yılda hızlı bir ivme yakalayarak bünyesine seramik ve metal gibi diğer 2 ana malzemeyi de eklemiştir.

2.5. 3D Yazıcıların Tarihi

1984 yılında Charless Hull ilk 3D yazıcı teknolojisini bulmuştur. Yeni bir sektör olarak 3 boyutlu sistem 1986 yılında ortaya çıkmıştır. İlerleyen yıllarda bu sistem hızla gelişip Amerika’da renkli 3D sistemi ile ilk baskı alınmıştır. İlk olarak 2005 senesinde başlayıp 2007 senesinde Reprap projesi ile 3D yazıcılar hayatımıza girmiştir.

2.6. 3D Yazıcı Uygulamaları

3D yazıcılar genellikle medikal sektöründe kullanılmaktadır. Tıp doktorları ameliyat öncesi hastaya uygulanacak işlemleri tam olarak belirleyebilmek için 3D yazıcı ile üretilmiş organ modellerini kullanırlar. Şekil 2.4’de 3D yazıcı ile üretilmiş bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.4. 3D yazıcı ile üretilmiş insan kafatası

2.7. 3D Yazıcılar ile Hızlı Modelleme Makineleri Arasındaki Farklar

3D yazıcılar, hızlı modellemede kullanılan cihazların basite indirgenmiş halleridir. 3D yazıcılar ucuz olmasına karşın hız ve çözünürlük açısından performansları hızlı modelleme cihazlarına göre daha düşüktür.

Hızlı modelleme makinaları havacılık ve otomotiv sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak 3D yazıcılar hızlı prototipleme cihazlarına göre küçüktür ve az yer kaplar. Büyük endüstriyel parçalar yerine küçük hobi amaçlı parçalar üretimine uygundur. Hızla gelişen 3D yazıcılar hızlı prototipleme cihazları ile yarışabilecek özelliklere sahip olmuşlardır.

2.8. 3D Yazıcılarda Kullanıma Uygun Hammaddeler

Katmanlı üretim (Additive Manufacturing) teknolojisini kullanan 3D yazıcılar, filamentleri eritip katmanları üst üste yığarak ortaya 3 boyutlu, gerçek bir nesne çıkarırlar. 1,75 mm ve 3mm olmak üzere 2 farklı çapa sahip filament bulunmaktadır. Farklı özelliklere sahip birçok filament çeşidi bulunmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan filament PLA ve ABS iken; bakır, bronz, seramik, ahşap, bambu hatta sıvı reçine hammadde olarak kullanılabilir. Şekil 2.5’ de 3D yazıcı filament çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 2.5. 3D yazıcı filament çeşitleri

2.9. ABS Filament

ABS (Akrilonitril bütadien stiren) petrol türevli termoplastik plastiktir. Sağlam mekanik özelliklere sahip olan ABS ısıtmalı bir platforma ihtiyaç duyar. ABS filamentin uygun baskı sıcaklığı ise 250-260 °C derecedir. Günümüzde sıkça kullanılan filamentlerden biridir. Şekil 2.6' da ABS filament örneği görülmektedir.



Şekil 2.6. ABS filament örneği

2.10. PLA Filament

PLA (Polilaktik Asit) mısır bazlı bir bioplastik olarak bilinmektedir. Canlı sağlığı açısından bir zararı olmadığından günümüzde 3D yazıcı kullanıcıları tarafından sıkça tercih edilen bir filament çeşididir. Geri dönüşüm özelliği olan PLA filament gübre olarak da kullanılmaktadır. Baskı esnasında uygun üretim sıcaklığı 180-220 °C arasındadır.

PLA filament geniş renk seçeneğine uygun modelleri vardır. Şekil 2.7’ de PLA filament örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.7. PLA filament örneği

2.11. ABS Ve PLA Filament Karşılaştırılması

ABS ve PLA filamentlerin karşılaştırılması Tablo 2.1’ de verilmiştir

Tablo 2.1. ABS ve PLA filament karşılaştırılması

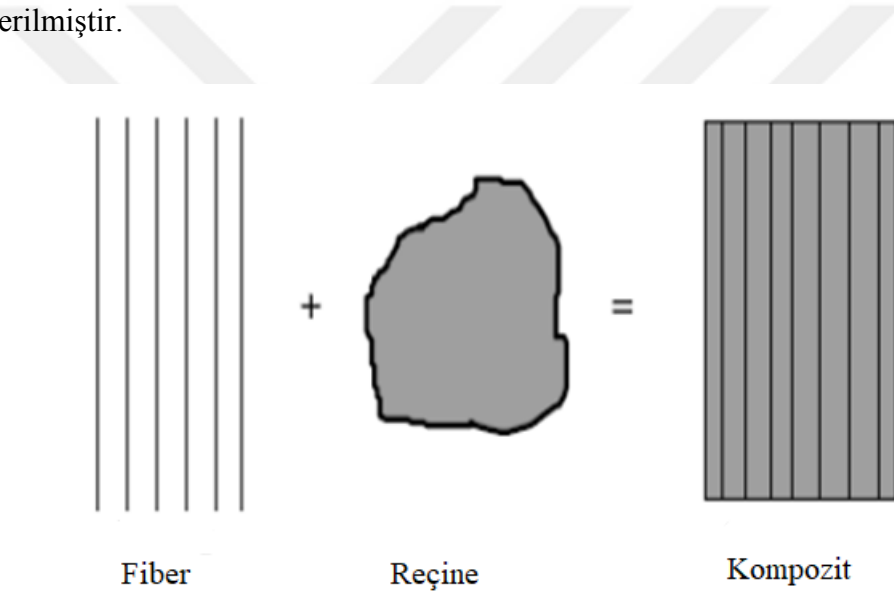
	ABS	PLA
Tam Adı:	Akrilonitril bütadien stiren	Polilaktik asit ya da poliaktid
Malzeme:	Petrol bazlı	Bitki bazlı (genellikle mısır, soya tohumu, vb.)
Özellikler:	Esnek, Dayanıklı, Güçlü	Sert, güçlü
Ekstruder Sıcaklığı:	205-245°C	70-225°C
Fiyat:	80 TL/kg	90 TL/kg
Kokusu:	Petrol bazlı olduğu için kokar.	Rahatsız edici kokmaz

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Kompozit Malzeme

İki ya da daha fazla sayıdaki, aynı ya da farklı gruptaki bileşenlerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde bir araya gelmesi ile oluşan malzemelere kompozit malzeme denir.

Kompozit malzeme, genellikle düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matriks ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından meydana gelir. Şekil 3.1’ de kompozit malzeme temsili resmi ile gösterilmiştir.



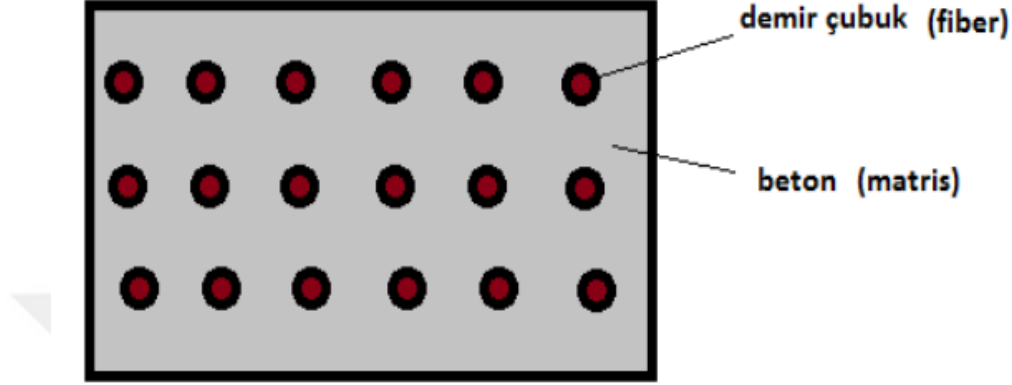
Şekil 3.1. Kompozit malzeme [26].

3.1.1. Matris Fazı

Sürekli ve ana fazdır. Takviye elemanını bir arada tutar ve kuvveti paylaşır.

3.2.2. Takviye (fiber) fazı

İkinci fazdır ve matrisin dayanım ve rijitliğini artırır. Şekil 3.2’de matris fazı ve takviye fazı temsili resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Matris fazı ve takviye fazı temsili resmi [26].

3.2. Kompozit Malzemenin Tarihçesi

İnsanoğlu, geçmişten günümüze sert malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak sertlik özelliğini azaltmaya uğraşmıştır. Bu konudaki en iyi örnek kerpiçtir. Kerpiç imalatında, killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler kerpiğin mukavemetini artırmaktadır.

Hidrolik bağlayıcı ve elyaf malzeme kullanılarak yapılan taş plakaların üretim yöntemi hakkında 19. yy başlarında alınmış patentler bulunmaktadır. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllarca kullanılmış ve bu gün hala kullanılmaktadır.

Yurdumuzda “fiber-glass” olarak tanınan bu malzeme, 1960’lı yıllardan beri sıvı tankları, çatı levhaları, küçük boy deniz tekneleri gibi elemanların üretiminde halen kullanılmaktadır. Yurdumuzda seri imalatı yapılmış olan ilk yerli otomobil “Anadol”un kaportası da cam elyaf takviyeli kompozitlerden yapılmıştır.

3.3. Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozit levhaların kullanım alanlarından bazıları aşağıda verilmiştir;

- Uzay teknolojisi,
- Denizcilik sektörü,
- Sağlık,
- Robotik sektörü,
- Kimya endüstrisi,
- Elektrik-Elektronik alanı,
- Müzik aletlerinde,
- İnşaatlar ve yapı sektöründe,
- Savunma ve Havacılık,
- Gıda ve Tarım Sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

3.4. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzeme imalatında genel itibarı ile aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının oluşturulması istenmektedir. Bu özelliklerin bazıları,

- Yüksek mekanik dayanım, çekme, eğilme,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısıl direnç, şeklinde sıralanabilir.

Bu özellikler ile birlikte malzemenin birim maliyetinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. İstenilen bu duruma yönelik olarak kompozit malzemelerin üretiminde farklı yöntemler kullanılabilir. Tüm bu yöntemlerde değişmeyen temel neden, bileşenlerin zayıf taraflarının istenilen amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha iyi özelliklere sahip bir yapıyı elde etmeye yöneliktir.

3.5. Kompozit Malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris malzemelerine göre kompozitler ve takviye elemanının şekli ve yerleşimine göre kompozitler olmak üzere iki grupta sınıflandırılır.

Burada yapılan çalışmadan dolayı takviye elemanının şekli ve yerleşimine göre kompozit malzemeler açıklanacaktır.

3.5.1. Takviye Elemanının Şekli ve Yerleşimine Göre Kompozitler

Takviye elemanının şekli ve yerleşimine göre kompozitler 6 sınıfa ayrılmaktadır,

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Karma kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler

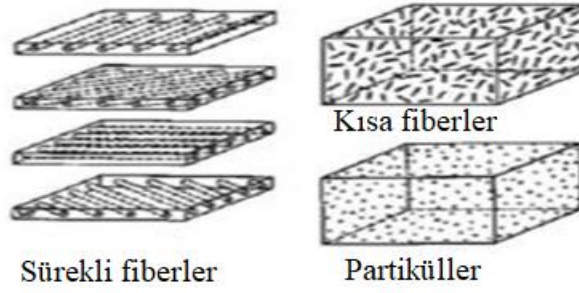
Sandviç kompozit malzemeler

Bal Peteği Sandviç Kompozitler

3.5.1.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler; yumuşak ve sünek matriks içine sert mukavemetli elastik özelliği yüksek elyaflar ilave edilerek elde edilir. Bu elastikliği yüksek elyafların ilavesi ile çekme mukavemetini, yorulma mukavemeti özelliklerini iyileştirilmektedir. Elyaf lar örme, şerit fitil ve tabakalar halinde olabilmektedir. Elyaf takviyeli kompozitin mikro-yapısal özelliği, elyafların uzun ve tek boyutlu olmasıdır. Elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf kuvvetleri taşıırken matrikste kuvvetleri elyafa iletir.

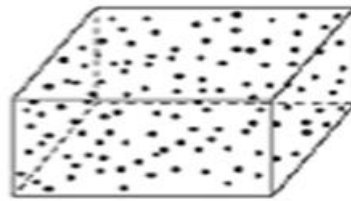
Şekil 3.3’de Elyaf takviyeli kompozit malzeme temsili resmi ile gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Elyaf takviyeli kompozit malzeme

3.5.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Tek veya iki boyutlu makroskobik parçacıkların veya sıfır boyutlu olarak bilinen mikroskobik parçacıkların matriks ile oluşturdukları malzemelerdir. Parçacık boyutu 1 μm 'den büyük ve elyaf hacim oranı %25'den fazla olmamalıdır. En sık kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC ' dür. Burada kuvvet, elyaf ve matriks tarafından birlikte taşınır. Bu kompozitler; metal, seramik ve polimerlerin birleştirilmesi ile oluşabilir. Şekil 3.4' de parçacık takviyeli kompozit malzeme gösterilmiştir.



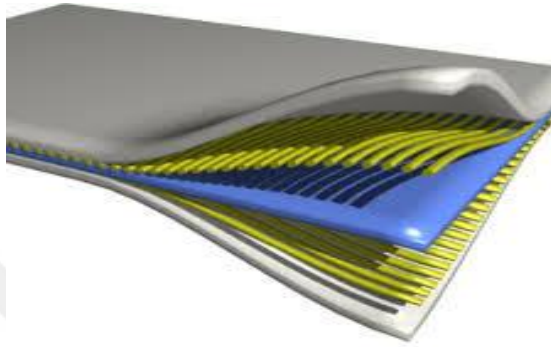
Parçacıklı kompozit

Şekil 3.4. Partikül Takviyeli Kompozit Malzeme

3.5.1.3. Karma Kompozit Malzemeler

Karma kompozit malzemeler; aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanı çeşidinin bulunduğu kompozit malzemedir. Bu kompozitler "hibrid kompozitler" olarak da bilinir. Bu alan farklı kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örnek

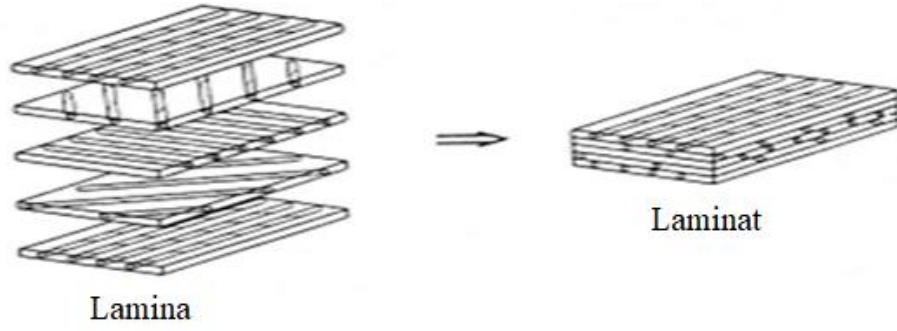
olarak, kevlar ucuz bir elyaf olmasına karşın basma mukavemeti zayıftır. Grafit ise; düşük tokluğa sahip, pahalı iyi basma mukavemetine sahip bir elyafıdır. İki farklı elyaf kullanılarak modellenen hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten yüksek olmaktadır. Şekil 3.5’ de karma kompozit malzeme görülmektedir.



Şekil 3.5. Karma kompozit malzeme [27].

3.5.1.4. Tabakalı Kompozit Malzemeler

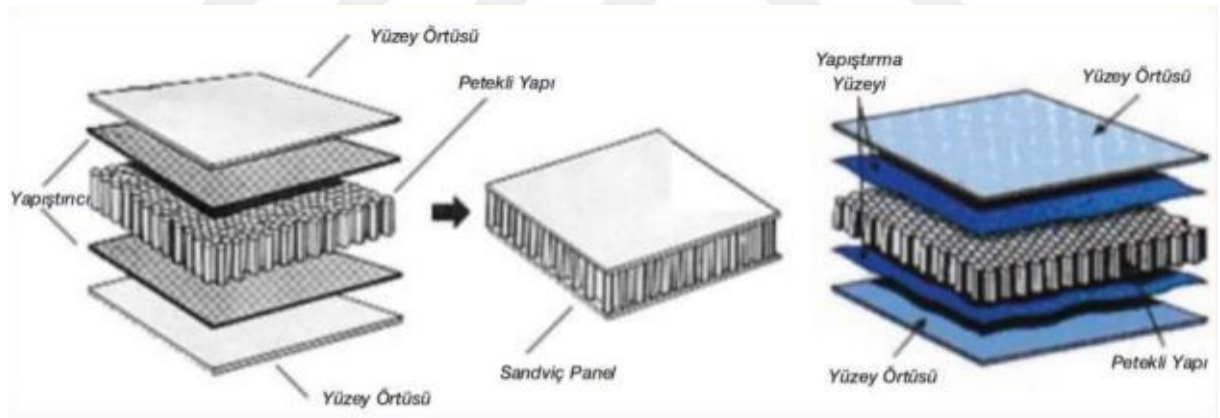
Tabakalı kompozitler, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit malzemelerdir. Farklı elyaf doğrultularına sahip tabakaların birleşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Isı ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafiftirler ve aynı zamanda mukavemetli olmaları sebebi ile tercih edilen kompozit malzemelerdir. Birçok tabakalı kompozit düşük maliyet, yüksek mukavemet ya da hafifliğini korurken, aşınma veya abrasiv aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısıl genleşme özelliklerine sahiptir. Fakat korozyon ve aşınma direnci gibi önemli özelliklerin birçoğu öncelikle kompoziti oluşturan elemanlardan birine bağlıdır. Şekil 3.6’ da tabakalı kompozit malzeme görülmektedir.



Şekil 3.6. Tabakalı kompozit malzeme [28].

3.5.1.5. Sandviç kompozitler

İki farklı tabaka arasına, farklı form ve farklı bir malzemenin araya konulması ile üretilen yapılara sandviç kompozit denir. Tabakaların her biri izotropik bir malzeme olabildiği gibi, fiber takviyeli bir tabaka da olabilirler. Şekil 3.7’ de sandviç kompozit malzeme görülmektedir.

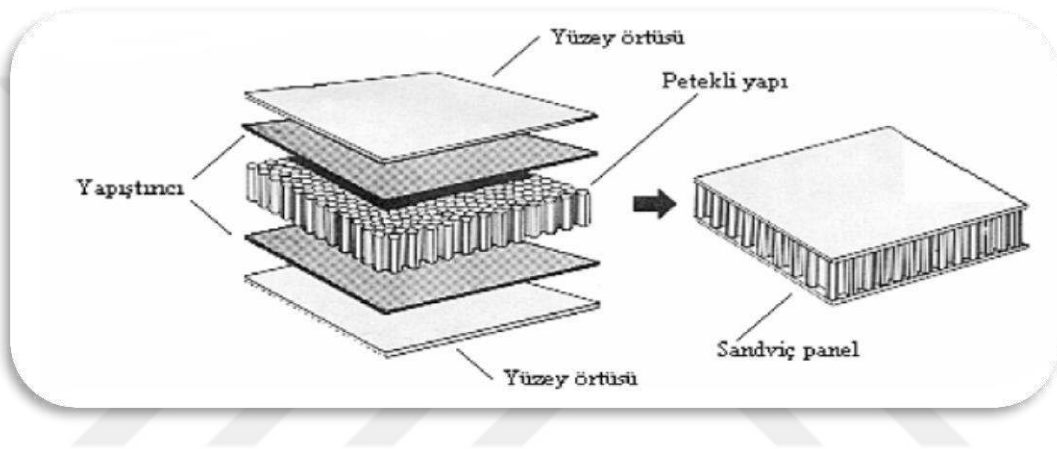


Şekil 3.7. Sandviç kompozit [29].

3.5.1.6. Bal Peteği Sandviç Kompozitler

Kompozit üretiminde kullanılan petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi ile elde edilen hücrelerin bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Bu tür yapılar bal arılarının doğal olarak ürettikleri bal petekleri ile birebir benzerlik göstermektedir.

Petekli yapıya sahip kompozitler 1940 yılından itibaren havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde kullanılmaya başlanmıştır. Petekli kompozit yapıların, özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjiyi absorbe edebilen yüksek mekanik dayanım gerektiren konstrüksiyonlar da kullanılmaktadır. Bal peteği sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli hücreler yerleştirilir. Tabakalar arasına petekli yapının ilave edilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme mukavemetinin artmasını sağlar. Şekil 3.8’ de Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi [2].

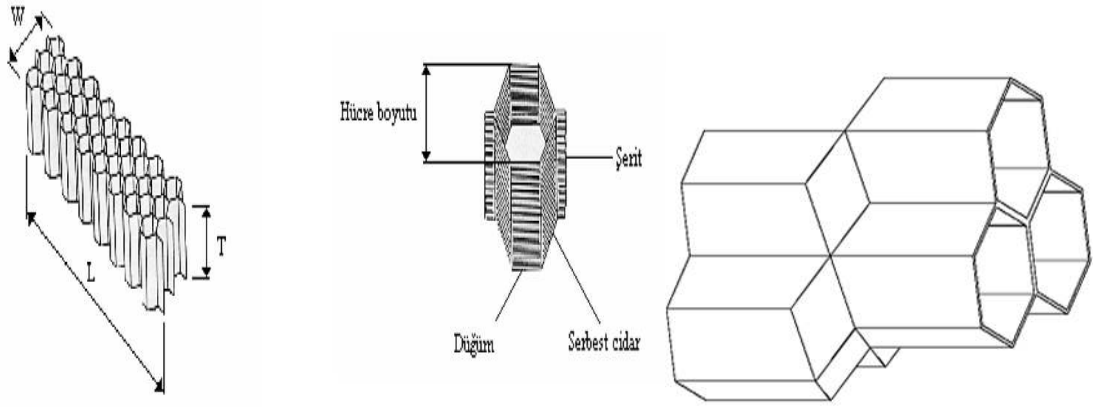
Bal peteği geometrisi hakkında kısa bir bilgi vermek gerekirse;

Petek yapıları hücrelerin boyutları, malzeme seçimi ile birlikte ele alınarak uygun değerlere ulaşılabilmektedir.

Yüzeyin altıgen geometriden oluşması, en küçük yüzey alanda en yüksek kaplamayı elde etmemizi sağlar.

Bu sayede altıgen yapı ile istenilen değerlere sahip kafes yapımı için en az malzeme kullanımı sağlanmaktadır

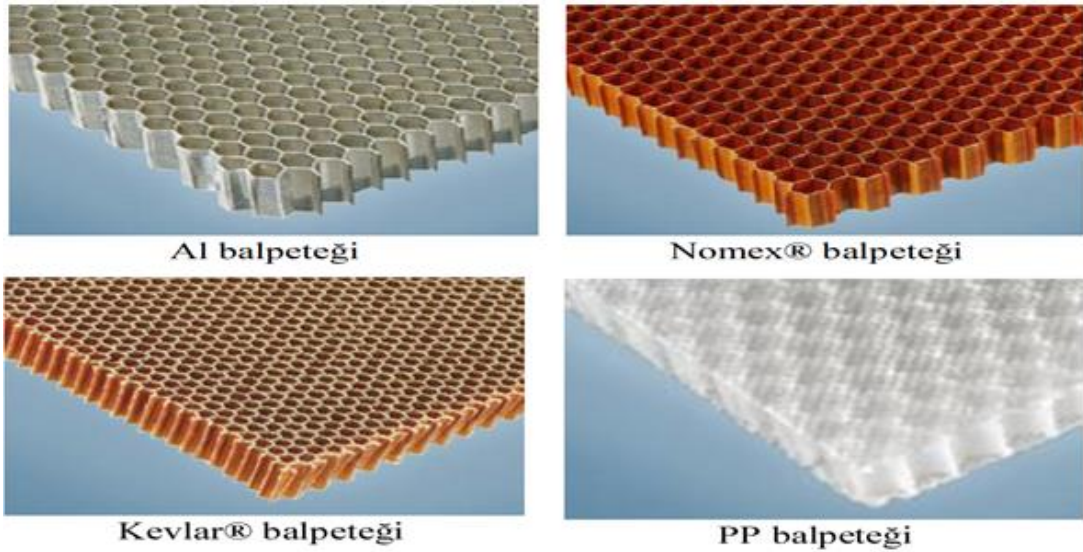
Bal peteği geometrisi Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Bal peteği geometrisi [2].

Bal Peteği (Honeycomb) Kompozit Yapılar Üç Şekilde Gruplandırılabilir:

- Uzay mekiği, uçak ve arabalarda kullanılan mekanik dayanımı fazla, korozyon direnci yüksek nomex ve kevlar bal petekleri
- Alev direnci yüksek, hafif ve yüksek verimli, gemilerde ve trenlerde kullanılan alüminyum alaşımlı bal petekleri.
- Kimyasal ve ekonomik açıdan avantajları olan termoplastik bal petekleri Nomex, kevlar, alüminyum ve termoplastik bal petekleri Şekil 3.10’ da gösterilmiştir.



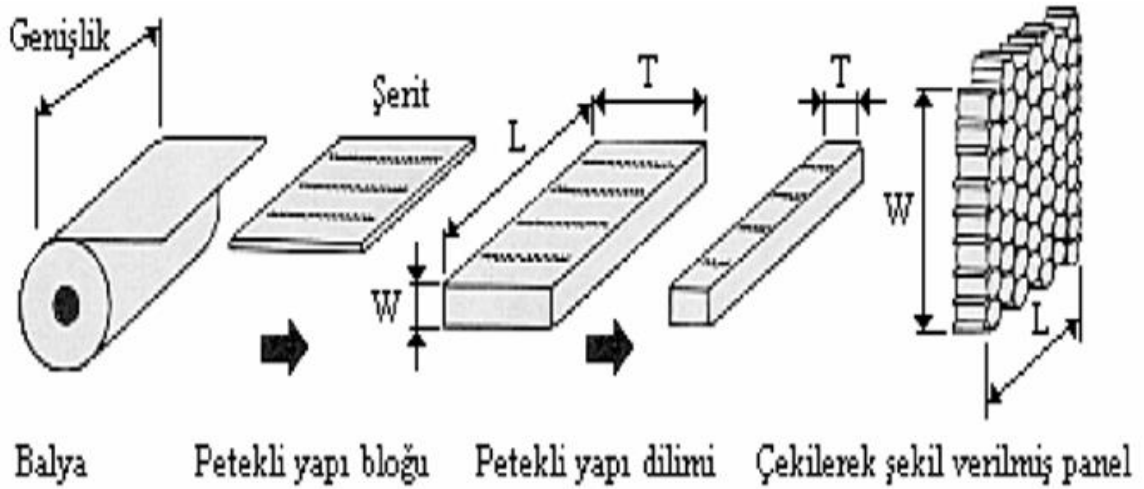
Şekil 3.10. Nomex, kevlar, alüminyum ve termoplastik bal petekleri [26].

