ARAÇLAR İÇİN KAFES ÇEKİRDEKLİ ÇOK HAFİF SANDVİÇ KOMPOZİT MALZEMELERİN 3B YAZICI SİSTEMİ İLE GELİŞTİRİLMESİ

Tolgahan BAYRAM

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇLAR İÇİN KAFES ÇEKİRDEKLİ ÇOK HAFİF SANDVİÇ KOMPOZİT MALZEMELERİN 3B YAZICI SİSTEMİ İLE GELİŞTİRİLMESİ

Tolgahan BAYRAM
0000-0002-1489-918X

Prof. Dr. Murat YAZICI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARAÇLAR İÇİN KAFES ÇEKİRDEKLİ ÇOK HAFİF SANDVİÇ KOMPOZİT MALZEMELERİN 3B YAZICI SİSTEMİ İLE GELİŞTİRİLMESİ

Tolgahan BAYRAM

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Eklemeli üretim yöntemi üç boyutlu modellerin katmanlar halinde üst üste birikmesi ile ürünlerin elde edildiği üretim yöntemidir. Günümüzde toplam ağırlığı azaltmak ve yeterli dayanıma sahip ürünler elde etmek için kompozit malzemelere olan ilgi artmıştır. Bu doğrultuda geliştirilen yapılardan sandviç yapılar birçok alanda özel ilgiye sahiptir. Düşük ağırlıklarından dolayı, yüksek eğilme dayanımı, enerji emilimi gibi özelliklerinden dolayı farklı alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca kafes çekirdekli sandviç yapılar üretilerek ultra hafif malzemelerin üretilmesi sağlanmaktadır. Kompozit malzemelerin katmanlı imalatı endüstriyel uygulamaların ve araştırmaların ilgisini çekmektedir.
Bu çalışmada, sürekli karbon elyaf takviyeli polipropilen matrisli kompozitler üretmek için, geliştirilmiş ekstrüdere sahip 3b yazıcı kullanılmıştır. Sandviç yapıların kafes çekirdeği bu yazıcı ile üretilmiştir. 0/90/0 yönlü plakalar ile çekirdek yapılar sıcak silikon ile birleşmesi sağlanmıştır. Üretilen sandviç yapılara basma, üç nokta eğilme quasi-statik ve üç nokta eğilme darbe testleri uygulanmıştır. Ayrıca, sürekli karbon fiber takviyeli termoplastik polimer filament üretimini geliştirmek için fiber ayırma sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sayede geliştirilen 3b yazıcıda kullanılması için bantlar üretilmiştir. Buna ek olarak, kompozit yapıların üretimi için lazer destekli eklemeli üretim sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem geliştirilen büyük boyutlu 3b yazıcıya entegre edilerek yeni bir yeni bir sistem ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli üretim, kompozit malzemeler, sandviç yapılar, fiber ayırma

2021, ix + 104 sayfa.

,

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF LATTICE CORE ULTRA-LIGHT SANDWICH COMPOSITE MATERIALS FOR VEHICLES BY USING 3D COMPOSITE PRINTING

Tolgahan BAYRAM

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

The additive manufacturing method is a production method in which products are obtained by the accumulation of three-dimensional models in layers. Today, interest in composite materials has increased in order to reduce the total weight and to obtain products with sufficient strength. Among the structures developed in this direction, sandwich structures have special interest in many areas. Due to their low weight, high bending strength, energy absorption, they are used in different areas. In addition, lattice core sandwich structures are produced to produce ultra-light materials. Additive manufacturing of composite materials attracts the attention of industrial applications and research.

In this study, a 3D printer with an improved extruder was used to produce continuous carbon fiber reinforced polypropylene matrix composites. The lattice core of sandwich structures was produced with this printer. 0/90/0 directional plates and core structures are combined with hot silicon. Compression, three-point bending, quasi-static and three-point bending impact tests were applied to the produced sandwich structures. In addition, a fiber separation system was designed and manufactured to improve the production of continuous carbon fiber reinforced thermoplastic polymer filaments. In this way, tapes were produced for use in the developed 3D printer. In addition, a laser assisted additive manufacturing system has been developed for the production of composite structures. This system was integrated into the developed large-size 3D printer and a new system was introduced.

Key words: Additive manufacturing, composite materials, sandwich structures, fiber spreading

2021, ix + 104 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, lisanstan bu zamana kadar bana ışık tutan ve hatta geleceğimde de ışık tutacağına inandığım, akademik olarak gelişmemde bana yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Murat Yazıcı'ya sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca Prof. Dr. Murat Yazıcı hocamızın önderliğinde kurulan UMİMAG ekibimizin en önemli değer taşlarından Araştırma Görevlileri hocalarım, abilerim olan Hakkı Özer, Harun Güçlü ve İbrahim Kürşad Türkoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez çalışması Prof. Dr. Murat Yazıcı tarafından yürütülen TÜBİTAK-ARDEB 1005 programı tarafından desteklenen 118M571 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK-ARDEB'e çok teşekkür ederim.

Yaptığımız bu çalışmanın birçok kişi için faydalı bir argüman olacağını düşünmekteyim.

Tolgahan BAYRAM
01/10/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 2
2.1. 3b Yazıcı Çalışma Prensibi 2
2.2.Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi 3
2.3.Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri 8
2.4.Üç Boyutlu Yazıcılarla Üretimde Kullanılan Malzemeler 13
2.5.Baskı Kalitesine Etki Eden Faktörler 14
2.6.Üç Boyutlu Yazıcıda Kompozit Malzeme Üretimi 15
2.7.Fiberde Mekanik ve Kimyasal İşlemler Üzerine Araştırmalar 36
2.7.1.Mekanik İşlemler 37
2.7.2.Kimyasal İşlemler 42
3.MATERYAL ve YÖNTEM 49
3.1.Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcı 49
3.2.Üç Boyutlu Yazıcıda Kullanılan Arayüz Yazılımı 57
3.3.Kafes Çekirdekli Sandviç Panellerin Üretimi 63
3.4.Fiber ayırma sistemi 70
3.5.Yüksek Mukavemetli Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplatik Matrisli Kompozit Filament Geliştirilmesi 74
3.6.Karbon Fiber Kaplamasının Kaldırılması 79
3.6.1.Karbon fiberin kaplamasının elektrokimyasal oksidasyon kaldırılması 79
3.6.2.Karbon Fiberin Soxhlet Ekstraksiyonu ile Fiber Kaplamasının Kaldırılması 81
3.7.Geliştirilen Üç Boyutlu Yazıcı ve Lazer Destekli Eklemeli Üretim Sistemi Tasarımı 83
4. BULGULAR 93
4.1.Üretilen Numunelere Uygulanan Testler 93
4.1.1.Filamentin çekme testi: 93
4.1.2.Basma testi 94
4.1.3.Üç nokta eğilme quasi-statik testi 95
4.1.4.Üç nokta eğilme darbe testi 96
4.2.Fibere Uygulanan Mekanik ve Kimyasal İşlemler 98
4.3.Geliştirilen 3b Yazıcı 98
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 99
KAYNAKLAR 101
ÖZGEÇMİŞ 104

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
3b	Üç Boyutlu
SLA	Stereolitografi
SLS	Seçici Lazer Sinterleme
FDM	Eriyik Yığma Modelleme
LOM	Lamine Nesne Üretimi
FFF	Kaynaşmış Filament Üretimi
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Plastikler
CWPC	Sürekli Tel Polimer Kompozit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
CF	Karbon Fiber
PU	Poliüretan
PETG	Polietilen Tereftalat
HIPS	Yüksek Darbe Dayanımlı Polistiren
PVA	Polivinil Asetat
PEEK	Poliarileteretherketon
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. 3b baskı süreci……2
Şekil 2.2. SLA-1 baskı makinesi……..…..…3
Şekil 2.3. DTM Sinterstation 2000 baskı makinesi……..…4
Şekil 2.4. Bioyazıcı……....4
Şekil 2.5. Kulak dokusu…….…....5
Şekil 2.6. Z450 üç boyutlu yazıcısı…….……..….6
Şeikl 2.7. Mendel…….…..6
Şekil 2.8. Urbee…….……7
Şekil 2.9. Beton duvar yapımı……..…....7
Şekil 2.10. Malzeme ekstrüzyonu……..8
Şekil 2.11. Malzeme püskürtme…….……9
Şekil 2.12. Bağlayıcı püskürtme……..…..……10
Şekil 2.13. Laminasyon……10
Şekil 2.14. Fotopolimerizasyon…….…...11
Şekil 2.15. Toz yatak füzyonu ……..…...11
Şekil 2.16. Yönlendirilmiş enerji birikimi…….…...12
Şekil 2.17. 3d yazıcıların kullanım alanları (a) hareketli parçalarda kullanımı, (b) eğitim amaçlı üretilen türbin motoru, (c) hobi amaçlı üç boyutlu üretim, (d) pastacılık sektöründe özel şekilli çikolata üretimi, (e) inşaat sektöründe duvar imalatı…….……13
Şekil 2.18. Sık kullanılan filamentler……...14
Şekil 2.19. FDM teknolojisinin anahtar elemanları……..16
Şekil 2.20. Raster açısıyla 3d baskılı parçaların yapısı……16
Şekil 2.21. Optimum polimer sinterleme koşullarını sağlamak için iyi yüzey teması ve sıcaklık koşulları için ana parametreler …….……..17
Şekil 2.22. Lifin işlenebilirlik ve performans üzerine etkisi……18
Şekil 2.23. Cam ve karbon takviyeli filamentler……...…19
Şekil 2.24. Üretim detayları (a) Karbon fiber kompozit baskı işleminin şeması, (b) Karbon fiber kompozit baskı işlemi, (c)Numune çıkarılacak bölgeler……..…...19
Şekil 2.25. Cam elyaf kompozitin mikrografı……..20
Şekil 2.26. Elyaf gerilimi kullanılarak sandviç kompozitin 3b baskısının şematik gösterimi……..21
Şekil 2.27. Nozulun kritik ölçüleri ve modifiye edilmiş ekstrüder……..……22
Şekil 2.28. 3b yazıcıda üretilmiş CWPC örnekleri……...22
Şekil 2.29. 3b yazıcıda üretilmiş numunenin statik test sonucu…….…...23
Şekil 2.30. MarkForged şirketinin patenti……....24
Şekil 2.31. Temel şematik diyagram (a) katman istifleme prensibi (b) serbest asılı 3b baskı prensibi……....25
Şekil 2.32. Serbest asılı baskı yolu oluşturma işleminin akış şeması……..……..26
Şekil 2.33. Dört tipik baskı aşamasının şematik gösterimi……...27
Şekil 2.34. Tasarlanmış ekstrüder şematik gösterimi……..……....27
Şekil 2.35. Farklı kafes yapılarının çekirdeklerinin görünümü..……..….28
Şekil 2.36. Sandviç numune üretim prosedürü…….…29
Şekil 2.37. Basılı piramidal çekirdeğin birim hücresinin şematik gösterimi……..…..29
Şekil 2.38. Orijinal ve serbest asılı baskı yolları arasındaki karşılaştırmalar ve iyileştirmeler……30

Şekil 2.39. Serbest asılı kafes kirişlerin kesit morfolojisi (a) örneğin konumu (b) ve (c) kirişe ve kiriş boyunca dik kesitler (d), (e) ve (f) ise farklı tabakaya sahip hücrelerin tepe noktasındaki demetin kesit morfolojisi…….……..…….31
Şekil 2.40. Kafes sandviç numunelerin sıkıştırma davranışları ve sonuçları……...……32
Şekil 2.41. Ekstrüder tiplerinin fiziksel tabanlı modelleri……..……..33
Şekil 2.42. Test edilen ısı dağıtıcı tipleri……..…….....34
Şekil 2.43. Karbon fiber takviyeli filament imalatı……...……34
Şekil 2.44. Kullanılan ekstrüder ve nozul tasarımı……...……..…..35
Şekil 2.45. Üretilen daireler ve parametreleri…….……..…35
Şekil 2.46. Üretim sonuç değerlendirmeleri……...…….…….....36
Şekil 2.47. Fiber-matris arayüzeyinin şematik diyagramı……37
Şekil 2.48. Fiber ayırma yöntemleri (a) çubuk ile ayırma, (b) hava ile ayırma, (c) ultrasonik titreşim ile ayırma……...……37
Şekil 2.49. Hava yöntemi……38
Şekil 2.50. Fiber ayırma işleminin şematik gösterimi……..……39
Şekil 2.51. Fiber ayırma makinesi…….……..…39
Şekil 2.52. Çoklu fiber ayırma şematik diyagramı…….…..40
Şekil 2.53. Ayrılmış fiber……40
Şekil 2.54. Ayırma sistemi……...…41
Şekil 2.55. Dış bükey çubuklar…….……41
Şekil 2.56. Farklı yüzey işleme yöntemlerinin karbon fiber kompozitlerin eğilme özelliklerine etkisi……43
Şekil 2.57. CF uygulanan işlemlerin şeması……..……...…44
Şekil 2.58. İki aşamalı yüzey işleminin şematik gösterimi…….……..47
Şekil 2.59. Karbon fiberlerin elektrokimyasal arıtması üzerine laboratuvar pilot tesisi..48
Şekil 3.1. Kullanılan 3b yazıcı……..49
Şekil 3.2. Rulmanlar……...…..50
Şekil 3.3. Kaplinler……..50
Şekil 3.4. Vidalı miller……...…..50
Şekil 3.5. Miller…….…...50
Şekil 3.6. Kayış ve kasnak…….…….……..……51
Şekil 3.7. Civatalar…….…….……51
Şekil 3.8. Step motor……...….52
Şekil 3.9. Soğutma fanı……...…….52
Şekil 3.10. Otomatik seviye sensörü……..……..…53
Şekil 3.11. Termistör……..…..53
Şekil 3.12. Isıtıcı……..…53
Şekil 3.13. Baskı tablası…….…..54
Şekil 3.14. Ekstrüder kafası……..…54
Şekil 3.15. Nozullar…….……55
Şekil 3.16. Limit anahtarı…….……...….55
Şekil 3.17. Güç kaynağı……..…….56
Şekil 3.18. Anakart…….…...56
Şekil 3.19. Dokunmatik ekran……..57
Şekil 3.20. Repetier-host programı…….……..…57
Şekil 3.21. Slic3r dilimleme yazılımı katman ve dış duvar ayarları……..……59
Şekil 3.22. İç dolgu ayarları…….……..…59

Şekil 3.23. İç dolgu desenleri……...…60
Şekil 3.24. Ekstrüzyon hız ayarları…….……..60
Şekil 3.25. Filament ayarları……...….61
Şekil 3.26. Yazıcı ayarları……...…62
Şekil 3.27. Ekstrüder ayarları……..……63
Şekil 3.28. Üretim örneği…….63
Şekil 3.29. Filament üretimi için kullanılan ekstrüzyon makinesi……..…..64
Şekil 3.30. Monokompozit filament üretimi……64
Şekil 3.31. Üretilen filament rulosu…….……65
Şekil 3.32. Çalışmada kullanılan geliştirilen ekstrüder kafası…….…….....……65
Şekil 3.33. Nozul ve tabla arası mesafenin ideal olmaması durumu…….……66
Şekil 3.34. Kullanılan filament parçaları..……...…….67
Şekil 3.35. Hızların ayarlanarak kompozit plaka üretimi…….……67
Şekil 3.36. Üretimden kaynaklı fiber burulmalarının serbest kalması…….……68
Şekil 3.37. 3b yazıcıda üretilen kafes çekirdek yapısı..……...69
Şekil 3.38. Kafes çekirdek yapısının 3b yazıcıda üretilmesi……69
Şekil 3.39. Üst ve alt yüzeylerdeki kullanılmak için oluşturulan CFRP kompozit plaka…….……70
Şekil 3.40. 50mmx200mm boyutlarında kesilen plaka örnekleri……..…..……...70
Şekil 3.41. Oluşturulan sandviç kompozit…….……..70
Şekil 3.42. Hava ile ayrılan fiber ayırma sistemi……..71
Şekil 3.43. Geliştirilen sarıcı sistemin kontrolü (a) sistemin şematik gösterimi, (b) kontrol için yazılan kod……..……..71
Şekil 3.44. Revize yapılan sistem…….……....72
Şekil 3.45. 25 mm ayrılmış karbon fiber…….……..72
Şekil 3.46. Polipropilen iplik……..…..73
Şekil 3.47. Fiberin polipropilen ile kaplanması……..…..73
Şekil 3.48. Fiber ayırma sisteminin tasarımı……..……..74
Şekil 3.49. Fiber ayırma sisteminin genel görünümü…….……..75
Şekil 3.50. Hava kulelerine vakum ve üfleme hortumlarının bağlanması…….……76
Şekil 3.51. Fanların ve laminasyon makinesinin kontrol butonları…….……..76
Şekil 3.52. Laminasyon sistemine giriş bölümü ve kontrol elemanları……76
Şekil 3.53. Sistemde kullanılan motorların kontrol elektronik elemanları (a) Fiber taşıyıcı sistem, (b) Sarıcı sistem…….……...77
Şekil 3.54. Fiberin hava kanalları üzerinde ayrılması…….…..…77
Şekil 3.55. Fibere ön ısıtma işleminin uygulanması……78
Şekil 3.56. Fiberin kalıba girişi……....78
Şekil 3.57. Fiberin kaplanmış hali……....78
Şekil 3.58. Üretilen fiber rulosu……...…79
Şekil 3.59. a) Elektrokimyasal oksidayon işlemi b) İşlem sırasında fiber elektrolit çözelti etkileşimi……..……...…80
Şekil 3.60. Elektrokimyasal oksidasyon işlemi sonucu CF FTIR grafiği……80
Şekil 3.61. Soxhlet ekstraktörü ve bölümleri……81
Şekil 3.62. a) Soxhlet ekstraktörü b) Ekstraktöre CF yerleştirilmesi.……...…82
Şekil 3.63. Ekstrüder kafa tasarımı……...……....83
Şekil 3.64. Ekstrüder kafa tasarımı farklı açıdan görünümü……..…….…..84
Şekil 3.65. Sistemin teknik resmi……..……...…85
Şekil 3.66. Dönen sitemin kesit görüntüsü……...85

Şekil 3.67. Ekstrüder kafasının son görünümü…….……87
Şekil 3.68. Ekstrüder kafasının farklı açıdan görünümü…….……..87
Şekil 3.69. Silikon rezistansların ve termostatların bağlantılarının görünümü……..…...88
Şekil 3.70. Tablanın z eksenindeki görünümü……..88
Şekil 3.71. Tablanın genel görünümü…….……..…89
Şekil 3.72. Sistemin üst bölümü…….……..89
Şekil 3.73. Isıtıcı tabla sıcaklık kontrolleri……..90
Şekil 3.74. Sistemin kontrolünü sağlayan anakart ve diğer bileşenler…….……....90
Şekil 3.75. Sistemin elektronik bileşenlerinin genel görünümü…….……..91
Şekil 3.76. Sistemin genel görünümü……..…….91
Şekil 3.77. Sistemin farklı açıdan görünümü……...……..…92
Şekil 4.1. Monokompozit filamentin çekme testi ……..…….……..…93
Şekil 4.2. Filamentin çekme testi…….……...….94
Şekil 4.3. Basma için kullanılan test cihazı ve üretilen numune örnekleri……..……94
Şekil 4.4. Numunelere basma testi yapılması…….....95
Şekil 4.5. Üç nokta eğilme quasi-statik için kullanılan test cihazı ve numune örnekleri……...96
Şekil 4.6. Yapılan quasi-statik test sonuç örneği…….……..…..97
Şekil 4.7. Darbe testi için kullanılan test düzeneği ve numune yerleşimi..……..…..….97
Şekil 4.8. Bir numune için darbe testinin grafiği..……..……..…...…98

1. GİRİŞ

Üç boyutlu baskı sistemleri 1980 li yıllardan başlanarak günümüze kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Eklemeli üretim üç boyutlu (3b) modelleri katmanlı bir şekilde üst üste yığma yöntemiyle malzemelerin bir araya getirilme işlemidir. Ayrıca bu işlemler hızlı protipleme olarak da bilinmektedir. Makinede işleme yöntemleri ile büyük materyalden asıl ürünü elde etmek için malzeme fazlalıklarını uzaklaştırma yerine eklemeli üretim ile direk olarak ürünün son şeklinin verilmesi ile sonuçlanmaktadır. Sonuç olarak, kullanılan ham madde verimli bir şekilde kullanılır ve boyutsal doğruluklara minimum malzeme kaybı ile ulaşılmaktadır. (Kolitsky, 2020)

Bu yöntem ile, bilgisayarda tasarım programları ile oluşturulan katı modeller ek bir sabitleme ve kesici araç ve gereçler kullanılmaksızın direk olarak nihai ürün elde edilmesi hedeflenmektedir. Böylece geleneksel üretim yöntemleri ile işlenmesi gereken karmaşık yapılı ürünlerin üretilmesine olanak tanınmaktadır. Sonuç olarak, proses işlemleri minimuma inip işlemler için gerekli farklı özelliğe sahip elemanların ihtiyaçlarına gerek kalmamaktadır.

Bunlara ek olarak, çevre dostudur. Geleneksel üretim yöntemlerine göre üretim esnekliği sağlamaktadır. Karmaşık geometriye sahip parçaların ayrı bir şekilde üretilmesi yerine, eklemeli üretim yöntemleri sayesinde tüm parçaların bütün olarak üretilmesi mümkündür. Ayrıca, bu yöntem topoloji optimizasyonu uygulanan karmaşık yapıya sahip parçaların üretim sırasında karşılaşılabilecek problemlerin elimine etmesini sağlamaktadır. Bu parçaların fonksiyonelliklerini artırır. Diğer taraftan gereken enerji ve kaynakların tüketilmesinin azaltılmasında aktif rol oynamaktadır. (Huang ve ark., 2013)

Bu tez kapsamında sürekli elyaf takviyeli termoplastik matrisli filament ile ekstrüder kafası geliştirilen 3b yazıcı kullanılarak kafes çekirdekli sandviç paneller üretilmiştir ve bunların mekanik testleri yapılmıştır. Sonrasında fiber-matris yapısını geliştirmek için fiber ayırma sistemi üretilmiştir. Son olarak hem endüstriyel hem de daha büyük parçalar üretmek için büyük baskı alanına sahip yeni bir üç boyutlu yazıcı geliştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

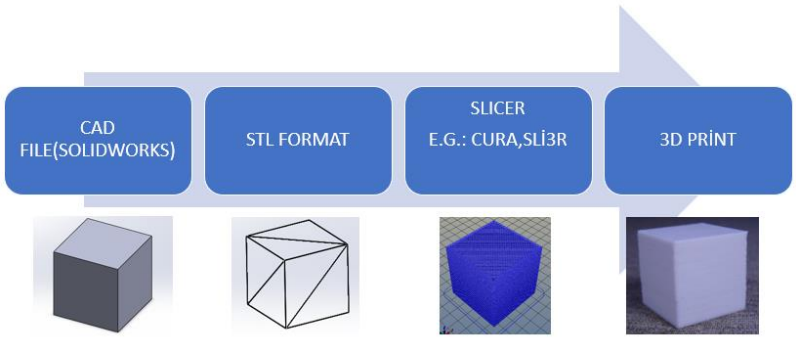
2.1. 3b Yazıcı Çalışma Prensibi

3b yazıcılar eklemeli üretim mantığı ile çalışmaktadır. Eklemeli üretim teknolojisi üç temel aşamadan oluşmaktadır:

1.Model, bilgisayar destekli tasarım ve üretim programları kullanılarak tasarlanır. Tasarım bir hacmi oluşturmalıdır. Yani, iç, dış ve sınır çizgileri belli olmalıdır. Eğer modelleme katı modelleme olarak yapılıyorsa buna gerek kalmaz ve otomatik olarak katı model olacaktır. Tüm bu gereksinimler, yatay kesit alanlarının kapalı eğriler içinde kalmasını garantileyerek katı modelin oluşmasına olanak tanır.

2.Katı ya da yüzey model oluşturulduktan sonra dosya formatı kullanılacak dilimleme programının algılayacağı formata dönüştürülür. Bu formatlar STL, OBJ, 3MF, AMF vb. dosya formatları olarak kullanılmaktadır. Bu formatlar ile ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Bu çalışmada gerekli ihtiyaçları karşıladığı için STL formatı kullanılmıştır.

3.Dilimleme programı kullanılan bu dosya formatlarını analiz ederek üretim için gerekli adımları oluşturarak dilimleme işlemini gerçekleştirmektedir. Böylece sistematik bir şekilde sıvı ve toz halindeki ham madde katılaşması ile üç boyutlu model ortaya çıkması sağlanmaktadır. Bu çalışmada dilimleme yazılımı olarak öncelikle CURA kullanılmış olup, sonrasında detaylı ayarlamalar yapılabilmesi amacıyla Sli3r dilimleme yazılımı kullanılmıştır. (Chua ve ark., 1999) Şekil 2.1'de 3b baskı sürecini gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 3b baskı süreci

2.2.Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi

Üç boyutlu baskı teknolojisi 1983 yılında Charles Chuck Hulls CAD/CAM dosyalarını katı objelere dönüştürebildiği ve adını verdiği teknoloji olan Stereolitografi (SLA)'nin icadı ile başlamıştır. Bu sayede eklemeli üretim ya da hızlı prototipleme olarak adlandırılan üç boyutlu baskı tekniği doğmuştur. Daha sonra 1986 yılında Carl Deckard ve Joe Beamsn tarafından Texas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Seçici Lazer Sinterleme (SLS) teknolojisi geliştirilmiş ve ticarileştirilmiştir. Nova Automation şirketini kurmuşlardır. Bu sırada, 3D Systems şirketi ilk ticari yazıcı olan SLA-1'i piyasaya sürmüştür. Şekil 2.2'de SLA-1 baskı makinesi görülmektedir. (Bedir ve ark., 2018)

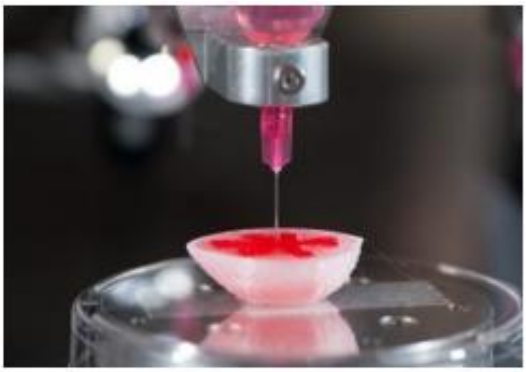
Şekil 2.2. SLA-1 baskı makinesi (Bedir ve ark., 2018)

Daha sonra ilk başarılı ticari 3b yazıcı 3D Systems tarafından 1988'de üretilmiştir ve üretim hacmi sadece 25 cm^3'tür. Günümüzde de en çok kullanılan üç boyutlu baskı teknolojisi olan Eriyik Yığma Modelleme (FDM) Scott Crump tarafından geliştirilmiştir. Bu teknoloji ile eriyen malzeme katmanlar halinde bir araya getirilmiştir. Bu sırada Stratasys şirketini kurulmuştur. 1990 yılında ilk ticari SLS tipi üç boyutlu yazıcı The DTM Makinesi satışa sunulmuş, ancak 4 adet üretilmesine rağmen satılamamıştır. 1991 yılında Helisys tarafından Lamine Nesne Üretimi (LOM) baskı teknolojisi geliştirilmiştir. Bu teknoloji ile yönlendirilmiş lazer katmanı işlemekte ve sonraki katman için yüksek ısılı merdane işlenecek yeni bir katman yüzeyinin eklemesi mantığına dayanarak çalışmaktadır. 1992 yılında Stratasys şirketi ilk ticari FDM yazıcı olan 3b Modeler'i üretmiştir. Diğer taraftan bu yıllarda DTM firması, SLS teknolojisi ile çalışan DTM

Sinterstation 2000 ile yüksek fiyatlara rağmen ticari başarı sağlamışlardır. DTM Sinterstation 2000 baskı makinesi Şekil 2.3'de görülmektedir. (Bedir ve ark., 2018)

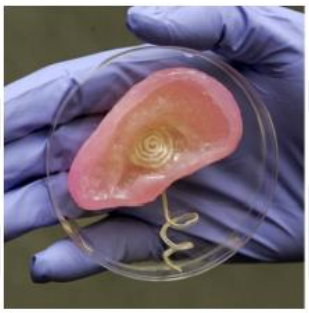
Şekil 2.3. DTM Sinterstation 2000 baskı makinesi (Bedir ve ark., 2018)

1993 yılında MIT, 3DP adında baskı teknolojisini icat etmişlerdir. Bu teknoloji ile, seramik tozları ince katmanlar halinde serildikten sonra bağlayıcı jet sistemi ile püskürtülerek katman katman katılaşması sağlanmaktadır. Bu sistemin avantajı, SLS sistemine benzer şekilde destek malzemesine ihtiyaç olmamasıdır. 1996 yılında ilk inkjet teknolojisiyle çalışan 3b yazıcı (The Actua 2100) 3D Systems tarafından geliştirilmiştir. Z Corporation adlı firma MIT'den satın aldığı lisans ile inkjet teknolojisi ile çalışan Z402 yazıcısını üretmiştir. Bu yazıcı, nişasta ve sıva malzemesine benzer toz malzemeleri su bazlı yapıştırıcı ile katmanlı şekilde üretilmesini sağlamaktadır. 1999 yılında Anthony Atala biyo baskı ile laboratuvarda geliştirdikleri implant idrar torbasını hastaya nakletmişlerdir. Biyoyazıcı Şekil 2.4'de gösterilmektedir. (Bedir ve ark., 2018)



Şekil 2.4. Bioyazıcı (Bedir ve ark., 2018)

2000 yılında Object Technologies şirketi inkjet ile çalışan yazıcı Quadra'yı üretmişlerdir. Dört baskı kafası malzemeyi püskürterek fotopolimer haldeki malzeme ultraviyole ışınla kürlenerek katılaşması sağlanmıştır. 3D Systems 2001 yılında SLS'nin öncüsü DTM şirketini satın almıştır. Ayrıca Fransız firma olan Optoform ve İsviçreli firma olan RPC'yi satın almıştır. 2002 yılında Wake Forest Üniversitesi böbrek hücrelerinin biyo materyal destekleriyle üretilmesini sağlayan yazıcı geliştirmişlerdir. Bu makine aynı zamanda kulak doku örneği oluşturmak için de kullanılmıştır. Basılan bu kulak dokusu Şekil 2.5'te görülmektedir. Böylece üç boyutlu organ prototipi oluşturulmuştur. (Bedir ve ark., 2018)

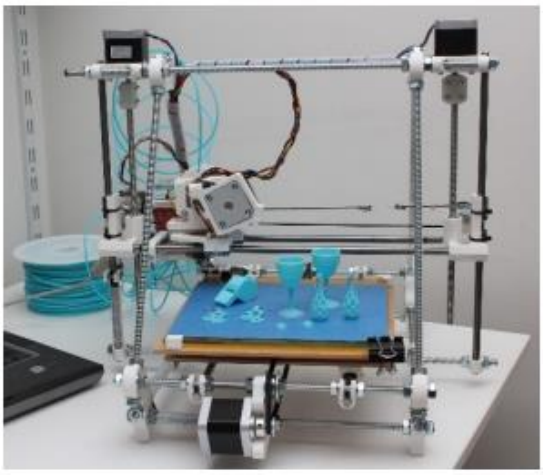


Şekil 2.5. Kulak dokusu (Bedir ve ark., 2018)

Stratasys şirketi The Dimension SST adlı yazıcıyı geliştirerek çözünebilir destek malzemesinin otomatik sökülebildiği sistem geliştirmişlerdir. Z Corporation şirketi ilk yüksek çözünürlüklü renkli üretim yapan Spectrum Z510 yazıcıyı geliştirmişlerdir ve bu yazıcı kendi alanında en büyük üretim hacimlerine sahipti. Daha sonra Bath Üniversitesi'nden Adrian Bowyer, RepRap (Hızlı Prototip Çoğaltıcı) adında açık kaynak projesini kurmuştur. Bu projenin amacı kendi parçalarını basabilen FFF tipi üç boyutlu yazıcı üretmektir. Z Corporation firması 2007 yılında ilk renkli üç boyutlu yazıcıyı geliştirmiştir. Üretim hızı daha yüksek ve Zprint yazılımı ile LCD ekrandan malzeme miktarı kontrolünü sağlamıştır. Örnek olarak Şekil 2.6'da Z450 üç boyutlu yazıcısı görülmektedir. (Bedir ve ark., 2018)

Şekil 2.6. Z450 üç boyutlu yazıcısı (Bedir ve ark., 2018)

2008 yılında ilk RepRap projesi olan Darwin adında yazıcı üretilmiştir. Diğer taraftan üç boyutlu yazıcı üreticisi Makerbot, Thingiverse isimli web sitesini kurmuşlardır. Böylece, katı modeller ücretsiz bir şekilde internet ortamında sunulmuştur. Ayrıca Makerbot firması bu dönemde üç boyutlu yazıcı parçalarını üretip satmaya başlamıştır. Daha sonra Stratasys firması Makerbot ve Thingiverse'yi satın almıştır. Devamında RepRap 2.0 projesi ile Şekil 2.7'de görülen Mendel adında yazıcı üretilmiştir. Tasarımda geliştirilen noktalar daha büyük üretim hacmi, sabit tasarım, kolay monte edilebilir, hafif ve taşınabilir olmasıdır. (Bedir ve ark., 2018)



Şekil 2.7. Mendel (Bedir ve ark., 2018)

2010 yılında Şekil 2.8'de görülen Urbee adında gövdesi 3b yazıcı ile basılmış prototip araba ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) malzeme kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca bu dönemde Organovo ilaç firması ilk biyo baskılı kan hücrelerini üretmiştir. (Bedir ve ark., 2018)

Şekil 2.8. Urbee (Bedir ve ark., 2018)

2011 yılında üç boyutlu yazıcı teknolojisi olan inkjet ile çikolata üretimi yapılmıştır. 2012 yılında 3D Systems üç boyutlu yazıcı üreticisi Z Corporation ve dental ürünler tasarlayan Vildar Systems şirketlerini satın almıştır. FDM geliştiricisi Stratasys ve polyjet geliştiricisi Object Geometries aralarında bu dönemde ortaklık kurmuşlardır. Dijital dişçilik sektörü ile Stratasys'Object bu alanda öncü firma olmuşlardır. 2014 yılında Amazon 3d Printing Store web sitesini açmıştır. 2015 yılında Çinli inşaat firması üç boyutlu yazıcı ile bina üretmiştir. Şekil 2.9'da beton duvar yapımı görülmektedir. (Bedir ve ark., 2018)

Şekil 2.9. Beton duvar yapımı (Bedir ve ark., 2018)

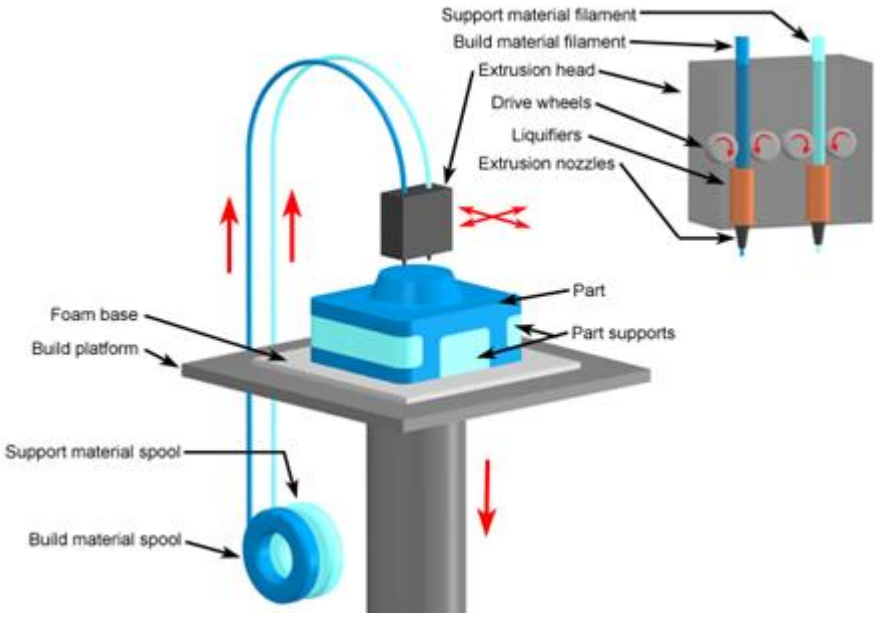
Önemli gelişmelerden bir diğeri de Titomic tarafından geliştirilen üç boyutlu metal yazıcıdır. Boyutları, 9 metre uzunluğunda, 3 metre genişliğinde ve 1.5 metre yüksekliğindedir. Burada metali ergiterek üretim yapılmamaktadır. Bunun yerine robotik kol ile yüksek hızda fırlatılan metal parçacıkları (Titanyum) ile gerçekleşmektedir. Şirket tarafından Kinetik Fusion olarak adlandırılan bu teknoloji ile süpersonik hızda fırlatılan metal parçaları mekanik olarak birleşmektedir. Üretim sırasında malzeme kaybı olmayan bu yazıcıda ısı kullanılmadığı için baskıya zarar verme riski çok düşüktür. (Bedir ve ark. 2018)

2.3.Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri

Eklemeli üretim yöntemi birçok üretim yöntemini ve malzeme çeşitlerini içermektedir. Bu teknolojiler standart hale getirilmiş ve malzeme tiplerine göre kategorilere ayrılmıştır. Bu yöntemler temel olarak malzemelerin katmanlar halinde birleştirilerek parça üretilmesine dayanmaktadır.

