



**AHŞAP PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN YENİ AUXETİK
YAPININ TASARIMI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Fulya ERDEMİR

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fulya ERDEMİR

15/01/2024

AHŞAP PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN YENİ AUXETİK YAPININ TASARIMI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Fulya ERDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada ahşap plastik kompozit (APK) malzeme üretimi gerçekleştirilmiş, ikinci aşamada yeni bir auxetic (ökzetik) yapı tasarımı yapılmıştır. 3D printer teknolojilerinde kullanılmak üzere, akrilonitril bütadien stiren (ABS), polietilen tereftalat glikol (PETG) ve polilaktik asit (PLA) plastik malzemeleri, atık fındık, badem, yer fıstığı, Antep fıstığı, ceviz ve kayısı çekirdeği meyve kabuğu tozları ile takviye edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin; TS EN ISO 1183-1 standardına göre yoğunluğu, TS EN ISO 1133-1 standardına göre akış indisi tayini, ASTM 638-02 standardına göre çekme mukavemeti, ASTM D 648 standardına göre Vicat yumuşama sıcaklık değeri ve ASTM D570 standardına göre su emme testi gerçekleştirilmiştir. Mekanik, fiziksel ve morfolojik özellikleri değerlendirilen kompozit malzemeler, auxetic yapı tasarımı üretilmesinde kullanılmak üzere filament haline getirilmiştir. Auxetic yapı tasarımı INVENTOR programı kullanılarak geliştirilmiş ve ANSYS yazılımında analiz edilmiştir. Tasarlanan yeni auxetic yapı tasarımı literatürde bulunan sentetik/insan yapımı olarak tarif edilen iki boyutlu (missing-rib yapı, re-entrant yapı, rotating yapı ve chiral yapı) yapı tasarımlarıyla mukayese edilmiştir.

Bilim Kodu : 91421
Anahtar Kelimeler : Ahşap Plastik Kompozit (APK), Ökzetik, Sonlu Elemanlar Analizi
Sayfa Adedi : 132
Danışman : Prof. Dr. Murat Tolga ÖZKAN

DESIGN OF NEW AUXETIC STRUCTURE AND INVESTIGATION OF
MECHANICAL PROPERTIES FOR WOOD PLASTIC COMPOSITE MATERIALS

(Ph. D. Thesis)

Fulya ERDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

There are two parts to this thesis project. A new auxetic structure was created in the second step after a wood-plastic composite (WPC) material was created in the first. Waste hazelnut, almond, peanut, pistachio, walnut, and apricot kernel fruit peel powders are used to reinforce plastic materials made of acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polyethylene terephthalate glycol (PETG), and polylactic acid (PLA), which are used in 3D printing technologies. The following tests were performed on the composite materials: water absorption test each for a ASTM D570 standard, Vicat softening temperature value each for a ASTM D648 standard, tensile strength each for a ASTM 638-02 standard, density each for a TS EN ISO 1183-1 standard, and flow index determination each for a TS EN ISO 1133-1 standard. To create filaments for auxetic structure design, composite materials were processed after their mechanical, physical, and morphological properties were assessed. The INVENTOR application was used to create the auxetic structural design, and ANSYS software was used to analyze it. The two-dimensional (missing-rib structure, re-entrant structure, revolving structure, and chiral structure) structure designs described as synthetic or man-made in the literature were compared to the newly designed auxetic structure.

Science Code : 91421

Key Words : Wood Plastic Composite (WPC), Auxetic, Finite Element Analysys

Page Number : 132

Supervisor : Prof. Dr. Murat Tolga ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Doktora tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmaların planlanmasında ve yürütülmesinde bilimsel desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yardımlarından faydalandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Murat Tolga ÖZKAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan çalışmaya değerli zamanlarını ayırarak görüş ve önerilerini benimle paylaşan Tez İzleme Komite Üyelerim Sayın Prof. Dr. Ahmet GÜRAL ve Sayın Prof. Dr. Halil DEMİR'e teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. AHŞAP PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER	5
2.1. Ahşap Plastik Kompozit Malzemelerin Tanımı	5
2.2. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	9
2.3. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri	11
2.3.1. Ekstrüzyon Yöntemi	11
2.3.2. Plastik Enjeksiyon Yöntemi	11
2.3.3. Sıcak Presleme Yöntemi	12
2.4. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Özellikleri.....	13
3. AUXETİK YAPILAR	15
3.1. Auxetic Yapıların Tanımı	15
3.2. Auxetic Yapıların Sınıflandırılması	15
3.3. Auxetic Yapıların Üretim Yöntemleri	16
3.3.1. Lazer kesme yöntemi	17
3.3.2. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi	17
3.3.3. Ergitme yöntemi.....	18
3.3.4. Toz metalurjisi yöntemi	19
3.3.5. Laminasyon yöntemi.....	19
3.3.6. Katlama-Eğirme yöntemi	20
3.3.7. Açık kalıplama yöntemi	20

	Sayfa
3.3.8. Kapalı kalıplama yöntemi	21
3.4. Auxetic Yapıların Özellikleri	22
3.4.1. Kayma (Rijitlik) modülü	23
3.4.2. İndentasyon davranışı (İz oluşumuna karşı direnç)	23
3.4.3. Kırılma tokluğu	24
3.4.4. Enerji absorpsiyonu.....	24
3.4.5. Sinklastik davranış	25
3.5. Auxetic Yapıların Kullanım Yerleri.....	25
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	47
4.1. Malzeme.....	47
4.2. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretimi	48
4.2.1. Hammaddelerin hazırlanması	48
4.2.2. Ahşap plastik kompozit malzeme üretilmesi	51
4.2.3. Ahşap plastik kompozit malzeme özelliklerinin belirlenmesi	54
4.3. Auxetic Yapı Tasarımı	59
4.3.1. Yeni auxetic yapı tasarımı.....	60
4.3.2. İki boyutlu auxetic yapılar ve yeni auxetic yapı tasarımının ahşap plastik kompozit malzeme kullanılarak modellenmesi	64
4.3.3. Yeni auxetic yapı tasarımının mekanik özelliklerinin belirlenmesi.....	70
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
5.1. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Özellikleri.....	71
5.1.1. Yoğunluk özellikleri.....	71
5.1.2. Erime akış hızı özellikleri	72
5.1.3. Çekme mukavemeti özellikleri	72
5.1.4. Vicat yumuşama sıcaklığı özellikleri	74
5.1.5. Su emme özellikleri.....	75

	Sayfa
5.1.6. Morfolojik özellikleri (SEM görüntülerinin incelenmesi)	76
5.1.7. Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilebilirliği	80
5.2. Auxetic Yapı Özellikleri	81
5.2.1. Yeni auxetic yapının belirlenmesi.....	81
5.2.2. İki boyutlu auxetic yapılar ve yeni auxetic yapı tasarım modelinin analiz sonuçları.....	92
5.2.3. Auxetic yapı test sonuçları	104
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ	129

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan malzeme listesi.....	5
Çizelge 2.2. Kompozit malzeme çalışmalarında yapılan test sonuçları tablosu	7
Çizelge 2.3. Ahşap plastik kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan polimer malzemelerin yıllara göre dağılımı	9
Çizelge 2.4. Ahşap plastik kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan ahşap malzemelerin yıllara göre dağılımı	10
Çizelge 3.1. Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri	26
Çizelge 4.1. ABS polimer malzeme özellikleri	48
Çizelge 4.2. PLA polimer malzeme özellikleri.....	48
Çizelge 4.3. PETG polimer malzeme özellikleri	48
Çizelge 4.4. Partikül boyutları	50
Çizelge 4.5. Ahşap dolgu malzemesi ve plastik oranlarına ait üretim oranları	51
Çizelge 4.6. Yapı mesh ve nod sayıları.....	63
Çizelge 5.1. Yoğunluk özellikleri tablosu.....	71
Çizelge 5.2. Erime akış hızı özellikleri tablosu	72
Çizelge 5.3. Çekme mukavemet özellikleri tablosu.....	73
Çizelge 5.4. Birim uzama özellikleri tablosu.....	73
Çizelge 5.5. Elastisite modülü değerleri tablosu.....	74
Çizelge 5.6. Vicat yumuşama sıcaklığı tablosu	74
Çizelge 5.7. Su emme özellikleri tablosu.....	75
Çizelge 5.8. Üç boyutlu yazıcı sıcaklık parametreleri	81
Çizelge 5.9. Tam dolu model için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları	94
Çizelge 5.10. Chiral yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları.....	96
Çizelge 5.11. Reentrant yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları.....	98

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.12. Missing rib yapı modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları.....	100
Çizelge 5.13. Rotating unit yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları	102
Çizelge 5.14. H yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları.....	104
Çizelge 5.15. Auxetic yapı test sonuçları.....	105



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Ahşap plastik kompozitlerin mevcut uygulamaları	2
Şekil 2.1. Ekstrüzyon yöntemi bileşenleri	11
Şekil 2.2. Plastik enjeksiyon yöntemi bileşenleri	12
Şekil 2.3. Sıcak presleme yöntemi bileşenleri	12
Şekil 3.1. Tek eksenli gerilme durumunda a) geleneksel malzeme davranışı, b) auxetic malzeme davranışı.....	15
Şekil 3.2. Auxetic yapıların sınıflandırılması	16
Şekil 3.3. Lazer kesme yöntemi bileşenleri.	17
Şekil 3.4. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi bileşenleri.	18
Şekil 3.5. Ergitme yöntemi bileşenleri.....	18
Şekil 3.6. Toz metalurjisi yöntemi bileşenleri	19
Şekil 3.7. Laminasyon yöntemi bileşenleri.....	19
Şekil 3.8. Katlama-Eğirme yöntemi bileşenleri.....	20
Şekil 3.9. Açık kalıplama yöntemi bileşenleri	21
Şekil 3.10. Kapalı kalıplama yöntemi bileşenleri	21
Şekil 3.11. Negatif değerlere izin veren farklı Bulk modülü ve kayma modülüne karşılık gelen elastik malzeme özellikleri.....	22
Şekil 3.12. Sertlik; a) pozitif Poisson oranına sahip malzeme sertlik davranışı, b) negatif Poisson oranına sahip malzeme sertlik davranışı	24
Şekil 3.13. Sinklastik davranış.....	25
Şekil 4.1. Kullanılan ahşap malzemeler.....	47
Şekil 4.2. Öğütülmüş meyve kabuğu tozları.....	50
Şekil 4.3. Oo-kuma firmasından temin edilen polimer malzemeler	51
Şekil 4.4. Malzeme üretim akış şeması.....	52
Şekil 4.5. Polmak Plastik çift vidalı ekstrüder makinesi ile üretim	52
Şekil 4.6. 3 mm çapında tel elde edilmesi işlemi.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Elde edilen kompozit granüller.....	53
Şekil 4.8. Carver sıcak pres cihazı ile üretim.....	54
Şekil 4.9. Yoğunluk özelliklerinin belirlenmesi	55
Şekil 4.10. Erime akış hızı özelliklerinin belirlenmesi	55
Şekil 4.11. Çekme mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi	56
Şekil 4.12. ASTM 638-04 standardına göre numune boyutları	56
Şekil 4.13. Vicat yumuşama sıcaklığı özelliklerinin belirlenmesi.....	57
Şekil 4.14. Su emme özelliklerinin belirlenmesi	58
Şekil 4.15. Morfolojik özelliklerin belirlenmesi (SEM görüntülerinin incelenmesi).....	58
Şekil 4.16. Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilebilirliğinin incelenmesi.....	59
Şekil 4.17. ASTM D 638-1 standart çekme numunesi	60
Şekil 4.18. A tasarımı.....	61
Şekil 4.19. B tasarımı.....	61
Şekil 4.20. C tasarımı.....	61
Şekil 4.21. D tasarımı.....	61
Şekil 4.22. E tasarımı	62
Şekil 4.23. F tasarımı	62
Şekil 4.24. G tasarımı.....	62
Şekil 4.25. H tasarımı.....	62
Şekil 4.26. Sonlu elemanlar modeli sınır koşulları	63
Şekil 4.27. Chiral yapı matematiksel model parametreleri.....	64
Şekil 4.28. Reentrant yapı matematiksel model parametreleri	65
Şekil 4. 29. Missing rib yapı matematiksel model parametreleri	66
Şekil 4.30. Rotating unit yapı matematiksel model parametreleri.....	67
Şekil 4.31. Yeni auxetic yapı (H tasarımı) matematiksel model parametreleri	68
Şekil 4.32. Yeni auxetic yapı (H tasarımı) matematiksel model parametreleri	69

Şekil	Sayfa
Şekil 4.33. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen ASTM D 638-1 deney numuneleri.....	70
Şekil 5.1. Saf ABS malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği.....	77
Şekil 5.2. Kompozit ABS malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği.....	77
Şekil 5.3. Saf PLA malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği	78
Şekil 5.4. Kompozit PLA malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği.....	79
Şekil 5.5. Saf PETG malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği.....	79
Şekil 5.6. Saf PETG malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği.....	80
Şekil 5.7. A tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	82
Şekil 5.8. B tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	84
Şekil 5.9. C tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	85
Şekil 5.10. D tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	86
Şekil 5.11. E tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	88
Şekil 5.12. F tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	89
Şekil 5.13. G tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	90
Şekil 5.14. H tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.....	91

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. Tam dolu tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.	93
Şekil 5.16. Chiral yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı	95
Şekil 5.17. Reentrant yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.	97
Şekil 5.18. Missing rib yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı	99
Şekil 5.19. Rotating unit yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.	101
Şekil 5.20. H yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.	103
Şekil 6.1. Auxetic yapı modellerinin malzeme türü ve Poisson oranına etkisi.....	107

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

v	Poisson oranı
G	Kayma modülü
E	Elastisite modülü
E	Temel malzeme elastisite modülü
H	Sertlik
L	Kiriş uzunluğu
R	Yarı çap
H	Yatay kiriş yarı uzunluğunu
N	Newton
MPa	Megapaskal
GPa	Gigapaskal
°	Derece
I	Atalet momenti
mm	Milimetre

Kısaltmalar

Açıklamalar

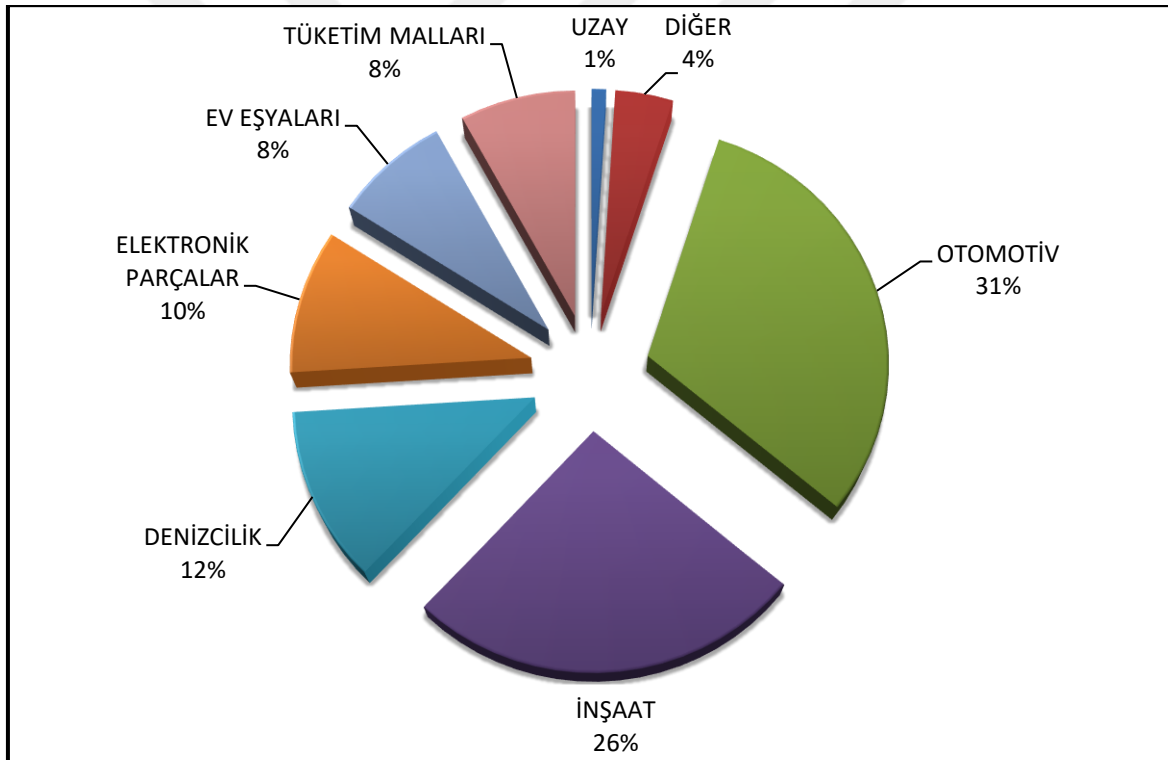
APK	Ahşap Plastik Kompozit
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
PET-G	Polietilen Tereftalat Glikol Kopolimer
PLA	Polilaktik Asit

1. GİRİŞ

Bugün piyasadaki kompozitlerin çoğunluğu, ürünün uzun ömürlü olmasını sağlamak için yüksek dayanıklılığa sahip olarak üretilmektedir. İşletmeler bu ürünleri, çoğunlukla yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen, biyolojik olarak parçalanamayan polimerler ve elyaflar kullanarak üretmektedir. Kompozit uygulamalarının artması nedeniyle bu kompozitlerin kullanım ömrü dolduktan sonra bertaraf edilmesi önem kazanmıştır. Birbirine benzemeyen iki malzemeden yapılan tipik kompozitlerin geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanılması zordur. Bu kompozitler geri dönüştürülememeleri nedeniyle yakılarak veya çöpe atılarak bertaraf edilmekte, bu da kirliliği artırmaktadır. Uzun süredir sivil toplum kuruluşları ve Greenpeace grupları, kompozit ürünlerin işlevselliğini, ağırlığını artırmak ve maliyetini düşürmek için yeşil kompozitlerin kullanımını araştırmaktadır [1]. Bu yeşil kompozitlerden biri de ahşap-plastik kompozittir. Ahşap plastik kompozitlerde (APK), aramidler ve cam gibi inorganik liflerin yerine biyolojik olarak parçalanabilen lifler kullanılır. İnorganik lifler yerine ağaç liflerinin kullanılması, üretim sırasında kalıntı ahşap ürünlerin (ahşap unu, ahşap artıkları vb.) geri dönüştürülebilmesi sonucunda APK'ların enerji verimliliğini artırır ve elde edilen atık malzemelerin masraflarını azaltır. APK'lar, içi boş hücreli yapıya sahip olmaları sebebiyle geleneksel kompozitler gibi kullanıldıktan sonra yakılma ya da doğaya salınması yerine akustik ya da termal yalıtkanlar olarak yeniden kullanılabilirler.

Ahşap plastik kompozit (APK), belli bir oranda ağaç lifleri ve polimer malzemenin birleşiminden ortaya çıkan yeni bir malzeme türüdür. Bu yeni malzemeler, ileri teknoloji kullanılarak mikro boyuta getirilmiş ahşap malzeme ve kaliteli plastik malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan, ağaç ürünlerin kullanıldığı sanayi ve mobilya sektöründe ağaç kullanımına alternatif olarak kullanılabilen, çevre koruması odaklı yeni nesil ürünler oluşturmak için kullanılır. Ahşap plastik kompozit materyali üretilirken, belli oranlarda toz haline getirilmiş ahşap talaşı, sanayi odunu artığı vb. malzemeler; PVC, PP, PE ve HDPE gibi polimer malzemelerle genellikle ekstrüzyon teknolojisi ile birleştirilerek elde edilir [2]. Son zamanlarda, ahşap plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan matris ve takviye elemanlarda, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı konusunda çok sayıda gelişme olmuştur. Malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılmasına yönelik yöntemler oluşturulmuş ve gerçek hayatta uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Bir malzemeyi geri kazanmak ve onu yeni bileşenlere dönüştürmek elbette daha fazla enerji

gerektirir, ancak malların daha uzun süre dayanacağı ve aynı malzemenin artık teneke veya alüminyum kutular kadar sık yeniden kalıplanabileceği öngörülmektedir [3]. Fiber takviyeli polimerik kompozitler, metallere kıyasla yüksek özgül mukavemetleri nedeniyle çeşitli yapısal uygulamalar için kullanılmıştır. Ahşap plastik kompozitler ilk kez inşaat sektöründe önemli ölçüde zemin kaplaması olarak kullanılmıştır. 1970'lerin sonlarında yapılan araştırmalar, ahşap plastik kompozitlerin, onları zemin kaplama malzemesi olarak ahşaptan ayıran bir takım malzeme özelliklerine sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nitelikler arasında daha yüksek sertlik ve sıkıştırma özellikleri, azaltılmış nem emme oranı ve geliştirilmiş yangın direnci yer alır. Ahşap plastik kompozitler endüstride yaylar, çitler, bıçaklar ve dövüş sanatlarında kullanılan çeşitli silahların yapımında ilk kullanımından bu yana kullanılmaktadır [4].



Şekil 1.1. Ahşap plastik kompozitlerin mevcut uygulamaları [5].

Şekil 1.1'de ahşap-plastik kompozitlerin günümüzde otomobil, inşaat, denizcilik, elektronik ve havacılık endüstrilerinde hangi oranlarda kullanıldığı gösterilmektedir. APK'ların son dönemde en yaygın kullanımı otomotiv ve havacılık sektörlerinde görülmüştür. APK'lar bu sektörlerde enerji kullanımını azaltmak, malzeme ağırlığını azaltmak ve ürünlerin mekanik mukavemetini ve biyolojik olarak parçalanabilirliğini

arttırmak için uygulanmaktadır. Mercedes-Benz, Daimler Chrysler, BMW, Volkswagen, Ford ve Audi, APK bileşenlerini kullanan yeni otomobil üreticileridir [5].

Negatif Poisson oranına sahip malzemelere 2000'li yıllarda Evans ve Alderson “auxetic” adını vermiştir. Anlamı artmaya eğilimli olan auxetic kelimesi, Yunanca auxetikos kelime kökünden gelmektedir [6]. Auxetic yapılar, negatif Poisson oranına sahip malzemelerdir. Poisson oranı, enine (veya yanıl) gerilmenin, uzunlamasına (veya eksenel) gerilmeye negatif oranı olarak tanımlanır ve bir malzemenin mekanik bir gerilim/gerilme uygulaması yoluyla birincisine dik bir yönde aktif olarak deforme olduğunda bir yönde nasıl deforme olduğu ile ilgilidir. Karşılaştığımız nesnelerin çoğunluğu pozitif Poisson oranına sahiptir, ancak çok azı negatif Poisson oranına sahiptir. Her iki özelliğe sahip malzemeler kıyaslandığında negatif Poisson oranlı malzemelerin pozitif Poisson oranlı malzemelere göre kopma dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Auxetic yapılar, askeri, biyomedikal, havacılık ve tekstil giyim sektörleri gibi farklı endüstride birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu durum, polimerler, metaller, seramikler ve kompozitler dahil olmak üzere hemen hemen her ana malzeme tipinde bu tür malzemeleri sentezleme yeteneği sayesinde mümkün olmuştur. Son 30 yılda üniversiteler, teknik merkezler ve endüstrinin, çeşitli üretim yöntemlerini etkin bir şekilde aktarmasıyla da auxetic malzemelerin uygulama alanı genişlemiştir. Yine de uygulama olanaklarını daha da artırmak, sektördeki ve günlük hayatımızdaki varlıklarını daha da genişletmek için disiplinler arası yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Auxetic davranışı, üretim tekniklerini, elektromanyetik etkisini, nanoyapılı malzemeler ve diğerleri gibi bilinen diğer etkilerle birleştirmek, mevcut uygulamaların kapsamını büyük ölçüde artıracak ayrıca mekanik özellikleri ve deformasyon mekanizmalarını iyileştirebilecektir.

Bu kapsamda, çeşitli araştırmalar incelenerek, ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PLA (Polilaktik Asit) ve PET-G (Polietilen Tereftalat Glikol Kopolimer) gibi üç farklı plastik malzeme ile ceviz, Antep fıstığı, yer fıstığı, badem, fındıkkabuğu ve kayısı çekirdeği gibi altı farklı ahşap malzemenin kullanıldığı yeni bir ahşap plastik kompozit malzeme elde edilmiştir. Bu kompozit malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiş, ardından piyasadaki benzer ürünlerle kıyaslanarak yüksek katma değerli bir malzeme oluşturma hedeflenmiştir. Çalışmada bir sonraki aşama olarak elde edilen kompozitin auxetic yapılara entegre edilmesi planlanmıştır. Bu kapsamda yeni bir auxetic yapı tasarlanmış ve ahşap plastik

kompozit malzeme ile entegre edilmiştir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak elde edilen yapılar üretilmiş ve mekanik testleri yapılmıştır. Test sonuçları ve yapılan analizler mukayese edilmiştir.



2. AHŞAP PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Ahşap Plastik Kompozit Malzemelerin Tanımı

Ağacın hayatta kalması için kritik olan, sutaşıma gibi işlevleri verimli bir şekilde yerine getirebilmesi için gelişmiş sert ve güçlü bir anatomi yapısı mevcuttur. Bunun yanında hafif olması, düşük maliyet ile elde edilebilmesi ve malzeme performans özelliklerinin birçok ticari sentetik polimerden daha sert ve dayanıklı olması onu kullanışlı bir yapısal haline getirmiştir. Öte yandan bir kompozit malzeme üretimi bakış açısından bakıldığında ahşabın birçok ticari sentetik polimerden daha ucuz, daha sert ve daha güçlü olması kompozit malzemeyi doldurmak veya güçlendirmek için iyi bir seçim haline getirmektedir [7].

1990'ların ortalarından bu yana Kuzey Amerika'da ahşap ve doğal elyaf polimer kompozit üreticilerinin sayısında hızlı bir artış olmuştur ve bu eğilim, son zamanlarda Asya, Avustralya, Güney Amerika ve Güney Afrika'nın ilgisiyle Avrupa'da genişlemektedir. Kuzey Amerika'da elde edilen bu basit kompozitlerle birlikte terminolojide ahşap plastik kompozit (APK) malzemeler yerini almıştır [8].

Ülkemizde ahşap plastik kompozit konusu 1990'ların sonunda tez konuları arasına girmeye başlamıştır. Gelişen teknolojilerle birlikte üretim, test ve ürüne dönüştürülmesi kolaylaştığı için pek çok alanda kullanılmak üzere yapılan çalışmalar devam etmektedir. Yeni kompozit malzemelerin geliştirilmesi için ülkemizde yapılan tez çalışmaları yıllara göre tasnif edilerek Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan malzeme listesi

Kompozit Tanım	Malzeme
Kompozit 2005 [9]	Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit (MA), Antioksidant, Etilen Bis-Steramid, Polimer Proses Katkısı, Ahşap Tozu
Kompozit 2006 [10]	Doğu Kayını, Sarıçam Odunu, Polyester, Jelkot, Metil Etil Keton Peroksit (MEKP), Kobalt, Kalsit
Kompozit 2007 [11]	Polipropilen (PP), Fındık Kabuğu, Polietilen Vaks
Kompozit 2009 [12]	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE), Polipropilen (PP), Buğday Sapları
Kompozit 2009 [13]	Polipropilen (PP), Fındık Kabuğu, Stiren-Etilen-Bütillen-Stiren (SEBS), SEBS-g-Ma, Antioksidant, Kaydırıcı
Kompozit 2011 [14]	Çay atığı, MDF Toz Atığı, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşılınmış Polietilen (MAPE), Maleik Anhidrit ile Aşılınmış Polipropilen (MAPP), Parafin, Alüminyum Trihidrat, Çinko Borat

Çizelge 2.1. (devam) Kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan malzeme listesi

Kompozit tanım	Malzeme
Kompozit 2011 [16]	Fındık Kabuğu, Çam Fıstığı Kabuğu, Fusabond E265 Bağlayıcı, Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)
Kompozit 2013 [17]	Endüstriyel Odun Unu, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE)
Kompozit 2013 [18]	Bakır-Krom-Arsenik (CCA) Tel Direği, Sarıçam Odunu, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE)
Kompozit 2014 [19]	MDF Tozu, Pirinç Sapı, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Polipropilen (PP), Polivinil Klorür (PVC)
Kompozit 2014 [20]	Şeker Pancarı Küspesi, Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE)
Kompozit 2015 [21]	Polipropilen (PP), Sarıçam Odunu, Çinko Stearat, Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP), Endüstriyel Çok Duvarlı Karbon Nanotüp, Endüstriyel Nano Kıl, Hegzagonal Bor Nitrür
Kompozit 2015 [22]	Sarıçam, Atık Çay Lifi, Fındık Kabuğu, Hegzagonal Bor Nitrür, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE)
Kompozit 2015 [23]	Polipropilen (PP), Sarıçam, Meşe, Palamut, Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP), Parafinik Yağ, Kalsiyum Stearat, Bağlayıcı ve Kaydırıcı (Libaid T-2), Antioksidan
Kompozit 2015 [24]	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Polipropilen (PP), kreozot içeren emprenyeli tel direkleri tozu, Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE), Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP), Sarıçam
Kompozit 2016 [25]	Sarıçam, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE), Çinko Borat, Yağlayıcı Vaks
Kompozit 2016 [26]	Fındık Kabuğu, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE)
Kompozit 2016 [27]	Sarıçam, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Polyester Esaslı Tekstil Atıkları
Kompozit 2017 [28]	Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE), Polilaktik Asit (PLA), Sarıçam (Pinus sylvestris L.)
Kompozit 2017 [29]	Polipropilen (PP), Kızılçam (Pinus brutia Ten.) ve Zeytin Piranası, Vaks, Titanyum Dioksit (TiO ₂), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP)
Kompozit 2017 [30]	Gazete Kâğıdı Lifleri, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), NaOH
Kompozit 2017 [31]	Polipropilen (PP), Kızılçam (Pinus brutia Ten.), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP), Sepiyolit Minerali
Kompozit 2018 [32]	Karaçam (Pinus nigra), Polivinil Klorür (PVC)
Kompozit 2019 [33]	Polipropilen (PP), Kızılçam (Pinus brutia Ten.), Yumurta Kabuğu, Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP)
Kompozit 2019 [34]	Pirinç Sapı, Polilaktik Asit (PLA), Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP)
Kompozit 2019 [35]	Kullanılmış Pişirme Kağıtlarının Lifleri, Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE)
Kompozit 2019 [36]	Mısır Koçanı ve Testere Atığı, Perlit, Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP), Çinko Stearat (ZnSt)
Kompozit 2020 [37]	Mısır Sapı, Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP)
Kompozit 2020 [38]	Kayın Odun Unu ve Fındık Zurufu, Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP)
Kompozit 2020 [39]	Sarıçam (Pinus sylvestris L.), Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polietilen (MAPE), Maleik Anhidrit ile Aşıl原因mış Polipropilen (MAPP), Sentetik Dokuma Kumaş
Kompozit 2021 [40]	Atık Gazete Kâğıdı, Doymuş Atık Kızartmalık Bitkisel Yağ, Polipropilen (PP)

Çizelge 2.1. (devam) Kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan malzeme listesi

Kompozit tanım	Malzeme
Kompozit 2021 [41]	Yonga levha, MDF Lam, PVC kenar bandı, ahşap kaplama, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşılınmış Polietilen (MAPE), Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP)
Kompozit 2021 [42]	Pamuk Çırçır Atığı Ve Mısır Sömeği, Polivinil Klorür (PVC), Akrilik Darbe Artırıcı Katkı Maddesi, Akropan 4503PX Non-Toksik Olan Kalsiyum/Çinko Bazlı Isı Stabilizatörü, DOTP Plastifiyanı (polimer zincirler ile reaksiyona girip polimerin kristalleşme özelliğini azaltmak için kullanılan kimyasal ajan), Licowax İç Kaydırıcısı Stearik Asit Dış Kaydırıcısı, Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃)
Kompozit 2023 [43]	Doğu Kayını (Fagus orientalis), Polipropilen (PP), Maleik Anhidrit ile Aşılınmış Polipropilen (MAPP), Parafin-Vaks

Çizelge 2.2. Kompozit malzeme çalışmalarında yapılan test sonuçları tablosu

	İzod Darbe Direnci Testi	Eğilme Testi	Çekme Testi	Sertlik	Erime Akış İndeksi Testi	HDT	VİCAT	DSC	SEM	TGA	Su Alma Miktarı	Yoğunluk	Şok Direnci
Kompozit 2005 [9]	(-)	(0)	(-)	(x)	(-)	(x)	(0)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)
Kompozit 2006 [10]	(0)	(-)	(0)	(0)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(-)
Kompozit 2007 [11]	(-)	(0)	(-)	(x)	(-)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(0)
Kompozit 2009 [12]	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(0)	(0)	(-)	(0)
Kompozit 2009 [13]	(-)	(-)	(-)	(x)	(0)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(0)
Kompozit 2011 [14]	(-)	(x)	(x)	(x)	(0)	(-)	(0)	(-)	(x)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2011 [15]	(0)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(0)	(-)	(0)
Kompozit 2011 [16]	(-)	(0)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)
Kompozit 2013 [17]	(0)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2013 [18]	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2014 [19]	(-)	(x)	(x)	(0)	(-)	(0)	(0)	(0)	(x)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2014 [20]	(-)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(0)	(-)	(0)
Kompozit 2015 [21]	(0)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(-)	(-)
Kompozit 2015 [22]	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(0)
Kompozit 2015 [23]	(0)	(0)	(-)	(0)	(-)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)

Çizelge 2.2. (devam) Kompozit malzeme çalışmalarında yapılan test sonuçları tablosu

	İzod Darbe Direnci Testi	Eğilme Testi	Çekme Testi	Sertlik	Erime Akış İndeksi Testi	HDT	VİCAT	DSC	SEM	TGA	Su Alma Miktarı	Yoğunluk	Şok Direnci
Kompozit 2015 [24]	(-)	(x)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(-)	(0)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2016 [25]	(0)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(-)	(x)	(-)	(-)
Kompozit 2016 [26]	(-)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)
Kompozit 2016 [27]	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2017 [28]	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2017 [29]	(x)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(x)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2017 [30]	(0)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2017 [31]	(x)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(x)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2018 [32]	(0)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2019 [33]	(-)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(-)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2019 [34]	(0)	(0)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)
Kompozit 2019 [35]	(0)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(0)	(0)	(0)
Kompozit 2019 [36]	(-)	(-)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(x)	(0)	(0)
Kompozit 2020 [37]	(x)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2020 [38]	(-)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(x)	(0)
Kompozit 2020 [39]	(-)	(x)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(-)	(x)	(x)	(0)
Kompozit 2021 [40]	(0)	(-)	(-)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(0)	(-)	(0)	(0)	(0)
Kompozit 2021 [41]	(0)	(-)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(-)	(x)	(-)	(x)	(0)	(0)
Kompozit 2021 [42]	(0)	(-)	(x)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(x)	(-)	(x)	(-)	(0)
Kompozit 2023 [43]	(-)	(x)	(-)	(x)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(-)	(0)

(x):Yapılan test sonucunda malzeme özelliğinde iyileşme olmuştur. (-): Yapılan test sonucunda malzeme özelliğinde kötüleşme olmuştur. (0): Test yapılmamıştır.

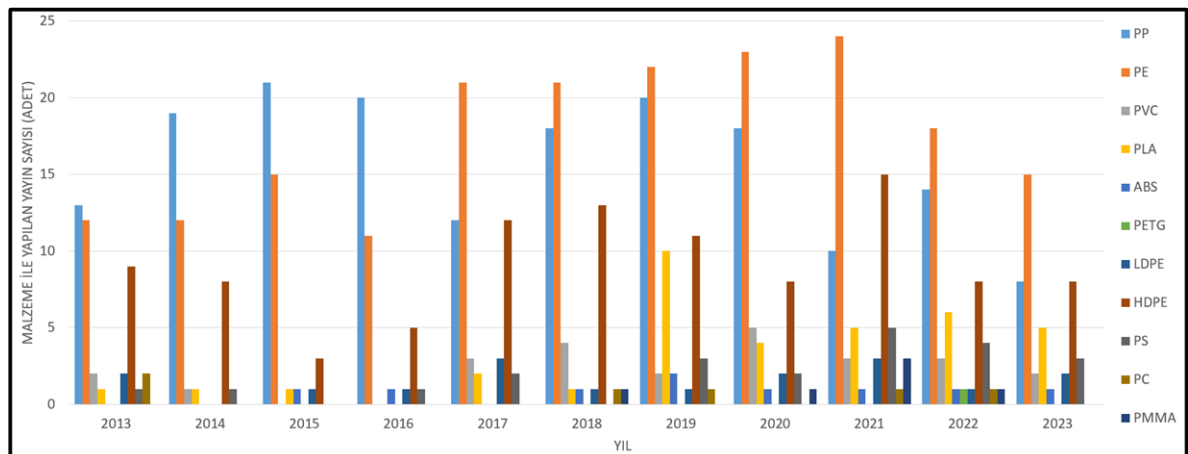
Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi daha çok sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve fındık kabuğu gibi ahşap malzemeleri takviye malzeme ve polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi polimer malzemeleri matris malzeme olarak tercih edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelere Çizelge 2.2 ile uygulanan kimyasal, mekanik, termal ve morfolojik testler gösterilmiştir.

Genel olarak elde edilen kompozit malzemelerin yoğunluğunun ve erime akış indisinin ahşap malzeme takviye edilmesi ile artarak malzeme üzerinde olumsuz etki yaptığı; ancak eklenen ahşap takviye malzemelerin sertlik değerlerini, su alma özelliğini, çekme, eğilme dirençleri ve izod darbe dirençlerini artırarak matris malzemeye dayanım anlamında olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir.

2.2. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Ahşap ununun düşük ısı kararlılığı nedeniyle, genellikle yaklaşık 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda işlenen plastik ürünler ahşap plastik kompozit malzeme üretiminde tercih edilmektedir [7]. Genellikle Akrilonitril bütadien stiren (ABS), Akrilik (PMMA), Polietilen tereftalat glikol (PETG), Polivinil klorür (PVC), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polylactic acid (PLA), Polipropilen (PP), Polistiren (PS), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) termoplastik malzemeler ile ahşap plastik kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Son on yılda yapılan ahşap plastik kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan bu polimer malzemelerin yıllara göre dağılımı Çizelge 2.3 ile gösterilmiştir. Çizelgede bulunan veriler Sciencedirect veri tabanından elde edilmiştir [44]. Çizelge 2.3 incelendiğinde yapılan çalışmaların PE ve PP üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

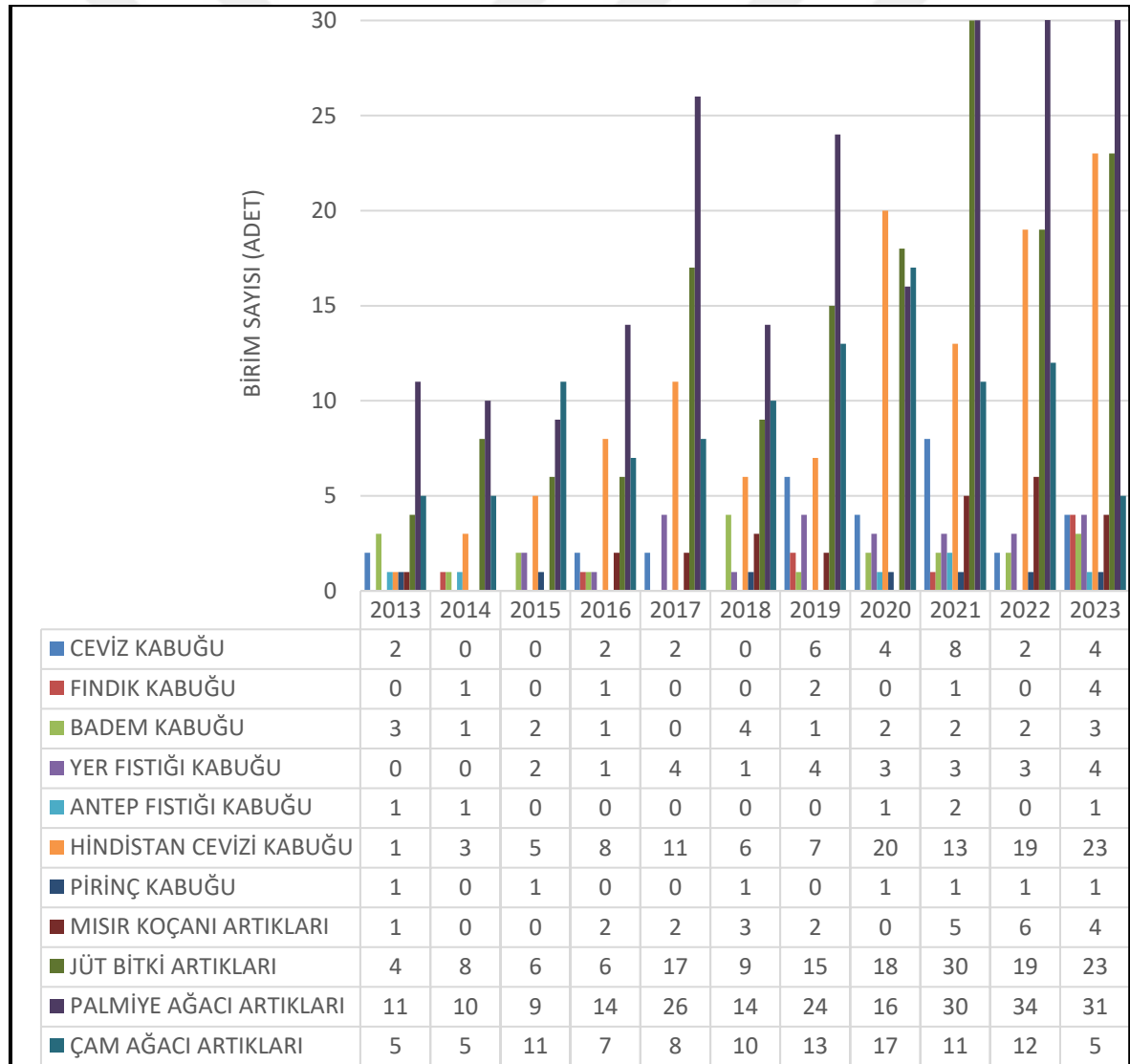
Çizelge 2.3. Ahşap plastik kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan polimer malzemelerin yıllara göre dağılımı



Ahşap plastik kompozit malzeme üretiminde genellikle atık ahşap unları değerlendirilmiştir. Ağaç unu artıkları, mobilya endüstri artıkları, meyve ve bitki kabuğu artıkları kompozit malzeme takviye elemanı olarak tercih edilmiştir. Son on yılda yapılan

ahşap plastik kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan meyve kabukları ve ağaç artıklarının yıllara göre dağılımı Çizelge 2.4 ile gösterilmiştir. Çizelgede bulunan veriler Sciencedirect veri tabanından elde edilmiştir [44]. Çizelge 2.4 incelendiğinde yapılan çalışmaların ağaç artıkları üzerinde yoğunlaştığı fakat son yıllarda meyve kabuğu tozlarına yönelimin arttığı görülmektedir. Genellikle, Antep fıstığı, yer fıstığı, badem, fındık, ceviz, Hindistan cevizi meyve kabuklarının ve dünyada özellikle Asya tarafında tüketimi yoğun olan pirinç sapı artıklarının kompozit malzeme üretiminde takviye eleman olarak tercih edildiği görülmüştür.

Çizelge 2.4. Ahşap plastik kompozit malzeme çalışmalarında kullanılan ahşap malzemelerin yıllara göre dağılımı

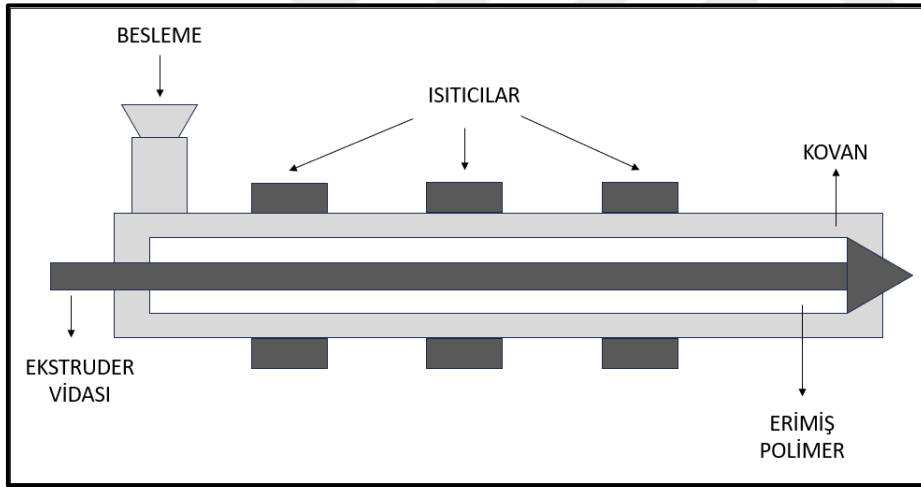


2.3. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Ahşap plastik kompozit malzeme üretiminde daha çok termoplastik malzemeler tercih edilmektedir. Termoplastik malzemeler ısıtıldığında şekil değiştiren ve koyulduğu kalıbın şeklini alan yapıda olmaları sebebiyle ekstrüzyon, plastik enjeksiyon ve sıcak presleme yöntemleriyle üretilmektedir [45].