3.5.1.7. Bal Peteği Sandviç Kompozit Üretim Yöntemleri

Petekli yapıların üretiminde genellikle uzatarak şekil verme ve kıvrırma yöntemi olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır. Diğer tekniklerde yaygın olarak kullanılan teknikler arasındadır.

3.5.1.7.1. Uzatarak Şekil Verme Yöntemi

Bu metot metal ve metal olmayan hücrelerin üretiminde kullanılmaktadır. Petek yapıları hücrelerin büyük bir kısmı bu teknikle üretilir. Bu metot genel olarak; şerit halinde levhaların kesilmesi ve yapıştırıcının sürülmesi, levhaların üst üste dizilmesi ve petekli yapı bloğun seçilen sıcaklıkta pres içerisinde işlenmesi aşamalarını içerir. Uzatarak şekil verme yöntemi ile petek hücre üretimi Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.

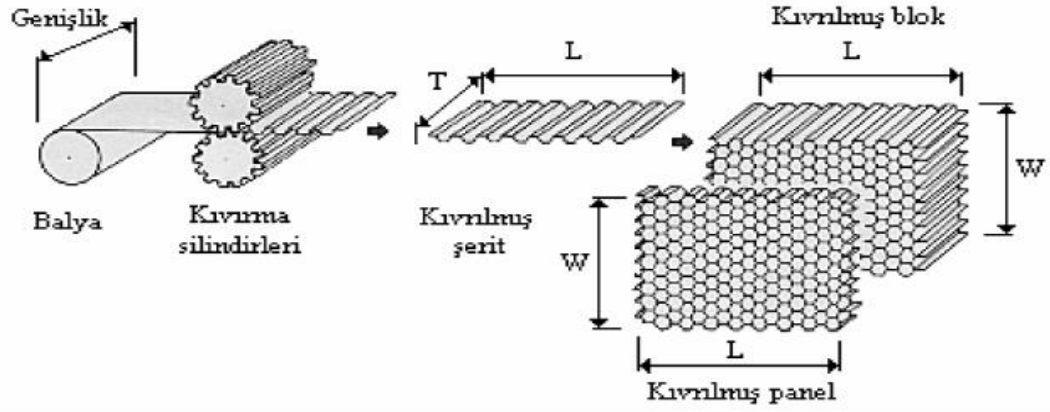


Şekil 3.11. Uzatarak şekil verme metodu ile petek hücre imalatı [2].

3.5.1.7.2. Kıvrırma Metodu

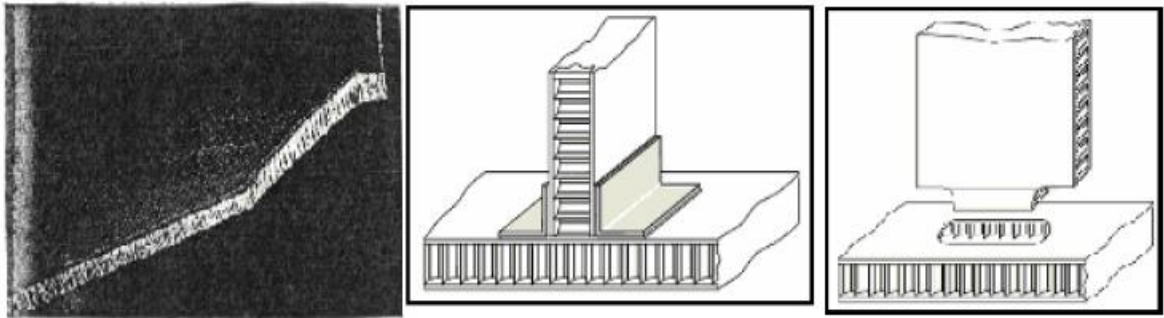
Bu metot yüksek sıcaklık etkisinde çalışan, et kalınlığı ve yoğunluğu çok olan petekli yapıların üretiminde tercih edilir. Bu metot da şerit levhalar istenilen biçimde kıvrılarak

düğüm noktalarına yapıştırıcı sürülür. Kıvrırma metodu ile petekli yapı hücre üretimi Şekil 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3.12. Kıvrırma metodu ile petekli yapı hücre imalatı [2].

Şekil verilmiş levhalar üst üste koyularak kıvrılmış blok seçilen sıcaklıkta bekletilir. İstenilen kalınlığa sahip dilimler bloktan kesilerek üretilir. İmalatı yapılan petekli yapılar kullanılacak yerin özellikleri de dikkate alınarak; temizleme(kenar tıraşlama), kesme, şekil verme ve ekleme işlemlerine de maruz bırakılır. Özel işleme maruz bırakılmış petek yapı kompozit örneği Şekil 3.13’ de verilmiştir.



Şekil 3.13. Özel işleme maruz bırakılmış petek yapı kompozitler [2].

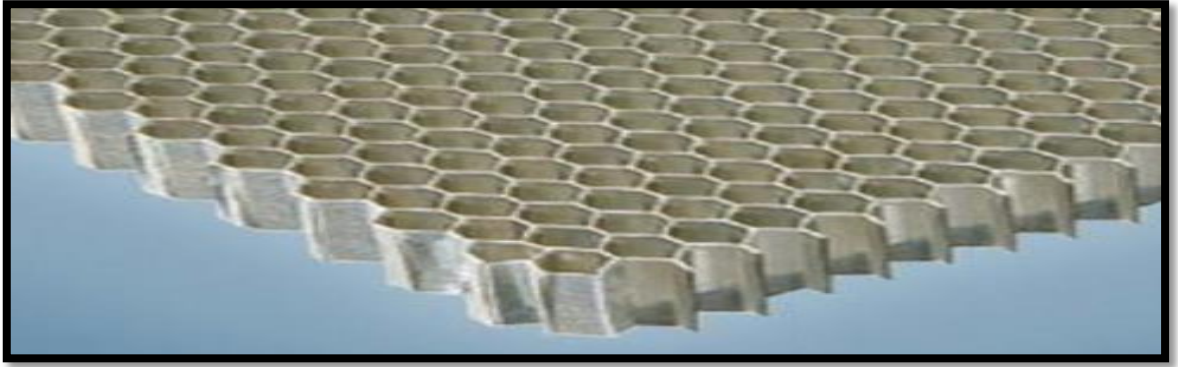
3.5.1.7.3. Bal Peteği Kompozit Panel Tipleri ve Kullanım Alanları

Alüminyum petek yapılı kompozit panel ve uygulama alanları;

Kullanım amacı ve ihtiyacınıza bağlı olarak farklı tiplerde kullanıma sunulur. Alüminyum petek yapılı kompozit panellerin özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Hafiftirler.
- Korozyon dirençleri yüksektir.
- Yüksek mukavemete sahiptirler.
- Mükemmel yüzey görünümüne sahiptirler.
- Yanmaya karşı dirençleri yüksektir.
- Kimyasal sıvılara karşı direnci yüksektir.
- Bakteri üretmezler.

Alüminyum petek yapılı kompozit levha Şekil 3.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Alüminyum petek yapılı kompozit levha [26].

Alüminyum petek yapılı kompozit levha uygulama alanları;

- Dış cephe kaplamalarında
- Mobilyalarda
- Islak mekânlarda (WC, Mutfak, Banyo vb.)
- Perde duvarlarında
- Havaalanlarında

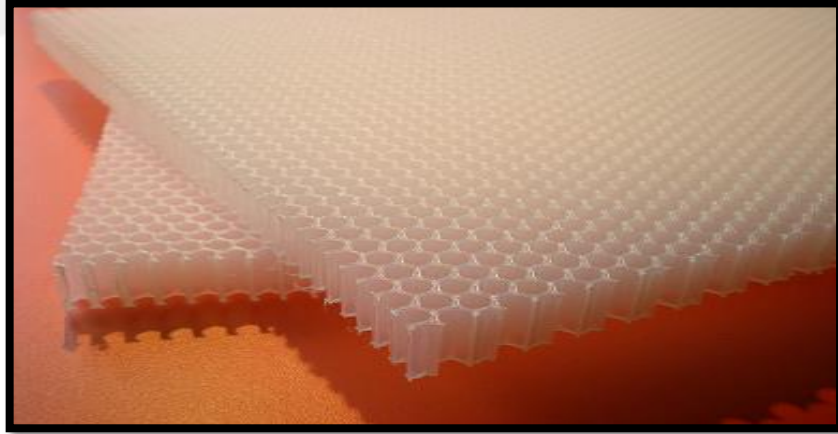
- Gemi güvertelerinde
- Atölyelerde
- Tezgâhlarda
- Levhalarda vb. yerlerde kullanımı mümkündür.

Polipropilen PP bal peteği kompozit levha;

Polipropilen PP bal peteği kompozit levhaların özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Hafiftirler.
- Korozyon direnci yüksektir.
- Yüksek mukavemete sahiptir.
- Ses ve ısı yalıtım özellikleri fazladır.
- Darbeye karşı mukavemetleri yüksektir.

Polipropilen PP petek yapılı kompozit levha Şekil 3.15’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Polipropilen petek yapılı kompozit panel [26].

Polipropilen bal peteği kompozit levha kullanım alanları;

- Duvarlarda
- Levhalarda
- Makine kaportalarında
- Banko sistemlerinde

- Kapılarda
- Güvertelerde
- Kamara bölmelerinde
- Tavan panellerinde vb. yerlerde kullanılmaktadır.

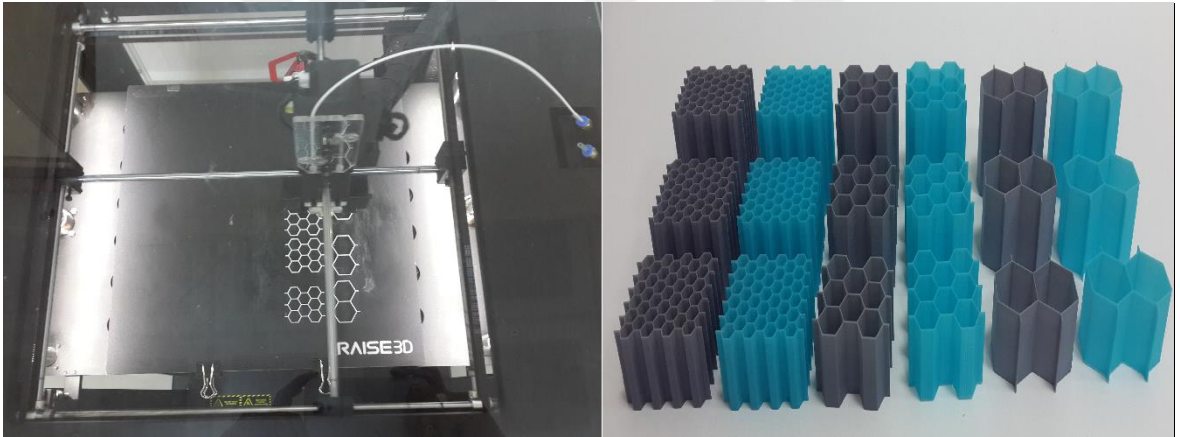


4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada 3D yazıcı ile üretilen bal peteği sandviç kompozitlerin basma ve üç nokta eğilme yükü altındaki performansları araştırılmıştır.

4.1. Petek Yapıya Sahip Kompozit Levhaların Üretimi

Bu çalışmada petek yapıları kompozit levhaların üretilmesinde ergiyik biriktirme yöntemi kullanılmıştır. Bal peteği şeklindeki hücrelerin üretiminde 1.75 mm çapında PLA ve ABS termoplastik filament tercih edilmiştir. Üretim metodu ve üretilen numuneler Şekil 4.1’ de görülmektedir.

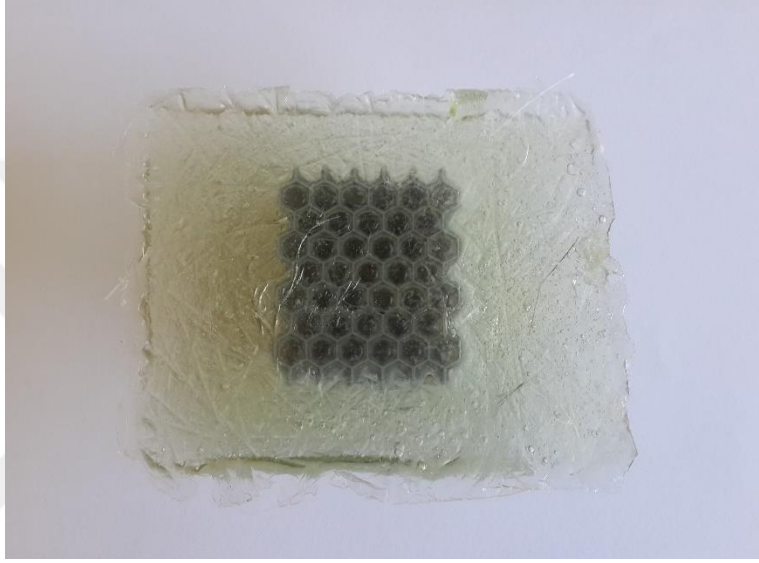


Şekil 4.1. Ergiyik biriktirme yöntemi ile petekli yapı hücre üretimi

Katı modelleme programı Solidworks’de tasarlanan bal peteği şeklindeki hücreler 3 boyutlu yazıcı kullanılarak ergiyik biriktirme yöntemi ile elde edilmiştir. Çalışmada yüzey örtü malzemesi olarak cam fiber ve polyester reçine kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak Erco polyester E-6 döküm tipi polyester reçine, sertleştirici olarak Erco Mek Peroksit– Ece Perox ve hızlandırıcı olarak da Erco Kobalt Oksit (%6) - Ece Dryer kullanılmıştır. Karışım oranı olarak 35gr reçineye karşılık 3gr sertleştirici ve 3 gr hızlandırıcı seçilmiştir (35:3:3). Matris malzemesi içerisine iki tabaka halinde rastgele dağılıma sahip cam fiber yerleştirilerek ortalama $t_f=2.4$ mm kalınlığında kompozit yüzey

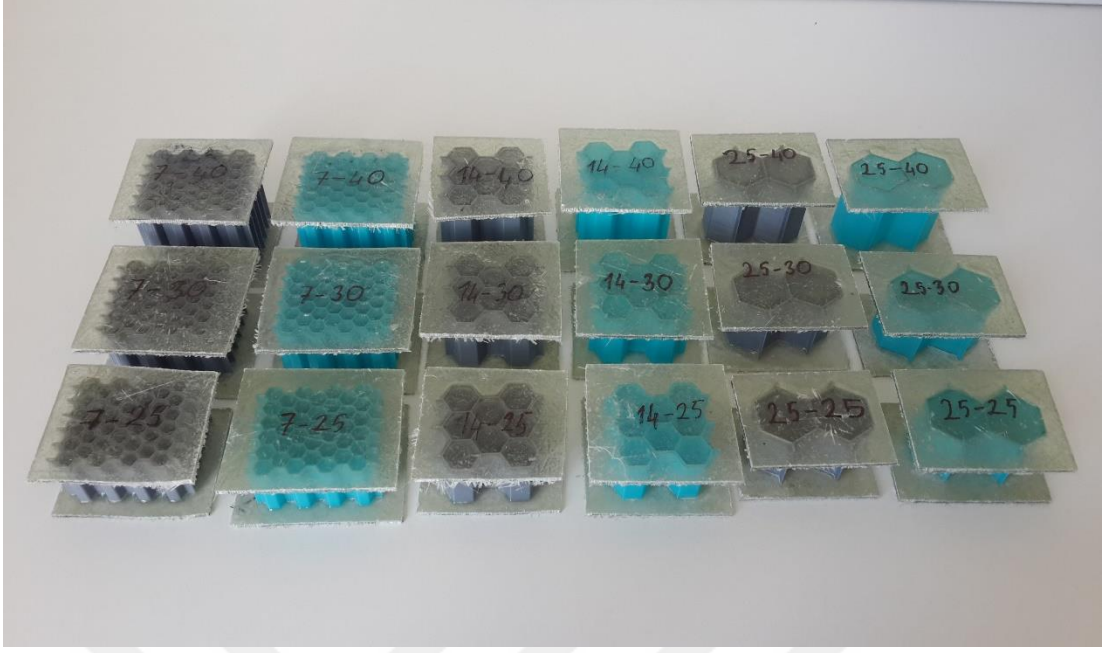
örtüsü plakaları üretilmiştir. Kompozit plakaların katılaşması esnasında petek hücreler plakaların üzerine yerleştirilerek sıvı haldeki matris yardımıyla birleşmesi sağlanmıştır. Bu işlem aracılığı ile matris malzemesi ile yüzey örtü malzemesinin yük altında ideal etkileşimi sağlanmıştır.

Petek hücre ile kompozit plakanın birleştirilmesi Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Petek hücre ile kompozit levhaların yapıştırılması

Katılaşma süreci tamamlanan kompozit plaka ile ona yapışmış olan petek hücre yapısının diğer yüzeyi de aynı işlemler uygulanarak kompozit plakalar ile kapatılmıştır. Oda sıcaklığında katılaşma sürecini tamamlayan sandviç yapı tel testere yardımı ile petek hücre boyutlarında kesilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Katılaşma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen basma deneyi numuneleri Şekil 4.3' de görülmektedir.



Şekil 4.3. Katılaşma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen basma deneyi numuneleri

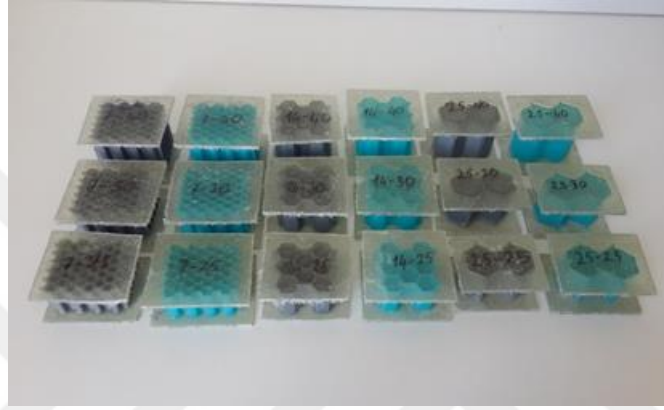
Katılaşma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen üç nokta eğilme deney numuneleri Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Katılaşma süreci tamamlanan ve tel testere yardımı ile temizlenen üç nokta eğilme deneyi numuneleri

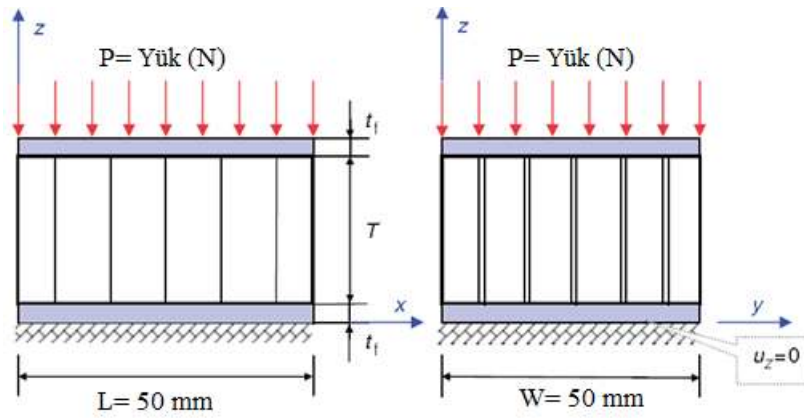
4.2. Basma Deneyi

Üretimi yapılan petek yapılı kompozit levhaların basma davranışları basma deneyi ile belirlenmiştir. $H=7$, $H=14$ ve $H=25$ mm olmak üzere üç farklı hücre boyutu ve $T=25$, $T=30$ ve $T=40$ mm olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip petek yapılı deney numuneleri Şekil 4.5’ de verilmiştir.



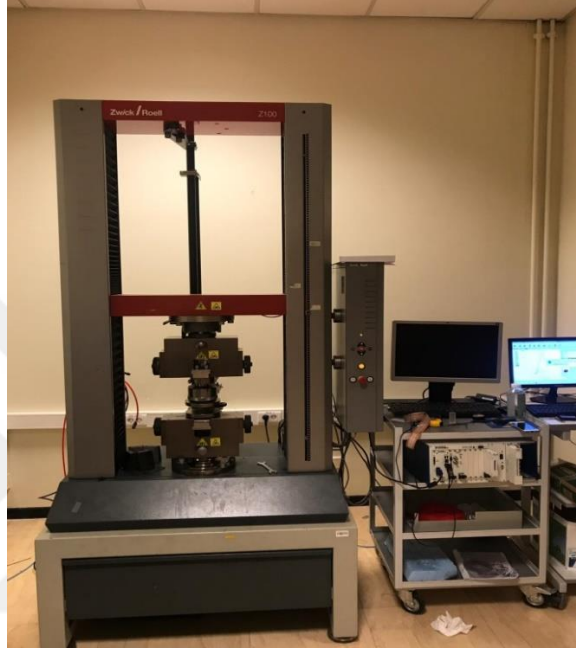
Şekil 4.5. Basma deney numuneleri

Basma deneyi numune boyutları ve yükleme koşulları Şekil 4.6’ da verilmiştir.



Şekil 4.6. Numune boyutları ve yükleme koşulları [30].

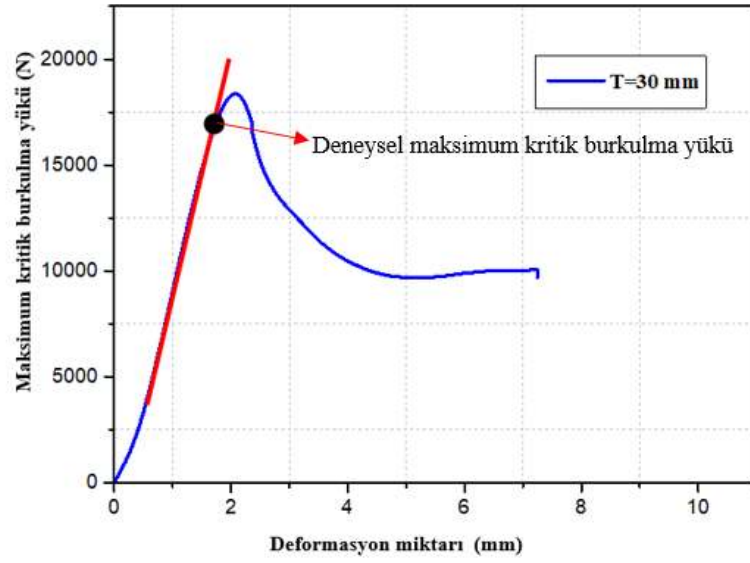
Basma deneyleri Sabancı Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Nano Mühendisliği bölümünde bulunan Zwick Roell Z100 (100 kN) marka universal çekme/basma test cihazında 1 mm/dak basma hızında gerçekleştirilmiştir. Zwick Roell Z100 (100 kN) universal çekme/basma test cihazı Şekil 4.7’ de verilmiştir.



Şekil 4.7. Zwick Roell Z100 (100 kN) çekme/basma test cihazı

Sayısal çalışmada lineer elastik analiz yapıldığından maksimum kritik burkulma yükleri deneysel olarak elde edilen yük-uzama grafiklerinin lineer kısmının bitim noktasından tespit edilmiştir.

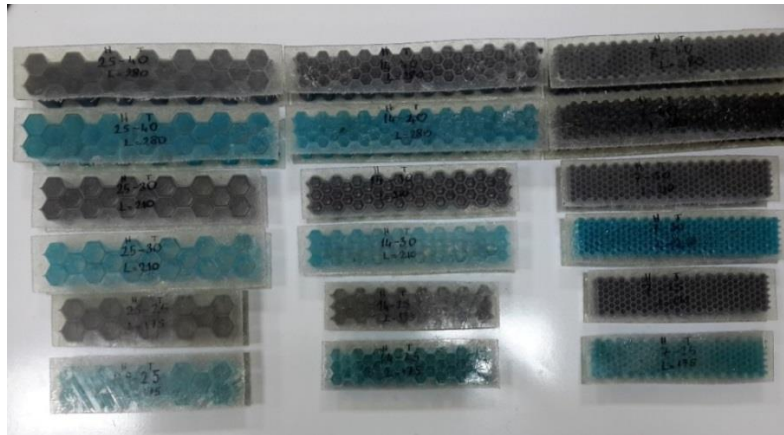
Şekil 4.8’ de $H=7$ mm hücre boyutu ve $T=30$ mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaya ait yük-yer değiştirme grafiğinin üzerinden lineer doğru çizilerek maksimum kritik burkulma yükü gösterilmiştir.