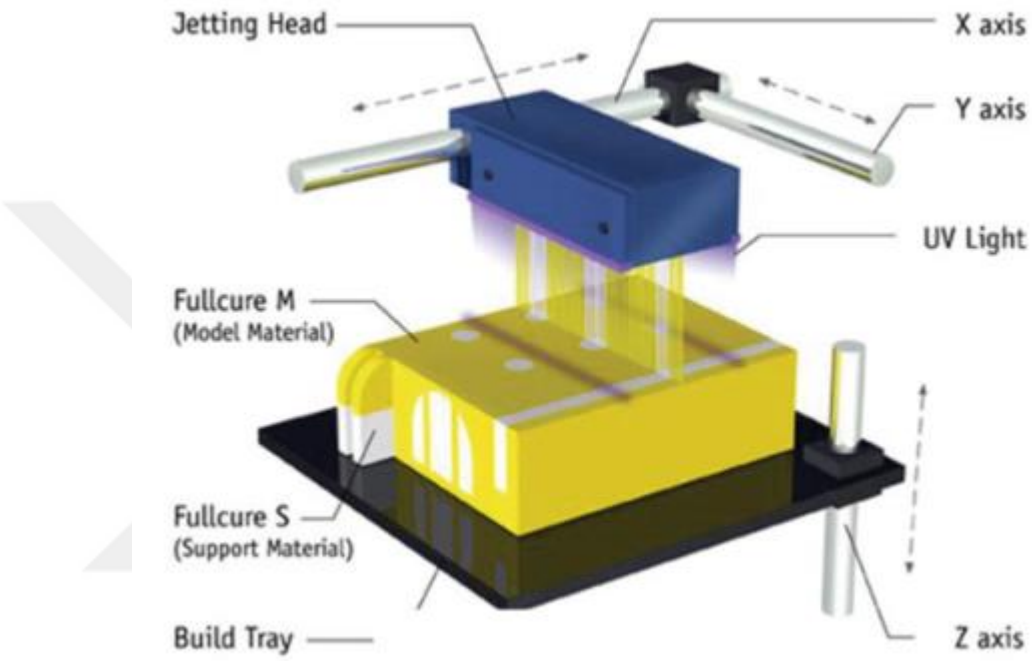
2012 ocak ayında ASTM International Committee F42'nin Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies adında yayınladığı listede eklemeli üretim yöntemleri proseslerine göre kategorilere ayrılmıştır. Bu teknolojiler şu şekildedir.

Malzeme ekstrüzyonu: Malzemenin nozul ile dağıtıldığı eklemeli üretim yöntemidir. Bu yöntemde ham madde ekstrüder kafasında eritilerek baskı tablasına dökülür. Bir katman tamamlandıktan sonra diğer katman için ekstrüder kafası ya da baskı tablası hareket eder. Ham madde olarak termoplastik filamentler kullanılır. Şekil 2.10'da malzeme ekstrüzyonu gösterilmektedir. (Wohler, 2015)



Şekil 2.10. Malzeme ekstrüzyonu (Wohler, 2015)

Malzeme püskürtme: Malzeme püskürtme teknolojisi, inkjet baskı kafası gibi kafa kullanarak yapı malzemesi damlalar halinde üst üste yığılarak çalışmaktadır. Damlalar bir veya daha fazla baskı kafasıyla seçici olarak yapım alanının üzerinde hareket eder. Tipik ham madde olarak fotopolimer bir malzeme ya da hassas dökümde kullanabilmek için üretilen mum tabanlı bir malzeme kullanılmaktadır. Şekil 2.11'de malzeme püskürtme yöntemi gösterilmektedir. (Wohler, 2015)

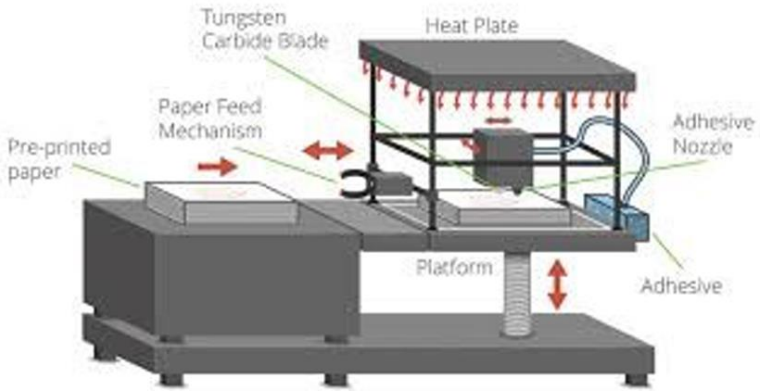


Şekil 2.11. Malzeme püskürtme (Wohler, 2015)

Bağlayıcı püskürtme: Bağlayıcı püskürtme sistemi, sıvı haldeki birleştirici malzemenin bir inkjet başlığındaki nozullardan toz haldeki malzemenin üzerine seçici olarak yani parçanın oluşacağı bölgelere püskürtülerek bir araya getirilmesi yöntemine dayanarak çalışmaktadır. Bağlayıcı püskürtme teknolojisi, inkjet başlığıyla birlikte malzemeyi dağıttığı için malzeme püskürtme teknolojisine oldukça benzerdir. Material püskürtme ile arasındaki fark, bağlayıcı püskürtme teknolojisinden baskı başlığından dağıtılan malzeme yapı malzemesi değil toz haldeki ham maddeyi bir araya getirmek için kullanılan sıvı haldeki yapıştırıcı malzemedir. Şekil 2.12'de bağlayıcı püskürtme yöntemi görülmektedir. (Wohler, 2015)

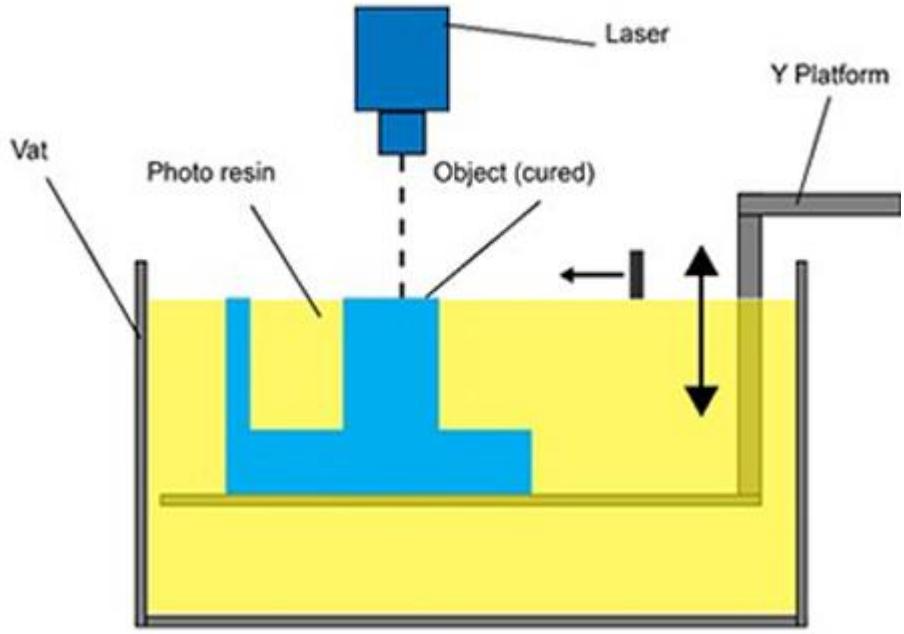
Şekil 2.12. Bağlayıcı püskürtme (Wohler, 2015)

Laminasyon: Laminasyon teknolojisi, kâğıt formundaki materyallerin bir araya getirilerek bir objenin oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Kâğıt halindeki materyal, yapışkan kaplı kağıtlardan ya da metal şeritleri, folyolarından oluşabilir. Şekil 2.13'te laminasyon yöntemi görülmektedir. (Wohler, 2015)



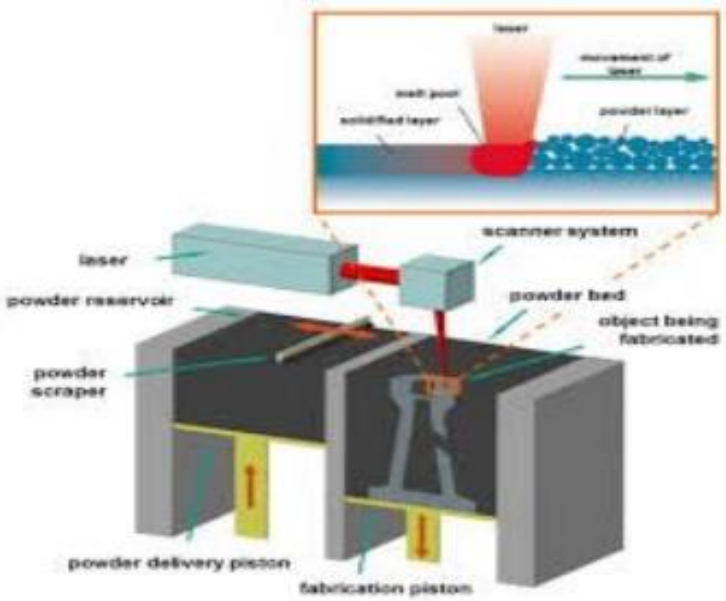
Şekil 2.13. Laminasyon (Wohler, 2015)

Fotopolimerizasyon: Bir tank içeresindeki sıvı haldeki fotopolimer malzemenin seçici olarak bir ışık kaynağı tarafından kürleştirerek polimerleştirdiği katmanlı üretim yöntemidir. Stereolitografi (SL) adı da verilen bu yöntem ticarileşebilmiş ve patent almış ilk katmanlı üretim teknolojisidir. Bu sistemde, ultraviyole bir lazerin, tank 31 içerisindeki sıvı haldeki fotopolimer malzemenin yüzeyini seçici olarak kürlemesiyle çalışmaktadır. Şekil 2.14'te fotopolimerizayon yöntemi gösterilmektedir. (Wohler, 2015)



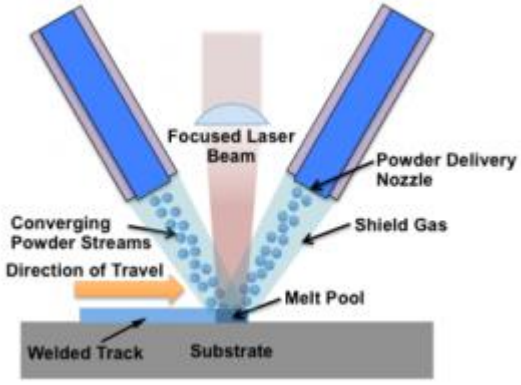
Şekil 2.14. Fotopolimerizasyon (Wohler, 2015)

Toz yatak füzyonu: Bu proses termal enerjinin, toz yatağı üzerinde seçili alanlar üzerinde nüfuz etmesi mantığına dayanarak çalışmaktadır. Termal enerji, toz haldeki materyali eriterek bir araya getirir ardından oluşan parça soğuyarak katı bir model halini alır. Bu tip katmanlı üretim yöntemi için kullanılan diğer terimler şunlardır: Lazer sinterleme, seçici lazer sinterleme, direk metal lazer sinterleme, elektron çubuk eritmedir. Şekil 2.15'te toz yatak füzyonu görülmektedir. (Wohler, 2015)



Şekil 2.15. Toz yatak füzyonu (Wohler, 2015)

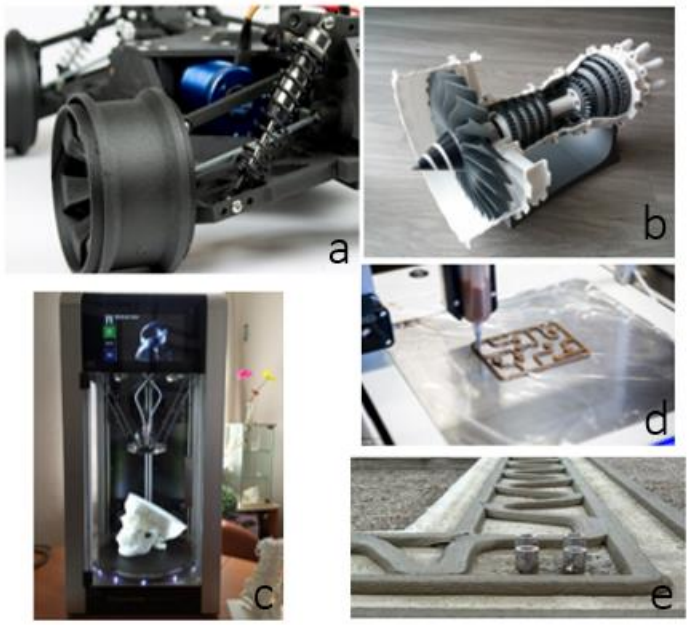
Yönlendirilmiş enerji birikimi: Termal enerji yardımıyla ham maddenin eriterek bir araya getirilmesiyle yürütülen eklemeli üretim yöntemidir. Yönlendirilmiş enerji birikimi yöntemi Şekil 2.16'da görülmektedir. (Wohler, 2015)



Şekil 2.16. Yönlendirilmiş enerji birikimi (Wohler, 2015)

2.4.Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları

Üç boyutlu yazıcılar havacılık, otomotiv, tıp gibi çok çeşitli alanlarda kullanıma açık bir teknolojidir. Şekil 2.17'de 3b yazıcıların kullanım alanlarını gösterilmektedir.



Şekil 2.17. 3b yazıcıların kullanım alanları (a) hareketli parçalarda kullanımı, (b) eğitim amaçlı üretilen türbin motoru, (c) hobi amaçlı üç boyutlu üretim, (d) pastacılık sektöründe özel şekilli çikolata üretimi, (e) inşaat sektöründe duvar imalatı

2.4.Üç Boyutlu Yazıcılarla Üretimde Kullanılan Malzemeler

FDM teknolojisinde üç boyutlu yazıcının çalışma prensibi oldukça basittir. Nozzle adı verilen uçta plastik eritilerek dökülür ve tıpkı bir bina inşa eder gibi obje katman katman oluşturulur. Eritilerek dökülen bu plastik malzeme filament olarak adlandırılır.

Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan filament türlerinden en çok tercih edilenler ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PLA (Polilaktikasit)'dir. Ayrıca PETG, HIPS, PVA, Naylon gibi filamentler de kullanılmaktadır. PLA ile genellikle %30-40 oranında karıştırılmış; tahta, ağaç kabuğu, bambu, bronz, pirinç, bakır, esnek PLA, sıcaklığa ve ışığa duyarlı PLA, karbon fiberler ve antibakteriyel filamentler gibi özel malzemeler de bulunmaktadır.

En çok ve hobi amaçlı kullanılan PLA ve ABS filamentlerinin özellikleri aşağıda listelenmiştir. Sık kullanılan filamentler Şekil 2.18'de temsili olarak görülmektedir.

Şekil 2.18. Sık kullanılan filamentler

2.5.Baskı Kalitesine Etki Eden Faktörler

Baskı alırken baskı kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı aşağıda listelenmiştir. Bunların ilk 6 tanesi dilimleme yazılımı ile kontrol edilirken, diğer 3 tanesi baskı işiyle uğraşan kişinin yazılım haricinde dikkat etmesi gereken unsurlar olarak listelenmiştir. Bunların hepsi birbiri ile bağlantılı olup baskı kalitesini etkilemektedir.

1) Doluluk oranı
2) Ekstrüzyon hızı
3) Ekstrüzyon sıcaklığı
4) Tabla sıcaklığı
5) Fan hızı
6) Yazdırma ve geri çekme hızı
7) Tabla yüzey kalitesi
8) Filament malzemesi
9) Dış ortam vb.

Yapılan bu çalışmada bu faktörlerde yaşanan problemler ile baskı kalitesinin iyileştirilmesi sağlamıştır.

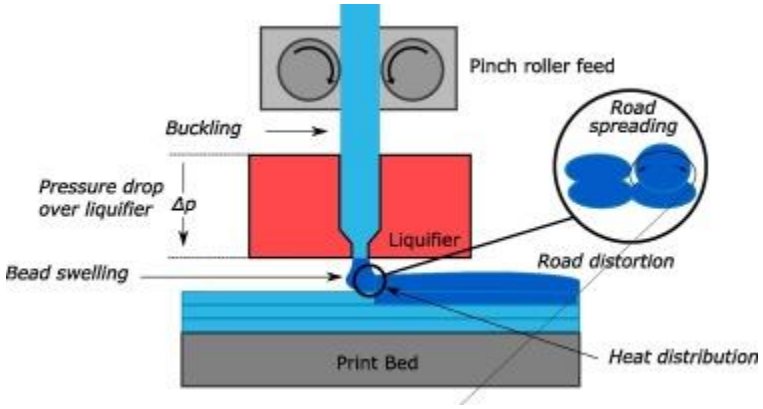
2.6.Üç Boyutlu Yazıcıda Kompozit Malzeme Üretimi

3b baskı yöntemi olarak FDM yöntemi kullanılacak olup detaylar üst bölümlerde verildiği için burada tekrarı yapılmayacak olup, hedef çalışmamız olan sürekli elyaf takviyeli filament kullanılarak kafes çekirdek yapısına sahip kompozit yapının elde edilmesine ilişkin konu ile ilgili araştırmalar ve çalışmalar bu bölümde incelenmiştir.

Karbon fiberle güçlendirilmiş plastikler (CFRP) mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Kompozit üretiminde en önemli noktalar, fiberle matrisin birleşmesi, fiber oryantasyonudur. Kompozit malzeme üretimi genel olarak malzeme yerleşimi ve birleşme olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmada katmanlı üretim yöntemi kullanılarak kompozit malzeme üretimleri incelenmiştir. Katmanlı üretim yöntemi katmanları ayrı olarak istiflemeye dayandığı için geleneksel kompozit üretim yöntemlerine benzemektedir. Bu yöntem kompozitlere uygulanarak düşük üretim maliyeti ve yüksek otomasyona sahip kompozit üretim yöntemi sağlanabilecektir.

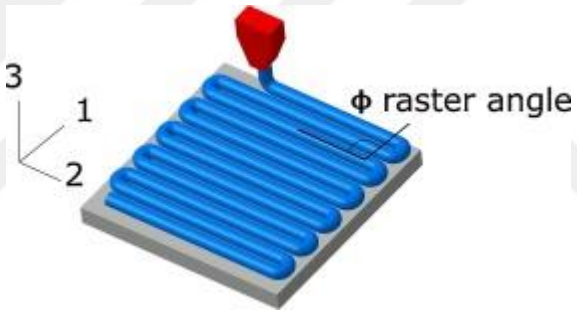
Bu çalışmada odak noktası olan sürekli elyaf takviyeli kompozitin eklemeli imalat ile üretimine ticari olarak verilebilecek en iyi örnek MarkForged şirketinin yazıcılarıdır. Bu şirketin ürettiği yazıcılarla sürekli elyaf takviyeli üretimler için geçerli iyi mekanik özelliklere sahip, sanayiye yönelik ve kişisel uygulama alanlarının önü açılmasını sağlamışlardır.

Blok ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, parça kalitesini belirleyen işlem parametreleri ele alınmış olup bu yöntemin ne ölçüde kullanılabileceği araştırılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında eriyik maddenin akış ve ısıl dinamikleri ile malzeme tabakaları arasındaki yapışmayı incelemişler. Araştırmacıların incelemesindeki baskı sırasındaki önemli elemanlar Şekil 2.19'da görülmektedir. Bunlar sırası ile filament beslemesi, burkulma, ısıtıcı, basınç düşüşü ve baskı sırasında ısı dağılımına bağlı ortaya çıkan şişme ve yol bozulmasıdır. (Blok ve ark., 2018)



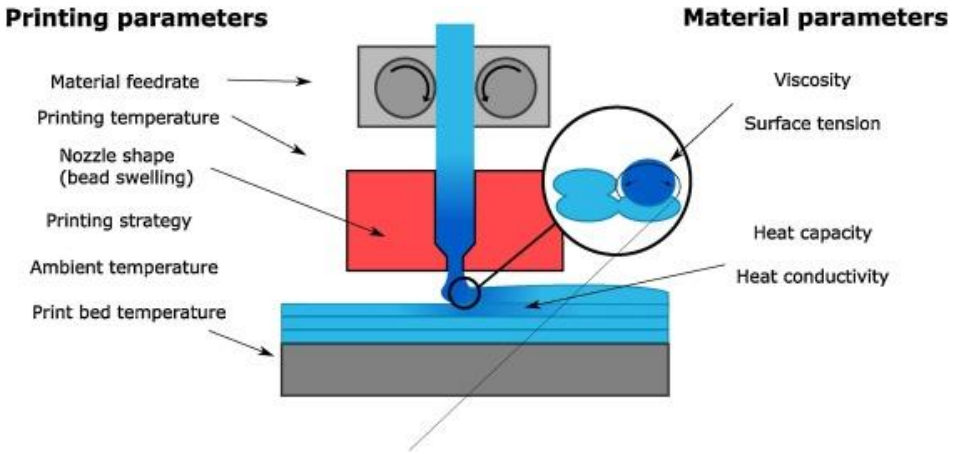
Şekil 2.19. FDM teknolojisinin anahtar elemanları (Blok ve ark., 2018)

Araştırmacıların incelediği diğer parametrelerden biri ana malzeme yönleri boyunca farklı özelliklere yol açan raster açısıdır. Şekil 2.20'de raster açısının yapısı görülmektedir. (Blok ve ark. 2018)



Şekil 2.20. Raster açısıyla 3b baskılı parçaların yapısı (Blok ve ark., 2018)

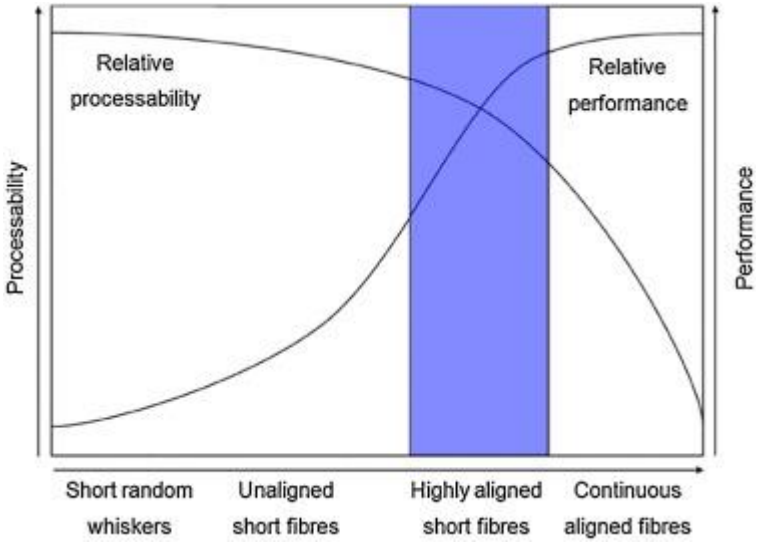
Ayrıca araştırmada baskı izleri arasındaki temas alanını artırmak ve boşluk içeriğini en aza indirmek için farklı baskı desenlerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca iyi bir kimyasal bağlanma için difüzyon işleminin ideal olması gerektiği belirtilmektedir. İdeal üç boyutlu baskı için ana parametreler baskı ve malzeme parametreleri olarak Şkil 2.21'de görülmektedir. (Blok ve ark., 2018)



Şekil 2.21. Optimum polimer sinterleme koşullarını sağlamak için iyi yüzey teması ve sıcaklık koşulları için ana parametreler (Blok ve ark., 2018)

Bunlara ek olarak, fiber takviyeli malzemeler ile baskı alınmasına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Kısa ve sürekli elyaf arasındaki mekanik özellikler olarak sürekli elyafın etkin olduğu görülmüştür. Çünkü kısa elyaflar daha fazla gaz boşlukları, birbirine geçen boşluklar ve liflerin serbest kalmasından dolayı lif çekilmesine maruz kaldığı görmüşler ve ayrıca liflerin eklenmesi ısı transferini etkileyerek malzemenin akışına katkı sağladığı incelemişler. (Blok ve ark., 2018)

Araştırmacılar bu çalışmalarında, sürekli elyaf takviyeli kompozit üretimi için MarkForged'in MarkOne cihazı, kısa elyaf için Lulzbot TAZ 6 yazıcısını kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan MarkOne cihazında iki nozul vardır. Bir nozuldan naylon verilirken, diğer taraftan naylon kaplı sürekli fiber verilmektedir. Diğer kısa elyaf için olan yazıcıda ise tek nozul, filament olarak ağırlıkça %6 kısa elyaf eklenmiş filament kullanılmışlardır. Burada MarkOne cihazının bir özelliği olarak sürekli fiber filament olmayan bölgeleri kullandıkları EIGER yazılımı ile tahmin ederek oluşan boşlukları doldurma işlemi olmuştur. Yapılan testlerin sonucu olarak, çekme testlerinde sürekli elyafın yüksek dayanıma sahip olduğu görmüşlerdir. Kesme özelliklerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Yapısal olarak kullanmak için mukavemet yanı sıra kaliteli olması gerekmekte olduğu görülmüştür. Elyafların kullanılması ısı transferini artırdığı belirtilmiş. Son olarak geleneksel yöntemlere kıyasla mukavemetlerin düşük kaldığı belirtilmiştir. Şekil 2.22'de lifin uzunluğunun işlenebilirlik ve performans üzerine etkisi görülmektedir. (Blok ve ark., 2018)



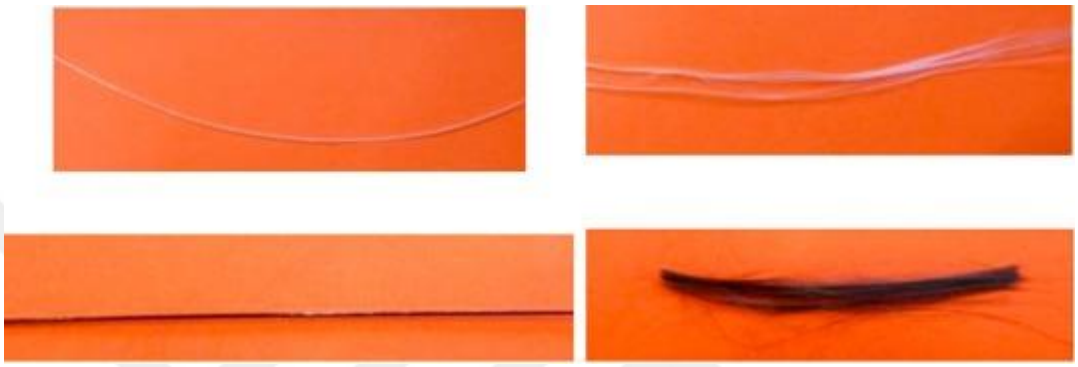
Şekil 2.22. Lifin işlenebilirlik ve performans üzerine etkisi (Blok ve ark., 2018)

Heidari-Ranani ve arkadaşları yaptığı çalışmalarında yeni bir ekstrüder tasarlamışlardır. PLA ve karbon fiber takviyeli PLA örnekler basarak test işlemleri gerçekleşmişlerdir. Ekstrüder tasarımında kullanılan malzemelere dikkat etmişlerdir. Ayrıca bu tasarımın ısıl analizini gerçekleştirip sıcaklığın soğutucu tarafta 130.8 °C ve sıcak blokta 215 °C olduğunu belirlemişlerdir. Bu nedenle ısı dağıtıcı bölüme sıcaklığı 40 °C düşürmek için soğutma fanı yerleştirilmiş. Burada önemli olan bir hususta, elyaf yüzey hazırlığı üzerine çalışma yapılmış olmasıdır. Burada yapılan araştırmanın neticesinde elyaf matris bağlanmasının zayıf olması, tabaklar arasında bağın bozulmasına ve delaminasyona neden olduğu incelenmiştir. Bununla alakalı 400 g PVA (polivinilalkol) kapta 2 litre suda çözüp 60 °C'de 1 saat boyunca karbon fiberin emmesi beklenmiştir ve devamında emprenye edilen fitil 1 mm delikten geçirilip oda sıcaklığında kurutularak fitil hazırlanmıştır. İki girişe sahip olan ekstrüder bir taraftan PLA ve diğer taraftan karbon fiber fitili verilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde karbon fiber takviyeli PLA ile hazırlanan numunelerin daha mukavim olduğu görülmüştür ve morfolojik analiz sonucunda PVA ile yüzey hazırlığının etkili olduğu görülmüştür. Etkin başarısızlık ise, delaminasyondan kaynaklı matris çatlaması olduğu görülmüştür. (Heidari-Rarani ve ark., 2019)