2.3.1. Ekstrüzyon Yöntemi

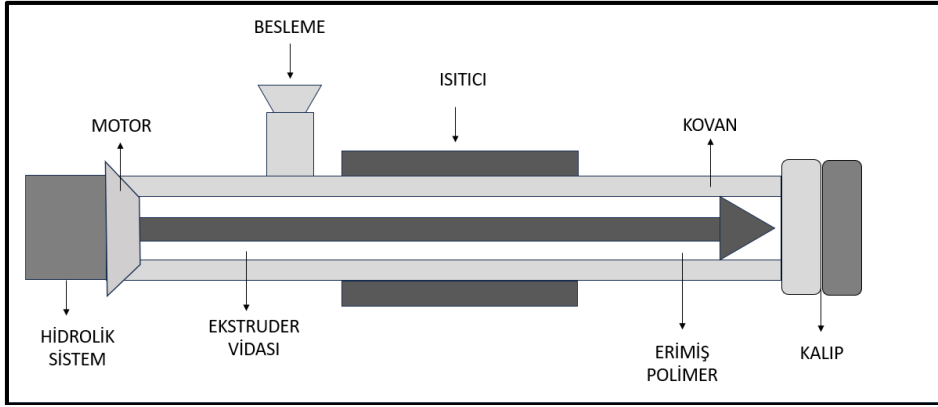
Çift ya da tek vidalı olmak üzere içerisinde sonsuz döner bir vida bulunan ve basınç ile ergitme işlemi yapılmış polimerlerin akışa zorlanarak ekstrüde edilmesi ile kompozit malzeme elde edilmesi işlemidir [46]. Bu yöntemde Şekil 2.1’de gösterilen bir kovan içinde bulunan ekstrüder vidası besleme hunisinden gelen polimer malzemeyi ısıtıcılar yardımıyla eriyik hale getirerek malzeme üretimini gerçekleştirmektedir.



Şekil 2.1. Ekstrüzyon yöntemi bileşenleri

2.3.2. Plastik Enjeksiyon Yöntemi

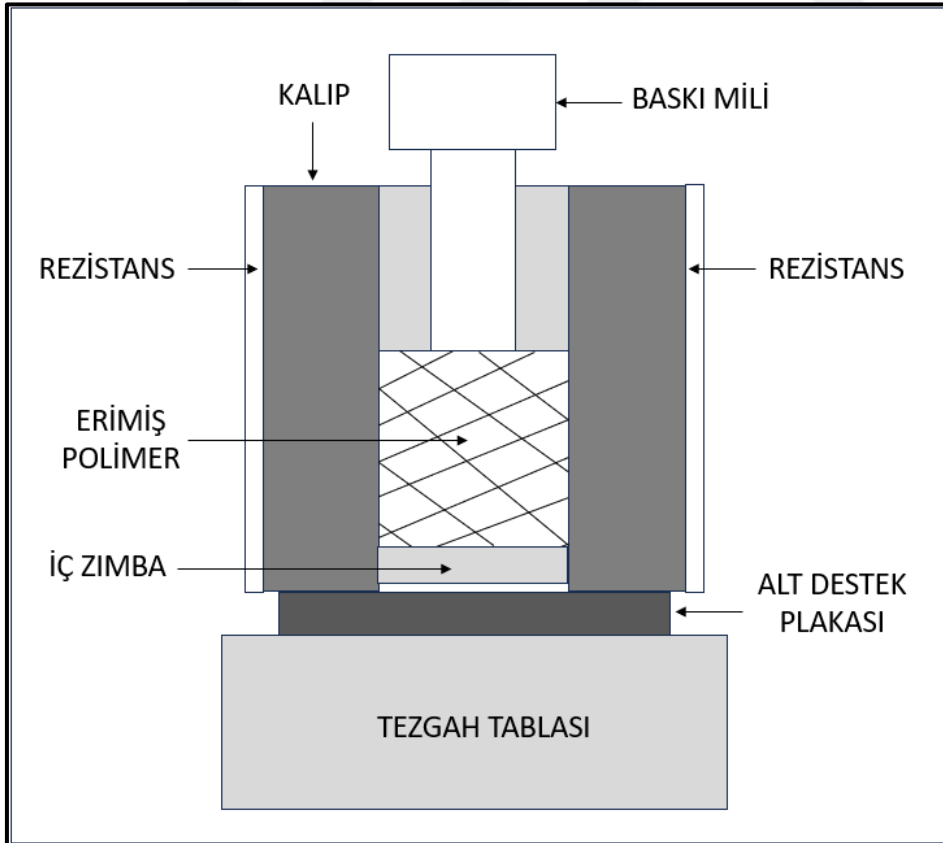
Plastik enjeksiyon, eritilmiş plastik hammaddenin ısı ile bir kalıba enjekte edilerek kalıplanması ve soğutulularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat prosedürüdür [47]. Bu yöntemde Şekil 2.2’de gösterilen bir kovan içinde bulunan ekstrüder vidası besleme hunisinden gelen polimer malzemeyi hidrolik sistem kullanarak kalıba sıkıştırır, ısıtıcılar yardımıyla eriyik hale getirilen malzeme kalıplanarak malzeme üretimini gerçekleştirir.



Şekil 2.2. Plastik enjeksiyon yöntemi bileşenleri

2.3.3. Sıcak Presleme Yöntemi

Sıcak kalıp içerisinde bulunan ergiyik polimer malzemenin hidrolik pres yardımıyla kalıplanarak elde edilmesi işlemidir [48]. Bu yöntemde Şekil 2.3’de gösterilen bir kalıp içinde bulunan baskı mili içerisinde bulunan erimiş polimer malzemeyi alt destek plakası üzerinde sıkıştırarak malzeme üretimini gerçekleştirmektedir.



Şekil 2.3. Sıcak presleme yöntemi bileşenleri

2.4. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Özellikleri

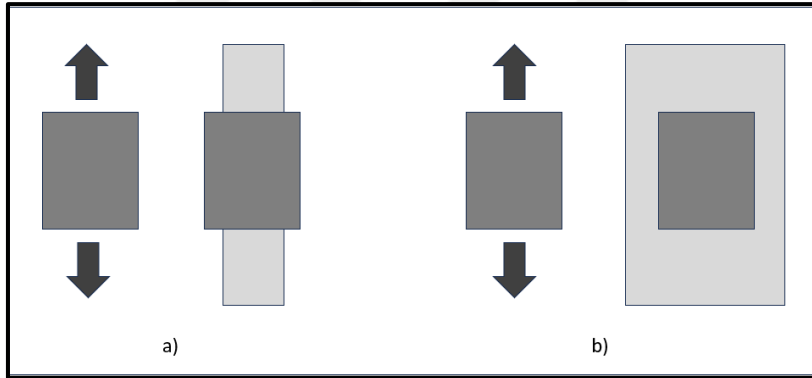
Ahşap kompozit malzemelerin su emilimi doğal ahşap malzemelerden daha düşüktür. Bu malzemeler atmosfer sıcaklığından daha az etkilenir ve iyi bir boyutsal stabilite sağlar. Aşınma direnci ve kimyasal korozyon direnci doğal ahşap malzemelere göre daha yüksektir. Renklendirilebilir yapıları sayesinde birçok renkte kullanım olanağı tanır. Kompozit malzeme oluştururken içerisine eklenen kimyasallar sayesinde yaşlanma direnci yüksek, alev geciktirici özellikte üretilirler. Eklenen malzeme özelliklerine göre mantara ve çürümeye dayanıklı malzemeler elde edilebilmektedir. Polimer malzemeye ahşap takviyesi ile genelde malzemede mekanik özelliklerin azaldığı gözlemlenmiştir. Morfolojik özellikler kontrol edildiğinde bağlar arası uyumun sağlanamadığı durumlar olduğu tespit edilerek kompozit malzeme oluşturulurken eklenen uyumlaştırıcı ve ajanlar sayesinde malzemede meydana gelen dayanım azalmaları iyileştirilmektedir [49-57].



3. AUXETİC YAPILAR

3.1. Auxetic Yapıların Tanımı

Auxetic yapıları tanımlamak için öncelikle Poisson oranı terimi açıklanmalıdır. Poisson oranı, bir malzemeye eksenel yönde gerilme kuvveti uygulandığında malzeme üzerindeki enine ve boyuna değişimin oranıdır [58]. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi geleneksel malzemeler gerilme kuvvetine maruz kaldığı durumda enine daralma ve boyuna uzama özelliği göstermektedir. Gerilme kuvvetine maruz kaldığı durumda hem enine genişleme hem de boyuna uzama gösteren malzemelere ise 1900’lü yıllarda Roderick Lakes tarafından “auxetic malzeme” tanımı yapılmıştır [59]. Geleneksel malzemelerde Poisson oranı pozitifdir ancak auxetic malzemelerde Poisson oranı negatiftir. Bu sebeple auxetic malzemelere negatif Poisson oranına sahip malzemeler de denmektedir. Ayrıca literatürde; örgütsel desenler, akıllı malzemeler, ökzetik, auxetic metamaterial, mechanical metamaterial ve ökzetik kafes yapıları gibi anahtar kelimeler ile ulaşmak mümkündür. Tez çalışması boyunca “auxetic” kelimesi kullanılarak ifade edilecektir.

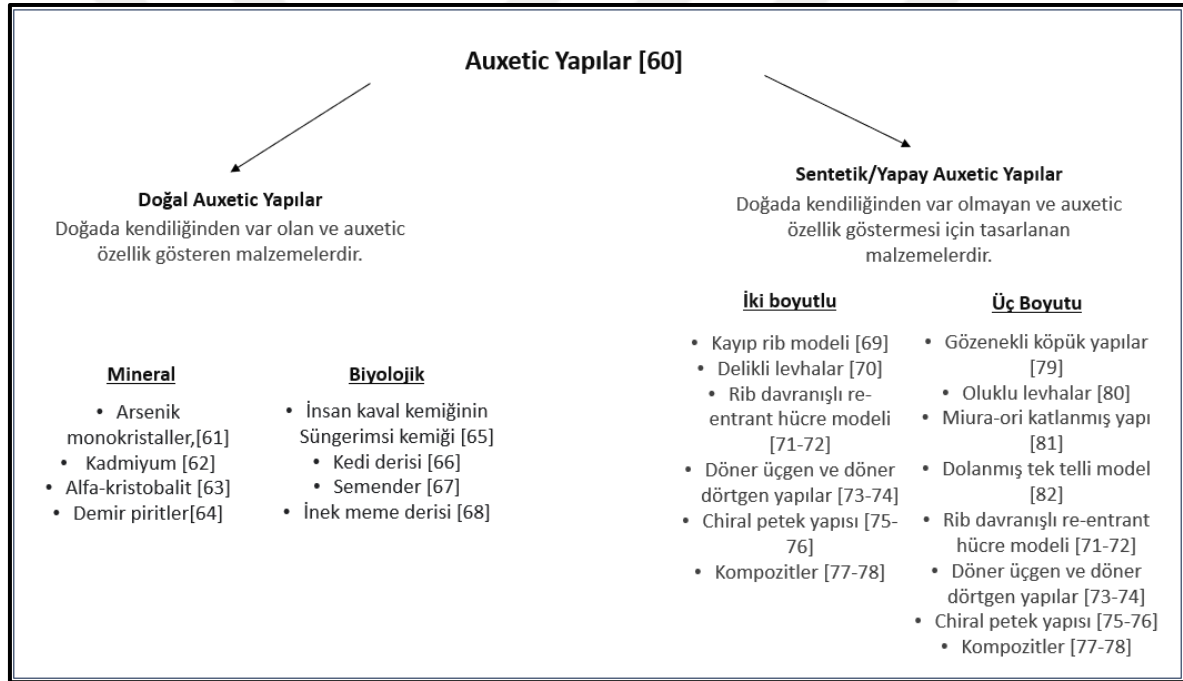


Şekil 3.1. Tek eksenli gerilme durumunda a) geleneksel malzeme davranışı, b) auxetic malzeme davranışı

3.2. Auxetic Yapıların Sınıflandırılması

Auxetic yapılar temelde iki ana sınıftan oluşmaktadır. Bunlar; doğal auxetic yapılar ve sentetik/yapay auxetic yapılardır. Doğal auxetic yapılar, doğada kendiliğinden var olan ve auxetic özellik gösteren, yapay/sentetik auxetic yapılar ise doğada kendiliğinden var olmayan ve auxetic özellik göstermesi için tasarlanan yapılardır [60]. Şekil 3.2 de gösterildiği gibi doğal auxetic yapılar mineral ve biyolojik olmak üzere ikiye ayrılır.

Mineral auxetic yapılar; Arsenik monokristaller, Kadmiyum, Alfa-kristobalit ve Demir piritlerden oluşmaktadır. Biyolojik auxetic yapılar ise; insan kaval kemiğinin süngerimsi kemiği, kedi derisi, semender ve inek meme derisi gibi canlılar üzerinde doğuştan var olan yapılardır. Yapay/sentetik auxetic yapılar iki boyutlu ve üç boyutlu olacak şekilde tasarlanan yapılardır. İki boyutlu auxetic yapılar; kayıp rib modeli, delikli levhalar, rib davranışlı re-entrant hücre modeli, döner üçgen ve döner dörtgen yapılar, chiral petek yapısı ve kompozitlerden oluşmaktadır. Üç boyutlu auxetic yapılar ise; gözenekli köpük yapılar, oluklu levhalar, Miura-ori katlanmış yapı, dolanmış tek telli model, rib davranışlı re-entrant hücre modeli, döner üçgen ve döner dörtgen yapılar, chiral petek yapısı ve kompozitlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Auxetic yapıların sınıflandırılması [60]

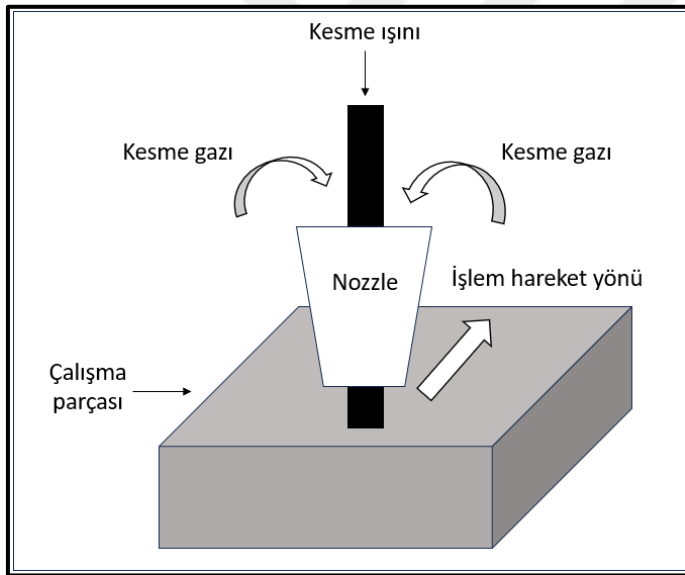
3.3. Auxetic Yapıların Üretim Yöntemleri

Auxetic yapıların karmaşık geometride olması üretim çeşitliliğini sınırlamaktadır. Genellikle lazer kesme, üç boyutlu yazıcılar, köpük üretim yöntemleri (ergitme, toz metalurjisi), katlama-eğirme yöntemi ve kompozit malzeme üretim yöntemleri (Laminasyon, açık kalıplama, kapalı kalıplama ve dökme polimer kalıplama) auxetic yapı üretimi için kullanılmaktadır. Kayıp rib modeli, delikli levhalar, rib davranışlı re-entrant hücre modeli, döner üçgen ve döner dörtgen yapılar, chiral petek yapısı gibi iki boyutlu

auxetic yapılar lazer kesme ve üç boyutlu yazıcı teknolojileri ile üretilmektedir [83-90]. Gözenekli köpük yapılar ergitme ya da toz metalurjisi yöntemiyle elde edilmektedir [91-93]. Genellikle tekstil sektöründe kullanılan Miura-ori katlanmış yapı ve dolanmış tek telli model gibi üç boyutlu sentetik auxetic yapılar ise katlama, eğirme yöntemiyle üretilmektedir [94-98]. Laminasyon makineleri kullanılarak panel şeklinde açık kalıplama ve kapalı kalıplama yöntemleriyle de toz şeklinde auxetic kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir [99-103].

3.3.1. Lazer kesme yöntemi

Lazer kesim yöntemi, güçlü bir lazer ışını tarafından malzemenin işlenmesidir [104]. Şekil 3.3 ile gösterildiği gibi bir lazer kesme ışınının yoğunlaştırılarak bir nozzle aracılığıyla çalışma parçası üzerinde hareket etmesi ile işlem gerçekleştirilir.

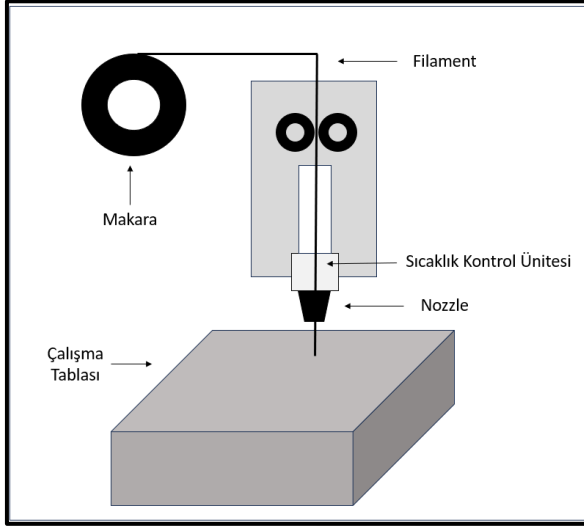


Şekil 3.3. Lazer kesme yöntemi bileşenleri.

3.3.2. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi

Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin hemen hemen hepsi ile auxetic malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Çalışma kapsamında Ergiyik Biriktirme Yöntemi (Fused Deposition Modeling) ile üretim gerçekleştirildiği için bu bölümde üç boyutlu yazıcı teknolojisi olarak bu yöntemin çalışma prensibinden bahsedilmiştir. Ergiyik biriktirme yöntemi ile ürün katman katman işlenmektedir [105]. Şekil 3.4 ile gösterildiği gibi bir

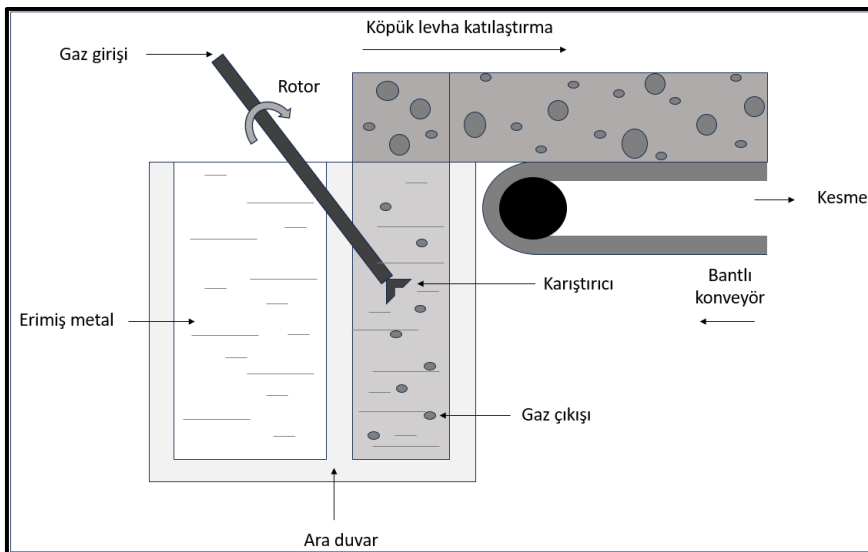
makara üzerinde bulunan filament, erime noktasına kadar ısıtılarak eritilir ve nozzle aracılığı ile tabla üzerinde belirli bir katman oluşturacak şekilde aktarılır.



Şekil 3.4. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi bileşenleri.

3.3.3. Ergitme yöntemi

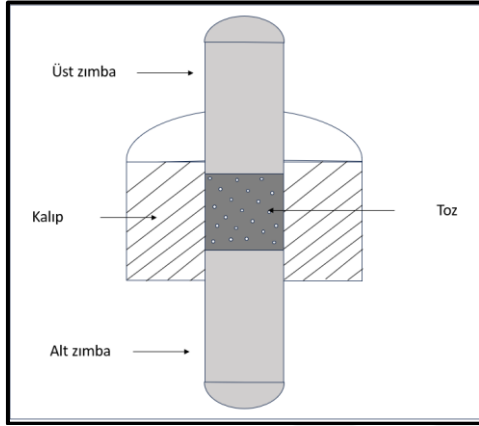
Ergiyik hale getirilmiş alaşım veya metal malzeme içerisine gaz ilave edilmesiyle gözenekli bir yapı elde edilmesi işlemidir [106]. Şekil 3.5 ile gösterildiği gibi sıvılaştırılmış metal malzeme içerisine bir gaz ilave edilmesiyle köpürtülür. Elde edilen sıvı-köpük karışımı, bantlı bir konveyör yardımı ile katılaştırılarak malzeme elde edilir.



Şekil 3.5. Ergitme yöntemi bileşenleri

3.3.4. Toz metalurjisi yöntemi

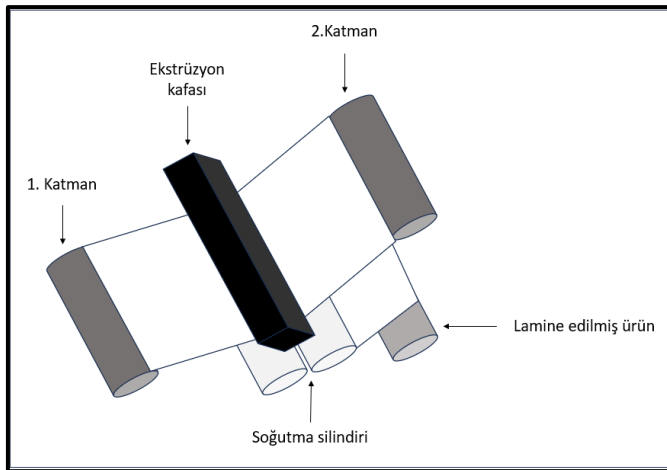
Korozyon direnci yüksek ve üstün mekanik özelliklere sahip metal toz alaşımlarını elde etmek için bir kalıp içerisinde yapılan şekillendirme işlemidir [107]. Şekil 3.6 ile gösterildiği gibi bir kalıp içerisinde bulunan toz alaşımı, alt ve üst zımba ile sıkıştırılıp şekillendirilir. Daha sonra erime sıcaklığına getirilerek şekillendirme işlemi tamamlanır.



Şekil 3.6. Toz metalurjisi yöntemi bileşenleri

3.3.5. Laminasyon yöntemi

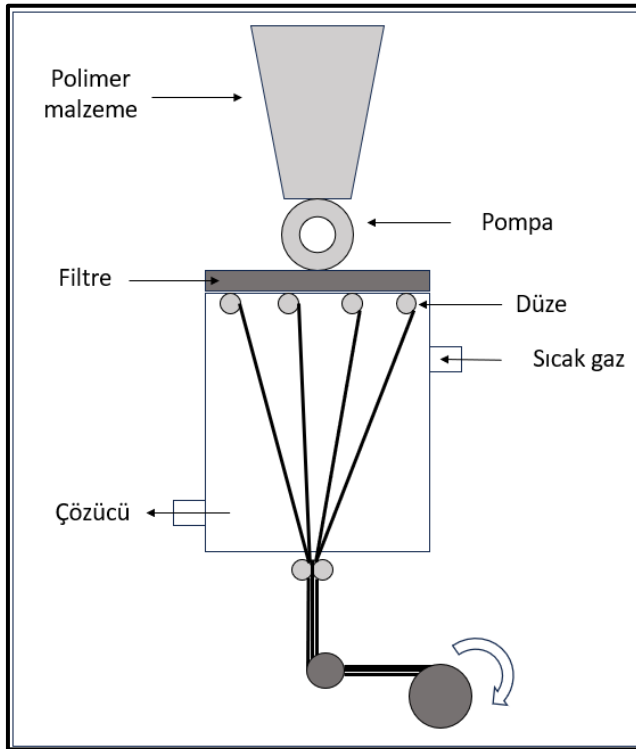
Birden fazla farklı kompozit ya da plastik malzemenin katman katman serilerek çok katmanlı yapıda malzeme elde edilmesi işlemidir [108]. Şekil 3.7 ile gösterildiği gibi iki ayrı katmandaki malzeme ekstrüzyon kafası ile birleştirilir ve silindirler yardımıyla lamine halde ürün elde edilir.



Şekil 3.7. Laminasyon yöntemi bileşenleri

3.3.6. Katlama-Eğirme yöntemi

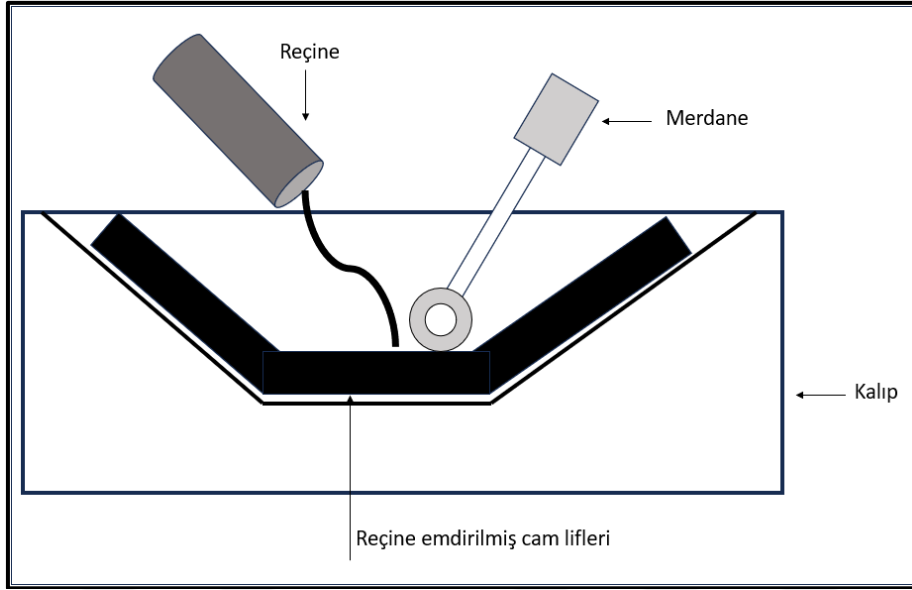
Sarmal iplik yapısı elde etmek için polimer çözeltisinin sıcak gazlı bir ortamda ince deliklerden geçirilmesiyle iplik elde edilmesi işlemidir [109]. Şekil 3.8 ile gösterildiği gibi polimer çözeltisi bir pompa yardımıyla filtrelenerek düze (ince delikler bulunan metal plaka) ile sıcak gaz ortamına aktarılır. Sıcak gazlı ortamda çözelti buharlaşır ve iplik yapıda polimer malzeme elde edilir.



Şekil 3.8. Katlama-Eğirme yöntemi bileşenleri

3.3.7. Açık kalıplama yöntemi

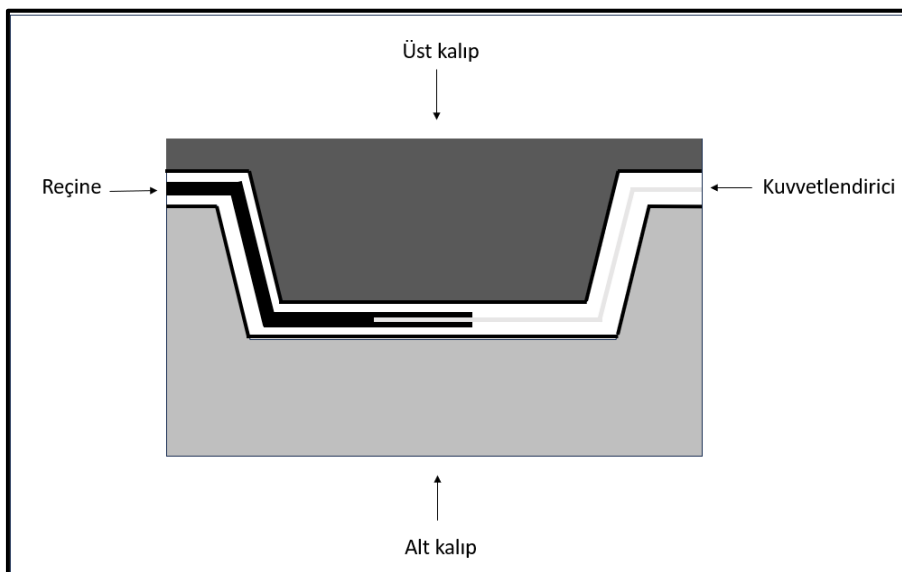
Ham madde olarak elyaf lifleri ve reçinelerin bir kalıp üzerinde sertleşmesiyle kompozit malzeme elde edilmesi yöntemidir. Bu yöntemde sertleşmeye bırakılan malzeme havayla direk temas halinde olduğu için açık kalıplama yöntemi olarak adlandırılır [110]. Şekil 3.9 ile gösterildiği gibi açık bir kalıp üzerine serilen cam lifleri ve reçine, bir merdane yardımıyla birleştirilir.



Şekil 3.9. Açık kalıplama yöntemi bileşenleri

3.3.8. Kapalı kalıplama yöntemi

Açık kalıplama yönteminde olduğu gibi ham madde olarak elyaf lifleri ve reçinelerin bir kalıp üzerinde sertleşmesiyle kompozit malzeme elde edilmesi yöntemidir. Bu yöntemde sertleşmeye bırakılan malzeme vakumlu bir ortamda elde edildiği için kapalı kalıplama yöntemi olarak adlandırılır [111]. Şekil 3.10 ile gösterildiği gibi iki kalıp arasına serilen cam lifleri ve reçine, vakumlu bir ortamda kalıplanır.



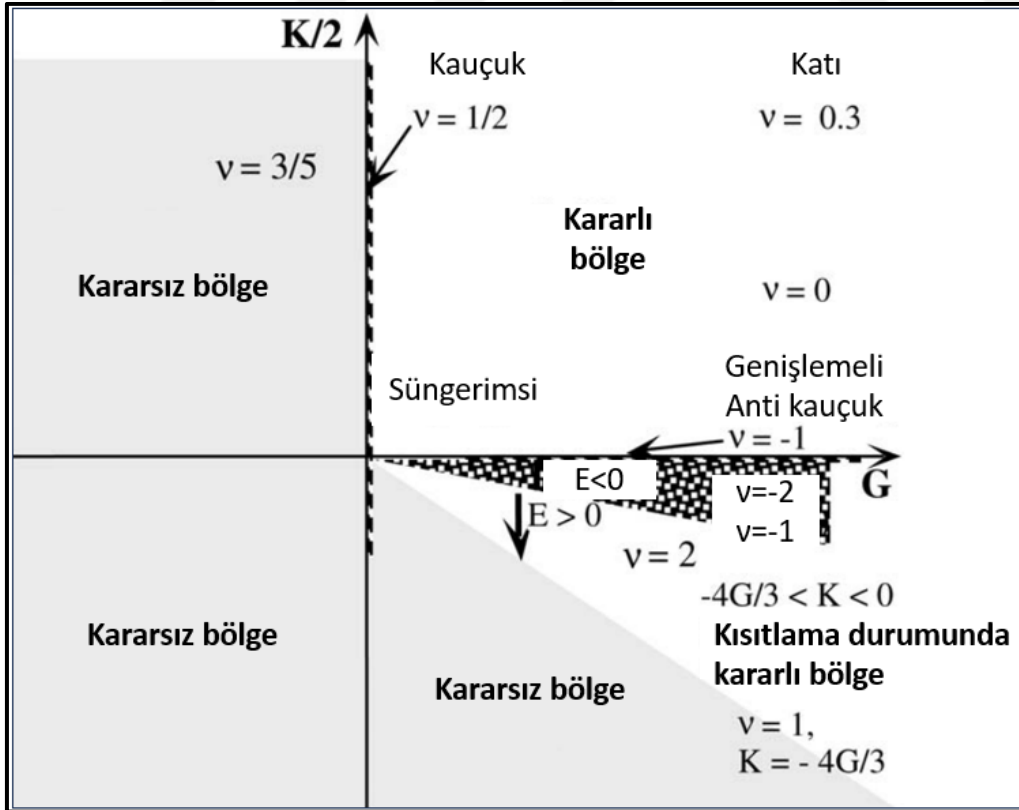
Şekil 3.10. Kapalı kalıplama yöntemi bileşenleri

3.4. Auxetic Yapıların Özellikleri

Tek eksenli bir gerilim durumu için Poisson oranı, yanal gerilim ve eksenel gerilim oranlarının negatif işareti olarak tanımlanır [112]. Poisson oranı “ ν ” ile gösterilir. Eş. 3.1 ile gösterildiği gibi,

$$\nu = - \frac{\varepsilon_{yanal}}{\varepsilon_{eksenel}} \quad (3.1)$$

hesaplanır. İzotropik elastik katılarda Poisson oranı $-1 < \nu < + 0,5$ aralığındadır. Çeşitli koşullar altında stabilite ve instabiliteye karşılık gelen elastik modül aralığı Wang ve Lakes tarafından Şekil 3.11’de gösterildiği gibi haritalandırılmıştır [113]. Burada sağ üst çeyrekte bulunan auxetic malzeme tanımlaması için genişleme terimi kullanılmıştır. Bu terim Milton’a aittir [114]. Sağ alt çeyreğin bir kısmı hacim değişikliğine göre kararsız ancak kısıtlanırsa kararlı malzemeleri, geri kalan kısım ise etki alanı oluşumu sebebiyle kararsız bölgeyi tanımlamaktadır. K Bulk modülü, G kayma modülü ve ν Poisson oranını göstermektedir.



Şekil 3.11. Negatif değerlere izin veren farklı Bulk modülü ve kayma modülüne karşılık gelen elastik malzeme özellikleri [113]

Şekil 3.11. Negatif değerlere izin veren farklı Bulk modülü ve kayma modülüne karşılık gelen elastik malzeme özellikleri [113].

Auxetic malzemeler Poisson oranı negatif olan malzemelerdir. Yani gerilme durumunda uygulanan kuvvete dik kalınlaşırlar. Bu malzemelerin negatif Poisson oranı değerine sahip olması yapıdaki bazı mekanik özelliklerin geleneksel malzemelere göre farklı davranış sergilemesini sağlamaktadır.

3.4.1. Kayma (Rijitlik) modülü

Elastik bölgede bulunan bir malzemenin kayma gerilmesinin kayma şekil değiştirmesine oranı olarak tanımlanır [115]. Kayma modülü “G” ile gösterilir. Eş. 3.2 ile gösterildiği gibi,

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3.2)$$

ile hesaplanır. Burada E elastisite modülünü, ν Poisson oranını ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar kayma modülünün kopma ve burulma durumlarında auxetic malzemelerin direncinin daha yüksek olduğunu göstermiştir [116-117].

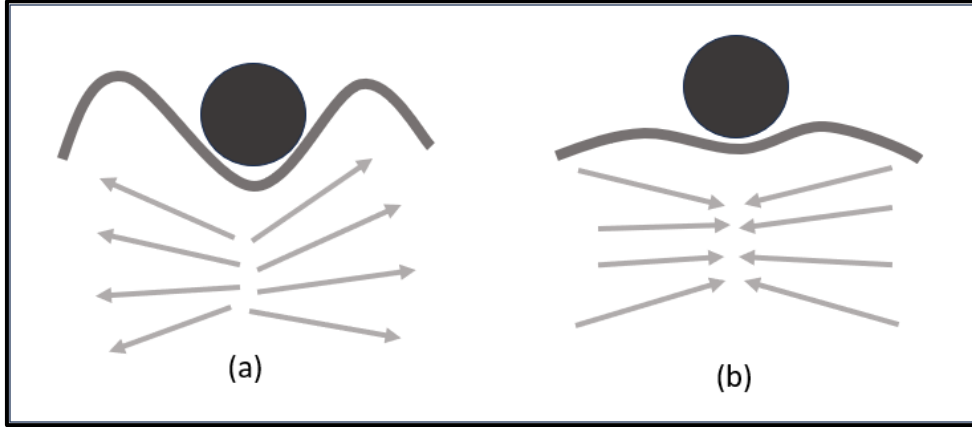
3.4.2. İndantasyon davranışı (İz oluşumuna karşı direnç)

Bir malzemeye uygulanan basınç ile malzemede oluşan iz miktarı malzeme sertliğine göre değişmektedir [118]. İzotropik malzemeler için sertlik Eş. 3.3 ile gösterildiği gibi,

$$H \propto \left[\frac{E}{1-\nu^2} \right]^\gamma \quad (3.3)$$

ifade edilir. Burada H sertlik, E elastisite modülü, ν Poisson oranı ve γ (silindir için 1, küre için 2/3) girinti katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda Poisson oranı -1 ya da 1 olma durumunda malzeme sertliği en yüksek değerde olacaktır. Pozitif Poisson oranına sahip malzemelerin alabileceği maksimum değer 0,5 olduğu göz önüne alındığında negatif Poisson oranı -1 ve -1’e yakın malzemelerin sertlik değerleri daha yüksek olacaktır. Basınca maruz kalan auxetic yapılarda tüm yönlerde daralma meydana geldiği için yapıda sertlik direnci artmaktadır. Şekil 3.12a ile gösterildiği gibi pozitif Poisson oranına sahip

malzeme basınca maruz kaldığın genişlerken, Şekil 3.12b ile gösterildiği gibi negatif Poisson oranına sahip malzeme basınca maruz kaldığında daralarak sertleşmektedir.



Şekil 3.12. Sertlik; a) pozitif Poisson oranına sahip malzeme sertlik davranışı, b) negatif Poisson oranına sahip malzeme sertlik davranışı

3.4.3. Kırılma tokluğu

Gevrek bir kırılma karşısında çatlaklı yapıdaki malzemenin gösterdiği dirence denir [119]. Auxetic malzemeler gerilim uygulandığında genişlediği için yapıda herhangi bir çatlak mevcutsa gerilme durumunda çatlağı kapatarak yüksek dirence sebep olacaktır. Kırılma tokluğunu artırmak amacıyla köpük ya da sandviç panel formu kompozit yapılarda takviye eleman olarak kullanılırlar. Choi ve Lakes, gri poliüretan-polyester köpük kullanarak reentrant yapıda auxetic bloklar elde etmiştir. Yapılan testlerde kalıcı hacimsel sıkıştırmaların yapıdaki Poisson oranının azalmasına bağlı olarak arttığını yani kırılma tokluğu direncinin arttığını tespit etmiştir [120]. Marouene ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, üç farklı yapıdaki 17-4PH paslanmaz çelik auxetic malzeme için kırılma tokluğu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, katı malzemeye göre auxetic yapıların % 88 daha fazla enerji absorbe ettiğini dolayısıyla daha çok kırılma tokluğuna sahip olduğunu kanıtlamıştır [121].

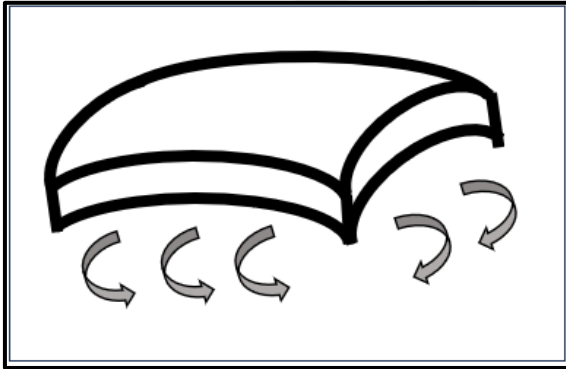
3.4.4. Enerji absorpsiyonu

Pozitif Poisson oranına sahip malzemelerle kıyaslandığında negatif Poisson oranına sahip auxetic yapılar daha iyi enerji absorpsiyon (ses, şok, titreşim, termal vb.) özelliğine sahiptir. Zhenhua ve arkadaşları çalışmalarında, üç boyutlu 8x8 auxetic kafes yapıda

sandviç paneller üretmiştir. Üretilen bu panellerde yapılan deneyler sonucunda şok dayanımının arttığı tespit edilmiştir [122]. Zhi ve arkadaşları, negatif Poisson oranına sahip iki boyutlu auxetic plakalar üreterek bant aralığı testleri yapmıştır. Deneyler sonucunda, yeni tasarlanan yapının daha düşük frekans bant aralığına ve daha geniş bant genişliğine sahip olduğu gösterilmiştir [123].

3.4.5. Sinklastik davranış

Şekil 3. 13 ile gösterildiği gibi pozitif Gauss eğriliğine sahip yüzeylere sinklastik (kubbelenme) yüzeyler denir [124]. Auxetic malzemelerin bükülmeye zorlandıklarında sinklastik yüzey oluşturacak şekilde bükülerek eğilme direnci gösterdiği gözlemlenmiştir [125]. Krzysztof ve Jerzy çalışmalarında, auxetic yapıli sinklastik ahşap panel üretimi gerçekleştirmiştir. Sinklastik yapıdaki panellerin statik davranışı incelendiğinde sertlik, enerji absorpsiyon ve eğilme dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir [126].



Şekil 3.13. Sinklastik davranış

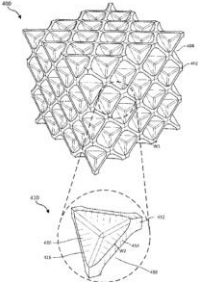
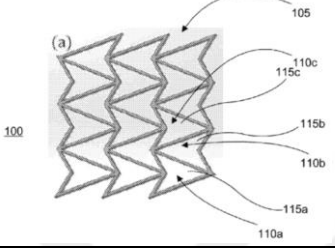
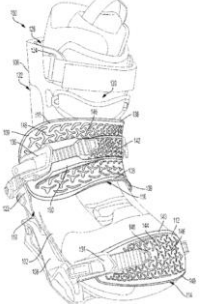
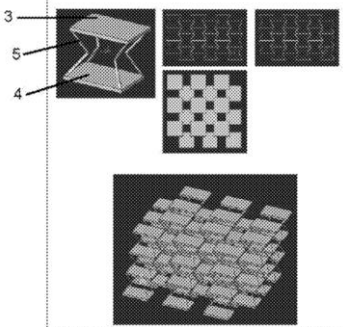
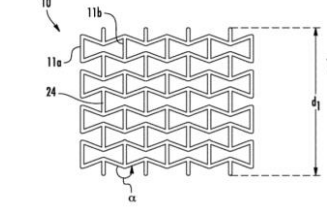
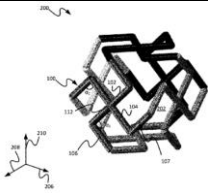
3.5. Auxetic Yapıların Kullanım Yerleri

Şok ve darbe direnci, akustik performansı ve ses absorpsiyonu, eğilme direnci gibi mekanik özelliklerinin yüksek olması auxetic malzemelerin geniş bir alanda kullanılmasına imkân sağlamıştır. Literatürde matematik modellenmesi ve yeni yapıların oluşturulması amacıyla halen çalışılmakta olan bu yapılar, endüstride patentlenmiş halde ve aktif bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Bu kapsamda son 20 yılda alınan Avrupa patentleri incelenmiş ve kronolojik olarak Çizelge 3.1 ile bu yapıların kullanıldığı ürünler gösterilmiştir.

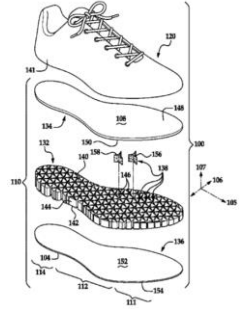
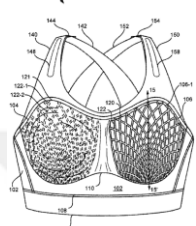
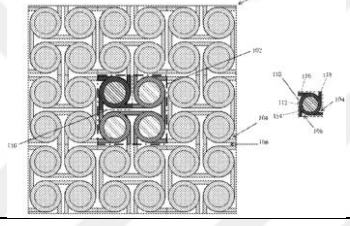
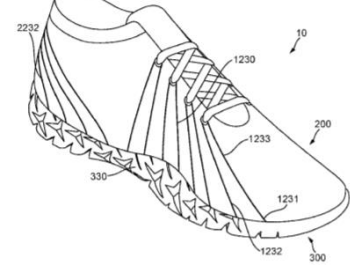
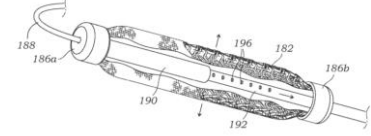
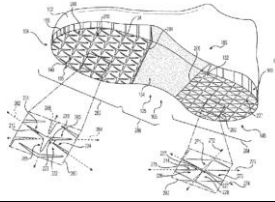
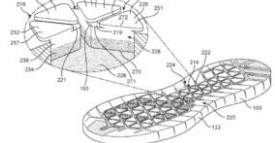
Çizelge 3.1. Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
11,208,800		Bu buluşun açıklayıcı uygulamalarında, modüler bir yapı, çok sayıda mekanik bağlantı içerir. Yapı, eğilme, bükülme, kesme, tek tip ölçekleme ve anizotropik ölçekleme gibi 2B veya 3B şekil dönüşümlerine maruz kalabilir. Bu şekil dönüşümleri, yapıdaki bir veya daha fazla spesifik konuma kuvvet (örn., sıkıştırma kuvveti) uygulanarak çalıştırılabilir [127].
11,207,485		Mevcut buluş, önceki tekniğin dezavantajlarını ortadan kaldıran veya iyileştiren, solunum cihazı havalandırma sistemlerinin tüm formlarında kullanılan solunabilir gazların nemini kontrol etmek için kullanılan nemlendirme düzenlemeleri ile ilgili alternatif bir nemlendirici aparat sağlamayı amaçlanmaktadır [128].
11,202,483		Geleneksel ayakkabılar genellikle üst kısımları istenen bir şekilde kesilmiş ve birbirine dikilmiş tekstillerden veya malzemelerden yapılır. Mevcut buluş ile örme bir tekstilden ayakkabı sayaları oluşturmak hedeflenmiştir [129].
11,185,128		Poisson oranı ile tanımlanan bir taban katmanı ve taban katmanına birleştirilmiş bir dış katman içeren giyim eşyası ile gerginliğin/yükün serbest bırakılmasıyla, tekstilin geri kazanım gücü kullanılarak kumaşın orijinal şekline/boyutlarına geri dönmesi hedeflenmiştir [130].
11,147,341		Bir ayakkabı eşyası için tek bir yapı, yardımcı açıklıklar ve kılcal kanallar içerebilir. Auxetic açıklıklar ve yivler farklı bölgelerde taban yapısı için farklı özellikler kazandırmak üzere bölgesel bir şekilde tatbik edilmiştir [131].
11,142,343		Sıcaklıktaki artış sırasında, özellikle bir sinterleme aşaması sırasında boşlukların iç hacmini daha etkin bir şekilde koruyabilen bir uçak tahrik ünitesi naceli için bir panelin üretilmesine yönelik yöntem sağlanmıştır [132].