Şekil 4.8. H=7 mm hücre boyutu ve T=30 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhanın basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği

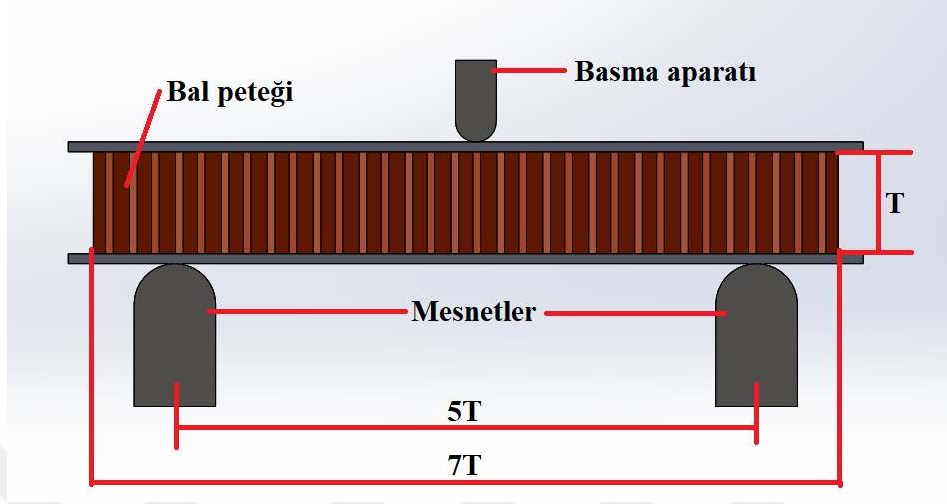
4.3. Üç Nokta Eğilme Deneyi

Üretimi yapılan petek yapıları kompozit levhaların eğilme davranışları üç nokta eğilme deneyi ile belirlenmiştir. H=7, H=14 ve H=25 mm olmak üzere üç farklı hücre boyutu ve T=25, T=30 ve T=40 mm olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip petek yapıları deney numuneleri Şekil 4.9’ da verilmiştir.



Şekil 4.9. Üç nokta eğilme deney numuneleri

Üç nokta eğilme deneyi numune boyutları ve yükleme koşulları Şekil 4.10' da verilmiştir.



Şekil 4.10. Üç nokta eğilme deneyi numune boyutları ve yükleme koşulları

Üç nokta eğilme deneyleri İnönü Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümün'de bulunan Shimadzu (100 kN) marka universal çekme/basma test cihazında 3 mm/dak basma hızında gerçekleştirilmiştir. Shimadzu (100 kN) marka universal çekme/basma test cihazı Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Shimadzu (100 kN) çekme/basma test cihazı

4.4. Sonlu Eleman Analizleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan verilerden yararlanılarak sonlu elemanlar yöntemi oluşturulmuştur. Sonlu elemanların çözüm yönteminde Ansys Workbench 19.2 paket programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.

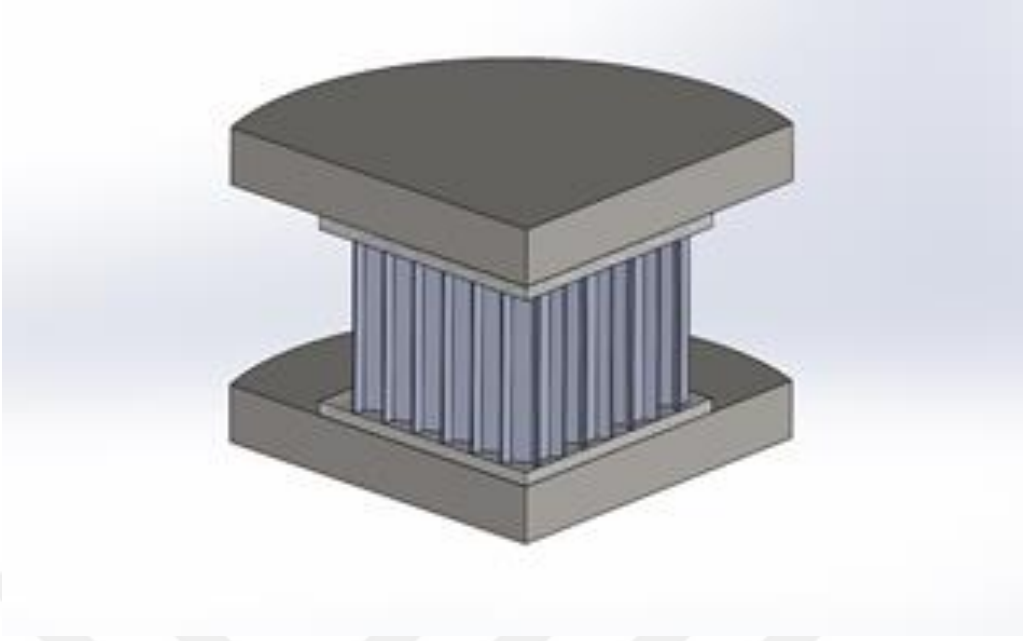
Tablo 4.1. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılacak olan malzemelerin mekanik özellikleri

Mekanik özellikleri	PLA	ABS	Ortotropik (CTP) [3]	Çelik
Elastisite modülü (MPa)	3500	2390	$E_1=E_2=E_y= 5500$	200000
Poisson oranı	0.399	0.399	$\nu_{xy}= 0.33$	0.3
Kayma modülü (MPa)	1250.9	854,18	$G_{xy}= 2067.6$	76923

Sonlu eleman analizlerinde kullanılacak olan petek yapılar Solidworks 2017 paket programı yardımı ile çizilmiştir. Çizimi tamamlanan petek yapılar Parasolid (XT) uzantısı ile kaydedilerek Ansys Workbench 19.2 paket programına aktarılarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır.

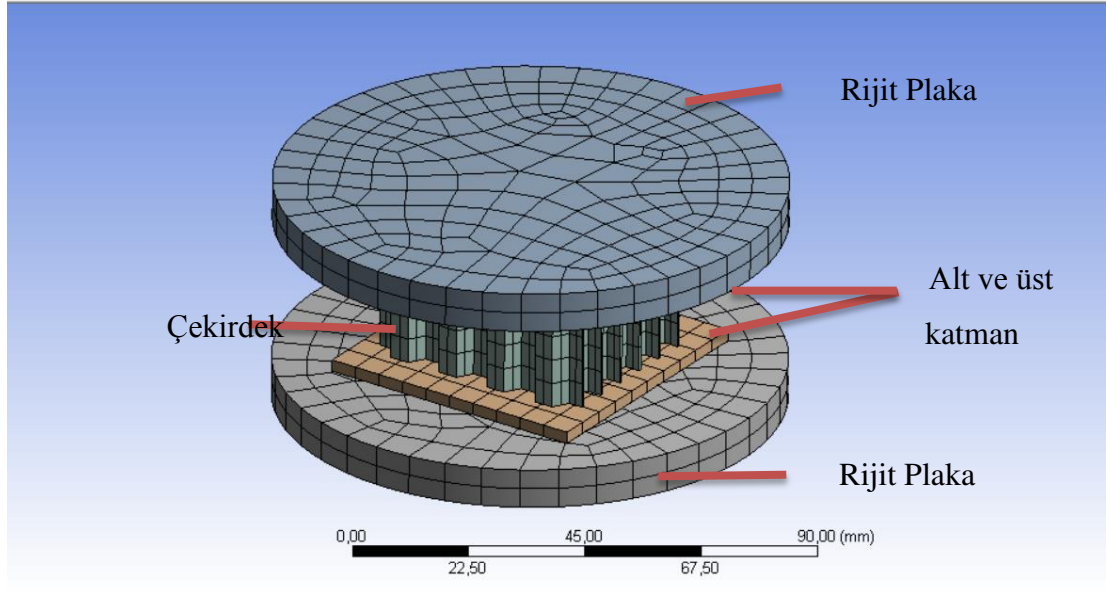
4.4.1. Basma Deneyleri İçin Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi

Solidworks 2017 paket programı kullanılarak çizimi yapılan basma deney tasarımı Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Solidworks’de çizilen basma deney tasarımı

Ansys Workbench paket programı kullanılarak basma deneyi için oluşturulan model Şekil 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.13. Ansys Workbench ile oluşturulmuş basma deney düzeneği

Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları Tablo 4.2’ de verilmiştir.

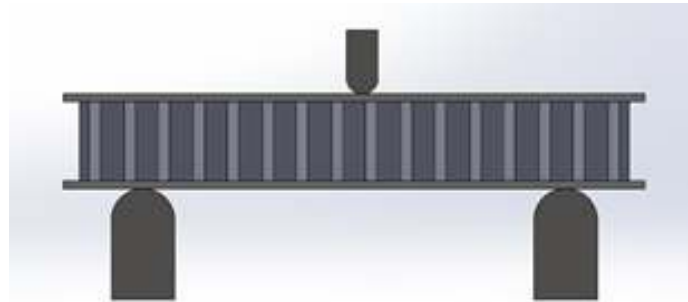
Tablo 4.2. Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları

Hücre Boyutu (H, mm)	Hücre Yüksekliği (T, mm)	Malzeme	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
7	25	ABS, PLA	2940	19412
7	30		3422	22302
7	40		4214	26938
14	25		2688	16872
14	30		1548	11447
14	40		12212	17898
25	25		1590	9787
25	30		2178	13142
25	40		2625	15716

Sonlu eleman analiz yöntemi ile elde edilen sonuçların deneysel çalışma ile aynı şartlara sahip olması için alt rijit plaka sabitlenmiş ve üst rijit plakaya 1 birim kuvvet uygulanarak elastik burkulma analizi (eigen buckling) uygulanmıştır.

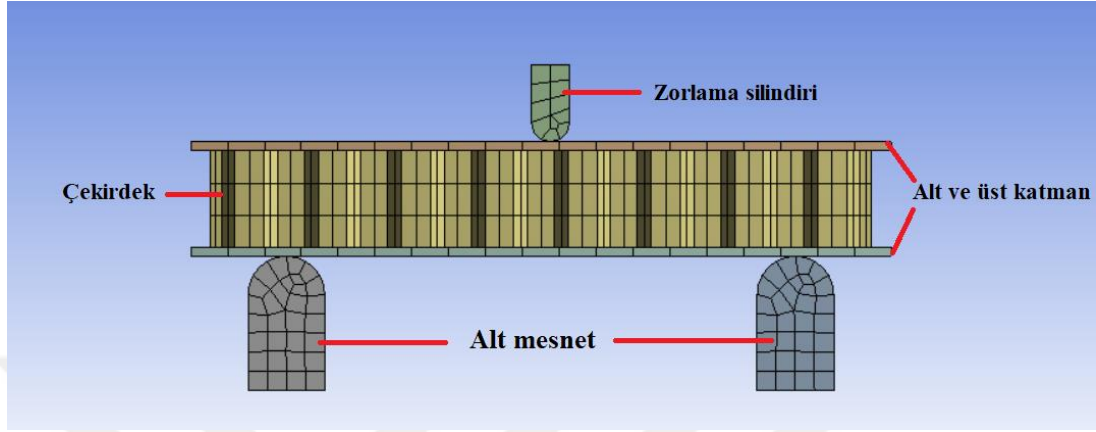
4.4.2. Üç Nokta Eğilme Deneyleri İçin Sonlu Elemanlar Analiz yöntemi

Solidworks 2017 paket programı kullanılarak çizimi yapılan üç nokta eğilme deney tasarımı Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14. Solidworksde çizilen üç nokta eğilme deney tasarımı

Ansyes Workbench paket programı kullanılarak basma deneyi için oluşturulan modelin sonlu eleman ağ yapısı Şekil 4.15’de görölmektedir.



Şekil 4.15. Ansyes Workbench ile oluşturulmuş üç nokta eğilme deney düzeneği

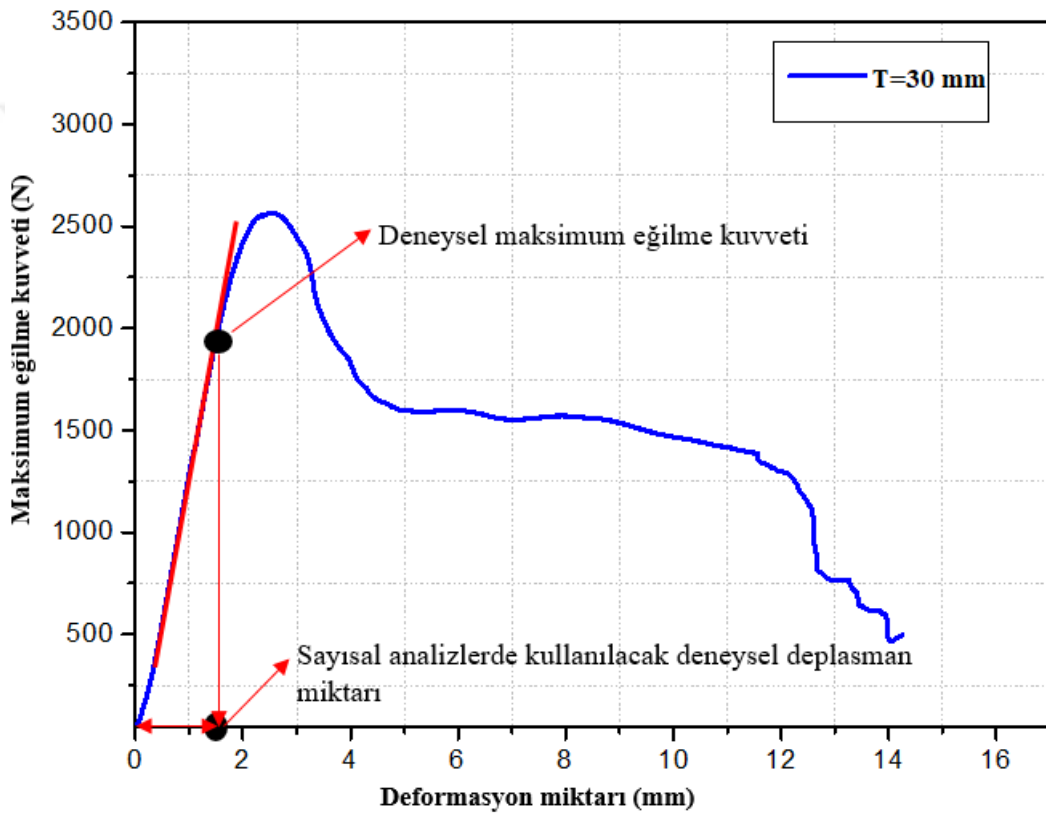
Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Modellerde oluşan eleman ve düğüm sayıları

Hücre Boyutu (H, mm)	Hücre Yüksekliği (T, mm)	Malzeme	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
7	175	ABS, PLA	5435	38324
7	210		6150	43730
7	275		7258	51676
14	175		2119	14458
14	210		2195	14936
14	275		2350	16762
25	175		1719	12340
25	210		1823	12610
25	275		2129	15689

Sayısal çalışmada lineer elastik analiz yapıldığından maksimum eğilme kuvvetleri deneysel olarak elde edilen yük-uzama grafiklerinin lineer kısmının bitim noktasındaki deplasman miktarı alınarak sonlu eleman analiz yönteminde deplasmana karşılık reaksiyon kuvveti ve deneysel kuvvete karşın sayısal deplasman elde edilmiş ve sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Sayısal analizlerde kullanılacak olan deplasman miktarı Şekil 4.16 'da gösterilmiştir.



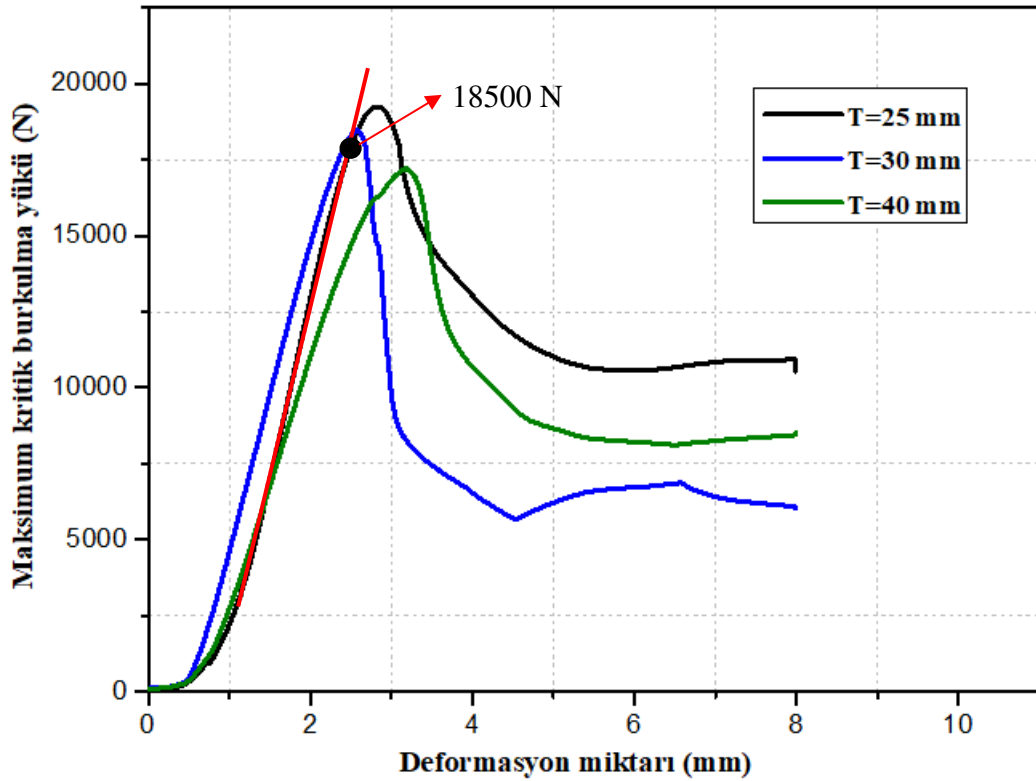
Şekil 4.16. Sayısal analizlerde kullanılacak olan deplasman miktarı

5. SONUÇ

Bu bölümde deneysel ve sonlu elaman analiz sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması, yüzdesel hatalar belirlenmiş ve numunelerde meydana gelen hasarlar incelenmiştir.

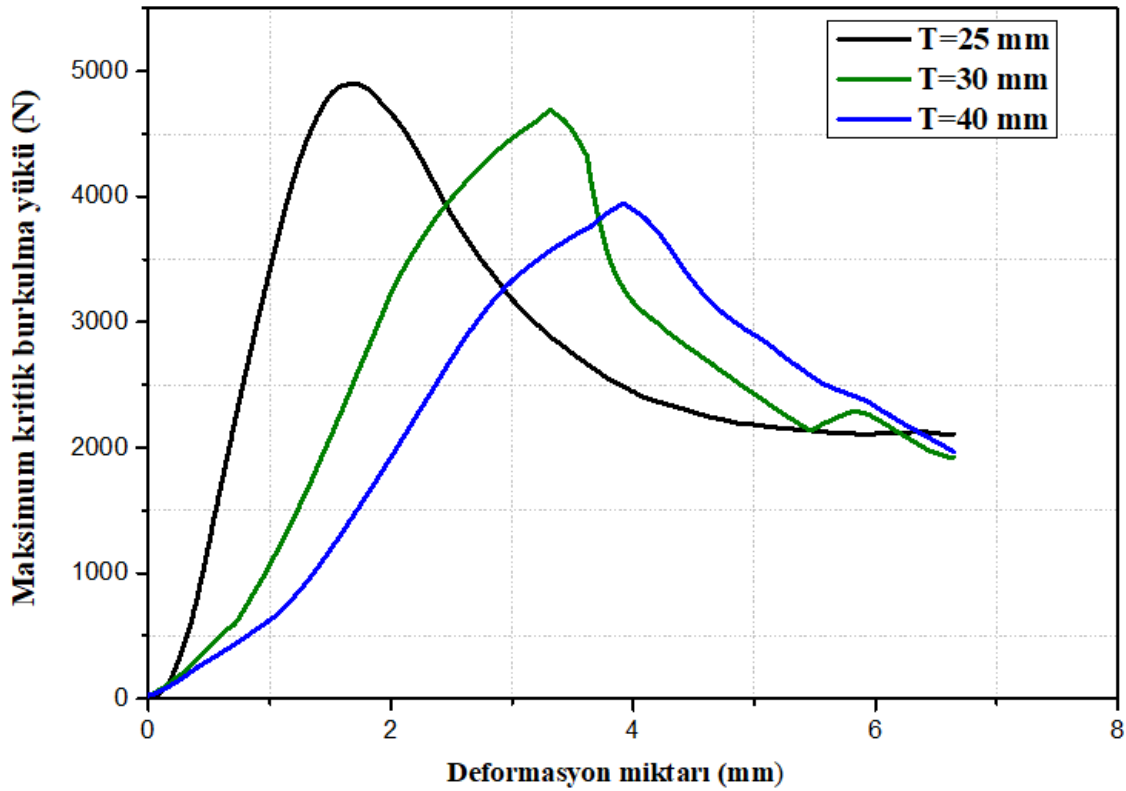
5.1. Basma Deneyi Sonuçları

H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 5.1’ de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıları kompozit levhada 18500 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü ise T=40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıları kompozit levhada 15356 N olarak elde edilmiştir. Hücre yüksekliğinin artmasına bağlı olarak maksimum kritik burkulma yük değeri azalmıştır.



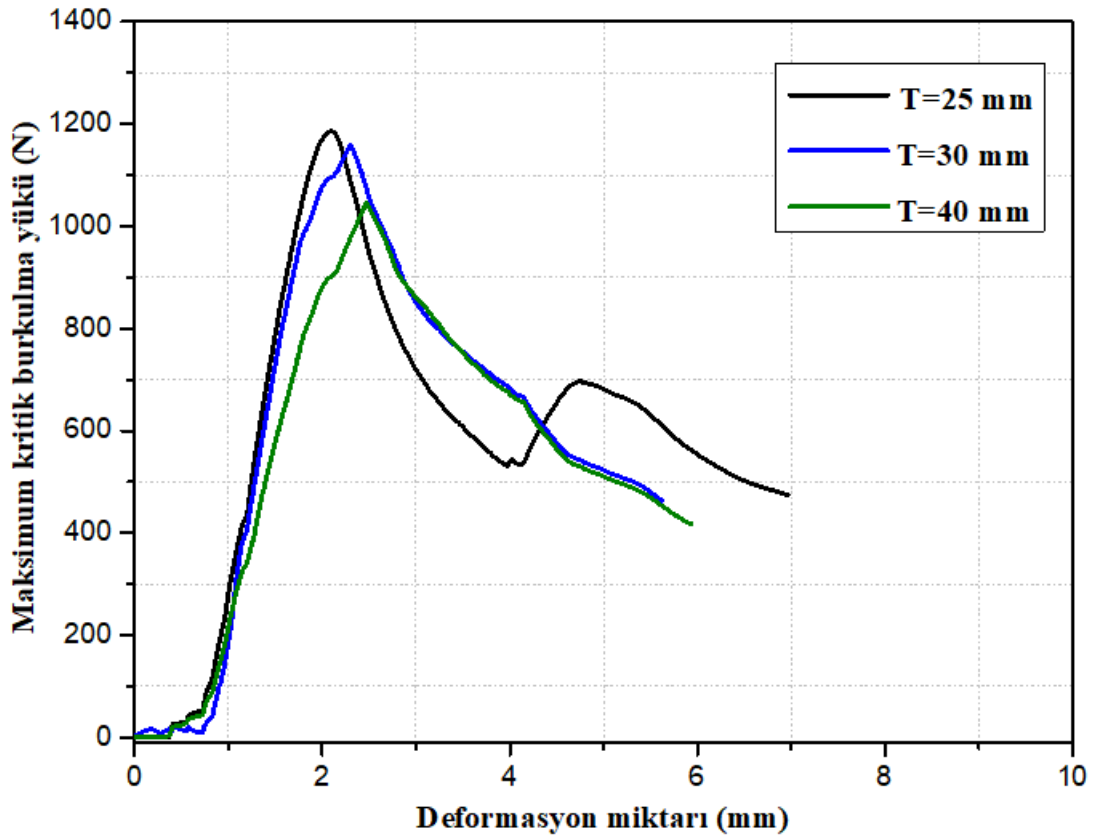
Şekil 5.1. H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği

H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.2’ de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 4155 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 2872 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutu artıkça kritik burkulma yükü azalmıştır. Bunun nedeni kompozit levhaya gelen yükü taşıyacak olan hücre duvarı sayısının azalmasıdır.



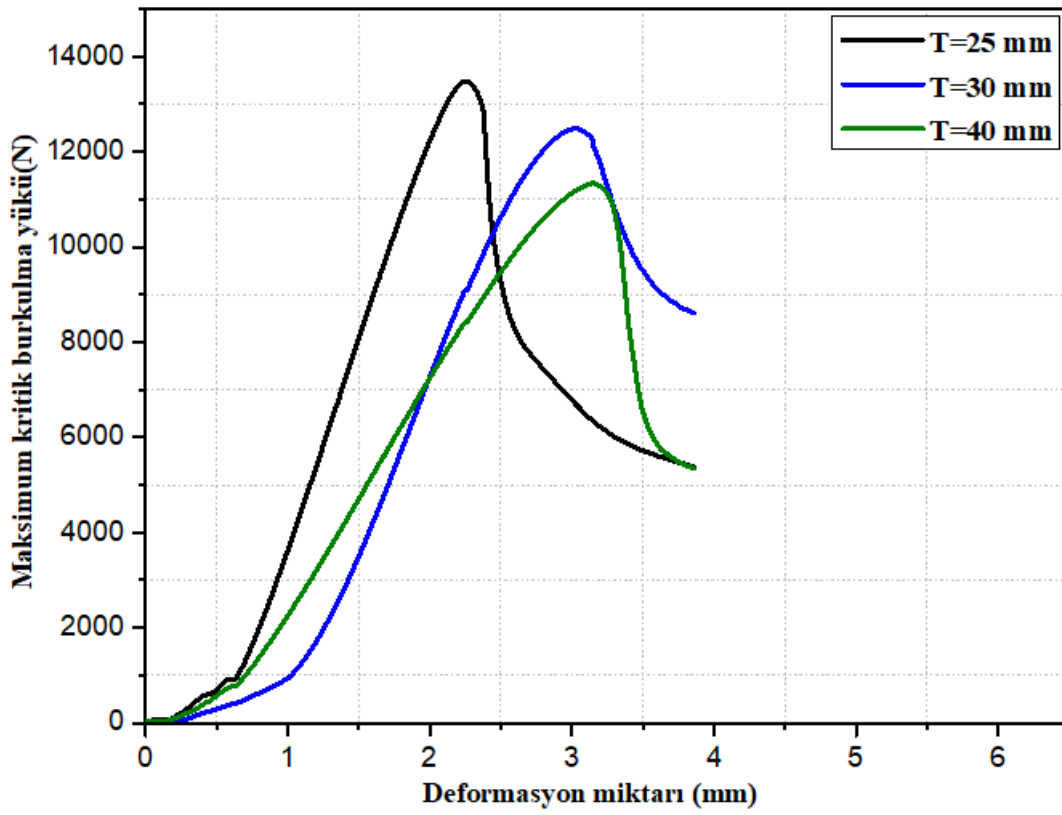
Şekil 5.2. H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.3' de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 1091 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 887 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutu ve hücre yüksekliği arttıkça maksimum kritik burkulma yük değeri azlamıştır.