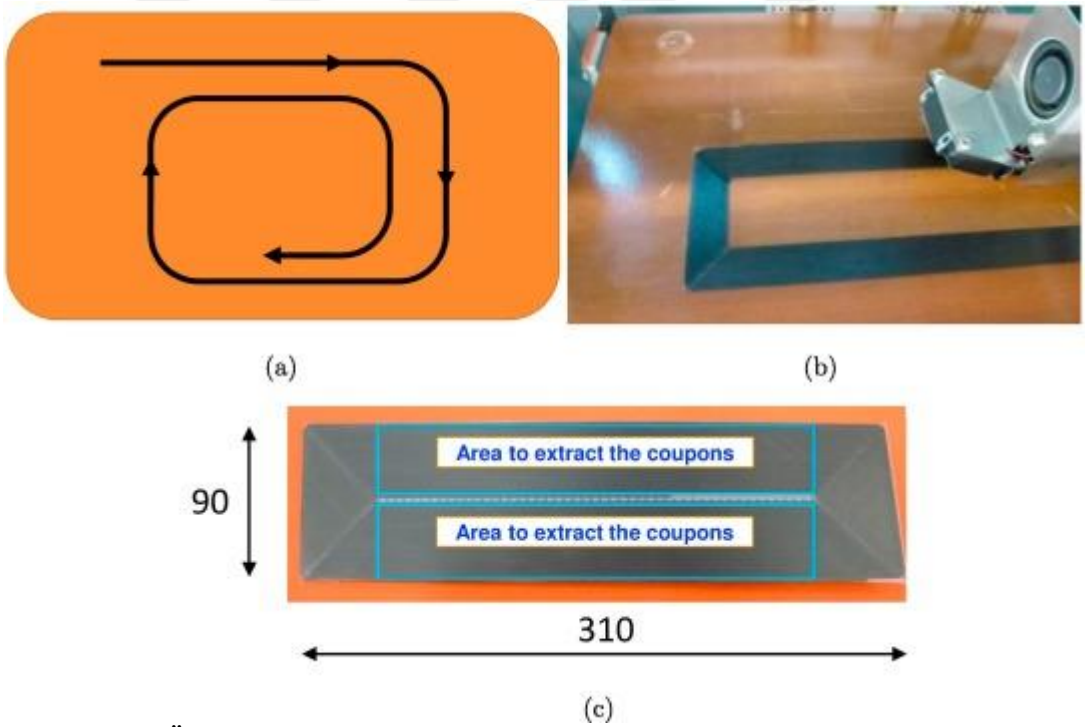
Justo ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bu yöntemin avantajlarını dört maddede sıralamışlardır. Bunlar; kalıp kullanımı gerekmez, üretimden sonra neredeyse hiç hurda

olmaması, üretildikten sonra az veya hiç işlem görmemesi ve işlemlerin otomatik ve insan hatalarından uzak olması olarak belirtilmiştir. (Justo ve ark., 2018)

Bu çalışmada sürekli karbon ve sürekli cam elyafların incelemesi yapılmıştır. Kullanılan filamentler Şekil 2.23'te görülmektedir. Üretilen numunelerin fiber yönlendirmeleri kullanılan MarkOne yazıcısında baskı alınmasında kullanılan özel kapalı kaynak yazılım EIGER ile yapılmıştır. Şekil 2.24'te üretim detayları görülmektedir. (Justo ve ark., 2018)

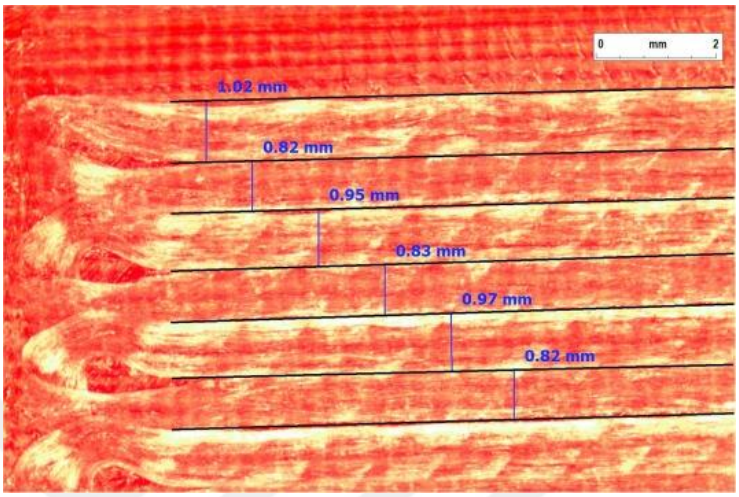


Şekil 2.23. Cam ve karbon takviyeli filamentler (Justo ve ark., 2018)



Şekil 2.24. Üretim detayları (a) Karbon fiber kompozit baskı işleminin şeması, (b) Karbon fiber kompozit baskı işlemi (c)Numune çıkarılacak bölgeler (Justo ve ark., 2018)

Ayrıca bu çalışmada önemli derecede elyaf dalgalanması olduğu belirlenmiştir. Bu dalgalanmalar Şekil 2.25'te cam elyaf kompozitin mikrografisinde görülmektedir. (Justo ve ark., 2018)



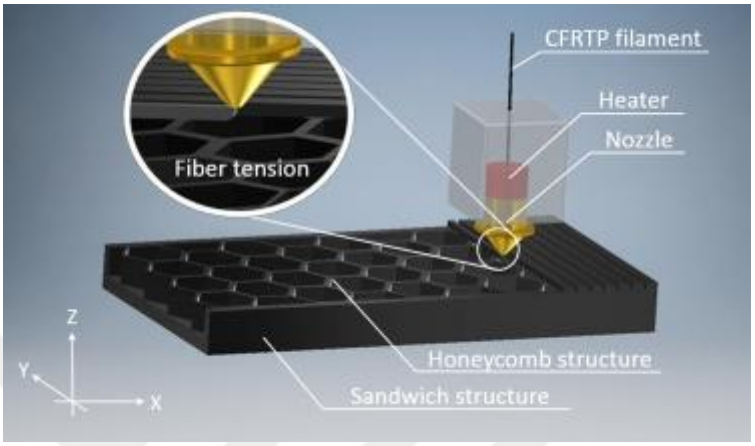
Şekil 2.25. Cam elyaf kompozitin mikrografı (Justo ve ark., 2018)

Bu çalışmanın önemli sonucu olarak, üretim sırasındaki dalgalanmalar gibi problemlerin aşılması durumunda umut verici bir prosedür olacağı belirtilmiştir. Ayrıca karmaşık parçaların oluşturulması, gözenekliliği azaltmak için baskı işleminin detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. (Justo ve ark., 2018)

Stepashkin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise, sürekli karbon fiber takviyeli PEEK kompozitlerin başarılı üç boyutlu baskısı rapor edilmiştir. Gözenekliliğin yoğunluğu termal iletkenliği azalttığı görülmüştür. Sıcaklık gradyanlarının katmanlarda ince kusurlara yol açarak yük altında küçük çatlaklara yol açtığı belirtilmiştir. (Stepaskin ve ark., 2018)

Sugiyama ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sandviç yapıların 3d yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin foksiyonel özellikleri, şekil değerlendirmeleri ve testleri yapmışlardır. Yapılan üç nokta eğilme testi sonucunda maksimum yük ve eğilme katsayısı tüm çekirdekler için etkin yoğunluk arttıkça artığı ve en güçlü yapının eşkenar dörtgen çekirdek olduğu tespit edilmiştir. (Sugiyama ve ark., 2018)

Burada önemli nokta, elyaf gerginliği kullanılarak desteksiz bir şekilde sandviç yapıların üretilmiş olduğu görülmektedir. Ancak sadece polimer kullanılarak yapılan üretimlerde köprü için destek gerekmektedir. Şekil 2.26'da elyaf gerilimi kullanılarak sandviç kompozitin üretimi şematik olarak görülmektedir. (Sugiyama ve ark., 2018)



Şekil 2.26. Elyaf gerilimi kullanılarak sandviç kompozitin 3b baskısının şematik gösterimi (Sugiyama ve ark., 2018)

Ayrıca farklı çekirdek şekilleri ile tasarım esnekliği artırılarak sürekli elyaf takviyeli termoplastik sandviç yapıların üretimi incelenmiştir. Burada çekirdek şekli birim hücrelere bölünerek çekirdeğin sürekli bir çizgi olarak yazdırılmasını sağlar. Normal üretimde çekirdek kısmı kapalı alan oluşturduğundan köprü boşlukları yazdırılırken destekler kaldırılamaz. Ancak burada elyaf gerginliği kullanılarak üretimde destek kullanılmasına gerek kalmadığı görülmüştür. Burada mekanik özellikler büyük ölçüde çekirdek şekline bağlı olduğu ortaya çıktığı görülmüştür. (Sugiyama ve ark., 2018)

İbrahim ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise polimer matris içine metal tel yerleştirilerek üretim gerçektirilmiştir. Prusa i3 yazıcısının ekstrüder kısmı değiştirilerek bir yerden matris malzeme gelirken diğer yerden ince metal gelmesi sağlanmıştır. Nozul kritik ölçüleri ve geliştirilmiş ekstrüder Şekil 2.27'de görülmektedir. (İbrahim ve ark., 2018)

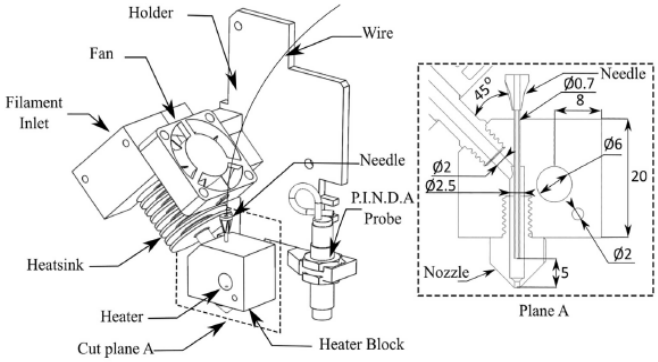
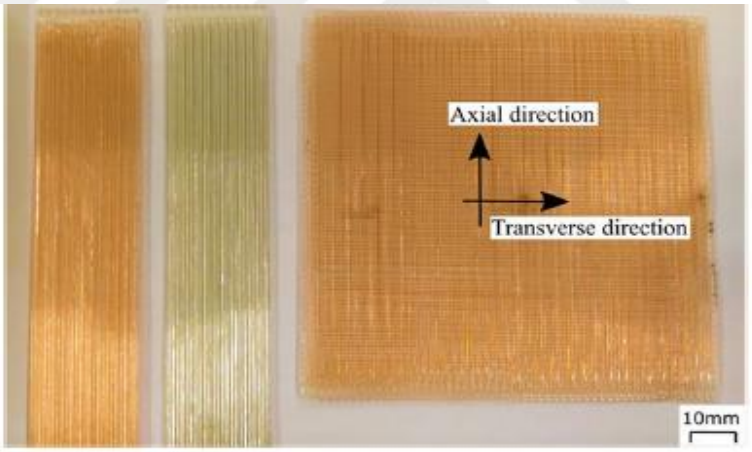


Fig. 1. Modified hot end with nozzle critical dimensions.

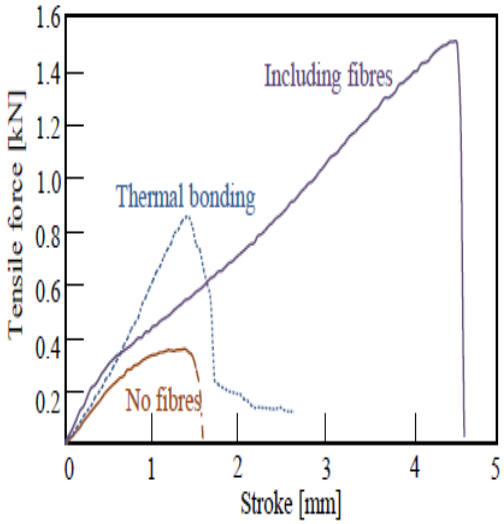
Şekil 2.27. Nozulun kritik ölçüleri ve modifiye edilmiş ekstrüder (İbrahim ve ark., 2018)

Bu çalışmada 75 mikron nikel-krom tel ve kaplanmış bakır tellerin PLA ile birleşmesi sağlanarak üretimler gerçekleştirilmiştir. Burada dikkat çeken nokta, telin ısı transferini artırmasıdır ve bu ısı transferinin azaltmak için ekstra soğutma uygulaması yapmışlardır. Üretilen numuneler Şekil 2.28'de görülmektedir. (İbrahim ve ark., 2018)



Şekil 2.28. 3d yazıcıda üretilmiş CWPC örnekleri (İbrahim ve ark., 2018)

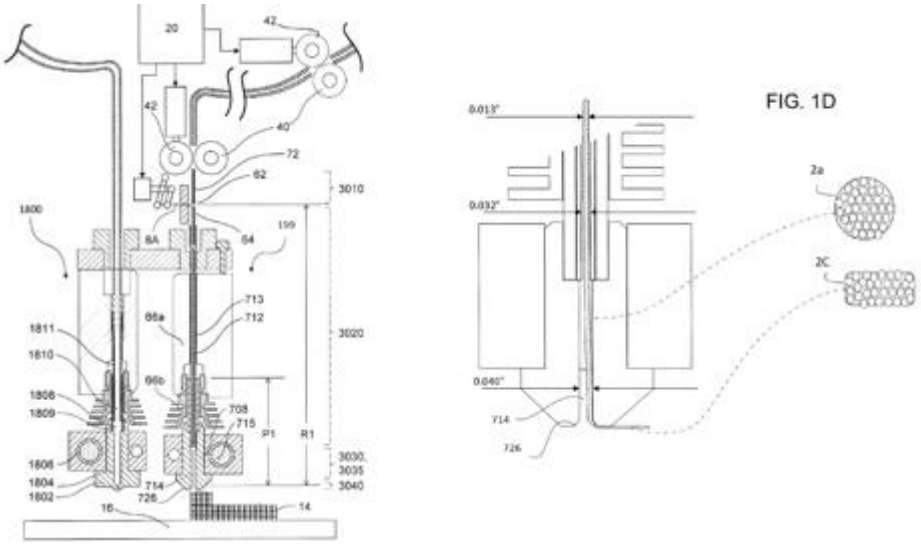
Mori ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ilk olarak katmanlar arasına fiber yatırılıp fırına yerleştirilerek üretim gerçekleştirilmiştir. 0.9 nozul, 1.75 mm ABS filament 190 °C basılıp üzerine 9K karbon elyaf yerleştirilerek üstü kapatılıp fırınlanmıştır, ancak termal bağ gerçekleşmemiştir. İkinci olarak sürekli elyaf filament ile gönderilmiştir. Burada termal bağ daha başarılı olup, mukavemet değerinin arttığı incelenmiştir. Sonuç olarak karbon elyafların nasıl ilave edildiği önem teşkil ettiği incelenmiştir. Bu durumlar için numunelerin statik test sonuçları Şekil 2.29'da görülmektedir. (Mori ve ark., 2014)



Şekil 2.29. 3d yazıcıda üretilmiş numunenin statik test sonucu (Mori ve ark., 2014)

Hao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise termoset malzemeler kullanılarak özel silindirik baskı yüzeyi ve düz baskı yüzeyi kullanılarak baskı alınmıştır. Bu sonucunda ısıyla sertleşen kompozitlerde sorun lif kırılması iken, termoplastik kompozitlerde lif çekilmesi olduğu görülmüştür. (Hao ve ark., 2018)

Markforged şirketinin patentine bakıldığı zaman özel bir sistem geliştirdikleri görülmektedir. Bir taraftan sürekli elyaf takviyeli naylon gelirken diğer taraftan sadece naylon gelmektedir. Burada ikinci nozulda sadece naylon kullanılmasının nedeni tasarım esnekliği sağlamaktır. Buna ek olarak, birinci nozulun bastığı yerlerdeki EIGER adı verilen özel yazılımını geliştirdiği baskı yolu sayesinde oluşan boşlukları tamamlamaktır. Sürekli elyaf takviyeli naylon gelen tarafta ayrıca kesiciler kullanılarak bu filamentin işi bittiğinde tabla ile sürekli elyaf filamentin aktarıldığı nozul ile bağlantısını kesmektir. Ayrıca bu nozul, tabla ve katmanlar arasındaki iyi bir yapışma sağlamak için uç kısmı düz olarak tasarlanmıştır. MarkForged şirketinin patenti Şekil 2.30'da görülmektedir.



Şekil 2.30. MarkForged şirketinin patenti

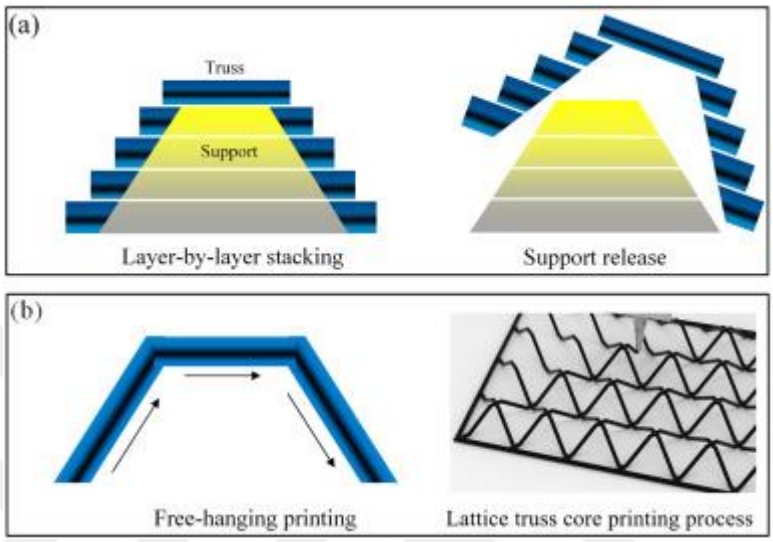
Yapılan araştırmalarda hedefimize yönelik 3d yazıcıda kafes çekirdek yapısının üretimine yönelik hedefe ulaşmış sadece bir makale bulunmaktadır.

Chun ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, açık hücre topolojisine sahip kafes yapılarının sandviç panel konstrüksiyonları için milimetre hücre büyüklüğünde hafif çekirdek yapılar olarak ilgi çektiği belirtilmiştir. Kafes yapıların tasarımı katlama imalatı sınırlı olduğu 3d baskı teknolojilerinin daha karmaşık ve gelişmiş kafes yapılarına izin verdiğini belirtmişlerdir. 3d baskılı materyalleri simüle etmek için Z-ultrat isimli malzeme kullanıldığını çalışmada belirtilmiştir.

Liu ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada, sürekli karbon fiber takviyeli termoplastik kafes yapılarını işlemek için serbest asılı 3b baskı yöntemi önerilmiştir ve baskı yolu üretim stratejisi, baskı kısıtlamaları ve parametreler arasındaki ilişkilere dayanarak oluşturulmuştur. Baskı doğruluğu ve kalitesini değerlendirmek için deneyler yapılmıştır. (Liu ve ark., 2018)

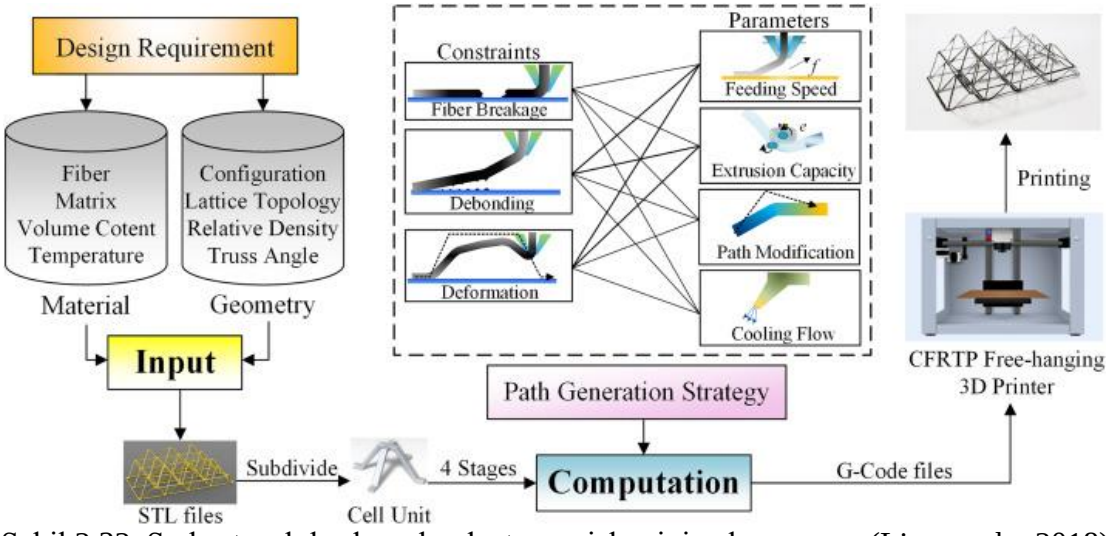
Bu çalışmada serbest asılı baskı yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntem katmanlı üretim yönteminden farklı olduğu belirtilmiştir. Serbest asılı 3b baskı, yapıların nozül uzamsal hareketinin kılavuzluğu ile doğrudan ekstrüde edilmesi prensibini takip eder. Sonuç olarak, eksen boyunca daha iyi çubuk yüzeyi ve taşıma özelliği elde edilir ve karmaşık destek yapısına artık ihtiyaç duyulmaz. Spesifik olarak bu prensip, sürekli elyaf takviyeli

malzeme için uygun görülüp, yapının sürekliliğini ve sağlamlığını artırdığı belirtilmiştir. Buradaki temel zorluğun doğruluk ve kalite olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.31'de katman yönteminin ve serbest 3b baskı prensibinin diyagramı gösterilmektedir. (Liu ve ark., 2018)



Şekil 2.31. Temel şematik diyagram (a) katman istifleme prensibi (b) serbest asılı 3d baskı prensibi (Liu ve ark., 2018)

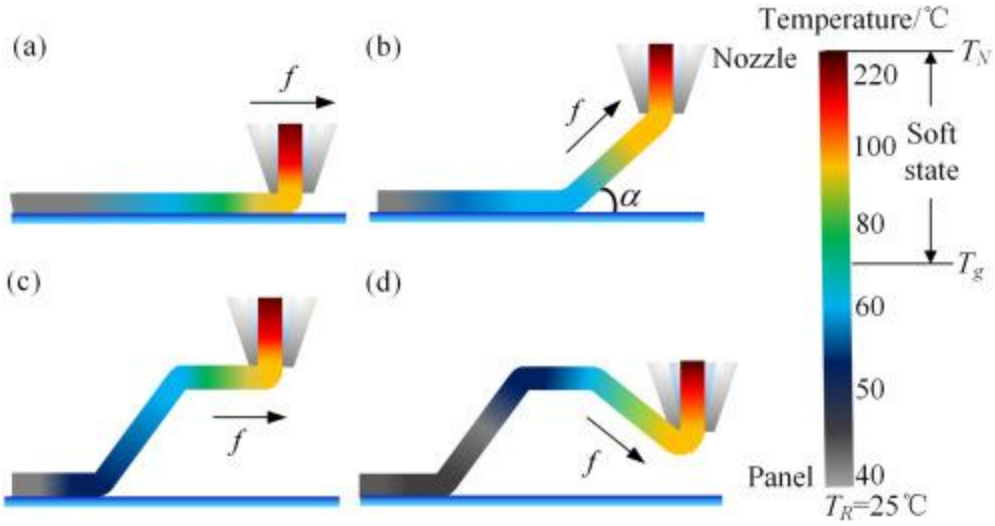
Bu çalışmada kullanılan serbest asılı baskı yolu işleminin akış şeması Şekil 2.32'de görülmektedir. Giriş aşamasında malzeme parametreleri ve geometri bilgileri, serbest baskı yolunun hesaplanması için temel verileri oluşturmaktadır. Daha sonra çoklu topolojiye, değişken kalınlığa ve kavise sahip kafes yapıları doğrudan djjital modelde tasarlanıp serbest asılı yazdırma yolu hesaplamasına aktarılmaktadır. (Liu ve ark., 2018)



Şekil 2.32. Serbest asılı baskı yolu oluşturma işleminin akış şeması (Liu ve ark., 2018)

Hesaplama adımında, geometri birkaç hücre ünitesine bölünerek, her hücrenin yatay, yukarı, sarkan ve aşağı olmak üzere 4 adımdan oluşması sağlanmaktadır. Bu dört aşamalı ana işlem parametreleri; besleme hızı, ekstrüzyon kapasitesi, yol değişikliği ve soğutma hava akışını içermektedir. Böylece baskı yolu hesaplanarak G kod dosyaları ortaya çıkar. Burada görülen farklı renkler, sıcaklık dağılımını temsil etmektedir. Burada yatay aşama, nozul ve şekillendirme paneli arasındaki mesafeyi azaltarak, karışımın sıkışma derecesi ve böylece iyi bir yapışma veya bağlanma mukavemetinin elde edilmesini sağlamaktadır. Yukarıya doğru aşamada, nozul α açısı ile kaldırılır ve bu esnada ekstrüzyon kapasitesi artırılır ve yukarı kalkmadan önce yavaşlama işlemi gerçekleştirilir. Bu arada soğutma hava akışı yukarı kalkarken yoğunlaşır ve basılan kafes üzerine doğrudan üflemesi sağlanmıştır. (Liu ve ark., 2018)

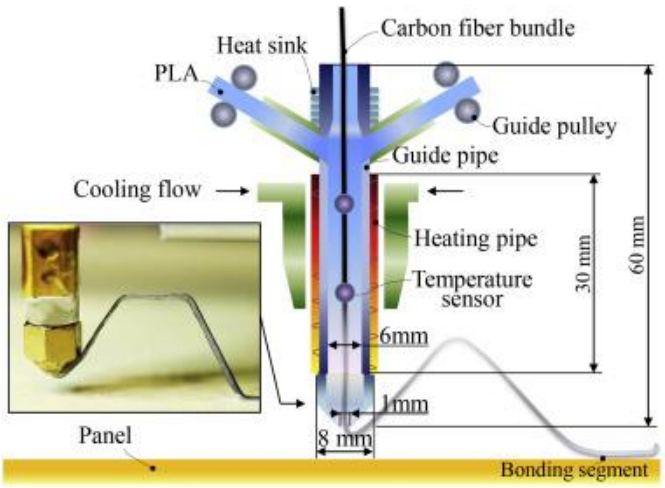
Sarkma aşaması için yumuşak durumdan kaynaklı yapısal deformasyon oluşmaktadır. Isıl deformasyonun neden olacağı problem göz önüne alarak hedef destek açısı belirlenir. Aşağıya doğru aşama için de yapısal hareket ile ilgili hesaplamalar yapılır ve yukarı doğru aşamayla ilgili işlemler aynı şekilde ayarlanır. Dört baskı aşamasının şematiği Şekil 2.33'te görülmektedir. (Liu ve ark., 2018)



Şekil 2.33. Dört tipik baskı aşamasının şematik gösterimi (Liu ve ark., 2018)

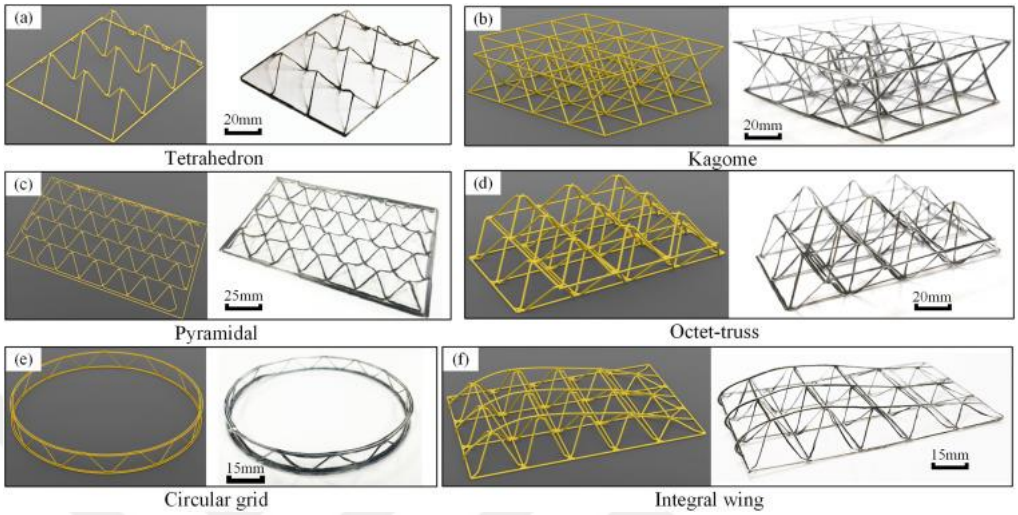
Bu hesaplamalar dikkate alınarak, yapısal doğruluklar değerlendirilerek, yol oluşturma stratejisi değiştirilerek geliştirmeler yapılmıştır. (Liu ve ark., 2018)

Bu çalışmada çekirdek yapı için sürekli karbon fiber ve PLA plastiği, sandviç numunelerin ön yüzünü üretmek için karbon fiber takviyeli epoksi prepreg kullanılmıştır. Bu çalışmada teknik verilere dikkat edilerek ekstrüder tasarımı gerçekleştirilmiştir. Karbon fiber ve PLA arasında iyi bir birleşme için iki matris girişi kullanılmıştır. 1K lık fiber için nozul çapı 1 mm yapılmıştır. Soğutma boruları nozul etrafına simetrik olarak yerleştirilmiştir. Ekstrüder tasarımı Şekil 2.34'te gösterilmektedir. (Liu ve ark., 2018)



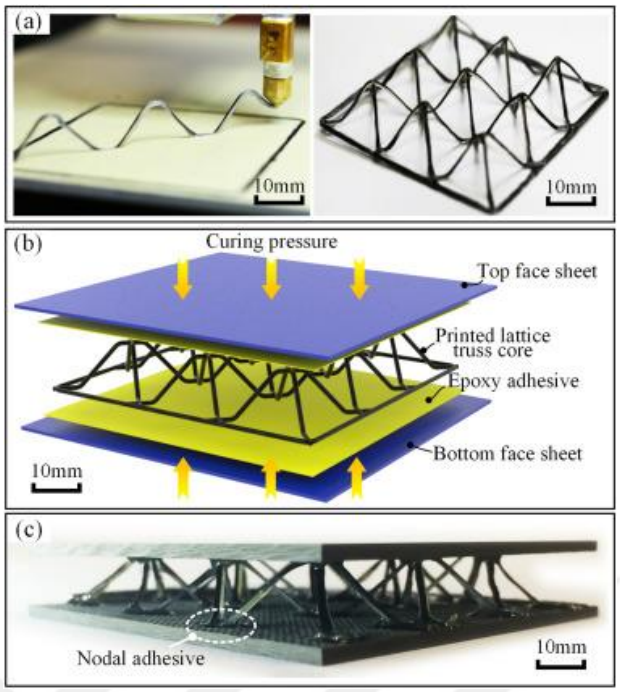
Şekil 2.34. Tasarlanmış ekstrüder şematik gösterimi (Liu ve ark., 2018)

Serbest asılı yöntemin esnekliğini doğrulamak için farklı tiplerde karmaşık yapılar basılmıştır. Farklı kafes yapılarının çekirdekleri Şekil 2.35'te görülmektedir. (Liu ve ark., 2018)

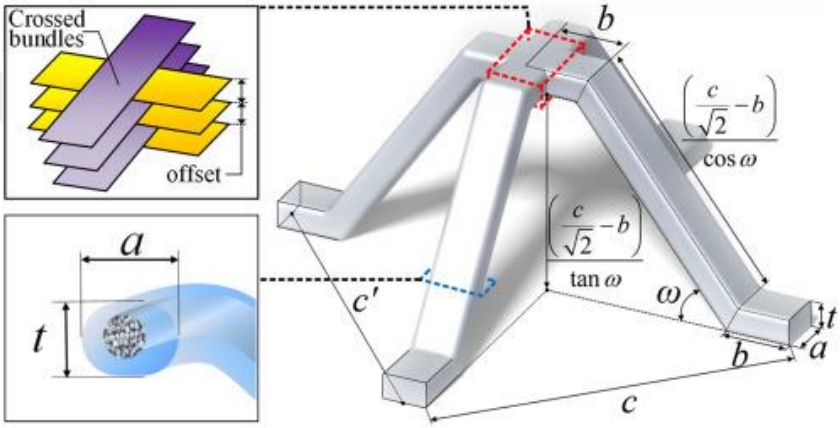


Şekil 2.35. Farklı kafes yapılarının çekirdeklerinin görünümü (Liu ve ark., 2018)

Üretim prosedürü ve pramit kafes çekirdeğin şematiği sırasıyla Şekil 2.36 ve Şekil 2.37'de görülmektedir. Çekirdek kafes yapısı basıldıktan sonra eşit basınç altında önceden oluşturulmuş alt ve üst levhalara epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. (Liu ve ark., 2018)

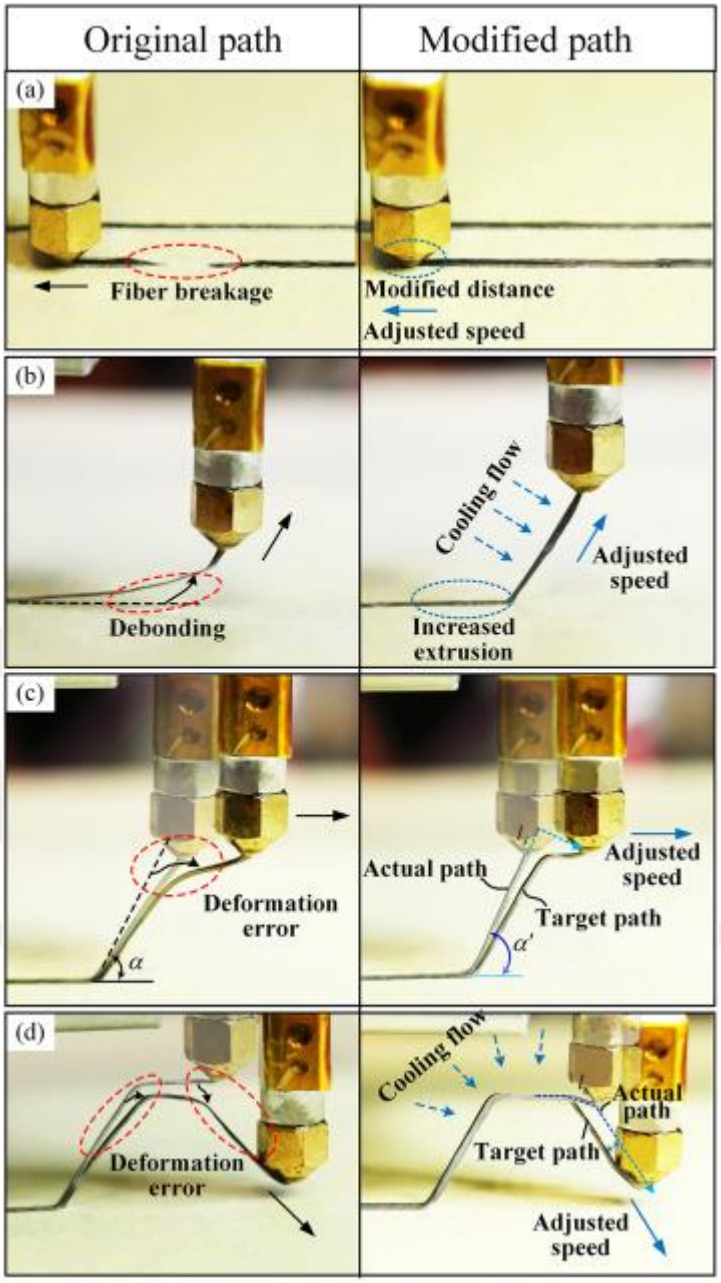


Şekil 2.36. Sandviç numune üretim prosedürü (Liu ve ark., 2018)