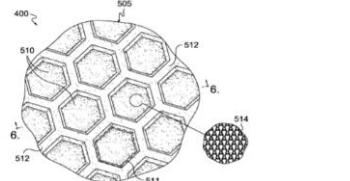
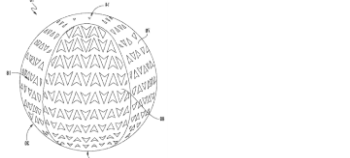
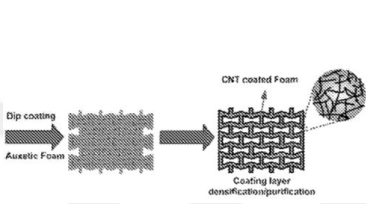
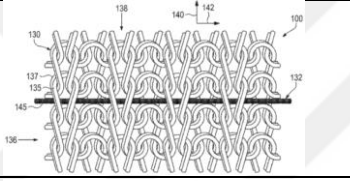
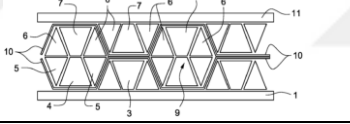
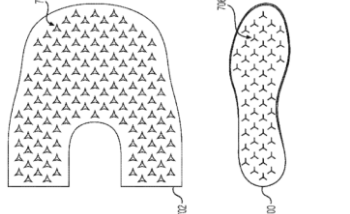
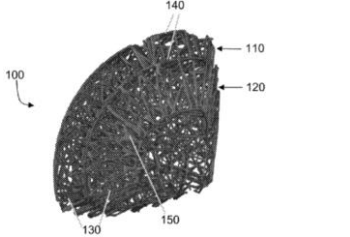
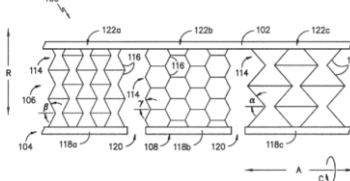
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
11,133,455		Nano boşluklu polimer cihazlarda azaltılmış histerezis ve azaltılmış sürünme sağlayan yapı tasarımı yapılmıştır [133].
11,124,763		Yapılan bu buluşla, büyüme süresini iyileştirmek ve yetiştirilen dokunun kalitesini iyileştirmek için kültür işlemi sırasında mikro ortamı düzenlemek için hücre yoğunluğunu ve büyüme hızını dikkate alan bir sistem tasarlanmıştır [134].
11,123,628		Bir snowboardda bulunan highback için ayak parmağı kayışı veya ayak bileği kayışından en az birinin auxetic desenli bir bölüme sahip olan tasarım geliştirilmiştir [135].
11,117,344		Buluş, auxetic yapılarla, özellikle üç boyutlu auxetic yapılarla ve bunların uygulamalarıyla ilgilidir. Spesifik olarak, uçak yapımında, gemi yapımında ve diğer sanayi dallarında kullanılan hücresel bir malzemeyi ifade eder [136].
11,109,629		Giyim alanıyla ve özellikle çantalar, gömlekler, pantolonlar, şapkalar, eldivenler ve ayakkabılar dahil olmak üzere bir insan tarafından taşınacak veya giyilecek giysiler ve diğer giyim eşyaları için çeşitli vücut şekillerine uyum sağlayabilen auxetic yapıya sahip kumaş içeren giyim eşyası tasarlanmıştır [137].
11,072,874		Ayarlanabilir, dönebilir çok sayıda kiral yapıya sahip bir auxetic poligonal hücre tasarlanmıştır [138].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
11,058,173		Nike ayakkabı firması tarafından, Agregat (Betonun hammaddelerini oluşturan kum ve çakıl karışımıdır.) içeren auxetic taban yapısına sahip ayakkabı eşyası tasarlanmıştır [139].
11,058,155		GAP firması tarafından, yüksek darbe, yüksek destek faaliyetleri için sütyen tasarımı yapılmıştır [140].
11,056,090		Bir vibro-akustik empedans uyumu sergileyen heterojen elastik kompozitlerle, bir ortamda yayılan zamanla değişen vibro-akustik alanları birleştirmek için kullanılan elastik malzeme yapılmıştır [141].
11,013,293		Taban yapılarına dahil edilen auxetic elemanlar ile, yürüme, koşma, atletik aktivite veya ayakkabının diğer tipik kullanımlarından kaynaklanan kuvvetler gibi, üzerine yerleştirilen belirli kuvvetlere yanıt olarak ayakkabının kullanıcının ayağına uyumunu dinamik olarak ayarlamasına izin vermek amaçlanmıştır [142].
11,007,061		Bir atriyoventriküler kalp kapakçığı yoluyla yetersizliğin azaltılmasına yönelik kullanılan ayarlanabilir perkütan kalp kapakçığı onarım sistemi elemanı tasarlanmıştır [143].
11,006,696		Nike ayakkabı firması tarafından auxetic dış taban yapısına sahip ayakkabı eşyası tasarlanmıştır [144].
10,993,501		Nike ayakkabı firması tarafından yivli auxetic dış taban yapısına sahip ayakkabı eşyası tasarlanmıştır [145].

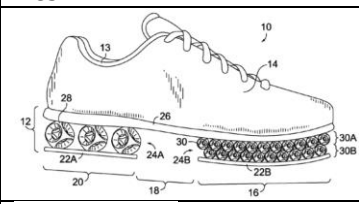
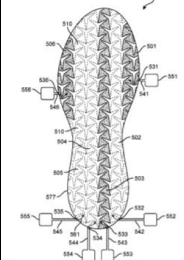
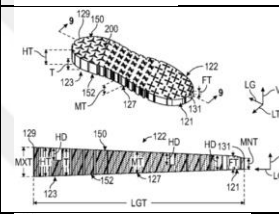
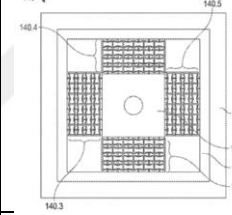
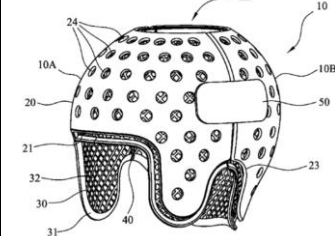
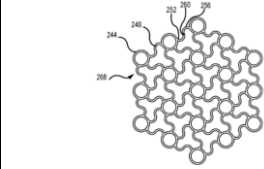
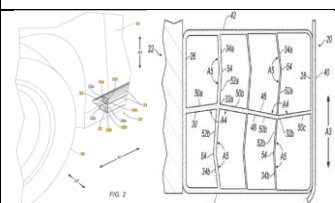
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,973,268		Yalıtım özelliklerinin yanı sıra değişken hava geçirgenlik özelliklerini de içeren uyarlanabilir bir iplikle örülmüş bir tekstil ürünü yapılmıştır [146].
10,967,229		Bir dış tabaka ile kaplanmış çok sayıda birbirine kenetlenen panel içeren top tasarımı yapılmıştır [147].
10,955,300		Mevcut buluş, negatif bir Poisson oranına sahip gözenekli bir substrat üzerine ince bir iletken nanomalzeme-algılayıcı tabakanın uyumlu bir şekilde kaplanması yoluyla oluşturulan ölçeklenebilir ve uygun maliyetli auxetic köpük sensörlerini (AFS) içermektedir [148].
10,934,641		Nike ayakkabı firması tarafından uzadıkça bir birinci konum ve bir ikinci konum arasında hareket etmek üzere yapılandırılmış auxetic bir bölüme sahip örgü elemanı tasarlanmıştır [149].
10,899,091		AIRBUS firması tarafından fiber takviyeli malzemeden bir panel üretmek için modüler kalıp ve yöntem üretilmiştir [150].
10,888,135		Nike ayakkabı firması tarafından imalat sırasında bir taban yapısının ön gerdirilmesini içeren ön gerdirilmiş bir ayakkabı eşya tasarımı yapılmıştır [151].
10,850,165		Adidas firması tarafından bir yüzey tabakası ve yüzey tabakasının altına yerleştirilmiş bir kafes yapısından oluşan, şişirilmeyen bir top tasarımı yapılmıştır [152].
10,830,102		Duvarlar arasında uzanan ve kasa yükleme koşullarına göre ayarlanabilen bir kafes yapısına sahip gaz türbini motorları için çift duvarlı mahfaza tasarımı yapılmıştır [153].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,808,794		Her bir birim hücrenin, enerjiyi dağıtmak için iki etkileşimli üye içerdiği, çok sayıda birim hücre içeren bir meta-materyal kullanılarak topolojik sönümleme malzemesi oluşturulmuştur [154].
10,799,728		Birden çok kıvrımı olan yüz parçası solunum aygıtı tasarımı yapılmıştır [155].
10,799,350		Yapılan çalışma ile kalp kapakçığı onarım sistemi gibi perkütan olarak implante edilmiş kateter sistemlerini geri almak için bir boru şeklindeki parçaya uzak ucunda en az bir kilitleme konektörü bulunan yöntem üretilmiştir [156].
10,791,797		UNDER ARMOUR firması tarafından üç boyutlu auxetic yapı içeren ayakkabı tasarımı yapılmıştır [157].
10,767,032		Bir yükün uygulanması üzerine çökmüş bir konum ile genişletilmiş bir konum arasında deforme olabilen çok sayıda birbirine bağlı yapı bloğu içeren auxetic malzeme tanımlanmıştır. Bu yapı taşları iki durumdadır ve hem daraltılmış konumda hem de genişletilmiş konumda kararlı bir durumu tanımlar. Kararlı durumda, yapı blokları, yapı bloğuna uygulanan yükün kaldırılmasından sonra bile çökmüş konumu veya genişletilmiş konumunu korur. [158].
10.765.778		Yapılan çalışma, kan damarları ve benzerleri gibi lümenli organlar için, söz konusu lümen organı ile temas halinde düzenlenmesi amaçlanan, en az bir biyo-absorbe olabilen auxetic malzeme tabakasını içeren biyolojik olarak emilebilir bir protez üretim yöntemini içermektedir [159].
10,751,970		Bir plaka ve plaka üzerine yerleştirilmiş üç boyutlu bir auxetic bileşen ile darbelere karşı mükemmel koruma sağlayan bir yapı tasarımı yapılmıştır [160].

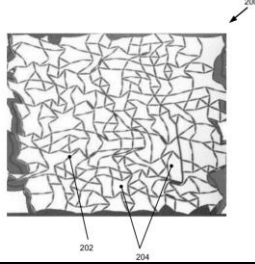
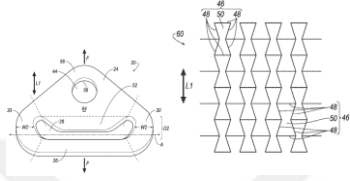
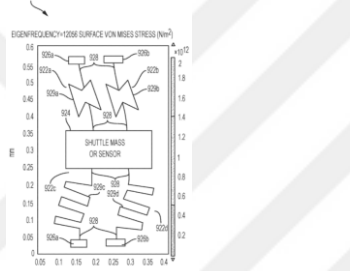
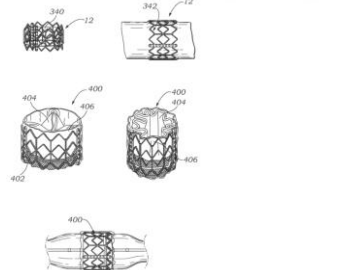
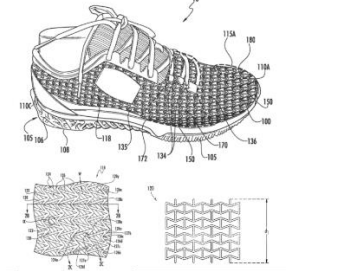
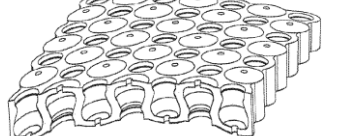
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,721,990		NIKE firması tarafından, bir kuvveti veya darbeyi azaltmak için yük altında mekanik olarak değişen ve yük kaldırıldığında dinlenme durumuna dönen bir bağ ağı içeren ayakkabı tasarımı yapılmıştır [161].
10,716,361		NIKE firması tarafından, ayakkabı için yıldız şeklindeki açıklıkları çevreleyen şişirilmiş bileşenlerden oluşan bir auxetic hava kesesine sahip ayakkabı tabanı tasarlanmıştır [162].
10,716,360		NIKE firması tarafından, auxetic bir yapı oluşturacak şekilde düzenlenmiş deliklere sahip taban yapısı tasarlanmıştır [163].
10,696,546		Auxetic yapı içeren mikro elektro mekanik sistem (MEMS) aygıtı ile MEMS aygıt paketi için ara eleman tasarımı sunulmuştur [164].
10,695,211		Bebeklerin ve küçük çocukların kafa şeklindeki deformitelerini düzeltmeye yönelik bir auxetic kranial kalıplama ortezi (Kask kalıplama tedavisi veya kranial ortez, kafatasının şeklini düzeltmek için bebeğe özel bir kask takıldığı bir tedavi türüdür.) ve üretim yöntemi yapılmıştır [165].
10,675,517		Enerji depolama yeteneklerini geliştirmek ve stres konsantrasyonlarını en aza indirmek için bir kafes içeren golf sopasının baş, yüz ve plaka tasarımı yapılmıştır [166].
10,633,029		Çalışma ile tipik olarak, araç lastikleri arasındaki araç gövdesinin bir yanının en alt kısmında bulunan araç rocker kirişi tasarımı yapılmıştır [167].

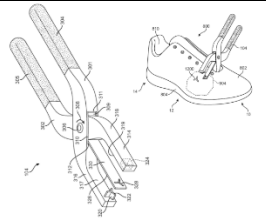
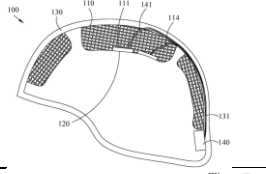
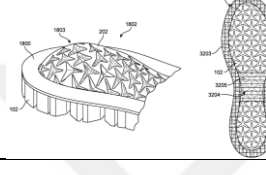
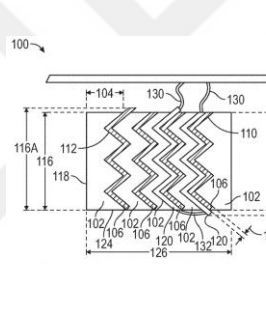
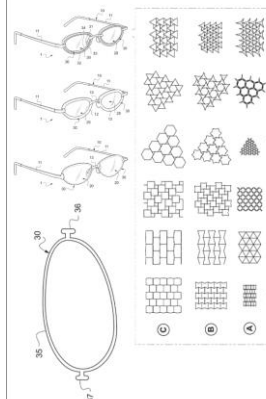
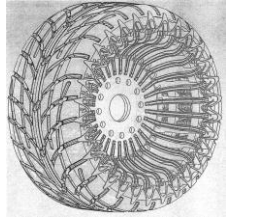
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,611,118		Yapılan tasarım genel olarak bir veya daha fazla gözeneksiz auxetic katman içeren gözenekli olmayan auxetic yapılar ve bu yapıları içeren sistemler ile ilgilidir [168].
10,603,866		Özelleştirilmiş NPR (Negative Poisson's Ratio) davranışı için tasarlanmış desenlere sahip hibrit çukurlu ve boşluklu auxetic yapılar tasarlanmıştır [169].
10,549,505		Isı veya nem gibi bir uyarana yanıt olarak kendi kendini dönüştürebilen aktif bir kafes tasarlanmıştır [170].
10,542,792		NIKE firması tarafından, auxetic konfigürasyonda düzenlenen açıklıklara sahip bir saya tasarımı yapılmıştır [171].
10,542,624		3D baskılı sensör ve yastıklama malzemesi tasarlanmıştır [172].
10,479,004		Yaklaşık oda sıcaklığında (25°C) sürekli, güvenilir ve hızlı bir şekilde auxetic poliüretan köpüğü üretim yöntemi anlatılmıştır [173].
10,466,353		Yapılan çalışma ile bir akustik sızıntılı dalga anteni (LWA) içeren sızıntılı dalga anten sistemi tasarlanmıştır. ABS plastikten suya göre çok yavaş elastik dalga hızları sergileyen auxetic malzeme kullanarak mekanik olarak bant aralığı ayarlanabilen bir kafes sistemi oluşturulmuştur [174].
10,455,894		NIKE firması tarafından, bir iç yüzeye ve karşı karşıya bakan bir dış yüzeye sahip olan auxetic taban yapısında ayakkabılar tasarlanmıştır [175].
D863,807		Sandalye ve sandalye bileşeni auxetic yapı modeli kullanılarak yapılmıştır [176].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,442,132		Auxetic yapılar, auxetic olmayan yapılarla göre daha yüksek gerilme mukavemetine sahiptir ve 3D baskı yöntemiyle basılabilir. Bu çalışmada, auxetic olmayan iki taban arasına yerleştirilmiş auxetic yapı tasarım 3D baskı yöntemiyle basılıp üretilmiştir [177].
10,434,977		Emniyet kemeri bağlantısı, aralarında yer alan ve bağlantı bölümünü emniyet kemeri destek bölümüne bağlayan ve bağlantı bölümüne ve emniyet kemeri destek bölümüne göre plastik olarak deforme olabilen auxetic bir kafes yapısı içeren emniyet kemeri bağlantısı tasarımı yapılmıştır [178].
10,427,397		Elektrik ara bağlantıları için gerilebilir, uyumlu, auxetic yapıda elektrik iletkenleri tasarımı yapılmıştır [179].
10,426,611		Doğal kalp kapak halkaları gibi vücut kanallarına implantasyon için auxetic yapıda kapak protezi tasarımı yapılmıştır [180].
10,426,226		Under Armour firması tarafından, auxetic tabaka içeren ayakkabı tabanı ve sayası yapılmıştır [181].
10,408,294		Kaplanmış, emprenye edilmiş ve/veya gerinim hızına duyarlı bir madde ile birleştirilmiş bir malzemeden oluşan esnek bir enerji soğurma sistemi tasarlanmıştır [182].

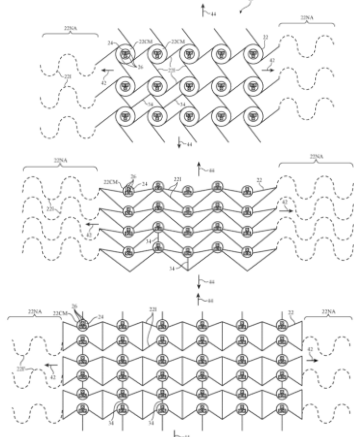
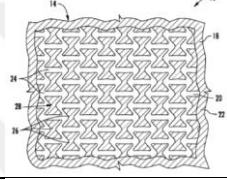
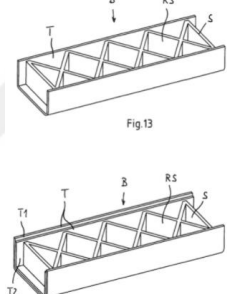
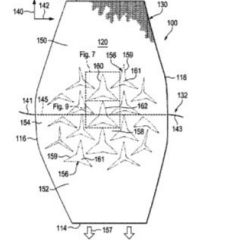
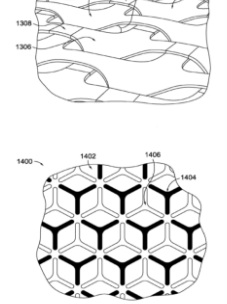
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,398,190		NIKE firması tarafından, bir ayakkabı eşyasında auxetic yapıları oluşturmak için kişiselleştirilmiş bir alet tasarımı yapılmıştır [183].
10,390,578		Koruyucu bir donanım için basınç sensörü, nem sensörü ve sıcaklık sensörü içeren sensörlü auxetic koruma dolgusu tasarlanmıştır [184].
10,383,392		NIKE firması tarafından, auxetic yapısı boyunca yerleştirilebilen bir strobel ile auxetic yapının hareketini kısıtlayabilen ayakkabı tabanı tasarlanmıştır [185].
10,358,813		Yangına dayanıklı ve/veya suya dayanıklı olabilen, köpük veya bazı benzer özelliklere sahip başka bir malzeme olabilen bir veya daha fazla gövde elemanı içeren bir genişleme derzi tasarımı yapılmıştır. Genleşme derzi contasının dahili toparlanma kuvvetini arttırmak ve bağlantı substratı üzerinde pozitif basıncı korumak için yatay olarak yönlendirilmiş auxetic yapı kullanılmıştır [186].
10,338,405		Auxetic bir çerçeve ve çerçeveye monte edilmiş oftalmik lensler (Işığı dağıtan ve toplayan yan kesitinden bakıldığında bir prizma sistemidir.) içeren bir gözlük ekipmanı uygulaması yapılmıştır [187].
10,315,459		Çapı 7 inç, 14 inç olan negatif Poisson oranına sahip auxetic yapılara dayalı ultra hafif havasız ATV tekerlek tasarımı yapılmıştır [188].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,314,700		Metal levhanın bükülme veya kırışma olmadan birden fazla eksende bükülmesine izin veren kavisli elemanlara sahip sentetik kompozit yapılar tasarlanmıştır [189].
10,285,471		NIKE firması tarafından, açıklıkları çevreleyen elemanlardan oluşan bir bitişik auxetic taban yapısına sahip ayakkabı tabanı tasarlanmıştır. Bitişik elemanlar, tek yapı düzleminde birbirlerine göre dönebilmeleri için menteşeli bir şekilde bağlanmıştır. Döndürme, gerilim uygulandığında auxetic taban yapısının genişlemesine izin vermektedir [190].
10,278,448		NIKE firması tarafından, orta taban bileşenine ve bir iç taban bileşenine sahip taban yapısı auxetic bir konfigürasyonda düzenlenmiş delikler içerecek şekilde tasarlanmıştır [191].
10,266,310		Yapılan çalışma ile, bir çekirdek hücreye veya hiyerarşik yapıya sahip ayarlanabilir auxetic yapı tasarımları yapılmıştır [192].

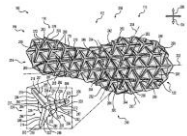
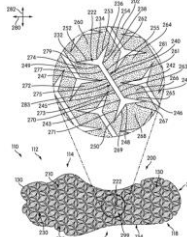
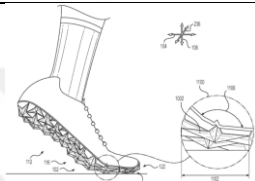
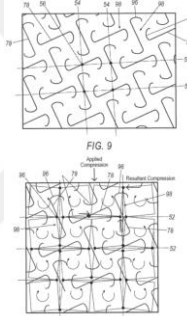
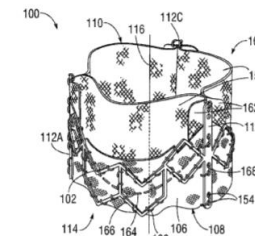
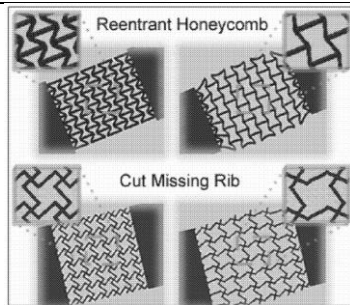
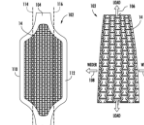
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,199,323		Yapılan çalışmada, uzatılmış ara bağlantı yolları ile birbirine bağlanan bölgelere sahip esnek devre alt tabakalarındaki bileşenlerden oluşturulan esnek devre alt tabakası tasarlanmıştır [193].
10,195,815		Taban katmanı, dört yönlü bir auxetic malzemeden oluşan giyim eşyası tasarlanmıştır [194].
10,189,190		Taşıyıcı ve destekleyici malzemeden oluşan auxetic malzeme kompoziti içeren özellikle araç gövdesi için yapısal bir bileşen üretme yöntemi yapılmıştır [195].
10,184,195		NIKE firması tarafından, bir auxetic kısma ve bir germe elemanına sahip örme bileşen tasarlanmıştır [196].
10,143,252		NIKE firması tarafından, bir insanın vücut ısısına tepki olarak bir giyim eşyasında ilave geçirgenliğe izin vermek için şekil değiştirebilir olması ya da nemin mevcudiyetine tepki olarak, eşyanın iç kısmına yağmurun girmesini önlemek için şekil değiştirebilir olması gibi ayarlanabilir fiziksel özellikler için eşyalara entegre edilmiş dinamik malzemeler tasarlanmıştır [197].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
10,070,688		NIKE firması tarafından, auxetic açıklıklar ve yivler, farklı bölgelerde taban yapısı için farklı özellikler kazandırmak üzere tasarlanmıştır [198].
10,066,508		Yapılan çalışmada, bir muhafazanın, özellikle bir motor muhafazasının üretilmesi veya biçimlendirilmesi, onarılması ve/veya değiştirilmesi için bir yöntem belirlenmiştir [199].
10,064,452		FORD firması tarafından, plastik olarak deforme olabilen bir kafes yapısını içeren emniyet kemeri dili tasarlanmıştır [200].
9,949,530		NIKE firması tarafından, auxetic yapıya sahip futbol ayakkabısı tasarlanmıştır [201].
9,949,518		Under Armour firması tarafından, çok sayıda auxetic dantel birleştirme çifti içeren giyim eşyası tasarımları yapılmıştır [202].
9,936,755		Under Armour firması tarafından, auxetic yapıda iplik örgüye sahip giyim eşyası tasarlanmıştır [203].
9,908,369		Negatif Poisson oranı veya auxetic yapılarla ve özellikle bu tür yapılara dayalı hafif, havasız ve patlak lastiklerle ilgili çalışma yapılmıştır [204].

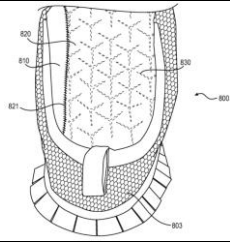
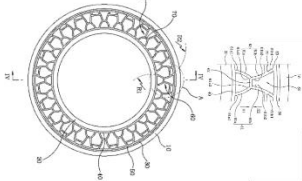
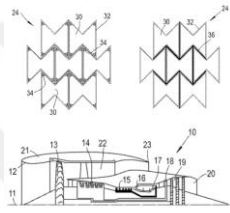
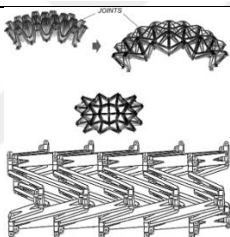
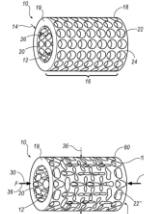
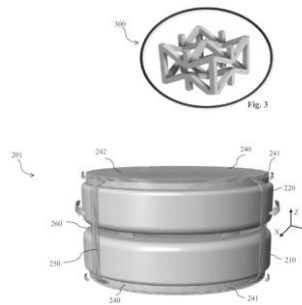
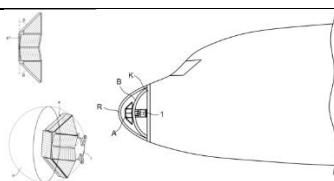
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
9,901,135		NIKE firması tarafından, auxetic zemin kavrama elemanlarına sahip esnek ayakkabılar tasarlanmıştır [205].
9,861,158		NIKE firması tarafından, auxetic yapı tasarımı taban tasarlanmıştır [206].
9,775,408		NIKE firması tarafından, üç köşeli yıldız şekilli piramidal bir yapıya sahip auxetic yapı tasarımı ayakkabı tabanı tasarlanmıştır [207].
9,709,274		Gaz türbini yakıcılar, türbin gömlekleri ve diğer bileşenler termal genişlemeye maruz kalır ve önemli stres yaşar. Rolls-Royce firması tarafından, termal genişleme özelliklerinin kontrolünden yararlanan ve önemli stres azalması yaşayan bileşenlerde kullanım için geliştirilmiş auxetic bir malzeme açıklanmıştır [208].
9,675,452		Fistolu çerçeve tasarımı ile yapay kalp kapakçığı açıklanmıştır. Burada açıklanan protez kapaklar, bilinen diğer kapaklardan daha küçük bir çapa sahiptir ve bu kapaklar kıvrılabilir. [209].
9,631,171		Bir veya daha fazla gözenekli yapı iskelesi levhası oluşturmak üzere mikro yapı modellerini bir ön-polimer malzemeye yansıtmak için dijital bir mikro ayna dizisi tarafından modüle edilen polimerleştirici radyasyon kullanılarak üç boyutlu bir mikroyapı biyomalzemesinin üretim yöntemleri geliştirilmiştir [210].
9,629,397		Under Armour firması tarafından, dört yönlü bir streç malzeme içeren giyim eşyaları tasarlanmıştır [211].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
9,554,624		NIKE firması tarafından, gerilim uygulandığında taban yapısının genişlemesine izin veren yapı tasarımı yapılmıştır [212].
9,554,620		NIKE firması tarafından, taban tasarımı yapılmıştır. Taban elemanları, taban yanal veya uzunlamasına gerilim altındayken birbirine göre dönebilir, böylece tabanın yanal ve boylamsal boyutlarını arttırır. [213].
9,494,206		ROLLS-ROYCE firması tarafından, hüresel yapıya sahip bir hücrenin içine oturmak ve hücre boşluğunu yaymak için yapılandırılmış bir titreşim sönümleme parçası tasarlanmıştır [214].
9,486,333		Protez çorabın içindeki artık uzvun şeklindeki veya hacmindeki değişiklikleri, bir protez uzvun kalıntı uzuv ile protez soketi arasında güvenli bir oturma sağlamak için auxetic köpük yapıda protez soket aparat ve sistemleri yapılmıştır [215].
9,475,257		Bu buluş tekstil alanıyla ve daha özel olarak üç boyutlu negatif Poisson oranlı boşluklu örgü kumaş ve bunun yapılması için bir yöntemle ilgilidir [216].
9,456,656		NIKE firması tarafından, auxetic yapıya sahip orta taban bileşeni ve dış taban elemanları tasarımı yapılmıştır [217].
9,416,839		Negatif Poisson oranına) sahip olan auxetic malzemelerle burçların, sarsıntı tamponlarının ve (gövde ve motor) yataklarının tasarımı gerçekleştirilmiştir [218].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
9,402,439		NIKE firması tarafından, çokgen açıklıklara sahip geometrik desenlerden oluşan bir desene sahip malzemeden yapılmış en az bir katmana sahip iç taban tasarımı yapılmıştır [219].
9,387,726		HANKOOK lastik firması tarafından, aralarında bir mesafe olacak şekilde birbirine bakan birinci ve ikinci bantlardan oluşan havasız bir auxetic lastik tasarımı yapılmıştır [220].
9,382,962		Auxetic hücresel yapı içeren bir titreşim sönümlerme gövdesi ve hücre duvarlarına bağlı hücresel yapı boyunca seçici olarak ikinci bir malzeme yerleştirilerek titreşim sönümlerme yapıları tasarlanmıştır [221].
9,376,796		Negatif poisson oranına sahip auxetic bileşenlerine dayalı hızla konuşlandırılabilir yapılar ve mafsallı tasarımları yapılmıştır [222].
9,353,783		Rolls-Royce firması tarafından, bir tertibatta veya başka bir sistemde iki veya daha fazla üyeyi sabitlemek için bir mekanizma olarak auxetic kilitleme pim tasarımı yapılmıştır [223].
9,241,808		Birinci disk bölümünün ikinci yüzeyinin karşısındaki birinci yüzeye göre konumlanmış bir dönme noktasına ve negatif Poisson oranına sahip bir kafes yapısında olan birinci omurlar arası disk bölümüne tekabül edecek şekilde şekillendirilmiş ve boyutlandırılmış bir birinci disk bölümünü içeren auxetic implant tasarımı yapılmıştır [224].
9,213,097		Bir radomdan oluşan uçak için anten ile sızdırmaz bölme arasına auxetic bir kuş çarpması kalkanı tasarımı yapılmıştır [225].

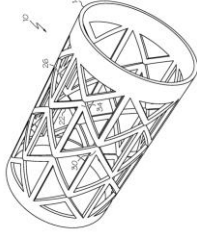
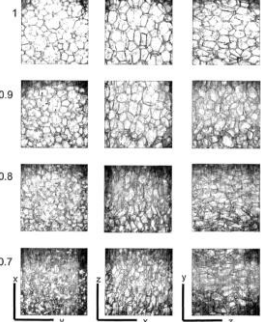
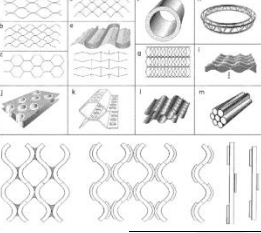
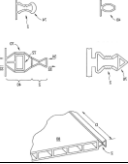
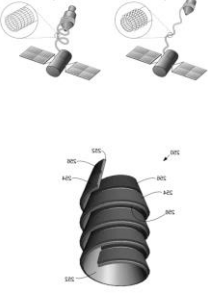
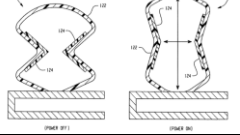
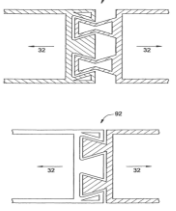
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
9,168,129		Yapılan çalışma ile auxetic çerçeve tasarımlı yapay kalp kapakçığı protezi tasarlanmıştır [226].
9,120,351		Hankook lastik firması tarafından, hava basıncını kullanmadan bir auxetic kollu tampon aracılığıyla lastiğe uygulanan şoku emen ve basıncı tutan havasız bir tekerlek tasarımı yapılmıştır [227].
9,060,551		NIKE firması tarafından, giyim eşyalarında ayarlanabilir geçirgenlik sağlamaya yönelik sistemler ve yöntemler tasarlanmıştır [228].
8,999,480		Bir lastikte kullanılan çok sayıda kiral bir konfigürasyon hücreye sahip kesme bandı için bir kesme tabakası tasarımı yapılmıştır [229].
8,967,147		Maske gövdesinde auxetic bir ağız sahip filtreli yüz parçası solunum cihazı tasarımı yapılmıştır [230].
8,932,340		Auxetic stent tasarımı yapılmıştır [231].
8,916,262		Tekstil ve kumaşlar için auxetic iplik tasarımı yapılmıştır [232].
8,772,187		Kompozit malzemelerle birlikte faydalı olabilecek türden auxetic kumaş yapıları ve ilgili imalat yöntemleri sunulmuştur [233].

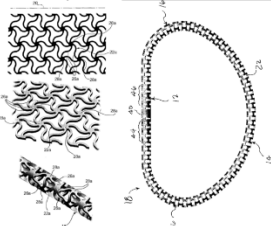
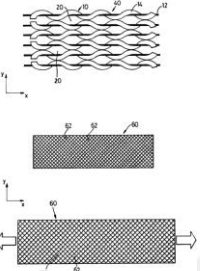
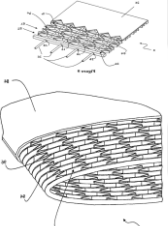
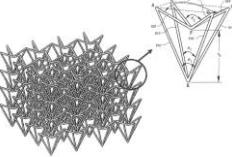
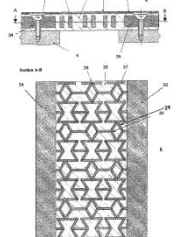
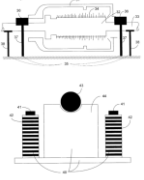
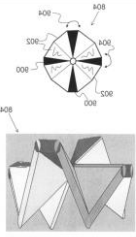
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
8,734,702		Negatif etkili Poisson oranına sahip bir malzeme üretimi için kalıp tasarımı yapılmıştır [324].
8,728,369		Yapılan çalışma ile bir polimerik malzemenin açık döküm yüzeyi üzerine ekstrüzyonunu içeren bir auxetic ağ yapma yöntemi sunulmuştur [235].
8,688,421		Michelin tekerlek firması tarafından, bir tekerlek tasarımında kaymaya karşı esnek bir yapı oluşturmak için auxetic petek tasarımı yapılmıştır [236].
8,652,602		Birim hücreler olarak adlandırılan auxetic yapı için dönel özellik gösteren formları tasarlanmıştır [237].
8,573,125		Patlayıcı bulunan bir durumda, patlamayı kontrol etmek için auxetic bir patlama kontrol örtüsü tasarımı yapılmıştır [238].
8,544,515		Hem askeri hem de ticari araçlar için runflat (Jant ile lastik arasında yerleştirilmiş omurga benzeri bir yapıdır.) gereksinimlerini en iyi şekilde karşılayacak negatif poisson oranına sahip auxetic yapılı ultra hafif runflat lastik tasarımı yapılmıştır [239].
8,486,507		Nitinol (eş atoma yakın titanyum-nikel alaşımı) kullanan hücresel veya auxetic petek yapılı yapıların tasarım ve imalat yöntemi açıklanmıştır [240].
8,436,508		Aktif olarak kontrol edilebilir bir mekanik özelliğe sahip meta-materyal (auxetic) tasarlanmıştır. Meta-malzeme, deforme olabilen bir yapı ve bir dizi aktivasyon elemanı içerir. Aktivasyon elemanları, birden fazla durum arasında kontrol edilebilir. [241].

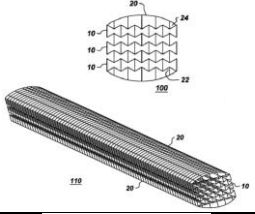
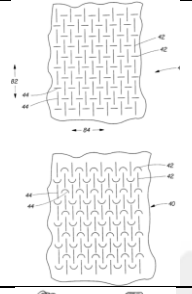
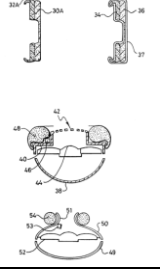
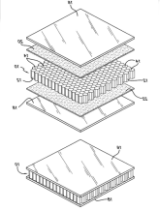
Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
8,302,696		Borunun en az bir bölümünün radyal genişlemesine yanıt olarak uzunlamasına genişlemek üzere yapılandırılmış auxetic bir boruyu içeren aktüatör tasarımı yapılmıştır [242].
8,277,719		Bir termoplastik auxetic köpüklerin hazırlanması için yöntem belirlenmiştir [243].
8,273,194		Geçici-sıvı reaktif birleştirme ile şekil hafızalı alaşımlı hücresel malzeme ve yapıların imalatı için birleştirme tekniği yapılmıştır [244].
8,191,329		Panelleri bağlamak için auxetic formda birleştirici aparat tasarımları yapılmıştır [245].
8,164,232		Bileşen malzemeleri veya bileşen malzemelerinin şekli ve düzeni arasındaki bağlantının, meta-malzemenin mekanik bir özelliğini etkilemek için dinamik olarak kontrol edilebildiği bir kompozit malzemeye benzeyen aktif olarak kontrol edilebilir bir mekanik özelliğe sahip meta-materyal tasarlanmıştır [246].
8,109,042		Kapılar için aktif conta düzeneklerinde conta kuvvetini değiştirmek için yöntemler sunulmuştur [247].
8,074,418		Çok duvarlı çatı veya duvar panelleri için konektör ve bağlantı tasarımları yapılmıştır [248].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
8,034,103		Bir yanıl duvara sahip olan ve bölümlerinden en az birinin uzunlamasına eksenı boyunca bir çekme gerilimine maruz kaldığında auxetic davranış sergileyen bir iç boru biçimli eleman içeren bir anüloplastı (Kalp kapakçığının ameliyatla yeniden biçimlendirilmesi) protezi tasarlanmıştır [249].
8,002,879		Özellikle birbirine bağı çok sayıda auxetic lif içeren gözenekli bir malzemenin kullanılmasına yönelik çeşitli yöntemlerle ve bu tür gözenekli malzemeleri içeren yapılarla ilgili çalışılmıştır [250].
7,931,240		Özellikle uçak kanatlarında kullanılmak üzere, akışkan temas yüzeylerinin kontrollü çalıştırılması için kullanılan hücresel destek yapıları tasarlanmıştır [251].
7,910,193		Ok modelli üç boyutlu auxetic yapı tasarımları yapılmıştır [252].
7,896,294		Bir kanat yapısı, kuyruk birimi yapısı, kontrol yüzeyi yapısı veya kanat yapısı gibi değişken şekilli bir aerodinamik alan için bir auxetic örtücü yüzey tasarımı yapılmıştır [253].
7,824,763		Türbin destek yapılarında kullanım için auxetic yapıda kompozit bir malzeme tasarlanmıştır [254].
7,678,440		Deforme olabilen, değişken sertlikte bir hücresel yapı tasarımı yapılmıştır [255].

Çizelge 3.1. (devam) Patentlenmiş auxetic yapı örnekleri

Patent No.	Resim	Açıklama
7,160,621		Auxetic yapıların boyutunun yaklaşık 1 mm'den büyük olduğu çok sayıda auxetic yapı içeren bir otomotiv enerji emicisi tasarlanmıştır [256].
6,989,075		Kâğıt mendil, yüz mendili, banyo mendili, kâğıt havlu, peçete, vücut mendili, paspas başlığı vb. kullanılmak üzere kullanıcı tarafından etkinleştirilebilen auxetic yapıda esnek malzemeler tasarlanmıştır [257].
6,412,593		Auxetic köpükten bir kulak yastığı ile kaplanmış kulaklık kılıfı tasarlanmıştır [258].
6,117,518		Polimerik malzeme parçacıkları içeren bir reçine ile kaplanmış dokunmamış bir tabaka malzemeden oluşturulmuş bir petek yapısı tasarlanmıştır [259].

Çizelge 3.1 incelendiğinde, havacılık sektöründe; uçak kanadı güçlendirmesi, hava aracı yapısalalarında kullanılmak üzere sandviç paneller, kuş çarpması için radom kalkan tasarımları, motor muhafaza tasarımları vb., otomotiv sektöründe kullanılmak üzere; şok emici yapısalılar, kapılar için aktif conta yapıları, camlarda akustik ses yalıtım yapıları, lastik tasarımları, tampon burçları, emniyet kemeri aksamaları vb., spor endüstrisinde; ayakkabı, çanta gibi spor malzemeleri, kask iç yapı tasarımları, spor aletleri tasarımları vb., sağlık endüstrisinde; maske tasarımları, stent tasarımları, protez aksam tasarımları, gözlük tasarımları vb., uzay endüstrisinde anten tasarımları, uzay aracı sensör bağlantıları vb., mobilya endüstrisinde sandalye tasarımları, mobilya aksesuar vida tasarımları vb., inşaat endüstrisinde güçlendirilmiş yapısal parça tasarımları vb. çalışmaların yapıldığı böylece literatürde çalışmaları yapılan auxetic yapıların endüstriye nasıl uygulandığı görülmektedir.



4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

Bu çalışmada, ahşap dolgu malzemesi olarak Türkiye’de yetişen atık bitki kabukları tercih edilmiştir. Kayısı Malatya’dan, badem Datça’dan, ceviz Samsun’dan, fındık Ordu’dan, yer fıstığı Osmaniye’den ve Antep fıstığı ise Gaziantep’ten olmak üzere 6 çeşit meyve kabuğu kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kullanılan ahşap malzemeler [260]

Endüstride sıklıkla kullanılan akrilonitril bütadien stiren (ABS), polilaktik asit (PLA) ve polietilen tereftalat- glikol (PETG) malzemeleri polimer malzeme olarak tercih edilmiştir. Polimer malzemeler OO-Kuma 3D Teknolojileri firmasından granül olarak temin edilmiştir. Kullanılan polimer malzemelerin özellikleri Çizelge 4.1- 4.3 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. ABS polimer malzeme özellikleri [261]

Özellikler	Standart	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	ISO 1183	1,05
Su emme (%)	ISO 62	0,2-0,5
Çekme mukavemeti (MPa)	ISO 527	43
Uzama (%)	ISO 527	40
Eğilme mukavemeti (MPa)	ISO 178	70
İzod darbe direnci (KJ/m ²)	ISO 180/1A	19
Vicat yumuşama sıcaklığı (°C)	ISO 306	102

Çizelge 4.2. PLA polimer malzeme özellikleri [262]

Özellikler	Standart	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	ASTM D1505	1,24
Çekme mukavemeti (MPa)	ASTM D882	110
Uzama (%)	ASTM D882	100
Erime noktası (°C)	ASTM D3418	210±6

Çizelge 4.3. PETG polimer malzeme özellikleri [263]

Özellikler	Standart	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	ISO 1183	1,27
Çekme mukavemeti (MPa)	ISO 527	50
Uzama (%)	ISO 527	110
İzod darbe direnci (çentikli) (J/m)	ISO 180	95

4.2. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Üretimi

4.2.1. Hammaddelerin hazırlanması

Atık meyve kabukları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde öğütülmüştür. Kabuklar 80°C de etüvde bekletilmiş ardından çeneli kırıcı ile kırılmış ve diskli öğütücü kullanılarak partiküller elde edilmiştir.