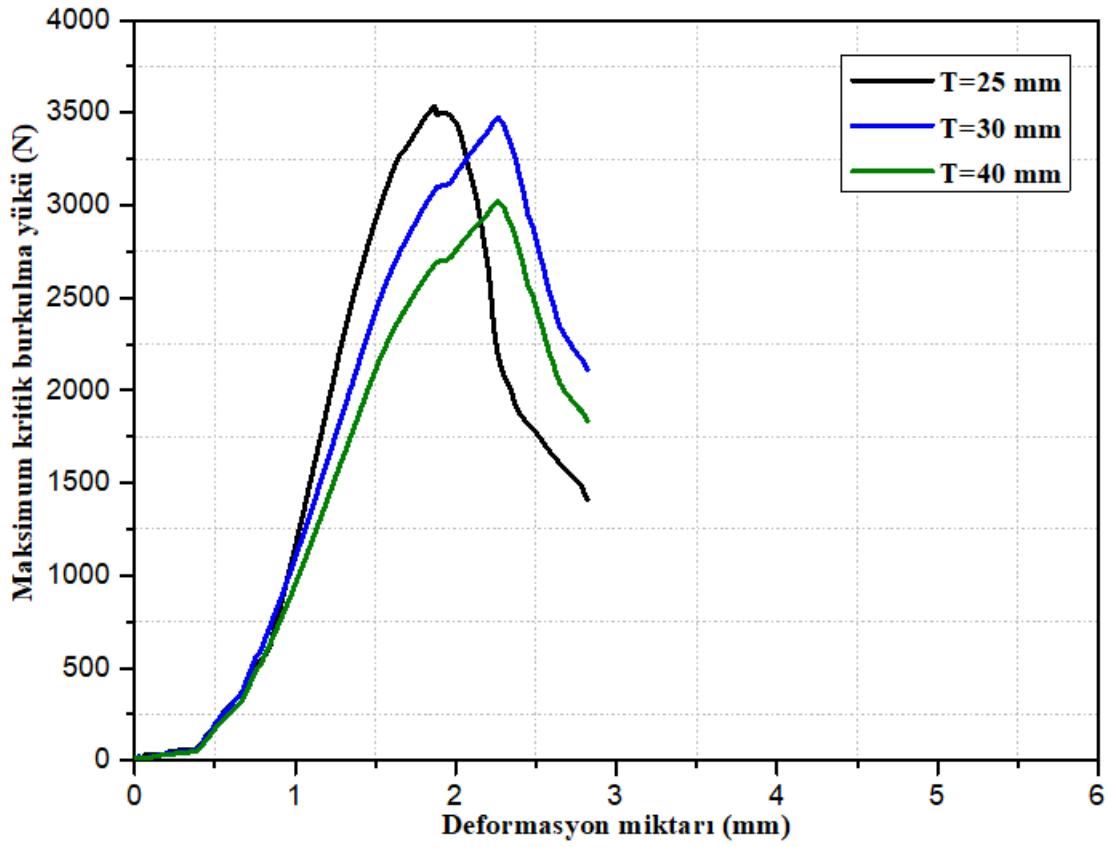
Şekil 5.3. H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.4' de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 12719 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 8463 N olarak elde edilmiştir. Hücre yüksekliğinin artması burkulmayı da arttıracğından kritik burkulma yük değeri azalmıştır.



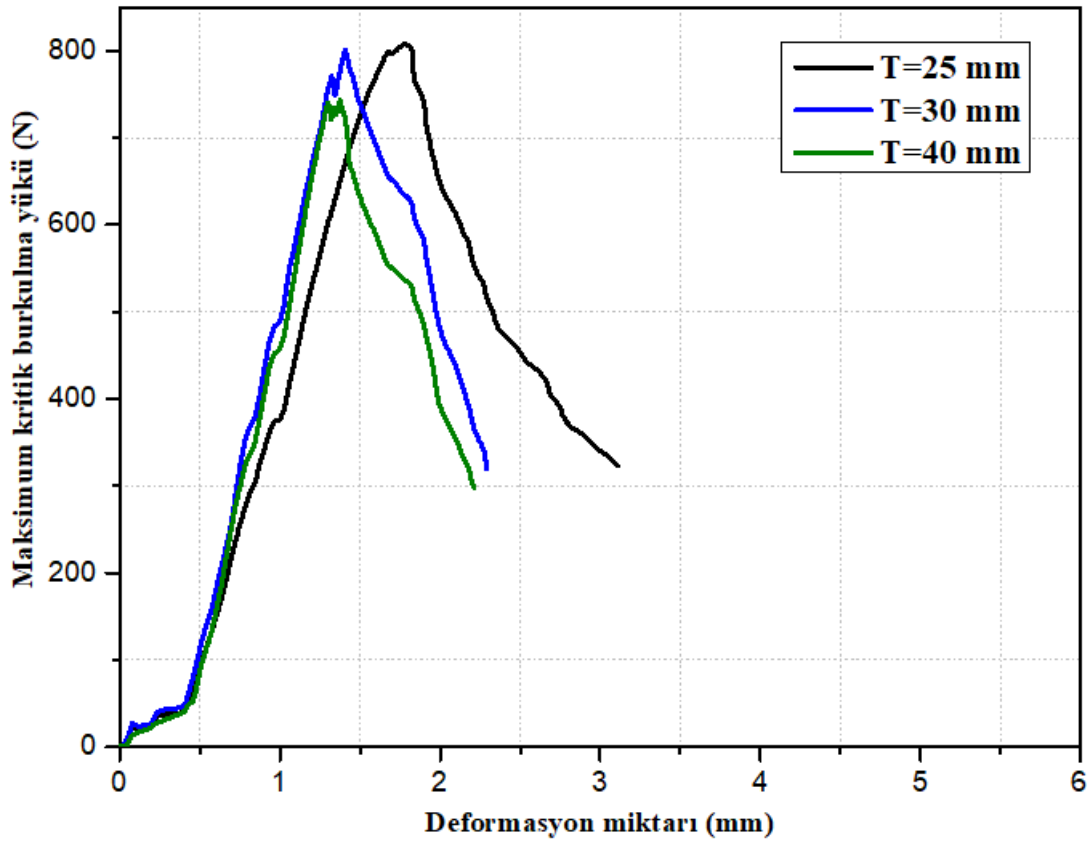
Şekil 5.4. H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.5’ de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapılı kompozit levhada 3105 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapılı kompozit levhada 2328 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre boyutuna bağılı olarak maksimum kritik burkulma yük değeri azalmıştır.



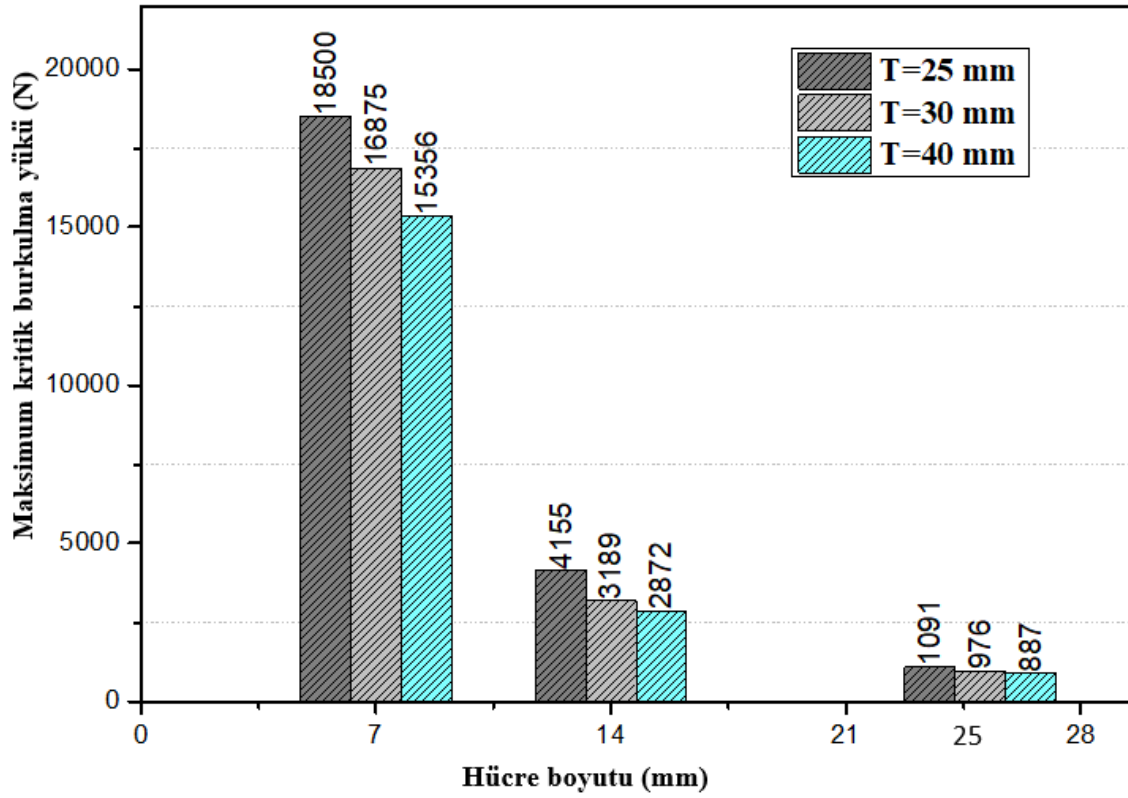
Şekil 5.5. H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.6' da verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 761 N olarak elde edilirken en düşük kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip petek yapıli kompozit levhada 701 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutunun ve hücre yüksekliğinin artması maksimum kritik burkulma yük değeri azaltmıştır.



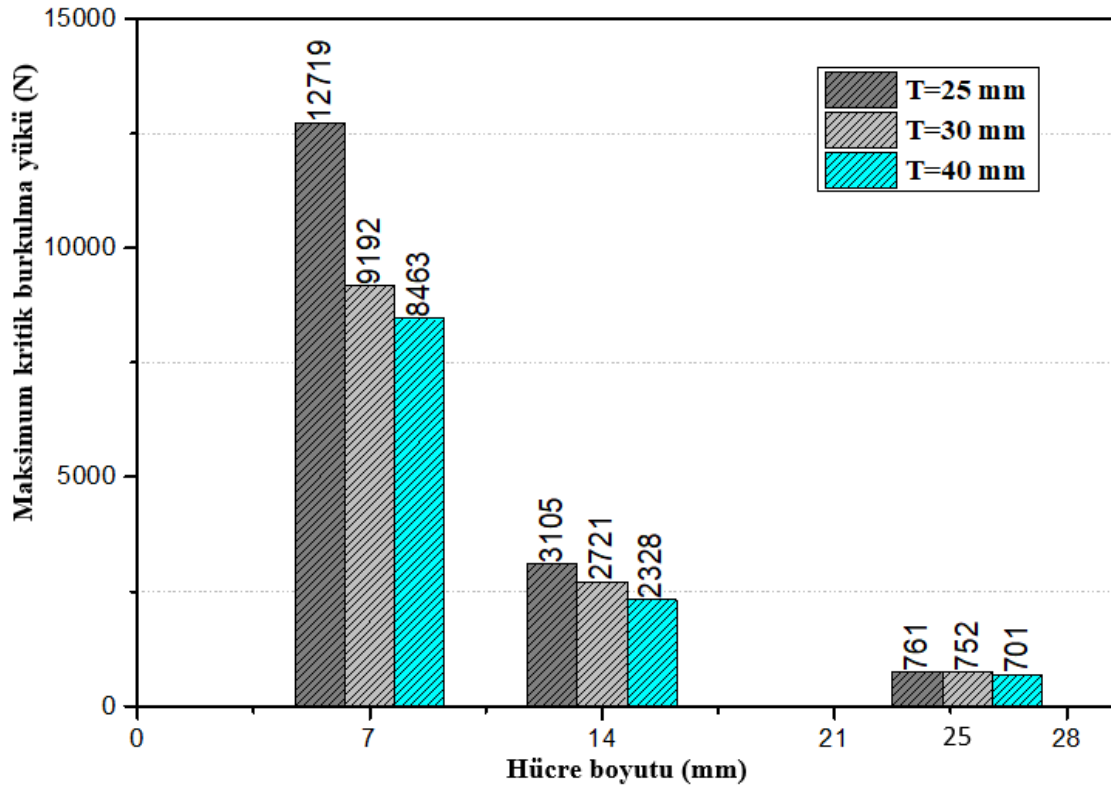
Şekil 5.6. H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların basma deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların basma deneyi sonucunda elde edilen maksimum kritik burkulma yük değerleri Şekil 5.7’ de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü H=7 mm hücre boyutu ve T=25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları numunede 18500 N olarak elde edilmiştir.



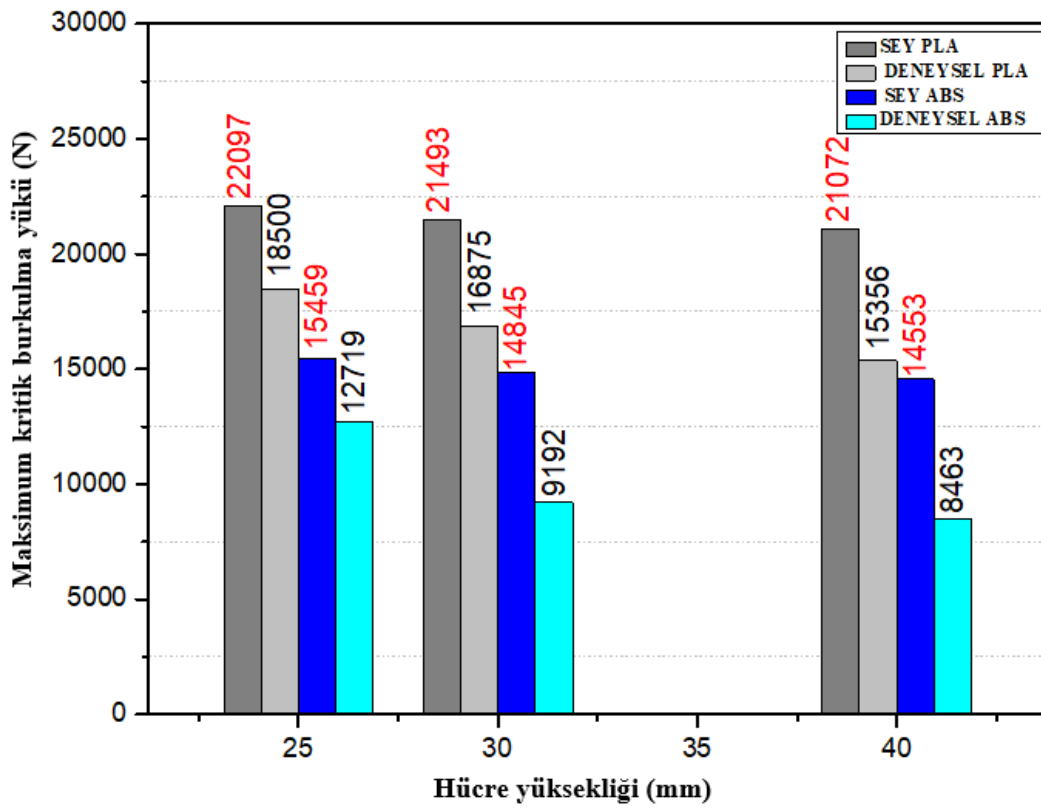
Şekil 5.7. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel maksimum kritik burkulma yükleri

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların basma deneyi sonrasında elde edilen maksimum kritik burkulma yük değerleri Şekil 5.8 'de verilmiştir. En yüksek kritik burkulma yükü H=7 mm hücre boyutu ve T=25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları numunede 12719 N olarak elde edilmiştir.



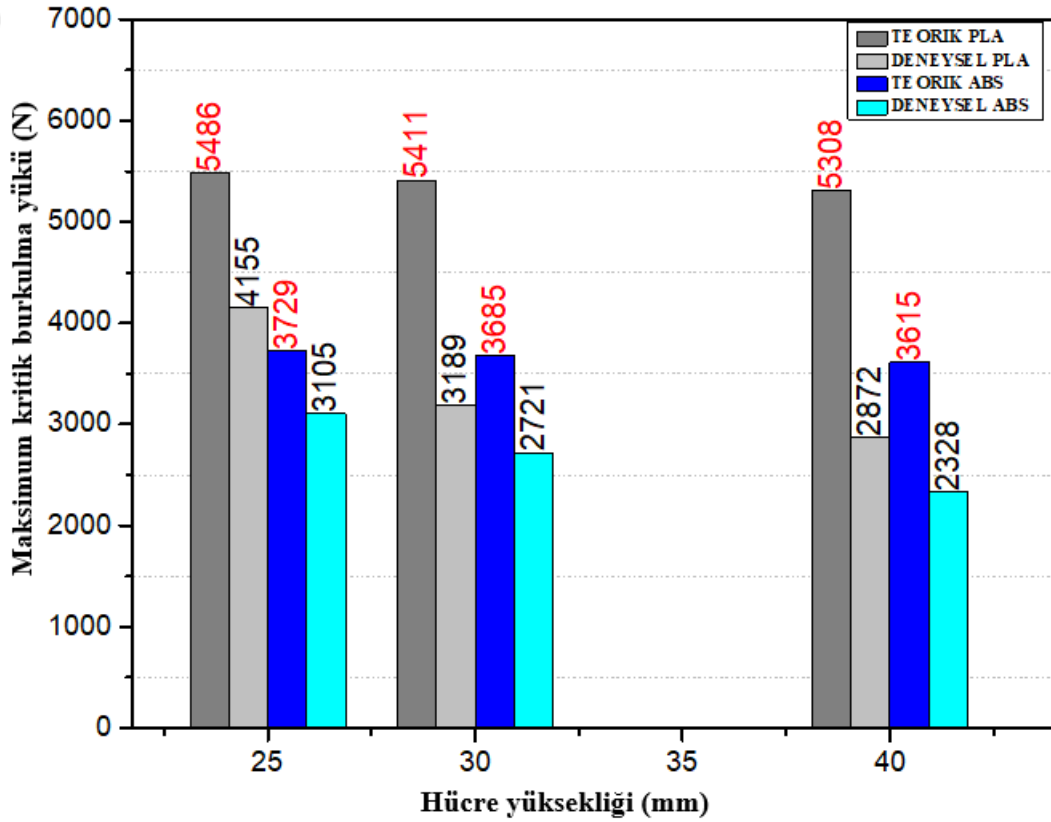
Şekil 5.8. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel maksimum kritik burkulma yükleri

H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 5.9’ da verilmiştir. En yüksek maksimum kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 18500 N ve 22097 N olarak elde edilmiştir. En düşük maksimum kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıları numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 8463 N ve 14533 N olarak elde edilmiştir. Hücre yüksekliği arttıkça maksimum kritik burkulma yükü hem deneysel hem de sayısal sonuçlar için azalmıştır.



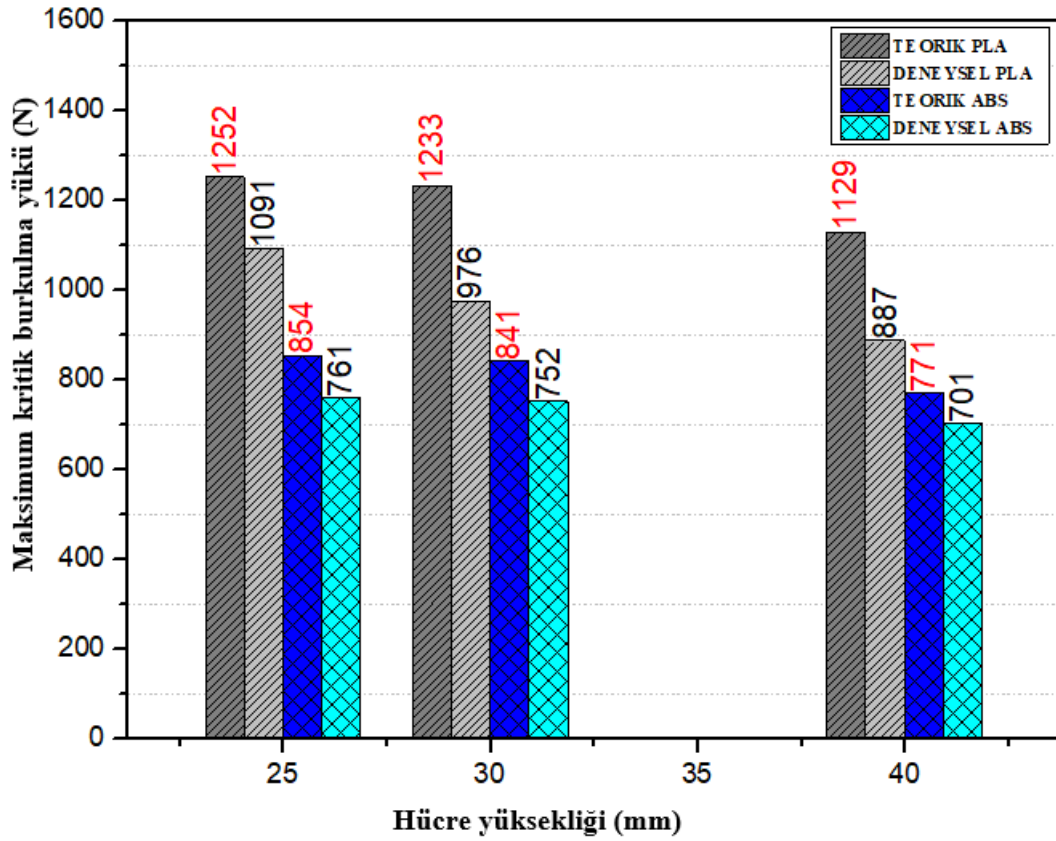
Şekil 5.9. H=7 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum kritik burkulma yükleri

H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 5.10’ da verilmiştir. En yüksek maksimum kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 4155 N ve 5486 N olarak elde edilmiştir. En düşük maksimum kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıları numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 2328 N ve 3615 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutu arttıkça maksimum kritik burkulma yükü hem deneysel hem de sayısal sonuçlar için azalmıştır.



Şekil 5.10. H=14 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel ve teorik maksimum kritik burkulma yükleri

H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum kritik burkulma yükleri Şekil 5.11’ de verilmiştir. En yüksek maksimum kritik burkulma yükü T=25 mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapıları numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 1091 N ve 1252 N olarak elde edilmiştir. En düşük maksimum kritik burkulma yükü T=40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıları numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 701 N ve 771 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutu ve hücre yüksekliği arttıkça maksimum kritik burkulma yükü hem deneysel hem de sayısal sonuçlar için azalmıştır.



Şekil 5.11. H=25 mm hücre boyutuna sahip kompozit levhaların deneysel ve teorik maksimum kritik burkulma yükleri

PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda elde edilen SEY sonuçları, deneysel sonuçlar ve hata değerleri Tablo 5.1’ de verilmiştir.

Tablo 5.1. SEY ve deneysel maksimum kritik burkulma yük değerleri

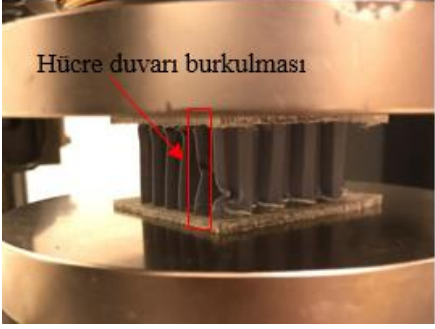
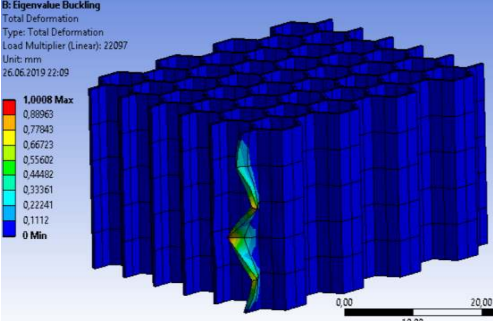
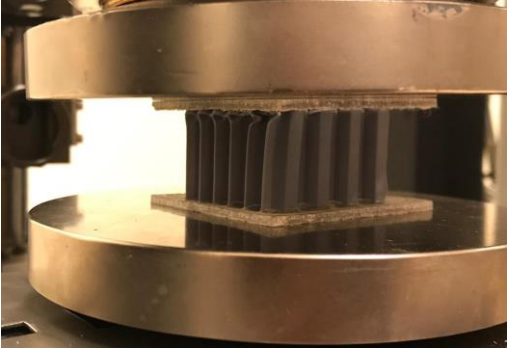
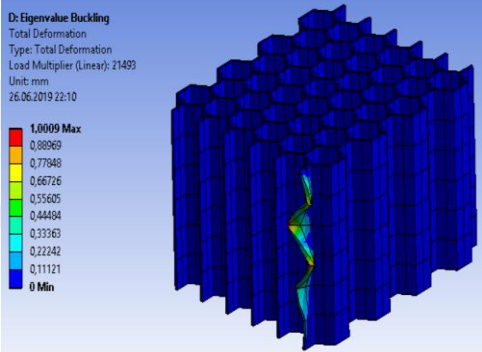
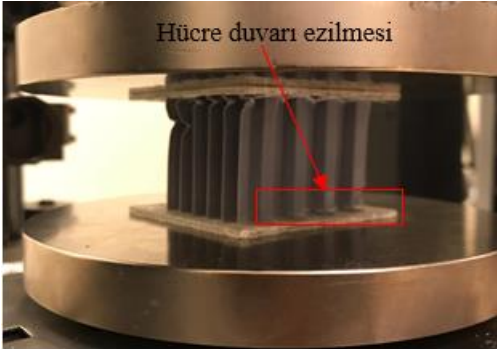
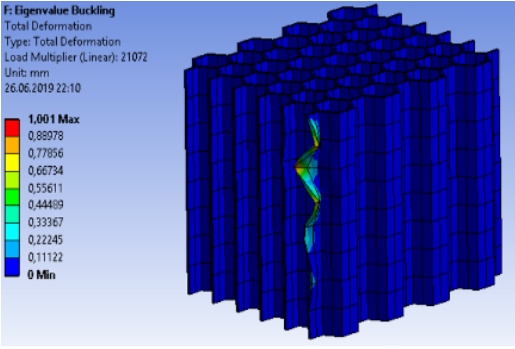
Numune adı	SEY PLA (N)	Deneysel PLA (N)	$(P_{em})_{DEN}/(P_{em})_{SEY}$	SEY ABS (N)	Deneysel ABS (N)	$(P_{em})_{DEN}/(P_{em})_{SEY}$
7-25	22097	18500	0,83	15459	12719	0,82
7-30	21493	16875	0,78	14845	9192	0,61
7-40	21072	15356	0,72	14553	8463	0,58
14-25	5486	4155	0,75	3729	3105	0,83
14-30	5411	3189	0,58	3685	2721	0,73
14-40	5308	2872	0,54	3615	2328	0,64
25-25	1252	1091	0,87	854	761	0,89
25-30	1233	976	0,79	841	752	0,89
25-40	1129	887	0,78	771	701	0,90

ABS ve PLA termoplastik petek yapılı numuneler de benzer hasar tipleri meydana gelmiştir.