Şekil 2.37. Basılı piramidal çekirdeğin birim hücresinin şematik gösterimi (Liu ve ark., 2018)

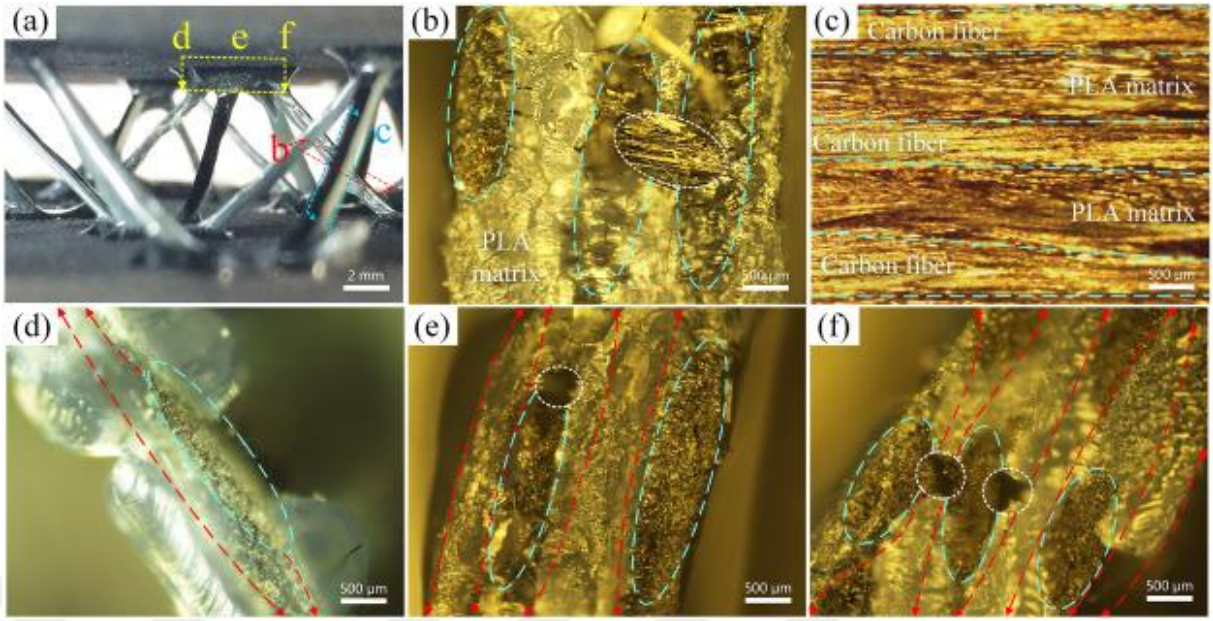
Burada temel olarak c=20 mm b=2 mm w= 40° olarak belirlenmiştir. Baskıların değerlendirilmesinde parametrelerin tecrübeler doğrultusunda ayarlanması boyutsal doğruluğu artırmaktadır. Şekil 2.38'de orijinal ve serbest baskı yolları arasındaki karşılaştırmalar ve iyileştirmeler görülmektedir. (Liu ve ark., 2018)



Şekil 2.38. Orijinal ve serbest asılı baskı yolları arasındaki karşılaştırmalar ve iyileştirmeler (Liu ve ark., 2018)

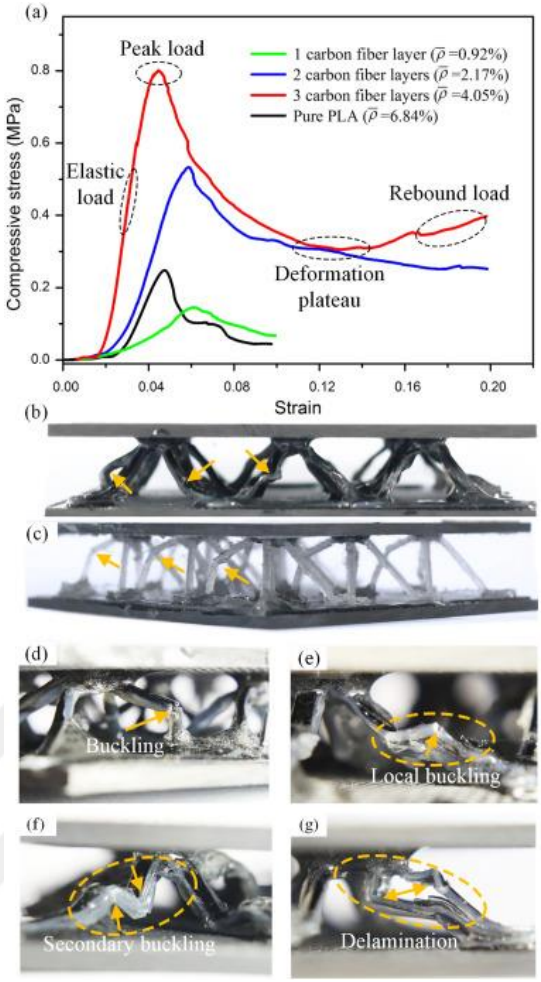
Burada karşılaşılan hatalar ve yapılan modifiyeler Şekil 2.38'de görülmektedir. Burada modifiye işlemi ile hata %19,64 ten %1,89 a gerilemiştir. (Liu ve ark., 2018)

Çalışmada, kesitsel morfolojinin incelenmesinden sonra, emprenye bölgelerinde boşluklar görülmemiş olup PLA lif içerisine yüksek viskoziteden dolayı giremediği belirtilmiştir. Bunlar baskı hatası olarak nitelendirilmektedir. Şekil 2.39'da serbest asılı kafes kirişlerin kesit morfolojisi görülmektedir. (Liu ve ark., 2018)



Şekil 2.39. Serbest asılı kafes kirişlerin kesit morfolojisi (a) örneğin konumu (b) ve (c) kirişe ve kiriş boyunca dik kesitler (d), (e) ve (f) ise farklı tabakaya sahip hücrelerin tepe noktasındaki demetin kesit morfolojisi (Liu ve ark., 2018)

Yapılan sıkıştırma testinin sonucu ve davranış şekilleri Şekil 2.40'ta görülmektedir. (Liu ve ark., 2018)

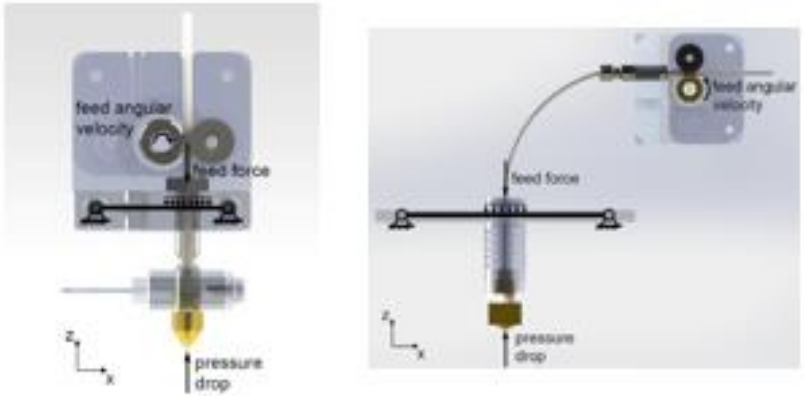


Şekil 2.40. Kafes sandviç numunelerin sıkıştırma davranışları ve sonuçları (Liu ve ark., 2018)

Burada geliştirilen yöntemi bizim için kullanılabilir ve geliştirilebilir olmasından dolayı bu makale özümsenmesi çalışma için çok değerlidir. Ayrıca tasarım aşamasında kullanılacak nozul ile ilgili özel araştırma yapılarak ideal ekstrüder kafası tasarımı hedeflenmiştir.

Tiegenov ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada nozul durum incelemesi yapılmıştır. Burada iki tip ekstrüderden bahsedilmektedir. Bunlar; direkt ve bowdendir. Direk olanda ekstrüder filament iticisi ekstrüder kafasına bağlı iken, bowden tipte filament belli bir mesafeden kılavuz tüp ile ekstrüder kafasına geldiği belirtilmiştir. Ayrıca fiziksel tabanlı model oluşturularak ekstrüder davranışları incelenmiştir. Burada iki tip kuvvetten bahsedilmiş olup biri besleme kuvveti, diğeri ise geri basınç kuvvetidir. Kirişlere

uygulanan kuvvetlerin farklı olduğu belirtilmiştir. Ekstrüder tiplerinin fiziksel tabanlı modelleri Şekil 2.41'de görülmektedir. (Tlegenoy ve ark., 2018)

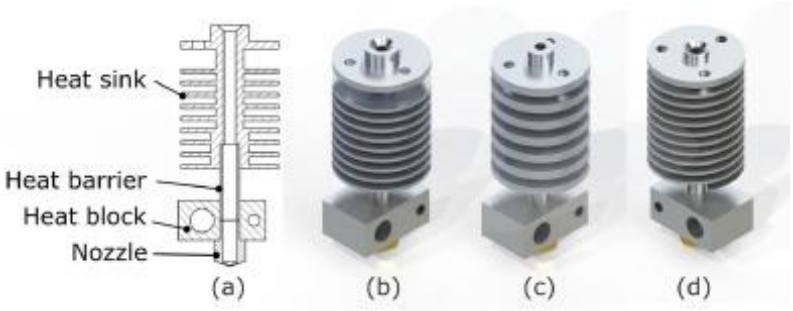


Şekil 2.41. Ekstrüder tiplerinin fiziksel tabanlı modelleri (Tlegenoy ve ark., 2018)

Bu çalışmada 3b yazıcının ekstrüder tarafındaki titreşimleri daha iyi incelemek için tabla hareketli, ekstrüder sabit yapılmıştır. Etkin nozul çapı ve sıcaklık parametreleri kullanılarak ivme ölçerler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, titreşimin beslenme kuvveti tam olarak aktarılamadığı için bowden tip ekstrüderde daha fazla olduğu görülmüştür. Çap azaldıkça titreşimlerinin arttığı tespit edilmiştir. (Tlegenoy ve ark., 2018)

Nienhaus ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise, ekstrüzyon kuvveti ve nozul geometrisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Nozulun giriş kanalı, konik bölüm ve kılcal bölüm olmak üzere üç kısımdan oluştuğu belirtilmiştir. En yüksek kayma gerilimi ve aşınmaya maruz kısımların konik ve kılcal kısımların olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yüksek besleme hızlarında ekstrüzyon kuvvetlerinin dalgalı bir davranış sergilediği görülmüştür. Ayrıca yüksek ekstrüzyon sıcaklıkları iyi bağlanma sağlarken, yüksek gradyanlar parçada termal deformasyona neden olduğu belirtilmiştir. Ekstrüzyon kuvvetleri incelenerek en düşük kuvvetin konik kısmın açısını 56° belirlemiştir. (Nienhaus ve ark., 2019)

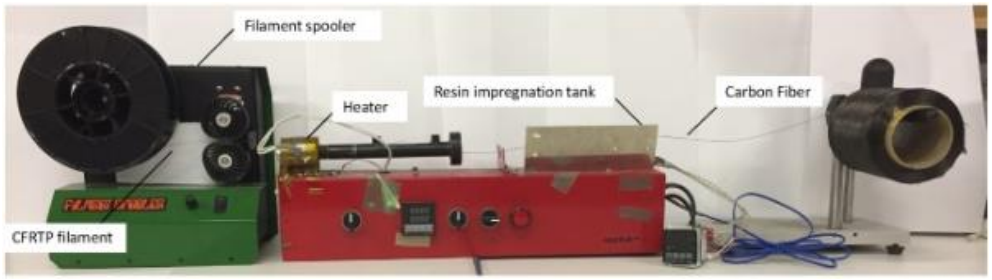
Jerez-mesa ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise fan hızı ve ısı dağıtıcı geometrileri incelenmiştir. Bu ısı dağıtıcı tipleri 1 mm kanatçığa sahip ısı dağıtıcısı, 4 mm kanatçığa sahip olan ve helisel tipte olandır. Ayrıca ekstrüder kafasında kullanılan malzemelerin nasıl olması gerektiği üzerine durulmuştur. İncelenen ısı dağıtıcı tipleri Şekil 2.42'de görülmektedir. (Jerez ve ark., 2018)



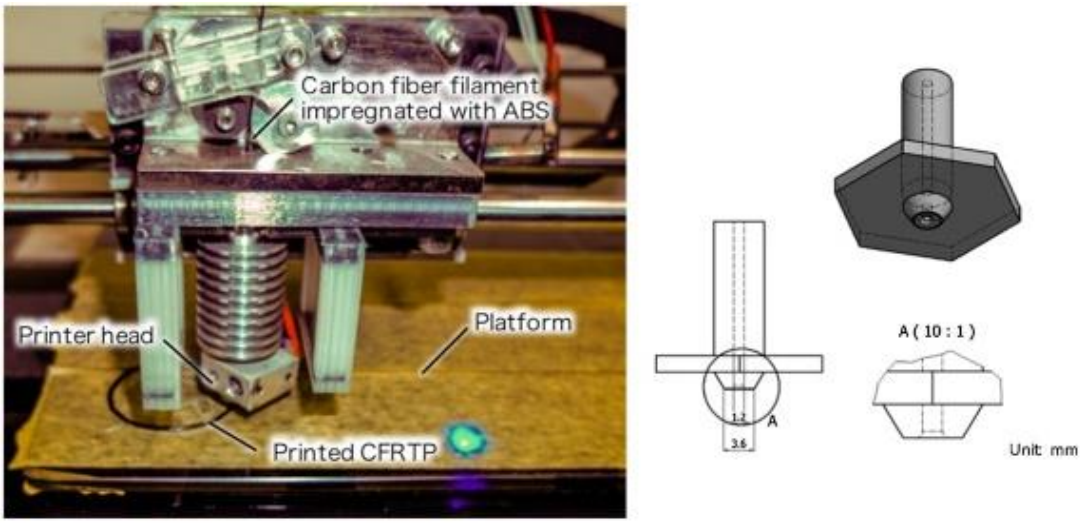
Şekil 2.42. Test edilen ısı dağıtıcı tipleri (Jerez ve ark. 2018)

Sonuç olarak en iyi soğutmanın helisel tipte olduğu görülmüştür ve fan hızının belli bir seviyeden sonra ısı transferine yardımcı olmadığı görülmüştür. (Jerez ve ark., 2018)

Matsuzaki ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, kullanılan fiberin eğrilik yarıçapı ve fiber boyutunun eğrilik yarıçapına etkilerini incelemişlerdir. İlk olarak çeşitli boyutlarda elyaf kullanılarak farklı yarıçaplı daireler basmışlardır. Bunu yapmak için ilk önce ABS reçinesi ve karbon fiber kullanılarak kompozit filamentlerin imalatı gerçekleştirilmiştir ve 0.4 mm çapında 1K, 4K, 8K karbon fiberli ürünler elde edilmiş. Karbon elyaf takviyeli filament imalatı Şekil 2.43'te görülmektedir. Çalışmada kullanılan ekstrüder ve nozul tasarımı Şekil 2.44'te görülmektedir. (Matsuzakive ark., 2018)

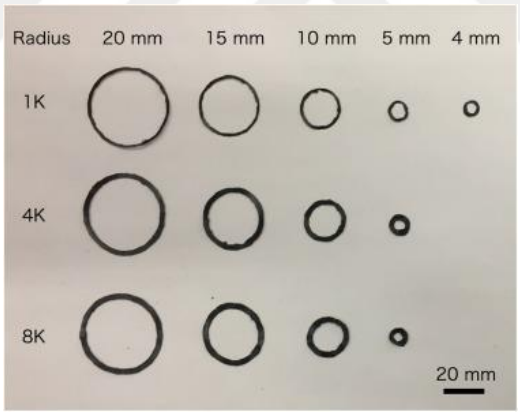


Şekil 2.43. Karbon fiber takviyeli filament imalatı (Matsuzakive ark., 2018)



Şekil 2.44. Kullanılan ekstrüder ve nozul tasarımı (Matsuzakive ark., 2018)

Bu çalışmada eğrilik yarıçapının ve filament boyutunun baskı hassasiyetine etkilerini incelemek için daireler basılmıştır. Üretilen daireler ve parametreler Şekil 2.45'te görülmektedir. (Matsuzakive ark., 2018)



Şekil 2.45. Üretilen daireler ve parametreleri (Matsuzakive ark., 2018)

Üretimde nozul çapı 1,2 mm ve fiberlerin kırılmasını önlemek için nozul çıkısına 0.5 mm lik konik eklenmiş ve 0.05 mm çözünürlük belirlenmiştir. (Matsuzakive ark., 2018)

1K filamentlerle daire üretimi sonucunda büyük yarıçaplarda lif bükülmesi ve küçük yarıçaplarda liflerin geriye katlanması görülmüştür. Üretim sonuç değerlendirmeleri Şekil 2.46'da görülmektedir. (Matsuzakive ark., 2018)

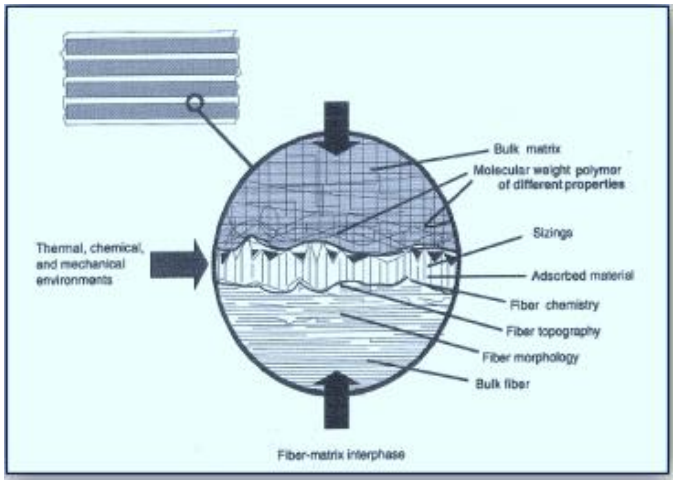
		Set radius, r_{set} (mm)					
		3	4	5	10	15	20
Number of Carbon fiber	1K	Failure	Success	Success	Success	Success	Success
	4K	Failure	Failure	Success	Success	Success	Success
	8K	Failure	Failure	Success	Success	Success	Success

Şekil 2.46. Üretim sonuç değerlendirmeleri (Matsuzakive ark., 2018)

Ayrıca bu çalışmada, büküm modeli oluşturularak matematiksel ifadeler elde edilmiştir. Böylece gerçek baskı yarıçapını tahmin etmek için büküm ve yol uzunluğu modelleri oluşturulmuştur. Büküm modeli basılı yarıçapın üst sınırını, yol uzunluğu alt sınırını belirlemiştir. Bu çalışma sonucunda basılan malzemenin eğriliği tahmin edilebilir ve basılan dairelerin yarıçapı ile ayarlanan yarıçapı arasında ilişki kurularak kontrollü 3b baskı olacağını öngörmüşlerdir. Eğriliğin değişmesi ve birkaç katman olması durumunda genişlemenin olacağı tahmin edilmiştir ve bunların kompozitlerin mekanik özelliklerini bozacağı belirtilmiştir. (Matsuzakive ark., 2018)

2.7.Fiberde Mekanik ve Kimyasal İşlemler Üzerine Araştırmalar

Kompozitlerin mekanik özellikleri matris ve takviye malzemesine bağlı olmakla beraber fiber- matris arayüzeyi yapışmasından da etkilenmektedir. Yapılan araştırmalara göre karbon fiberlerin ıslanabilirliği ve fiber-matris arayüzey yapışmasının artması, fiber üzerinde bulunan aktif bölgelerin veya yüzey polaritesinin artışı ile mümkün olacağı sonucuna varılmıştır. Böylece matrise gelen gerilmelerin fiber malzemeler tarafından daha çok taşınmasına yol açacağı düşünülmektedir. Literatürde yapılan karbon fiberler üzerine plazma, elektrokimyasal oksidasyon, ıslak kimyasal ve termal işlemi gibi uygulamalar ile kompozitlerin ıslanmaları ve yapışmaları belirli bir dereceye kadar iyileştirilmiştir. (Ahmed ve ark. 2017) Bu tez çalışmasında karbon fiber üzerindeki sizing ajanlarının kaldırılarak, elektrokimyasal oksidasyon ile karbon fiber-matris arayüzeyinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 2.47'de fiber matris arayüzeyinin şematik diyagramı gösterilmektedir. (Lawrence, 1990)



Şekil 2.47. Fiber-matris arayüzeyinin şematik diyagramı (Lawrence, 1990)

Bu çalışmada, öncelikli hedef olarak, fiber ıslanması ve fiber-matris yapşmasını artırabilmek için fiber ayırma işlemi uygulanmıştır.

Uygulanan işlemler mekanik ve kimyasal olarak iki grup halinde incelenmiştir. İlk olarak mekanik daha sonra kimyasal araştırmalar çalışmada incelenmiştir.

2.7.1.Mekanik İşlemler

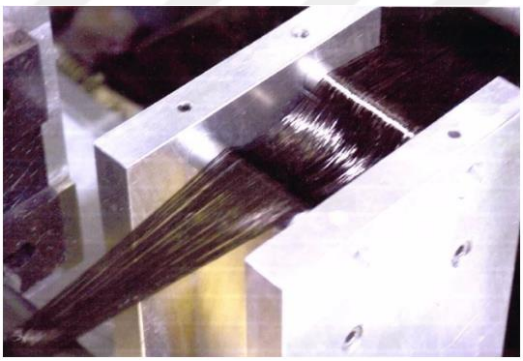
Mekanik işlemler ile fiber yayılması sağlanarak ultra hafif ve mekanik dayanımı yüksek kompozit yapıların imal edilmesine olanak tanımaktadır. Yani daha geniş ve ince bantların elde edilmesi hedeflenmektedir.

Yapılan araştırmalarda fiberleri daha geniş ve daha ince bantlara yaymak için üç yöntem açıklanmıştır. Bunlar; lifleri yüksek gerilim uygulayarak yayıcı çubukların üzerinden çekmek, hava ile ve ultrasonik ve başka titreşimler uygulayarak ayırma işlemleridir. Bu yöntemler Şekil 2.48'de görülmektedir.

Şekil 2.48. Fiber ayırma yöntemleri (a) çubuk ile ayırma, (b) hava ile ayırma, (c) ultrasonik titreşim ile ayırma (Anonim 2020)

Çubuk yönteminde 3-5 adet, sarma açıları 90°-180° ve sıcaklıkları 150 °C olan yüzeyi cilalı çubuklar kullanılarak ve ön gerilim uygulanarak fiber yayılması sağlandığı belirtilmiştir. Bu yöntemin Zoltek frması tarafından 2001 yılında patenti alınmıştır. Üretim hızı 25 m/dak ile sınırlı olduğu, daha yüksek hızlarda sürtünme arttığı ve fiberlere zarar verdiği belirtilmiştir. Maksimum yayılma genişliği en fazla 3 kat olduğu belirtilmiştir. (Anonim 2020)

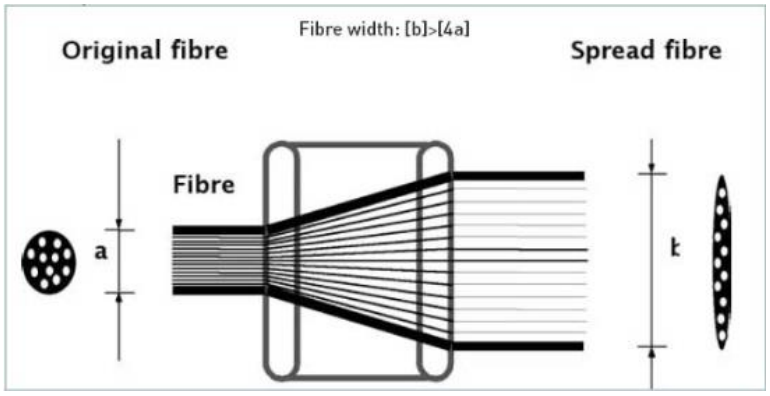
Hava ile ayırma yönteminde 6 bara kadar basınç, hava akış açısı 0°-180° aşağıdaki gibi sistem kullanılarak ayırma işlemi yapılmaktadır. Bu yöntemde, hava fiberleri ayırıp, daha az fiber hasarı ve 6-7 kat fiber genişliğine yayıldığı belirtilmiştir. Şekil 2.49'da hava yöntemi görülmektedir. (Anonim 2020)



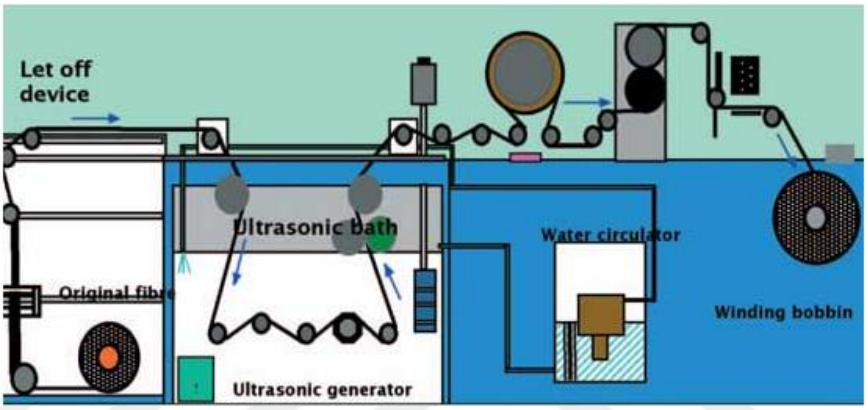
Şekil 2.49. Hava yöntemi (Anonim 2020)

Ultrasonik yöntemde ise, 3-5 adet, 1°-120° sarma açılı çubuklar kullanılarak ve ultrasonik frekans ve ön gerilimli fiber kullanılarak ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde titreşim kullanılmaktadır. Ancak karbon lifi için kullanılamayacağı belirtilmiştir. (Anonim 2020)

Japonya'da yeni bir elyaf makinesi geliştirilmiş, ultrasonik frekans değeri deneme yanılma yoluyla bulunmuştur. Yayılma genişlikleri; 12K karbon fiber için maksimum 30 mm, 24k için maksimum 45 mm olmuştur. Şekil 2.50 ve Şekil 2.51'de fiber ayırma işleminin şeması ve geliştirilen fiber ayırma makinesi görülmektedir. (Uno, 2015)



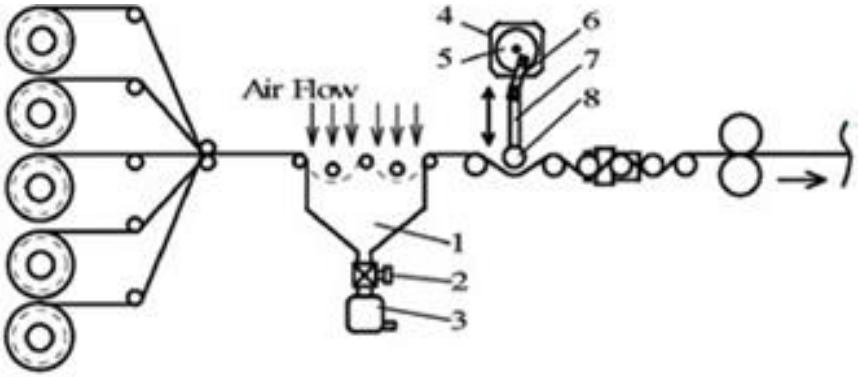
Şekil 2.50. Fiber ayırma işleminin şematik gösterimi (Uno, 2015)



Şekil 2.51. Fiber ayırma makinesi (Uno, 2015)

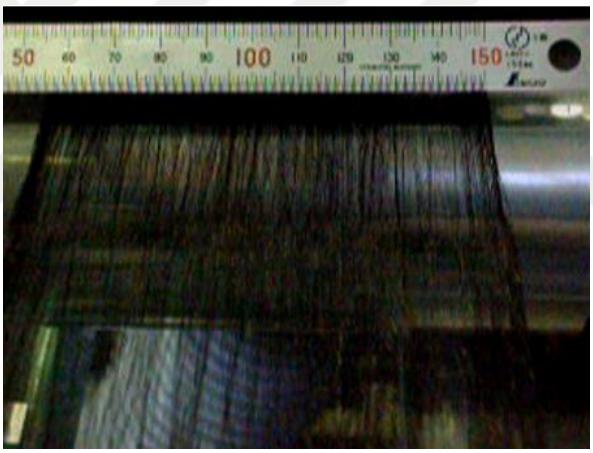
Bunun sonucunda, düşük boşluk içeriği, mekanik mukavemeti artan ürünler elde edildiği belirtilmiştir. (Uno, 2015)

Kawabe ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada işleme hızı 10 m/dak civarında, hava ile ayırma ve krank sistemi ile gerilme-gevşeme sağlanarak ürünler elde edilmiştir. Elde edilen ürünler yüksek çekme mukavemetine ve elastik modülüne sahiptir. Geliştirilen çoklu fiber ayırma işleminin şematik diyagramı Şekil 2.52'de görülmektedir. (Kawabe ve ark., 2009)



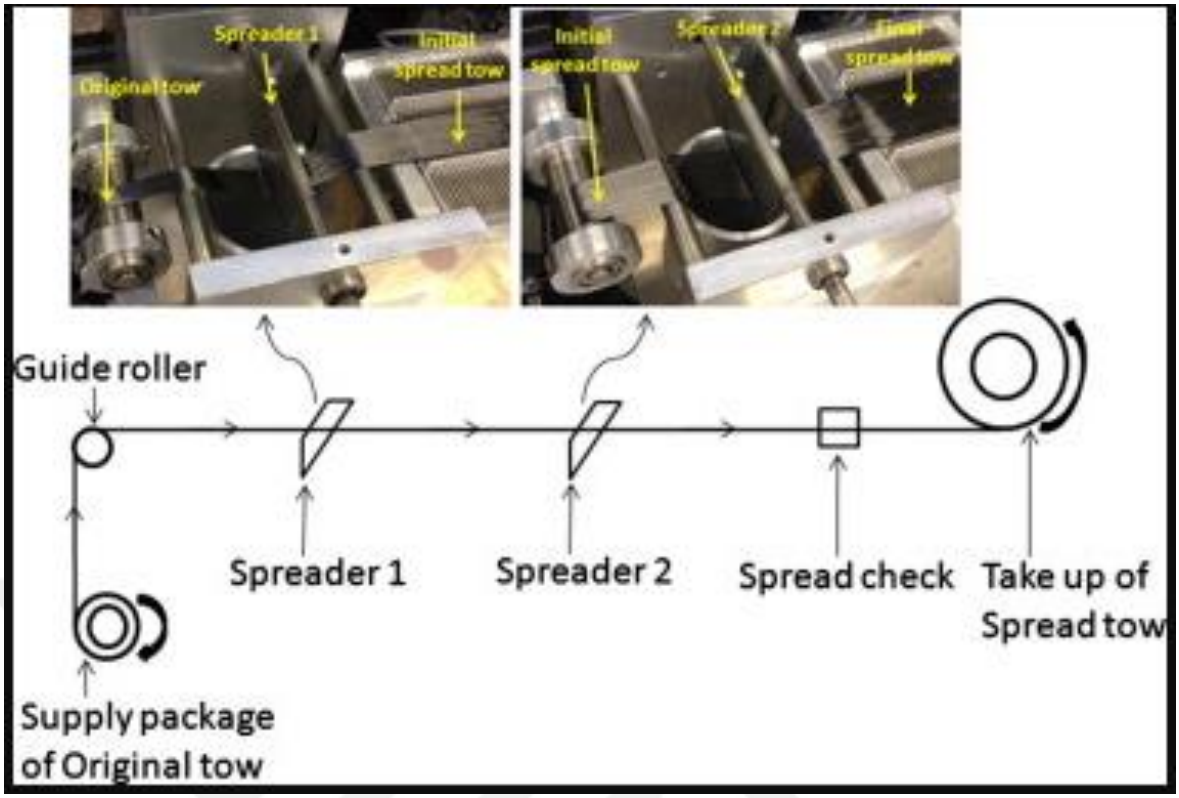
Şekil 2.52. Çoklu fiber ayırma şematik diyagramı (Kawabe ve ark., 2009)

Harmoni adında firma hava akış ve gerilim kontrolü kullanılarak ve 20 m/dak işlem hızında orijinal fiberin 4-5 katı ürünler elde etmiştir ve bu ayrılmış fiber Şekil 2.53'te görülmektedir. (Anonim 2019)



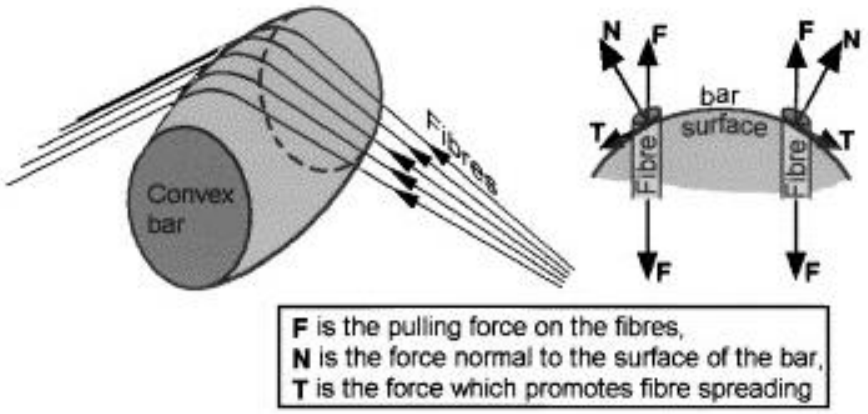
Şekil 2.53. Ayrılmış fiber (Anonim 2019)

El-Dessouky ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, ultra hafif kompozit ve daha iyi emilim hedeflenmiştir. Bu çalışmada, 12k karbon fiber için 5 mm'den 25 mm'ye yayma gerçekleştirilmiştir. İşlem hızı 5 m/dak olarak ayarlanmıştır. Şekil 2.54'te bu ayırma sistemi gösterilmektedir. (El-Dessouky ve ark., 2013)



Şekil 2.54. Ayırma sistemi (El-Dessouky ve ark., 2013)

Marissen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, dış bükey çubuklar kullanılmıştır. Çubuklara pim takılması elyaf hasarına neden olmuştur, ancak ayırmada aktif rol almıştır. Şekil 2.55'te bu dış bükey çubuklar gösterilmektedir. (Marissen ve ark., 2000)



Şekil 2.55. Dış bükey çubuklar (Marissen ve ark., 2000)

Naeem ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, dış bükey çubuklar alüminyumdan yapılarak ve üzerine mikron seviyede yivler açılarak ayırmaya yardımcı olması sağlanmıştır. (Naeem ve ark., 2019)

2.7.2.Kimyasal İşlemler

Afzal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, fiber yüzey kaplama işleminin ve yüzey modifikasyonunun karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karbon fiber, ısı, aseton ve aseton-asit olmak üzere üç tip yöntem kullanılarak fiber kaplamasının kaldırılması sağlanmıştır. Yüzey morfolojisini araştırmak için taramalı elektron mikroskobu analizi yapılmıştır. Fiber kaplamasının kaldırılması işlemiyle eğilme mukavemetini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Aseton uygulaması ve ısıl işlem için eğilme dayanımının yaklaşık %19 ve %29 azaldığı bildirilmiştir. (Afzal ve ark., 2013)

Çalışmada, yaklaşık 7 mikron filament çaplı bir 3k düz dokuma kumaş karbon fiber kullanılmıştır. Fiber kaplamasının kaldırma işlemi için birkaç karbon fiber kumaş katmanı 6mmx2.8mm boyutlarında kesilmiştir. Karbon fiber yüzeyinden kaplamanın kaldırılması için üç yöntem kullanılmıştır: (Afzal ve ark., 2013)

Aseton İşlemi: Birkaç kumaş katmanı dikkatlice 200 ml asetonla doldurulmuş bir alüminyum kutuya istiflenmiştir. Lifler, 16 saat boyunca aseton çözeltisi içinde tutulmuştur. 16 saat sonra aseton kutudan boşaltılmış ve tüm kutu 100 °C'de önceden ısıtılmış bir fırının içine yerleştirilmiş ve elyafları tamamen kurutmak için 30 dakika bekletilmiştir. (Afzal ve ark., 2013)

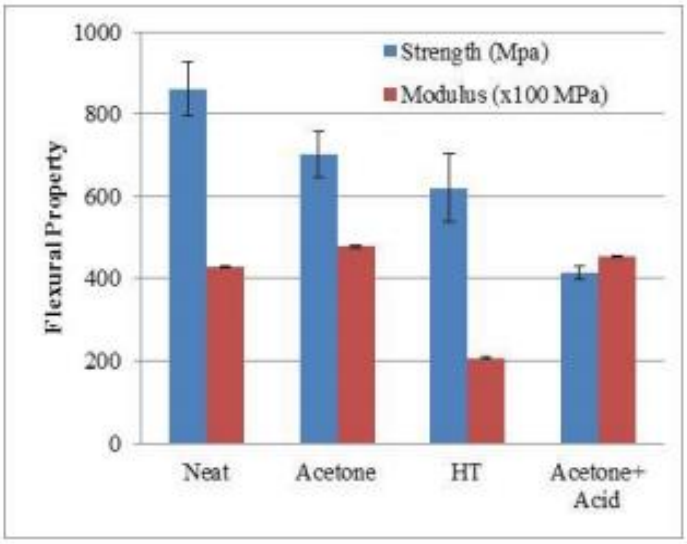
Aseton+Asit İşlemi: Burada, asetonla işlem görmüş elyaflara ayrıca asit ile muamele edilmiştir. 16 saat aseton muamelesi ve yeterli kurutmadan sonra, elyaflar 2 saat boyunca 60 °C'de hacimce 3: 1 oranında konsantre $HN0_3$ ve H_2S0_4 karışımı içine daldırılmıştır. Daha sonra tekrar tekrar yıkanmıştır ve deiyonize su ile durulanmıştır. Sonrasında suyun ph'si tüm asidin uzaklaştırıldığını göstermiştir. Son olarak, elyafta kalan suyu almak için 100 °C'de 4 saat bir fırında tutulmuştur. (Afzal ve ark., 2013)

Isıl İşlem: Bu işlemde, fiberin üzerindeki kaplama ısı yardımı ile giderilmiştir. Bu işlemin amacı, uzun süre ısıya maruz kalması nedeniyle elyafı bozmadan kaplamayı ortadan kaldırmaktır. Bu işlem, bir fırına yerleştirilmiş bir kuvars tüp kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Fırın 430°C'ye yükseltilmiş ve 20 dakika tutulmuştur. Isıl işlem sırasında inert bir ortam oluşturmak için azot verilmiştir. (Afzal ve ark., 2013)

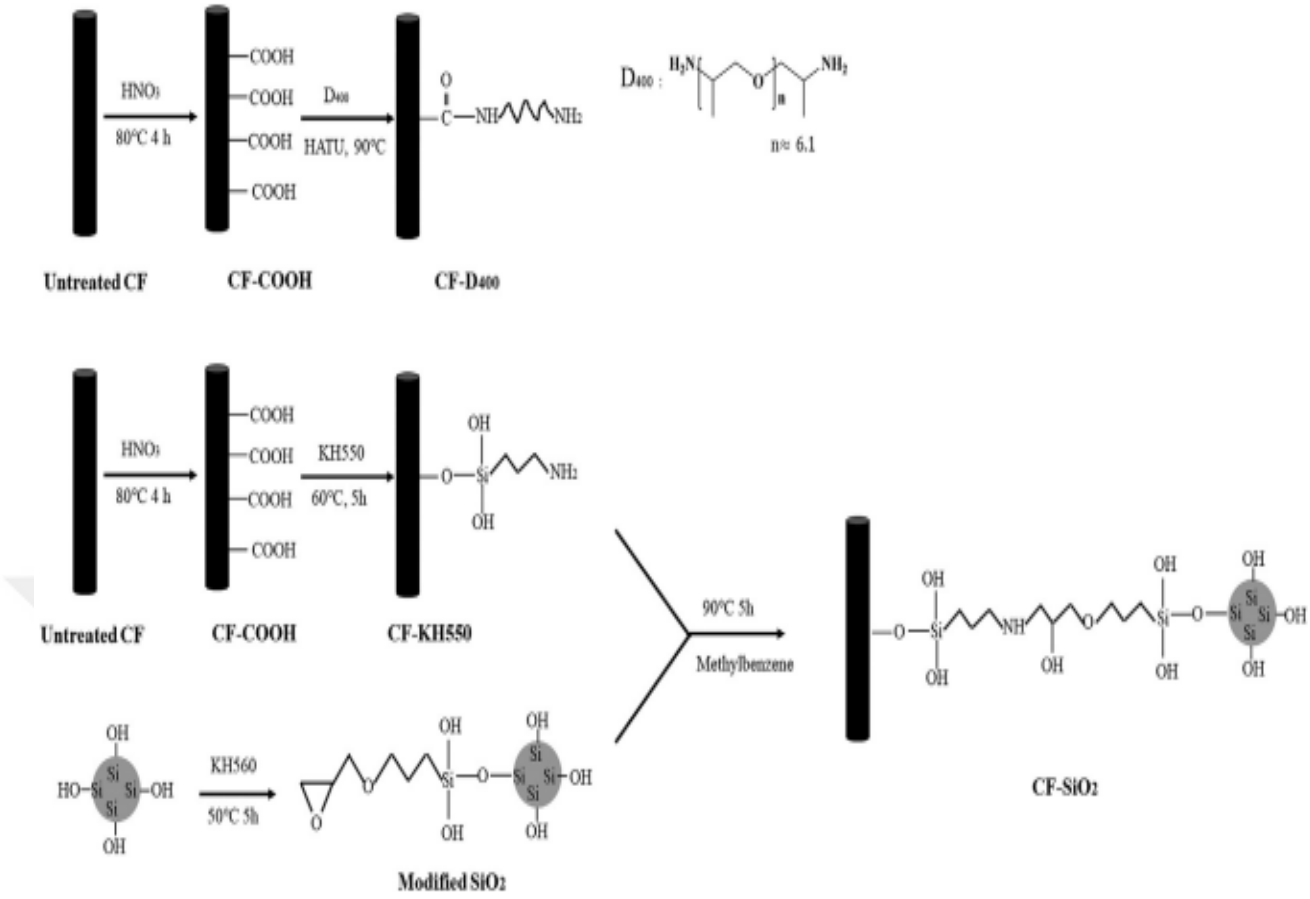
Sizing Kaldırma İşlemlerinin Etkisi

Uygulanan her tip yüzey işlemi için eğilme mukavemeti ve eğilme modülü ölçülmüştür ve düzgün fiber kompozit ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2.56'da farklı yüzey işlemlerinin karbon fiber kompozitlerin eğilme özelliklerine etkisi görülmektedir.



Şekil 2.56. Farklı yüzey işleme yöntemlerinin karbon fiber kompozitlerin eğilme özelliklerine etkisi (Afzal ve ark., 2013)

Zhang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, karbon elyaf (CF) yüzey kimyasının ve nano-$Si0_2$'nin aşılanmasının, CF ve CF takviyeli naylon 6 kompozitlerinin arayüzey yapışmasına etkisi incelenmiştir. CF'ler oksitlenerek ve yüzey kimyasını tolere ederek poli (oksipropilen) diaminler ile reaksiyona sokulmuştur. Oksitlenmiş CF'ler, 3-aminopropiltrietoksisilan ile modifiye edilmiş ve daha sonra $Si0_2$ nanopartikülleri ile aşılanmıştır. Şekil 2.57'de karbon fibere uygulanan işlemlerin şeması gösterilmektedir. (Zhang ve ark., 2019)



Şekil 2.57. CF uygulanan işlemlerin şeması (Zhang ve ark., 2019)

CF yüzeyinin kimyasını ve topografilerini karakterize etmek için Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS), taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) kullanılmıştır. CF okside edilmiş ve aşılanmış nano $Si0_2$'nin enine fiber demet mukavemeti, işlenmemiş CF için 12.57 MPa'dan sırasıyla 31.92 MPa ve 39.35 MPa'a yükselmiştir. Sonuçlar, karboksil grubu ve naylon 6 arasındaki reaksiyonun, arayüzde kimyasal bağlanmaya yol açtığını ve bu arada CF yüzeyindeki muntazam dağıtılmış Si02 nanoparçacıkları ile güçlendirildiğini ve sertleştirildiğini göstermiştir. (Zhang ve ark., 2019)

Jiang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, karbon fiber takviyeli poliüretan kompozitlerin ara yüzeyini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada Toray karbon fiberi kullanarak elektrokimyasal yöntemle fiber üzerinde yüzey modifikasyonunu gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Yüzey modifikasyon işlemleri 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. (Jiang ve ark., 2015)

Kaplama kaldırma işlemi: 24 saat boyunca 75°C'de Soxhlet ekstraktörü içerisinde aseton ile kaplaması kaldırılan karbon fiber, ardından 60 °C'de vakumla kurutulmuştur. (Jiang ve ark., 2015)

Yükseltgenme: Kaplaması kaldırılan karbon fiber üzerinde fonksiyonel gruplar elde etmek için ağırlıkça %65-68 nitrik asit kullanılmıştır. 200 ml önceden ısıtılmış nitrik asit, 500 ml'lik yuvarlak tabanlı bir şişede 85 °C'de tutulmuştur. 5 g desized karbon fiber 1 saat nitrik asitte bekletilip, vakumla süzülür. pH değeri 7'ye yakın olarak damıtılmış suda yıkanarak 80°C'de vakumla kurutulmuştur. Bu işlem sonunda oksitlenmiş karbon fiber elde edilmiştir. (Jiang ve ark., 2015)

İndirgenme: $LiAlH_4$ kullanılarak oksitlenmiş karbon fiberlerin indirgenmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, oksijen içeren fonksiyonel grupların (ACOOH ve ACO gibi) sadece doğrudan izosiyanatla değil aynı zamanda silan molekülleriyle de reaksiyona girebilen AOH'a dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Tipik olarak, 5.0 g oksitlenmiş CF'ler karıştırılarak 50 mL THF içinde dağıtıldı ve daha sonra 1.0 g LiAlH4 dikkatlice ilave edilmiştir. Çözelti, oda sıcaklığında 2 saat karıştırılarak, ardından lityum ve alüminyumun çıkarılması için 200.0 mL 2.0 N hidroklorik asit ilave edilmiştir. İndirgenmiş CF'ler süzülerek, filtratın pH'ı 7.0'a yakın olana kadar damıtılmış su ile yıkama ve gece boyunca 80 ° C'de vakumla kurutma ile elde edilmiştir. (Jiang ve ark., 2015)

Silanizasyon: Karbon fiber ve poliüretan arasındaki arayüzey yapışmasını geliştirmek için bir silan birleştirme malzemesi olan [3-(2-Aminoethyl) aminopropyl] trimetoksisilan seçilmiştir. Ağırlıkça %1,5 birleştirme maddesi çözeltisi, alkoksisilanın metanol ve su karışımı içinde 9:1 hacim oranında çözülmesiyle hazırlanmıştır. (Jiang ve ark., 2015)

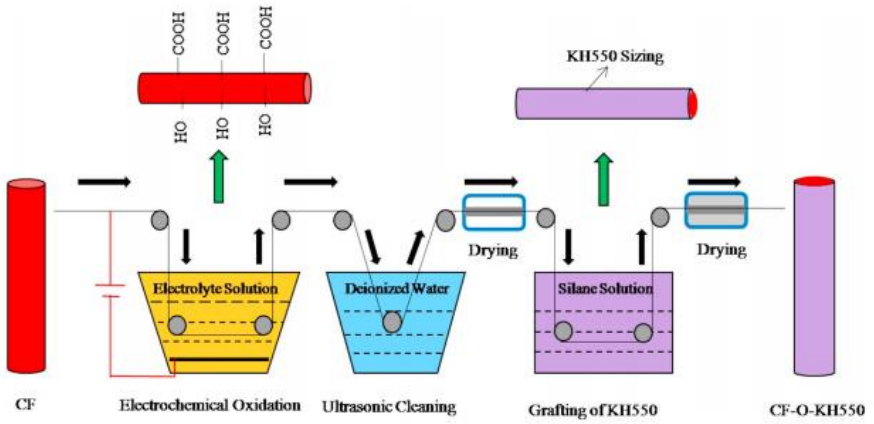
İndirgenmiş CF'ler, ultrasonik olarak 1 saat boyunca birleştirme maddesi çözeltisine daldırılmıştır. Ardından serbest silan birleştirme maddesini ortadan kaldırmak için damıtılmış su ile yıkanmıştır ve daha sonra silanize karbon fiberler elde etmek için gece boyunca 80°C'de vakumla kurutulmuştur. (Jiang ve ark., 2015)

Song ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün karbon lifleri (CF'ler) takviyeli epoksi (EP) reçine kompozitinin arayüzey özellikleri üzerindeki etkisi incelemişlerdir. CF'lerin yüzeylerini modifiye etmek için sulu amonyak uygulanmıştır. Çalışmada, Çin'de Jilin Chemical Industrial Company tarafından üretilen, her bir elyafın çapı 7.0 μm olan poliakrilonitril bazlı T300 karbon fiberleri kullanılmıştır. Bu elyaflar, safsızlıkları ve elyaf yüzeyinde sizing ajanının büyük kısmını gidermek için 24 saat boyunca oda sıcaklığında asetona daldırılmıştır. Daha sonra bu CF'ler, farklı süreler boyunca oda sıcaklığında ağırlıkça %25 konsantrasyonda bir su amonyak çözeltisine daldırılmıştır. İşlemden sonra, artık amonyağı uzaklaştırmak için lifler distile su ile yıkanmış ve daha sonra 120 °C'de 3 saat kurutulmuştur. Orijinal CF'lerin ve muamele edilmiş CF'lerin (a-CF'ler) morfolojileri ve kimyasal bileşimleri Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM) ve X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ile karakterize edilmiştir. Orijinal CF'nin pürüzsüz yüzeyi ile karşılaştırıldığında, a-CF'nin (işlem görmüş CF) yüzeyi daha büyük pürüzlülüğe sahiptir; ayrıca bu pürüzlülük işlem süresinin artmasıyla artar. Öte yandan, CF'lerin kimyasal bileşimde belirgin bir değişiklik meydana gelmez, bu da CF'lerin sulu amonyak ile işleme mekanizmasının kimyasal bileşimler yerine morfolojileri fiziksel olarak değiştirmek olduğunu göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğünün CF / EP kompozitlerinin arayüzey özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için ıslanabilirlik ve arayüzey Kayma Mukavemeti (IFSS) ölçülmüştür. İşlem görmüş kompozitlerin IFSS değerinin arttığı görülmüştür. Sonuçlar, pürüzlülüğün artmasıyla, CF'lerin hem suya hem de etilen glikole karşı ıslanabilirliğinin arttığını göstermiştir. (Song ve ark., 2011)

Liu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, karbon elyafın burulma kayma gerilmesine karşı direnci, sizing ajanının çıkarılması veya elyaf yüzeyinin epoksi reçine ile kaplanmasıyla elyaf yüzey yapısının değiştirilmesinden sonra değiştiği sonucuna varılmıştır. Çalışmada Toray marka T300B, T700S, M55JB ve M40B olmak üzere dört çeşit karbon fiber kullanılmıştır. Karbon fiberlerin çapı 7 μm'dir. Sizing ajanının karbon fiberin burulma özelliği üzerindeki etkisini incelemek için, sizing ajanı bir Soxhlet ekstraktörü içinde aseton kullanılarak çözücü ekstraksiyonu ile uzaklaştırılmış ve daha sonra desize edilmiş karbon fiber numuneleri elde edilmiştir. (Liu ve ark., 2014)

Wen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, poliakrilonitril (PAN) esaslı karbon fiberlerin (CF'ler) yüzeylerine, elektrokimyasal oksidasyon işlemi dahil olmak üzere iki aşamalı bir yüzey işlemi uygulanmış sonrasında da silan birleştirme maddesi KH550 aşılandı. CF'ler ilk önce oda sıcaklığında (25°C) özel yapılmış bir laboratuvar kurulumu ile elektrokimyasal olarak oksitlendi. Elektrolit olarak NH4HC03 seçilmiş ve elektrolit çözeltisinin konsantrasyonu ağırlıkça %5 olarak belirlemişlerdir. Karbon fiber üzerine 90 s süresinde 0.5 A / m2 akım yoğunluğu göndererek işleme maruz bırakmışlardır. Yüzey oksidasyonu sırasında CF'ler, anot olarak alınmış ve sürekli olarak elektrolitik hücre içinden geçirilmişlerdir. Hücreye batırılmış olan grafit plaka katot olarak seçilmiştir. Yüzey elektrokimyasal oksidasyonundan sonra, CF'ler deiyonize su içinde ultrasonik muameleden geçirilerek, 120 ° C'de kurutulmuştur. Alınan CF'ler ve yüzey oksitlenmiş numuneler sırasıyla CF ve CF-O olarak belirtilmiştir. (Wen, 2019)

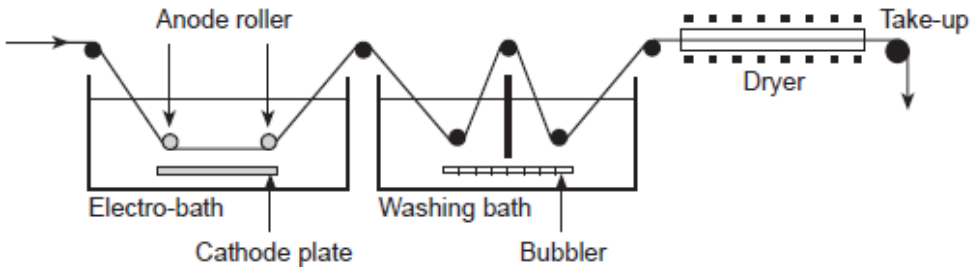
Daha sonra, yüzey oksitlenmiş CF'ler silan çözeltisine daldırılmıştır. Silan çözeltisinin hazırlanması için, ilk önce %90 etanol ve %5 damıtılmış su karışımına KH550 silan bağlama ajanları eklenerek, %5 silan çözeltisini elde etmişlerdir. Hazırlanan silan çözeltisi, kullanılmadan önce 1 saat karıştırıldı. Daldırma işleminden sonra, elyaf numuneleri bir fırında 100 ° C'de kurutuldu ve karşılık gelen numune CFO-KH550 olarak belirtilmiştir. (Wen, 2019)



Şekil 2.58. İki aşamalı yüzey işleminin şematik gösterimi (Wen, 2019)

Park ve arkadaşının yaptığı çalışmada, karbon fiberlerin ticari anodik oksidasyon işleminden sonra yüzey teknikteki değişiklikleri ve bunların bir epoksi reçine matrisli

kompozitler için interlaminar kayma mukavemeti (ILSS) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kullanılan fiberler işlenmemiş ve unsized (boyutlandırılmamış), yaklaşık 230 GPa modüle sahip poliakrilonitril (PAN) bazlı karbon fiberlerdir. (Park ve ark., 1999)



Şekil 2.59. Karbon fiberlerin elektrokimyasal arıtması üzerine laboratuvar pilot tesisi (Park ve ark., 1999)

Elektrolitik işlem banyosunun uzunluğu 0.23 m'dir. Daha sonra, elektrokimyasal işlem sırasında deneysel olarak toplam fiber yüzey anodize alanının 0.032 m2'ye eşit olduğu bulunmuştur. Deneyde elektrolit olarak, sabit bir oksidasyon oranı (1 m dakika-1) ile ağırlıkça %5 sodyum bikarbonat (NaHC03) kullanılırken, kullanılan elektrik akımı yoğunlukları: 0, 3, 6, 9 ve 12 A m^{-2}. (Park ve ark., 1999)

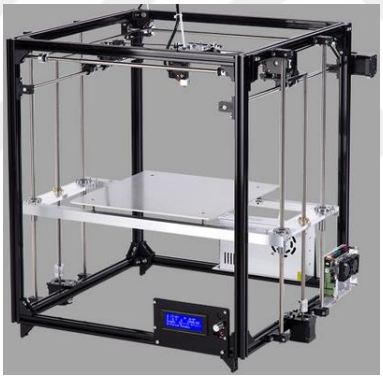
3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcı

Bu çalışmada öncelikle kullanılan yazıcı Flsun Cube 3b Yazıcı'dır. Teknik olarak ana boyutlar 520x 520x580 mm ölçülerindedir. Baskı alanı 260x260x 350 mm ölçülerindedir. Baskı hızı 50 ila 300 mm/sn aralığında değişebilmektedir. Filament çapı 1.75 mm dir. Ekstrüder sıcaklığı maksimum 260 °C yatak sıcaklığı maksimum 110 °C kadar çıkabilmektedir.

Sistemin parçalarını tanımak yeni tasarım için önemli olduğundan parça tanımları ve genel olarak yazıcıların bütününde bu yapı elemanları kullanılmaktadır.

Sigma profiller: 3d yazıcının ana iskeleti 20x20 mm sigma profillerden oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Kullanılan 3b yazıcı

Rulmanlar: Yataklama görevini yerine getirmek için kullanılmaktadır. Bu yataklama görevini gerçekleştirmek için Şekil 3.2'de gösterilen rulmanlar kullanılmıştır.

Şekil 3.2. Rulmanlar

Kaplinler: Step motorlardaki hareketi direk olarak vidalı millere aktarılması sağlar. Çalışmada kullanılan 3b yazıcının kaplinleri Şekil 3.3'de gösterilmektedir.

Şekil 3.3. Kaplinler

Miller: Z yönündeki hareketin kontrolü için Şekil 3.4'de gösterilen vidalı miller ve x ve y hareket yönlerindeki hareketler için Şekil 3.5'de gösterilmektedir.

Şekil 3.4. Vidalı miller

Şekil 3.5. Miller

Kayışlar ve kasnaklar: Motorlardaki hareketi miller üzerindeki parçalara aktarmak için kullanılan mekanik parçalardır. 3b yazıcıda kullanılan kayış ve kasnaklar Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Şekil 3.6. Kayış ve kasnak

Somun, cıvata vb.: Gerekli montaj işlemlerini gerçekleştirmek için somun ve civatalar kullanılmaktadır. Şekil 3.7'de sistemde bağlantı elamanı olarak kullanılan civatalar gösterilmektedir.

Şekil 3.7. Civatalar

Step Motorlar: X, Y, Z hareketleri ve extrüderin itiş hareketi için kullanılırlar. Sistemde kullanılan step motor Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

Şekil 3.8. Step motor

Fanlar: Hava sirkülasyonunu sağlamak için kullanılırlar. Sistemde kullanılan soğutma fanı Şekil 3.9'da gösterilmektedir.

Şekil 3.9. Soğutma fanı

Otomatik level sensör: Z yönünde nozul ve tabla arasındaki mesafeyi ayarlamak için kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan otomatik seviye sensörü Şekil 3.10'da görülmektedir.

Şekil 3.10. Otomatik seviye sensörü

Termistör: Isıyı ölçen komponenttir. Şekil 3.11'de kullanılan termistör görülmektedir.

Şekil 3.11. Termistör

Isıtıcı: Filamentin gerekli ısıya ulaşmasını sağlayan komponenttir. Şekil 3.12'de fişek ısıtıcı olarak da bilinen ısıtıcı görülmektedir.

Şekil 3.12. Isıtıcı

Sıcak Tabla: Baskının üzerine yapıldığı yüzeydir. Baskı işleminin yapıldığı tabla Şekil 3.13'de görülmektedir.

Şekil 3.13. Baskı tablası

Extruder: Filamentin eritilip, itilerek nozul ucuna aktarıldığı bölgedir. Şekil 3.14'de ekstrüder kafası görülmektedir.

Şekil 3.14. Ekstrüder kafası

Nozul: Sıcak filamentin baskı için çıktığı kafa noktasıdır. 3b yazıcıda kullanılan nozullar Şekil 3.15'te görülmektedir.

Şekil 3.15. Nozullar

Limit anahtarı (durdurucular): Yazıcıdaki X, Y ve Z koordinatlarındaki hareketler bu anahtarlar ile kontrol edilir. Sistemde kullanılan limit anahtarı Şekil 3.16'da görülmektedir.

Şekil 3.16. Limit anahtarı

Güç Kaynağı: 220V alternatif akım enerjisini 12V Doğru Akım enerjisine çevirerek yazıcıya enerji verir. 3b yazıcıda kullanılan güç kaynağı Şekil 3.17'de görülmektedir.

Şekil 3.17. Güç kaynağı

Anakart: Yazıcıdaki elektronik işlemlerin gerçekleştirildiği kısımdır. Burada kullandığımız kart ardunio mega ve ramps kartının birleşimi olan kartı temsil etmektedir. Sistemin kontrolü sağlayan anakart Şekil 3.18'de görülmektedir.

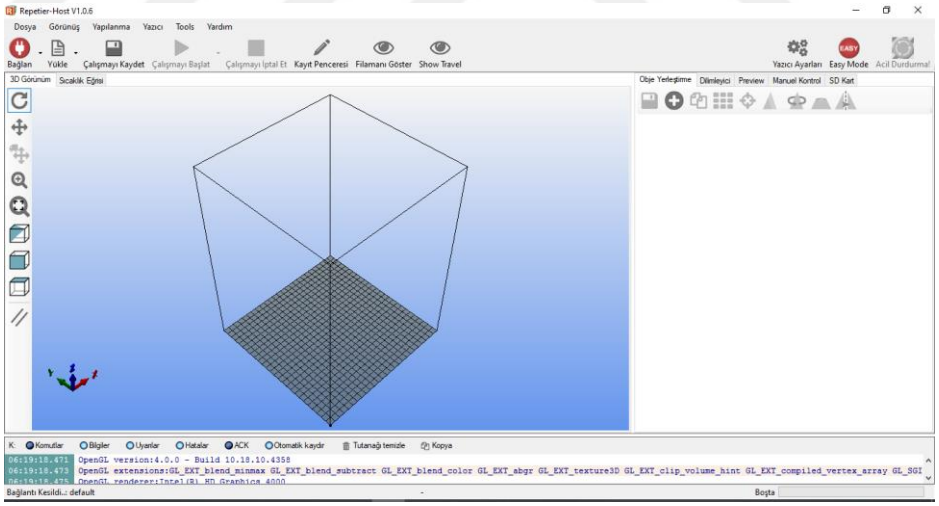
Şekil 3.18. Anakart

LCD Ekran: 3D Yazıcıdaki işlemler ekrandan da kontrol edilmektedir. 3b yazıcının bilgisayardan bağımsız kontrolünü sağlayan LCD ekran Şekil 3.19'da görülmektedir.

Şekil 3.19. Dokunmatik ekran

3.2.Üç Boyutlu Yazıcıda Kullanılan Arayüz Yazılımı

Çalışmada Repetier-Host yazılımı kullanılmıştır. Dilimleme aracı olarak SLIC3R yazılımı kullanılmıştır. Sistemle ilgili gerekli ayarlamalar ve kontrollerin sağlandığı arayüz programı Şekil 3.20'de görülmektedir.



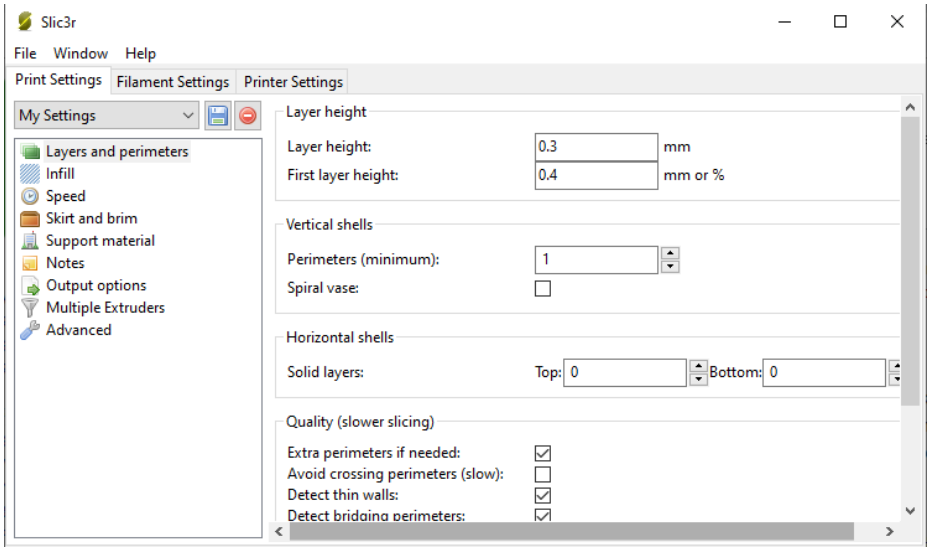
Şekil 3.20. Repetier-host programı

Baskı alma işlemine geçmek için ilk önce bilgisayar ve yazıcının anakartı arasında bağlantı usb portu ile kurularak gerçekleştirilir. İlk aşamada dikkat edilmesi gereken nokta anakart içine tanımlanan bağlantı ayarlarının yapılmasıdır. Buradaki belirtilen

bağlantı hızlarının aynı olmasıdır. Burada seri haberleşme gerçekleştirildiği için veri transfer hızları yazılımdaki ile aynı olmalıdır. Bağlantı ayarları yapıldıktan sonra yine yazıcı ayarları sekmesi altındaki yazıcı ve ekstrüder temel ayarları ve yazıcının şekli hakkındaki bilgiler yazılıma kaydedilir. Böylece yazıcı doğru bir bağlantı kurularak doğru baskılar almanın ilk adımını atmış oluruz.

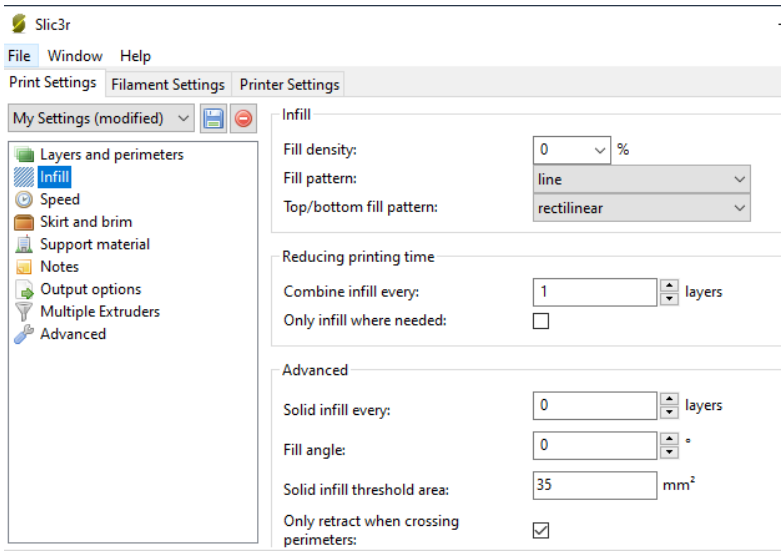
Devamında obje yerleştirme kısmında dosyadaki STL formatındaki içerik yazılıma aktarılır ya da STL dosyası fare ile sürüklenerek programın kullanıcı arayüzünün 3D Görünüm kısmına aktarılır. Sonra dilimleyici seçeneği altında dilimleyici tipleri olan CURA ya da SLIC3R yazılımlarından biri seçilir. Çalışmada iki yöntem de denenmiş olup SLIC3R da karar kılınmıştır. Dilimle seçeneğine tıklanarak dilimleme işlemi gerçekleştirilir ve öngörüş seçeneği altında dilimlenen parçanın baskısının ne kadar sürede basılacağı ve basılacak parçanın g kodları oluşturulup yazıcıya gönderilerek baskı işlemine başlanılması sağlanır. Baskı işlemi devam ederken Manuel Kontrol seçeneği altında hareket, sıcaklık ve baskı ilerlemeleri incelenmesi mümkündür.

Doğru ve kaliteli baskılar alabilmek için bu dilimleme yazılımı altında ideal konfigürasyonların oluşturulması gerekmektedir. İlk olarak baskı ayarları altında Şekil 3.20'de görülen Layers ve Perimeters'ları inceleyecek olursak burada layer height katman yüksekliği olup katmanlar arasında yapışmayı ideal yapmak için nozul çapının %80'i olmalıdır. First layer height, ilk katman yüksekliği olup ideal bir yapışmayı sağlayacak değer seçilmelidir. Perimeters yan bölgelerdeki dış katman anlamında kullanılmaktadır ve dış katman sayısını değiştirebiliriz. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ideal katman sayısını belirlerken parçanın kalınlığına dikkat edilmelidir. Çünkü hem iç dolguya izin vermeli hem de nozul çapına göre ideal katman sayısı belirlemeliyiz. Örneğin parçanın en ince bölgesi 0.8 mm olsun ve nozul 0.4 mm olduğunda burada ideal bir oluşturmak için katman sayısını 2 olarak belirlemek uygun olacaktır. Bu bir noktada öngörü ve tecrübe ile şekillenecek bir durumdur. Diğer seçenek ise Sprial Vase seçeneği ile sadece dış katmanı olan yapılar oluşturabiliriz. Diğer horizontal shells ise üst ve alt katman sayılarını belirlemek için kullanılmaktadır.

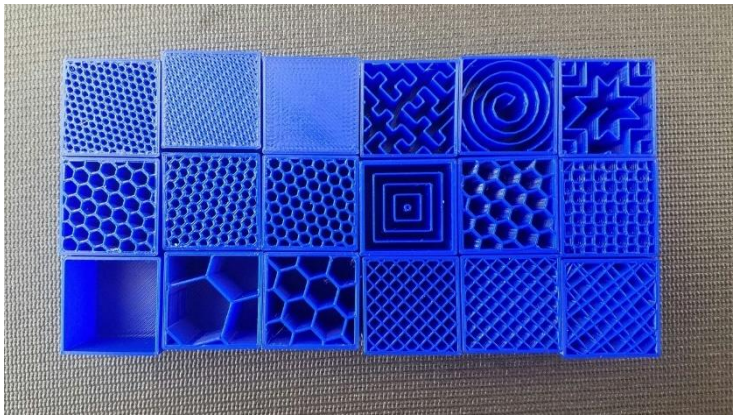


Şekil 3.21. Slic3r dilimleme yazılımı katman ve dış duvar ayarları

Şekil 3.22.' de görülen infill seçeneği altında yani iç dolgunu nasıl olacağı hakkında bize olanak sağlamaktadır. Bunlardan ilki fill density doldurma yoğunluğunun % kaç olacağına karar vermek için kullanılmaktadır. Diğer pattern yani desen seçenekleri ile iç desen tasarımına karar verilmektedir. Bunun dışında iç dolgu için açı ve hız gibi ayarlamalar yapabilmektedir. Şekil 3.23'de iç dolgu desen çeşitleri görülmektedir.

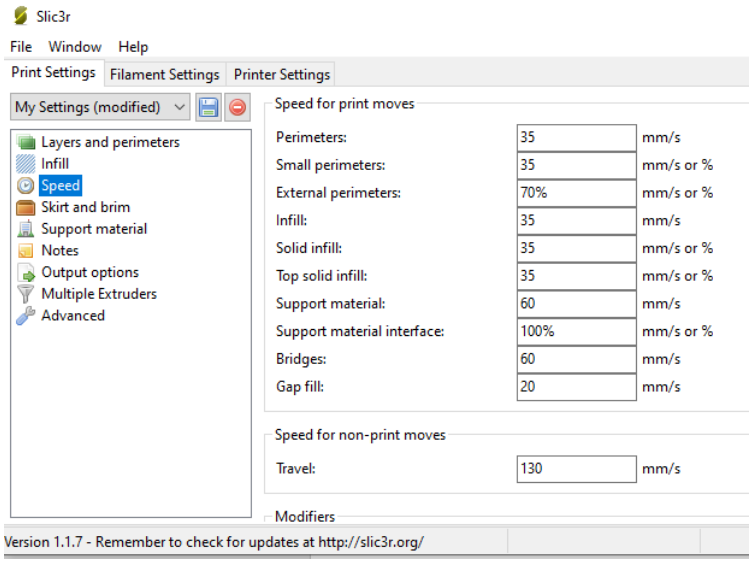


Şekil 3.22. İç dolgu ayarları



Şekil 3.23. İç dolgu desenleri

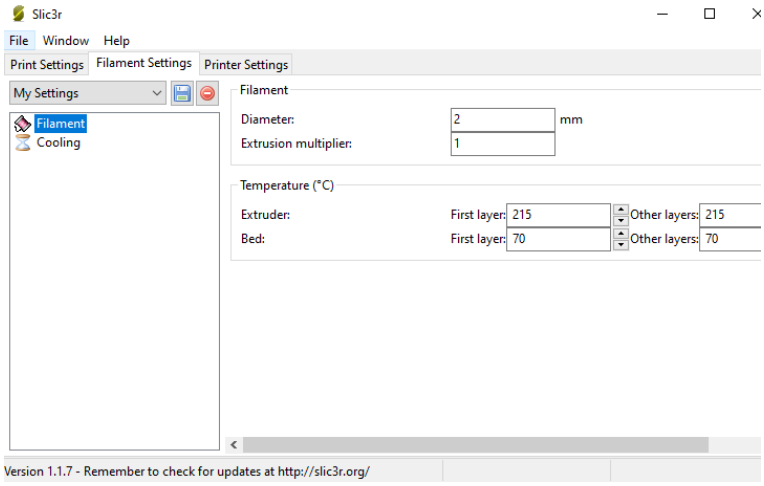
Şekil 3.24'te ekstrüzyon hız ayarları görülmektedir. Burada hız konusu çok önemli bir konudur. Çünkü, üç boyutlu yazıcıya sahip olan herkes baskı alabilir ama herkes kaliteli baskı almak için zaman ve emek gerekmektedir. Şekil 3.24'te de görüldüğü gibi hız seçeneği altında parçanın dış ve iç kısımlarnın hızları, tek ve boşta gezme hızları ile ilgili ince ayarlar gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.24. Ekstrüzyon hız ayarları

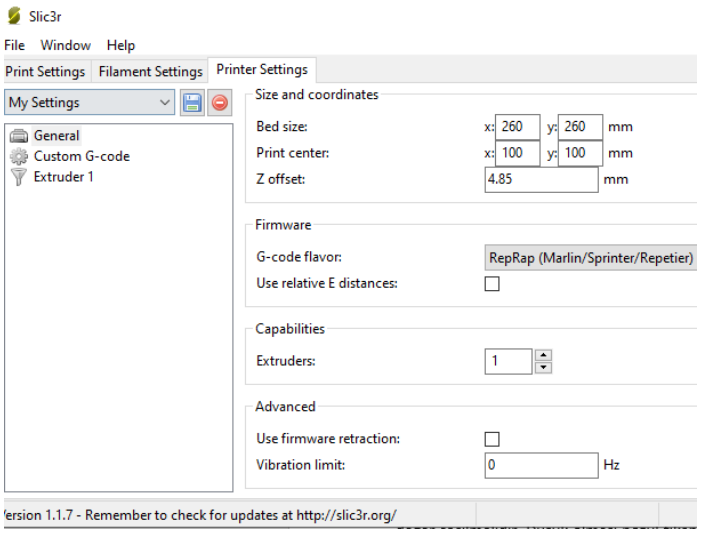
Skirt and Brim seçeneği parçanın hizalanması ve parçanın gereken durumlarda daha iyi tutunmasına olanak tanımaktadır. Support material seçeneği ise parçanın havada kalacak olan bölgelerine destek sağlayarak yapının doğru bir şekilde oluşmasını sağlamaktır. Ayrıca multiple ekstruders seçeneği ile eğer sistemde 2 tane ekstrüder var ise bunlara dış duvar, iç dolgu ve destek malzemesi görevleri atanarak hangi ekstrüderin hangi işi yapacağına karar verilmesi sağlanmaktadır.

Filament settings yani filament ayarları kısmında filament ile ilgili bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Burada çapın yanlış girilmesi veya sabit çapa sahip olmayan filament baskı sırasında nozul tıkanması, baskı sırasındaki boşluklar gibi problemlere neden olmaktadır. Ekstrüder katsayısı filament çapındaki dengesizlikler vb. durumlar var ise bunun baskıya etkisini azaltmak için doğru oranın girilmesine olanak tanımaktadır. Diğer baskı etki eden değerler ekstrüder ve yatak sıcaklıklarıdır. Burada ekstrüder sıcaklığı filamentin ideal bir şekilde nozuldan akarak doğru bir baskı almasını sağlamak amacıyla ideal bir değer seçilmelidir. Düşük olması nozul tıkanmalarına neden olmaktadır ve gereğinden yüksek olması filamentin yanmasına ve aynı şekilde ilerleyen dönemlerde nozul içinde tortu oluşturarak tıkanmalara sebebiyet vermektedir. Böyle bir durum sonucunda ekstrüderi temizlemek sıkıcı ve yorucu bir işe dönüşmektedir. Arayüzde programında kullanılan filament ayarları Şekil 3.25'te kullanılmaktadır.



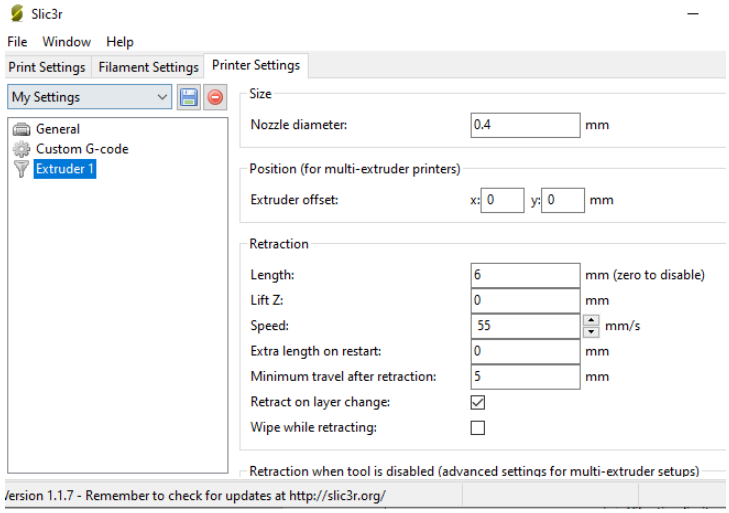
Şekil 3.25. Filament ayarları

Printer settings yani yazıcı ayarlarına gelecek olursak burada yatak boyutu ve merkezi ayarlanarak baskı alanı belirlenmektedir. Ayrıca z offset seçeneği ile otomatik level sensör mesafesi ayarlanarak nozul ile tabla arasında ideal bir mesafe belirlenmiş olmaktadır. Yazıcı ayarları Şekil 3.26'da görülmektedir.



Şekil 3.26. Yazıcı ayarları

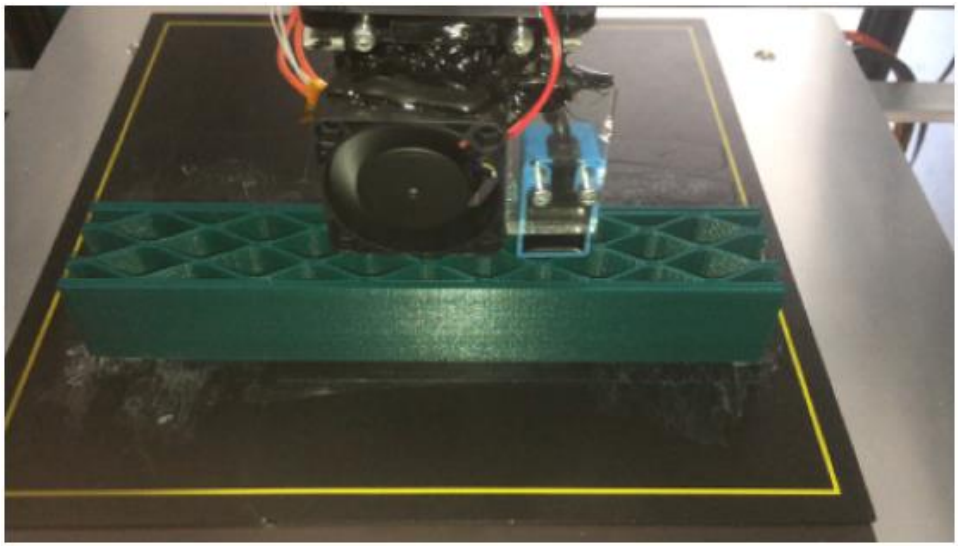
Burada baskı kalitesine etki eden kritik olan son nokta Şekil 3.27'de görülen ekstrüder seçeneği altındadır. Burada nozul çapı doğru girilmelidir. Burada önemli olan nokta geri çekme hızıdır. Yani burada ekstrüder motoruna komut gönderilerek anlık baskı bitimleri örneğin bir katman üst çıkma durumlarında filament kendini belli uzunluk ve hızda çekerek baskının doğru bir şekilde ilerlemesine yardımcı olur.



Şekil 3.27. Ekstrüder ayarları

3.3.Kafes Çekirdekli Sandviç Panellerin Üretimi

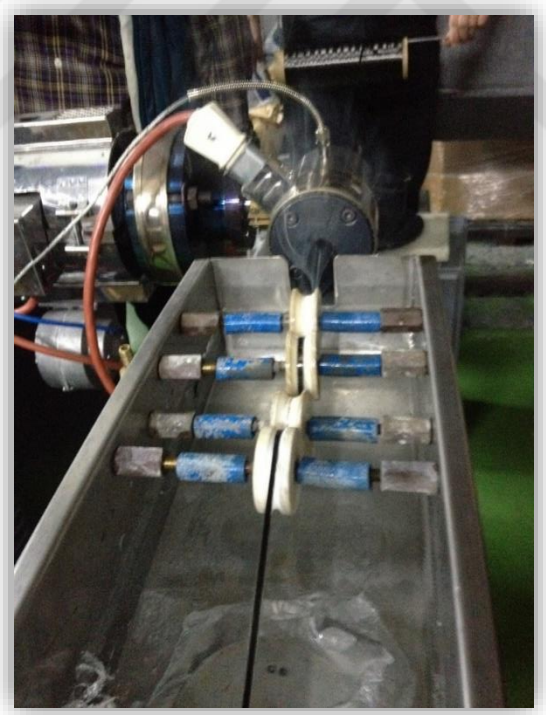
3b yazıcının çalışma ve karşılaşılabilecek problemler ile ilgili baskılar alınıp ve kafes çekirdeklerin üretimi aşamasına geçilmiştir. Bu baskılar yarım saatlik sürelerden 48 saatlik sürelere kadar ulaşmaktadır. Farklı şekil ve boyutlarda baskılar alınarak hem normal baskılarda hem de hedeflediğimiz doğrultularda yapacağımız baskılarda iyi bir noktaya gelinmiştir. Yapılan üretim örneği Şekil 3.28'de görülmektedir.



Şekil 3.28. Üretim örneği

Bu çalışmada filament üretimi özel kalıba sahip ekstrüzyon makinesi ile gerçekleştrilmiştir. Şekil 3.29'da filament üretiminde kullandığımız ekstrüder makinesi ve Şekil 3.30'da monokompozit filament üretimi görülmektedir.

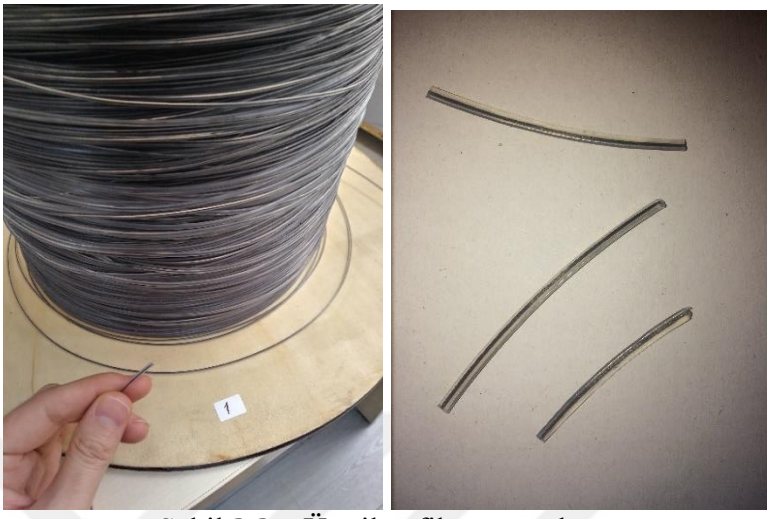
Şekil 3.29. Filament üretimi için kullanılan ekstrüzyon makinesi



Şekil 3.30. Monokompozit filament üretimi

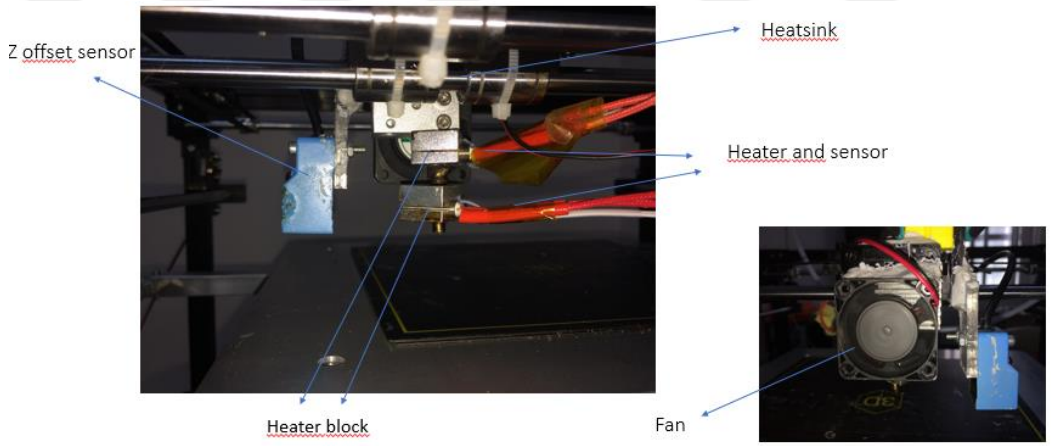
Çalışmada filament sürekli karbon elyaf ve polipropilenin birleşiminden oluşmaktadır. Bu yapı özel kalıp kullanılarak ekstrüzyon makinesinde üretilmiştir. Burada kullanılan malzemenin akış indeksi 5g/10dak'dır. Malzeme kesiti elipstik yapıya sahip olup geniş

kenar yaklaşık 4 mm, kısa kenar ise 1 mm civarındadır. Üretilen filament Şekil 3.31'de görülmektedir.



Şekil 3.31. Üretilen filament rulosu

Çalışmada kafes çekirdek yapısının üretilmesi ile ilgili geliştirilen ekstrüder kafası Şekil 3.32'de görülmektedir.



Şekil 3.32. Çalışmada kullanılan geliştirilen ekstrüder kafası

Bu çalışmada, baskıda kullanılacak olan ekstrüder kafası için eldeki imkanlar doğrultusunda özel bir çalışma yapılmıştır. Isıtıcı kısım 2 kademeden oluşmaktadır. Çünkü kullanılan PP (polipropilen) malzemenin çarpılma etkisi azaltılmak istenmiştir. Ayrıca kullanılan filamentin malzeme ve kesit yapısından dolayı geçiş çapı 3mm olarak

ayarlanmıştır. Ekstrüzyon sıcaklığı 235 °C ve tabla sıcaklığı 100 °C olarak belirlenmiştir. Bu tabla için maksimum sıcaklıktır.

Burada üretim proseslerinin gelişmesinde dikkat edilen unsurlar;

- Nozul ve tabla arası mesafe
- Filament kesiti
- Ekstrüzyon hızı ve XY motor hareket hızları
- Fiber burulması
- PP çarpılma problemi
- Nozul ve filament çapı

Nozul ve tabla arası mesafe: Eğer nozul tabla arası mesafe uzak ise, malzeme tablaya yapışamaz. Bu durum normal plastik filamentler için de geçerlidir. Nozul tabladan belli mesafede olmalıdır. Mesafe ideal değilse, kullanılan matris malzemesi çarpılarak baskı hatalarına neden olmaktadır. Nozul tabla mesafesinin uygun olmaması durumunda yapılan baskı sonucu Şekil 3.33'te görülmektedir.

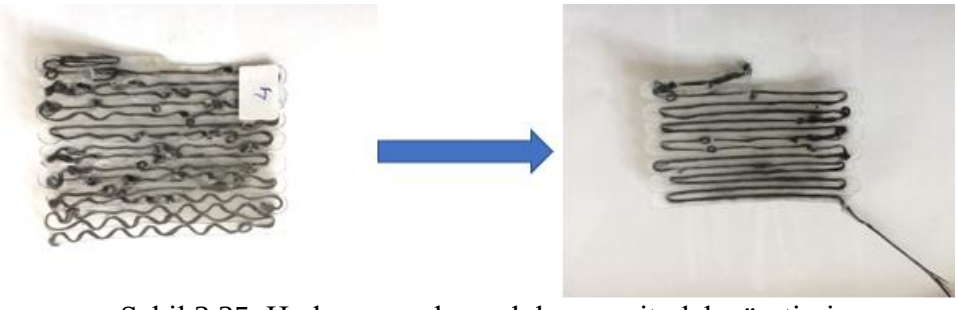
Şekil 3.33. Nozul ve tabla arası mesafenin ideal olmaması durumu

Filament: Üretilen karbon fiber takviyeli polipropilen filament elipstik bir yapıya sahiptir. Bununla birlikte, mevcut sistemimizdeki ekstrüzyon kafasındaki filamentin hareket yolu dairesel kesite sahiptir. Bu nedenle filament beslemesi düzensiz olmaktadır. Bu durumu

en aza indirmek için hız ayarları değiştirildi ve ideal baskı elde etmek için çalışmalar yapıldı. Ayrıca burada PP malzeme fiber içine fiber sıklığından ve fiberin üzerindeki özel kaplamadan kaynaklı girememiştir. Üretilen filament Şekil 3.34'te görülmektedir.

Şekil 3.34. Kullanılan filament parçaları

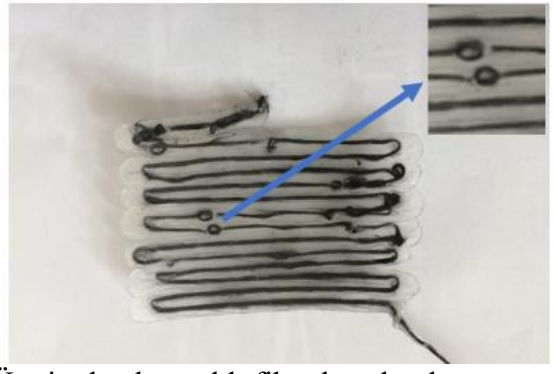
Ekstrüzyon hızı ve XY motor hareket hızları: Bunlar baskı sırasındaki en önemli parametrelerdir. Tabla ile temas eden kısım matris malzemesidir ve iyi bir yapışma sağlamak için PLA ve ABS filamentlere kıyasla hızları düşük ayarlanmıştır. Burada XY yönündeki hareketi sağlayan motorlar 5 mm/s olarak ayarlanmıştır. Ek olarak matris içindeki fiberin ideal gerilimini sağlayarak ideal baskı alabilmek için yapılan denemeler ve çalışmalar sonucunda ekstrüzyon katsayısı 1.15 olarak belirlenmiştir. Hız ayarlaması sonucu gelişen plaka üretimi Şekil 3.35'te görülmektedir.



Şekil 3.35. Hızların ayarlanarak kompozit plaka üretimi

Fiber burulması: Üretilen filamentin üretim sırasında içerisindeki elyafın bükülmesinden kaynaklanan bir problemdir ve filament nozula gelince etrafındaki matris

malzeme yumuşayarak oluşan gergin fiber serbest hale geçmektedir. Bu hız ayarları ile en aza indirilmiştir. Fiber burulmaları Şekil 3.36'da görülmektedir.



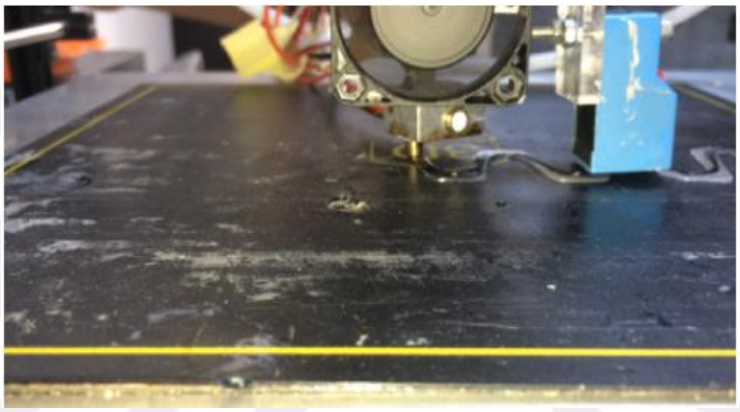
Şekil 3.36. Üretimden kaynaklı fiber burulmalarının serbest kalması

Polipropilen çarpılma problemi: Çalışmada kullanılan polipropilen malzemesi çarpılma oranı yüksek bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumu önlemek için ortam sıcaklığı oda sıcaklığının (25 °C'nin üstünde) tutulmuştur. Bu çarpılma durumunu önlemek için, tabla ve nozul arasındaki mesafe diğer faktörler de göz önünde bulundurularak optimize edilmiştir. Çalışmanın bu safhasında baskılarımız yatay düzlemde gerçekleştirilmiştir.

Nozul ve filament çapı: Filament elipstik, nozul ise dairesel bir yapıya sahiptir. Akış kontrolü bu yüzden önem arz etmektedir. Repetier-Host programı kullanılarak ideal çap değeri denemeler sonucunda ideal baskılar alabilmek için 1.5mm seçilmiştir. Normal boyutlar yaklaşık 4mmx1mm boyutlarındadır.

Çekirdek kafes yapısının üretiminde yatay yönde gerçekleştirilmiştir. Üretimde kullanılan kafes çekirdek yapısı Şekil 3.37'de ve kafes çekirdek yapısının 3b yazıcıda üretimi Şekil 3.38'de gösterilmiştir.

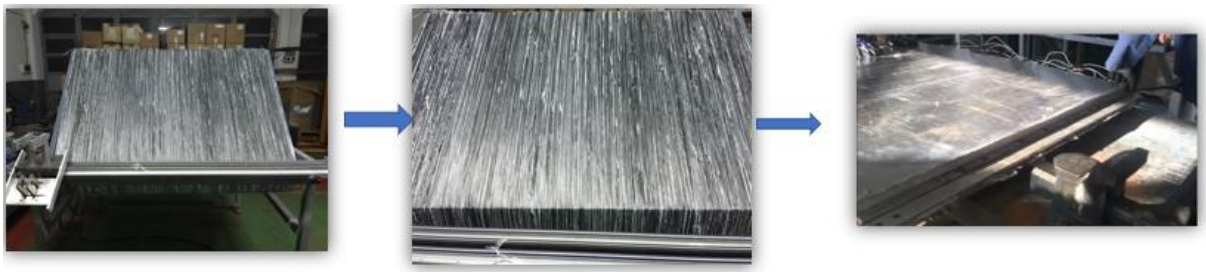
Şekil 3.37. 3b yazıcıda üretilen kafes çekirdek yapısı



Şekil 3.38. Kafes çekirdek yapısının 3b yazıcıda üretilmesi

Daha sonra bu yapılar bir araya getirilerek çekirdek yapı oluşturulmuştur. Bu çekirdek yapının adı kafes çekirdek yapı olup yüksekliği 25 mm'dir. Yapıştırıcı olarak sıcak silikon kullanılmıştır.

Alt ve üst plakalar prepreg makinesinde sarılıp daha sonra bunların kalıp içerisinde basınç ve ısı uygulanarak karbon fiber takviyeli polimer kompozit plaka üretimi gerçekleştirilmiştir. Sandviç yapıların üretiminde kullanılan alt ve üst tabakalar için plakalar 50mmx200mm boyutlarında kesilmiştir. Komozit plaka üretimi Şekil 3.39'da kesilen plakalar Şekil 3.40'ta gösterilmektedir.



Şekil 3.39. Üst ve alt yüzeylerdeki kullanılmak için oluşturulan CFRP kompozit plaka

Şekil 3.40. 50mmx200mm boyutlarında kesilen plaka örnekleri

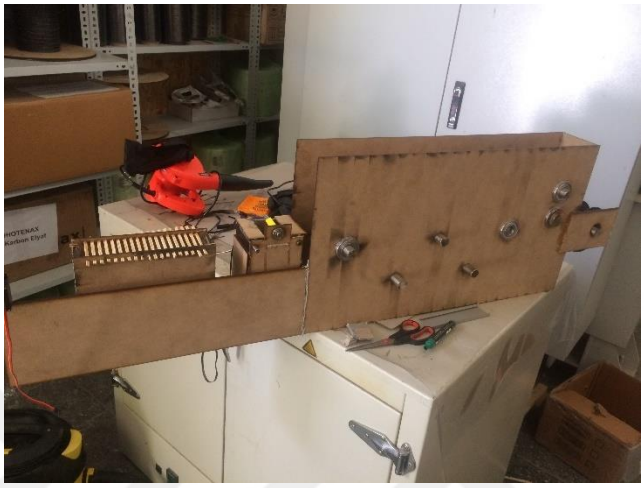
Üretilen numune örneği Şekil 3.41'de gösterilmektedir. Her test için üçer numune hazırlanmıştır.

Şekil 3.41. Oluşturulan sandviç kompozit

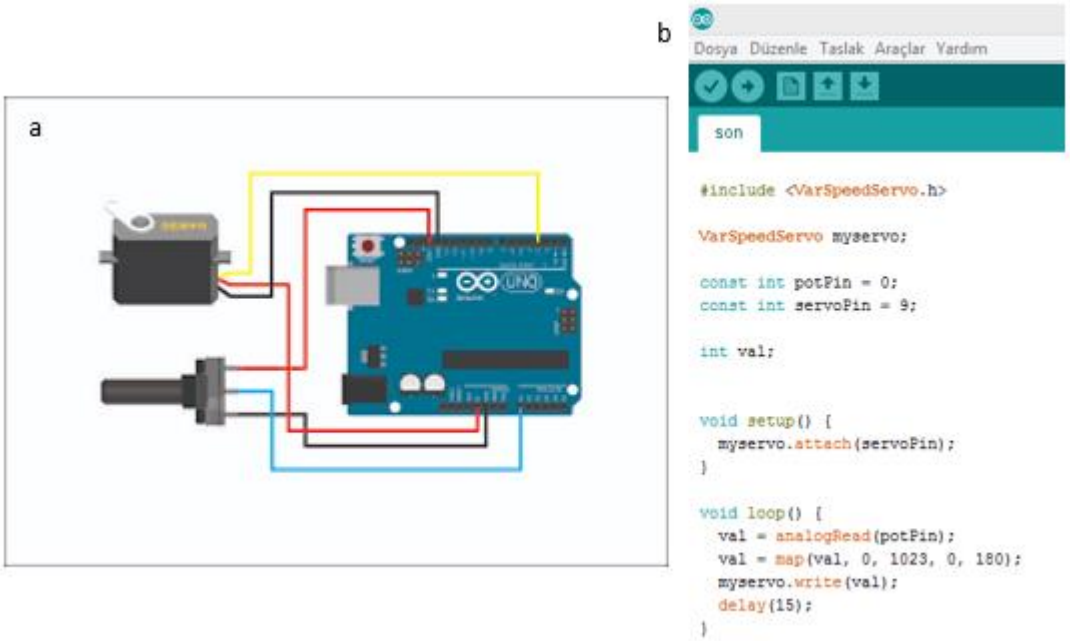
3.4.Fiber ayırma sistemi

İlk geliştirilen fiber ayırma sistem Şekil 3.42'de görülmektedir. Buradaki sistem yapılan araştırmalar doğrultusunda geliştirilmiştir. Burada sarıcı sistem olarak servo motor kullanılmıştır ve bu servo motorun kontrolü Ardunio Uno kartı ile gerçekleştirilmiştir. Değişken hız ayarını manuel yapmak için potansiyometre kullanılmıştır. Geliştirilen

sarıcı sistemin kontrolü Şekil 3.43'te gösterilmektedir. Bu sistemi denerken olumlu sonuç elde edilememiştir. Çünkü hava akışı yeterli değildi. Hava akışının gerçekleştirildiği kısım oldukça genişti. Burada ikili zıt hava akışı kullanılmıştır. İlk kısımda hava emişi yapılırken, ikinci kısımda hava itişi yapılarak fiber ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

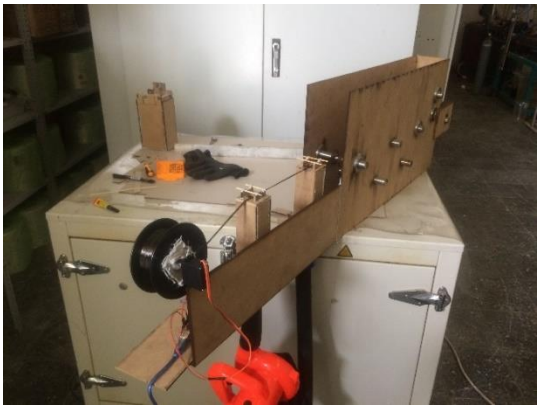


Şekil 3.42. Hava ile ayrılan fiber ayırma sistemi



Şekil 3.43. Geliştirilen sarıcı sistemin kontrolü (a) sistemin şematik gösterimi, (b) kontrol için yazılan kod

Bundan yola çıkarak, sistemde revize yapılmıştır. Revize yapılan sistem Şekil 3.44'te görülmektedir.



Şekil 3.44. Revize yapılan sistem

Bu sistem kullanılarak 25 mm ayrılmış fiber elde edilmiştir. 25 mm ayrılmış fiberin sarımı Şekil 3.45'te görülmektedir.

Şekil 3.45. 25 mm ayrılmış karbon fiberin sarımı

Bu fiber ayırma aşamasında dikkat edilmesi gereken husus fiberin düz bir şekilde gelmesini sağlamaktır. Gelişigüzel geldiği zaman dönmelerden kaynaklı olarak fiberler ayrıldıktan sonra tekrar toplanmaktadır.

Ayrıca polipropilen iplik ayırma çalışması yapılmıştır. Polipropilen iplik ayırma denemesi başarısız olmuştur. Bölge bölge açılmalar söz konusu iken, aralarda olan düğüm veya dönmelerden dolayı açılma olmamıştır. Şekil 3.46'da propilen iplik görülmektedir.

Şekil 3.46. Polipropilen iplik

Daha sonra ayrılan fiberlerin üzerine polipropilen kaplama denemesi yapılmıştır. Karşılaşılan problem biri ayrılmış fiberin ekstrüder kalıbından geçerken tekrar toplanmasıdır. Fiberin kalıptan geçirilerek polipropilen kaplanması Şekil 3.47'de görülmektedir.

Şekil 3.47. Fiberin polipropilen ile kaplanması

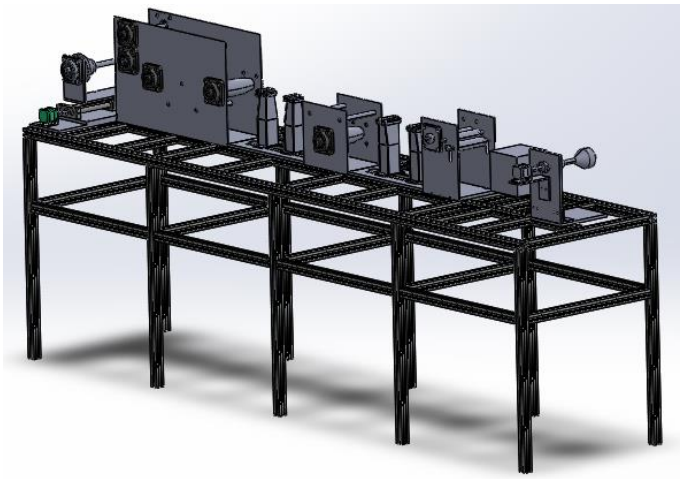
Stabil üretimi geliştirilen sistem aşağıda anlatılmıştır.

3.5.Yüksek Mukavemetli Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplatik Matrisli Kompozit Filament Geliştirilmesi

Sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit filament üretiminde yapılan çalışmalar şu şekildedir.

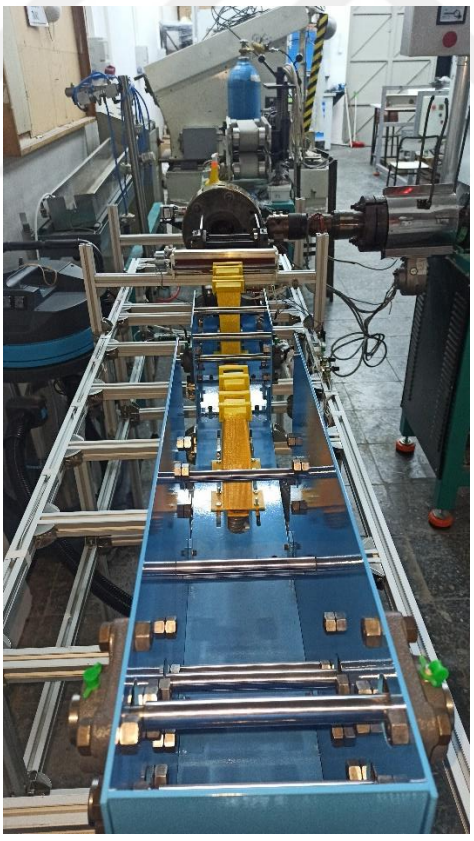
Gelişrtirilen sistem ile süreç ilk önce fiber rulosu hava ayırma yöntemi kullanılarak 25 mm açılmaktadır. Burada kullanılan fiber 12k karbon fiber olup genişliği ölçülerek 6-7 mm civarındadır. Hava ile 25 mm ye açılan fiber devam eden süreçte 50 mm ye açılmaktadır. Burada kullanılan sistem iki aşamalıdır. İlk önce 25 mm'ye açıldıktan sonra devamında üçlü mil sisteminde geçirilerek açılan fiber geri kapanması önlenmesi hedeflenmiştir. Devamında fiber 50 mm lik hava kanallarından geçirilerek fiberin yaklaşık olarak 50 mm açılması sağlanmaktadır. Açılan fiber laminasyon milleri arasından geçirilerek ısısı artırılması ile kaplamada emprenye işleminin artırılması hedeflenmektedir. Sonrasında, özel olarak tasarlanan kalıp içerisinden geçirilerek fiberin termoplastik kaplanması sağlanmaktadır. Kaplanmış fiber yine laminasyon millerinden geçirilmektedir. Devamında ruloya sarılıp üç boyutlu yazıcı için geliştirilen ekstrüder kafası için kullanılabilir hale gelebilmesi için uygun ölçülerde kesilmektedir.

Geliştirilen sistemin son tasarımı şekil 3.48'de görülmektedir.



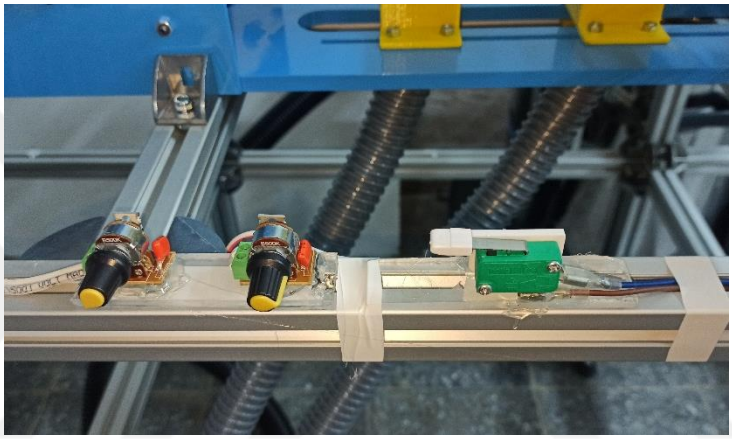
Şekil 3.48. Fiber ayırma sisteminin tasarımı

Sistemin giriş kısmında vidalı mil mekanizmalı ve yataklı mil ile fiberin tek bir doğrultuda hareketini sağlamaktadır. Devamında fiber giriş bölümünde sisteme giren fiberin ön gerginlği sağlanmaktadır. Devamında 25 mmlik hava kulelerinden açma işlemi gerçekleştirilmektedir. İlk kulede vakum ve ikinci ünitede üfleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Sonra fiber ara gergi sistemine girerek ve fiber birleşme durumu önlenmektedir. Sonrasında iki üfleme hava kulesi ile 50 mm açma işlemi gerçekleşmektedir. Burada kullanılan hava kanallarının üretimi 3b yazıcıda PLA malzeme ile yapılmıştır. Sonra, fiber laminasyon milleri arasından geçerek hem ekstrüder kalıbına girmeden önceki ön ısıtma işlemi hem de açılan fiberin kapanması önlenmektedir. Sonra, açılan fiber ekstrüderden geçerek termoplastik kaplama işlemi gerçekleşmektedir. Kaplanan fiber tekrar laminasyon milleri ile emprenye işleminin artmasını sağlamaktadır. Daha sonra fiber sarıcı sistem ile sarılmaktadır. Sistemin ile alakalı detaylar Şekil 3.49, Şekil 3.50, Şekil 3.51 ve Şekil 3.52'ta görülmektedir.

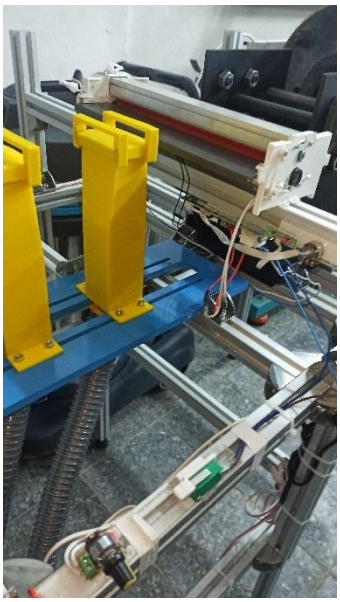


Şekil 3.49. Fiber ayırma sisteminin genel görünümü

Şekil 3.50. Hava kulelerine vakum ve üfleme hortumlarının bağlanması

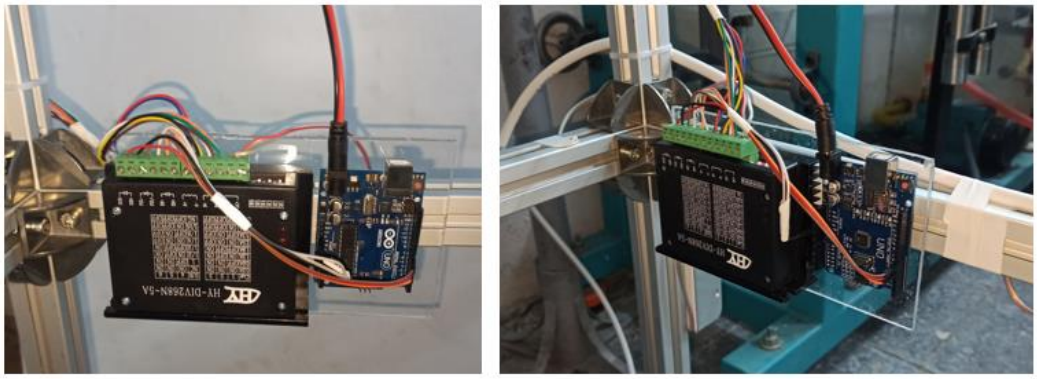


Şekil 3.51. Fanların ve laminasyon makinesinin kontrol butonları



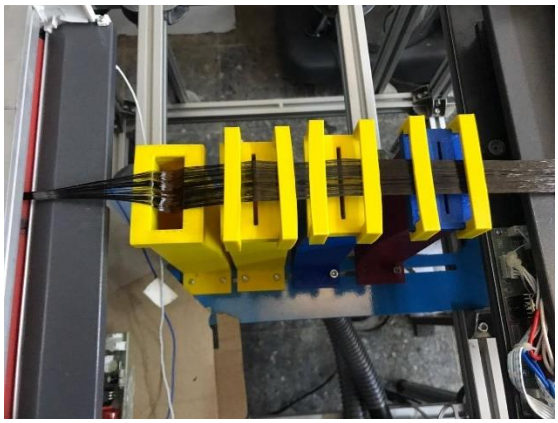
Şekil 3.52. Laminasyon sistemine giriş bölümü ve kontrol elemanları

Sistemde iki bölümde motor ve kontrolleri bulunmaktadır. Bunlar; birincisi girişte fiberi taşıyan sistem, ikincisi ise, son bölümde üretilen filamentin sarılmasını sağlayan sarıcı sistemde bulunmaktadır. Yukarıda bahsedilen benzer ardunio kodları ile sistem kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bunların kontrol sistemleri şekil 3.53'de görülmektedir.

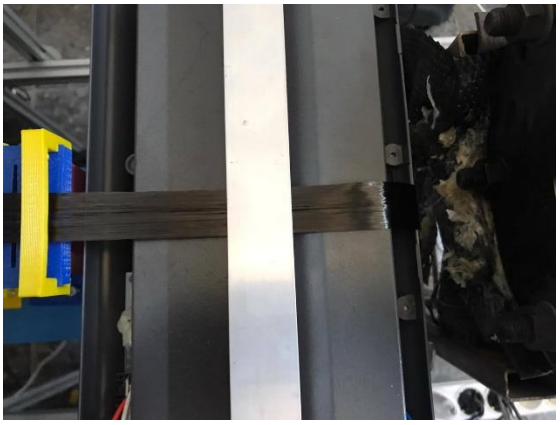


Şekil 3.53. Sistemde kullanılan motorların kontrol elektronik elemanları (a) Fiber taşıyıcı sistem, (b) Sarıcı sistem

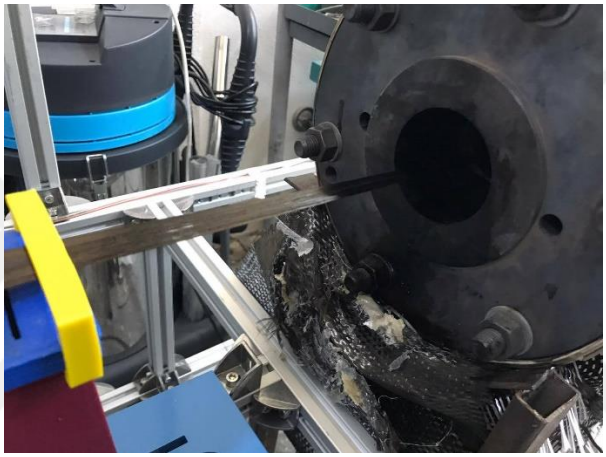
Fiber ayırma sistemin üretim süreci ile ilgili şekiller Şekil 3.54, Şekil 3.55, Şekil 3.56, Şekil 3.57, Şekil 3.58'de görülmektedir. Bunun sonucunda kaplanmış bant genişliği yaklaşık 20-25 mm ölçülerindedir.



Şekil 3.54. Fiberin hava kanalları üzerinde ayrılması



Şekil 3.55. Fibere ön ısıtma işleminin uygulanması



Şekil 3.56. Fiberin kalıba girişi

Şekil 3.57. Fiberin kaplanmış hali

Şekil 3.58. Üretilen fiber rulosu

Fiber kaplamasının kaldırılması ile ilgili uygulama yeterli olmamakla birlikte ön çalışma yapılmıştır ve sonraki bölümde uygulaması yapılmıştır.

3.6.Karbon Fiber Kaplamasının Kaldırılması

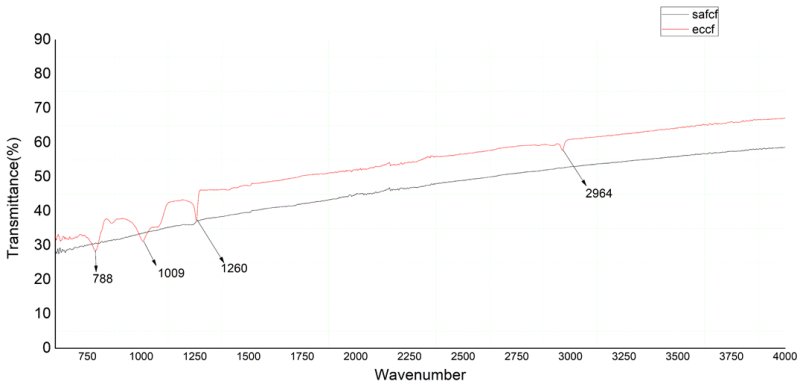
3.6.1.Karbon fiberin kaplamasının elektrokimyasal oksidasyon kaldırılması

Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda, Wen ve arkadaşlarının çalışmalarında yaptıkları elektrokimyasal oksidasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ağırlıkça %5 amonyum bikarbonat (NH_4HCO_3) elektrolitik çözeltisi hazırlanmıştır. Saf su içinde tam karışım sağlandıktan sonra katot olarak kullanılacak grafit plaka çözelti içine daldırılmıştır. Anot olarak karbon fiber kullanılarak elektrokimyasal oksidasyon işlemi, oda sıcaklığında 90 saniyede gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.59'da elektrokimsayal oksidasyon işlemi gösterilmektedir.

Şekil 3.59. a) Elektrokimyasal oksidasyon işlemi b) İşlem sırasında fiber- elektrolit çözelti etkileşimi.

Karbon fiber üzerinde kaplama malzemesinin sıyrılıp sıyrılmadığını anlamak için organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel grupları analiz eden FTIR analizi yapılmıştır. FTIR analizi, temel olarak kızılötesi ışığın incelenecek malzeme üzerinde soğurulması prensibine dayanır. Atom ve moleküllerin moleküler düzeyde enerji ile titreşim, dönme ve öteleme hareketleri baz alınarak geri dönen kızılötesi ışın ve titreşim dalgaları dedektörler vasıtasıyla algılanır ve sonuç olarak belirli dalga boylarında spektrum elde edilir.

Elektrokimyasal oksidasyon işlemi görmemiş saf karbon fiber ve işlem sonrası karbon fiberin FTIR spektrumu şekil 3.60'da görüldüğü gibidir. Saf karbon fiberden farklı olarak 788 cm^{-1}, 1009 cm^{-1}, 1260 cm^{-1} ve 2964 cm^{-1} dalga boylarında pikler görülmektedir. Bu karakteristik pikler 788 ve 1009 cm^{-1} sırasıyla Si-O ve Si-O-Si esnemelerini vermektedir. Saf karbon fiberden farklı olarak görülen bu pikler, size malzemesinin sıyrılıp kalıntılarının kalmış olabileceğini göstermektedir. Deney sırasında kullanılan karbon fiber yüzeyindeki kaplama malzemesi içeriğine ticari sır olduğu için ulaşılamamıştır.

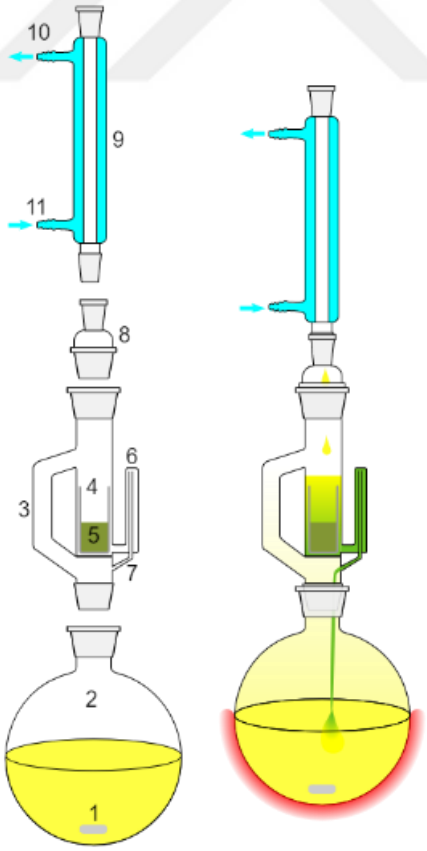


Şekil 3.60. Elektrokimyasal oksidasyon işlemi sonucu CF FTIR grafiği.

Sonuç olarak, FTIR analizinde oluşan gürültüleri engellemek ve amonyum bikarbonat elektrolitik çözeltisinden gelen safsızlıkları elemek için karbon fiber elektrokimyasal oksidasyon işlemi sonrasında ultrasonik banyoda yıkanması uygun olduğu anlaşılmıştır. Çalışma sonucunda elektrokimyasal oksidasyon işleminin başarılı olduğu görülmüştür.

3.6.2.Karbon Fiberin Soxhlet Ekstraksiyonu ile Fiber Kaplamasının Kaldırılması

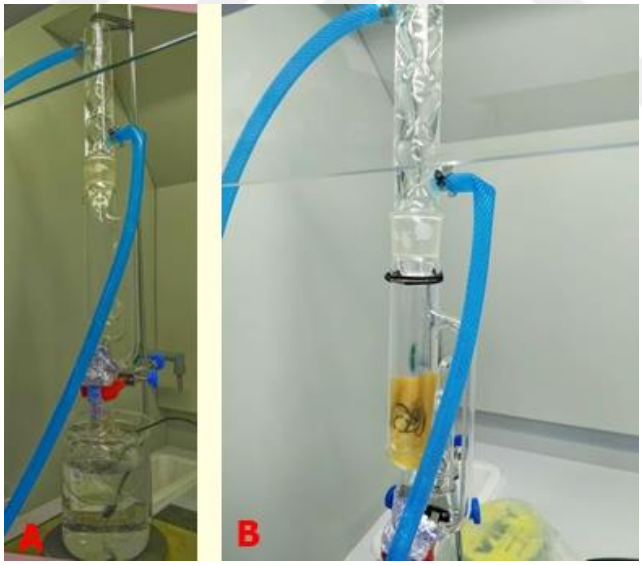
Literatürde Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada soxhlet ekstraksiyonu kullanılarak karbon fiber kaplamasının kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Soxhlet ekstraksiyonu, katı bir malzemeden herhangi bir bileşiği ekstakte etmek için kullanılan deney düzeneğidir. Soxhlet ekstraktörü standart olarak 3 ana bileşenden oluşur: Balon, ekstraktör ve geri soğutucu (soxhlet). Şekil 3.61'de Soxhlet ekstraktrü ve bölümleri görülmektedir.



Şekil 3.61. Soxhlet ekstraktörü ve bölümleri (Anonim 2020).

Sistemde 5 numaralı bölme katı numune bölmesidir. Genel olarak bir ekstraktör filtresi ya da filtre kâğıdı içerisine konur. Balon içerisine konan sıvı kaynama noktasına yakın bir sıcaklığa ısıtılır. Sıvı buharı 3 numaralı damıtma yolunu takip ederek, 4 numaralı yüksek kısmına gelir. Burada yoğunlaşan buhar tekrar damla şeklinde sıvı halde katı maddenin üzerine düşerek 6 numaralı şifonu doldurmaya başlar. Belirli bir seviye sonunda şifondan sıvı 7 numaralı şifon çıkışından balona geri döner. Sistem bu şekilde devam ederek ekstraksiyonu gerçekleştirir.

Toray T300 3K karbon fiber kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu karbon fiber epoxy kaplanmış olduğu için aseton ile sokslet ekstraksiyonu yapılması literatür çalışması sonucu elde edilmiştir. Bunun sonucunda soxhlet ekstraksiyon deney düzeneği kurulmuştur. Kullanılan Soxhlet ekstraktörü ve karbon fiberin yerleştirilmesi Şekil 3.62'de görülmektedir.



Şekil 3.62. a) Soxhlet eksraktörü b) ekstraktöre CF yerleştirilmesi.

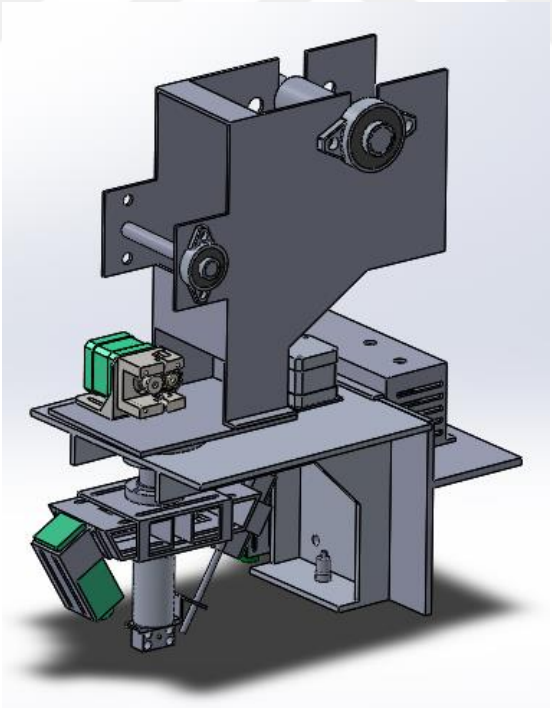
Balonda homojen ısı dağılımı için su içine oturtulmuştur. Aseton balon içine konularak sıvı sıcaklığı yaklaşık 70 ºC'ye çıkarılmıştır. Karbon fiber filtre kağıdı içine konularak ekstraktöre yerleştirilmiştir. 24 saat sonunda ekstrakte edilen karbon fiber, süre sonunda çıkarılarak kurutulmaya bırakılmıştır. Ancak uygulanan bu işlem sonucunda başarıya ulaşılamamıştır.

3.7.Geliştirilen Üç Boyutlu Yazıcı ve Lazer Destekli Eklemeli Üretim Sistemi Tasarımı

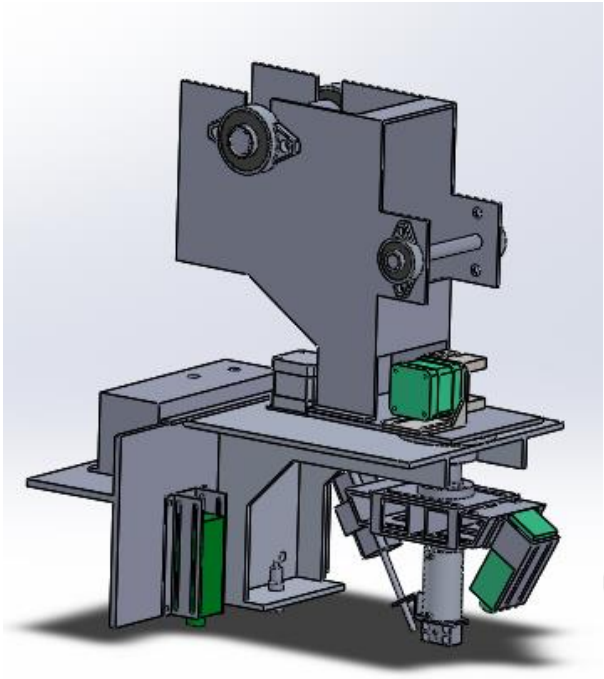
Lazer destekli eklemeli üretim sistemi tasarımı işlemi tamamen son şeklini alıp tasarımın imalat ve montajı gerçekleştirilmiş olup bazı kısımlarda yaşanan öngörülmeyen teknik sorunlardan dolayı düzeltme işlemleri yapılmakta olup bu da büyük oranda tamamlanmıştır.

Burada hedef doğrultusunda geliştirilen diğer üç boyutlu yazıcılardan ayıran kısım olan ekstrüder kafasının detaylarından bahsedilecektir. Patent alma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Ekstrüder kafa tasarımının farklı açılardan görünümü Şekil 3.63 ve Şekil 3.64'te görülmektedir.



Şekil 3.63. Ekstrüder kafa tasarımı

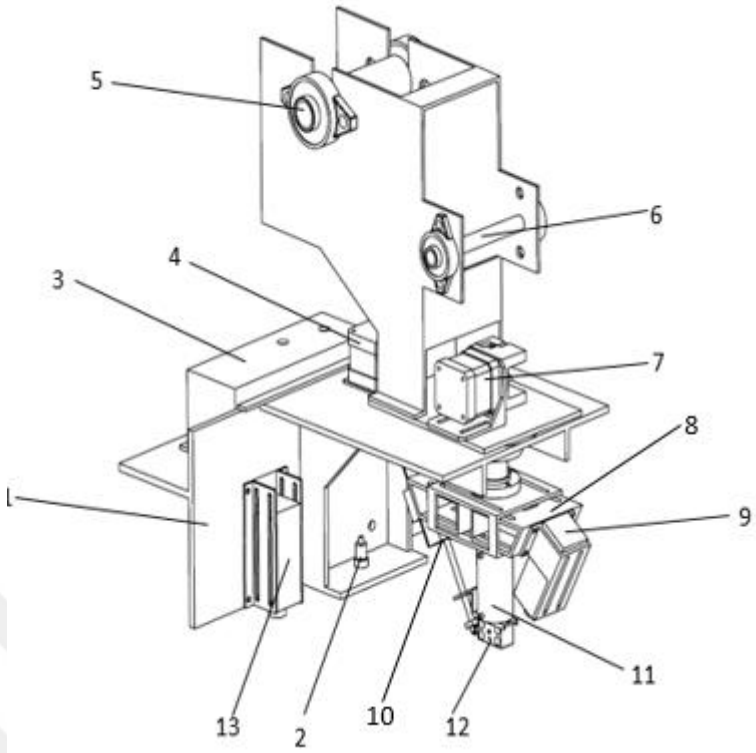


Şekil 3.64. Ekstrüder kafa tasarımının farklı açıdan görünümü

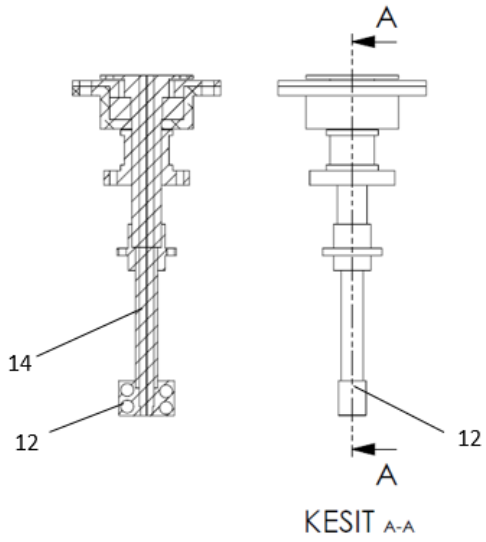
Şekil 3.65 ve Şekil 3.66'da ekstrüder kafa tasarımının teknik resmi görülmektedir.

Ekstrüder kafasının elemanları

1. Taşıyıcı blok
2. Z mesafe sensörü
3. Soğutucu grubu
4. Step motor
5. Filament rulo taşıyıcı mili
6. Filament bant yönlendirici mili
7. Filamenti itici
8. Lazer ve pnömatik hizalayıcı
9. Isıtıcı lazer
10. Pnömatik itici
11. Isı dağıtıcı
12. Nozul
13. Kesici lazer
14. Filament kılavuz borusu



Şekil 3.65. Sistemin teknik resmi



Şekil 3.66. Dönen sitemin kesit görüntüsü

Sistemin çalışma mantığı şu şekildedir. İlk önce filament rulosu mile (5) yerleştirilir. Devamında kullanılan sürekli elyaf takviyeli filament yönlendirici milin (6) üzerinden geçirilir ve ekstrüder filament iticisine (7) nizami ve düzgün bir şekilde sağlanır. Sonra bu ekstrüder filament iticisinin (7) içerisinden geçirilen sürekli elyaf takviyeli filament

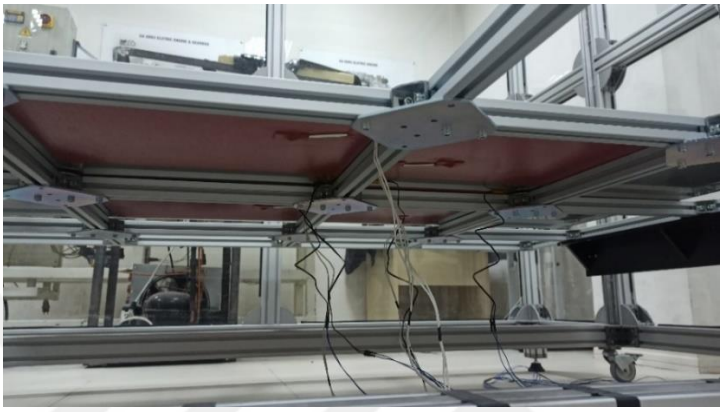
kılavuz boru (14) içerisinden geçirilerek nozula (12) kadar inmesi sağlanır. Böylece baskı için ilk aşama tamamlanmış olmaktadır. Bu kısımda ayrıca bütün yazıcı için gerekli kalibrasyonların yapılması gerekmektedir. Ama önemli bir nokta olacağı gerekçesi ile z mesafe sensörünün (2) baskı tablası ile ideal bir mesafede olması gerekmektedir. Sistemin çalışması ile aktif ve sürekli olması olarak soğutma grubu (3) çalışacaktır ve ısı dağıtıcısı (11) bağlantısı hortumlar ile sağlanarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Bu arada üretimi yapılacak tasarım bilgisayarda modellenip gerekli format ve dilimleme işlemlerinden sonra yazıcıya gerekli g-kod verilerinin yazıcıya gönderilmesi ile sistemin çalışması şu şekilde olacaktır. İlk önce xy yönündeki sıfırlama işlemi yapılarak tabla merkezlemesi yapılacaktır. Daha sonra z mesafe sensörü ile tabla nozul ayarlaması yapılarak üretim için baskı süreci başlamaktadır. Kompozit üretimi için kullanılan filamentler sürekli elyaf takviyeli termoplastik filamentlerdir. Bu yöntemde belirlediğimiz haraket şu şekilde olmaktadır. Örneğin baskı 0° yönünde hareket eder ve bu süreçte dönen sistem kendini bu yönde ayarlamaktadır. Baskı ilerlerken bir taraftan lazer (9) ile ön ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Devamında nozuldan (12) ekstrüder filament iticisi sayesinde ilerleyen malzeme bir taraftan nozul geometrisinden kaynaklı baskı ve diğer taraftan baskı arkasından gelen pnömatik baskı silindiri sayesinde ideal bir birleşme sağlanmaktadır. Bu süreç üst katmanlar için de geçerlidir. Devamında filament belli noktaya gidip dönme esnasında filamenti normalden daha fazla vererek tam bu kısımda lazer (13) aktif hale gelerek bu noktada kesme işlemini gerçekleştirecektir ve bu sayede dönüşlerde oluşabilecek hatalar ve iç kısımlarda meydana gelecek bozulmaların önüne geçilmiş olacaktır. Sonrasında ilk katman bittiğinde yeni bir başlangıç noktası ile işlemler birbirini tekrar edecektir. Burada ilk olarak 0° basıp devamında 90° gibi bir açıda basmamızın bize faydası şu olacaktır. Üretim sürecinde baskı yapılan parçanın üzerine uygulanan baskı kuvvetleri ve diğer bileşenlerin yardımı ile filament veya baskı sürecinde meydana gelebilecek boşluklar ya da hatalar önemsenmeyecek boyutlara inecektir.

Ekstrüder kafasının montaj üzerindeki görünümü şekil 3.67 ve şekil 3.68'de görülmektedir.

Şekil 3.67. Ekstrüder kafasının son görünümü

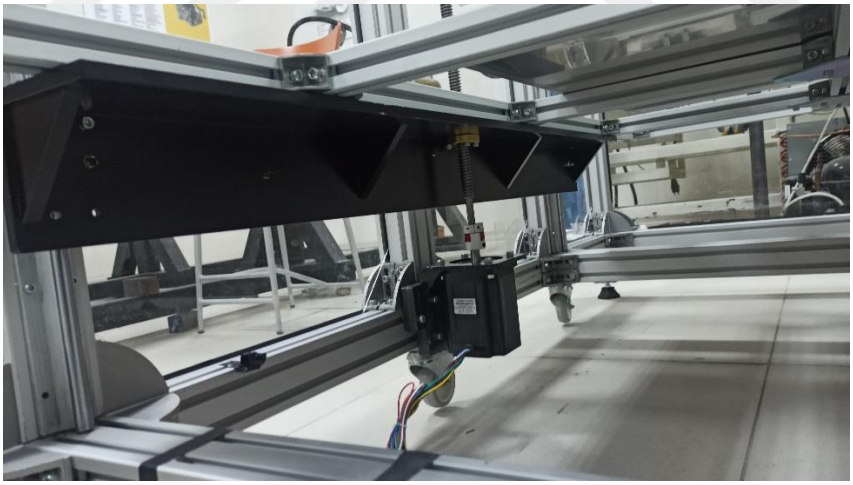
Şekil 3.68. Ekstrüder kafasının farklı açıdan görünümü

Üretimin önemli unsurlardan diğeri ısıtıcılı tabla kullanımıdır. Tabla için 5 mm kalınlığında alüminyum levha kullanılmıştır. Meydana gelebilecek eğilmeleri önlemek için tabla 30mmx30mm alüminyum sigma profil şase üzerine oturtulmuştur. Şekil 3.69'da tabla ile silikon rezistansların ve termostatların bağlantı ve kabloları görülmektedir.



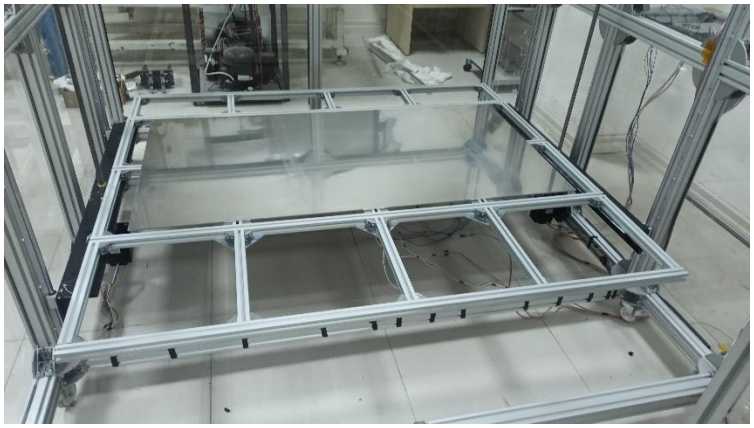
Şekil 3.69. Silikon rezistansların ve termostatların bağlantılarının görünümü

Tabla şasesinin z eksen üzerindeki hali Şekil 3.70'de görülmektedir.



Şekil 3.70. Tablanın z eksenindeki görünümü

Tablanın genel görünümü Şekil 3.71'de görülmektedir.

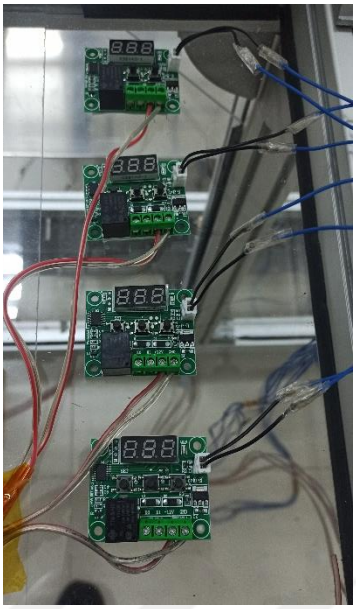


Şekil 3.71. Tablanın genel görünümü

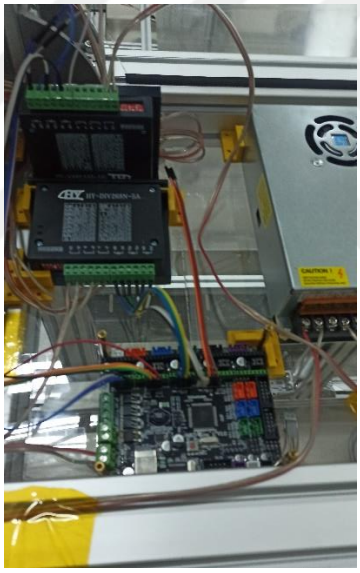
Sistemin üst bölümünün görünümü Şekil 3.72'de görülmektedir.

Şekil 3.72. Sistemin üst bölümü

Sistemin elektronik elemanlarının genel görünümleri Şekil 3.73, Şekil 3.74 ve Şekil 3.75'te görülmektedir.



Şekil 3.73. Isıtıcı tabla sıcaklık kontrolleri



Şekil 3.74. Sistemin kontrolünü sağlayan anakart ve diğer bileşenler

Şekil 3.75. Sistemin elektronik bileşenlerinin genel görünümü

Sistemin genel görünümleri Şekil 3.76 ve Şekil 3.77'de görülmektedir.

Şekil 3.76. Sistemin genel görünümü

Şekil 3.77. Sistemin farklı açıdan görünümü

4. BULGULAR

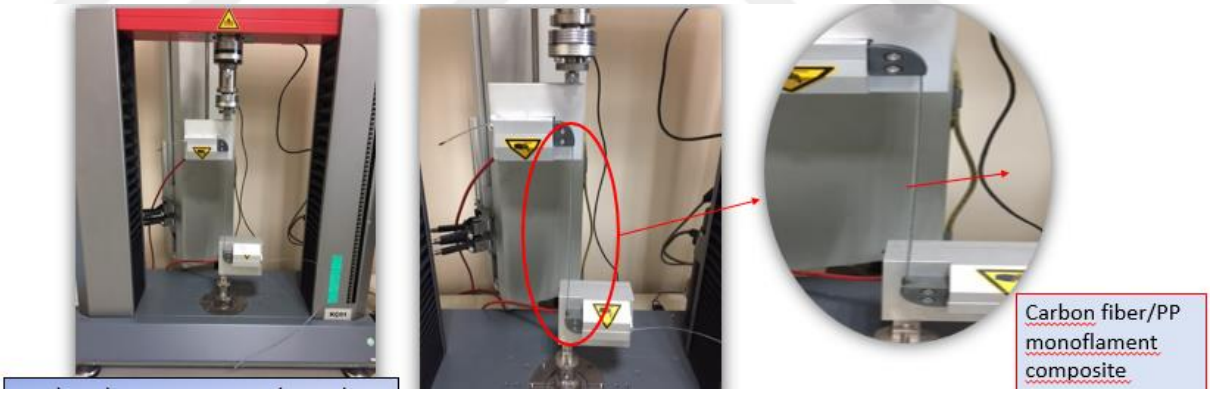
4.1.Üretilen Numunelere Uygulanan Testler

Geliştirilmiş ekstrüder kafası sahip 3b yazıcı ile kafes çekirdek yapılar üretilmiştir. Daha sonra bu yapılar 0-90-0 yönünde üretilen plakalar üzerine yapıştırılarak statik ve dinamik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan bu testler ve sonuçları şu şekildedir.

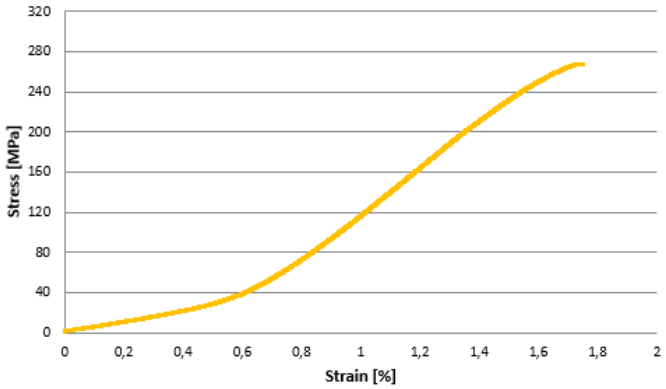
Bu çalışmada sürekli fiber takviyeli polipropilen monofilamente çekme testi, oluşturulan sandviç yapılara basma, üç nokta eğilme quasi-statik ve üç nokta eğilme darbe testleri yapılmıştır.

4.1.1.Filamentin çekme testi:

Mekanik karakteristiklerini elde etmek için monokompozit filamente çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi için Zwick Proline cihazı kullanılmıştır. Yapılan çekme testi Şekil 4.1'de ve test sonucu Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Monokompozit filamentin çekme testi

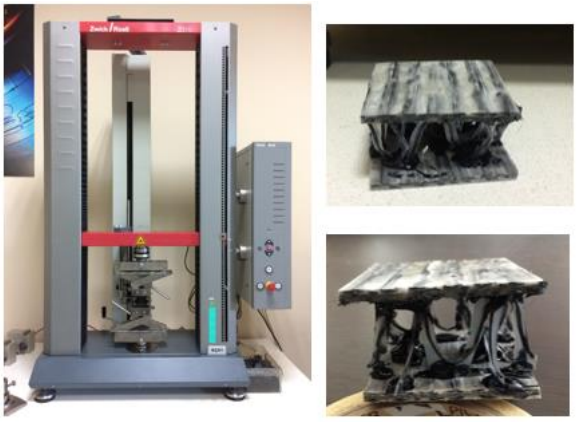


Şekil 4.2. Filamentin çekme testi

Maksimum çekme dayanımı 250 MPa civarında elde edilmiştir. Monokompozitin enine kesiti 0.784 mm^2' dir.

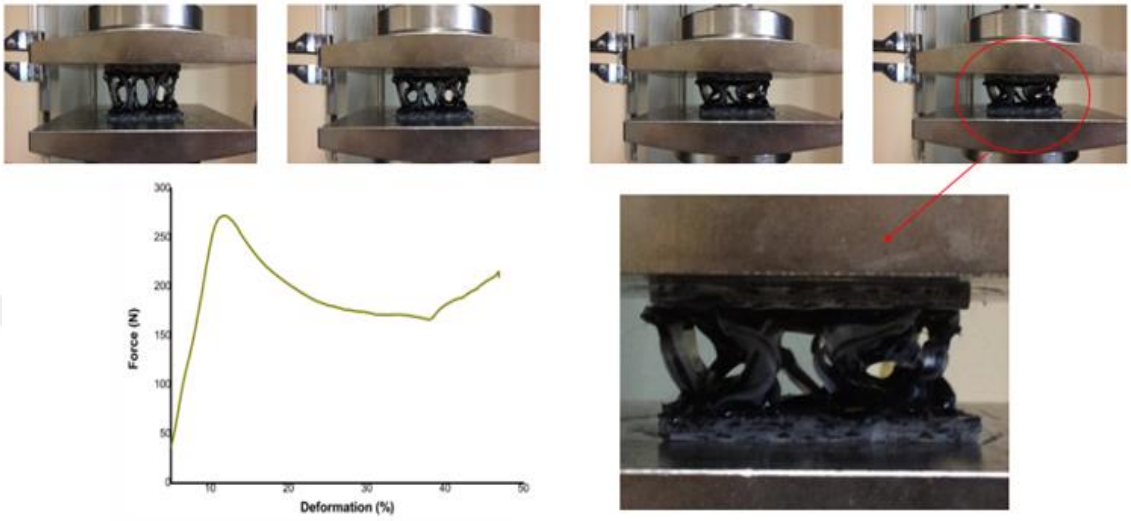
4.1.2.Basma testi

Bu test için 50mmx50mm plakalar ve yüksekliği 25 mm olan kafes çekirdekler üretilmiştir. Basma numuneleri 50x50x25 mm ölçülerinde 2x2 şeklinde 4 kafes çekirdeğe sahiptir. Karbon fiber takviyeli polipropilenden üretilen üst ve alt tabakalar ile kafes çekirdek yapısının birleşmesiyle oluşan sandviç yapılar sırasıyla şu şekidedir. Öncelikle alt tabaka üzerine 3b yazıcıda basılmış çekirdek yapıları yatay ve dikey doğrultularda EVA sıcak silikon ile yapışması sağlanmıştır. Sonrasında üst plaka üretilen yapı üzerine aynı şekilde yerleştirilerek yapıştırılmıştır. Basma testi için Şekil 4.3'te gösterilen Zwick Proline Z010 cihazı ve numuneleri kullanılmıştır. Test 10 mm/dak hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Basma için kullanılan test cihazı ve üretilen numune örnekleri

Bir nuımune için testin ilerlemesi ve sonucu Şekil 4.4'te gösterilmiştir. 3 numune test edilmiştir. Korelasyon değeri %91,37 olarak hesaplanmıştır. Bir numune için maksimum basma mukavemeti yaklaşık olarak 250 N olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Numunelere basma testi yapılması

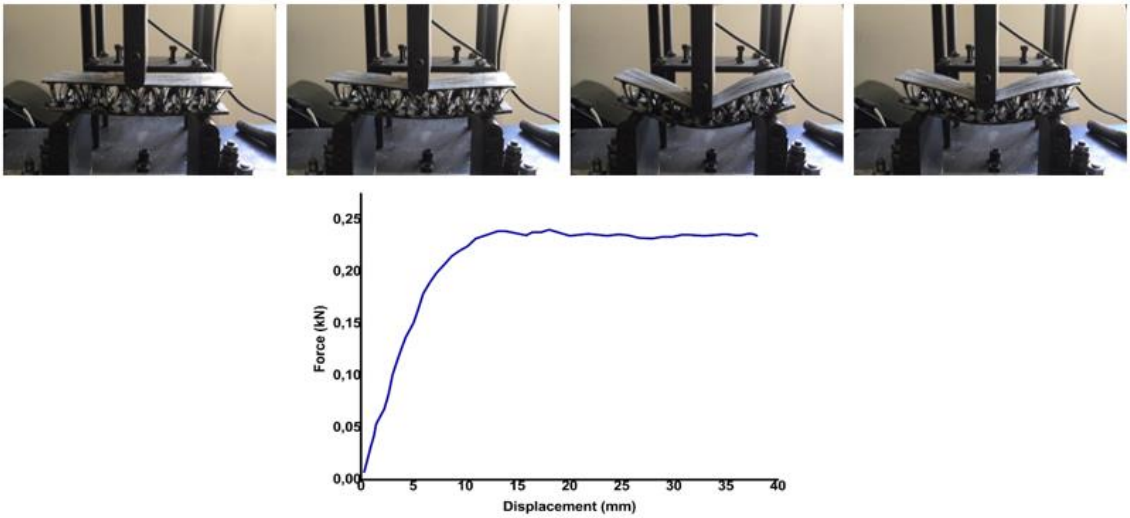
Test sırasında kafes çekirdeklerinde kopma olmayıp sadece burkulmalar olmuştur.

4.1.3.Üç nokta eğilme quasi-statik testi

Üç nokta eğilme quasi statik testi için 50x200 mm plakalar ve yüksekliği 25 mm olan kafes çekirdekler kullanılmıştır. Bu testin numuneleri 50x200x25 mm ölçülerinde 2x7 şeklinde 14 kafes çekirdeğe sahiptir. Üç nokta eğilme quasi statik testleri için uygun çenelere sahip Universal cihaz kullanılmıştır. Kullanılan cihaz ve numune örnekleri Şekil 4.5'te görülmektedir.

Şekil 4.5. Üç nokta eğilme quasi-statik için kullanılan test cihazı ve numune örnekleri

Üç nokta eğilme quasi statik testinin ilerlemesi ve bir numune için sonucu Şekil 4.6'da görülmektedir. Üç numune için test yapılmıştır ve korelasyon değeri %98,27 olarak belirlenmiştir. Bu test sonucunda kuvvet değeri 240 N olarak belirlenmiştir.



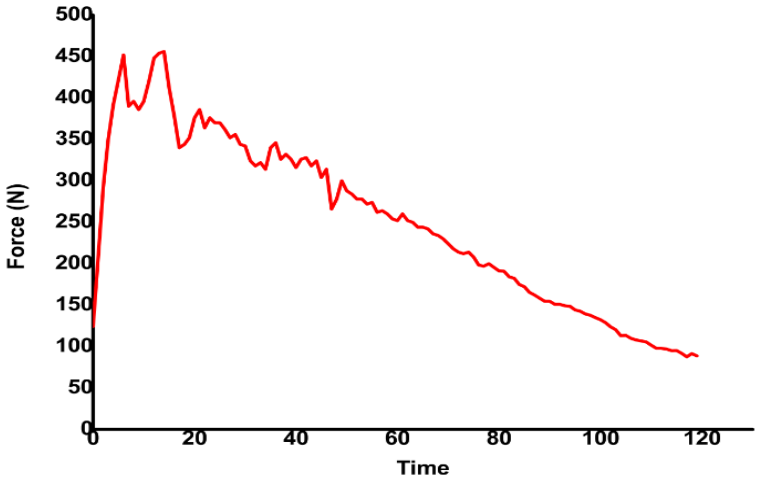
Şekil 4.6. Yapılan quasi-statik test ve sonucu

4.1.4.Üç nokta eğilme darbe testi

Üç nokta eğilme darbe testi için 50x200 mm plakalar ve yüksekliği 25 mm olan kafes çekirdekler kullanılmıştır. Bu testin numuneleri 50x200x25 mm ölçülerinde 2x7 şeklinde 14 kafes çekirdeğe sahiptir. Üç nokta eğilme darbe testleri için Split Hopskin Thomson test cihazı uygun çeneler takılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan darbe test cihazı ve numune yerleşimi Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

Şekil 4.7. Darbe testi için kullanılan test düzeneği ve numune yerleşimi

Bir numune için darbe testi sonucu Şekil 4.8'de görülmektedir. Darbe testi için üç test yapılmıştır ve korelasyon değeri %95,76 olarak hesaplanmıştır. Test sonucunda kuvvet 450 N değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.8. Bir numune için darbe testinin grafiği

4.2.Fibere Uygulanan Mekanik ve Kimyasal İşlemler

Öncelikle fiber yüzeyine uygulanan kimysal işlemlerde elde edilen FTIR analizi sonucunda elektrokimyasal oksidasyon işlemi uygulanan fiber için olumlu sonuçlanmıştır.

3b yazıcıda kullanılmak üzere geliştirilen fiber ayırma sisteminde bant üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında karşılaşılan problem ayrılan fiber demetlerinin tekrar kapanma eğilimi göstermesidir. Bunun önüne geçmek için sistemde kullanılan hava kulelerinin birbirine yakın olması gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca polipropilen matris kaplaması için kullanılan ekstrüzyon makinesinin kalıbının uygun kalıp ile değiştirilmesi gerekmektedir. İşlem sırasında 45 mm fiber yayılması gözlemlenmiştir. Ancak fiber demetlerinin toplanmasında kaynaklı elde edilen numuneler yaklaşık 25 mm olduğu ölçülmüştür. Üretilen bantlar geliştirilen 3b yazıcıda kullanılması hedeflenmektedir.

4.3.Geliştirilen 3b Yazıcı

Lazer destekli eklemeli üretim sistemi oluşturmak için yeni bir ekstrüder kafası tasarlanmıştır. Ayrıca büyük boyutlarda numunelerin üretimini gerçekleştirmek için 1500mmx1600mmx1600mm ölçülerine sahip 3b yazıcı geliştirilmiştir. Materyal ve yöntemde anlatılan ekstrüder kafası ile sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilecektir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kullanılan monofilamentin üretimi için özel bir kalıp ekstrüderi kullanılmıştır. Üretilen filament 0/90/0 yönünde dizilerek polipropilen kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra üretilen levha uygun ölçülerde kesilerek üst ve alt yüzey levhaları oluşturulmuştur. Kafes çekirdek yapısının üretimi için geliştirilmiş ekstrüder kafasına sahip 3b yazıcı kullanılmıştır. Aynı zamanda bu üretimi gerçekleştirmek için 3b yazıcı ayarlarında düzenlemeler yapılmıştır. Ayrıca bu üretimle ilgili incelemeler ve gerekli optimizasyonlar yapılmıştır. Daha sonra bu yapılar sıcak silikon kullanılarak birleştirilmiştir. Daha sonra bu sandviç yapıların mekanik özelliklerini belirlemek için testler yapılmıştır. Bu çalışmada piramit kafes çekirdek kullanılmasının en önemli sebebi ultra hafif sandviç yapıların üretilmesini sağlamaktır.

Yapılan testlerde birleşme noktaları iyi kaynaşmış numunelerde burkulmalar meydana gelirken, birleşmenin yeterli olmadığı noktalarda kopmalar meydana gelmiştir. Meydana gelen kopmalar mekanik kayıplara neden olmuştur. Burkulma davranışında ise kafes çekirdek yapısının elasto-plastik malzeme davranış gösterdiği görülmüştür. Bu da bu sandviç yapıların yüksek darbe sönümleme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan testlerden de görüleceği üzere en yüksek mukavemet değerlerinin darbe testlerinden elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, sıcak silikon ile yapıştırma işleminin her numune için eşit olarak kontrol edilemediğinden dolayı sonuçlar farklılık göstermiştir. Ancak, ideal korelasyon değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen test sonuçları Akbulut tarafından aynı malzemelerle üretilen sandviç yapılardan daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür. (Akbulut, 2018) Bu çalışmadan farklı olarak çalışmada kullanılan kafes çekirdek yapısı 3b yazıcıda üretilmesi ve sürekli elyafın devamlılığının sağlanması ile mukavemet değerlerindeki artıştır.

Sürekli elyaf takviyeli monokompozitler yüksek mukavemete sahiptir. Bu filament daha esnek ve akış indeksi düşük polipropilen kullanılarak geliştirilebilir. Bununla birlikte, her kirişin kritik burkulma yükünün azaltılması nedeniyle çekirdek sertliği azalacaktır.

Filament yapısında kullanılan sürekli elyaf takviyelerinin, sürekli olmayan elyaf takviyelerine göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Böylece, sürekli liflerle sandviç yapının eğilme rijitliği arttırılmıştır.

Fiber ayırma sistemi ile üretilen numuneler sonucunda elde edilen sürekli karbon fiber takviyeli polipropilen bantların kullanımı ile ultra hafif yapıların elde edilmesine yönelik çalışma başarı ile sonuçlanmıştır. Ayrıca bu sistem sonucunda elde edilen ürünlerderki karbon elyafın dış yüzeyleri polipropilen malzemesi ile kaplanarak, bükülme esnasında karbon elyafın dış yüzeylerinin zarar görmesi engellenmiştir ve yapı bütünlüğü korunmuştur. Geliştirilen bu yapı farklı malzeme konfigürasyonlara uygun olarak tasarlanmıştır. Bu doğrultuda farklı takviye ve matris elemanları kullanılarak farklı kompozisyonlar oluşturularak yüksek mukavemetli sürekli elyaf takviyeli termoplastik matrisli kompozit filamentler elde edilmesine olanak tanımaktadır. Geliştirilen fiber ayırma sisteminden elde edilen ürünlerden fiber-matris malzeme birleşiminin arttığı görülmüştür.

Fiber yüzey işlemi olan fiber kaplamasının kaldırılması işlemi ile daha iyi fiber-matris birleşmesini sağlandığı yapılan araştırmalarda görülmüştür. Bu çalışmada elektrokimyasal oksidasyon ve soxhlet ekstraktörü ile yapılan denemeler sonucunda elektrokimyasal oksidayon işleminin olumlu sonuç verdiği görülmüştür.

Yeni geliştirilen yazıcıda üretilen ekstrüder kafası önden lazer ısıtma, arkasından baskı silindiri ile yapıda minimum boşluk ve maksimum birleşme hedeflenmiştir. Başka bir lazer ile de kesme işlemi hedeflenmiştir.

Yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilen yeni yazıcı ile sürekli elyaf takviyeli kompozit yapıların üretiminde önemli bir adım olmuştur. Ayrıca bu geliştirilen yazıcının ekstrüder kafası için patent başvuruları yapılarak ülke teknolojisinin gelişimine katkı sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Afzal, F. I., Saha, M. C., Altan, M. C., 2013. Effect of sizing removal method and POSS coating on flexural properties of carbon fiber epoxy composites, *ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo. Proc.*, c. 9: 1–6

Ahmed, J. K., Hamzah, A. F., Hamed, A., 2017. Thermal and Chemical Etching of Carbon Fiber, *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4): 519-523

Akbulut, G., 2018. Sürekli Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Monokompozit Filament Esaslı, Kafes Geometrili Çekirdek Yapıların Kullanıldığı Hafif Sandviç Paneller Geliştirilmesi ve Statik Ve Dinamik Yükler Altında Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Anonim, 2019. http://www.harmoni.co.jp/02/products/single.html (Erişim tarihi: 15.02.2020)

Anonim, 2020. Soxhlet ekstraktörü https://tr.wikipedia.org/wiki/Soxhlet_ekstraktörü. (Erişim: 25.02.2020)

Anonim, 2020. Soxhlet ekstraktörü https://www.compositesworld.com/articles/how-is-tow-spread (Erişim: 10.05.2020)

Bedir, A., Çırıkka, C., İsmayilov, E., 2018. Çift Başlı Üç Boyutlu Yazıcı İmalatı ile Mekanik Özellikleri İyileştirilmiş Kompozit Parça Üretimi. Bitirme Tezi, KTÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Blok, L. G., Longana, M. L., Yu, H., Woods, B. K. S., 2018. An Investigation into 3D Printing of Fibre Reinforced Thermoplastic Composites. *Additive Manufacturing*, 22: 176-186

Cao, H., Huang, Y., Zhang, Z., Sun, J., 2005. Uniform modification of carbon fibers surface in 3-D fabrics using intermittent electrochemical treatment, *Compos. Sci. Technol.*,65: 1655-1662

Chua, C. K., Leong, K. F., Lim C. S., 1999. Role of the Prototypes:Rapid Protoyping: Principles and Applications, pp:5-10.

El-Dessouky, H., Lawrence, C., 2013. Ultra-lightweight carbon fibre/thermoplastic composite material using spread tow technology, *Composites Part B: Engineering* 50: 91-97

Hao W., Liu Y., Zhou H., Chen H., Fang D., 2018. Preparation and Characterization of 3D printed Continuous Carbon Fiber Reinforced Thermosetting Composites. *Polimer Testing*, 65:29-34

Heidari-Rarani M., Rafiee-Afarani M., Zahedi A. M., 2019. Mechanical Characterization of FDM 3D Printing of Continuous Carbon Fiber Reinforced PLA Composites, *Composites Part B: Engineering*, 175

Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar A., Hou, L., 2013. Additive Manufacturing and Its Societal Impact:A Literature Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5): 1-25.

Ibrahim Y., Melenka G. W., Kempers R., 2018. Additive Manufacturing of Continuous Wire Polymer Composites, *Manufacturing Letters*, 16:49-51

Jerez-Mesa R., Gomez-Gras G., Travieso-Rodriguez J. A., Garcia-Plana V., 2018. A Comparative Study of The Thermal Behavior of Three Different 3D Printer Liquefiers, *Mechatronics*, 56: 297-305

Jiang, S., Li, Q., Zhao, Y., Wang, J., Kang, M., 2015. Effect of surface silanization of carbon fiber on mechanical properties of carbon fiber reinforced polyurethane composites, *Compos. Sci. Technol.*, 110: 87–94
Jiang, J., Yao, X., Xu, C., Su, Y., Zhou, L., Deng, C., 2017. Influence of electrochemical oxidation of carbon fiber on the mechanical properties of carbon fiber/graphene oxide/epoxy composites, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 95: 248-256
Justo J., Tavara L., Garcia-Guzman L., Paris F., 2018. Characterization of 3D Printed Long Fibre Reinforced Composites, *Composite Structure*, 185: 537-548
Kaloshkin S. D., 2018. 3D Printed PEEK-Carbon Fiber (CF) Composites: Structure and Thermal Properties, *Composites Science and Technology*, 164: 319-326
Kawabe, K., Sasayama, H., Tomoda, S., 2017. New Carbon Fiber Tow-Spread Technology and Applications to Advanced Composite Materials, *Sample Journal*, 45: 6-17
Kolitsky, M. A., 2020. Reshaping Teaching and Learning with 3D Printing Technologies. http://www.e-mentor.edu.pl/artykul/index/numer/56/id/1130 (Erişim Tarihi: 29.02.2020)
Liu S., Li Y., Li, N., 2018. A Novel Free-Hanging 3D Printing Method For Continuous Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Lattice Truss Core Structures, *Materials & Design*, 137: 235-244
Liu, Y. N., Li, M., Gu, Y., Zhang, Z., 2014. Characterization of torsion behavior and fracture morphology of single carbon fiber, *J. Compos. Mater.*, 48:1993-1999

Marissen, R., Van Der Drift, L. Th. Sterk, J., 2000. Technology for rapid impregnation of fibre bundles with a molten thermoplastic polymer, *Composites Science and Techonology* 60: 2029-2034
Matsuzaki R., Nakamura T., Sugiyama K., Ueda M., Todoroki A., Hirano Y.,
Mori, K., Maeno, T., Nakagawa, Y., 2014. Dieless Forming of Carbon Fibre Reinforced Plastic Parts Using 3D Printer, *Procedia Engineering*, 81: 1595-1600
Naeem, M. A., Akankwasa, N. T., Leroy, A., Siddiqui, Q., Ahmad, A., 2019. A study of novel multifilament spreading and feeding method, to produce filament wrapped-staple core composite yarn using modified ring frame, *The Journal of The Textile Institute*, 110
Nienhaus, V., Smith, K., Spiehl, D., Dörsam, E., 2019. Investigations on Nozzle Geometry in Fused Filament Fabrication, *Additive Manufacturing*, 28: 711-718
Song, W., Gu, A., Liang, G., Yuan, L., 2011. Effect of the surface roughness on interfacial properties of carbon fibers reinforced epoxy resin composites, *Appl. Surf. Sci.*, 257(9), 4069–4074
Park S. J., Park, B. J., 1999. Electrochemically modified PAN carbon fibers and interfacial adhesion in epoxy-resin composites, *J. Mater. Sci. Lett.*, 18:47–49
Stepaskin A. A., Chukov D. I., Senatov F. S., Salimon A. I., Korsunsky A. M.,
Sugiyama K., Matsuzaki R., Ueda M., Todoroki A., Hirano Yoshiyasu, 2018. 3D Printing of Composite Sandwich Structures Using Continuous Carbon Fiber and Fiber Tension, *Composites Part A*, 113: 114-121
Tlegenov Y., Hong G. S., Lu W. F., 2018. Nozzle Condition Monitoring in 3D Printing, *Robotics and Compueter-Integrated Manufacturing*, 54: 45-55
Uno, H., 2015. *JEC Journal, Technomax Corp.*, Mayıs 2015
Wen Z., 2019. A two-step carbon fiber surface treatment and its effect on the interfacial properties of CF/EP composites: The electrochemical oxidation followed by grafting of silane coupling agent, *Appl. Surf. Sci.*, 486: 546–554

Yamagata Y., 2018. Effects of Set Curvature and Fiber Bundle Size on The Printed Radius of Curvature by A Continuous Carbon Fiber Composite 3D Printer, *Additive Manufacturing*, 24: 93-102

Zhang, T., Xu, Y., Li, H., Zhang, B., 2019. Interfacial adhesion between carbon fibers and nylon 6: Effect of fiber surface chemistry and grafting of nano-SiO 2, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 121:157–168

Zhao, F., Huang, Y., Liu, L., Bai, Y., Xu, L., 2011. Formation of a carbon fiber/polyhedral oligomeric silsesquioxane/carbon nanotube hybrid reinforcement and its effect on the interfacial properties of carbon fiber/epoxy composites, *Carbon N. Y.*, 49: 2624-6-2632