Özellikle ilaç, boya ve kaplama sektörü olmak üzere kompozit malzeme üretilmesinde üretilen parçaların boyutlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Partikül boyutlarının değişimi bağ yapılarının kurulması ve malzeme dayanımı üzerinde ciddi etkiler oluşturmaktadır. Günümüz teknolojileri ile boyut analizi yapmak oldukça kolaylaşmıştır. Bu büyüklük koleksiyonunu tanımlamak için birçok teknoloji mevcut olsa da bu teknolojilerin sunduğu raporlar kendi kelime dağarcığıyla yazılmıştır. Bu parçacık boyutu sözlüğü, terimler ve tanımları açıkça anlaşıldığı ve temel varsayımları tam olarak dikkate alındığı sürece istenilen ölçüm raporu doğru bir şekilde elde edilebilmektedir.

Yüzey alanı, ağırlık, hacim bilgisi gibi özellikler kullanılarak partikül karakterizasyonu yapılmaktadır. Reaktivite, çözünme gibi durumlarda yüzey alanı ortalaması kullanılır. Yüzey alanı ya da Sauter ortalama çapı, $D_{[3,2]}$ ya da X_{sv} ile gösterilir. Hacim momenti ortalaması, (De Brouckere Ortalama Çapı) birçok numunenin kütlesini oluşturan parçacıkların boyutunu yansıtır. Boyut dağılımında büyük partiküllerin varlığına en duyarlı parametredir. $D_{[4,3]}$ ya da X_{vm} ile gösterilir. Büyük partiküllerin boyutunu izlemekte $D_{[4,3]}$ değerini kullanmak daha uygundur. Daha ince tane yapısı izlenmek isteniyorsa $D_{[3,2]}$ tercih edilmelidir [264].

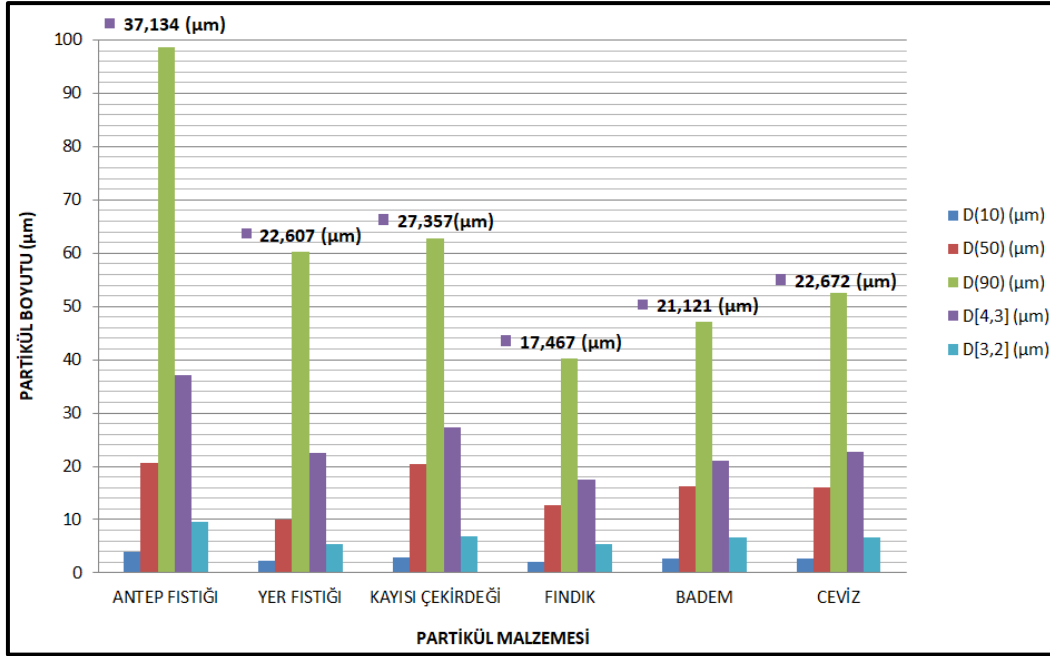
Yapılan bu çalışmada ceviz, fındık, Antep fıstığı, yer fıstığı, badem ve kayısı çekirdeğinin kabukları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde öğütülmüş ve Malvern Mastersizer 2000 cihazı ile partikül dağılımları belirlenmiştir. Cihaz bilgileri şu şekildedir:

- Tane boyu aralığı: Malzeme özelliklerine bağlı olarak 0.02 ila 2000 mikron arasında değişebilir.
- Ölçme prensibi: Mie saçılması.
- Detektör sistemi: Kırmızı ışıktaki ön saçılma, kenar saçılma ve arka saçılma; mavi ışıktaki geniş açılı ön ve geri saçılma.
- Işık kaynağı: Kırmızı ışık için helyum neon lazer, mavi ışık için katı hal ışık kaynağı.
- Kuru metot için yaklaşık 10 g, yaş metot için 200 mg örnek alınarak toz kütlelerinin ölçümleri gerçekleştirilir.

Lazer kırınım tekniği ile ölçüm gerçekleştiren Mastersizer 2000 cihazı partikül karakterizasyonu yaparken hacim ağırlıklı dağılım kullanarak ölçüm sonucu vermektedir. Elde edilen veriler Çizelge 4.4'de gösterildiği gibidir. Kompozit malzeme hazırlanırken

numunelerin büyük kısmını oluşturan parçacıkların boyutunu yansıttığı için D [4,3] kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. Partikül boyutları

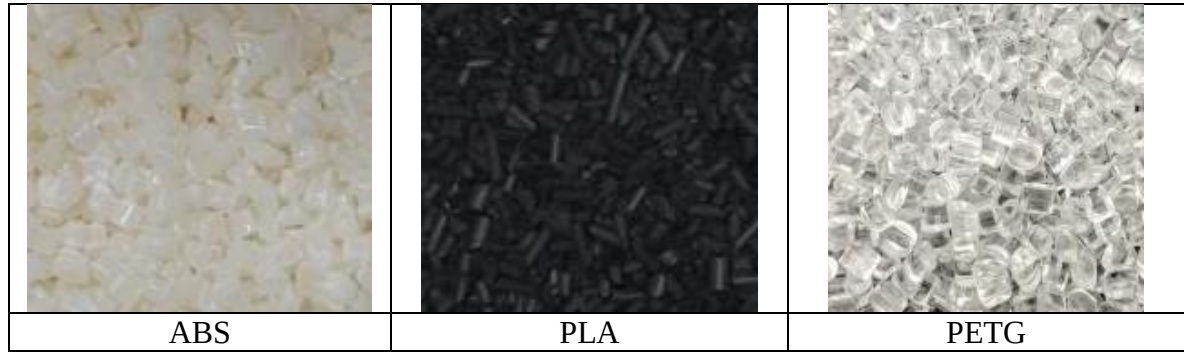


Atık meyve kabuğu tozları değirmende öğütüldükten sonra elenerek fındık için ortalama partikül boyutu 17,467 µm, badem için ortalama partikül boyutu 21,121 µm, yer fıstığı için ortalama partikül boyutu 22,607 µm, Antep fıstığı için ortalama partikül boyutu 37,134 µm, ceviz için ortalama partikül boyutu 22,672 µm ve kayısı çekirdeği için ortalama partikül boyutu 27,357 µm büyüklükte elde edilmiştir. Elde edilen öğütülmüş kabuk tozları Şekil 4.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Öğütülmüş meyve kabuğu tozları

Oo-kuma firmasından alınan polimer malzemeler Şekil 4.3 ‘de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.3. Oo-kuma firmasından temin edilen polimer malzemeler

Kompozit malzeme üretiminde herhangi bir bağlayıcı ya da uyumlaştırıcı kullanılmamıştır.

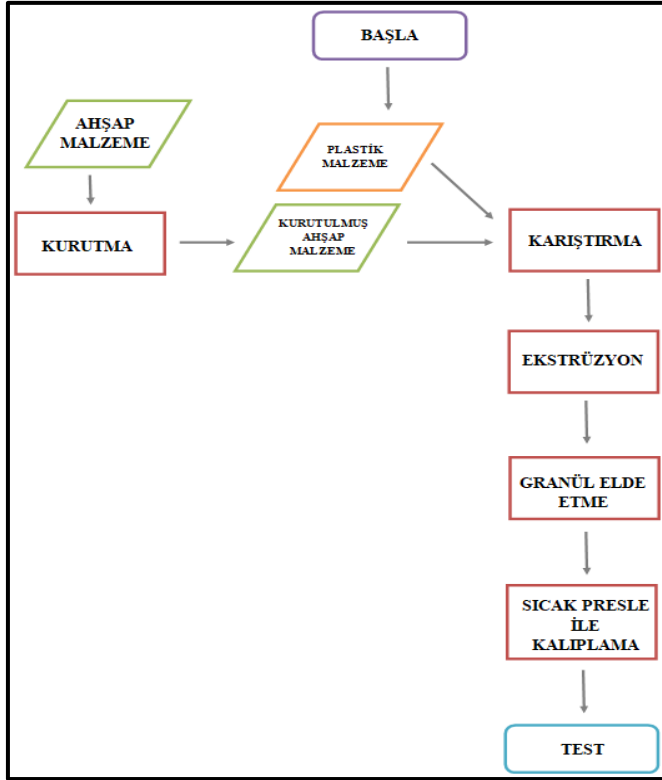
4.2.2. Ahşap plastik kompozit malzeme üretilmesi

Atık meyve kabuğu tozlarının her biri ağırlıkça 1 % oranında alınarak toplamda 6 % olacak şekilde polimer matris malzeme ile karıştırılmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Ahşap dolgu malzemesi ve plastik oranlarına ait üretim oranları

	ABS Kompozit	PLA Kompozit	PETG Kompozit
Antep fıstığı (%)	1	1	1
Yer fıstığı (%)	1	1	1
Kayısı çekirdeği (%)	1	1	1
Fındık (%)	1	1	1
Badem (%)	1	1	1
Ceviz (%)	1	1	1
ABS polimer malzeme (%)	94	0	0
PLA polimer malzeme (%)	0	94	0
PETG polimer malzeme (%)	0	0	94

Ahşap plastik kompozit malzeme üretimi Şekil 4.4’de gösterilen malzeme üretim akış şemasına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Malzeme üretim akış şeması

Elde edilen atık meyve kabuğu tozlarının 100°C sıcaklıkta 1 saat boyunca nemi alınmış ve akrilonitril bütadien stiren (ABS), polilaktik asit (PLA) ve polietilen tereftalat- glikol (PETG) malzemesi ayrı ayrı bir kap içerisinde 20-30 dakika kuru şartlarda karıştırılmıştır.

Bursa Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Karıştırılan malzemeler Şekil 4.5'de gösterilen Polmak plastik çift vidalı ekstrüder makinesi yardımıyla üretilmiştir.



Şekil 4.5. Polmak Plastik çift vidalı ekstrüder makinesi ile üretim

Ekstrüder rezistans sıcaklıkları ABS için 240 °C, PLA için 180 °C, PETG için 230 °C erime sıcaklıkları baz alınarak oluşturulmuştur. Atık meyve kabuğu tozları ve akrilonitril bütadien stiren (ABS) malzemesi ekstrüzyon besleme ünitesi olan huniye yerleştirilmiş ve 9 kademe rezistanslı ekstrüzyon ünitesinin ısıtma bölgesi rezistans sıcaklıklarının sırasıyla 245°C-250°C-255°C-255°C-250°C-245°C-240°C-235°C-230°C olacak şekilde; atık meyve kabuğu tozları ve polilaktik asit (PLA) malzemesi ekstrüzyon besleme ünitesi olan huniye yerleştirilmiş ve 9 kademe rezistanslı ekstrüzyon ünitesinin ısıtma bölgesi rezistans sıcaklıklarının sırasıyla 185°C-195°C-200°C-200°C-195°C-190°C-185°C-180°C-175°C olacak şekilde; atık meyve kabuğu tozları ve polietilen tereftalat- glikol (PETG) malzemesi ekstrüzyon besleme ünitesi olan huniye yerleştirilmiş ve 9 kademe rezistanslı ekstrüzyon ünitesinin ısıtma bölgesi rezistans sıcaklıklarının sırasıyla 220°C-225°C-235°C-235°C-230°C-225°C-225°C-220°C-215°C olacak şekilde ayarlanarak çift vidalı ekstrüder de malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

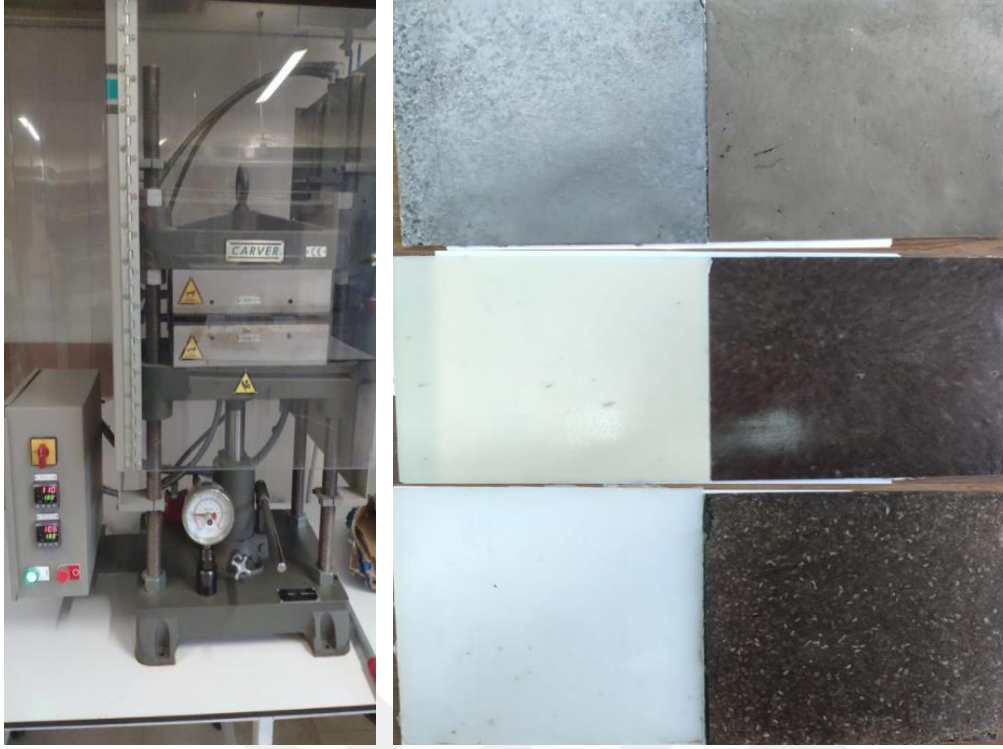
Ekstrüder vidalı mil devir sayısı 5 rpm-25 rpm alınmış, 3 mm çapında tel şeklinde takviyeli kompozit malzemeler elde edilmiştir (Şekil 4.6). Çekilen tel, kırıcı ünitesine iletilerek 3-5 mm uzunlukta granül elde edilmiş ve granüllerinin 100°C sıcaklıkta 1 saat boyunca nemi alınmıştır (Şekil 4.7). Nemi alınmış granüller Şekil 4.8’de gösterildiği gibi Carver sıcak pres makinesinde kalıplanmıştır.



Şekil 4.6. 3 mm çapında tel elde edilmesi işlemi



Şekil 4.7. Elde edilen kompozit granüller



Şekil 4.8. Carver sıcak pres cihazı ile üretim

4.2.3. Ahşap plastik kompozit malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Yoğunluk özelliklerinin belirlenmesi

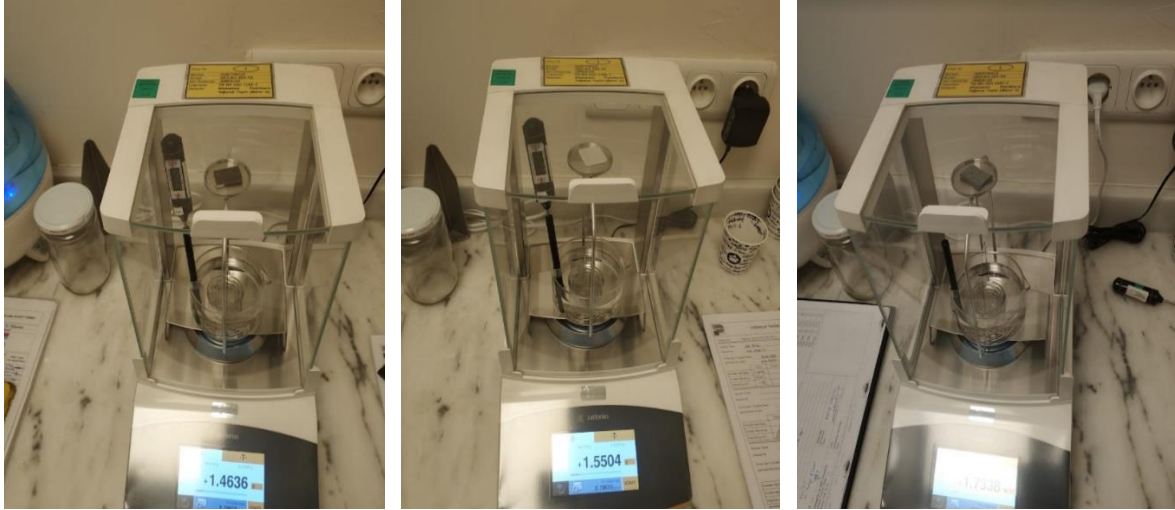
Yapılan çalışmada TS EN ISO 1183-1 standardının daldırma metodu (etil alkol) kullanılarak malzeme yoğunlukları belirlenmiştir. Numuneler 23 °C ±2 de ve 50 ±10 RH nemli bir ortamda 2 saat kondisyona bırakılmıştır. Numunelerin havadaki ve sıvı içindeki kütleleri alınarak Eşitlik 4.1 de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Şekil 4.9 ile yapılan deney görselleri gösterilmiştir.

$$P_s = \frac{m_{S,A} \cdot P_{IL}}{m_{S,A} - P_{S,IL}} \quad (4.1)$$

P_{IL}: Daldırma sıvısının yoğunluğu, g/cm³

m_{S,A}: Numunenin havadaki kütlesi, g

m_{S,IL}: Numunenin daldırma sıvısı içindeki kütlesi, g



Şekil 4.9. Yoğunluk özelliklerinin belirlenmesi

Erime akış hızı özelliklerinin belirlenmesi

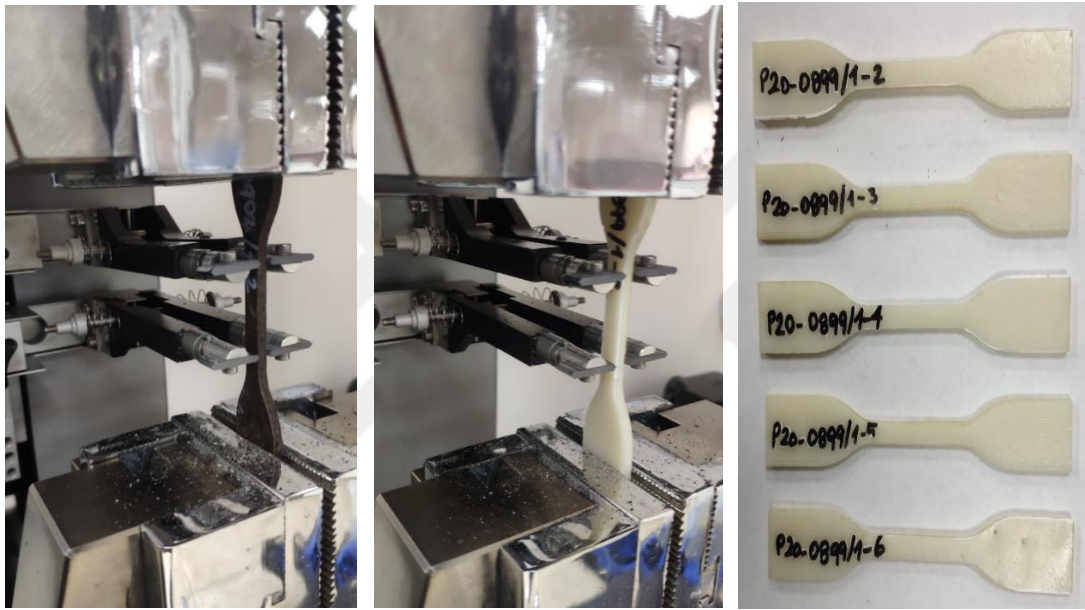
Erime akış hızı, belirli bir çap ve uzunluğa sahip bir kılcal damar içinden on dakika içinde geçen polimer kütlesini ifade eden, önceden belirlenmiş alternatif gravimetrik ağırlıklarla uygulanan basınç altında alternatif öngörülen sıcaklıklar için tanımlanan bir ölçümdür. Yapılan çalışmada TS EN ISO 1133-1 standardına göre malzeme akış hızı belirlenmiştir. Numuneler $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ de 2 saat kondisyona bırakılmıştır. Şekil 4.10 ile yapılan deney görselleri gösterilmiştir.



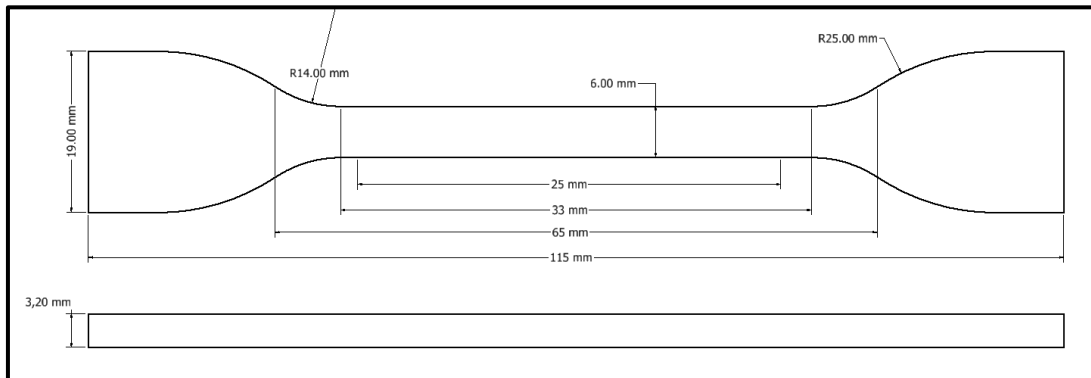
Şekil 4.10. Erime akış hızı özelliklerinin belirlenmesi

Çekme mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi

Malzemenin kopma anında gösterdiği uzama miktarının yüzde olarak ölçüldüğü bir test yöntemidir. Numuneler $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ de en az 16 saat kondisyona bırakılmıştır. Ekstansiyometre başlangıç pozisyonu 25 mm alınarak çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi ile malzemenin çekme mukavemeti, % uzama miktarı ve elastisite modülü bilgisi elde edilmiştir. Şekil 4.11 ile yapılan deney görselleri gösterilmiştir. ASTM 638-04 standardına göre numune boyutlandırılmıştır (Şekil 4.12).



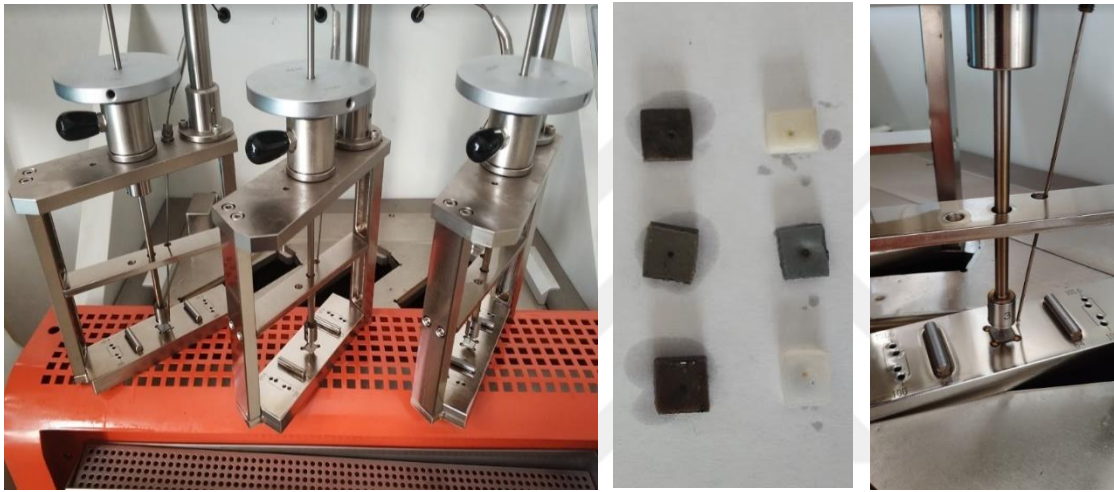
Şekil 4.11. Çekme mukavemeti özelliklerinin belirlenmesi.



Şekil 4.12. ASTM 638-04 standardına göre numune boyutları

Vicat yumuşama sıcaklığı özelliklerinin belirlenmesi

Plastik malzeme örnekleri, belirli bir yük altında (50 ± 1) N sabit bir kuvvet uygulanarak kesilerek hazırlanan deney parçaları, kontrollü bir sıcaklık artışına tabi tutulurlar. Deney parçasının yüzeyine 1 mm derinliğinde batma ucu yerleştirilir ve bu uç, malzemenin yüzeyine 1 mm gömüldüğü anın sıcaklığı ölçülerek belirlenir. Bu 1 mm penetrasyon sıcaklığı, °C cinsinden Vicat Yumuşama Sıcaklığı (VST) olarak adlandırılır. ASTM D 648 standardına göre test edilmiştir. Şekil 4.13 ile yapılan deney görselleri gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Vicat yumuşama sıcaklığı özelliklerinin belirlenmesi

Su emme özelliklerinin belirlenmesi

Su emme, belirtilen koşullar altında emilen su miktarını belirlemek için kullanılır. Su emilimini etkileyen faktörler şunları içerir: plastik türü, kullanılan katkı maddeleri, sıcaklık ve maruz kalma süresidir. Su emme testi için numuneler belirli bir süre ve sıcaklıkta bir fırında kurutulur ve daha sonra soğuması için bir desikatöre yerleştirilir. Soğuduktan hemen sonra numuneler tartılır. Malzeme daha sonra üzerinde anlaşmaya varılan koşullarda, genellikle 23°C'de 24 saat veya dengeye gelene kadar suda çıkar. Numuneler çıkarılır, tüy bırakmayan bir bezle kurulanır ve tartılır. ASTM D570 ye göre 12,7x38,1±0,2mm boyutlarındaki numuneler test edilmiştir. Ağırlık yüzdesindeki artış olarak ifade edilen su emilimi Eşitlik 4.2 ile gösterilmiştir.

$$\text{Yüzde su emme} = \left(\frac{\text{Islak ağırlık} - \text{kuru ağırlık}}{\text{kuru ağırlık}} \right) * 100 \quad (4.2)$$

Şekil 4.14 ile yapılan deney görselleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Su emme özelliklerinin belirlenmesi

Morfolojik özelliklerin belirlenmesi (SEM görüntülerinin incelenmesi)

Taramalı elektron mikroskobu ya da SEM, odaklanmış bir elektron demeti kullanarak numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskop türüdür. Elektronlar, numunenin atomları ile etkileşime girer ve numune yüzeyindeki topografi ile kompozisyon hakkında bilgi içeren çeşitli sinyaller üretir. EDS (Enerji Dağılım Spektroskopisi) analizi, bir numunenin elementel bileşimini belirlemek için kullanılır ve yalnızca SEM analizi ile elde edilen bilgilerden daha nicel bir sonuç sunar. SEM ve EDS analizlerinin bir araya getirilmesi, kimyasal bileşim ve temel araştırma konularında kapsamlı bir metalürjik değerlendirme sunar. SEM ve EDS analizleri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15 ile yapılan deney görselleri gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Morfolojik özelliklerin belirlenmesi (SEM görüntülerinin incelenmesi)

Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilebilirliğinin incelenmesi

Üretilen granül kompozit malzemelerin Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü'nde bulunan filament çekme makinesi ile filament üretimi gerçekleştirilmiştir. Ergiyik biriktirme yöntemi ile kullanılmak üzere 1.75 mm çapa sahip filamentler elde edilmiştir (Şekil 4.16).



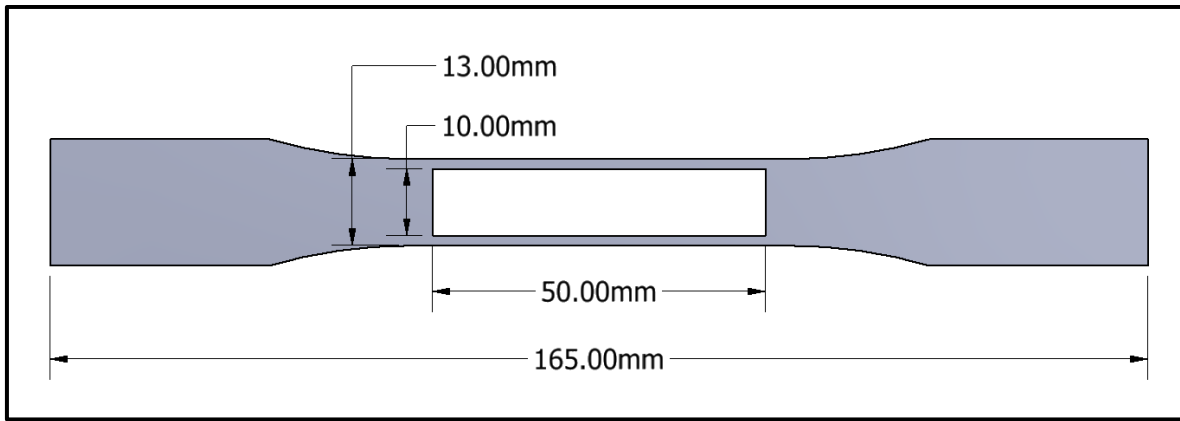
Şekil 4.16. Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilebilirliğinin incelenmesi

4.3. Auxetic Yapı Tasarımı

Çalışmanın 3. bölümünde auxetic yapılardan kısaca bahsedilmiştir. Auxetic yapılar negatif Poisson oranına sahiptir. Bu özellik yapıda çeşitli özelliklerin iyileşmesini sağlamaktadır. Şekil 3.2'de gösterilen auxetic yapı sınıflandırılmasında insan yapımı auxetic yapı atında bulunan iki boyutlu auxetic yapılar bu çalışma kapsamında ayrıntılı değerlendirilmiştir. İki boyutlu auxetic yapılara ek yeni bir auxetic yapı tasarımının yapılması için çeşitli örüntü modelleri oluşturulmuş ve bu modeller içinden en iyi sonucu veren model var olan iki boyutlu auxetic modellerle kıyaslanmıştır. Ayrıca tasarlanan yeni auxetic yapı üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiş ve test edilmiştir.

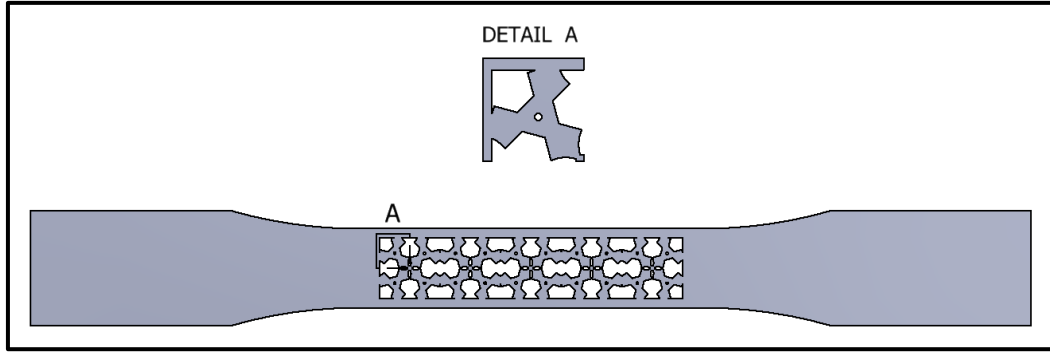
4.3.1. Yeni auxetic yapı tasarımı

Çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmalarında iki boyutlu auxetic yapılar için hibrit yapı modellerinin kurulduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda 8 adet yeni auxetic yapı modeli Inventor programı kullanılarak tasarlanmıştır [265]. Yapılan çalışmanın tekrarlanabilir olması için Şekil 4.17 ile gösterildiği gibi standart çekme deney numunesi içerisinde 10x50mm'lik bir alan, tasarım bölgesi olarak sınırlandırılmıştır. Çekme deney numunesi ASTM D 638-1 olarak belirlenmiştir.

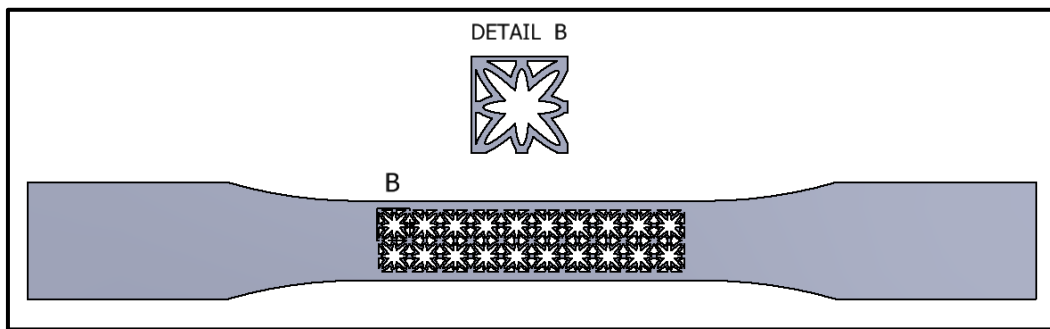


Şekil 4.17. ASTM D 638-1 standart çekme numunesi

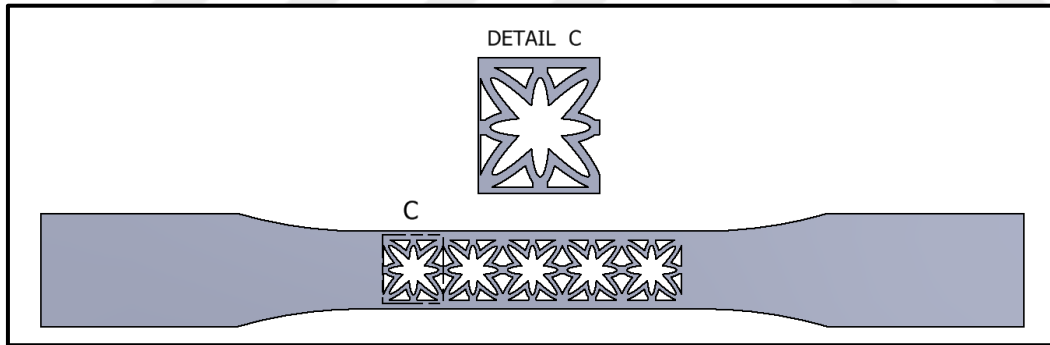
5x5mm'lik hücrelere örüntüler oluşturulmuştur. Yapılan tasarımlar A'dan H'ye kadar alfabetik bir şekilde isimlendirilmiştir. C tasarımı 10x10 mm'lik birim hücreye tasarlanarak B tasarımında elde edilen sonucun birim hücre boyutuna etkisini görmek için tasarlanmıştır. Tasarım görselleri Şekil 4.18-4.25 ile gösterilmiştir.



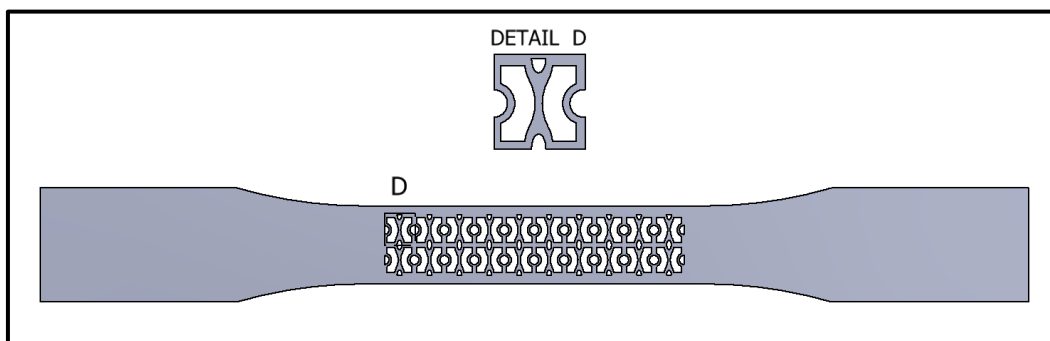
Şekil 4.18. A tasarımı



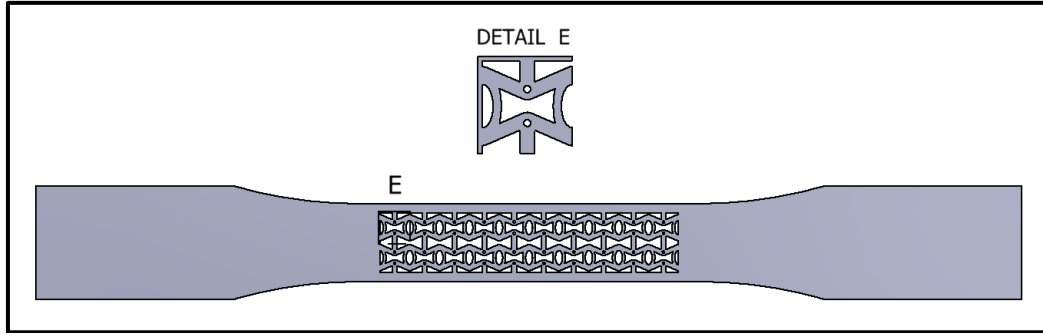
Şekil 4.19. B tasarımı



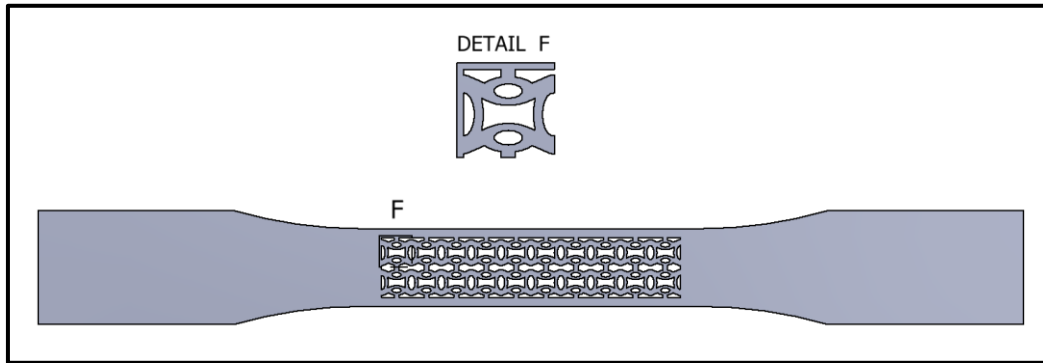
Şekil 4.20. C tasarımı



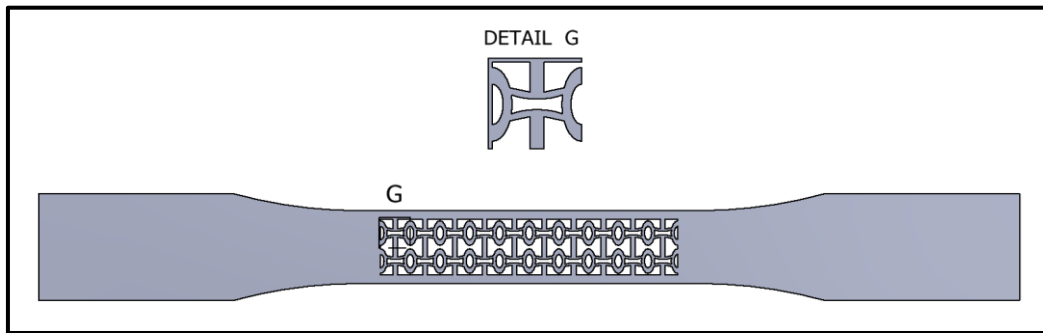
Şekil 4.21. D tasarımı



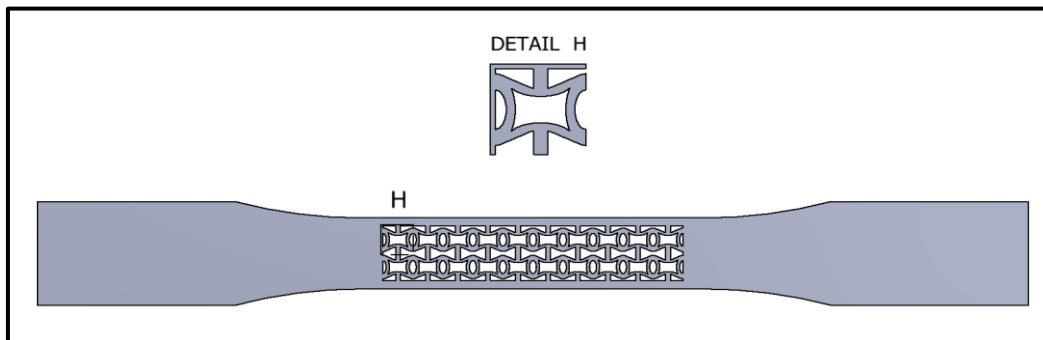
Şekil 4.22. E tasarımı



Şekil 4.23. F tasarımı

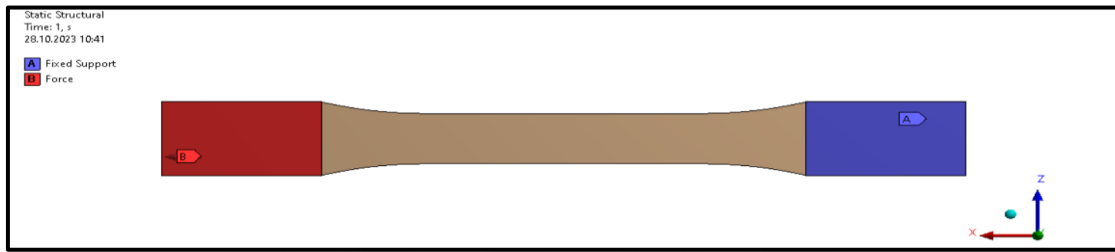


Şekil 4.24. G tasarımı



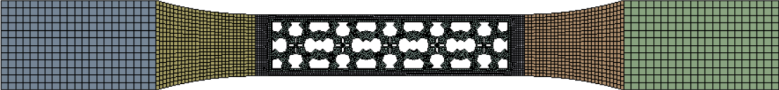
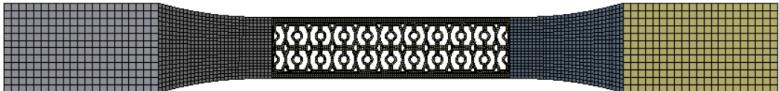
Şekil 4.25. H tasarımı

Yapıdaki Poisson oranı etkisini değerlendirmek amacıyla ANSYS programı kullanılarak yapıların sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir [266]. Aynı malzeme tanımları ve sınır koşulları verilen yapıların, enine ve boyuna şekil değiştirme özellikleri incelenmiştir. Yapılara tanımlanan sınır koşul özellikleri standart ASTM D 638-1 deney numunesi üzerinden Şekil 4.26 ile gösterilmiştir. Çekme deney numunesi çenelerini simüle etmek amacıyla bir tarafından yapı sabitlenmiş (A-fixed support) diğer tarafından kuvvet (B-Force) uygulanmıştır. Aynı sınır koşul işlemleri bütün yapılarla uygulanmış ve yapılarda bulunan element ve nod sayıları Çizelge 4.6 ile sunulmuştur.



Şekil 4.26. Sonlu elemanlar modeli sınır koşulları

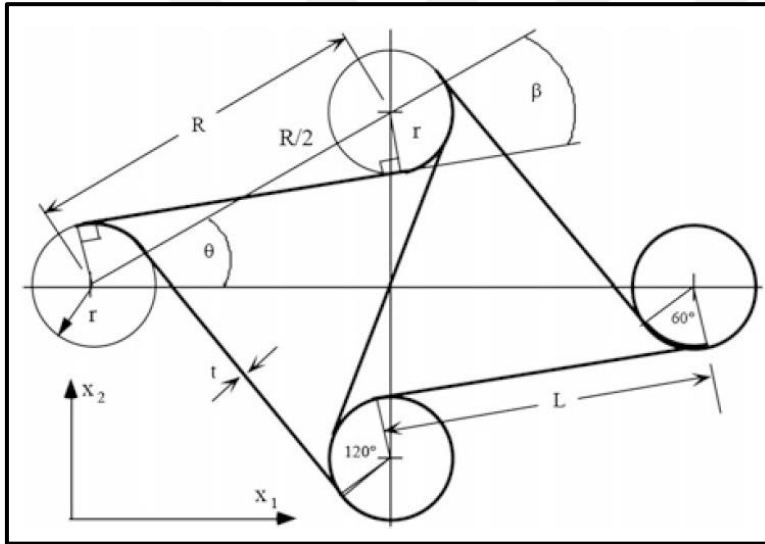
Çizelge 4.6. Yapı mesh ve nod sayıları

Yapı	Element Sayısı	Nod sayısı
	A 38128	201941
	B 181918	330189
	C 171385	292024
	D 37930	168434
	E 173642	715838
	F 167272	708016
	G 76340	272577
	H 140273	622783

4.3.2. İki boyutlu auxetic yapılar ve yeni auxetic yapı tasarımının ahşap plastik kompozit malzeme kullanılarak modellenmesi

Bir önceki başlık altında anlatılan 8 auxetic yapı tasarımından en iyi sonucu veren yapı tasarımı “H tasarımı” olarak belirlenmiştir. H tasarımı iki boyutlu olması sebebiyle Şekil 3.2’de gösterilen auxetic yapı sınıflandırılmasında iki boyutlu yapay auxetic yapılarla mukayese edilmiştir.

İki boyutlu yapay auxetic yapılardan chiral yapı için Prall ve Lakes teorik ve deneysel çalışmalarda bulunmuştur [267]. Şekil 4.27 ile gösterilen iki boyutlu modelde L kiriş uzunluğunu, t kalınlığı, r yarıçapı ve E_s temel malzeme elastisite modülünü göstermektedir.



Şekil 4.27. Chiral yapı matematiksel model parametreleri [267].

Prall ve Lakes temel malzeme elastisite modülünü kullanarak eşitlik 4.3 ile gösterildiği gibi elastisite modülünü tanımlamıştır.

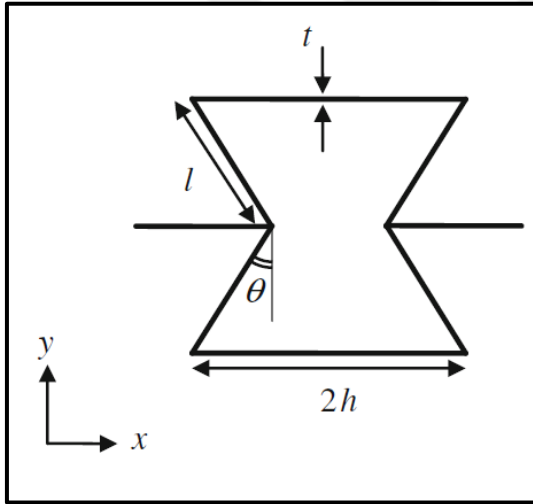
$$E = \sqrt{3}E_s \left(\frac{L}{r}\right)^2 \left(\frac{t}{L}\right)^3 \quad (4.3)$$

Daha sonra deforme olabilen durum için analitik ifadelerin elde edilmesindeki karmaşıklık nedeniyle Spadoni and Ruzzene 4.4 ve 4.5 eşitliklerini kullanarak chiral yapı için Poisson oranı ve elastisite modülünün denklemlerini elde etmiştir [268].

$$E = \frac{2\sqrt{3}\left[1+\left(\frac{t}{L}\right)^2\right]\left(\frac{t}{L}\right)^3}{\left(\frac{t}{L}\right)^4 \cos^2 \beta + \sin^2 \beta + 3\left(\frac{t}{L}\right)^2} E_s \quad (4.4)$$

$$\nu = \frac{4\left(\frac{t}{L}\right)^2}{\left(\frac{t}{L}\right)^4 \cos^2 \beta + \sin^2 \beta + 3\left(\frac{t}{L}\right)^2} - 1 \quad (4.5)$$

Masters ve Evans yaptıkları çalışmada Gibson ve Ashby'nin bal peteği yapısını kullanarak iki boyutlu reentrant yapı için Şekil 4.28 'deki modeli sunmuştur [269-270]. Bu modelde, θ konkav ya da konveks görünüm açısını (Eğer negatifse bal peteği pozitifse reentrant yapı özelliği gösterdiğini belirtmektedir.), h yatay kiriş yarı uzunluğunu, l eğimli kiriş uzunluğunu, t kiriş kalınlığını, b kiriş derinliğini ve E_s temel malzeme elastisite modülünü belirtmektedir.



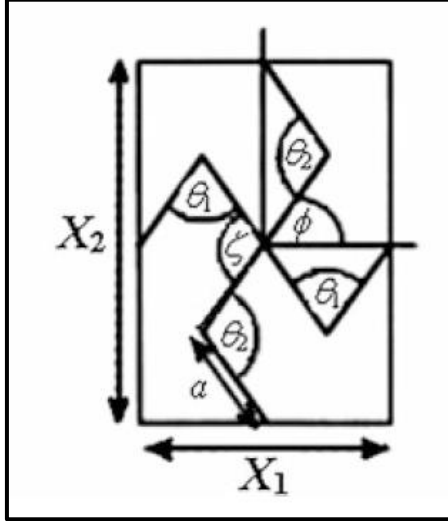
Şekil 4.28. Reentrant yapı matematiksel model parametreleri [269].

Yükleme yönündeki Poisson oranı ve elastisite modülünü Smith ve arkadaşları eşitlik 4.6 ve 4.7'de gösterildiği gibi belirtmiştir [271].

$$\nu = \frac{\sin \theta \left(\frac{h}{l} + \sin \theta\right)}{\cos^2 \theta} \quad (4.6)$$

$$E = E_s b \left(\frac{t}{l}\right)^3 \frac{\frac{h}{l} + \sin \theta}{b \cos^3 \theta} \quad (4.7)$$

İdealleştirilmiş kristal mikro yapının bazı kirişlerinin eksiltilmesiyle elde edilen missing rib modeli Smith ve arkadaşları tarafından ele alınmış ve tasarlanan iki boyutlu model Şekil 4.29 ile sunulmuştur. Burada, a bir kiriş uzunluğunu, θ , ζ ve Φ iç açıları, k yay sabitini ifade etmektedir.



Şekil 4. 29. Missing rib yapı matematiksel model parametreleri [271].

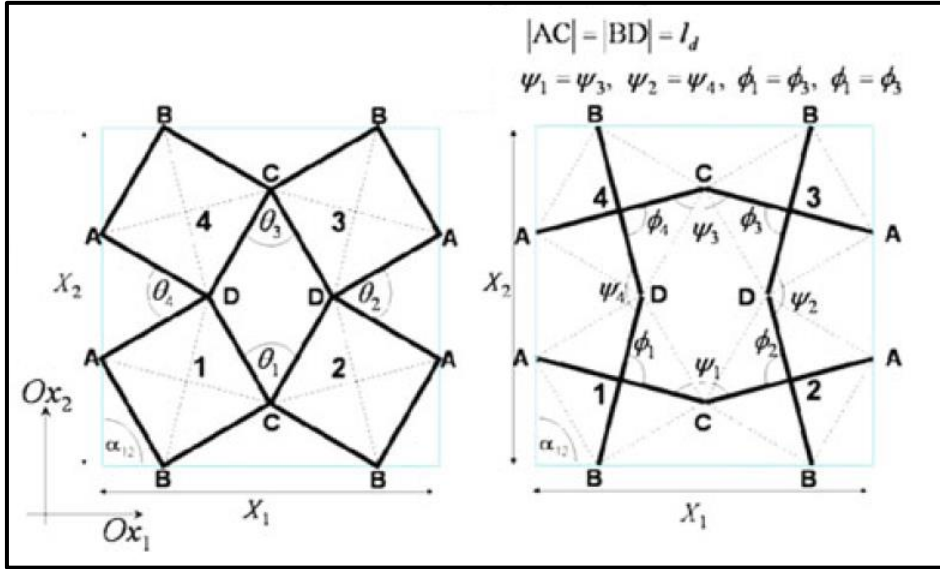
Poisson oranı ve elastisite modülünü Smith ve arkadaşları eşitlik 4.8, 4.9 ve 4.10’da gösterildiğı gibi belirtmiştir [272].

$$\nu_{12} = \frac{1}{\nu_{21}} = -\tan \Phi \tan(\zeta - \Phi) \quad (4.8)$$

$$E_1 = \frac{k_\theta}{4a^2} \frac{\cot(\zeta - \Phi)}{\sin(\Phi) \sin(\zeta - \Phi)} \quad (4.9)$$

$$E_2 = \frac{k_\theta}{4a^2} \frac{\cot(\zeta - \Phi)}{\sin(\Phi) \sin(\zeta - \Phi)} \quad (4.10)$$

Grima ve Evans, bağılı karelerin dönmesinden kaynaklanan auxetic davranış üzerine Şekil 4.30’da bulunan modeli kurmuştur [273]. Bu modelde, ld kiriş uzunluğunu, z karelerin kalınlığını, Φ ve Ψ açıları, k_Φ ve k_Ψ ise dönme rijitlik sabitini belirtmektedir.



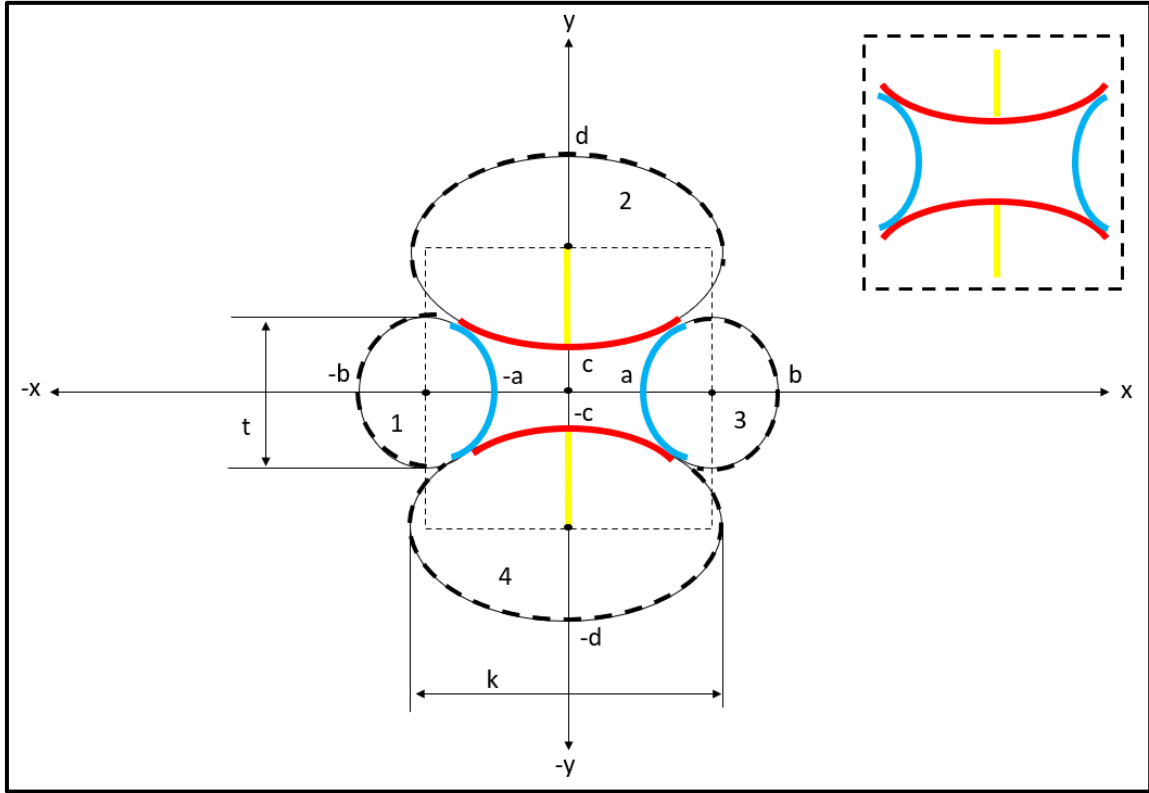
Şekil 4.30. Rotating unit yapı matematiksel model parametreleri [273].

Modelde iki boyutlu gerilim ve gerinim ilişkisini kullanarak Poisson oranı ve elastisite modülünü elde etmiştir. Eşitlik 4.11 ile Poisson oranı, eşitlik 4.12 ile elastisite modülünü belirlemiştir [273].

$$\nu_{12} = \nu_{21} = -\cot\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \tan\left(\frac{\psi_2}{2}\right) \left[1 + 4\left(\frac{k_\psi}{k_\phi}\right)\right]^{-1} \quad (4.11)$$

$$E_1 = E_2 = \frac{8k_\psi(k_\phi + 2k_\psi)}{l_d^2 z(k_\phi + 4k_\psi)} \frac{\sin\left(\frac{\psi_2}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi_1}{2}\right) \cos^2\left(\frac{\psi_2}{2}\right)} \quad (4.12)$$

H yapı tasarımının bir birim hücrelerini inceleyecek olursak; bir koordinat sisteminde doğruların ve elipslerin kesişmesinden oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.31 ile bir eksen takımı üzerinde bulunan elipsler ve doğru kesişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Yeni auxetic yapı (H tasarımı) matematiksel model parametreleri

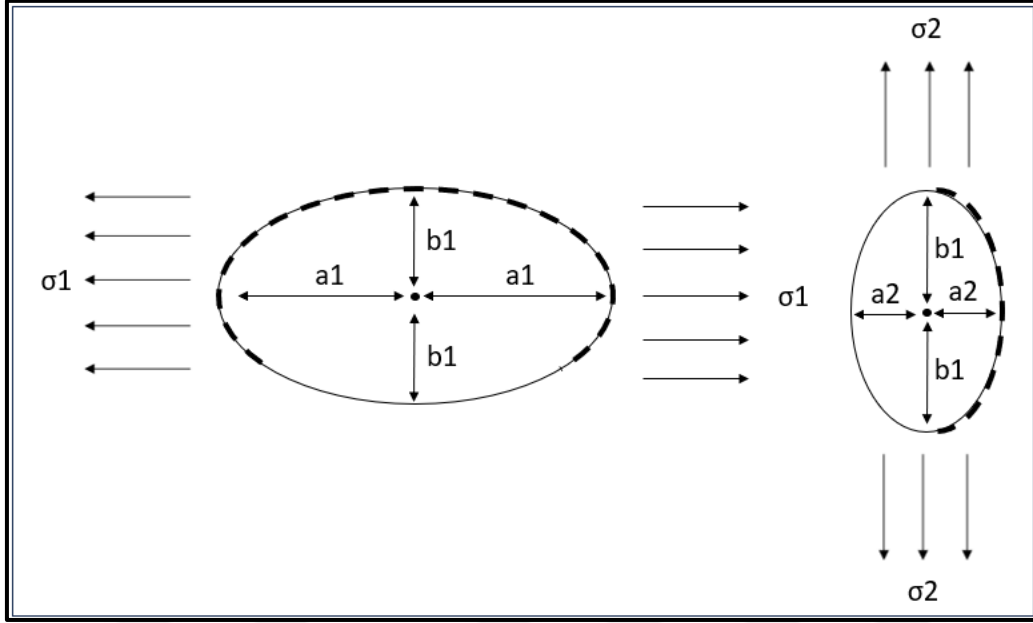
Bir düzlemde belirli iki noktanın arasındaki uzaklıkların toplamı sabit olduğunda, bu noktaların geometrik konumu bir elipsin matematiksel denklemi ile ifade edilir. Eşitlik 4.13-4.16 'de gösterilen denklemler kullanılarak modelin çizimi gerçekleştirilebilmektedir.

$$\frac{\left[x - \left(\frac{-b+a}{2} - a\right)\right]^2}{\left(\frac{b-a}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{t}{2}\right)^2} = 1 \quad (4.13)$$

$$\frac{x^2}{\left(\frac{k}{2}\right)^2} + \frac{\left[y - \left(\frac{d+c}{2} + c\right)\right]^2}{\left(\frac{d-c}{2}\right)^2} = 1 \quad (4.14)$$

$$\frac{\left[x - \left(\frac{b-a}{2} + a\right)\right]^2}{\left(\frac{b-a}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{t}{2}\right)^2} = 1 \quad (4.15)$$

$$\frac{x^2}{\left(\frac{k}{2}\right)^2} + \frac{\left[y - \left(\frac{c-d}{2} - c\right)\right]^2}{\left(\frac{d-c}{2}\right)^2} = 1 \quad (4.16)$$



Şekil 4.32. Yeni auxetic yapı (H tasarımı) matematiksel model parametreleri

Şekil 4.32 ile iki boyutlu yapı parametreleri gösterilmiştir. Kavisli yapı kiriş teorisi kullanılarak H yapı tasarımının Poisson oranı ve elastisite modülü elde edilmiştir [274,275]. Eşitlik 4.17 ile Poisson oranı, eşitlik 4.18 ve eşitlik 4.19 ile elastisite modülü gösterilmiştir.

$$\nu_{12} = \frac{1}{\nu_{21}} = -\frac{\sigma_2 a_2^3}{\sigma_1 a_1^3} \quad (4.17)$$

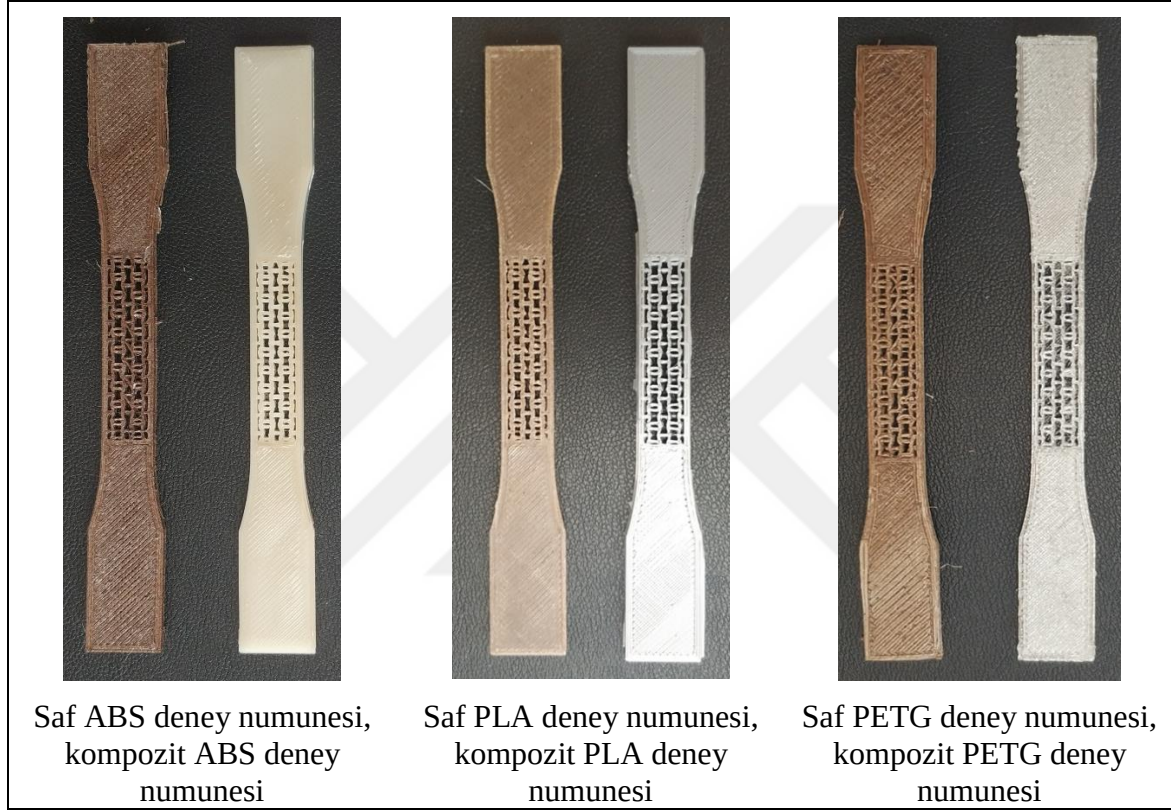
$$E_1 = \frac{3E_S I b_1}{K_1 t a_1^4} \quad ; \quad E_1 = \frac{3E_S I b_1}{0,175 t a_1^4} \quad (4.18)$$

$$E_2 = \frac{3E_S I b_2}{K_1 t a_2^4} \quad ; \quad E_2 = \frac{3E_S I b_2}{0,175 t a_2^4} \quad (4.19)$$

Burada, E_S malzeme elastikiyet modülünü, I atalet momentini, t kalınlığı ifade etmektedir. Burke'nin eş eksenli gerilme durumunda elips bir yapı için moment hesabı çalışmasında elde ettiği çizelgeler kullanarak a_1 ve a_2 majör eksen yarı çap uzunluğu, b_1 ve b_2 minör eksen yarı çap uzunluğu olmak üzere $a/b=2$ oranına bağlı K_1 kat sayısı 0,175 olarak kullanılmıştır [276].

4.3.3. Yeni auxetic yapı tasarımının mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Tasarımı ve modellemesi yapılan yeni auxetic yapı tasarımı, üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak ASTM D 638-1 deney numunesi standardında üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemeler ve saf halleri olmak üzere 6 çeşit deney numunesi üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen deney numunelerine ait görseller Şekil 4.33 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen ASTM D 638-1 deney numuneleri

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Ahşap Plastik Kompozit Malzeme Özellikleri

Çalışma kapsamında, elde edilen ahşap plastik kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özellikleri tespit edilmiştir. Toplam 6 çeşit malzeme bulunmaktadır. Bu malzemeler saf ve kompozit ön terimleri ile; saf ABS, kompozit ABS, saf PLA, kompozit PLA, saf PETG ve kompozit PETG olarak isimlendirilmiştir.

5.1.1. Yoğunluk özellikleri

Yoğunluk özellikleri, bir malzemenin yoğunluğunu ve bu yoğunluğun malzemenin özelliklerine nasıl etki ettiğini anlamamıza yardımcı olan önemli bir parametredir. Yoğunluğun belirlenmesi ve yorumlanması, malzeme bilimi ve mühendisliğinde temel bir adımdır, çünkü malzemenin performansını anlamak ve optimize etmek için kritik bir bilgi sağlar. TS EN ISO 1183-1 standardında yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan yoğunluk özellikleri tablosu Çizelge 5.1 ile verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yoğunluk özellikleri tablosu

MALZEME ADI	STANDART NO	BİRİM	SONUÇ
SAF ABS	TS EN ISO 1183-1	g/cm ³	1,037
KOMPOZİT ABS	TS EN ISO 1183-1	g/cm ³	0,954
SAF PLA	TS EN ISO 1183-1	g/cm ³	1,255
KOMPOZİT PLA	TS EN ISO 1183-1	g/cm ³	1,249
SAF PETG	TS EN ISO 1183-1	g/cm ³	1,182
KOMPOZİT PETG	TS EN ISO 1183-1	g/cm ³	1,051

Çizelge 5.1'i incelediğimizde aynı ağırlık oranında ahşap malzeme katılması, ABS, PLA ve PETG malzemelerde yoğunluğun azalmasına sebep olmuştur. Çizelge 2.2. Kompozit malzeme çalışmalarında yapılan test sonuçları tablosu ve literatürde yapılan diğer çalışmaları incelediğimizde kompozit malzemeye ahşap eklenmesi genellikle yoğunluk artışına sebep olmaktadır [277-280]. Yoğunlukta azalma meydana gelmesi durumu eklenen ahşap miktarının ağırlıkça % daha az miktarda olmasından kaynaklanmaktadır [281-284].

5.1.2. Erime akış hızı özellikleri

Erime akış hızı, bir malzemenin sıcaklık ve basınç altında eriyip akabilme yeteneğini ifade eden bir özelliktir. Bu özellik, özellikle polimerler ve plastikler gibi malzemelerin işlenmesi ve üretimi sırasında önemlidir. TS EN ISO 1133-1 standardında yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan erime akış hızı özellikleri tablosu Çizelge 5.2 ile verilmiştir.

Çizelge 5.2. Erime akış hızı özellikleri tablosu

MALZEME ADI	STANDART NO	BİRİM	SONUÇ
SAF ABS	TS EN ISO 1133-1	g/10dk	0,30
KOMPOZİT ABS	TS EN ISO 1133-1	g/10dk	0,35
SAF PLA	TS EN ISO 1133-1	g/10dk	Tayin edilemedi.
KOMPOZİT PLA	TS EN ISO 1133-1	g/10dk	Tayin edilemedi.
SAF PETG	TS EN ISO 1133-1	g/10dk	1,38
KOMPOZİT PETG	TS EN ISO 1133-1	g/10dk	Tayin edilemedi.

Çizelge 5.2'yi incelediğimizde saf ABS, kompozit ABS ve saf PETG malzemelerinde erime akış hızı özellikleri belirlenirken saf PLA, kompozit PLA ve kompozit PETG malzemelerinin özellikleri tayin edilememiştir. Bu malzemeler akış düzensizlikleri sebebiyle tayin edilememiştir. ABS malzemesini incelediğimizde kompozit malzemenin erime akış hızının saf ABS malzemesinden daha hızlı olduğu görülmektedir. Erime akış hızının yüksek olması malzemenin daha iyi akma özelliğine sahip olduğunu gösterir. Bu, malzemenin işlenmesi sırasında daha kolay akacağı ve kalıpların daha hızlı doldurulabileceği anlamına gelir. Ancak, yüksek MFR değeri, malzemenin mekanik dayanıklılığını azaltabilir.

5.1.3. Çekme mukavemeti özellikleri

Çekme testi, bir malzemenin mekanik dayanıklılığını belirlemek ve gerilme-uzama ilişkisini incelemek için kullanılan yaygın bir deneydir. Çekme testi sonuçları, malzeme özelliklerinin anlaşılması ve malzemelerin tasarım, üretim ve kullanım süreçlerini optimize etmeye yardımcı olur. ASTM 638-02 standardında yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan çekme mukavemeti özellikleri tablosu Çizelge 5.3 ile verilmiştir. Yapılan deney sonucunda elde edilen malzeme birim uzama deney sonuçları Çizelge 5.4 ve elastisite modülü değerleri Çizelge 5.5 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Çekme mukavemet özellikleri tablosu

Malzeme Adı	Standart No	Birim	Sonuç
Saf ABS	ASTM 638-02	MPa	40,12
Kompozit ABS	ASTM 638-02	MPa	33,99
Saf PLA	ASTM 638-02	MPa	25,71
Kompozit PLA	ASTM 638-02	MPa	24,15
Saf PETG	ASTM 638-02	MPa	53,73
Kompozit PETG	ASTM 638-02	MPa	45,91

Çizelge 5.3'ü incelediğimizde aynı ağırlık oranında ahşap malzeme katılması, ABS, PLA ve PETG malzemelerde çekme mukavemet özelliklerinin azalmasına sebep olmuştur. Çizelge 2.2. Kompozit malzeme çalışmalarında yapılan test sonuçları tablosu ve literatürde yapılan diğer çalışmaları incelediğimizde kompozit malzemeye ahşap eklenmesi genellikle çekme mukavemet özelliğinin azalmasına sebep olmaktadır [285-287]. Çekme mukavemetinde azalma meydana gelmesi, eklenen ahşap miktarına ve iki farklı malzeme arasındaki bağların kuvvetli olup olmamasına bağlıdır. Bağ uyumunu artırmak ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla çalışmalarda genellikle uyumlaştırıcı ajanlar kullanılır. Uyumlaştırıcılar, ahşap ile plastik arasındaki bağı güçlendirebilir, homojen bir karışım sağlayabilir ve nihai malzemenin performansını artırabilir. Ancak, uyumlaştırıcılar kullanılmadan da ahşap plastik kompozit malzemeler üretilebilir.

Çizelge 5.4. Birim uzama özellikleri tablosu

Malzeme Adı	Standart No	Birim	Sonuç
Saf ABS	ASTM 638-02	%	6,34
Kompozit ABS	ASTM 638-02	%	7,11
Saf PLA	ASTM 638-02	%	5,50
Kompozit PLA	ASTM 638-02	%	6,77
Saf PETG	ASTM 638-02	%	6,33
Kompozit PETG	ASTM 638-02	%	7,33

Malzemenin birim uzaması, malzemenin esnekliğini ve dayanıklılığını ifade eder. Daha yüksek bir birim uzaması, daha esnek bir malzemeyi gösterir. Çizelge 5.4 incelendiğinde ahşap malzeme eklenmesi ile malzemedeki uzama miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Kompozit malzemelere eklenen uyumlaştırıcı malzemeler, genellikle malzeme sertliğini artırarak mukavemet özelliklerini iyileştirirken, malzemeyi aynı zamanda daha kırılgan hale getirmektedir. Yapılan çalışmada, uyumlaştırıcı malzeme kullanılmaması sebebiyle malzeme birim uzama özelliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.5. Elastisite modülü değerleri tablosu

Malzeme Adı	Standart No	Birim	Sonuç
Saf ABS	ASTM 638-02	GPa	6,38
Kompozit ABS	ASTM 638-02	GPa	4,98
Saf PLA	ASTM 638-02	GPa	4,68
Kompozit PLA	ASTM 638-02	GPa	3,68
Saf PETG	ASTM 638-02	GPa	8,51
Kompozit PETG	ASTM 638-02	GPa	6,37

Elastisite modülü (veya Young's modülü), bir malzemenin elastik bölgesindeki davranışını tanımlayan bir malzeme özelliğidir. Çizelge 5.5 incelendiğinde elastisite modülünün ahşap malzeme eklenmesi ile azaldığı görülmektedir. Bir malzemenin düşük elastikiyet modülü, o malzemenin elastik bölgesinde daha fazla deformasyona izin verdiğini ve daha esnek olduğunu gösterir.

5.1.4. Vicat yumuşama sıcaklığı özellikleri

Vicat yumuşama sıcaklığı, plastik malzemelerin termal davranışını değerlendirmek için kullanılan bir malzeme özelliğidir. Bu sıcaklık, malzemenin belirli bir yük altında yumuşayarak şekil değiştirmeye başladığı sıcaklığı temsil eder. Vicat yumuşama sıcaklığı, termoplastik malzemeleri işleme, kullanma ve dayanıklılık açısından önemli bir parametredir. ASTM D 648 standardında yapılan deneyler neticesinde ortaya çıkan vicat yumuşama sıcaklığı özellikleri tablosu Çizelge 5.6 ile verilmiştir.

Çizelge 5.6. Vicat yumuşama sıcaklığı tablosu

Malzeme Adı	Standart No	Birim	Sonuç
Saf ABS	ASTM D 648	° C	116
Kompozit ABS	ASTM D 648	° C	122
Saf PLA	ASTM D 648	° C	121,4
Kompozit PLA	ASTM D 648	° C	130
Saf PETG	ASTM D 648	° C	142
Kompozit PETG	ASTM D 648	° C	177

Çizelge 5.6'yı incelediğimizde aynı ağırlık oranında ahşap malzeme katılması, ABS, PLA ve PETG malzemelerde Vicat yumuşama sıcaklığı özelliğinin artmasına sebep olmuştur. Malzemenin yüksek bir Vicat yumuşama sıcaklığı, malzemenin yüksek sıcaklıklarda elastik özelliğini koruyacağını ve daha yüksek sıcaklık toleransına sahip olacağını gösterir. Bu durum, malzemenin sıcak çevresel koşullarda veya yüksek sıcaklık uygulamalarında

kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Çizelge 2.2. Kompozit malzeme çalışmalarında yapılan test sonuçları tablosunu incelediğimizde daha önce yapılan tez çalışmalarında bu özelliğe neredeyse hiç bakılmamıştır. Literatürde yapılan diğer çalışmaları incelediğimizde ise kompozit malzemeye ahşap eklenmesinin genellikle Vicat yumuşama sıcaklığı özelliğinin artmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir [288-290].

5.1.5. Su emme özellikleri

Su emme özelliği, bir malzemenin suyu çekme yeteneğini ifade eder. ASTM D570 standardında yapılan deneyler sonucunda elde edilen su emme özellikleri tablosu Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Su emme özellikleri tablosu

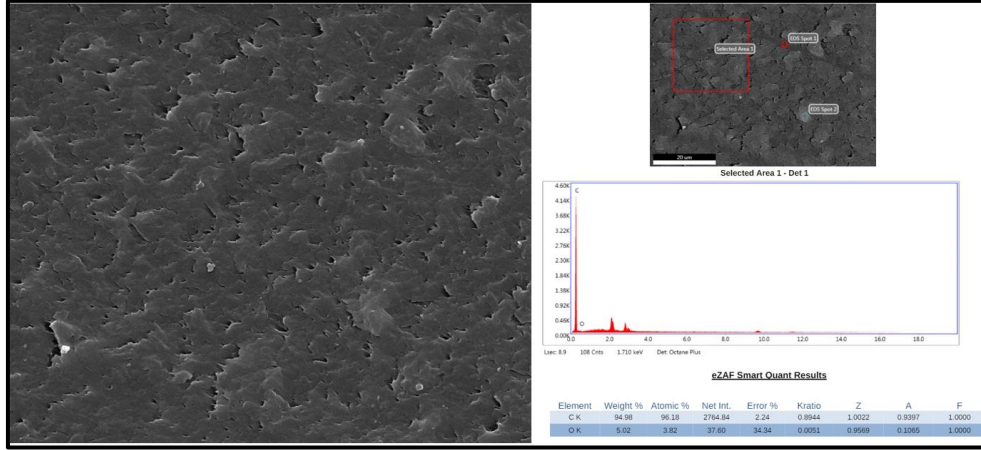
Malzeme Adı	Kuru Malzeme Ağırlığı (G)	Yaş Malzeme Ağırlığı (G)							% Ort.
		1.gün	2.gün	3.gün	4.gün	5.gün	6.gün	7.gün	
Saf ABS	1,78	1,78	1,78	1,79	1,79	1,80	1,80	1,80	1,18
Saf ABS	1,64	1,64	1,65	1,65	1,65	1,66	1,66	1,66	
Saf ABS	1,67	1,68	1,68	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	
Saf PLA	1,88	1,88	1,88	1,89	1,89	1,90	1,90	1,90	0,71
Saf PLA	1,82	1,81	1,81	1,82	1,82	1,83	1,83	1,83	
Saf PLA	1,90	1,89	1,89	1,90	1,90	1,91	1,91	1,91	
Saf PETG	1,80	1,80	1,80	1,81	1,81	1,83	1,83	1,83	1,30
Saf PETG	1,79	1,79	1,79	1,80	1,80	1,81	1,81	1,81	
Saf PETG	1,81	1,81	1,81	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	
kompozit ABS	1,60	1,60	1,60	1,61	1,63	1,64	1,64	1,64	1,64
Kompozit ABS	1,62	1,59	1,59	1,60	1,61	1,62	1,63	1,63	
Kompozit ABS	1,67	1,67	1,67	1,68	1,69	1,70	1,70	1,70	
Kompozit PLA	1,79	1,78	1,78	1,78	1,80	1,81	1,81	1,81	1,11
Kompozit PLA	1,79	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79	1,80	1,80	
Kompozit PLA	1,81	1,81	1,81	1,81	1,83	1,85	1,84	1,84	
Kompozit PETG	1,56	1,55	1,55	1,56	1,58	1,58	1,58	1,58	1,32
Kompozit PETG	1,46	1,45	1,45	1,46	1,48	1,48	1,49	1,49	
Kompozit PETG	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,60	1,60	

Çizelge 5.7'yi incelendiğinde, su emme özelliğinin ahşap malzeme eklenmesi ile arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, su emme özelliği ile ahşap malzeme arasında bir pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir. Ahşap malzeme içeriğinin artması, malzemenin suyu daha fazla emme kapasitesine sahip olduğunu işaret etmektedir. Ancak, su emme özelliğindeki artış yalnızca ahşap malzeme eklenmesinden kaynaklanmamış olabilir. Ayrıca, kompozit malzeme oluşturulurken bu malzemede oluşan hava boşlukları da su emme özelliğini artırabilir. Hava boşlukları, suyun malzemenin içine nüfuz etmesine ve emilmesine olanak tanır. Bu nedenle, su emme özelliğindeki artışı tam olarak açıklamak için hem ahşap malzeme eklenmesinin etkisi hem de kompozit malzeme yapısındaki hava boşluklarının etkisi göz önüne alınmalıdır. Bu faktörlerin kombinasyonu, su emme özelliğinin artmasına yol açmış olabilir. Sonuç olarak, su emme özelliği, malzeme bileşenleri ve yapıları arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir sonucu olarak değişebilir. Bu tür bilgiler, malzeme tasarımı ve uygulamaları için önemlidir ve bu verilere dayanarak daha iyi malzeme seçimleri yapılabilir.

5.1.6. Morfolojik özellikleri (SEM görüntülerinin incelenmesi)

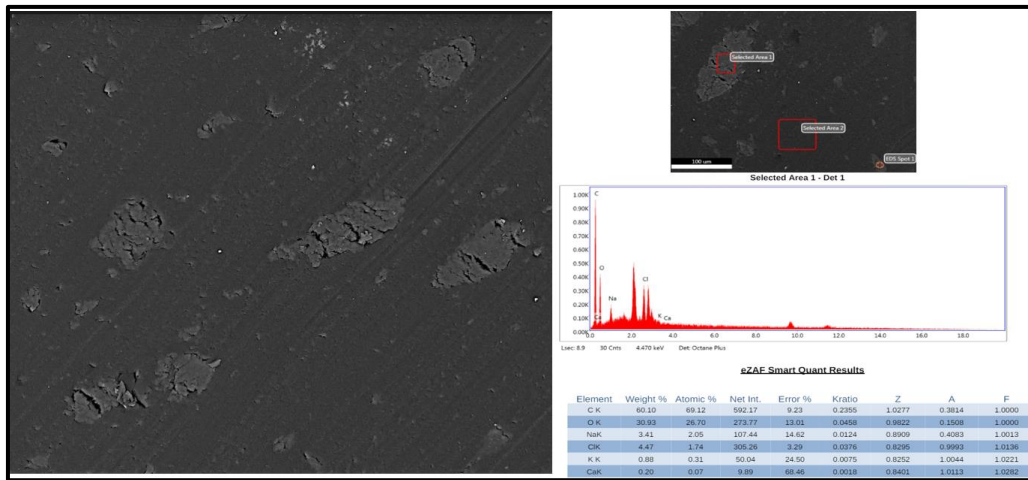
Malzemenin morfolojik özellikleri, malzemenin fiziksel yapısı, şekli, boyutu ve yüzey özelliklerini tanımlayan özelliklerdir. Bu özellikler, malzemenin görünümünü, yapısal özelliklerini ve yüzey morfolojisini anlamamıza yardımcı olur. Şekil 5.1-5.6'da elde edilen malzemelerin SEM görüntüleri ve EDS analiz grafikleri sunulmuştur.

Şekil 5.1 incelendiğinde, paneldeki granüllerin düzgün bir şekilde birleştiği görülmektedir. EDS grafiğini incelediğimizde Saf ABS numunesinin karbon ve oksijen elementleri içerdiği gözlemlenmektedir. Bu durum malzemenin ahşap partikülleri ya da farklı bir malzeme eklenmeden üretildiğini belirtmektedir. Malzemenin içindeki veya yüzeyindeki partiküllerin şekli düzenli dağılmış görülmektedir. Düzenli bir şekle sahip partiküller, malzemenin mukavemetini veya sertliğini artırabilir.



Şekil 5.1. Saf ABS malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği

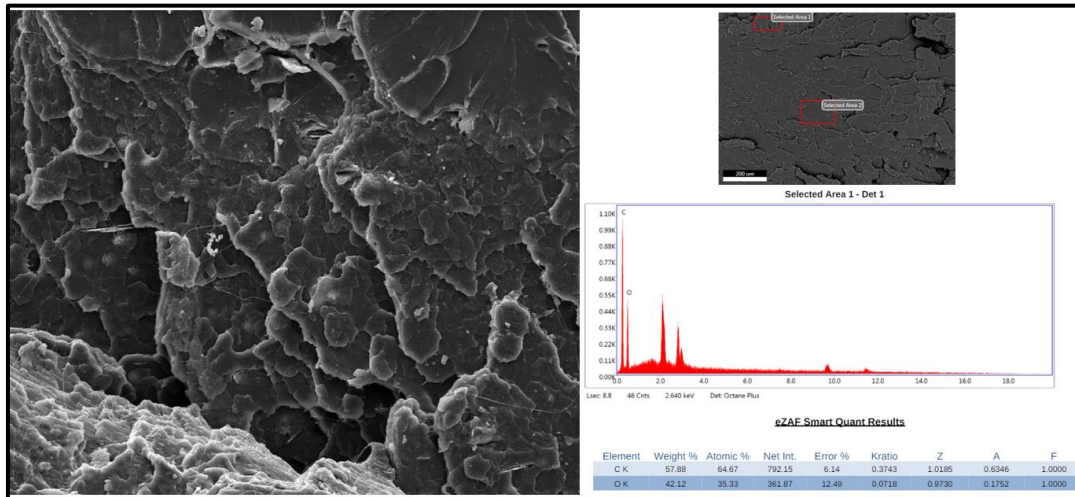
Şekil 5.2 incelendiğinde, paneldeki peynir benzeri granüllerin düzgün bir şekilde birleştiği ancak granüllerin çevresinde boşlukların olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, doğal katkı maddeleri eklenirken uyumlaştırıcı veya ajan kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. EDS grafiğini incelediğimizde kompozit ABS numunesinin karbon ve oksijen elementleri içerdiği fakat bu elementler dışında sodyum, kalsiyum ve potasyum elementlerini de içerdiği gözlemlenmektedir. ABS polimer malzemesi içerisinde farklı elementler bulunması kompozit malzeme olduğunu göstermektedir. Malzemenin içindeki veya yüzeyindeki partiküllerin şekli düzensiz dağılmış görülmektedir. Düzgün veya düzensiz şekiller, malzemenin fiziksel özelliklerini etkileyebilir. Düzgün şekiller ise malzemenin yapışkanlığı veya sürtünme özelliklerini etkileyebilir.



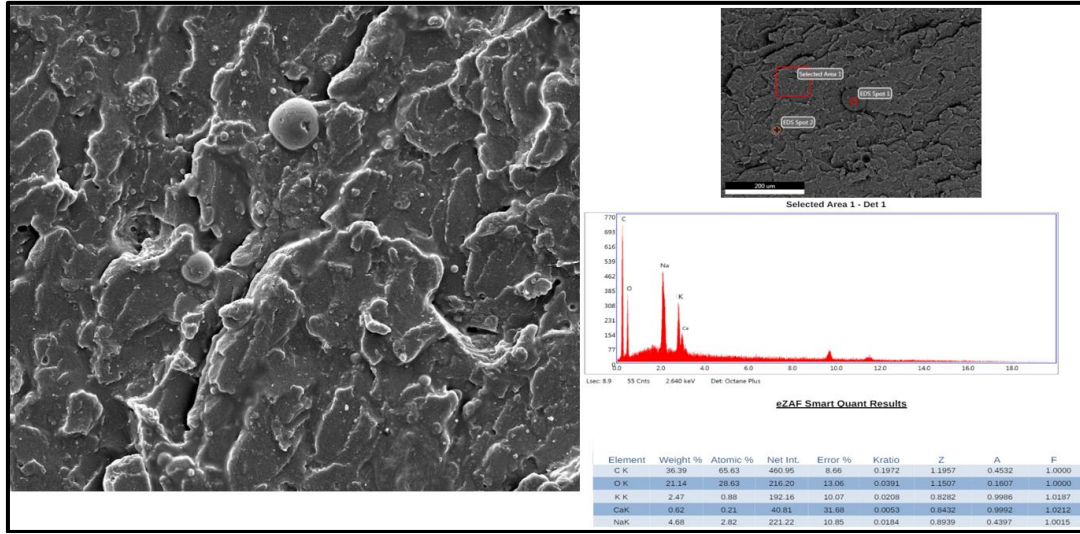
Şekil 5.2. Kompozit ABS malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği

Şekil 5.3 incelendiğinde, paneldeki granüllerin düzgün bir şekilde birleştiği görülmektedir. EDS grafiğini incelediğimizde Saf PLA numunesinin karbon ve oksijen elementleri içerdiği gözlemlenmektedir. Bu durum malzemenin ahşap partikülleri ya da farklı bir malzeme eklenmeden üretildiğini belirtmektedir. PLA'nın morfolojik yapısının bir bileşeni, kristal bölgelerden oluşur. Kristalin bölgeler, düzenli bir yapıya sahiptir ve malzemenin sertliği ve dayanıklılığına katkıda bulunur. PLA'nın morfolojik yapısının diğer bir bileşeni, amorf bölgelerden oluşur. Amorf bölgeler düzensiz bir yapıya sahiptir ve malzemenin esnekliğine ve şekil değiştirme yeteneğine katkıda bulunur.

Şekil 5.4 incelendiğinde, PLA'nın morfolojik yapısında belirgin bir bileşen ahşap taneciklerini görmek mümkündür. Yuvarlak görünümlü bu ahşap tanecikleri malzemenin daha iyi akışkanlık özelliklerine sahip olmasına yardımcı olabilir. EDS grafiğini incelediğimizde kompozit PLA numunesinin karbon ve oksijen elementleri içerdiği fakat bu elementler dışında sodyum, kalsiyum ve potasyum elementlerini de içerdiği gözlemlenmektedir. PLA polimer malzemesi içerisinde farklı elementler bulunması kompozit malzeme olduğunu göstermektedir. Malzemenin içindeki veya yüzeyindeki partiküllerin şekli ABS kompozitinde olduğu gibi düzensiz dağılmış görülmektedir. Düzgün veya düzensiz şekiller, malzemenin fiziksel özelliklerini etkileyebilir. Düzensiz şekiller ise malzemenin yapışkanlığı veya sürtünme özelliklerini etkileyebilir.

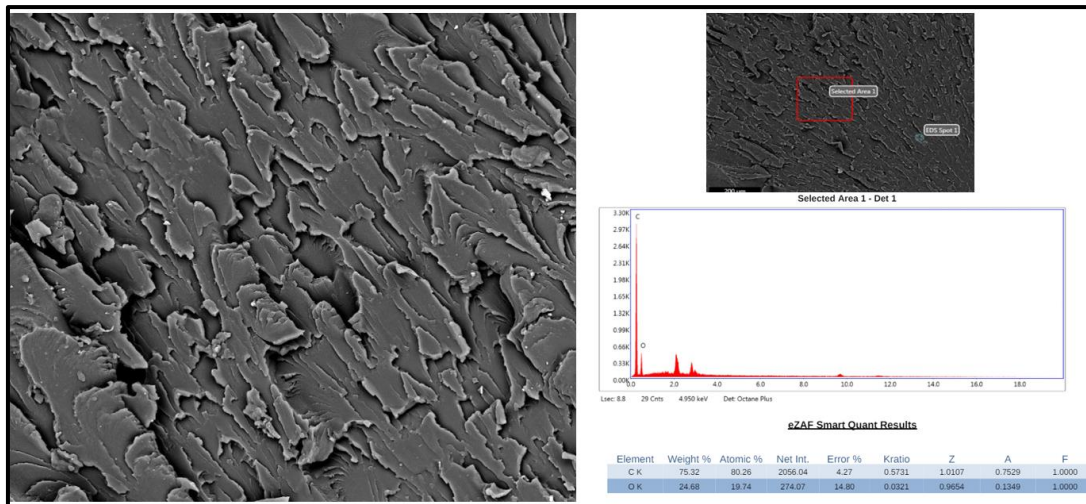


Şekil 5.3. Saf PLA malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği

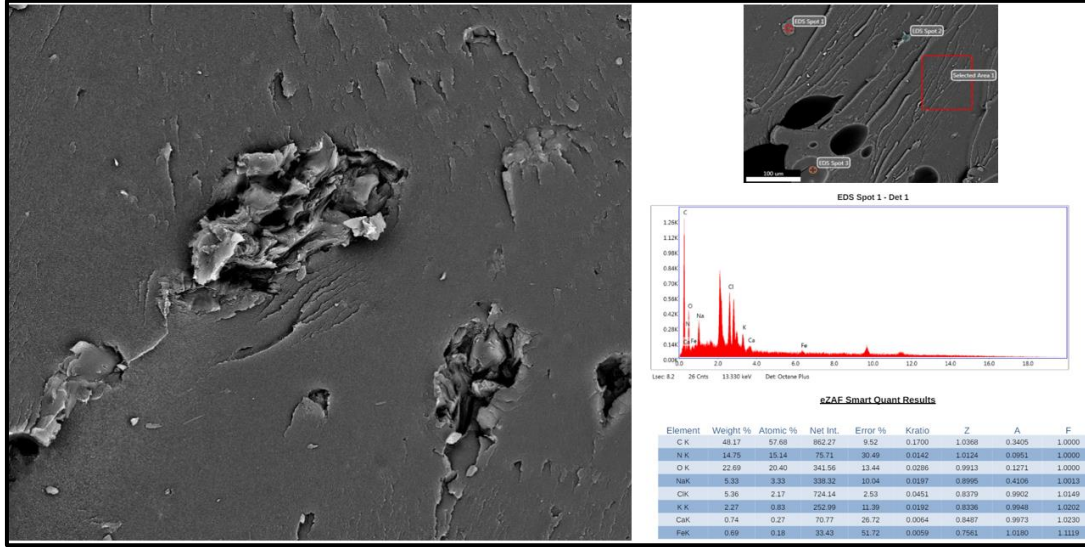


Şekil 5.4. Kompozit PLA malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği

Şekil 5.5 incelendiğinde, paneldeki granüllerin düzgün bir şekilde birleştiği görülmektedir. EDS grafiğini incelediğimizde Saf PETG numunesinin karbon ve oksijen elementleri içerdiği gözlemlenmektedir. Bu durum malzemenin ahşap partikülleri ya da farklı bir malzeme eklenmeden üretildiğini belirtmektedir. Malzemenin içindeki veya yüzeyindeki partiküllerin şekli düzenli dağılmış görülmektedir. Düzenli bir şekle sahip partiküller, malzemenin mukavemetini veya sertliğini artırabilir.



Şekil 5.5. Saf PETG malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği



Şekil 5.6. Saf PETG malzemesinin SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu grafiği

Şekil 5.6 incelendiğinde, ahşap tanecikleri ve PETG matrisi arasındaki etkileşimde morfolojik kararlılık gözlenmektedir. Bu, malzemenin homojen bir yapıya sahip olduğunu ve ahşap ile plastik bileşenlerinin uyumlu bir şekilde bir araya getirilmesinden kaynaklanmaktadır. EDS grafiğini incelediğimizde kompozit PETG numunesinin karbon ve oksijen elementleri içerdiği fakat bu elementler dışında azot, demir, klor, sodyum, kalsiyum ve potasyum elementlerini de içerdiği gözlemlenmektedir. PETG polimer malzemesi içerisinde farklı elementler bulunması kompozit malzeme olduğunu göstermektedir. Malzemenin içindeki veya yüzeyindeki partiküllerin şekli ABS malzemesinde olduğu gibi düzensiz dağılmış görülmektedir. Düzensiz veya düzensiz şekiller, malzemenin fiziksel özelliklerini etkileyebilir. Düzensiz şekiller ise malzemenin yapışkanlığı veya sürtünme özelliklerini etkileyebilir.

5.1.7. Üç boyutlu yazıcı teknolojiyle üretilebilirliği

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilebilirliği inceleyebilmek için tasarlanan yeni auxetic yapı, her bir malzeme için ayrı ayrı üretilmiştir. Polimer malzemelere ahşap malzemeler eklenmesi ile erime sıcaklığı yükselmiştir. Çizelge 5.8 ile gösterildiği gibi üç boyutlu yazıcı tabla ve nozzle sıcaklığı yeni sıcaklık değerlerine göre ayarlanmıştır.

Çizelge 5.8. Üç boyutlu yazıcı sıcaklık parametreleri

Malzeme ADI	Nozzle sıcaklığı	Tabla sıcaklığı
Saf ABS	240 °C	100 °C
Kompozit ABS	250 °C	*Yapıştırma
Saf PLA	200 °C	65 °C
Kompozit PLA	240 °C	100 °C
Saf PETG	235 °C	80 °C
Kompozit PETG	250 °C	*Yapıştırma

(*Tabla sıcaklığı maksimum tabla sıcaklığını geçtiği için özel üç boyutlu yazıcı tabla yapıştırıcısı kullanılarak işlem gerçekleştirilmiştir.)

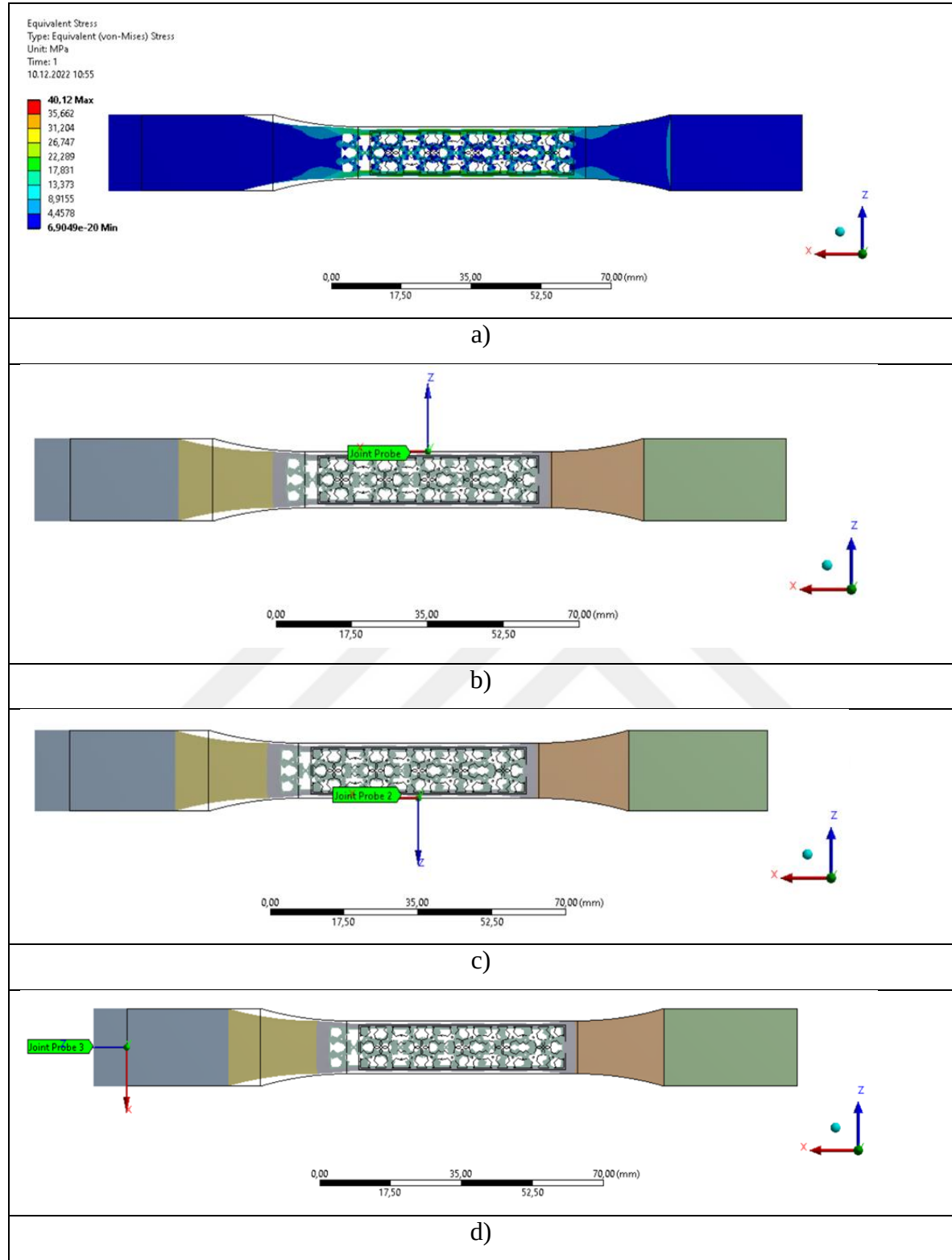
Yerong ve ekibinin yaptığı çalışmada, ABS ile oluşturduğu ahşap plastik kompozit malzeme için nozzle sıcaklığını 245 ± 5 °C olarak kullanmıştır [291]. İmtiyaz ve arkadaşları ise PLA ile oluşturduğu ahşap plastik kompozit malzeme için nozzle sıcaklığını 220 °C olarak kullanmıştır [292]. İbrahim ise yaptığı çalışmada, PETG ile oluşturduğu ahşap plastik kompozit malzeme için nozzle sıcaklığını 250 °C olarak kullanmıştır [293]. Yapılan bu çalışmada üç boyutlu yazıcı ile yapılan ahşap plastik kompozit malzeme üretiminde literatür ile benzer şekilde sıcaklık değerleri elde edildiği görülmüştür.

5.2. Auxetic Yapı Özellikleri

Çalışma kapsamında, fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özellikleri tespit edilen ahşap plastik kompozit malzemeler kullanılarak ANSYS ortamında 6 adet ASTM D 638-1 standardında deney numunesi modeli kurulmuştur. Bu modellerden 1 adet deney numunesi kontrol amaçlı tam dolu olarak, diğer 4 adet numune kiral, reentrant, döner ve missing rib olmak üzere Şekil 3.2’de gösterildiği gibi iki boyutlu yapay auxetic yapılardan ve son 1 adet deney numunesi çalışma kapsamında tasarlanan yeni auxetic yapı tasarımından oluşmaktadır. Modelde saf ABS, kompozit ABS, saf PLA, kompozit PLA, saf PETG ve kompozit PETG olmak üzere 6 farklı malzeme için analizler yapılmıştır.

5.2.1. Yeni auxetic yapının belirlenmesi

ASTM D 638-1 standardına göre modellenen 8 adet (A-H) deney numunesi ANSYS ortamında analiz edilmiştir.



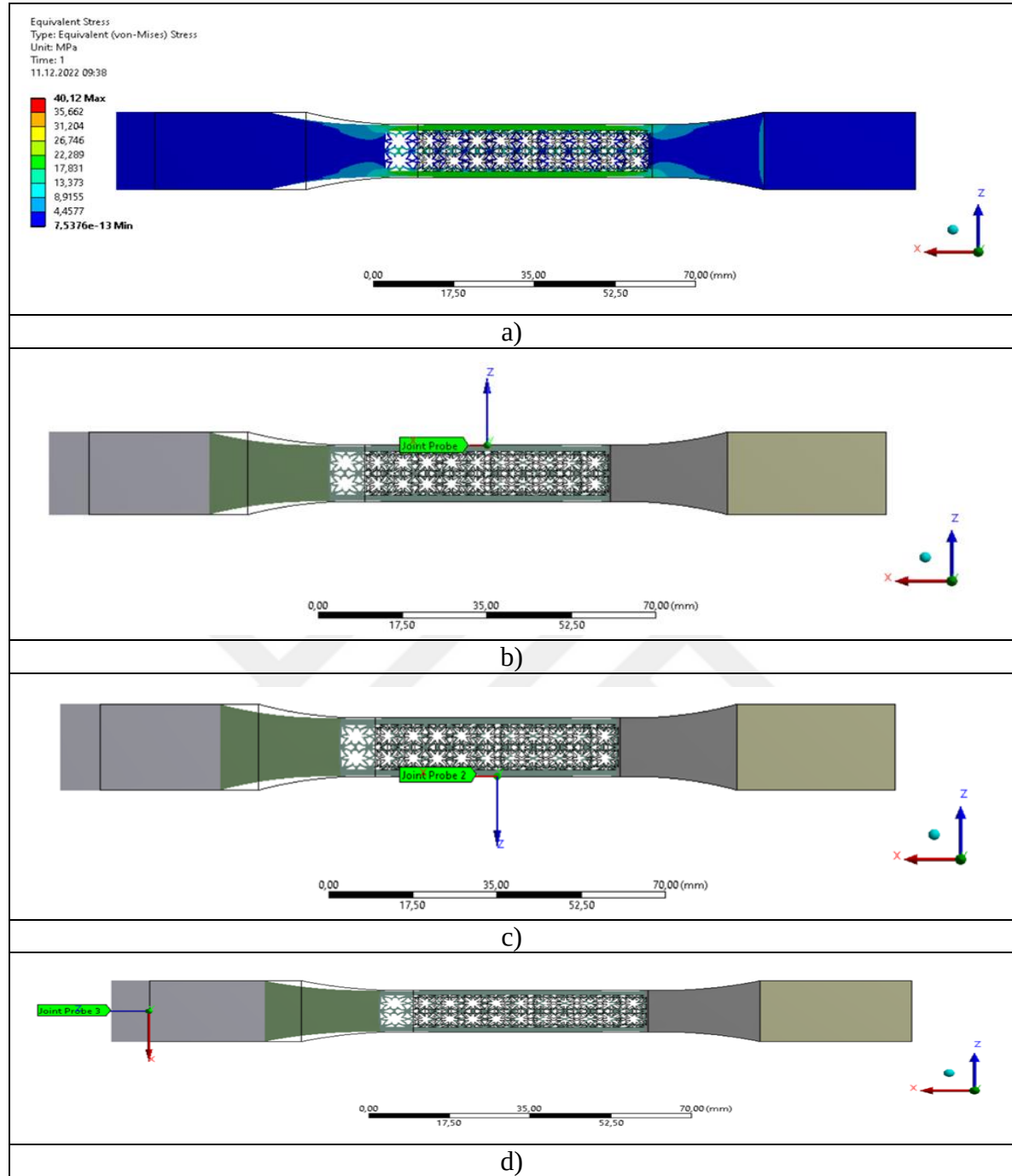
Şekil 5.7. A tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı

Tasarlanan numunelere ABS malzemesi atanmış, aynı sınır koşulları ve yükleme durumunda gerilme ve yer değiştirme durumları incelenmiştir. Şekil 5.7’de A tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir.

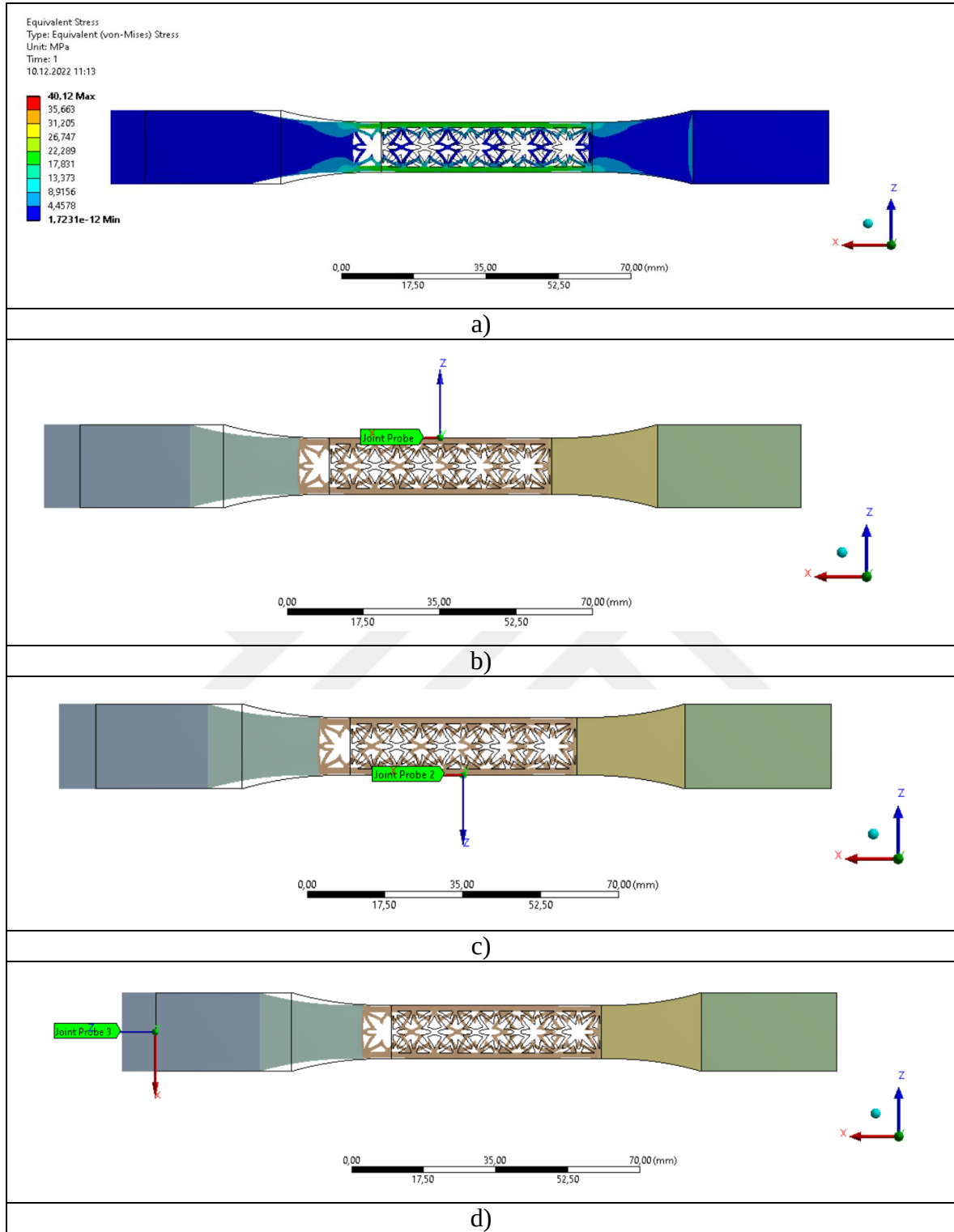
ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. A tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,180570 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise -0,011254 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında +0,27 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan A tasarım modeli x yönünde uzamış, z yönünde ise daralma eğilimi göstermiştir.

Şekil 5.8’de B tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. B tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,200950 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise -0,005857 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında +0,13 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan B tasarım modeli x yönünde uzamış, z yönünde ise daralma eğilimi göstermiştir.

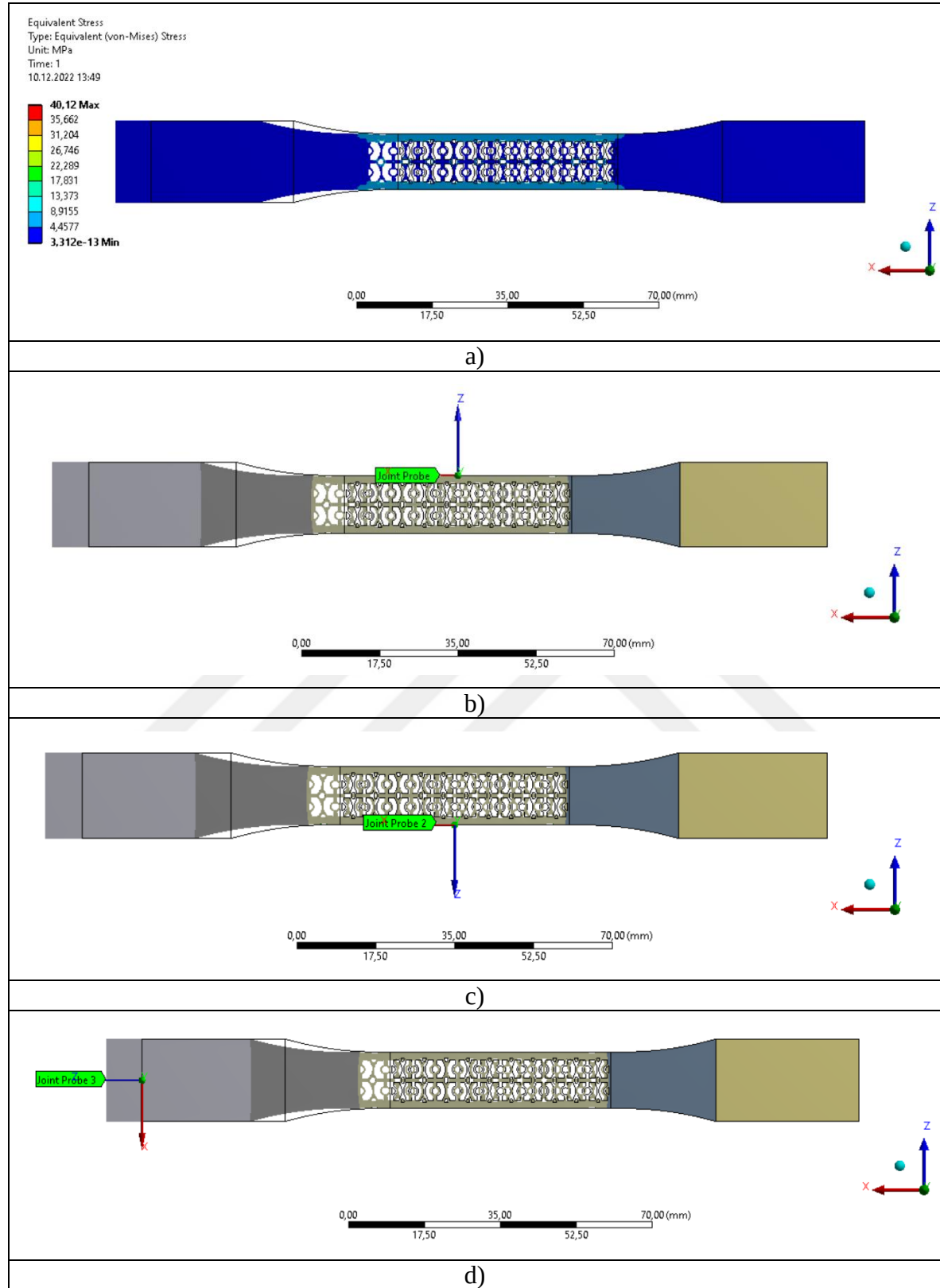
Şekil 5.9’da C tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. C tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,206510 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise -0,007635 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında +0,16 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan C tasarım modeli x yönünde uzamış, z yönünde ise daralma eğilimi göstermiştir.



Şekil 5.8. B tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.



Şekil 5.9. C tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı



Şekil 5.10. D tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değıştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değıştirme miktarı, d) x ekseninde yer değıştirme miktarı.

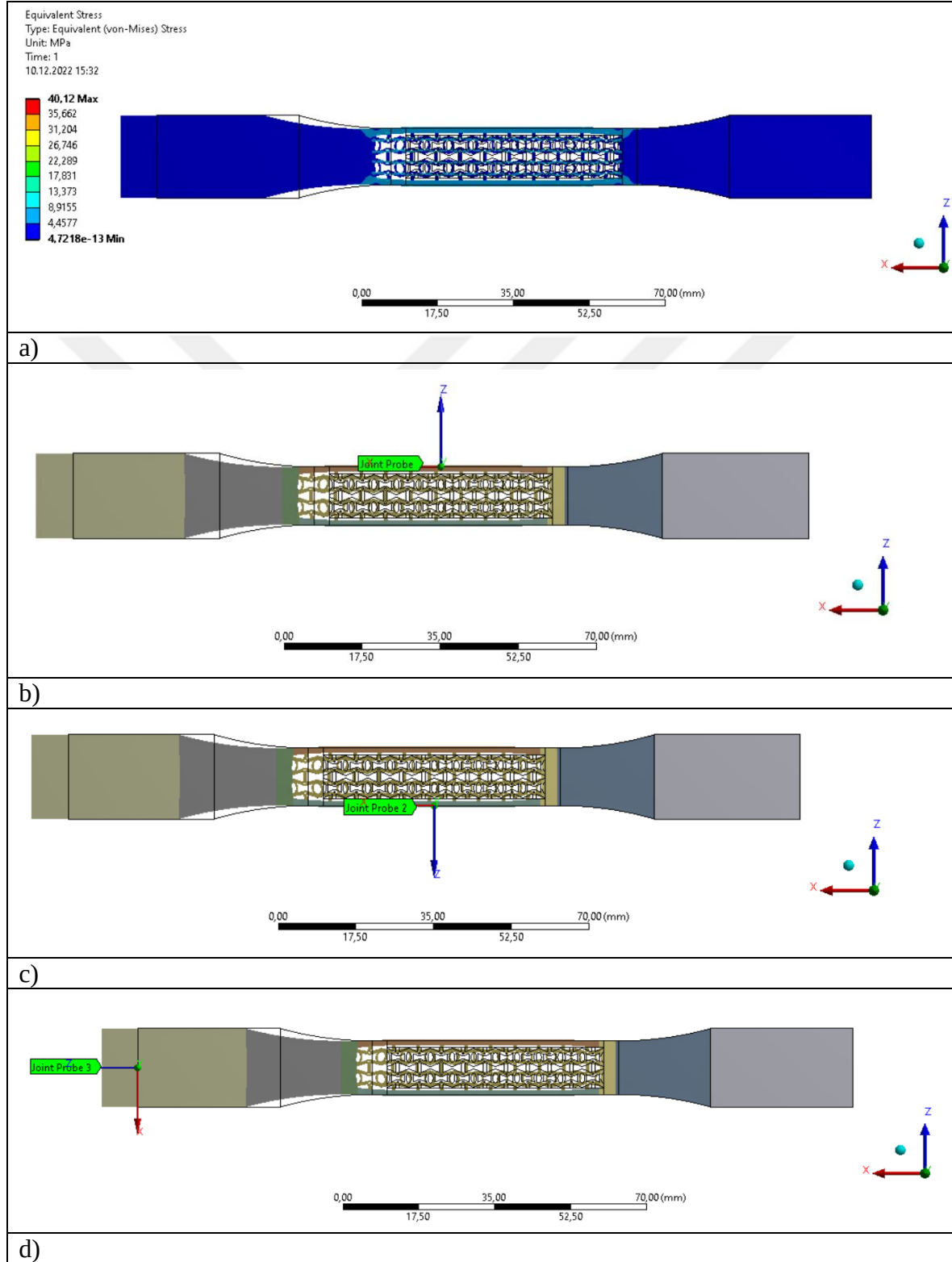
Şekil 5.10'da D tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. D tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,206510 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise -0,007635 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında +0,16 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan D tasarım modeli x yönünde uzamış, z yönünde ise daralma eğilimi göstermiştir.

Şekil 5.11'de E tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. E tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,090289 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,006838 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,33 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan E tasarım modeli x ve z yönünde genişleme eğilimi göstererek auxetic yapı davranışı sergilemiştir.

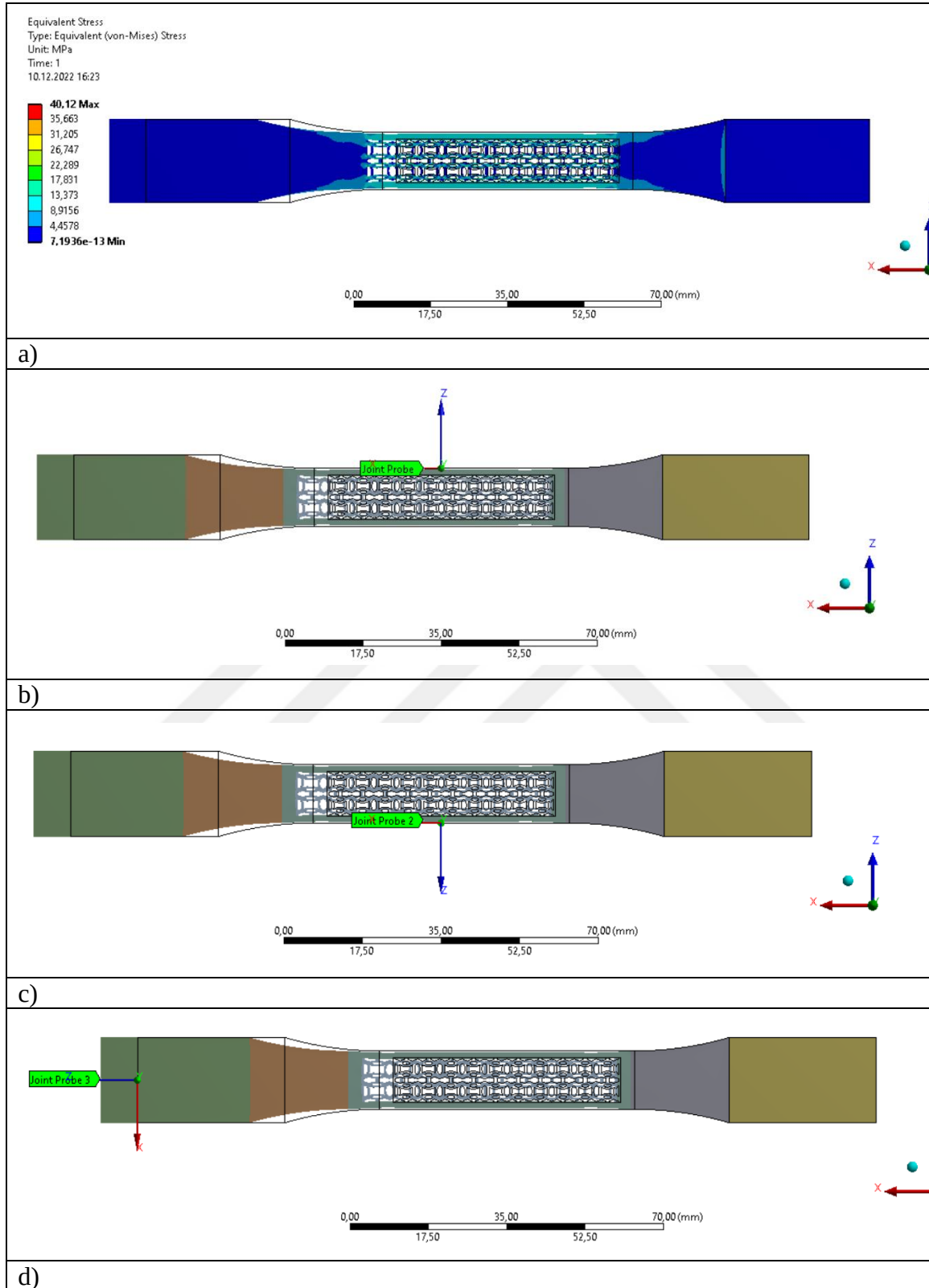
Şekil 5.12'de F tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. F tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,127200 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise -0,008714 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında +0,30 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan F tasarım modeli x yönünde uzamış, z yönünde ise daralma eğilimi göstermiştir.

Şekil 5.13'de G tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. G tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,152370 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,012091 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında 0,35 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne

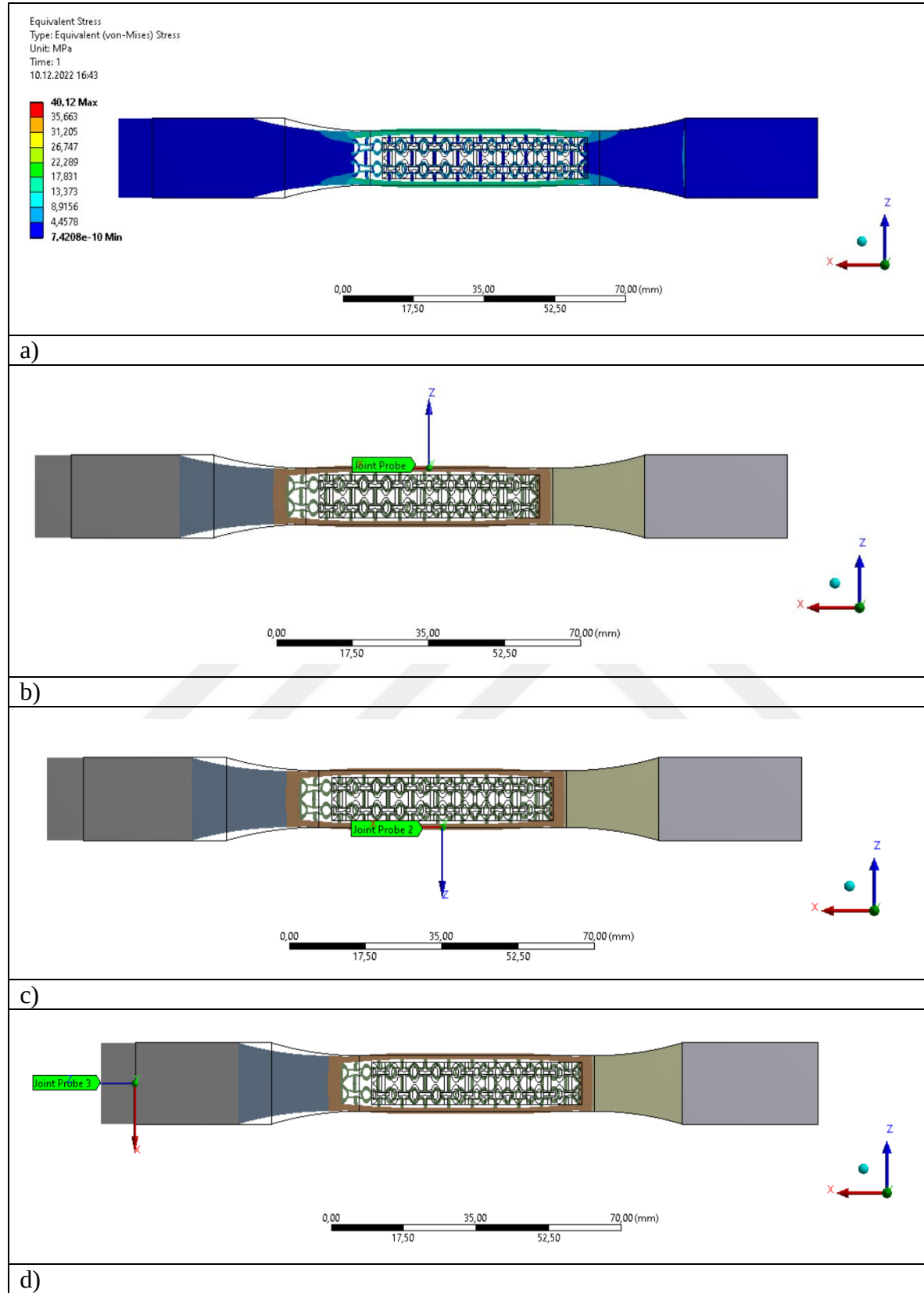
maruz kalan G tasarım modeli x ve z yönünde genişleme eğilimi göstererek auxetic yapı davranışı sergilemiştir.



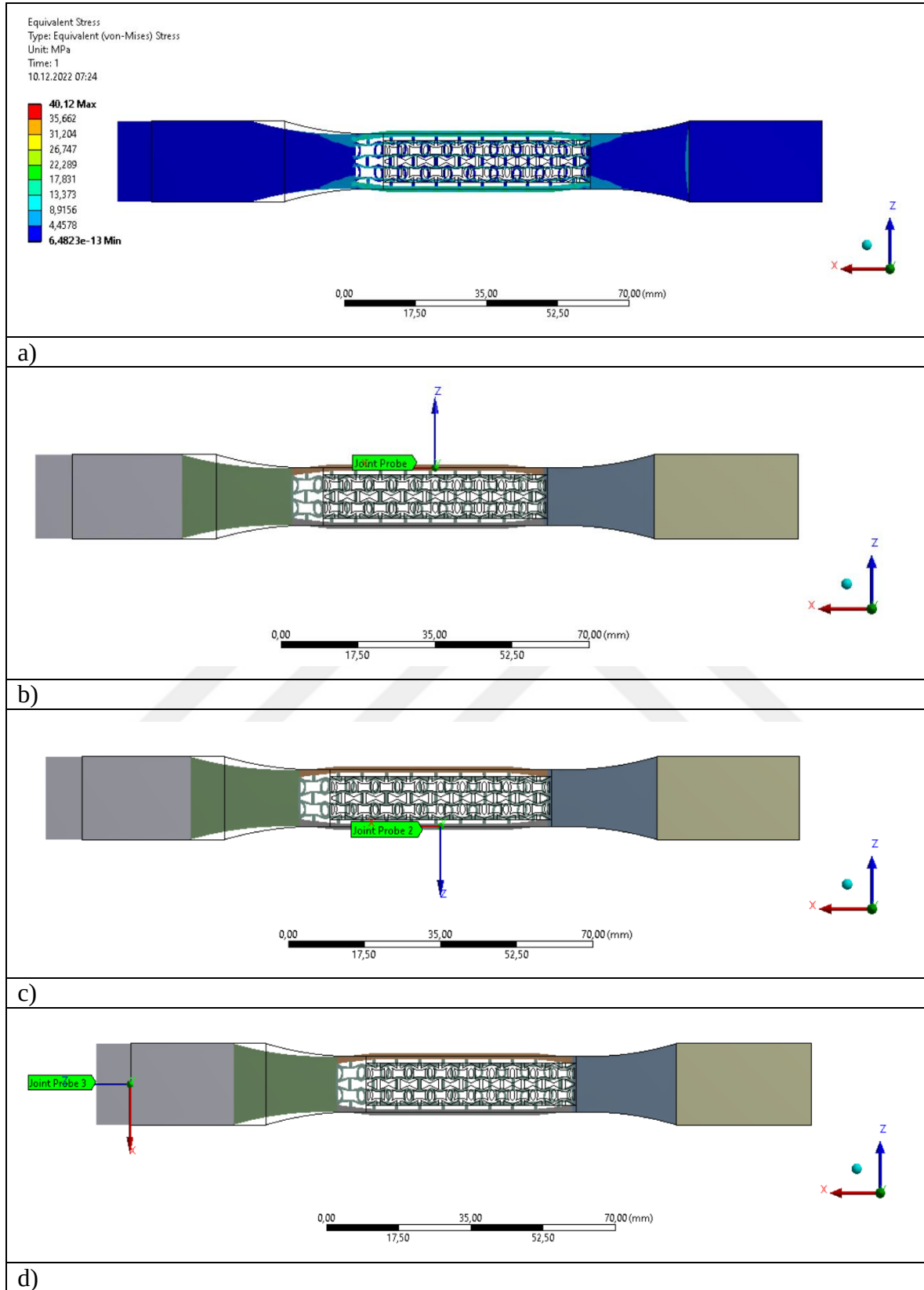
Şekil 5.11. E tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı



Şekil 5.12. F tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.



Şekil 5.13. G tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı



Şekil 5.14. H tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.

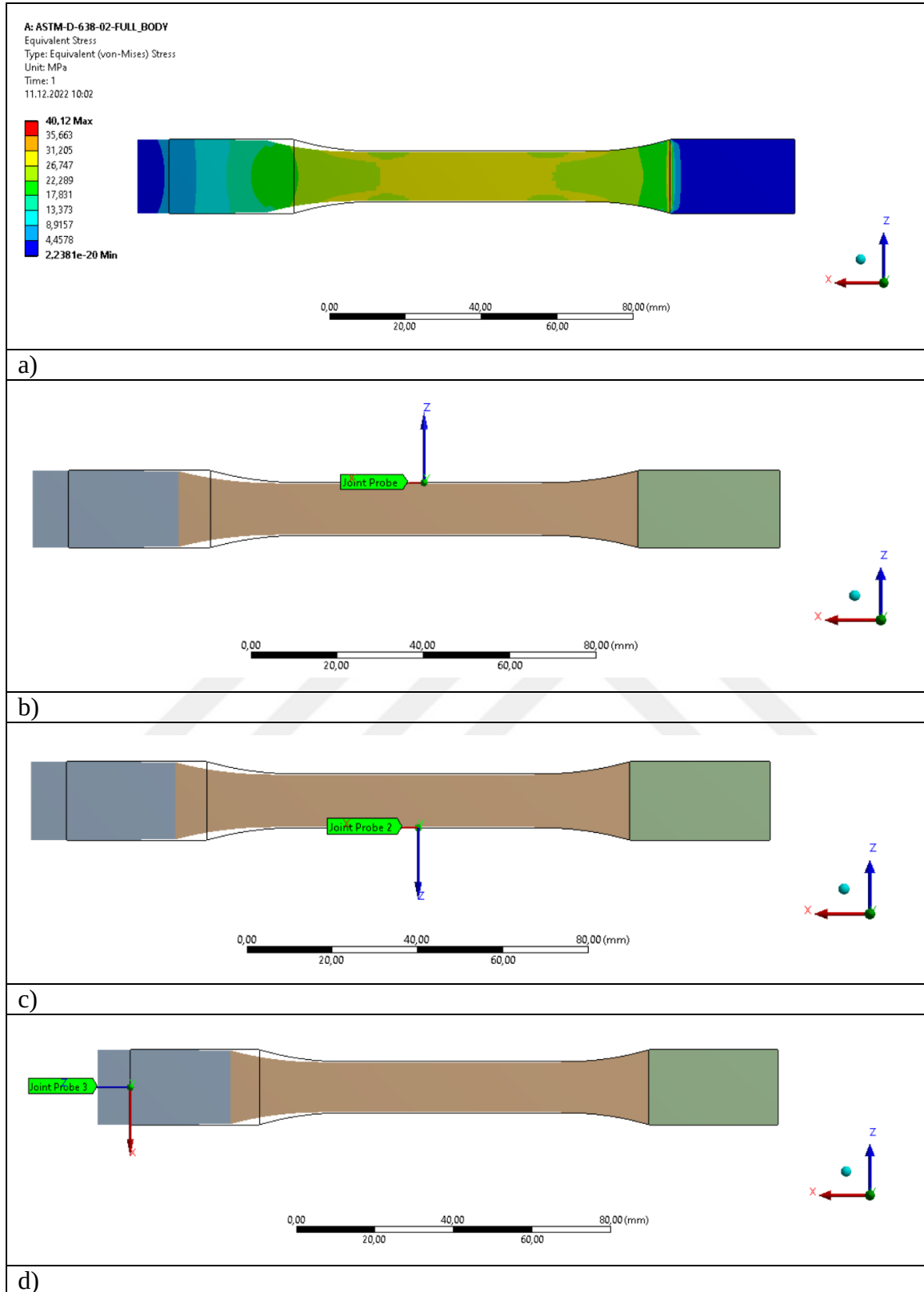
Şekil 5.14’de H tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. ABS malzemesin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve modeller bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. H tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,141890 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,022424 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,69 değeri elde edilmiştir. Bu durumda gerilme yüküne maruz kalan H tasarım modeli x ve z yönünde genişleme eğilimi göstererek auxetic yapı davranışı sergilemiştir.

Tasarımı yapılan 8 yapı içerisinde en iyi auxetic yapı performansını gösteren H tasarımı olmuştur. H tasarımı bir sonraki bölümde literatürde var olan iki boyutlu auxetic yapılar ile mukayese edilmiştir.

5.2.2. İki boyutlu auxetic yapılar ve yeni auxetic yapı tasarım modelinin analiz sonuçları

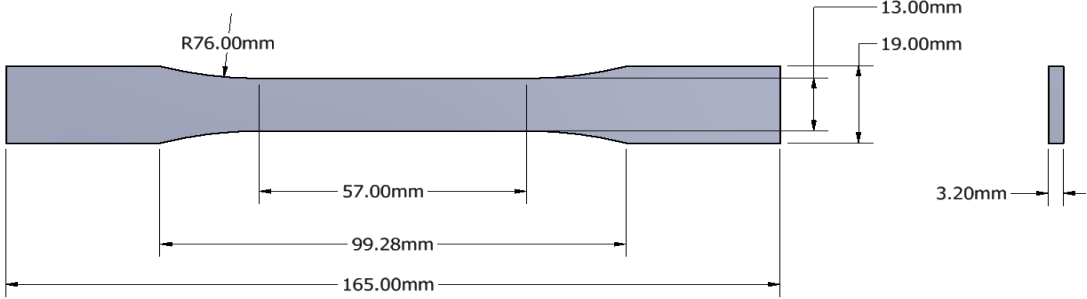
En iyi negatif Poisson oranına sahip H yapı tasarımı literatürde iki boyutlu auxetic yapılar altında sınıflandırılan chiral yapı, reentrant yapı, missing rib yapı ve rotating unit yapı ile mukayese edilmiştir. Yapılan çalışmayı doğrulamak için tam dolu ASTM D 638-1 standardına göre deney numunesi de yapılan kıyaslama işleminde kullanılmıştır. Toplam 5 auxetic yapı modeli ve tam dolu deney numunesi modeli üretilen ahşap kompozit malzemeler atanarak analiz edilmiştir. Şekil 5.15’de tam dolu tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir.

Analiz sonuç görselleri saf ABS malzemesine göre elde edilmiştir. ABS malzemesinin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve model bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. Tam dolu tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,014251 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise -0,000519 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında +0,159749 değeri elde edilmiştir. Aynı analiz diğer malzemeler atanarak da gerçekleştirilmiş ve Çizelge 5.9’da elde edilen gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranları sunulmuştur.



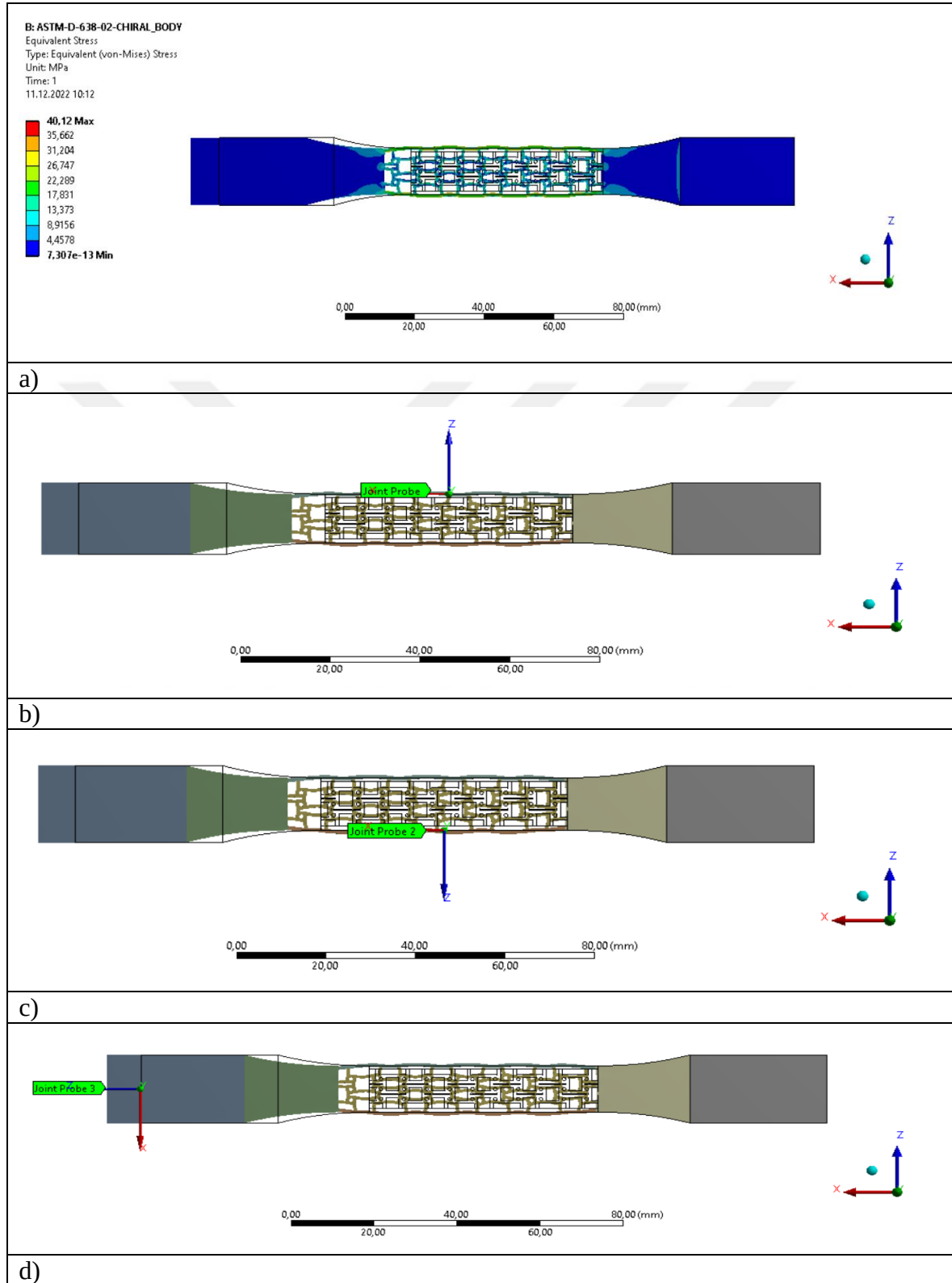
Şekil 5.15. Tam dolu tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.

Çizelge 5.9. Tam dolu model için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları

						
Malzeme	Saf ABS	Saf PLA	Saf PETG	Kompozit ABS	Kompozit PLA	Kompozit PETG
Gerilme (MPa)	40,12	25,71	53,73	33,99	24,15	45,91
Yer değiştirme (+Z) (mm)	-0,000260	-0,008078	-0,008903	-0,009361	-0,008868	-0,008277
Yer değiştirme (-Z) (mm)	-0,000260	-0,008078	-0,008903	-0,009361	-0,008868	-0,008277
Toplam Yer değiştirme (Z) (mm)	-0,000519	-0,016156	-0,017806	-0,018723	-0,017736	-0,016554
Yer değiştirme (X) (mm)	0,014251	0,402650	0,457840	0,491570	0,470950	0,499050
Yapısal Poisson Oranı	0,159749	0,175929	0,170531	0,167007	0,165124	0,145442

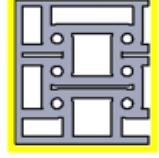
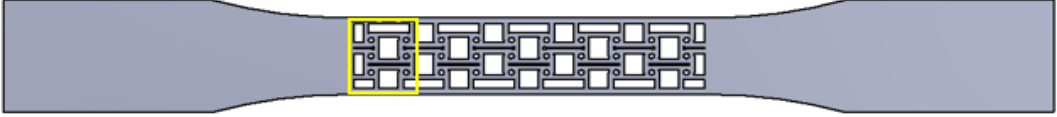
Analiz sonuç görselleri saf ABS malzemesine göre elde edilmiştir. ABS malzemesinin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve model bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. Chiral yapı tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,222720 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,028537 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,561799 değeri elde edilmiştir. Aynı analiz diğer malzemeler atanarak da gerçekleştirilmiş ve Çizelge 5.10'da elde edilen gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranları sunulmuştur.

Şekil 5.16'da chiral yapı tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir.

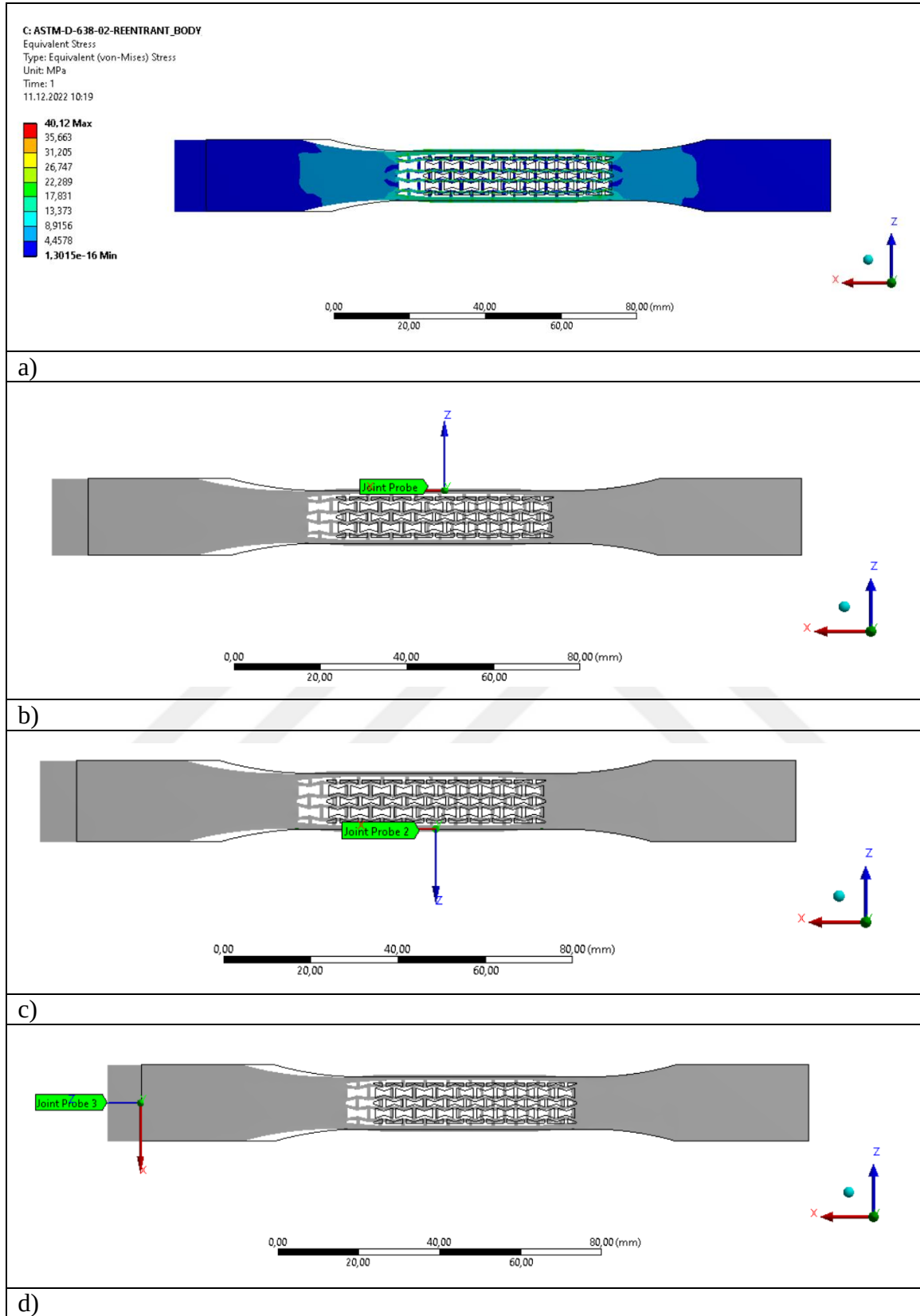


Şekil 5.16. Chiral yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı

Çizelge 5.10. Chiral yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları

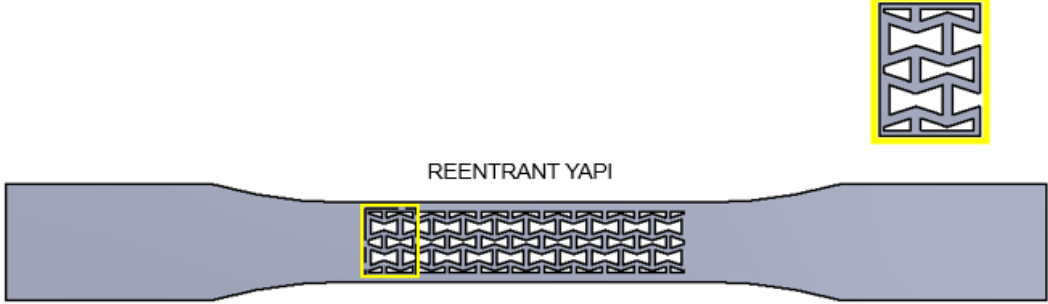
DETAY CHIRAL YAPI 						
CHIRAL YAPI 						
Malzeme	Saf ABS	Saf PLA	Saf PETG	Kompozit ABS	Kompozit PLA	Kompozit PETG
Gerilme (MPa)	40,12	25,71	53,73	33,99	24,15	45,91
Yer değiştirme (+Z) (mm)	0,012507	0,010764	0,012346	0,013334	0,012812	0,007339
Yer değiştirme (-Z) (mm)	0,016030	0,013848	0,015863	0,017142	0,016466	0,009413
Toplam Yer değiştirme (Z) (mm)	0,028537	0,024612	0,028209	0,030476	0,029278	0,016752
Yer değiştirme (X) (mm)	0,222720	0,189400	0,216320	0,233020	0,223580	0,126430
Yapısal Poisson Oranı	-0,561799	-0,569768	-0,571771	-0,573450	-0,574169	-0,580958

Şekil 5.17’de Reentrant yapı tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonuç görselleri saf ABS malzemesine göre elde edilmiştir. ABS malzemesinin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve model bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. Reentrant yapı tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,192090 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,018671 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,426183 değeri elde edilmiştir. Aynı analiz diğer malzemeler atanarak da gerçekleştirilmiş ve Çizelge 5.11’de elde edilen gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranları sunulmuştur.

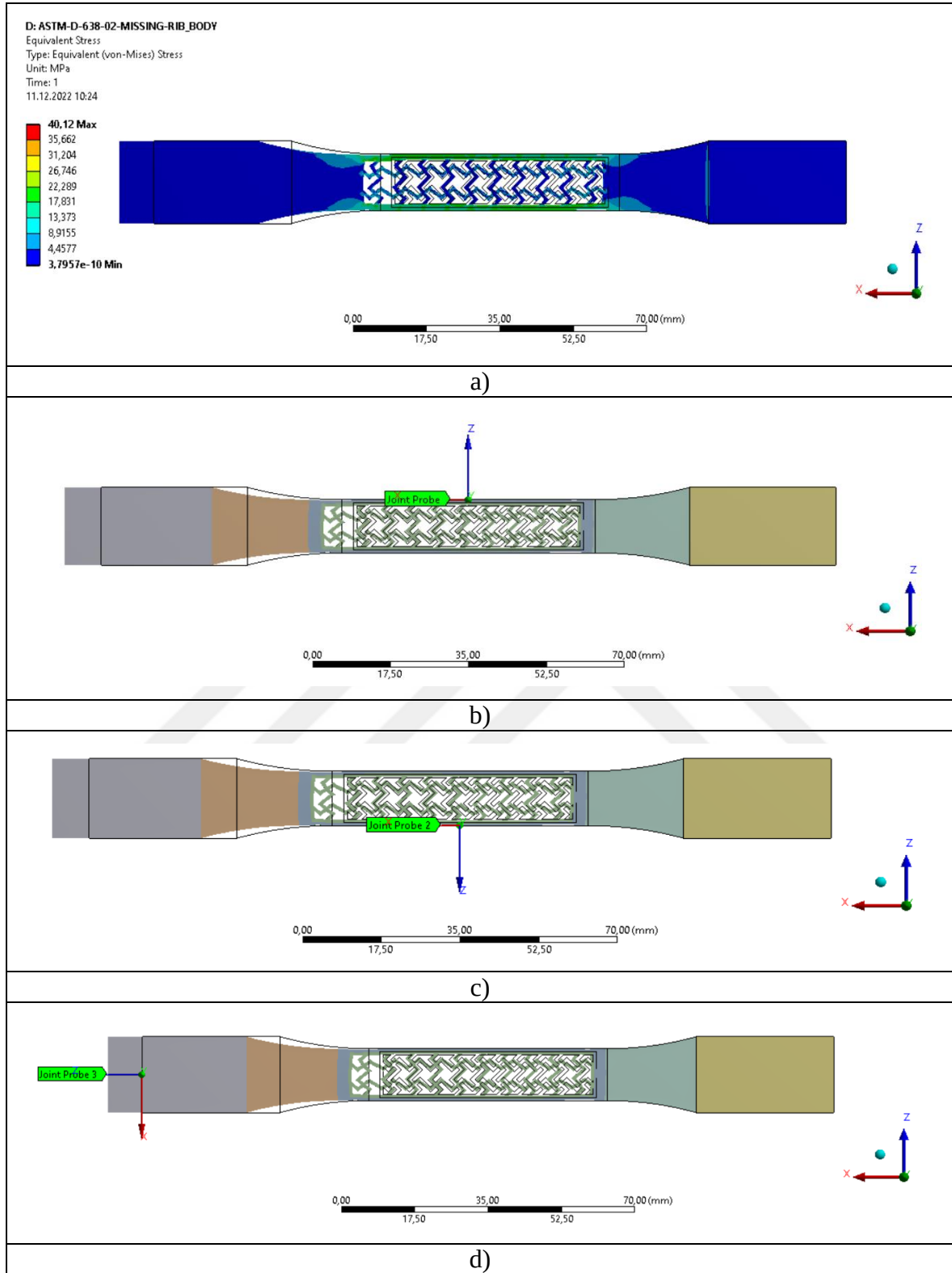


Şekil 5.17. Reentrant yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.

Çizelge 5.11. Reentrant yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları

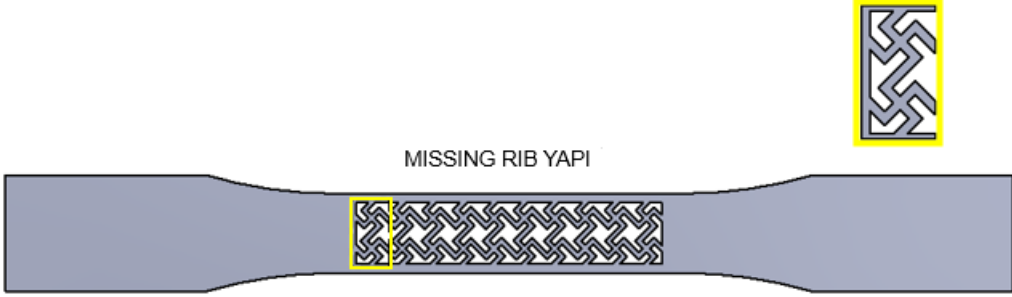
DETAY REENTRANT YAPI  REENTRANT YAPI						
Malzeme	Saf ABS	Saf PLA	Saf PETG	Kompozit ABS	Kompozit PLA	Kompozit PETG
Gerilme (MPa)	40,12	25,71	53,73	33,99	24,15	45,91
Yer değiştirme (+Z) (mm)	0,009351	0,008645	0,010068	0,010976	0,010600	0,012167
Yer değiştirme (-Z) (mm)	0,009320	0,008621	0,010041	0,010947	0,010572	0,012138
Toplam Yer değiştirme (Z) (mm)	0,018671	0,017266	0,020109	0,021923	0,021172	0,024305
Yer değiştirme (X) (mm)	0,192090	0,171580	0,198200	0,214940	0,207010	0,231100
Yapısal Poisson Oranı	-0,426184	-0,441232	-0,444854	-0,447212	-0,448437	-0,461134

Şekil 5.18’de Missing rib yapı tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonuç görselleri saf ABS malzemesine göre elde edilmiştir. ABS malzemesinin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve model bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. Missing rib yapı tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,184230 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,001196 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,028472 değeri elde edilmiştir. Aynı analiz diğer malzemeler atanarak da gerçekleştirilmiş ve Çizelge 5.12’de elde edilen gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranları sunulmuştur.

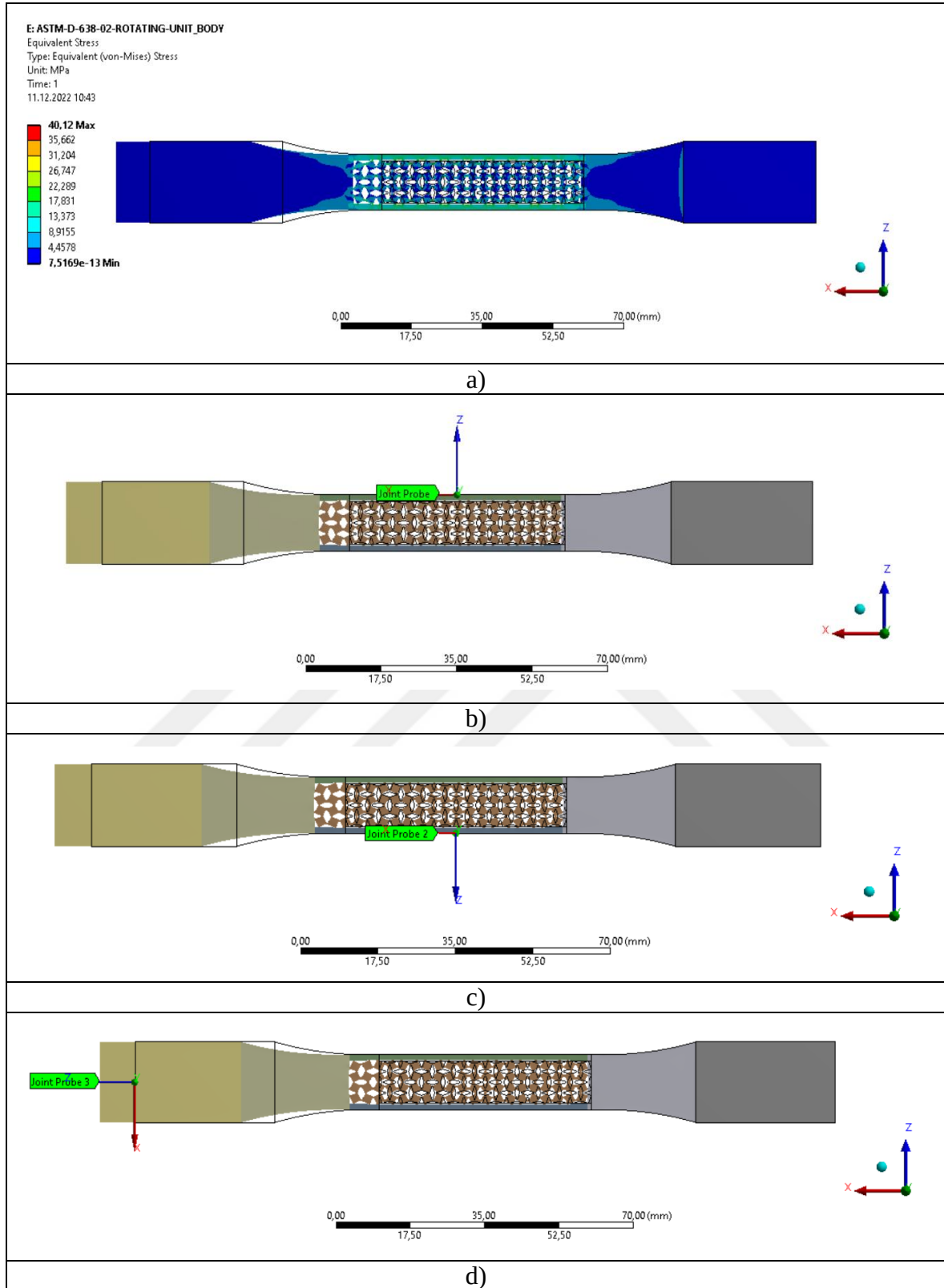


Şekil 5.18. Missing rib yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.

Çizelge 5.12. Missing rib yapı modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları

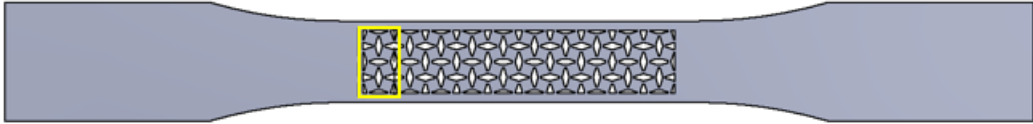
DETAY MISSING RIB YAPI						
						
Malzeme	Saf ABS	Saf PLA	Saf PETG	Kompozit ABS	Kompozit PLA	Kompozit PETG
Gerilme (MPa)	40,12	25,71	53,73	33,99	24,15	45,91
Yer değiştirme (+Z) (mm)	0,000591	0,000660	0,010068	0,000894	0,000874	0,001132
Yer değiştirme (-Z) (mm)	0,000605	0,000671	0,010041	0,000907	0,000887	0,001145
Toplam Yer değiştirme (Z) (mm)	0,001196	0,001332	0,020109	0,001801	0,001762	0,002277
Yer değiştirme (X) (mm)	0,184230	0,161640	0,198200	0,201040	0,193330	0,212510
Yapısal Poisson Oranı	-0,028473	-0,036133	-0,444854	-0,039300	-0,039970	-0,046980

Şekil 5.19’da Rotating unit yapı tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonuç görselleri saf ABS malzemesine göre elde edilmiştir. ABS malzemesinin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve model bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. Tam dolu tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,152850 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,005669 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,162622 değeri elde edilmiştir. Aynı analiz diğer malzemeler atanarak da gerçekleştirilmiş ve Çizelge 5.13’de elde edilen gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranları sunulmuştur.

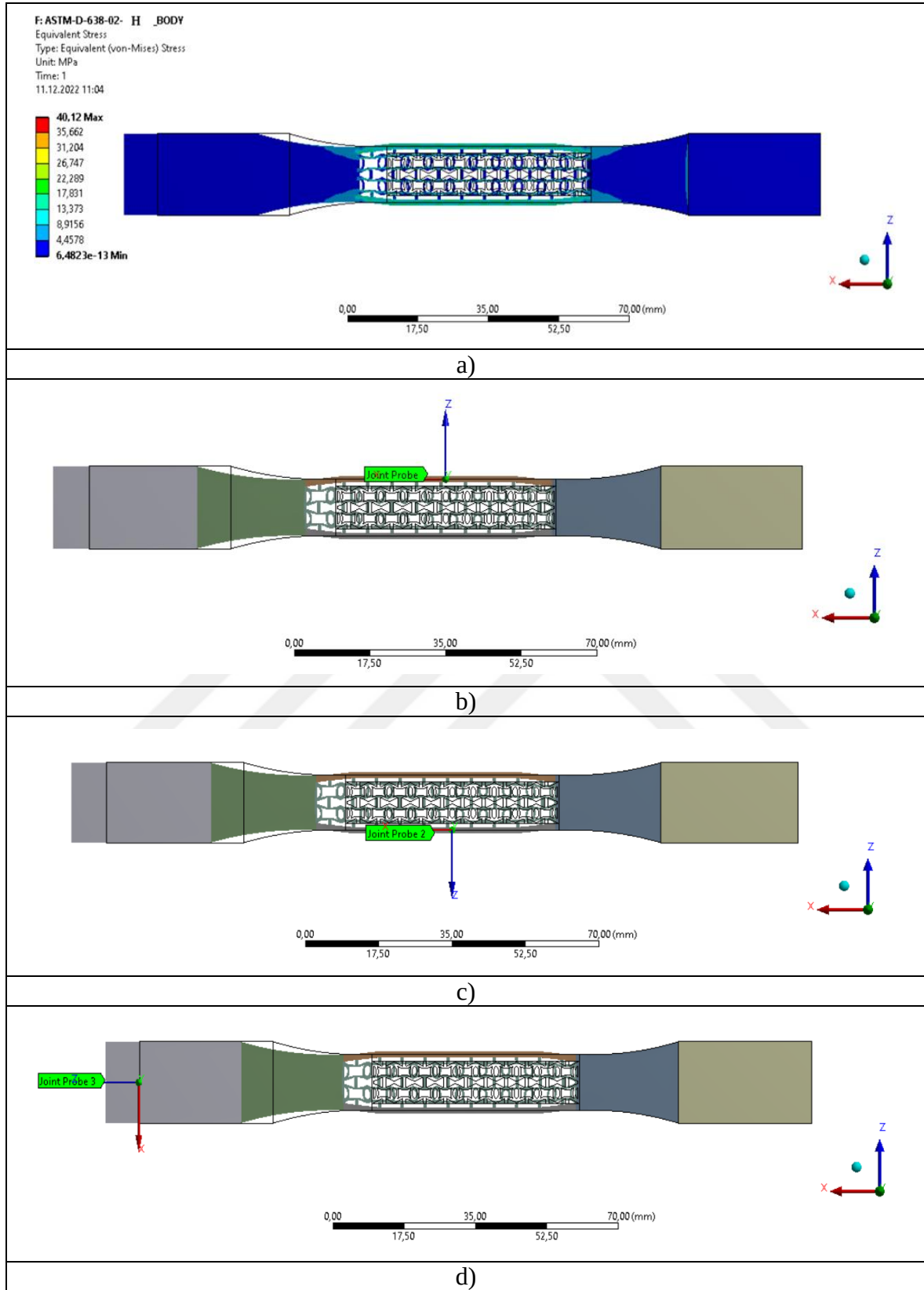


Şekil 5.19. Rotating unit yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.

Çizelge 5.13. Rotating unit yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları

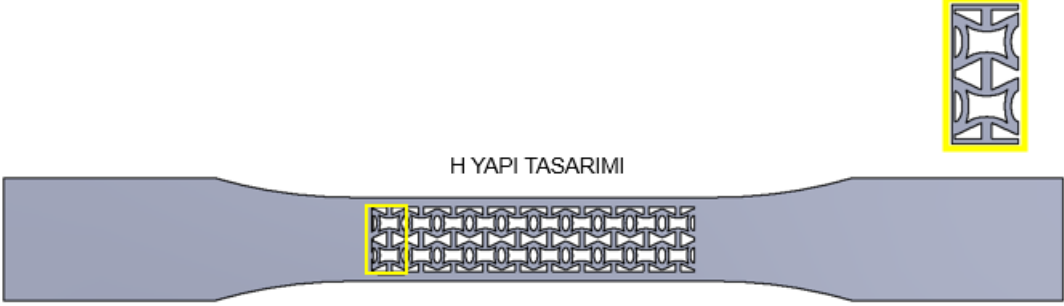
DETAY ROTATING UNIT YAPI  ROTATING UNIT YAPI 						
Malzeme	Saf ABS	Saf PLA	Saf PETG	Kompozit ABS	Kompozit PLA	Kompozit PETG
Gerilme (MPa)	40,12	25,71	53,73	33,99	24,15	45,91
Yer değiştirme (+Z) (mm)	0,002841	0,002775	0,003321	0,003636	0,003818	0,002094
Yer değiştirme (-Z) (mm)	0,002828	0,002725	0,003264	0,003602	0,003778	0,0022890
Toplam Yer değiştirme (Z) (mm)	0,005669	0,005499	0,006585	0,007237	0,007596	0,004383
Yer değiştirme (X) (mm)	0,152850	0,138020	0,162480	0,176610	0,184150	0,099992
Yapısal Poisson Oranı	-0,162622	-0,174717	-0,177710	-0,179677	-0,180861	-0,192211

Şekil 5.20’de H yapı tasarım modeli için elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. Analiz sonuç görselleri saf ABS malzemesine göre elde edilmiştir. ABS malzemesinin çekme dayanımı 40,12 MPa olarak kabul edilmiş ve model bu değere gelene kadar sınır koşulları uygulanmıştır. H yapı tasarım modeli için 40,12 MPa gerilme durumunda x eksenindeki yer değiştirme 0,141890 mm, z eksenindeki toplam yer değiştirme ise 0,022424 mm elde edilmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak yapısal Poisson oranı hesaplandığında -0,692935 değeri elde edilmiştir. Aynı analiz diğer malzemeler atanarak da gerçekleştirilmiş ve Çizelge 5.14’de elde edilen gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranları sunulmuştur.



Şekil 5.20. H yapı tasarım modeli analiz sonuçları, a) gerilme sonucu, b) +z ekseninde yer değiştirme miktarı, c) -z ekseninde yer değiştirme miktarı, d) x ekseninde yer değiştirme miktarı.

Çizelge 5.14. H yapı tasarım modeli için malzemelere göre gerilme, yer değiştirme ve Poisson oranı sonuçları.

DETAY H YAPI TASARIMI  H YAPI TASARIMI						
Malzeme	Saf ABS	Saf PLA	Saf PETG	Kompozit ABS	Kompozit PLA	Kompozit PETG
Gerilme (MPa)	40,12	25,71	53,73	33,99	24,15	45,91
Yer değiştirme (+Z) (mm)	0,011209	0,009962	0,011491	0,012450	0,011984	0,013301
Yer değiştirme (-Z) (mm)	0,011215	0,009967	0,011496	0,012456	0,011990	0,013307
Toplam Yer değiştirme (Z) (mm)	0,022424	0,019929	0,022987	0,024906	0,023974	0,026608
Yer değiştirme (X) (mm)	0,141890	0,123880	0,142280	0,153740	0,147780	0,161610
Yapısal Poisson Oranı	-0,692935	-0,705350	-0,708386	-0,710311	-0,711306	-0,721897

5.2.3. Auxetic yapı test sonuçları

İki boyutlu auxetic yapılarla kıyaslanan H yapı tasarımı ve çekme numunesinin tam dolu hali, daha önce hazırlanan filamentler kullanılarak üç boyutlu yazıcıda basılmıştır. Elde edilen numuneler için Gazi Üniversitesi Ağaç İşleri deney laboratuvarında ASTM D 638-1 standardında çekme testi yapılmıştır. Çekme testi yapılan malzemelerden tam dolu olanlar tam dolu yapı, auxetic yapıda olanlar auxetic yapı şeklinde isimlendirilmiştir. Çizelge 5.15 ile elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

Çizelge 5.15. Auxetic yapı test sonuçları

Malzeme	Tam dolu yapı çekme mukavemeti (MPa)	Auxetic yapı çekme mukavemeti (MPa)
Saf ABS	40,12	313,58
Saf PLA	25,71	405,48
Saf PETG	53,73	91,58
Kompozit ABS	33,99	106,66
Kompozit PLA	24,15	281,58
Kompozit PETG	45,91	81,49

Çekme mukavemet değerleri kritik kesit alanı boyunca taranmış ve en küçük kritik kesit alanı hem dik hem de açısal olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.15 incelendiğinde saf malzemeden kompozit malzeme elde edilmesiyle çekme mukavemet dayanımlarının ABS malzeme için %15,3, PLA malzeme için %6 ve PETG malzeme için %14,6 düştüğü gözlemlenmiştir. Kompozit malzemelerin auxetic yapıda tasarlanması sonucu kompozit malzeme elde edilmesiyle kaybedilen dayanım geri elde edilebilmiştir. Saf malzemelerden auxetic yapıda kompozit malzeme elde edilmesiyle ABS malzeme için çekme mukavemet dayanımının 40,12MPa'dan 106,66 MPa'a arttığı, PLA malzeme için çekme mukavemet dayanımının 25,71 MPa'dan 281,58 MPa'a arttığı ve PETG malzeme için çekme mukavemet dayanımının 53,73 MPa'dan 81,49 MPa'a arttığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak çizelgede verilen saf malzeme auxetic yapı sonuçları kontrol amaçlı üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelerin, üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen çekme deney numuneleri ile kullanılabilirlikleri gösterilmiştir.

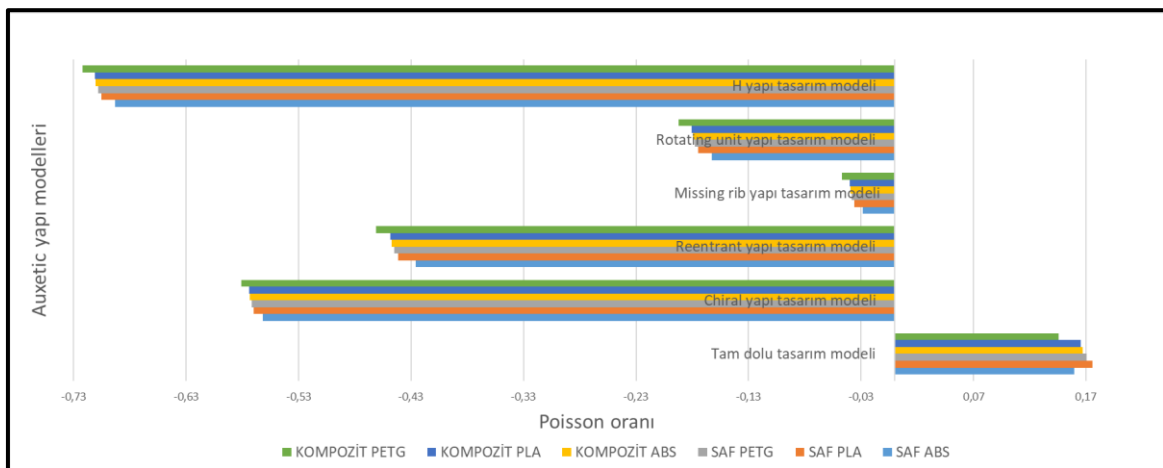


6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Poisson oranı, malzemenin elastik davranışını karakterize eden önemli bir parametredir. Bir malzeme çekildiğinde (uzatıldığında) veya basıldığında (sıkıştırıldığında), bu değişikliklerin nasıl yayıldığını ve malzemenin nasıl tepki verdiğini anlamak için kullanılır. Negatif Poisson oranı ise geleneksel tepkilere zıt özellik göstermesi ile mühendislik yapıları, köpükler ve kompozitler dahil olmak üzere çeşitli formlarda doğal malzemeler olarak kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada doğal malzemelerin yanı sıra, belirli uygulamalar için bu davranışı sergileyecek şekilde sentetik yapılar tasarlanmış ve en iyi auxetic davranışı sergileyen yapı, sentetik auxetic yapı kategorisinde bulunan yapılarla mukayese edilmiştir.

Yapılan çalışma ile kompozit ABS, kompozit PLA ve kompozit PETG olarak isimlendirilen ahşap kompozit malzemeler elde edilmiştir. Bu malzemelere ait fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özellikler belirlenmiştir.

Elde edilen kompozit malzemelerin üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile kullanım durumu değerlendirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen kompozit malzemelerle karmaşık yapıdaki auxetic yapı tasarımı, üç boyutlu yazıcı teknolojisinden biri olan ergiyik biriktirme yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir.



Şekil 6.1. Auxetic yapı modellerinin malzeme türü ve Poisson oranına etkisi

İki boyutlu auxetic malzemeler sınıflandırmasındaki kiral, reentrant, döner ve missing rib auxetic yapıları ile yeni tasarlanan auxetic yapı tasarımı (H tasarımı) mukayese edilmiştir.

Şekil 6.1 ile elde edilen kompozit malzemeler ve saf malzemeler için yapılan analiz sonuçlarında en yüksek poisson oranı -0,721897 ile yeni auxetic yapı tasarım modelinde (H yapı tasarım modeli) elde edilmiştir. Böylece iki boyutlu auxetic malzemeler sınıflandırmasına daha iyi auxetic özellik gösteren bir yapı tasarımı sunulmuştur. Ayrıca malzemelerin Poisson oranına etkisi incelendiğinde elde edilen PETG kompozit malzeme yapı birleşiminin en yüksek negatif Poisson oranına sahip olduğu görülmektedir. Malzemelere ahşap katkılarının eklenmesi ile malzeme yapı Poisson oranının ABS malzeme için %2,5 oranında, PLA malzeme için %0,9 oranında ve PETG malzeme için %1,9 oranında arttığı görülmektedir.

Ahşap plastik kompozit malzeme elde edilmesi ile genellikle malzemelerin dayanımı azalmaktadır. Aynı yerde kullanılmak üzere ahşap plastik kompozit malzemelerden yapılan bir tasarımın auxetic yapı kullanılarak tasarlanması azalan dayanım özelliğini büyük ölçüde bertaraf edebilmektedir. Bu sayede dayanıklı ve çevreci tasarımlar yapmak mümkün olmaktadır.

İlerleyen zamanlarda auxetic yapının yorulma ve hasar toleranslarının belirlenmesi, stress konsantrasyon faktörü hesaplamaları, termal genleşme durumunda davranışı, akustik alanda kullanıldığında etkileri, radyofrekans tasarımlarında anten tasarımlarına etkisini incelemek için önemli bir araştırma alanı olabilir.

Çeşitli alanlarda yapılan detaylı analizler, auxetic yapının pratik uygulamalardaki potansiyelini daha iyi anlamamıza katkı sağlayabilir. Bu çalışmaların ayrıca çevre dostu tasarımların geliştirilmesine önemli bir katkı sunması, malzeme mühendisliği ve tasarım alanlarında büyük ilerlemelere kapı aralayabilir. Ahşap plastik kompozit malzemelerin kullanımıyla elde edilen auxetic yapılar, dayanıklılık ve çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu sonuçlar ortaya koyabilir. Bu bağlamda, malzeme teknolojisinin ve tasarımın birleşimi, gelecekte daha etkili ve çevre dostu ürünlerin ortaya çıkmasına yönelik umut vaat eden bir alan olabilir.

KAYNAKLAR

1. Netravali, A. N. and Chabba, S. (2003). Composites get greener. *Materials Today*, 6(4), 22-29.
2. Wolcott, M. P. (2001). Wood–Plastic Composites. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 9759-9763.
3. La Mantia, F.P.and Morreale, M. (2011). Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(6), 579-588.
4. Witt, A. E. (1977). Applications in wood plastics. *Radiation Physics and Chemistry* (1977), 9(1-3), 271-288.
5. Ashori, A. (2008). Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99(11), 4661-4667.
6. Evans, K. E. and Alderson, A. (2000). Auxetic materials: functional materials and structures from lateral thinking. *Advanced materials*, 12(9), 617-628.
7. Niska, K. O. and Sain, M. (2008). *Wood-polymer composites*. North America: Chemical Rubber Company 1-23.
8. Bright, K.D. and P.M. Smith. (2002). Perceptions of new and established waterfront materials by US marine decision makers. *Wood and Fiber Science*, 34(2), 186-204.
9. Biltekin, H. (2005). *PE ve PP Polimerlerine Ahşap Tozu İlavesi ile Oluşturulan Karışımların Mekanik, Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14-25.
10. Gökalp, E. (2006). *Odunsu Materyal Kullanımının Polyester Esaslı (Mermerit) Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1-24.
11. Yıldırım, A. (2007). *Öğütülmüş Fındık Kabuğunun Polipropilen Matrisli Kompozitlerde Kullanılabilirliği*. Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-12.
12. Kabakcı, A. (2009). *Buğday Sapı Unu Oranının ve Plastik Tipinin Odun-Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
13. Bükim, H. (2009). *Fındık Kabuğu Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Sebs ve Sebs –G – Ma ile Modifikasyonu*. Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 14-25.
14. Dönmez Çavdar, A. (2011). *Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-24.

15. Birinci, E. (2011). *Asetillendirilmiş Sarıçam (Pinus Sylvestris L.) Odun Unu ile Yeni Odun Plastik Kompozitlerinin Üretimi*. Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
16. Durademir, A. (2011). *Öğütülmüş Bitki Kabukları ile Takviyeli Polimer Matrisli Karma Malzemelerin Mekanik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-12.
17. Yağan, D. (2013). *Ahşap Takviyeli Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Ferromangan Cürufunun Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-13.
18. Tufan, M. (2013). *Servis Ömrünü Tamamlamış Tel Direklerinden Odun Plastik Kompozit Üretimi*. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Acar, H. (2014). *MDF Tozu ve Pirinç Sapı Atıklarının Termoplastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
19. Acar, H. (2014). *MDF Tozu ve Pirinç Sapı Atıklarının Termoplastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
20. Birbilen, Y. (2014). *Cevap Yüzey Yöntemi (Cyy) Kullanılarak Şeker Pancarı Atığı Katkılı Alçak Yoğunluklu Polietilen (Aype) Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
21. Kaymakçı, A. (2015). *Çeşitli Güçlendirici Dolgularla Üretilen Ahşap Plastik Nanokompozitlerin Karakterizasyonu*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-12.
22. Günay, M. N. (2015). *Lignoselülozik Dolgu Maddesi Katkılı Hdpe (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) Esaslı Kompozitlerin Üretilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 3-23.
23. Baş, A. (2015). *Plastik Katkı Maddelerinin İzotaktik Polipropilen Ahşap Kompozitlerin Yapı ve Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, 17-22.
24. Akbaş, S. (2015). *Hizmet Ömrünü Tamamlamış Kreozot İçeren Emprenyeli Ürünlerin Odun Plastik Kompozitlerinde (Opk) Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-24.
25. Yılmaz, E. (2016). *Çinko Borat Maddesinin Odun Plastik Kompozitlerde Antifungal Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
26. Çukur, U. (2016). *Giresun İlinde Bulunan Lignoselülozik Materyallerden Polimer Kompozit Üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 32-35.

27. Çakır, C. (2016). *Mobilya Bağlantı Elemanı Olarak Odun Plastik Kompozitlerden Elde edilen Kavelanın Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 21-24.
28. Dalu, M. (2017). *Investigation on Properties of Wood Plastic Composites Made of Treated Wood Flour with T Analith E and Poly Lactic Acid. (PLA)* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-24.
29. Çavuş, V. (2017). *Farklı Erime Akış İndeksine Sahip Polipropilen Esaslı Ahşap Polimer Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
30. Şahinbaş, S. (2017). *Alkali Ön İşlemine Uğratılmış Atık Gazete Kâğıdı Liğerlerinin Plastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 32-35.
31. Çot, A. (2017). *Sepiyolit Mineralinin Odun Plastik Kompozit Malzemede Kullanımının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
32. Bala, E. (2018). *Ahşap Plastik Kompozit Malzemelerden Üretilen Bazı Birleştirme Elemanlarının Mekanik Performans Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 51-53.
33. Özğan, A., O. (2019). *Plastik Kompozit Üretiminde Odun ve Yumurta Kabuğı Kullanımının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 13-35.
34. Çetin, B. (2019). *Doğal Lif ile Güçlendirilmiş Polilaktik Asit/Polipropilen Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 14-17.
35. Eraydın, E. (2019). *Pişirme Kâğıtlarının Plastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 32-35.
36. Arıkan, A. K. (2019). *Genleştirilmiş Perlitin Odun Plastik Malzemede Kullanımının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-24.
37. Yılmaz, G. (2020). *Termal İşlem Uygulanmış Mısır Saplarından Üretilen Odun Plastik Kompozitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 33-34.
38. Okumuş, Ş. (2020). *Fındık Zurufundan Üretilen Odun Plastik Kompozitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri*. Yüksek Lisans Tez Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 33-34.
39. Durmaz, S. (2020). *Karbon ve Cam Yünü Dokuma Kumaşları ile Odun Plastik Kompozitlerinin Teknik Özelliklerinin Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 51-53.

40. Özdemir, M. (2021). *Bitkisel Atık Yağlar ve Atık Gazete Kâğıdı Liflerinin Atık Polipropilen Kompozitlerinde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Artvin, 40-50.
41. Türk, M. (2021). *Mobilya Üretim Atıklarının Yüksek Katma Değerli Biyokompozitlere Dönüştürülmesi*. Doktora Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 66-78.
42. Masum, A. (2021). *Mısır Sömeği ve Pamuk Çırçır Atıklarından Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 51-53.
43. Şahin, M. (2023). *Aralama Çalışması Sonrasında Elde Edilen Kayın Odunlarının Vekupulasının Odun Plastik Kompozit (Opk) Üretiminde Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya, 41-44.
44. İnternet: Wood Plastic Composite. 2013-2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/search?q=wood-plastic%20composite>. 2023.09.02.
45. Khalid, M. Y., Arif, z. U., Ahmed, W. and Arshad, H. (2022). Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 31, e00382.
46. Greene, J.P. (2021). 13-Extrusion. In *Plastics Design Library, Automotive Plastics and Composites*, USA: William Andrew Publishing, 223-40.
47. Greene, J.P. (2021). 14-Injection Molding. In *Plastics Design Library, Automotive Plastics and Composites*, USA: William Andrew Publishing, 241-254.
48. Greene, J.P. (2021). 16-. Compression Molding. In *Plastics Design Library, Automotive Plastics and Composites*, USA: William Andrew Publishing, 265-278.
49. Klyosov, A. A. (2010). Wood-plastic composites. *Beijing: Science Press*, 1–7.
50. Wang, Q. (2010). Wood plastic composites manufacture and application. *Beijing: Science Press*, 12–14.
51. Tamrakar, S., Kiziltas, A., and Douglas, J. G. (2011). Time and temperature dependent response of a wood–polypropylene composite. *Compos.* 42 (7), 834-842.
52. Zahedi, M., Tabarsa, T., Ashori, A., Madhoushi, M., and Shakeri, A. (2013). A comparative study on some properties of wood plastic composites using canola stalk, Paulownia, and nanoclay. *Journal of Applied Polymer Science*, 129 (3), 1491–1498.
53. Bai, X. (2014). PVC wood-plastic composites. 04. *Beijing: Beijing Jiaotong University Press*, 2–3.
54. Di, M., and Wang, Q. (2016). Surface treatment and cementation of wood-plastic composites. 03. *Beijing: Science Press*, 1–3.

55. Pulngern, T., Chitsamran, T., Chucheeepsakul, S., Rosarpitak, V., Patcharaphun, S., and Sombatsompop, N. (2016). Effect of temperature on mechanical properties and creep responses for wood/PVC composites. *Construction and Building Materials*, 111, 191–198.
56. Liu, W. (2018). Research on innovation and development of recycling technology for waste plastics. 09. *Beijing: Scientific and Technical Documents Publishing House*, 1–4.
57. Shi, T., Zhu, L., and Li, X. (2019). Research progress in anti-aging properties of wood-plastic composite. *For. Mach. Woodwork. Equip.* 47 (04), 7–10.
58. Xue, X., Lin, C., Wu, F., Li, and Liao, J. (2023). Lattice structures with negative Poisson's ratio: A review. *Materials Today Communications*, 34, 105132.
59. Lakes, R. (1987). Negative Poisson's ratio materials. *Science*, 238, 551.
60. Mazaev, A., Ajeneza, O., and Shitikova, M. (2020). Auxetics materials: classification, mechanical properties and applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 747, 012008.
61. Gunton, D. J., and Saunders, G. A. (1972). The Young's modulus and Poisson's ratio of arsenic, antimony and bismuth. *Journal of Materials Science*, 7, 1061–8.
62. Li, Y. (1976). The anisotropic behavior of Poisson's ratio, Young's modulus, and shear modulus in hexagonal materials. *Physical Status Solidi A*, 38, 171–5.
63. Rossow, W. B., Whitehead, J. A., Covey, C., and Walterscheid, R. L. (1992). Elasticity of α -cristobalite: asilicon dioxide with a negative Poisson's ratio. *Science*, 257, 650-2.
64. Love, A. E. H. (2013). A treatise on the mathematical theory of elasticity. *Cambridge university press*, 662.
65. Williams, J. L., and Lewis, J. L. (1982). Properties and an anisotropic model of cancellous bone from the proximal tibial epiphysis. *Journal of Biomechanical Engineering*, 104, 50–6.
66. Veronda, D. R., and Westmann, R. A. (1970). Mechanical characterization of skin-Finite deformations. *Journal of Biomechanics*, 3, 111–24.
67. Frolich, L. M., LaBarbera, M., and Stevens, W. P. (1994). Poisson's ratio of a crossed fibre sheath: the skin of aquatic salamanders. *Journal Zoologi*, 232, 231–52.
68. Smith, C. W., Grima, J. N., and Evans, K. E. (2000). Novel mechanism for generating auxetic behaviour in reticulated foams: Missing rib foam model. *Acta Mater.*, 48, 4349–56.
69. Mizzi, L., Azzopardi, K. M., Attard, D., Grima, J. N., and Gatt, R. (2015). Auxetic metamaterials exhibiting giant negative Poisson's ratios. *Phys. Status Solidi- Rapid Res. Lett.*, 9, 425–30.

70. Masters, I. G., and Evans, K. E. (1996). Models for the elastic deformation of honeycombs. *Composite Structures*, 35, 403–22.
71. Rad, M. S., Prawoto, Y., and Ahmad, Z. (2014). Analytical solution and finite element approach to the 3D re-entrant structures of auxetic materials. *Mechanics of Materials*, 74, 76–87.
72. Grima, J. N., and Evans, K. E. (2000). Auxetic behavior from rotating squares. *Journal of Materials Science Letters*, 19, 1563–5.
73. Alderson, A., and Evans, K. E. (2001). Rotation and dilation deformation mechanisms for auxetic behaviour in the α -cristobalite tetrahedral framework structure. *Physics and Chemistry of Minerals*, 28, 711–8.
74. Wang, S., and Lee, S. W. R. (2011). Fast Copper Plating Process for Through Silicon Via (TSV) Filling. *Proceedings ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE2011)*, (Denver, USA), 855.
75. Ha, C. S., Plesha, M. E., and Lakes, R. S. (2016). Chiral three-dimensional isotropic lattices with negative Poisson's ratio. *Physical status solidi B*, 253, 1243–51.
76. Evans, K. E., and Alderson, K. L. (2000). Auxetic materials: the positive side of being negative. *Engineering Science and Education Journal*, 9, 148–54.
77. Alderson, A., and Alderson, K. L. (2007). Auxetic materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 221, 565–75.
78. Caddock, B. D., and Evans, K. E. (1989). Microporous materials with negative Poisson's ratios. I. Microstructure and mechanical properties. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 22, 1877–82.
79. Bouaziz, O., Masse, J. P., Allain, S., Org  as, L., and Latil, P. (2013). Compression of crumpled aluminum thin foils and comparison with other cellular materials. *Materials Science and Engineering, A*, 570, 1–7.
80. Schenk, M., and Guest, S. D. (2013). Geometry of Miura-folded metamaterials. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 3276–81.
81. Rodney, D., Gadot, B., Martinez, O. R., Du, Roscoat, S. R., and Org  as, L. (2016). Reversible dilatancy in entangled single-wire materials. *Nature Materials*, 15, 72–7.
82. Wang, K., Chang, Y., Chen, Y., Zhang, C., and Wang, B. (2015). Designable dual-material auxetic metamaterials using three-dimensional printing. *Materials & Design*, 67, 159–64.
83. Gang Zhang, X., Ren, X., Jiang, W., Yu Zhang, X., Luo, C., Zhang, Y., and Min Xie, Y. (2023). A novel auxetic chiral lattice composite: Experimental and numerical study. *Composite Structures*, 282, 115043.

84. Afdhal, Jirousek, O., Satria Palar, P., Falta, J., and Bimo Dwianto, Y. (2023). Design exploration of additively manufactured chiral auxetic structure using explainable machine learning. *Materials & Design*, 232, 112128.
85. Li, K., Zhang, Y., Hou, Y., Su, L., Zeng, G., and Xu, X. (2023). Mechanical properties of re-entrant anti-chiral auxetic metamaterial under the in-plane compression, *Thin-Walled Structures*, 184, 110465.
86. Iantaffi, C., Bele, E., McArthur, D., Lee, P. D., and Leung, C. L. A. (2023). Auxetic response of additive manufactured cubic chiral lattices at large plastic strains. *Materials & Design*, 233, 112207.
87. Xiao, D., Dong, Z., Li, Y., Wu, W., and Fang, D. (2019). Compression behavior of the graded metallic auxetic reentrant honeycomb: Experiment and finite element analysis. *Materials Science and Engineering: A*, 758, 163-171.
88. Khoshgoftar, M. J., and Barkhordari, A. (2022). Sensitivity analysis and study of parameters affecting auxetic cells with reentrant cell structure. *Materials Today Communications*, 31, 103786.
89. Shao, Y., Meng, J., Ma, G., Ren, S., Fang, L., Cao, X., Liu, L., Li, H., Wu, W., and Xiao, D. (2021). Insight into the negative Poisson's ratio effect of the gradient auxetic reentrant honeycombs. *Composite Structures*, 274, 114366.
90. Tzortzinis, G., Gross, A., and Gerasimidis, S. (2022). Auxetic boosting of confinement in mortar by 3D reentrant truss lattices for next generation steel reinforced concrete members. *Extreme Mechanics Letters*, 52, 101681.
91. Saleem, F., Li, S., Cui, S., Liu, X., Xu, T., Mei, L., Bian, Y., Miao, C., and Luo, T. (2023). The strain rate and density dependence of the mechanical properties of closed-cell aluminum foam. *Materials Science and Engineering: A*, 884, 145568.
92. Luo, Y. M., He, C., Tao, Z., Hao, J., Hang Hang Xu, Zhang, Y., Zhang, F., and Ren, X. (2023). A surface-wave seismic metamaterial filled with auxetic foam. *International Journal of Mechanical Sciences*, 108715.
93. Asad, M., Win, N., Zahra, T., Thambiratnam, D. P., Chan, T. H. T., and Zhuge, Y. (2023). Enhanced energy absorption of auxetic cementitious composites with polyurethane foam layers for building protection application. *Journal of Building Engineering*, 78, 107613.
94. Sun, H., Sun, Y., Buranabunwong, C., Li, X., Zhang, S., Chen, Y., and Li, M. (2023). Flexible capacitive sensor based on Miura-ori structure. *Chemical Engineering Journal*, 468, 143514.
95. Zhao, C., Li, M., Zhou, X., Liu, T., Xing, J., Chen, Y., and Zhang, X. (2023). Deployable structure based on double-layer Miura-ori pattern. *Mechanics Research Communications*, 131, 104152.
96. Sharma, H., and Upadhyay, S. H. (2022). Geometric analyses and experimental characterization of toroidal Miura-ori structures. *Thin-Walled Structures*, 181, 110141.

97. Gao, J., and You, Z. (2022). Origami-inspired Miura-ori honeycombs with a self-locking property. *Thin-Walled Structures*, 171, 108806.
98. Zhang, X., and Chen, W. (2023). Folding a flat rectangular plate of uniform-thickness panels using Miura-ori. *International Journal of Mechanical Sciences*, 257, 108570.
99. Etemadi, E., Zhang, M., Li, K., Bashtani, M., Mei Po Ho, M., Tahir, D., and Hu, H. (2023). Load-bearing characteristics of 3D auxetic structures made with carbon fiber reinforced polymer composite. *Composite Structures*, 319, 117206.
100. Thi Hai Van, N., and Hong Nguyen, T. (2023). Transient responses of double-curved sandwich two-layer shells resting on Kerr's foundations with laminated three-phase polymer/GNP/fiber surface and auxetic honeycomb core subjected to the blast load. *Defence Technology*, article in press.
101. Pham, Q. H., Tran, V. K., and Tran, T. T. (2023). Vibration characteristics of sandwich plates with an auxetic honeycomb core and laminated three-phase skin layers under blast load. *Defence Technology*, 24, 148-163.
102. Dat, N. D., Quan, T. Q., and Duc, N. D. (2022). Vibration analysis of auxetic laminated plate with magneto-electro-elastic face sheets subjected to blast loading. *Composite Structures*, 280, 114925.
103. Yang, S., Chalivendra, V. B., and Kim, Y. K. (2017). Fracture and impact characterization of novel auxetic Kevlar®/Epoxy laminated composites. *Composite Structures*, 168, 120-129.
104. Belforte, D.A. and Jafferson, J.M. (2016). Laser Cutting. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 4399-4402.
105. Li, S., Cheng, P., Ahzi, S., Peng, Y., Wang, K., Chinesta, F., and Correia, J.P.M. (2023). Advances in hybrid fibers reinforced polymer-based composites prepared by FDM: A review on mechanical properties and prospects. *Composites Communications*, 40, 101592.
106. Mohsenizadeh, S, Alipour, R., Shokri Rad, M., Farokhi Nejad, A., and Ahmad, Z. (2015). Crashworthiness assessment of auxetic foam-filled tube under quasi-static axial loading. *Materials & Design*, 88, 258-268.
107. Chameekara T., Wanniarachchi, A. A., Baroutaji, A., and Singh, M. (2022). Mechanical performance of additively manufactured cobalt-chromium-molybdenum auxetic meta-biomaterial bone scaffolds. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 134, 105409.
108. Etemadi, E., Zhang, M., Li, K., Bashtani, M., Mei Po Ho, M., Tahir, D., and Hu, H. (2023). Load-bearing characteristics of 3D auxetic structures made with carbon fiber reinforced polymer composite. *Composite Structures*, 319, 117206.
109. Sloan, M.R., Wright, J.R., and Evans, K.E. (2011). The helical auxetic yarn – A novel structure for composites and textiles; geometry, manufacture and mechanical properties. *Mechanics of Materials*, 43(9), 476-486.

110. Madhu Balan P., Johnney Mertens A., Raju Bahubalendruni, M. V. A. (2023). Auxetic mechanical metamaterials and their futuristic developments: A state-of-art review. *Materials Today Communications*, 34, 105285.
111. Dumont, P., Martoia, F., and Orgéas, L. (2023). 11- Compression moulding, In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Design and Manufacture of Structural Composites. *Woodhead Publishing*, 273-300.
112. McKeen, L. W. (2009). Chapter 11- Table of Poisson's Ratios, In *Plastics Design Library, The Effect of Creep and Other Time Related Factors on Plastics and Elastomers (Second Edition)*, William Andrew Publishing, 373-381.
113. Wang, Y., Lakes, R. (2005). Composites with Inclusions of Negative Bulk Modulus: Extreme Damping and Negative Poisson's Ratio. *Journal of Composite Materials- J Compos Mater*, 39.
114. Milton, G. (1992). Composite materials with Poisson's ratios close to-1. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 40, 1105-1137.
115. Voyiadjis, G. Z. and Kattan, P. I. (2023). Chapter 5- Other damage variables, *Scalar Damage and Healing Mechanics*, Elsevier, 53-61.
116. Uzun, M., Alderson, A., Alderson, K. (2009). Textile Applications of Auxetic Materials, 6. *International Workshop on Auxetics and Related Systems, UK*
117. Choi J.B., Lakes R.S. (1995). Nonlinear analysis of the Poisson's ratio of negative Poisson's ratio foams. *Journal of Composite Materials*, 29(1), 113-128.
118. Li, T., Liu, F., and Wang, L. (2020). Enhancing indentation and impact resistance in auxetic composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 198, 108229.
119. Hu, J.S., Wang, B.L., Hirakata, H., and Wang, K.F. (2023). Thermal shock fracture analysis of auxetic honeycomb layer based on non-Fourier heat conduction. *Engineering Structures*, 279, 115581.
120. Choi, J.B., Lakes, R.S. (1992). Nonlinear properties of polymer cellular materials with a negative Poisson's ratio. *Journal of Materials Science*, 27(17), 4678-4684.
121. Zouaoui, M., Saifouni, O., Gardan, J., Makke, A., Recho, N., and Kauffmann, J. (2022). Improvement of fracture toughness based on auxetic patterns fabricated by metallic extrusion in 3D printing. *Procedia Structural Integrity*, 42, 680-686.
122. Zhang, Z., Zhang, Z., and Huang, X. (2023). Experimental study on the impact response of the polyurea-coated 3D auxetic lattice sandwich panels subjected to air explosion, *Composite Structures*, 323, 117500.
123. Tao, Z., Ren, X., Guo Zhao, A. Sun, L., Zhang, Y., Jiang, W., Han, D., Yu Zhang, X., and Min Xie, Y. (2022). A novel auxetic acoustic metamaterial plate with tunable bandgap. *International Journal of Mechanical Sciences*, 226, 107414.

124. Madhu Balan, P., Johnney Mertens, A., and Raju Bahubalendruni, M. V. A. (2023). Auxetic mechanical metamaterials and their futuristic developments: A state-of-art review, *Materials Today Communications*, 34, 105285.
125. Wang, Z., Zulifqar, A., and Hu, H. (2016).7- Auxetic composites in aerospace engineering. *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering*, Woodhead Publishing, 213-240.
126. Peliński, K., and Smardzewski, J. (2022). Static response of synclastic sandwich panel with auxetic wood-based honeycomb cores subject to compression. *Thin-Walled Structures*, 179, 109559.
127. Ou, J., Dai, S., Ma, Z., Peters, J., and Vlavianos, N. (2021). *Methods and apparatus for shape transformation of multi-linkage structure*. U.S. Patent No. 11,208,800.
128. Virr, A., Darkin, D., Row, N. J., and Klasek, P. J. (2021). *Humidification arrangement for a respiratory apparatus*. U.S. Patent No. 11,207,485.
129. Bruce, R. M., Lee, E. K., Yoo, J. Y., and Ichikawa, C. (2021). *Braided articles and methods for their manufacture*. U.S. Patent No. 11,202,483.
130. Toronjo, A., McManus, D., Acevedo, J., and Guyan, A. (2021). *Article of apparel with dynamic and lock-out regions*. U.S. Patent No. 11,185,128.
131. Lawless, D. L. (2021). *Sole structures with regionally applied auxetic openings and siping*. U.S. Patent No. 11,147,341.
132. Hubert-Choinard, F., Thouement, J.-F., and Richard, S. (2021). *Method of manufacturing a panel for an aircraft propulsion unit nacelle*. U.S. Patent No. 11,142,343.
133. Spann, A., Schmitt, E., Elabbasi, N., Diest, K., Smyth, K. M., Landig, R.E. K., and Ouderkirk, A. J. (2021). *Reduced hysteresis and reduced creep in nanovoiced polymer devices*. U.S. Patent No. 11,133,455.
134. Wang, K., Wang, B., and Zhang, C. (2021). *Systems and methods for growing cell cultures*. U.S. Patent No. 11,124,763.
135. Frappier, J. (2021). *Snowboard binding having auxetic components*. U.S. Patent No. 11,123,628.
136. Martino-Gonzalez, E., Velez De Mendizabal Alonso, I., and Apellaniz De La Fuente, D. (2021). *Deformable auxetic structure and manufacturing process*. U.S. Patent No. 11,117,344.
137. Blakely; K.S., and Toronjo, A. (2021). *Article of apparel including fabric having auxetic structure*. U.S. Patent No. 11,109,629.
138. Li, Y., and Jiang, Y. (2021). *Three-dimensional structures having adjustable auxetic effects*. U.S. Patent No. 11,072,874.

139. Cross, T. M., Farris, B. N., and Langvin, E. (2021). *Article of footwear with auxetic sole structure that includes aggregate*. U.S. Patent No. 11,058,173.
140. Roddis, B., Lawrence, M., Kelly, J., Goldberg-Poch, Z. M., Oaks, P. I., Rodriguez, C. I., IV, H. W., and Tachibana, D. R. (2021). *High impact and high support bras*. U.S. Patent No. 11,058,155.
141. Martin, T. P., Rohde, C. A., Orris, G., Charipar, K., and Pique, A. (2021). *Elastic material for coupling time-varying vibro-acoustic fields propagating through a medium*. U.S. Patent No. 11,056,090.
142. Langvin, E., Cross, T. M., Klug, B. R., Liles, T. K., Mervar, R., and Henrichot, O. (2021). *Auxetic sole with upper cabling*. U.S. Patent No. 11,013,293.
143. Passman, J. A. Azanki, O.F., and Amefia, K. A. (2021). *Adjustable percutaneous heart valve repair system*. U.S. Patent No. 11,007,061.
144. Cross, T. M., Farris, B. N., and Langvin, E. (2021). *Footwear with soles having auxetic structures*. U.S. Patent No. 11,006,696.
145. Lawless, D. L. (2021). *Sole structure having auxetic structures and sipes*. U.S. Patent No. 10,993,501.
146. Bailey, C., Echols, O. A., and Hurd, R. P. (2021). *Garment with zoned insulation and variable air permeability*. U.S. Patent No. 10,973,268.
147. Campbell, D. (2021). *Sports ball*. U.S. Patent No. 10,967,229.
148. Zeng, C., Liang, Z., Li, Y., Luo, S., and Liu, T. (2021). *Negative poisson ratio piezoresistive sensor and method of manufacture*. U.S. Patent No. 10,955,300.
149. Cross, T.M., and Podhajny, D.A. (2021). *Knitted component having an auxetic portion and a tensile element*. U.S. Patent No. 10,934,641.
150. Velez De Mendizabal Alonso, I., Apellaniz De La Fuente, D., and Martino-Gonzalez-Aranjuez, E. (2021). *Modular mold and method for manufacturing a panel of fiber reinforced material*. U.S. Patent No. 10,899,091.
151. Cross, T. M., Farris, B. N. and Langvin, E. (2021). *Pre-tensioned article and method of making*. U.S. Patent No. 10,888,135.
152. Nurnberg, H.-P., Price, D. S., and Hanson, H. N. (2020). *Non-inflatable sports balls*. U.S. Patent No. 10,850,165.
153. Martin, A. J., and Sibbach, A. W. (2020). *Casing with tunable lattice structure*. U.S. Patent No. 10,830,102.
154. Boyce, B., Jared, B. H., Heckman, N., Huber, T., Adstedt, K., Casias, Z., Mook, W., Kaehr, B. J., Lester, B. T., and Schwaller, E. (2020). *Topological damping materials and methods thereof*. U.S. Patent No. 10,808,794.
155. Gordon, R. (2020). *Respirators and related methods*. U.S. Patent No. 10,799,728.

156. Passman, J. A., and Azanki, O.F. (2020). *Percutaneous implant retrieval connector and method*. U.S. Patent No. 10,799,350.
157. Neumann, K., and Toronjo, A. (2020). *Article of footwear*. U.S. Patent No. 10,791,797.
158. Pasini, D., and Rafsanjani Abbasi, A. (2020). *Bistable auxetics*. U.S. Patent No. 10,767,032.
159. Nappi, F. (2020). *Bio-resorbable reticular prosthesis and related manufacturing method*. U.S. Patent No. 10,765,778.
160. Yeh, J.-H., Chiu, Y.-T., Chen, S.-M., and Peng, C.-K. (2020). *Three-dimensional structure*. U.S. Patent No. 10,751,970.
161. Campos, F., Czech, C.D., and Elder, Z. M. (2020). *Footwear sole structure*. U.S. Patent No. 10,721,990.
162. Nordstrom, M. D. (2020). *Article of footwear with one or more auxetic bladders*. U.S. Patent No. 10,716,361.
163. Cross, T. M., Farris, B. N., and Langvin, E. (2020). *Sole structure with holes arranged to form an auxetic structure*. U.S. Patent No. 10,716,360.
164. Perahia, R., Shahan, D. W., Henry, C. P., Nguyen, H., and Sorenson, L. D. (2020). *Auxetic interposer for microelectromechanical systems (MEMS) device and MEMS device package including the same*. U.S. Patent No. 10,696,546.
165. Mottram, S., and Rosicky, J. (2020). *Cranial remoulding orthosis and method of manufacture thereof*. U.S. Patent No. 10,695,211.
166. Spackman, C.C., and Simone, M. W. (2020). *Golf club head faceplates with lattices*. U.S. Patent No. 10,675,517.
167. Nusier, S., Baccouche, M. R., Barbat, S. D., and Ghannam, M. Y. (2020). *Vehicle rocker beam*. U.S. Patent No. 10,633,029.
168. Bertoldi, K., Innes, M. C., Javid, F., Pham, M. Q., Schaenzer, M. and Shanian, A. (2020). *Negative poisson's ratio waffle structures*. U.S. Patent No. 10,611,118.
169. Bertoldi, K., Guerrero, F.E. S., Javid, F., Jette, F., Pham, M. Q., Schaenzer, M., and Shanian, A. (2020). *Hybrid dimple-and-void auxetic structures with engineered patterns for customized NPR behavior*. U.S. Patent No. 10,603,866.
170. Tibbits, S. J. E., Papadopoulou, A., and Laucks, J. S. (2020). *Active lattices*. U.S. Patent No. 10,549,505.
171. Farris, B. N., and Gheorghian, P. (2020). *Upper for an article of footwear with auxetic configuration*. U.S. Patent No. 10,542,792.
172. Harple, T. S., Bitonti, F. A., and Wildfeuer, P. E. (2020). *3D printed sensor and cushioning material*. U.S. Patent No. 10,542,624.

173. Zeng, C., and Li, Y. (2019). Material systems and methods of manufacture for auxetic foams. U.S. Patent No. 10,479,004.
174. Rogers, J., Woolfe, K., Guild, M. D., Martin, T. P., Naify, C. J., and Rohde, C. A. (2019). *Underwater acoustic leaky wave antenna*. U.S. Patent No. 10,466,353.
175. Cross, T. M., Hoffer, K. W., Jones, D. P., Kirschner, P. B., Langvin, E., and Meschter, J. C. (2019). *Auxetic structures and footwear with soles having auxetic structures*. U.S. Patent No. 10,455,894.
176. Parker, K. W., Collings, M. W. G., O'Hara, W. D., Young, A. M., Stevenson, P. J., Bateman, G. J., and Lin, K. X. (2019). *Chair and chair component*. U.S. Patent No. D863,807.
177. Amano, J., and Stopa, M. (2019). *Three-dimensional printing of auxetic/non-auxetic combo objects*. U.S. Patent No. 10,442,132.
178. Chuang, C.-H., Jaradi, D. M., Faruque, M. O., and Farooq, S. M. (2019). *Seatbelt anchor*. U.S. Patent No. 110,434,977.
179. Ng, T. N., Mei, P., Cobb, C. L., Ready, S. E., and Paschkewitz, J. S. (2019). *Structural designs for stretchable, conformal electrical interconnects*. U.S. Patent No. 10,427,397.
180. Hariton, I., Benichou, N., Nitzan, Y., Felsen, B., Nguyen-Thien-Nhon, D., Khanna, R. A., Nguyen, S. V., Levi, T. S., and Pelled, I. (2019). *Low profile transcatheter heart valve*. U.S. Patent No. 10,426,611.
181. Guyan, A., McManus, D., Acevedo, J., and Toronjo, A. (2019). *Footwear upper with dynamic and lock-out regions*. U.S. Patent No. 10,426,226.
182. Plant, D. J. (2019). *Energy absorbing system*. U.S. Patent No. 10,408,294.
183. Farris; B.N. (2019). *Article of footwear including portions configured for customization*. U.S. Patent No. 10,398,190.
184. Kuo, C.-C., Wang, M.-J., Zhang, C., Wang, H.-P., and Wang, K. (2019). *Guard padding with sensor and protective gear including the same*. U.S. Patent No. 10,390,578.
185. Langvin; E. (2019). *Footwear having auxetic structures with controlled properties*. U.S. Patent No. 10,383,392.
186. Robinson, S. R. (2019). *Fire retardant expansion joint seal system with elastically-compressible body members, internal spring members, and connector*. U.S. Patent No. 10,358,813.
187. Anatole, V., Martin, G., Miller, P., Keita, G., Gelly, G., Guilly, V., and Drobe, B. (2019). *Eyeglasses equipment including a joint and method for manufacturing such an eyeglasses equipment*. U.S. Patent No. 10,338,405.

188. Ma, Z.-D. (2019). *Ultralightweight airless ATV wheels based upon negative Poisson ratio (NPR) auxetic structures*. U.S. Patent No. 10,315,459.
189. Sogard, D. J., Smith, S. R. Hill, J. P., Haverkost, P. A., and Shoemaker, S.M. (2019). *Synthetic composite structures*. U.S. Patent No. 10,314,700.
190. Cross, T.M. (2019). *Footwear soles with auxetic structures*. U.S. Patent No. 10,285,471.
191. Cross, T.M. (2019). *Multi-component sole structure having an auxetic configuration*. U.S. Patent No. 10,278,448.
192. Li, Y., and Jiang, Y. (2019). *Chiral structures with adjustable auxetic effects*. U.S. Patent No. 10,266,310.
193. Hsu, Y.-Y., Kim, H. S., Schultz, C.A., Kindlon, D. M., Sunshine, D.D., Drzaic, P. S., Alousi, S., and Shyu, T. C. (2019). *Flexible circuit substrate with temporary supports and equalized lateral expansion*. U.S. Patent No. 10,199,323.
194. Toronjo, A. (2019). *Article of apparel including auxetic layer coupled to elastic layer*. U.S. Patent No. 10,195,815.
195. Krahnert, T., Patberg, L., and Mayer, S. (2019). *Method for producing a structural component, particularly for a vehicle body*. U.S. Patent No. 10,189,190.
196. Cross, T.M., and Podhajny, D. A. (2019). *Knitted component having an auxetic portion and a tensile element*. U.S. Patent No. 10,184,195.
197. Nordstrom, M. D., and Williams, P. (2018). *Dynamic materials integrated into articles for adjustable physical dimensional characteristics*. U.S. Patent No. 10,143,252.
198. Lawless, D. L. (2018). *Sole structures with regionally applied auxetic openings and siping*. U.S. Patent No. 10,070,688.
199. Geiger, P. (2018). *Method for producing, repairing and/or exchanging a housing, in particular an engine housing, and a corresponding housing*. U.S. Patent No. 10,066,508.
200. Faruque, M. O., Farooq, S. M. I., Jaradi, D. M., and Chuang, C.-H. (2018). *Seatbelt tongue*. U.S. Patent No. 10,064,452.
201. Wright, Z. C. (2018). *Article of footwear having an auxetic structure*. U.S. Patent No. 9,949,530.
202. Toronjo, A. (2018). *Articles of apparel including auxetic materials*. U.S. Patent No. 9,949,518.
203. Blakely, K. S., and Toronjo, A. (2018). *Articles of apparel with auxetic fabric*. U.S. Patent No. 9,936,755.

204. Ma, Z.-D. (2018). *Airless and runflat tire structures, components and assembly techniques*. U.S. Patent No. 9,908,369.
205. Cross, T. M. (2018). *Footwear with flexible auxetic ground engaging members*. U.S. Patent No. 9,901,135.
206. Cross, T. M. (2018). *Auxetic structures and footwear with soles having auxetic structures*. U.S. Patent No. 9,861,158.
207. Cross, T. M. (2017). *Footwear with auxetic ground engaging members*. U.S. Patent No. 9,775,408.
208. Innes, M. C. (2017). *Auxetic structure with stress-relief features*. U.S. Patent No. 9,709,274.
209. Valdez, M. G. and Nguyen, T. N. (2017). *Artificial heart valve with scalloped frame design*. U.S. Patent No. 9,675,452.
210. Soman, P., Chen, S., and Fozdar, D. (2017). *Microstructure biomaterials and fabrication methods therefor*. U.S. Patent No. 9,631,171.
211. Toronjo, A. (2017). *Articles of apparel including auxetic materials*. U.S. Patent No. 9,629,397.
212. Cross, T.M. (2017). *Footwear soles with auxetic material*. U.S. Patent No. 9,554,624.
213. Cross, T.M., Hoffer, K.W., Jones, D. P., Kirschner, P. B., Langvin, E., and Meschter, J. C. (2017). *Auxetic soles with corresponding inner or outer liners*. U.S. Patent No. 9,554,620.
214. Rajasekaran, R., Boucher, M.-A., Smith, C. W., Scarpa, F., and Evans, K. E. (2017). *Vibration damping*. U.S. Patent No. 9,494,206.
215. Wang, B., Zhang, C., Zeng, C., Kramer, L. D., and Gillis, A. (2016). *Prosthetic socket apparatus and systems*. U.S. Patent No. 9,486,333.
216. Hu; H. (2016). *Three dimensional negative poisson'S ratio spacer knitted fabric and method for making the same*. U.S. Patent No. 9,475,257.
217. Cross, T. M. (2016). *Midsole component and outer sole members with auxetic structure*. U.S. Patent No. 9,456,656.
218. Ma, Z.-D. (2016). *Bushings and bumpers based upon NPR (negative poisson's ratio) structures*. U.S. Patent No. 9,416,839.
219. Cross, T. M., Hoffer, K. W., Jones, D. P., Kirschner, P. B., Langvin, E., and Meschter, J. C. (2016). *Auxetic structures and footwear with soles having auxetic structures*. U.S. Patent No. 9,402,439.
220. Choi, S. J., Kim, H. J., Kim, M. S., Ko, K. J., Kang, K. H., and Choi, Y. J. (2016). *Airless tire*. U.S. Patent No. 9,387,726.

221. Scarpa, F., Smith, C. W., Miller, W., Evans, K., and Rajasekaran, R. (2016). *Vibration damping structures*. U.S. Patent No. 9,382,962.
222. Ma, Z.-D. (2016). *Rapidly deployable structures based upon negative poisson's ratio (NPR) auxetic components*. U.S. Patent No. 9,376,796.
223. Gerendas, M., Shanian, A., and Carson, C. (2016). *Auxetic locking pin*. U.S. Patent No. 9,353,783.
224. Sabatino, A. (2016). *Auxetic prosthetic implant*. U.S. Patent No. 9,241,808.
225. Mialhe, C. (2016). *Aircraft comprising an onboard weather radar antenna provided with inclined panels*. U.S. Patent No. 9,213,097.
226. Valdez, M. G., and Nguyen, T. N. (2015). *Artificial heart valve with scalloped frame design*. U.S. Patent No. 9,168,129.
227. Mun, D. Y., Kim, H. J., and Choi, S. J. (2015). *Airless tire*. U.S. Patent No. 9,120,351.
228. Nordstrom, M. D., and Williams, P. (2015). *Dynamic materials integrated into articles for adjustable physical dimensional characteristics*. U.S. Patent No. 9,060,551.
229. Summers, J. D., Kolla, A., Ju, J., and Ziegert, J. (2015). *Chiral honeycomb meso-structures for shear flexure*. U.S. Patent No. 8,999,480.
230. Martin, P. G. (2015). *Filtering face-piece respirator having an auxetic mesh in the mask body*. U.S. Patent No. 8,967,147.
231. Meyer, M. P., Davis, M. W., Arcand, B. Rassat, J., Anderson, J., and Sutermeister, D. (2015). *Bifurcated stent and delivery system*. U.S. Patent No. 8,932,340.
232. Hook, P. B., Evans, K.E., Hannington, J. P., Hartmann-Thompson, C., and Bunce, T. R. (2014). *Composite materials and structures*. U.S. Patent No. 8,916,262.
233. Ugbolue, S. C., Kim, Y. K., Warner, S. B., Fan, Q., Yang, C.-L., Kyzymchuk, O. (2014). *Auxetic fabric structures and related fabrication methods*. U. S. Patent No. 8,772,187.
234. Torii, H., and Tanaka, Y. (2014). *Original and article manufacturing method using same*. U. S. Patent No. 8,734,702.
235. Alberg, R. L., and Mart'in, P. G. (2014). *Method of making an auxetic mesh*. U. S. Patent No. 8,728,369.
236. Summer, J. D., Berglind, L. A., and Ju, J. (2014). *Method to design honeycombs for a shear flexible structure*. U. S. Patent No. 8,688,421.
237. Dolla, W. J. S. (2014). *Rotational expansion auxetic structures*. U. S. Patent No. 8,652,602.

238. Rossow, R., McConnell, C., and Verma, V. (2013). *Blast control blanket*. U. S. Patent No. 8,573,125.
239. Ma, Z.-D., Liu, Y., Liu, X., Sun, C., and Cui, Y. (2013). *Ultralightweight runflat tires based upon negative poisson ratio (NPR) auxetic structures*. U. S. Patent No. 8,544,515.
240. De Luca, N., Perkins, A. B., Washburn, S. L., and Gangel, J. D. (2013). *Expandable foam sheet that locks in expanded configuration*. U. S. Patent No. 8,486,507.
241. Kornbluh, R. D., Pelrine, R. E., Prahlad, H., and Stanford, S. E. (2013). *Mechanical meta-materials*. U. S. Patent No. 8,436,508.
242. Meli, G., Recca, G., Cicala, G., and Ursino, S. (2013). *Method for the production of cellular materials*. U. S. Patent No. 8,343,404.
243. Alderson, A., Alderson, K. L., Davies, P. J., and Smart, G. M. (2012). *Process for the preparation of auxetic foams*. U. S. Patent No. 8,277,719.
244. Shaw, J. A., and Grummon, D. S. (2012). *Manufacture of shape-memory alloy cellular materials and structures by transient-liquid reactive joining*. U. S. Patent No. 8,273,194.
245. Thiagarajan, C., Adriaansen, F., and Kumar, B. (2012). *Apparatus for connecting panels*. U. S. Patent No. 8,191,329.
246. Kornbluh, R. D., Pelrine, R. E., Prahlad, H. E., and Stanford, S. E. (2012). *Mechanical meta-materials*. U. S. Patent No. 8,164,232.
247. McKnight, G. P., Massey, C., Barvosa-Carter, W., Henry, C. P., Herrera, G. A., Keefe, A. C., Browne, A. L., and Johnson, N. L. (2012). *Methods for varying seal force in active seal assemblies for doors*. U. S. Patent No. 8,109,042.
248. Thiagarajan, C., Adriaansen, F., and Kumar, B. (2012). *Apparatus for connecting panels*. U. S. Patent No. 8,074,418.
249. Burriesci, G., and Bergamasco, G. (2012). *Annuloplasty prosthesis with an auxetic structure*. U. S. Patent No. 8,034,103.
250. Hook, P. (2011). *Uses of auxetic fibres*. U. S. Patent No. 8,002,879.
251. Kothera, C. S., Woods, B. K. S., Wereley, N. M., Chen, P. C., and Bubert, E. A. (2011). *Cellular support structures used for controlled actuation of fluid contact surfaces*. U. S. Patent No. 7,931,240.
252. Ma, Z.-D. (2011). *Three-dimensional auxetic structures and applications thereof*. U. S. Patent No. 7,910,193.
253. Dittrich, K. W. (2011). *Cover skin for a variable-shape aerodynamic area*. U. S. Patent No. 7,896,294.

254. Namburi, A. N., Rao, H., and Thiagarajan, C. (2010). *Composite material for turbine support structure*. U. S. Patent No. 7,824,763.
255. McKnight, G. P., and Henry, C. P. (2010). *Deformable variable-stiffness cellular structures*. U. S. Patent No. 7,678,440.
256. Chaudhari, T. D., Thiagarajan, C., Theethira, P.K., Shuler, S., and Jaarda, E. J. (2007). *Energy absorbing articles*. U. S. Patent No. 7,160,621.
257. Kao, J., Gannon, M. R., Stelljes, Jr., M. G., and Trokhan, P. D. (2006). *Tension activatable substrate*. U. S. Patent No. 6,989,075.
258. Jones, O. (2002). *Cushioned earphones*. U. S. Patent No. 6,412,593.
259. Cawse, J. L., Kemp, G., Webb, T. C., and Green, G. E. (2000). *Particulate reinforcement for honeycomb core materials*. U. S. Patent No. 6,117,518.
260. Erdemir, F. and Özkan, M. T. (2023). Determination of Mechanical Properties of Fruit Shell Powders Reinforced Wood Plastic Composite (WPC) Materials and Case Study for I-Type Snap-Fit Model. *Politeknik Dergisi*, 26 (3), 1243-1253.
261. İnternet: OO-kuma A.Ş. ABS Technical Data Sheet (ISO) URL: www.oo-kuma.com Son Erişim Tarihi: 16.10.2023.
262. İnternet: OO-kuma A.Ş. PLA Technical Data Sheet (ISO) URL: www.oo-kuma.com Son Erişim Tarihi: 16.10.2023.
263. İnternet: OO-kuma A.Ş. PET-g Technical Data Sheet (ISO) URL: www.oo-kuma.com Son Erişim Tarihi: 16.10.2023.
264. Trivedi, M., Sethi, K., Panda, P., and Jana, S. (2017). A comprehensive physicochemical, thermal, and spectroscopic characterization of zinc (II) chloride using X-ray diffraction, particle size distribution, differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis/differential thermogravimetric analysis, ultraviolet-visible, and Fourier transform-infrared spectroscopy. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 7, 33-40.
265. INVENTOR, (2019). WINX64.
266. ANSYS, (2019). R1 WINX64.
267. Prall D, Lakes RS (1997). Properties of a chiral honeycomb with a Poisson's ratio of -1. *international journal of mechanical science and technology*, 39(3), 305–314.
268. Spadoni A, Ruzzene M (2012). Elasto-static micro polar behavior of a chiral auxetic lattice. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 60(1), 156–171.
269. Gibson LJ, Ashby MF (1988). Cellular solids: structure and properties. Pergamon Press, Oxford.
270. Masters IG, Evans KE (1996). Models for the elastic deformation of honeycombs. *Compos Struct*, 35(4), 403–422.

271. Smith CW, Grima JN, Evans KE (2000). A novel mechanism for generating auxetic behavior in reticulated foams: missing rib foam model. *Acta Mater*, 48(17):4349–4356.
272. Grima JN, Zammit V, Gatt R, Alderson A, Evans KE (2007). Auxetic behavior from rotating semirigid units. *Physica Status Solidi*, 244(3):866–882.
273. Grima JN, Evans KE (2000). Auxetic behavior from rotating squares. *Journal of Materials Science Letters*, 19(17), 1563–1565.
274. Gibson, L. J., Ashby, M. F., Schajer, G. S. and Robertson, C. I. (1982). The Mechanics of Two-Dimensional Cellular Materials, *Proceedings of the Royal Society of London, A* 382, 25-45.
275. Budynas, R. G. and Young, W. C. (1989). *Roark's Formulas For Stress And Strain*, 7th edn. McGraw-Hill. London, p. 295-297.
276. Burke, W. F. (1933). Working Charts for the Stress Analysis of Elliptic Rings, *Nature Advance Committee Aeronautics Technical. Note* 444.
277. Lopez, Y. M., Gonçalves, F. M., Paes, J. B., Gustave, D., Segundinho, P., Latorraca, J., Silva, E., Nantet, A. C., and Filho, C. M. (2022). Comparative study of different technological processes on the physical-mechanical properties and flammability of wood plastic composite. *Journal of Building Engineering*, 52, 104391.
278. Ramesh, R.S., Sadashivappa, K., and Sharanaprabhu, L. (2018). Physical and Mechanical Properties: Hot pressed Phenol Formaldehyde based Wood Plastic Composite. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 25331-25340.
279. Bhaskar, K., Jayabalakrishnan, D., Vinoth Kumar, M., Sendilvelan, S., and Prabhakar, M. (2021). Analysis on mechanical properties of wood plastic composite. *Materials Today: Proceedings*, 45(7), 5886-5891.
280. Friedrich, D. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. *Composite Structures*, 262, 113649.
281. Ávila, F., Puertas, E., and Gallego, R. (2022). Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 325, 126693.
282. Muthe, L. P., Pickering, K., and Gauss, C. (2022). A Review of 3D/4D Printing of Poly-Lactic Acid Composites with Bio-Derived Reinforcements. *Composites Part C: Open Access*, 8, 100271.
283. Leu, S. Y., Yang, T.H., Lo, S. F., and Yang, T. H. (2012). Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood–plastic composites (WPCs). *Construction and Building Materials*, 29, 120-127.
284. Bouafif, H., Koubaa, A., Perré, P., and Cloutier, A. (2009). Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(12), 1975-1981.

285. Saad, F.U.S.M., Salim, N., and Roslan, R. (2022). Physical and mechanical properties of kenaf/seaweed reinforced polypropylene composite. *Materials Today: Proceedings*, 51(2), 1372-1375.
286. Nourbakhsh, A., and Ashori, A. (2010). Wood plastic composites from agro-waste materials: Analysis of mechanical properties. *Bioresource Technology*, 101(7), 2525-2528.
287. Dubey, S. C., Mishra, V., and Sharma, A. (2021). A review on polymer composite with waste material as reinforcement. *Materials Today: Proceedings*, 47(11), 2846-2851.
288. Xu, K., Li, K., Zhong, T., Guan, L., Xie, C., and Li, S. (2014). Effects of chitosan as biopolymer coupling agent on the thermal and rheological properties of polyvinyl chloride/wood flour composites. *Composites Part B: Engineering*, 58, 392-399.
289. Andrzejewski, J., Krawczak, A., Wesoly, K., and Szostak, M. (2020). Rotational molding of biocomposites with addition of buckwheat husk filler. Structure-property correlation assessment for materials based on polyethylene (PE) and poly (lactic acid) PLA. *Composites Part B: Engineering*, 202, 108410.
290. Zhang, Y., Yu, C., Chu, P. K., Lv, F., Zhang, C., Ji, J., Zhang, R., and Wang, H. (2012). Mechanical and thermal properties of basalt fiber reinforced poly (butylene succinate) composites. *Materials Chemistry and Physics*, 133 (2-3), 845-849.
291. Huang, Y., Löschke, S., and Proust, G. (2021). In the mix: The effect of wood composition on the 3D printability and mechanical performance of wood-plastic composites. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100140.
292. Khan, İ., Kumar, N., Yadav, J. S., Choudhary, M., Chauhan, A., and Singh, T. (2023). Utilization of waste slate powder in poly (lactic acid) based composite for 3D printer filament. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 703-714.
293. Alarifi, İ. M. (2023). Mechanical properties and numerical simulation of FDM 3D printed PETG/carbon composite unit structures. *Journal of Materials Research and Technology*, 23, 656-669.



Gazili olmak ayrıcalıktır