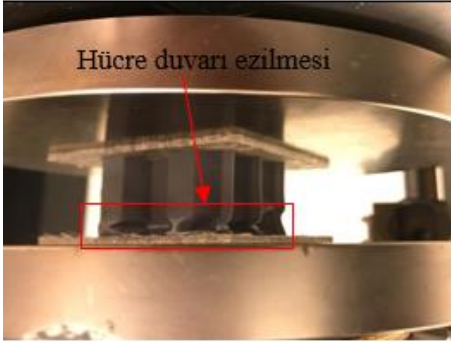
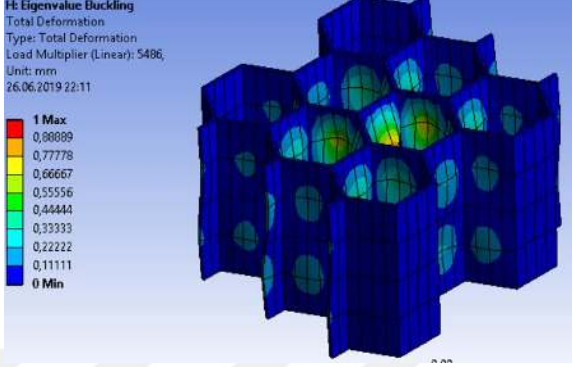
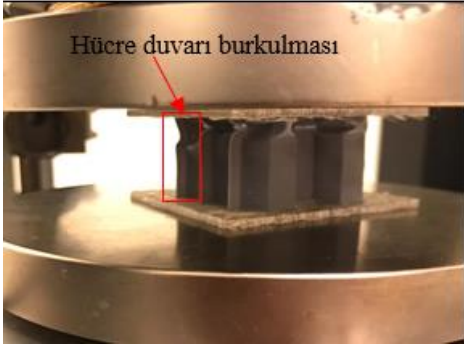
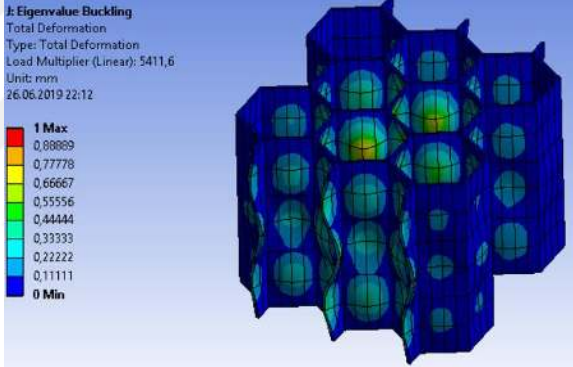
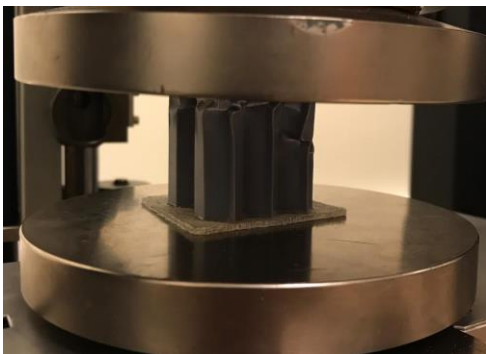
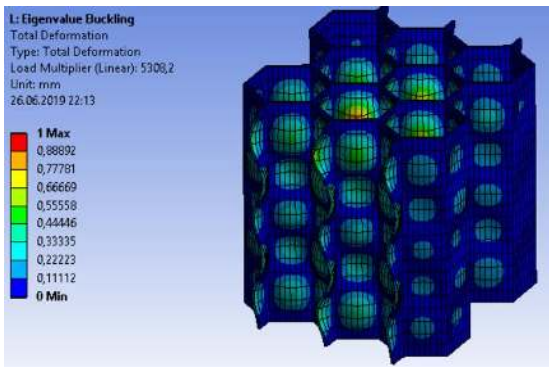
H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.2’ de, H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.3’ de ve H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.4’de görülmektedir.

Petek yapılı kompozit levhalarda maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşmuştur. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir.

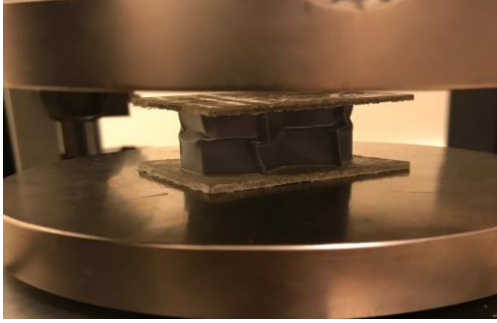
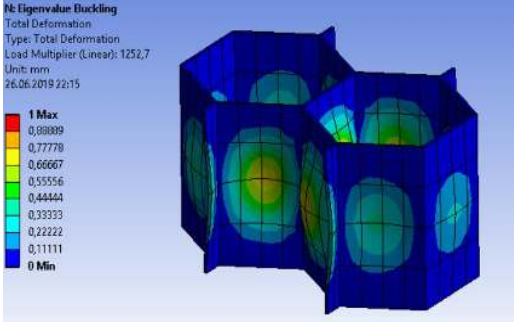
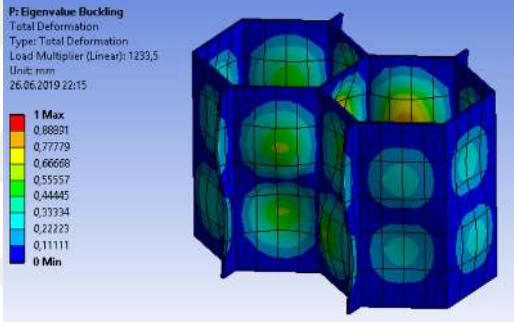
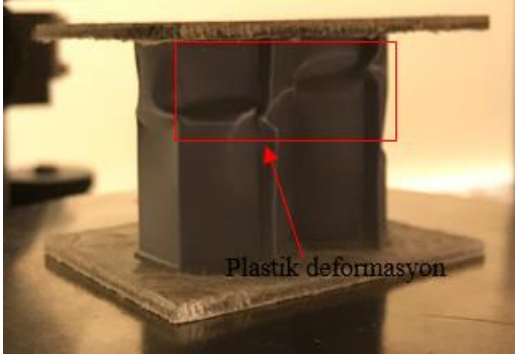
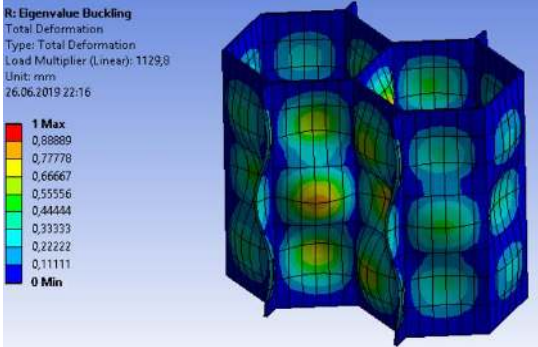
Tablo 5.2. H =7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

7-25 PLA Deney	7-25 PLA SEY
	
7-30 PLA Deney	7-30 PLA SEY
	
7-40 PLA Deney	7-40 PLA SEY
	

Tablo 5.3. H =14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

14-25 PLA Deney	14-25 PLA SEY
	 H: Eigenvalue Buckling Total Deformation Type: Total Deformation Load Multiplier (Linear): 5486 Unit: mm 26.06.2019 22:11 1 Max: 0.88889 0.77778 0.66667 0.55556 0.44444 0.33333 0.22222 0.11111 0 Min
14-30 PLA Deney	14-30 PLA SEY
	 J: Eigenvalue Buckling Total Deformation Type: Total Deformation Load Multiplier (Linear): 5411,6 Unit: mm 26.06.2019 22:12 1 Max: 0.88889 0.77778 0.66667 0.55556 0.44444 0.33333 0.22222 0.11111 0 Min
14-40 PLA Deney	14-40 PLA SEY
	 L: Eigenvalue Buckling Total Deformation Type: Total Deformation Load Multiplier (Linear): 5308,2 Unit: mm 26.06.2019 22:13 1 Max: 0.88892 0.77781 0.66669 0.55558 0.44446 0.33335 0.22223 0.11112 0 Min

Tablo 5.4. H =25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

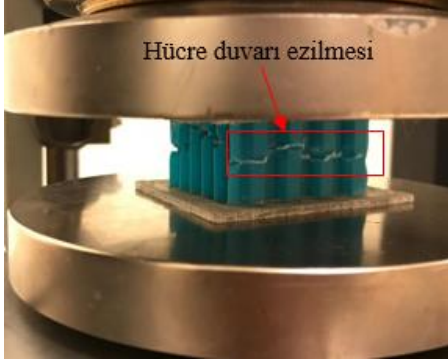
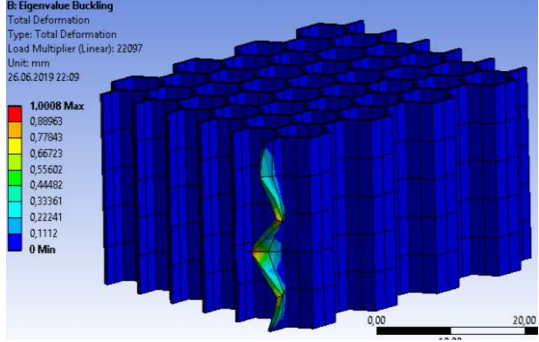
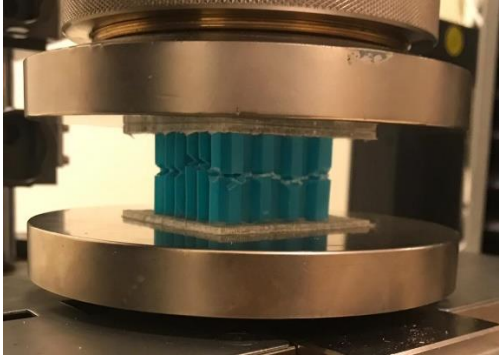
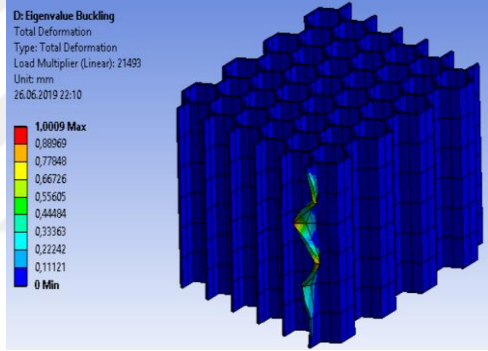
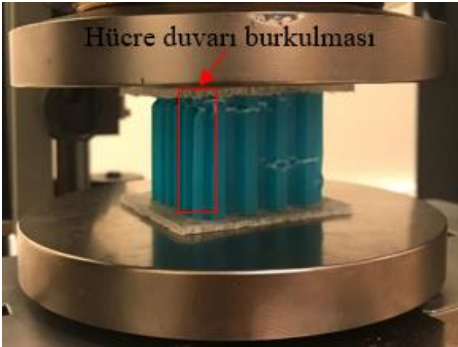
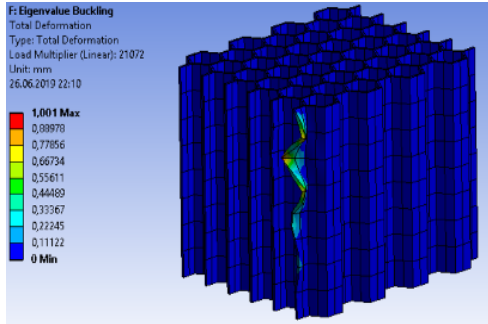
25-25 PLA Deney	25-25 PLA SEY
	
25-30 PLA Deney	25-30 PLA SEY
	
25-40 PLA Deney	25-40 PLA SEY
	

H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.5’ de, H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.6’ da ve H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.7’de görülmektedir.

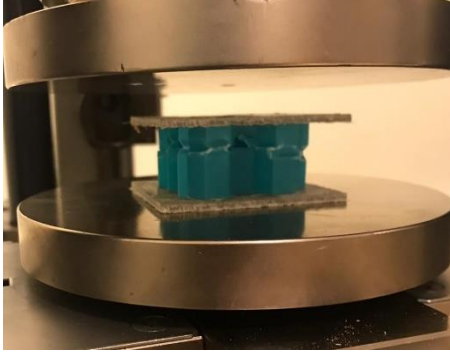
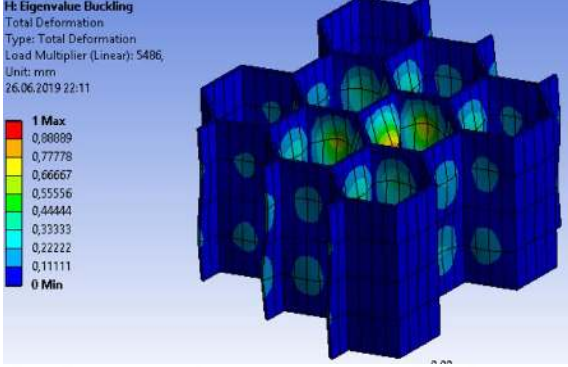
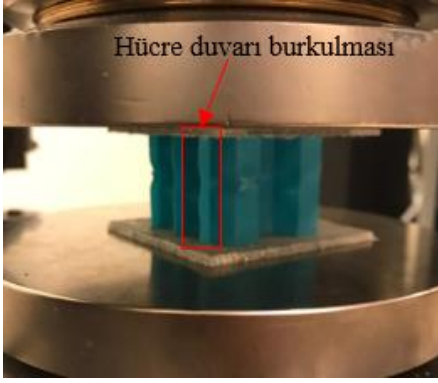
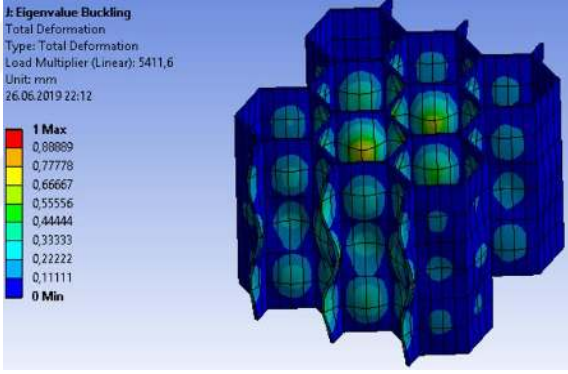
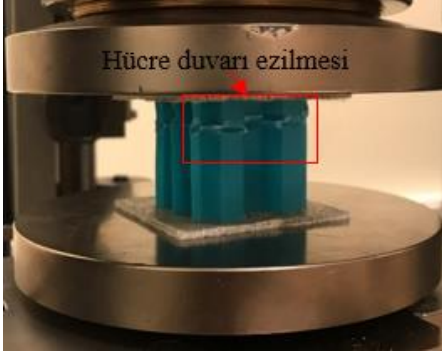
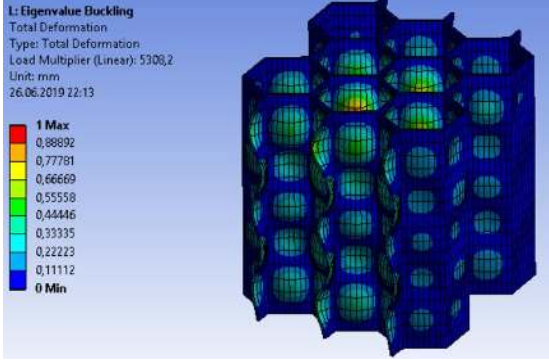
Petek yapılı kompozit levhalarda maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşmuştur. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir.



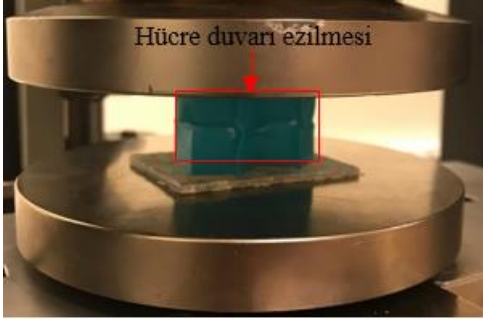
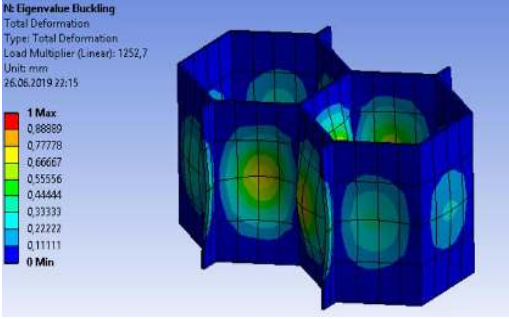
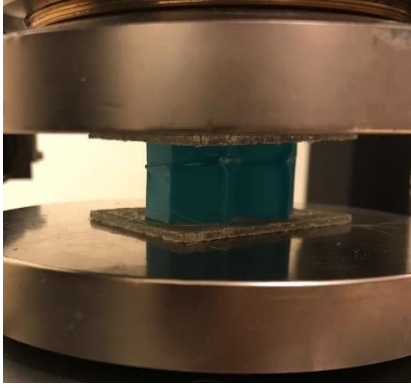
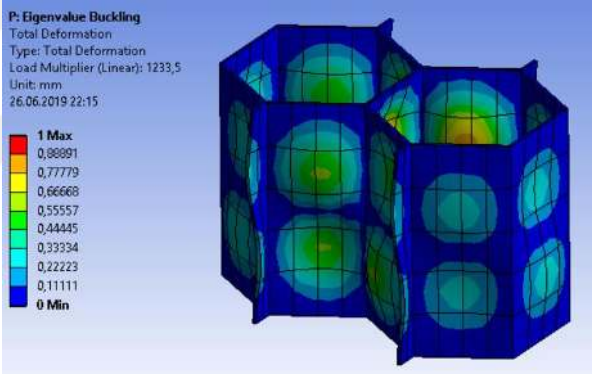
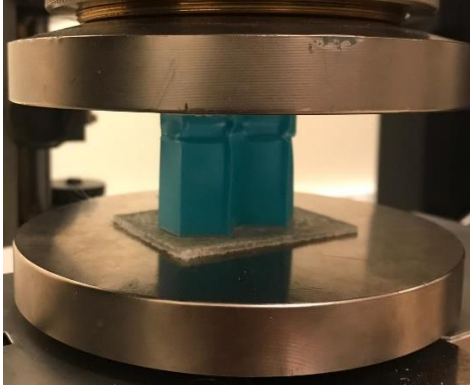
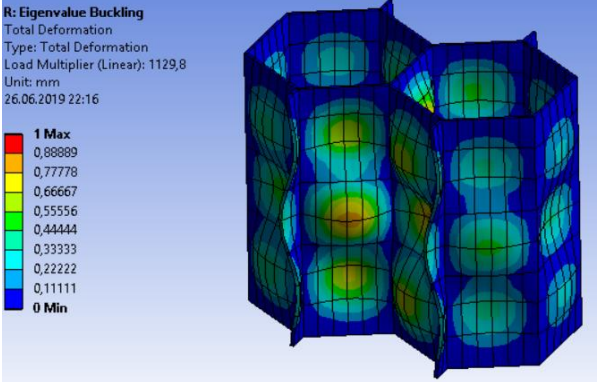
Tablo 5.5. H =7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

7-25 ABS Deney	7-25 ABS SEY
	
7-30 ABS Deney	7-30 ABS SEY
	
7-40 ABS Deney	7-40 ABS SEY
	

Tablo 5.6. H =14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

14-25 ABS Deney	14-25 ABS SEY
	
14-30 ABS Deney	14-30 ABS SEY
	
14-40 ABS Deney	14-40 ABS SEY
	

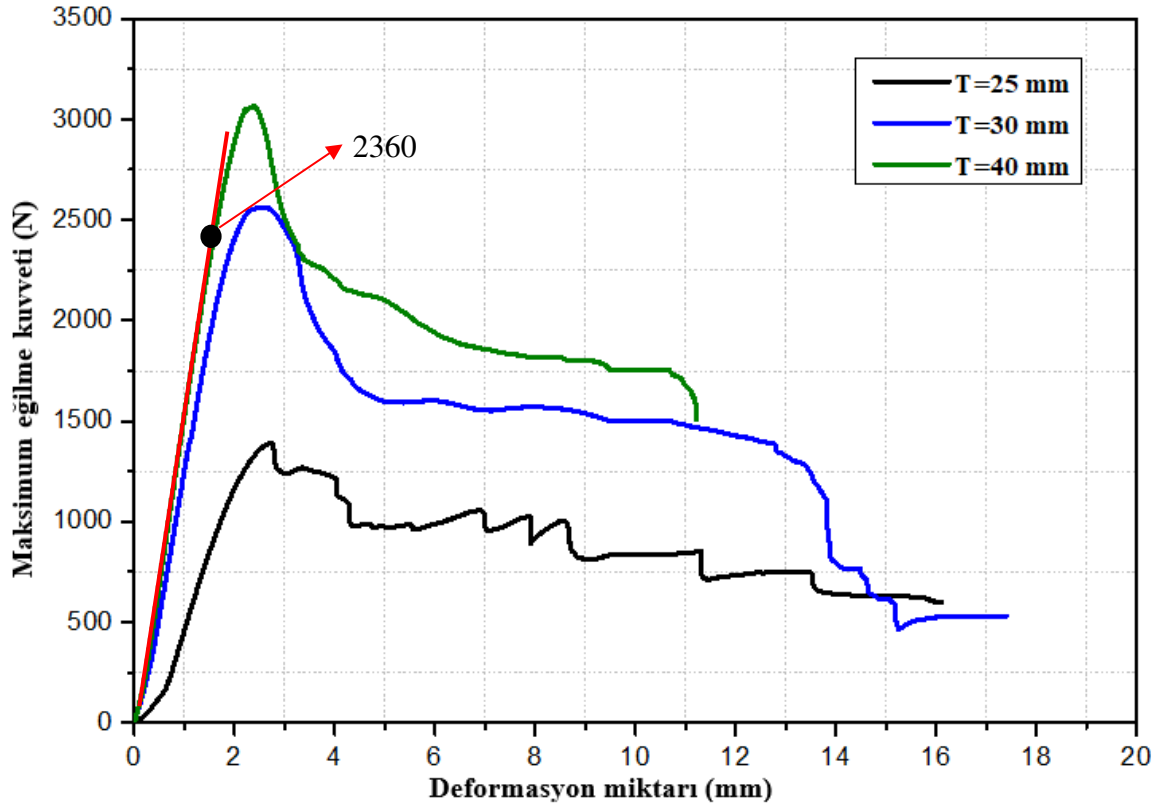
Tablo 5.7. H =25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhalarda meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

25-25 ABS Deney	25-25 ABS SEY
	
25-30 ABS Deney	25-30 ABS SEY
	
25-40 ABS Deney	25-40 ABS SEY
	

5.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi Sonuçları

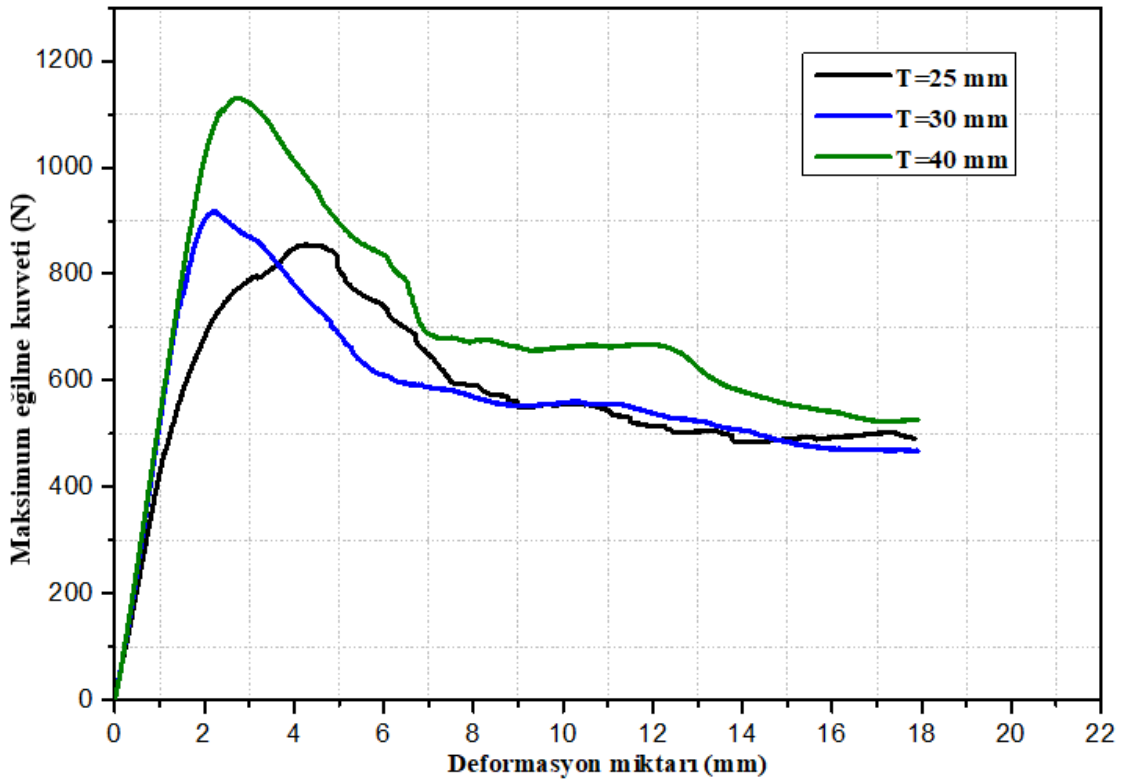
PLA ve ABS termoplastik petek yapıları numunelerin üç nokta eğilme deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 5.12’ de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=40 mm hücre yüksekliğine ve L=200 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 2360 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğine ve L=125 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 1102 N olarak elde edilmiştir. Hücre yüksekliğinin artması maksimum eğilme kuvvetini arttırmıştır.



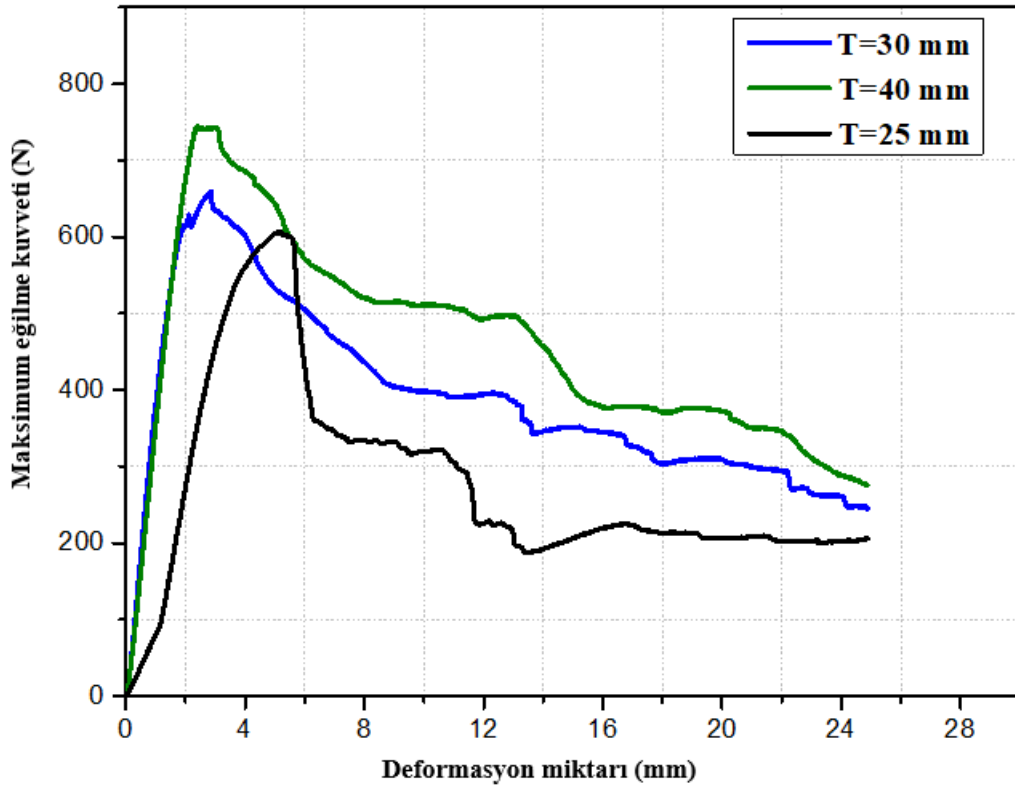
Şekil 5.12. H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği

H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.13’ de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=40 mm hücre yüksekliğine ve L=200 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 978 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğine ve L=125 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 458 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutunun artması maksimum eğilme kuvvetini azaltmıştır.



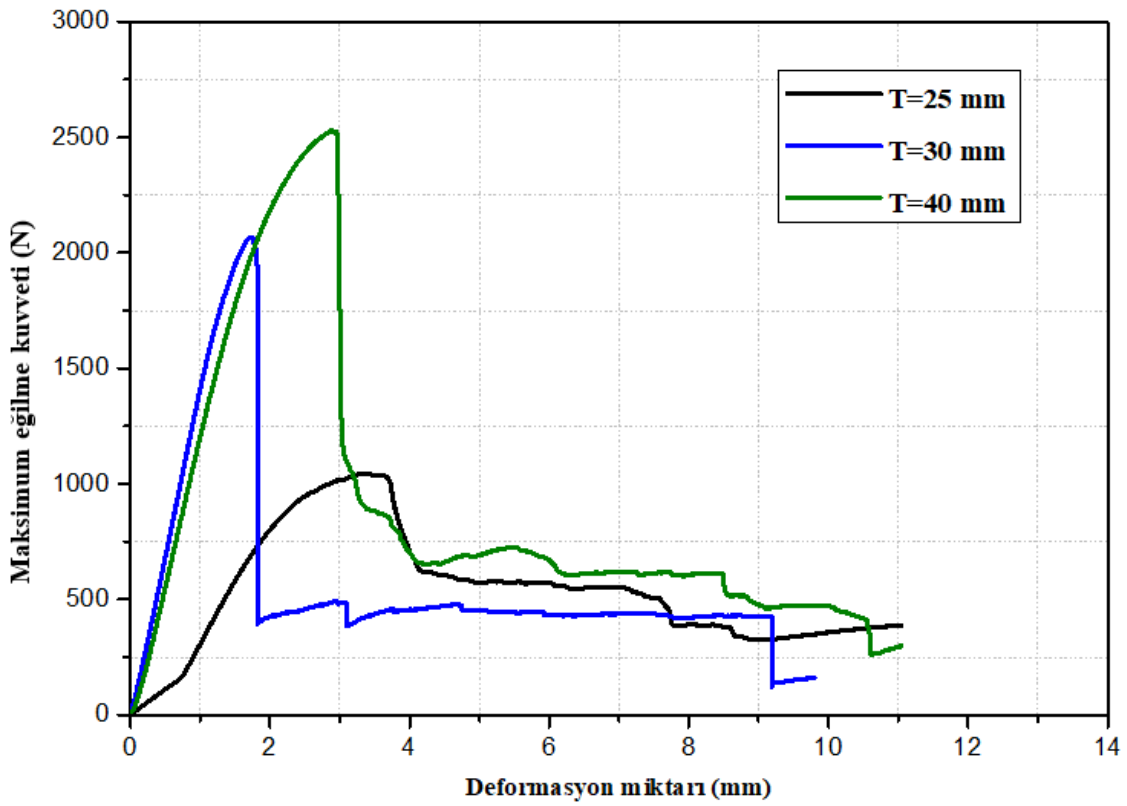
Şekil 5.13. H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.14' de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=40 mm hücre yüksekliğine ve L=200 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 611 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğine ve L=125 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 434 N olarak elde edilmiştir. Hücre boyutunun artması maksimum eğilme kuvvetini azaltırken hücre yüksekliğinin artması maksimum eğilme kuvvetini arttırmıştır.



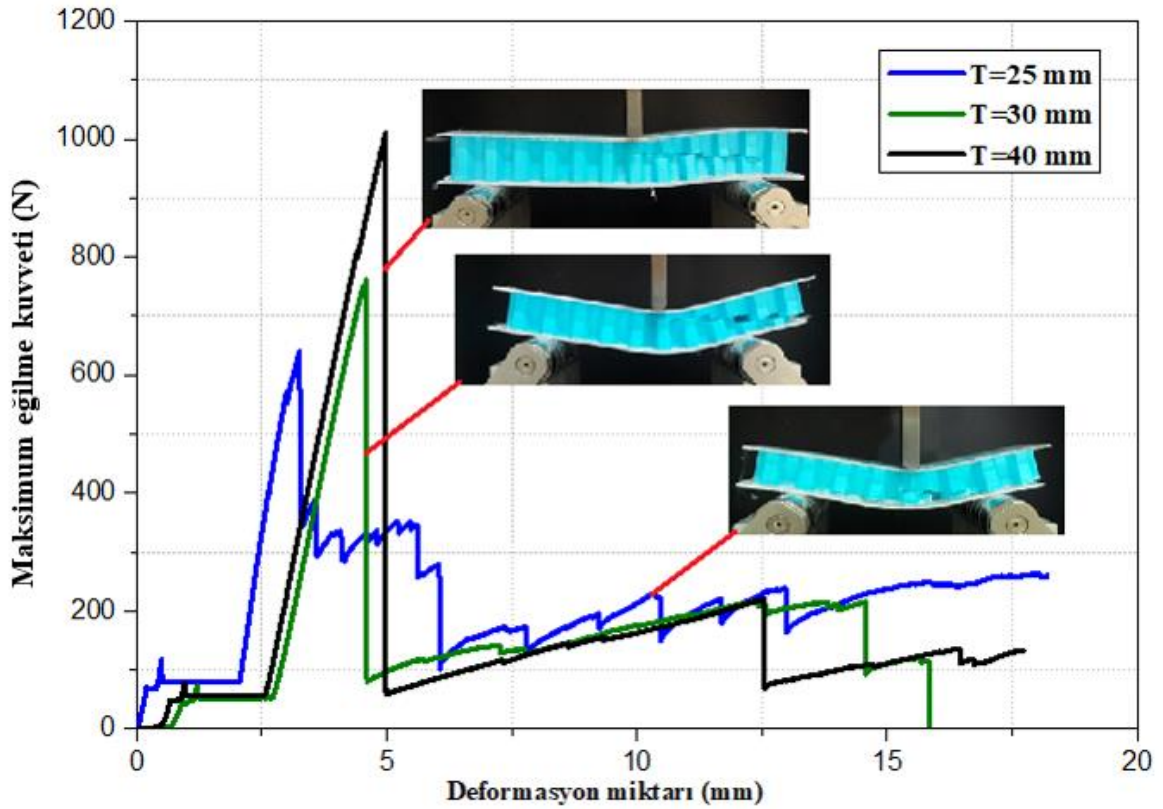
Şekil 5.14. H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.15’ de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=40 mm hücre yüksekliğine ve L=200 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 1720 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğine ve L=125 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 817 N olarak elde edilmiştir. Hücre yüksekliğinin artması maksimum eğilme kuvvetini arttırmıştır.



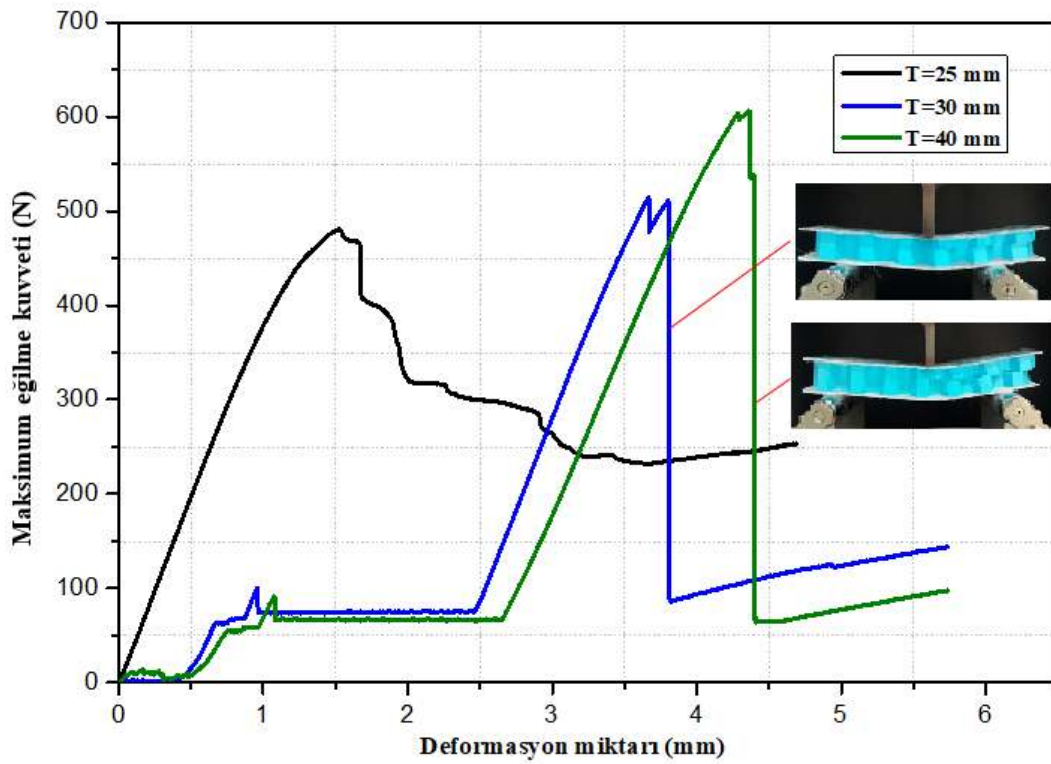
Şekil 5.15. H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri Şekil 5.16' da verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=40 mm hücre yüksekliğine ve L=200 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 1032 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğine ve L=125 mm uzunluğa sahip petek yapıli kompozit levhada 643 N olarak elde edilmiştir. Grafikde görülen ani düşüşlerin sebebi Şekil 5.17'de de görüleceğı gibi petek yapıli kompozit levhada katmanların birbirinden kaymasıdır.



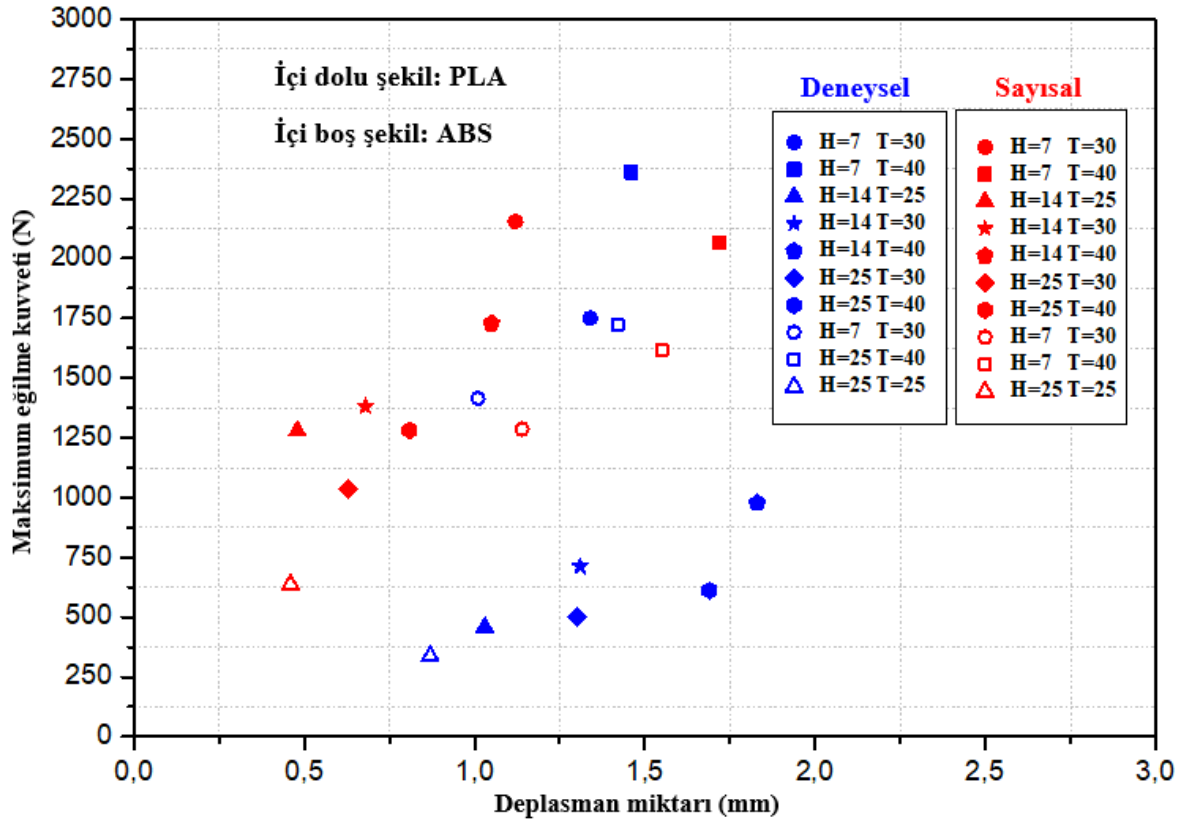
Şekil 5.16. H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değıştirme grafiğı

H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 5.17’ de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=40 mm hücre yüksekliğine ve L=200 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 620 N olarak elde edilirken en düşük eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğine ve L=125 mm uzunluğa sahip petek yapıları kompozit levhada 337 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre boyutuna bağlı olarak maksimum eğilme kuvveti azalmıştır.



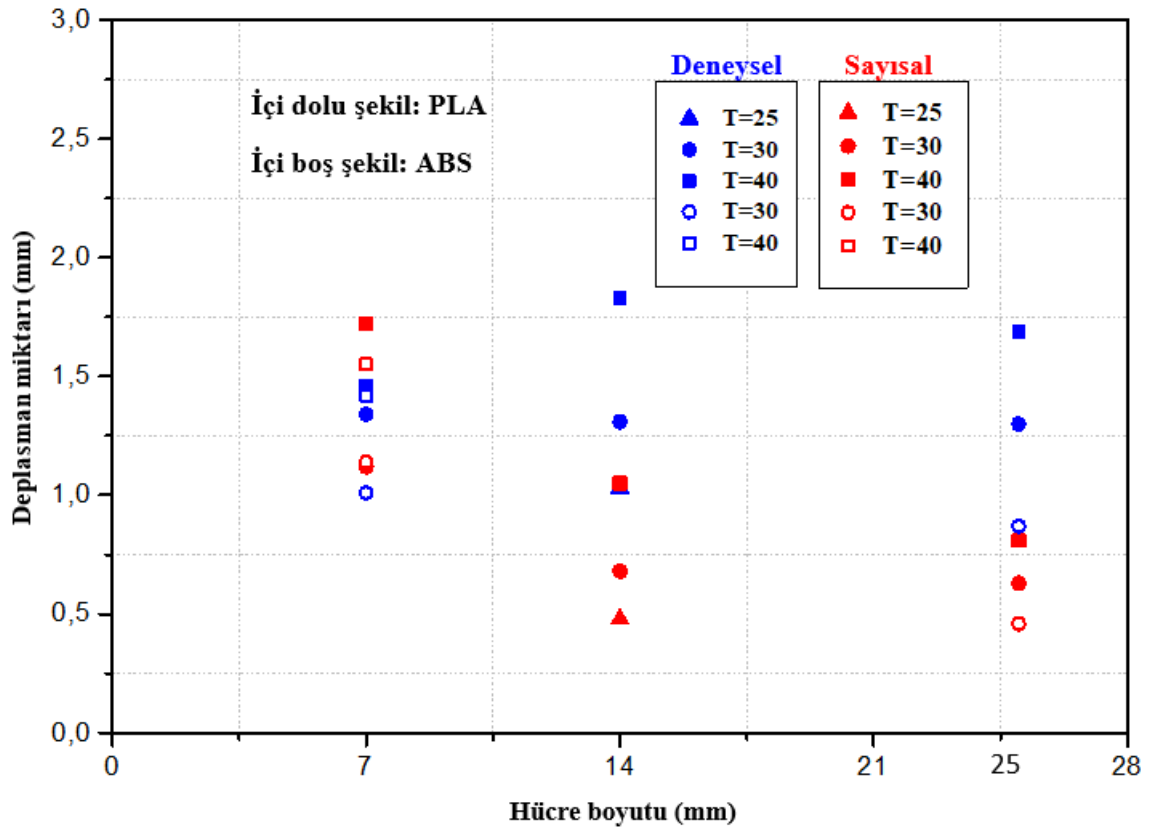
Şekil 5.17. H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonrası yük-yer değiştirme grafiği

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların maksimum eğilme kuvveti-deplasman miktarı grafiği Şekil 5.18’ de görülmektedir. Hücre boyutu arttıkça maksimum eğilme kuvvetinin azalmasına karşın hücre yüksekliğinin artmasına bağlı olarak maksimum eğilme kuvveti değeri artmıştır. Hücre boyutu arttıkça deplasman miktarı azalmıştır.



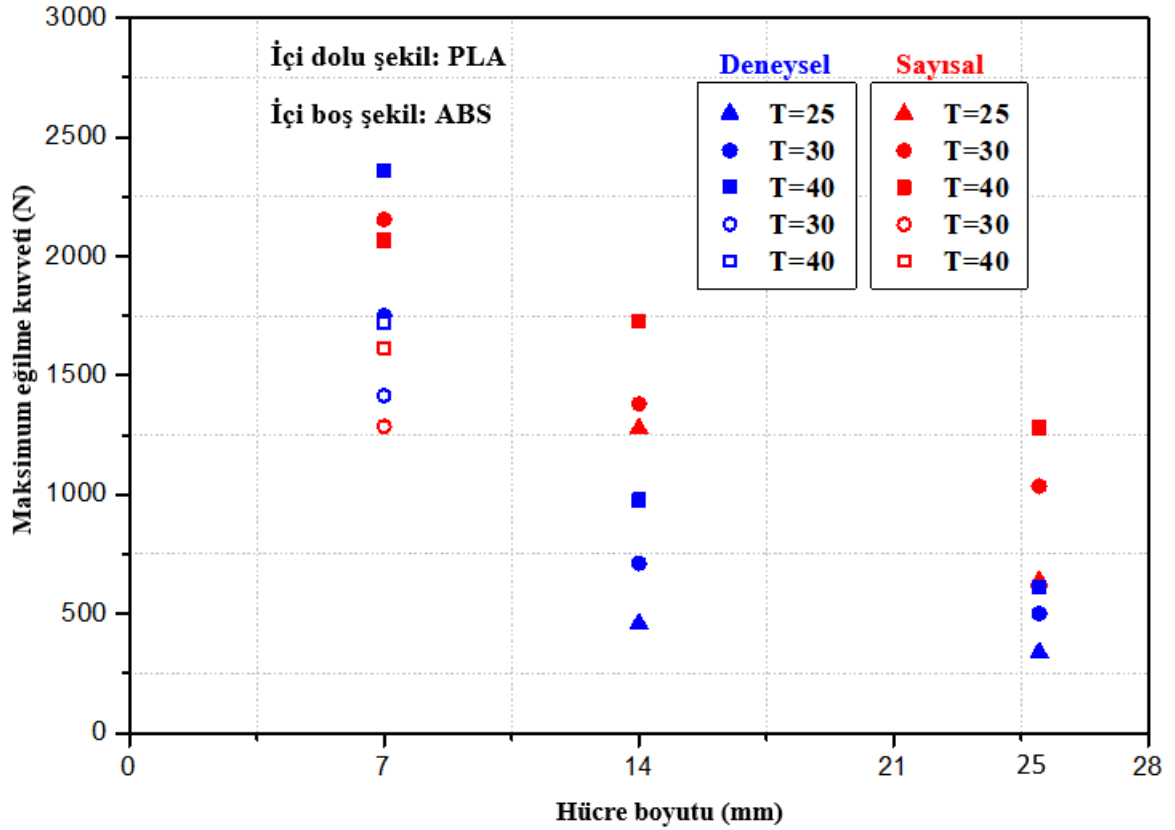
Şekil 5.18. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların deneysel ve sayısal maksimum eğilme kuvvetleri ve deplasman miktarları

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların deplasman miktarı-hücre boyutu grafiği Şekil 5.19’ da görülmektedir. En yüksek deplasman miktarları T=40 mm hücre yüksekliğine sahip ABS ve PLA termoplastik petek yapıları numunelerde elde edilmiştir. Hücre boyutu arttıkça deplasman değerleri arasındaki fark artmıştır.



Şekil 5.19. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapıları kompozit levhaların hücre boyutuna karşı deneysel ve sayısal deplasman miktarları

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların Maksimum eğilme kuvveti-Hücre boyutu grafiği Şekil 5.20’ de görülmektedir. Hücre boyutu arttıkça maksimum eğilme kuvveti azalmıştır. Hücre yüksekliği arttıkça maksimum eğilme kuvvet değeri artmıştır.

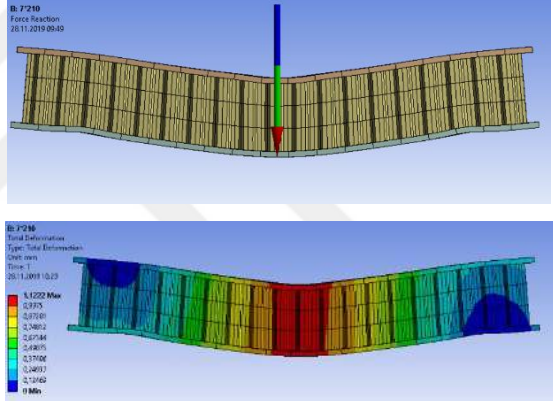
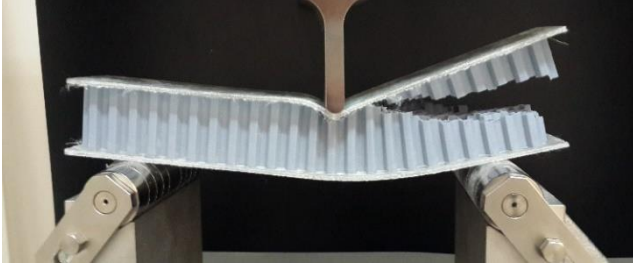
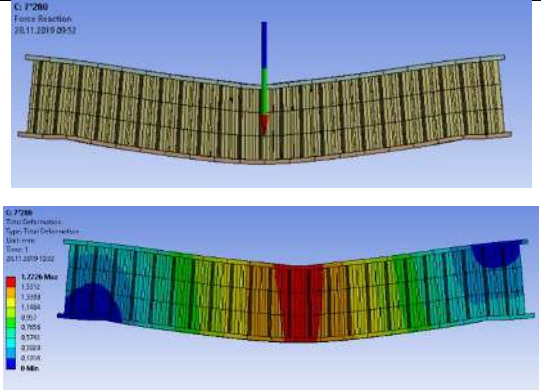


Şekil 5.20. H=7, H=14, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların hücre boyutuna karşın deneysel ve sayısal maksimum eğilme kuvvetleri

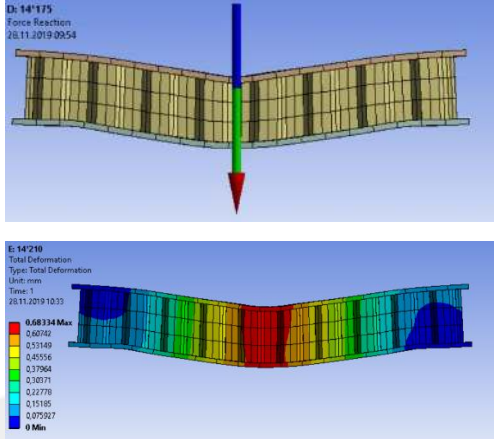
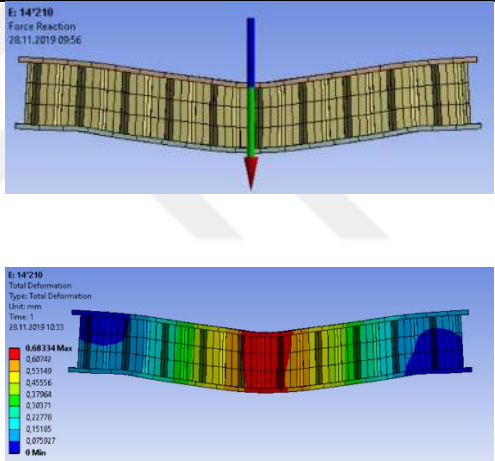
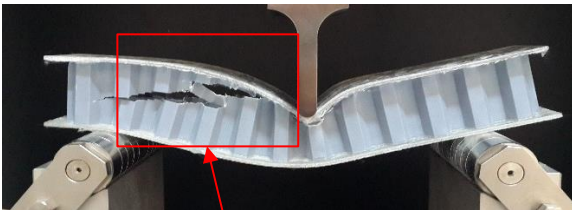
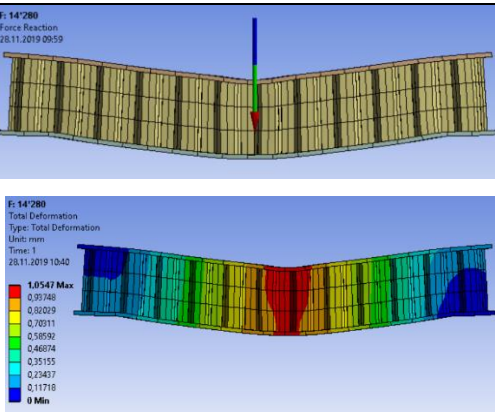
H=7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelere meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.8' de, H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelere meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.9' da, H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelere meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.10' da görülmektedir.

H=7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı numunelere meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5. 11' de, H=14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı numunelere meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.12' de, H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı numunelere meydana gelen hasarların SEY ve deneysel fotoğrafları Tablo 5.13' de görülmektedir.

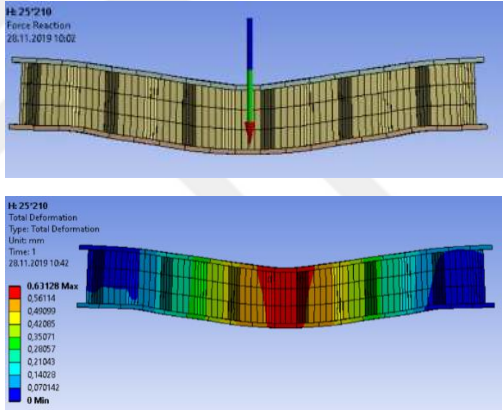
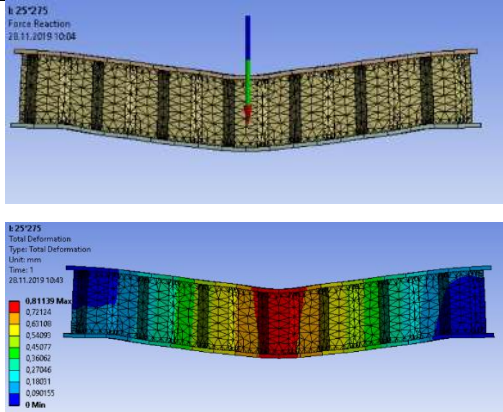
Tablo 5.8. H =7 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

7-25 PLA Deney	
	
7-30 PLA Deney	7-30 PLA SEY
 (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası ayrılma görülmüştür.)	
7-40 PLA Deney	7-40 PLA SEY
	

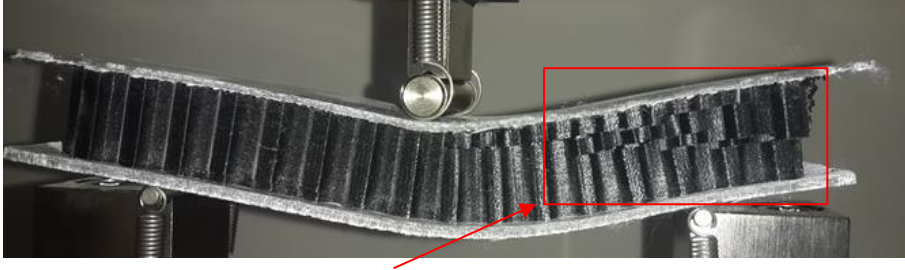
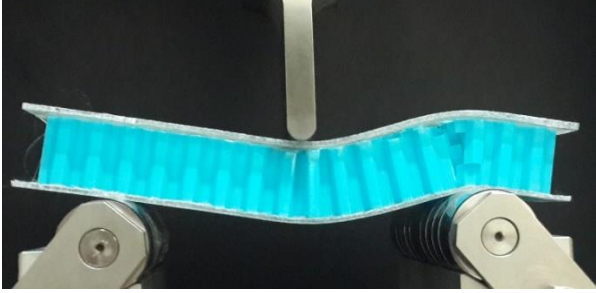
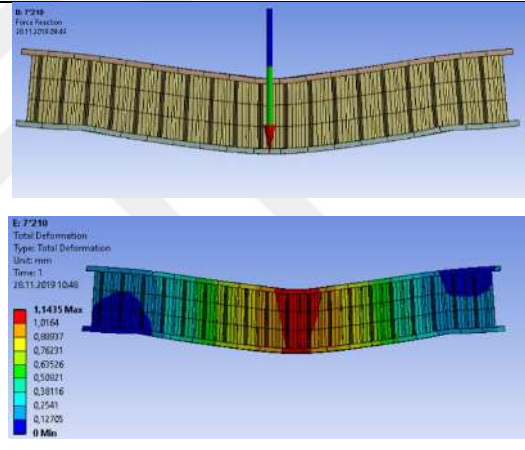
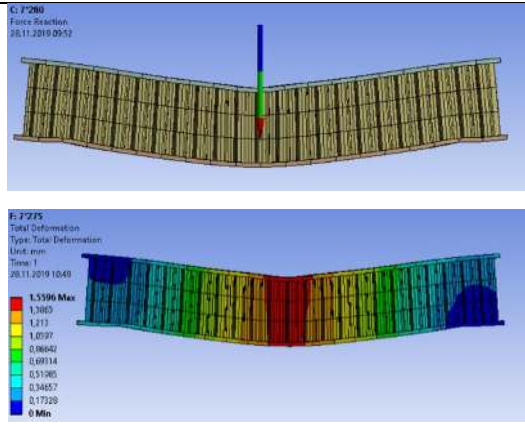
Tablo 5.9. H =14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

14-25 PLA Deney 	14-25 PLA SEY 
14-30 PLA Deney 	14-30 PLA SEY 
14-40 PLA Deney  (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası ayrılma görülmüştür.)	14-40 PLA SEY 

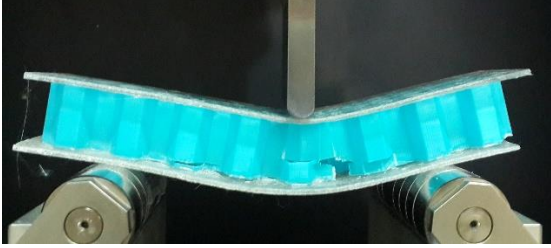
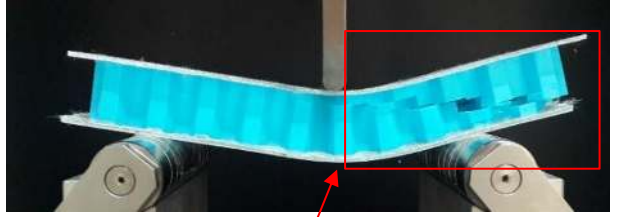
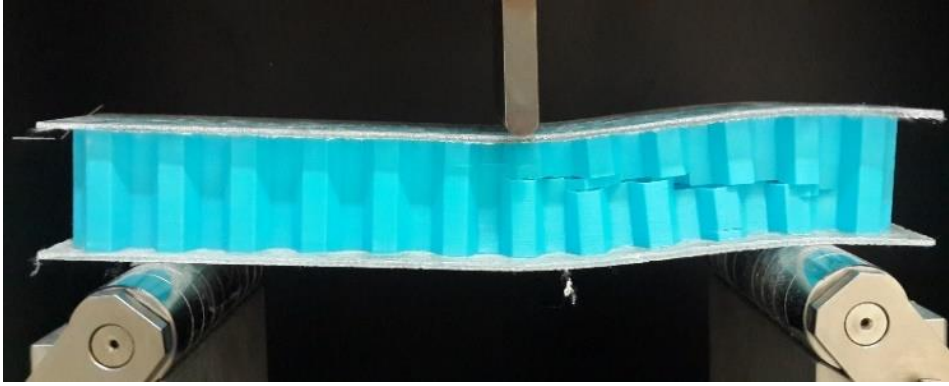
Tablo 5.10. H =25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

25-25 PLA Deney	
	
25-30 PLA Deney	25-30 PLA SEY
 (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası ayrılma görülmüştür.)	
25-40 PLA Deney	25-40 PLA SEY
	

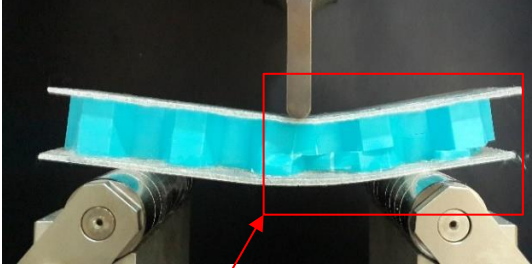
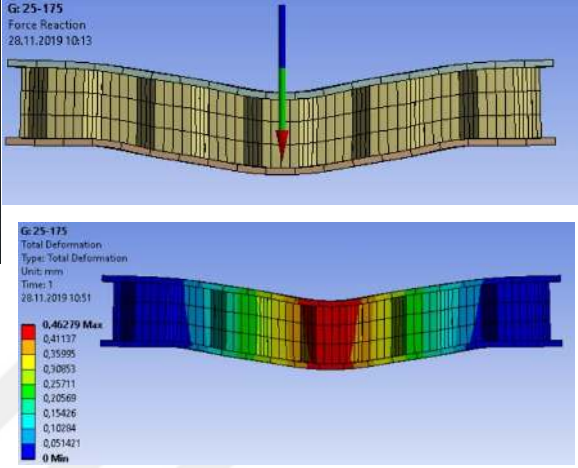
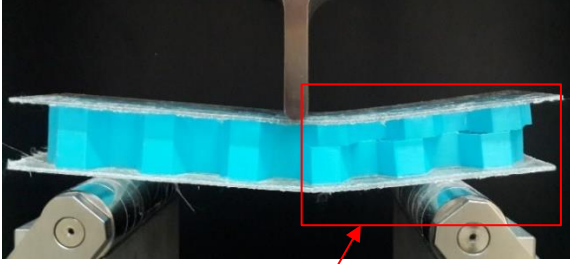
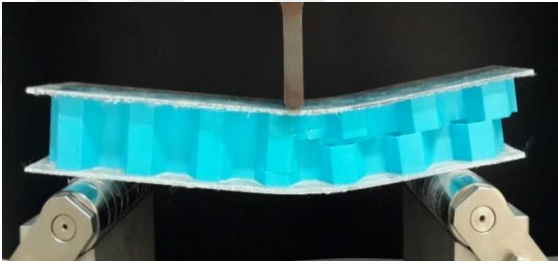
Tablo 5.11. H =7 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

7-25 ABS Deney	
 (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası kayma görülmüştür.)	
7-30 ABS Deney	7-30 ABS SEY
	 B: P210 Force Reaction 20.11.2019 09:45 Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 20.11.2019 10:40 1.1415 Max 1.0164 0.88937 0.76231 0.63526 0.50821 0.38116 0.2541 0.12705 0 Min
7-40 ABS Deney	7-40 ABS SEY
	 C: P280 Force Reaction 20.11.2019 09:52 Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 20.11.2019 10:40 1.5596 Max 1.3803 1.213 1.0597 0.86402 0.68014 0.51985 0.34857 0.17229 0 Min

Tablo 5.12. H =14 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

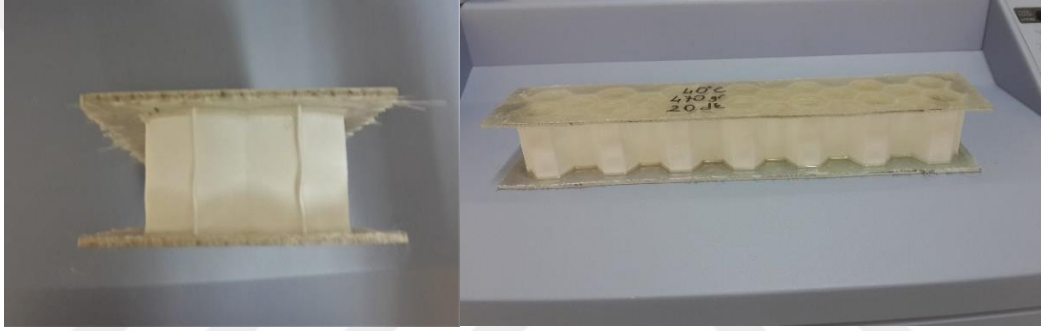
14-25 ABS Deney	14-30 ABS Deney
	 (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası kayma görülmüştür.)
14-40 ABS Deney	
	

Tablo 5.13. H =25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik numunelerde meydana gelen deneysel ve SEY fotoğrafları

25-25 ABS Deney	25-25 ABS SEY
 (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası kayma görülmüştür.)	
25-30 ABS Deney	25-40 ABS Deney
 (Üretim esnasında katmanlar arası yapışma iyi olmadığından katmanlar arası kayma görülmüştür.)	

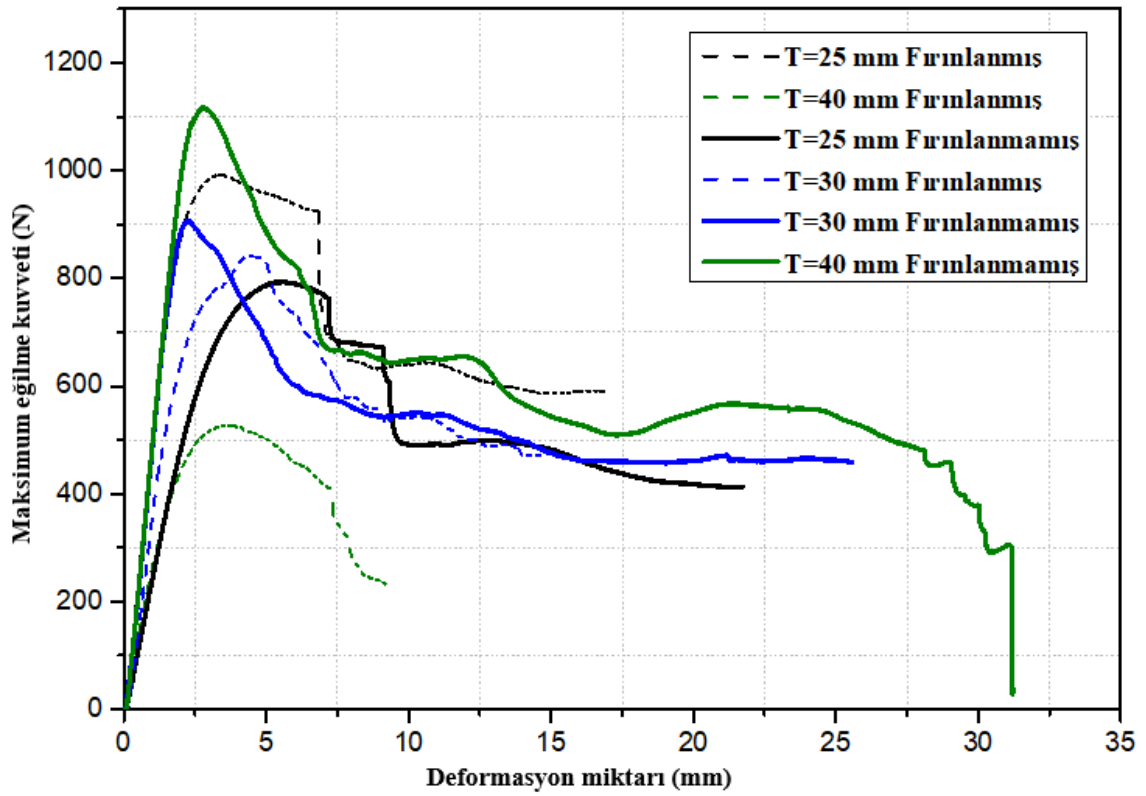
5.4. Sıcaklık ve Basınç Altında Üretilen Numunelerin Üç Nokta Eğilme Deneyi Sonuçları

Petek yapıli kompozit levhalar diğler deney numunelerle aynı şartlarda üretildikten sonra fırınlama işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlem 40 °C sıcaklık, 470 gr ağırlık ve 20 dakika zaman şeklinde ayarlanarak numunelere uygulanmıştır. Ağırlık kompozit levhaların tüm yüzeye eşit dağılacak şekilde 60X240 mm ebatlarında bir levha kullanılarak uygulanmıştır. Fırınlama işlemi esnasında sıcaklıktan dolayı çarpılan hücre duvarı Şekil 5.21’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar ile sunulmuştur.



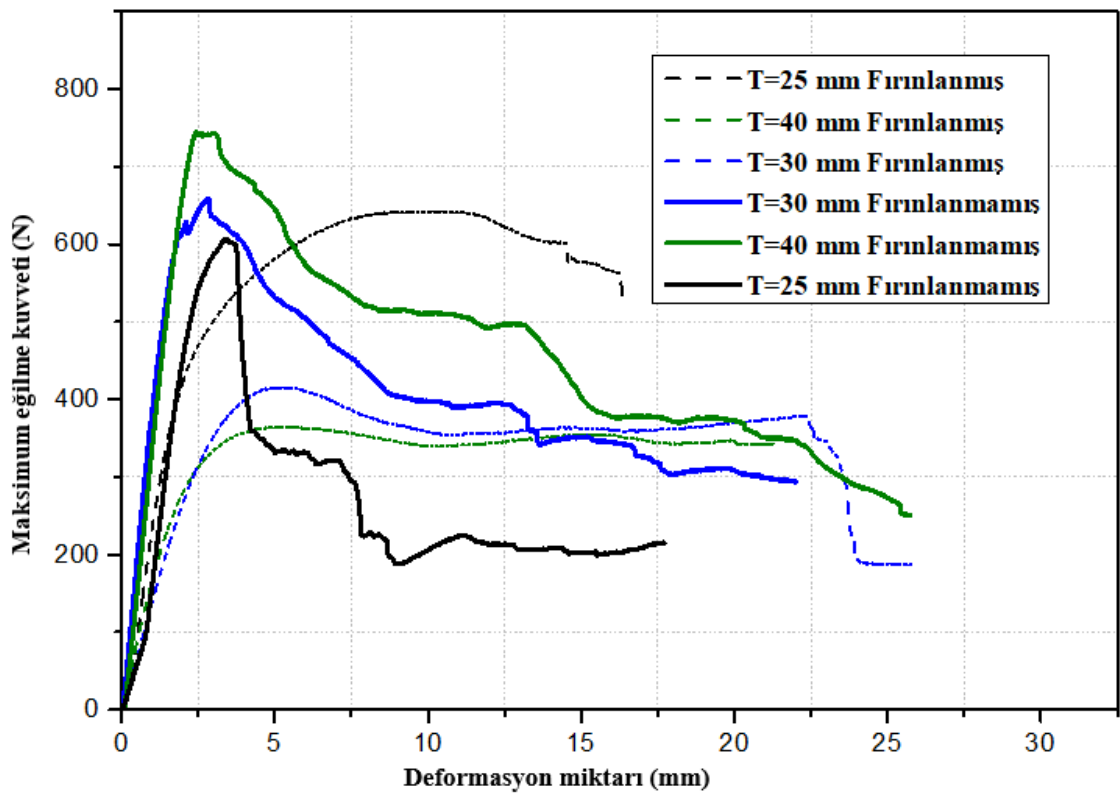
Şekil 5.21. Fırınlama işlemi esnasında sıcaklıktan dolayı çarpılan hücre duvarı

Fırınlama işlemine maruz bırakılmış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafiğı Şekil 5.22’de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti T=25 mm hücre yüksekliğı ve L=125 mm uzunluğına sahip fırınlanmış PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhada 780 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre yüksekliğıne bağılı olarak eğilme kuvvet değeri azalmıştır.



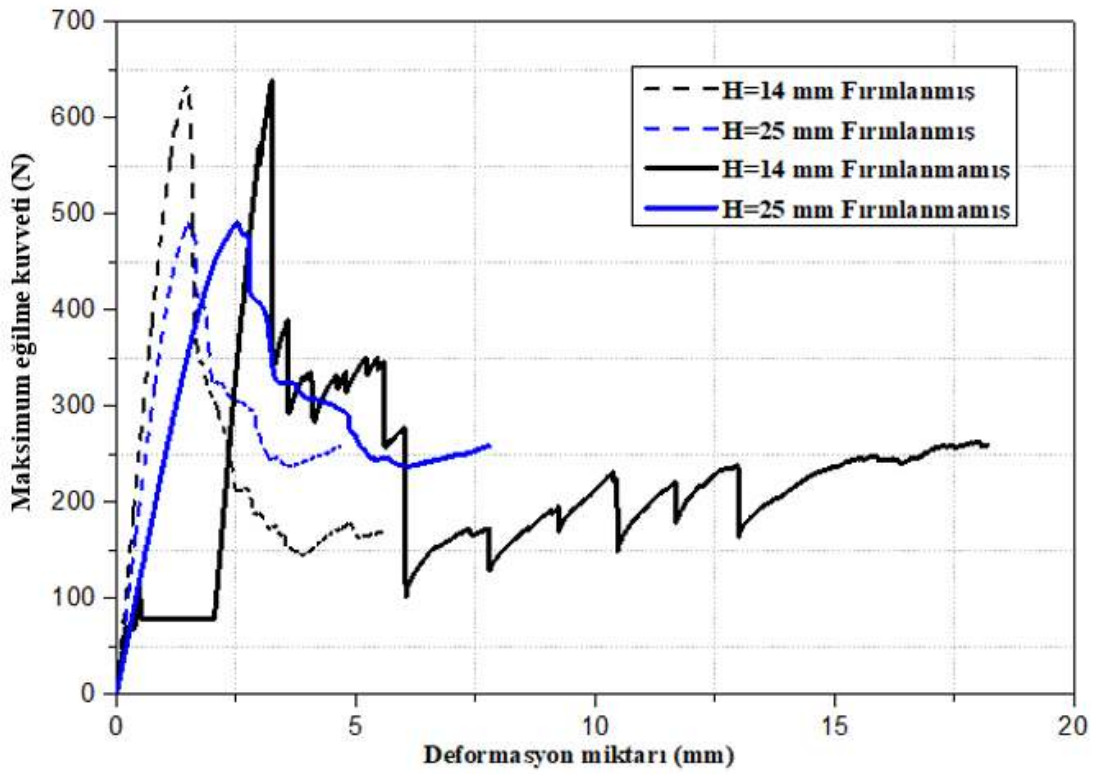
Şekil 5.22. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıli kompozit levhaların yük-yer değıştirme grafiğı

Fırınlama işlemine maruz bırakılmış H=25 mm hücre boyutuna PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme grafiği Şekil 5.23’de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti fırınlanmamış T=25 mm hücre yüksekliğine sahip numunede 611 N olarak elde edilmiştir. Artan hücre yüksekliğine bağlı olarak artması beklenen maksimum eğilme kuvvetinin azalmasının nedeni fırınlama esnasında sıcaklıktan dolayı çarpılan hücre duvarlarının yamulmasıdır.



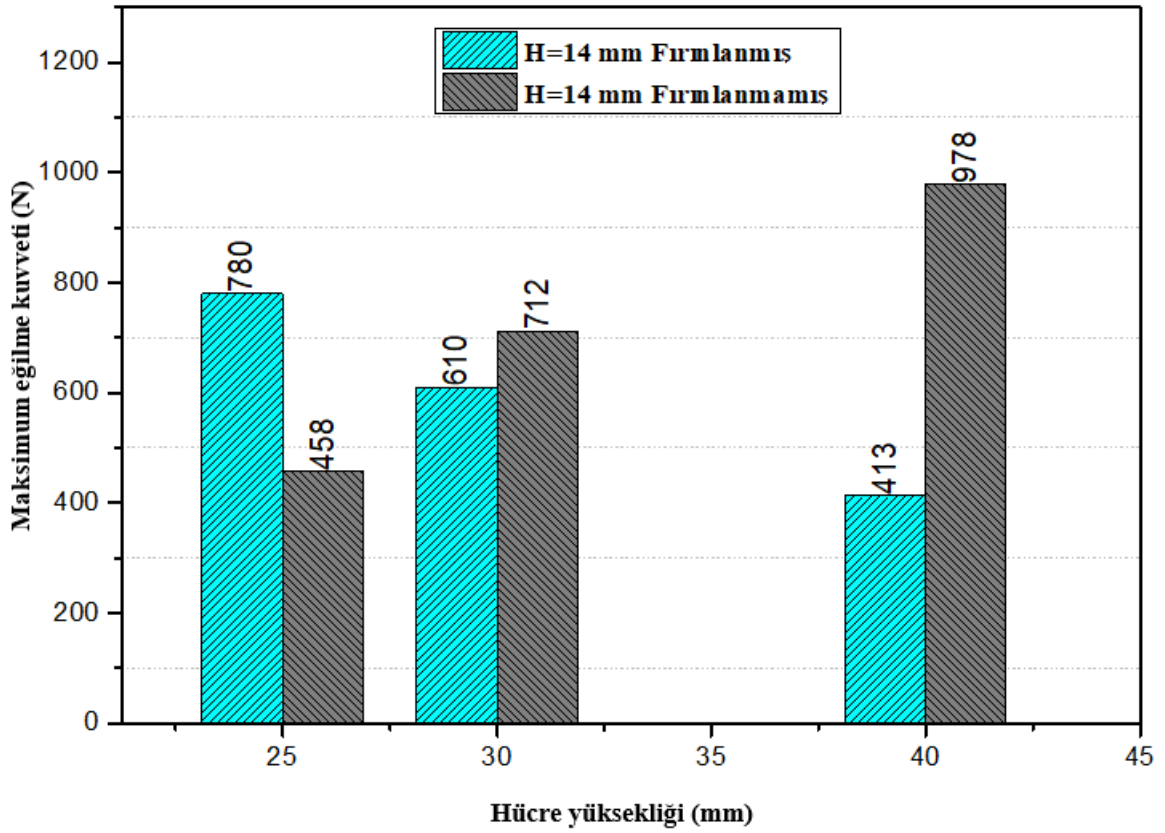
Şekil 5.23. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları kompozit levhaların yük-yer değiştirme grafiği

Fırınlama işlemine maruz bırakılmış H=14 mm, H=25 mm hücre boyutu ve T=25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafiğı Şekil 5.24’de verilmiştir. En yüksek eğilme kuvveti fırınlanmamış H=14 mm hücre boyutuna sahip numunede 643 N olarak elde edilmiştir. Eğilme kuvveti hücre boyutuna bağıli olarak azalmıştır. Fırınlama işlemini ABS termoplastik filament üzerinde net bir etkisi olmamıştır.



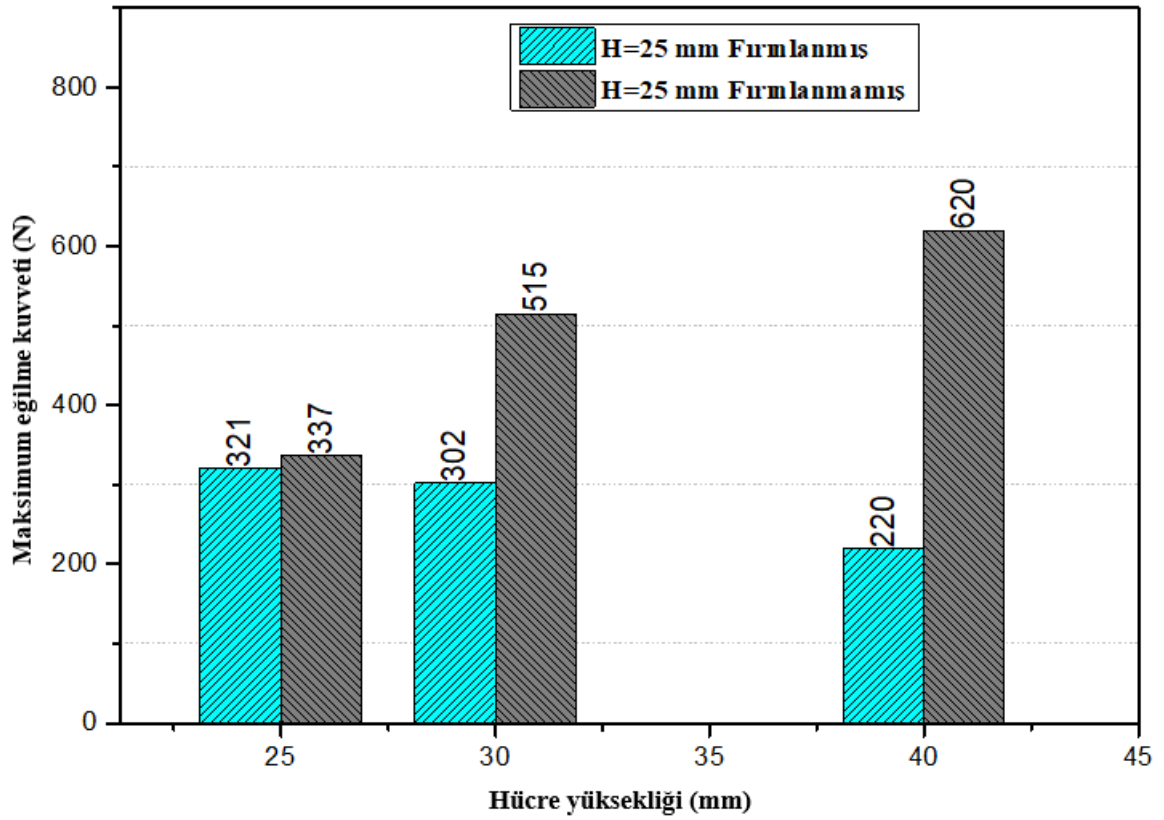
Şekil 5.24. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm, H=25 mm hücre boyutuna ve T=25 mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların yük-yer değıştirme grafiğı

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine ve H=14 mm hücre boyutuna sahip fırınlanmış ve fırınlanmamış PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum eğilme kuvvet değerleri Şekil 5.25’ de görülmektedir. Daha önce elde edilen sonuçlardan farklı olarak artan hücre yüksekliği ile eğilme kuvvetinin azalmasının nedeni petek hücre duvarlarının ortam sıcaklığından dolayı çarpılması olarak değerlendirilmiştir.



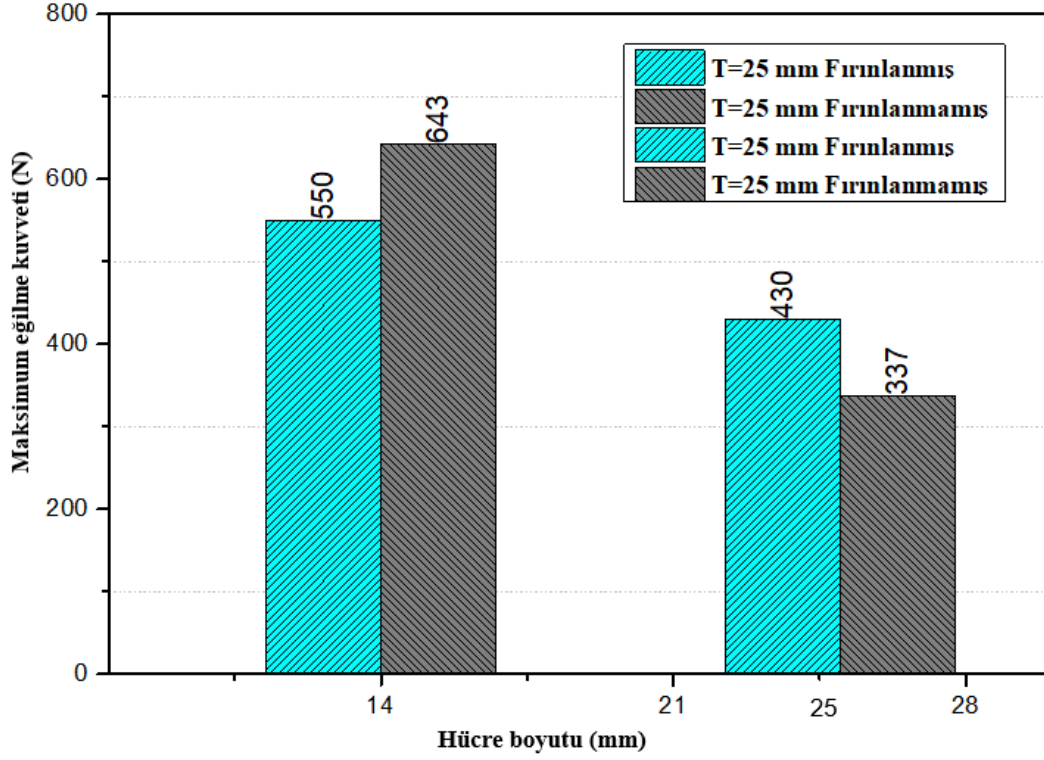
Şekil 5.25. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların deneysel maksimum eğilme kuvvetleri

T=25, T=30 ve T=40 mm hücre yüksekliğine ve H=25 mm hücre boyutuna sahip fırınlanmış ve fırınlanmamış PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum eğilme kuvvet değerleri Şekil 5.26’ da görülmektedir. Hücre yüksekliği arttıkça fırınlanmamış numunelerde eğilme kuvveti artarken fırınlanmış numunelerde azalmıştır. Bunun nedeni fırınlama işlemi esnasında sıcaklıktan dolayı hücre duvarlarının çarpılmasıdır.



Şekil 5.26. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı kompozit levhaların deneysel maksimum eğilme kuvvetleri

H=14 mm, H=25 mm hücre boyutu ve T=25 hücre yüksekliğine sahip fırınlamanmış ve fırınlanmamış ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum eğilme kuvvet değeri Şekil 5.27’ de görülmektedir.



Şekil 5.27. Fırınlanmış ve fırınlanmamış H=14 mm, H=25 mm hücre boyutu ve T=25 hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapıli kompozit levhaların deneysel maksimum eğilme kuvvetleri

Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhaların üç nokta eğilme deneyi sonucunda elde edilen maksimum eğilme kuvvetleri Tablo 5.14’de verilmiştir. Fırınlama işlemi esnasında sıcaklıktan dolayı çarpılan hücre duvarlarının burkulması ile hücre yüksekliği arttıkça maksimum eğilme kuvvet değeri azalmıştır.

Tablo 5.14. Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış PLA termoplastik petek yapılı numunelerin maksimum eğilme kuvveti

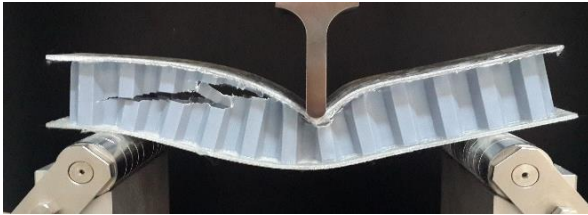
Numune adı	Fırınlanmış PLA (N)	Fırınlanmamış PLA (N)	Fırınlanmış ABS (N)	Fırınlanmamış ABS (N)
14-25	780	458	550	643
14-30	610	712	-	-
14-40	473	978	-	-
25-25	321	337	430	337
25-30	302	515	-	-
25-40	220	611	-	-

Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları Tablo 5. 15’ da verilmiştir.

Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları Tablo 5. 16’ da verilmiştir.

Sıcaklık ve basınca maruz bırakılmış H=14 mm ve H=25 mm hücre boyutuna sahip ABS termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları Tablo 5. 17’ de verilmiştir.

Tablo 5.15. Fırınlanmamış ve fırınlanmış H=14 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları

14-25 PLA Fırınlanmamış	14-25 PLA Fırınlanmış
	
14-30 PLA Fırınlanmamış	14-30 PLA Fırınlanmış
	
14-40 PLA Fırınlanmamış	14-40 PLA Fırınlanmış
	

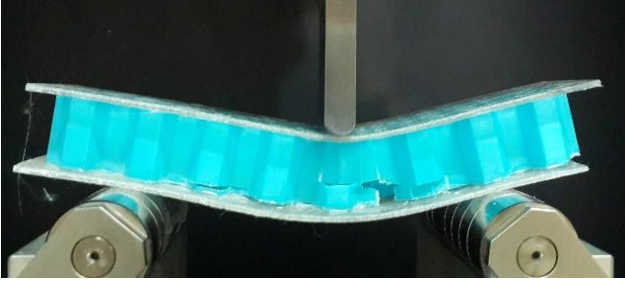
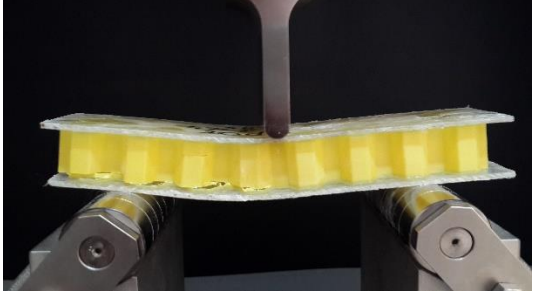
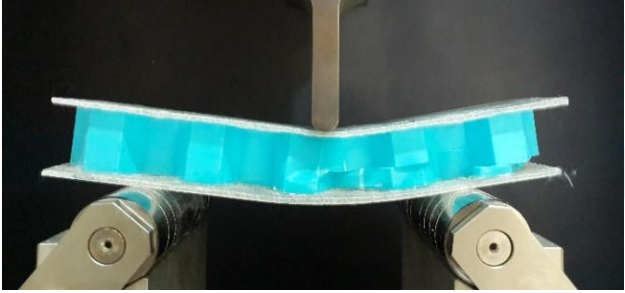
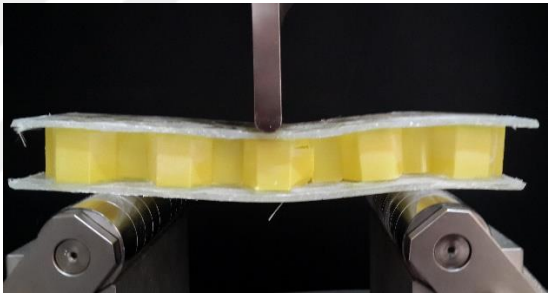
Fırınlama işleminden sonra PLA termoplastik petek yapıları numunelerde maksimum eğilme kuvveti azalırken tabakalar arası ayrılma olmamıştır.

Tablo 5.16. Fırınlanmamış ve fırınlanmış H=25 mm hücre boyutuna sahip PLA termoplastik petek yapıları numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları

25-25 PLA Fırınlanmamış	25-25 PLA Fırınlanmış
	
25-30 PLA Fırınlanmamış	25-30 PLA Fırınlanmış
	
25-40 PLA Fırınlanmamış	25-40 PLA Fırınlanmış
	

Fırınlama işleminden sonra PLA termoplastik petek yapıları numunelerde sıcaklık ve ağırlığın etkisi ile birbirine iyice yapışan katmanlarda ayrılma olmamıştır.

Tablo 5.17. Fırınlanmamış ve fırınlanmış ABS termoplastik petek yapılı numunelerde meydana gelen hasarların deneysel fotoğrafları

14-25 ABS Fırınlanmamış	14-25 ABS Fırınlanmış
	
25-25 ABS Fırınlanmamış	25-25 ABS Fırınlanmış
	

Fırınlama işleminin ABS termoplastik petek yapılı numunelerde katmanlarının kaymasına etkisi olmamıştır.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üç farklı hücre boyutu ve üç farklı hücre yüksekliğine sahip PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalar üretilerek basma ve üç nokta eğilme deneyleri gerçekleştirilmiş ve sayısal olarak modellenen numunelerin analiz sonuçları elde edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler ile sonlu eleman analiz sonuçları ve mekanizmaları karşılaştırılarak aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

En yüksek maksimum kritik burkulma yükü $H=7$ mm hücre boyutu ve $T=25$ mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 18500 N ve 22097 N olarak elde edilmiştir.

En düşük maksimum kritik burkulma yükü $H=25$ mm hücre boyutu ve $T=40$ mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 701 N ve 771 N olarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre hücre yoğunluğu arttıkça kritik burkulma yükünün arttığı bunun tam aksine hücre yüksekliği arttıkça kritik burkulma yükünün azaldığı görülmüştür.

Tüm hücre boyutlarında PLA ve ABS termoplastik petek yapılı kompozit levhalarda maksimum kritik burkulma yüküne kadar olan kısımda elastik burkulma oluşmuştur. Maksimum kritik burkulma yükü aşıldıktan sonra plastik burkulma ile birlikte hücre duvarı ezilmesi gerçekleşmiştir.

En yüksek maksimum eğilme yükü $H=7$ mm hücre boyutu ve $T=40$ mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı numunede deneysel olarak 2360 N elde edilirken sayısal olarak $H=7$ mm hücre boyutu ve $T=30$ mm hücre yüksekliğine sahip PLA termoplastik petek yapılı numunede 2154 N olarak elde edilmiştir.

En düşük maksimum eğilme kuvveti $H=25$ mm hücre boyutu ve $T=25$ mm hücre yüksekliğine sahip ABS termoplastik petek yapılı numunede deneysel ve sayısal olarak sırası ile 337 N ve 637 N olarak elde edilmiştir.

Hücre boyutu arttıkça hem basma hem de üç nokta eğilme için deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki farkın arttığı görülmüştür.

Yapılan üç nokta eğilme deneyleri sonucunda PLA ve ABS termoplastik petek yapılı numunelerde katmanlar arası kopma gerçekleştiği görülmüştür.

Eğilme numunelerine uygulanan fırınlama işlemi maksimum eğilme kuvvetini azaltmıştır. Bunun nedeni numunelere uygulanan fırınlama işlemi esnasında hücre duvarlarının sıcaklık ve numunelerin üzerine konulan ağırlığın etkisi ile çarpılmasıdır. Hücre yüksekliğinin artması bu çarpılma olayını arttırmakta dolayısı ile fırınlama işlemi sonrası hücre yüksekliği artımına bağlı olarak eğilme kuvveti düşmektedir.

Fırınlama işlemi sonrası hücrelerde meydana gelen çarpılmadan dolayı eğilme kuvveti azalırken özellikle PLA termoplastik petek yapılı numunelerde tabakalar arasındaki ayrılmayı engellemiştir.

Genel olarak PLA termoplastik malzemenin ABS termoplastik malzemeye göre daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1]. Bek, H. Ercan, M. Doğuş ve A. Ünal 6th International advanced technologies symposium (IATS 11), 16-18 May 2011 Elazığ, Turkey
- [2]. N. Arslan, M. O. Kaman Alüminyum, Kağıt ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması DEÜ mühendislik fakültesi fen ve Mühendislik dergisi Cilt:4, Sayı:3, Sh.113-123 Ekim 2000
- [3]. M. Y. Solmaz, M. O. Kaman, K. Turan, A. Turgut, Petek Yapılı Kompozit Levhaların Eğilme Davranışlarının İncelenmesi Fırat Üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi 22(1), 1-11, 2010
- [4]. Asadi, M; Shirvani, H.; Sanaei, E.; Ashmead, M. A simplified model to simulate crash behavior of honeycomb, proceedings of the international conference on advanced Design and manufacture, 8th-10th January Harbin, China, 2006; p.119-123
- [5]. Zhou, G., Hill, M.D. İmpact damage and energy absorbing characteristics and residual in-plane compressive strength of honeycomb sandwich panels, Journal of sandwich structures and materials. 2009; VOI11, p.329-356
- [6]. Galletti, G.G., Vinquist, C. and Es-Said, O.S. (2008). Theoretical design and analysis of a honeycomb panel sandwich structure loaded in pure bending. Engineering Failure Analysis, 15(5), 555–562.
- [7]. Fiedler, T. and Ochsner, A.(2008). Experimental analysis of the flexural properties of sandwich panels with cellular core materials. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 39(2), 121,124.
- [8]. He, M. and Hu, W. (2008). A study on composite honeycomb sandwich panel structure. Materials and Design, 29(3), 709–713.
- [9]. Othman, A.R. and Barton, D.C.(2008). Failure initiation and propagation characteristics of honeycomb sandwich composites. Composite Structures, 85(2), 126–138.
- [10]. Davalos, J. F., Qiao, P., Ramayanam, V., Shan, L., Robinson, J., Torsion of honeycomb FRP sandwich beams with a sinusoidal core configuration, Composite Structures, 88, 97–111, (2009).

- [11]. Chen, C., Lu, T.J., Fleck, N.A., Effect of inclusions and holes on the stiffness and strength of honeycombs, *International Journal of Mechanical Sciences*, 43, 487-504, (2001).
- [12]. Arslan, N. and Kaman, M.O., Production techniques of honeycomb from aluminum, glass fiber and paper composites and investigation of the mechanical properties, *DEU Faculty of Engineering, Journal of Science and Engineering*, 4, 113-123, (2002).
- [13]. BALAWI, S and ABOT, J.L., The effect of honeycomb relative density on its effective in-plane elastic moduli: An experimental study, *Composite Structures*, 84, 293–299, (2008).
- [14]. Solmaz, M. Y. And Topkaya, T., Elipsoit Petek Yapılı Sandviç Yapıların Burkulma Dirençlerinin Sayısal Ve Deneysel Olarak Araştırılması , 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi 29-30 Kasım 2012- Balıkesir
- [15]. Solmaz, M. Y. and Kaman, M.O., Petek Yapılı Sandviç Yapılarda Köpük Dolgusunun Kritik Burkulma Yüküne Etkisi, *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5(1), 24-34. (2010).
- [16]. Arslan Kemal, Güneş Recep., Experimental damage evaluation of honeycomb sandwich structures with Al/B4C FGM face plates under high velocity impact loads, *Volume 202*, 15 October 2018, Pages 304-312
- [17]. Zhang , D., Lu, G., Ruan, D., Fei, Q., Duan, W., Quasi-static combined compression-shear crushing of honeycombs: An experimental study , *Materials & Design* Volume 167, 5 April 2019, 107632
- [18]. Khoshravan, M. R. ve Pour, M. N., 2014, Numerical and experimental analyses of the effect of different geometrical modelings on predicting compressive strength of honeycomb core, *Thin-Walled Structures*, 84, 423-431.
- [19]. Xie, S. ve Zhou, H., 2015, Analysis and optimisation of parameters influencing the outof-plane energy absorption of an aluminium honeycomb, *Thin-Walled Structures*, 89, 169-177.
- [20]. Hong, S., Pan, J., Tyan, T. ve Prasad, P., 2006, Quasi-static crush behavior of aluminum honeycomb specimens under non-proportional compression-dominant combined loads, *International Journal of Plasticity*, 22 (6), 1062-1088

- [21]. Nia, A. A. ve Sadeghi, M. Z., 2010, The effects of foam filling on compressive response of hexagonal cell aluminum honeycombs under axial loading-experimental study, *Materials & Design*, 31 (3), 1216-1230.
- [22]. Banghai J, Zhibin L, Fangyun L., (2015) Failure mechanism of sandwich beams subjected to three-point bending. *Composite Structures* 133:739–745. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.07.056
- [23]. Shi S, Sun Z, Hu X, Chen H., (2014) Flexural strength and energy absorption of carbon-fiber-aluminum-honeycomb composite sandwich reinforced by aluminum grid. *Thin-Walled Structures* 84:416–422. doi: 10.1016/j.tws.2014.07.015
- [24]. Kowalska, M. C., Garstecki, A. ve Pozorski, Z., 2008, Methods of experimental determination of soft core parameters in sandwich panels, 8th International Conference on Sandwich Structures(ICSS 8), 463-473.
- [25]. J. Cantrell, S. Rohde, D. Damiani, R.Gurnani, L. D. Sandro, J. Anton, A. Young, A.Jerez, D. Steinbach, C. Kroese, and P. İfju., Experimental characterization of the mechanical properties of the 3D printed ABS and Polycarbonate parts
- [26]. <https://www.slideshare.net/DuranTuncel1/balpetei-kompozitler-56210673>
- [27]. <https://www.ceyrekmuhendis.com/kompozit-malzeme-nedir/>
- [28]. Prof. Dr. Mehmet ZOR Kompozit Malzemeler Dersi Bölüm 1
- [29]. Prof. Dr. Yusuf Şahin Kompozit Malzemelere Giriş
- [30]. M. O. Kaman, M. Y. Solmaz ve K. Turan, Experimental and Numerical Analysis of Critical Buckling Load of Honeycomb Sandwich Panels, *Journal of Composite Materials*, Vol. 44, No. 24/2010 DOI: 10.1177/0021998310371541
- [31]. <http://www.3byazici.com/p/3d-yazc-nedir.html>
- [32]. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%9C%C3%A7_boyutlu_bask%C4%B1
- [33]. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/home/feature_3d_food.html
- [34]. <http://minifab.com.tr/blog/3-boyutlu-yazici-teknolojisinin-tarihi-ve-anlami.html>
- [35]. <http://www.3dortgen.com/blog/3d-yazici-rehberi-2-3d-yazicilarda-kullanimauygun-hammaddeler>
- [36]. <http://www.stlindir.com/3d-yazici-hammaddesi-filament-nedir-cesitleri-nelerdir>
- [37]. <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>
- [38]. <http://www.tasarimdanimalata.com/abs-ve-pla-karsilastirmasi-farklari/>
- [39]. <http://www.putech-composites.com/Haber/Kompozit-Malzemeler-veOzellikleri.html>

- [40]. www.panellium.com.tr
- [41]. www.wikipedia.com.tr
- [42]. <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Eyüp Çelik

Doğum Yeri: Malatya, 02/02/1993



ÖĞRENİM DURUMU

2016- Yüksek Lisans Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı

2011-2016 Lisans Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği