



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRO EĞİRME MAKİNELERİNDE ÇÖZELTİ BESLEME SİSTEM TASARIMI

MÜSLÜM DEMİRCİOĞLU

523420001

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tekstil Mühendisliği

Anabilim Dalı Tekstil

Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Metin YÜKSEK

İSTANBUL, 2023



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRO EĞİRME MAKİNELERİNDE ÇÖZELTİ BESLEME SİSTEM TASARIMI

MÜSLÜM DEMİRCİOĞLU

523420001

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tekstil Mühendisliği
Anabilim Dalı Tekstil
Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Metin YÜKSEK

İSTANBUL, 2023

ÖNSÖZ

Yüksek lisan eğitimim ve tez süresince beni değerli bilgileri ve tecrübeleri ile yönlendiren, çalışmamda her türlü olanağı sağlayan, desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Metin YÜKSEK'e, 3D Printer makinesinde parça üretmeme olanak sağlayan ve laboratuvarında çalışmama olanak sağlayan saygıdeğer hocam sayın Doç. Dr. Önder DEMİR'e, tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocaların sayın Prof. Dr. Erhan SANCAK'a, Dr. Öğr. Üyesi Barış DOĞAN'a, laboratuvar çalışmalarında bana her türlü yardımı ve desteği esirgemeyen saygıdeğer hocam Arş. Gör. Onur ATAK'a, tez süresinde benimle değerli bilgilerini paylaşan, yol gösteren ve fiziksel testler laboratuvarındaki testlerde bana yardımcı olan saygıdeğer hocam Arş. Gör. Dr. Oğuz ERYILMAZ'a, İTAM laboratuvarında makine çalışmasında ve parça kurulumunda yardımlarını esirgemeyen sayın Muzaffer KARAGÖZ'e, tez aşamasında ve besleme ünitesi test aşamasında bana yardımcı olan değerli arkadaşım Derya SALTİK'a, hayatım boyunca attığım her adımda benim yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve hep yanımda olan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
SEMBOLLER.....	viii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ	xiv
BÖLÜM 1.GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2.TEORİK.....	3
2.1.LİF ÜRETİM TEKNİKLERİ.....	3
2.1.1.Eriyikten Üretim Tekniği	4
2.1.2.Yaş Üretim Tekniği	6
2.1.3.Kuru Üretim Tekniği.....	6
2.1.4. Jel Üretim Tekniği.....	7
2.2.NANOLİF ÜRETİM TEKNİKLERİ	8
2.2.1.Fibrilasyon Metodu ile Nanolif Üretimi	10
2.2.2.Meltblown (Eriyik Üfleme) Metodu ile Nanolif Üretimi	11
2.2.3.Bikomponent Nanolif Üretimi	13
2.2.4.Spunbond (Eğirmeli Bağlantı) Metodu ile Nanolif Üretimi.....	14

2.2.5.Çekim Yöntemiyle ile Nanolif Üretimi	15
2.2.6. Şablon Sentezi Yöntemi.....	17
2.2.7. Faz Ayrımı Yöntemi.....	18
2.2.8.Kendiliğinden Montaj Yöntemi	19
2.2.9.Elektro Üretim ile Nanolif Üretimi.....	20
2.3.ELEKTRO ÜRETİM İLE NANOLİF ÜRETİMİ	21
2.3.1.Elektro Üretim Yönteminin Tarihsel Gelişimi.....	21
2.3.2.Elektro Üretim Yöntemi ile Nanolif Üretimi	26
2.3.3.Elektro Çekim ile Lif Oluşumu	27
2.3.4.Elektro Çekim Yönteminde Kullanılan Düzenekler	31
2.3.5.Elektro Üretim Besleme Üniteleri	32
3.MATERYAL METOD.....	38
3.1. MATERYAL	38
3.1.1. Kullanılan Malzemeler	38
3.1.1. Kullanılan Cihazlar	38
3.2. METOT	39
3.2.1. Besleme Ünitesi Parçalarının Üretimi	39
3.3. DENEME ÜRETİMİ.....	67
3.3.1. PVA çözeltisinin hazırlanması	67
3.3.2. Elektroegirme İşlemi.....	68
4.SONUÇ VE ÖNERİLER	70
5.KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

ELEKTRO EĞİRME MAKİNELERİNDE ÇÖZELTİ BESLEME SİSTEM TASARIMI

Elektroeğirme metodu yeni bir teknoloji değildir. Temeli 1600’lü yıllara dayanmaktadır. 1600’lü yıllarda William Gilbert manyetik ve elektrostatik olayların davranışını tanımlayan ilk bilim insanıdır. Bununla birlikte ilk adımı atılan elektroeğirme sistemi 1900’lü yılların ortasına doğru ticarileştirilmeye başlanmıştır. Bu adımdan sonrasında ise günümüz elektroeğirme sistemi geliştirilmiştir.

Elektro eğirme ünitesi, 20-1000 nanometre aralığında çapa sahip oldukça ince yapıda nanoliflerin üretimini gerçekleştiren bir üretim teknolojisidir. Elektrospin işlemi, besleme sistemi ucundan çözeltiyi çekip lif haline getirmek ve bu esnada incelen bir lif üretmek için elektrostatik çekim kuvvetini kullanılır. Besleme sistemi ucuna ucuna ve toplama bölgesine bir doğruakım güç kaynağı tarafından anot ve katot güç verilir. Elektrostatik çekim kuvveti, hazırlanan polimer çözeltisinin yüzey gerilimini aştığında, sıvı toplama ünitesine doğru çekilmeye başlar ve bu çekilme esnasında çözelti incelenerek katılır. Bu şekilde liflerin üretimi gerçekleştirilir.

Verimli nanolif araştırması ve deneysel çalışma için iyi bir elektro eğirme ekipmanına ihtiyaç vardır. Mevcut makinede kullanılan besleme polimer solisyonu silindirin altında buluna hazneye koyulmaktadır. Silindir dönerek hazneden solisyonu almakta ve alınan solisyon elektro eğirme ile üst yüzeyde bulunan hareketli kumaş üzerinde nanolifli yüzey oluşturmaktadır. Burada kullanılan solisyon azaldıkça silindirin uç kısımları solisyonu almamakta ve bu durumda nanolif oluşumu gerçekleşmemektedir. Bu durumda yüzey oluşumunu geciktirmekte ve kullanışsız yüzeyler oluşmasına sebebiyet vermektedir.

Mevcut elektro eğirme cihazının silindirik kuvetli polimer solisyon besleme ünitesinin yerine kullanımı kolay, rahat ve verimli çalışabilen, daha hızlı üretim yapılmasına olanak sağlayan zamandan tasarruf sağlayan, hazırlanacak çözeltilerin

miktarını minimuma indiren ve geniş aralıkta nanolif üretimi çalışmasına olanak sağlayan besleme ünitesi ile modifiye edilmesi hedeflenmektedir.

Üretilecek parça ile elektro eğirme cihazına kolayca monte-demonte edilecek şekilde tasarlanmıştır. Üretilecek parça çok çeşitli polimer ile çalışacak ve çok çeşitli organik ve biyolojik olarak parçalana bilen nanolif üretecek şekilde yapılandırılabilir.

3D yazıcılar ile her parçası ayrı ayrı üretilerek sonrasında bu parçalar birleştirilerek büyük parça oluşturulacaktır. 3D yazıcılar ile üretilen parçaların montajı ve demontajı kolay bir şekilde yapılmaktadır. Polimer hacmi yaklaşık olarak 150 cm^3 tür. Parçaları kolay tedarik edilmekte herhangi bir parça bozulduğunda veya kırıldığında tedarigi kolay bir şekilde yapılacaktır. Eski besleme ünitesi makinenin üretim kısmında çok fazla yer kaplamaktadır. Ayrıca kullanılan polimer eklemesi daha zor olup kullanıcı içinde zor bir durum oluşturmaktadır. Bu durumda zaman kaybına ve kullanılan polimer kaybına yol açmaktadır. Tasarlanan besleme ünitesi ile eski besleme ünitesinden daha hızlı ve daha verimli üretim yapılması hedeflenmektedir. Eski besleme ünitesine nazaran daha kullanışlı ve daha az yer kaplamaktadır. Kullanılacak polimer çeşitliliği daha fazla olup polimer besleme kısmı daha kullanışlıdır. Tez kapsamında tasarlanan yeni elektro eğirme besleme ünitesi ile kullanımı kolay, üretimi kolay ve üretim maliyeti düşük olan bir parça tasarlayarak hızlı ve verimli nanolif üretimi gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Parça üretiminin 3D yazıcılar yardımı ile kolay ve ucuz bir şekilde üretilmesi sayesinde besleme ünitesi olası bir parça kaybı durumunda kolay temin edilebilmektedir. Tasarlanan yeni besleme ünitesi montajı ve demontajı kolaylıkla yapılması sayesinde makinelere kolay uyum sağlaması hedeflenmektedir. Üretim sırasında polimer çözeltisi ekleme haznesi geniş tasarlandığı için üretim kesintisiz devam etmesi ve zamandan tasarruf edilmesi planlanmıştır.

Yapılacak yeni besleme ünitesi sistemi ile daha hızlı, daha verimli ve daha kullanışlı bir nanolif üretimi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılacak yeni besleme ünitesi ile nanolif üretimi daha küçük nanometrelerde yapılacaktır.

ABSTRACT

Electrospinning is not a new technology. Its foundation dates back to the 1600s. In the 1600s, William Gilbert was the first scientist to describe the behavior of magnetic and electrostatic phenomena. However, the first step was taken and the electrospinning system started to be commercialized in the mid-1900s. After this step, today's electrospinning system was developed.

The electrospinning unit is a system that produces ultra-fine fibers with a diameter of 20-1000 nm. The process uses electrostatic and mechanical force to spin fibers from the syringe tip. The syringe tip and the collector are held positively or negatively charged by a DC power supply. When the electrostatic repulsion force exceeds the surface tension force of the polymer solution, the liquid spray pours out of the syringe tip and forms an extremely fine continuous filament.

A good electrospinning equipment is needed for efficient nanofiber research and experimental work. The feed polymer solution used in the current machine is placed in a reservoir under the cylinder. The cylinder rotates to take the solution from the reservoir and the solution is electro-spun to form a nanofiber surface on the moving fabric on the upper surface. As the solution used here decreases, the ends of the cylinder do not take the solution and nanofiber formation does not occur in this case. In this case, it delays the surface formation and causes the formation of unusable surfaces.

It is aimed to modify the existing electro spinning device with a feeding unit that is easy to use, comfortable and efficient to work with, saves time, allows faster production, minimizes the amount of solutions to be prepared and allows nanofiber production in a wide range instead of the polymer solution feeding unit with cylindrical cuvette.

The part to be produced is designed to be easily assembled and disassembled in the electro spinning device. The part to be produced will work with a wide variety of

polymers and will be can be configured to produce a variety of organic and biodegradable nanofibers.

With 3D printers, each part will be produced separately and then these parts will be combined to form a large part. The parts produced with 3D printers are easy to assemble and disassemble. The polymer volume is approximately 150 cm^3 . The parts are easily supplied and when any part breaks down or breaks, it will be easily supplied. The old feeding unit takes up too much space in the production part of the machine. In addition, the polymer used is more difficult to add and creates a difficult situation for the user. This leads to loss of time and loss of polymer used. With the designed feeding unit, it is aimed to make faster and more efficient production than the old feeding unit. Compared to the old feeding unit, it is more convenient and takes up less space. The polymer variety to be used is more and the polymer feeding part is more useful. With the new electrospinning feeding unit designed within the scope of the thesis, it is aimed to realize fast and efficient nanofiber production by designing a part that is easy to use, easy to manufacture and low production cost. Thanks to the easy and inexpensive production of the part with the help of 3D printers, the feeding unit can be easily obtained in case of a possible part loss. The designed new feeding unit can be easily assembled and disassembled, making it easy to adapt to the machines. Since the polymer solution addition chamber is designed to be large during production, it is planned to continue production without interruption and save time.

With the new feeding unit system, it is aimed to realize a faster, more efficient and more useful nanofiber production. With the new feeding unit, nanofiber production will be made in smaller nanometers.

SEMBOLLER

mm	: milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
L	: Litre
mL	: mililitre
g	: Gram
°C	: Santigrat derece
%	: Yüzde
µm	: mikrometre
nm	: nanometre
MPa	: Mega paskal
V	: Sarım hızı
V_o	: polimer hızı
V_o/V	: Polimer hızı/sarım hızı
kV	:Kilovolt
mA	: miliamper
T	: Yüzey gerilimi
r₀	: Küresel damlacığın ilk yarıçapı

KISALTMALAR

NSF	: National Science Foundation
MFC	: Mikro Fibrilleştirilmiş Selüloz
PET	: Polietilen Tereftalat
PP	: Polipropilen
PA	: Poliamid
PA6	: Poliamid 6
SEM	: Scanning-Elektron Mikroskobu
PVA	: Polivinil Alkol

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1:Eriyikten Lif Çekim	5
Şekil 2. 2:Düze Delik Şekilleri ve Oluşan Liflerin Kesitleri	5
Şekil 2. 3: Yaş Üretim Metodu Gösterimi	6
Şekil 2. 4: Kuru Üretim Metodunun Gösterimi	7
Şekil 2. 5: Jel-Üretim Sistemi (Smith ve Lemstra).....	8
Şekil 2. 6: Çeşitli Büyüklüklerin Nanoölçek Değerlerinin Kıyaslanması	9
Şekil 2. 7: Selüloz nanolif üretimi	11
Şekil 2. 8: Meltblown Metodunun Gösterimi	12
Şekil 2. 9: Meltblown Teknolojisi (a)	12
Şekil 2. 10: Meltblown Teknolojisi (b).....	13
Şekil 2. 11: Bikomponent Liflerin Kesit Görüntüleri.....	14
Şekil 2. 12: Spunbond Yönteminde Üretim Akışı	15
Şekil 2. 13: Çekim Yöntemiyle Nanolif Eldesi	16
Şekil 2. 14: Şablon Sentezi ile Nanolif Eldesi.....	17
Şekil 2. 15: Faz Ayrımı ile Nanolif Eldesi	18
Şekil 2. 16: Kendiliğinden Montaj Metodu Oluşturulmuş Nanoliflerin SEM Mikrogramları	19
Şekil 2. 17: Kendiliğinden Montaj ile Nanolif Oluşumuna Örnekler.....	19
Şekil 2. 18: Kendiliğinden Düzenleme Yöntemi ile Oluşturdukları Peptit İskelesinin Şematik Sıralaması.....	20
Şekil 2. 19: Elektroçekim Prosesinin Temel Prensipleri.....	20
Şekil 2. 20: Taylor Konisi Oluşumu ve Liflerin Dağılımı	24
Şekil 2. 21: Elektro Çekim Metodu ile Nanolif Üretimi	26
Şekil 2. 22: Farklı Varyasyonlara Sahip Elektro Lif Çekimi Düzenegi.....	27
Şekil 2. 23:Elektrolif çekim işlemini genel olarak üç aşamaya ayırabiliriz: (1) Jet oluşumu; (2) kararsız yapı oluşumu (3) lif katılaşması.....	28

Şekil 2. 24: Elektro Çekim İşlemi Esnasında Jet Oluşumu	28
Şekil 2. 25: Kılcal boru ucundaki damlanın artan voltaj etkisiyle koni şeklini alması(a,b,c,d) ve jetin fışkırması (e,f)	29
Şekil 2. 26: Elektro Lif Çekiminde Whipping Kararsızlığı	30
Şekil 2. 27: Elektro Çekim Yöntemi ile Üretilen Nanolifler	30
Şekil 2. 28: Elektrostatik Lif Çekim Prosesinin Anatomik Şeması	31
Şekil 2. 29: Adım Motor Regülatörü	32
Şekil 2. 30: Dozaj Pompası	32
Şekil 2. 31: Titreşimli Besleme Ünitesi Olan Elektro Üretim Düzenegi	33
Şekil 2. 32: Öz-Kabuk Nanolif Üretimi	33
Şekil 2. 33: İçi Boş Nanolif Yapmak İçin Geliştirilen Düzenek ve Besleme Ünitesi	34
Şekil 2. 34: Çoklu Besleme Ünitesi Elektro Üretim Düzenegi	34
Şekil 2. 35: Eriyikten Üretim Düzenegi ve Ekstrüder Besleme Ünitesi	35
Şekil 2. 36: Çoklu Jet Düzenekleri	36
Şekil 2. 37: Elektro Üretim Besleme Sistemi	36
Şekil 2. 38: Elektro Üretim Düzenegi ve Besleme Ünitesi (1- Metal Silindir, 2- Çözelti, 3-çözelti havuzu, 4-Toplama kumaşı, 5-Lif hareket Yönü, 6- Topraklama, 7- Hava çıkışı)	37
Şekil 3. 1: Ultimaker 2+ 3D Printer	39
Şekil 3. 2: Besleme Sistemi Alt Ana Gövde	40
Şekil 3. 3: Besleme Sistemi Alt Ana Gövde Teknik Çizim	40
Şekil 3. 4: Besleme Ünitesi Üst Ana Gövde	41
Şekil 3. 5: Besleme Ünitesi Üst Ana Gövde Teknik Çizim	41
Şekil 3. 6: Besleme Ünitesi Ana Yuva	42
Şekil 3. 7: Besleme Ünitesi Ana Yuva Teknik Çizim	42
Şekil 3. 8: Besleme Ünitesi Ana Yuva Yatağı	43
Şekil 3. 9: Besleme Ünitesi Ana Yuva Yatağı Teknik Çizim	43
Şekil 3. 10: Besleme Ünitesi Ana Yuva Sıkıştırma Parçası	44
Şekil 3. 11: Besleme Ünitesi Ana Yuva Sıkıştırma Parçası Teknik Çizim	44
Şekil 3. 12: Besleme Ünitesi Ana Yuva Sabitleme Aparatı	45

Şekil 3. 13: Besleme Ünitesi Ana Yuva Sabitleme Aparatı Teknik Çizim.....	45
Şekil 3. 14: Besleme Ünitesi Ana Yuva Kapağı.....	46
Şekil 3. 15: Besleme Ünitesi Ana Yuva Kapağı Teknik Çizim.....	46
Şekil 3. 16: Besleme Ünitesi Çözelti Platformu Alt Parça	47
Şekil 3. 17: Besleme Ünitesi Çözelti Platformu Alt Parça Teknik Çizim.....	47
Şekil 3. 18: Besleme Ünitesi Çözelti Platformu Üst Parça.....	48
Şekil 3. 19: Besleme Ünitesi Çözelti Platformu Üst Parça Teknik Çizim.....	48
Şekil 3. 20: Besleme Ünitesi Çözelti Kabı	49
Şekil 3. 21: Besleme Ünitesi Çözelti Kabı Teknik Çizim.....	49
Şekil 3. 22: Besleme Ünitesi Çözelti Kabı Kapağı.....	50
Şekil 3. 23: Besleme Ünitesi Çözelti Kabı Kapağı Teknik Çizim	50
Şekil 3. 24: Besleme Ünitesi Ana Gövde Sabitleme Aparatı 1	51
Şekil 3. 25: Besleme Ünitesi Ana Gövde Sabitleme Aparatı 1 Teknik Çizim	51
Şekil 3. 26: Besleme Ünitesi Ana Gövde Sabitle Aparatı 2.....	52
Şekil 3. 27: Besleme Ünitesi Ana Gövde Sabitle Aparatı 2 Teknik Çizim	52
Şekil 3. 28: Besleme Ünitesi Çözelti Atık Kabı	53
Şekil 3. 29: Besleme Ünitesi Çözelti Atık Kabı Teknik Çizim.....	53
Şekil 3. 30: Besleme Ünitesi Çözelti Atık Kabı Ayağı	54
Şekil 3. 31: Besleme Ünitesi Çözelti Atık Kabı Ayağı Teknik Çizim	54
Şekil 3. 32: Besleme Ünitesi Atık Kabı Tutacağı	55
Şekil 3. 33: Besleme Ünitesi Atık Kabı Tutacağı Teknik Çizim	55
Şekil 3. 34: Besleme Ünitesi Kayış Dışlisi 1	56
Şekil 3. 35: Besleme Ünitesi Kayış Dışlisi 1 Teknik Çizim	56
Şekil 3. 36: Besleme Ünitesi Kayış Dışlisi 2	57
Şekil 3. 37: Besleme Ünitesi Kayış Dışlisi 2 Teknik Çizim	57
Şekil 3. 38: Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 1	58
Şekil 3. 39: Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 1 Teknik Çizim	58
Şekil 3. 40: Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 2	59
Şekil 3. 41: Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 2 Teknik Çizim	59
Şekil 3. 42: Besleme Ünitesi Mil Yuvası	60

Şekil 3. 43:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Teknik Çizim	60
Şekil 3. 44:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Ayağı	61
Şekil 3. 45:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Ayağı Teknik Çizim	61
Şekil 3. 46:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 1	62
Şekil 3. 47:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 1 Teknik Çizim	62
Şekil 3. 48:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 2	63
Şekil 3. 49:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 2 Teknik Çizim	63
Şekil 3. 50:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 3	64
Şekil 3. 51:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 3 Teknik Çizim	64
Şekil 3. 52:Besleme Ünitesi Tel Sabitleme Aparatı	65
Şekil 3. 53:Besleme Ünitesi Tel Sabitleme Aparatı Teknik Çizim	65
Şekil 3. 54:Besleme Ünitesi Montaj Hali	66
Şekil 3. 55:Besleme Ünitesi Tüm Parçalar	66
Şekil 3. 56:Polivinil Alkol (PVA) Çözeltisi	67
Şekil 3. 57:Elmarco NSLAB 500S Elektrospinning Cihazı	69
Şekil 4. 1:Standart besleme ünitesi ile yapılan lif çekim deneme üretimi sonucu	70
Şekil 4. 2:Geliştirilmiş besleme ünitesi ile yapılan deneme üretimi sonucu	71

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: İnsan Yapımı Lif Üretiminde Kullanılan Polimerler.....	3
Tablo 3. 1: Kullanılan madde ve malzemeler, Üretici firmaları.....	38
Tablo 3. 2: Kullanılan cihazlar ve üretici firmaları	38
Tablo 3. 3: Besleme ünitesi ile PVA lif çekim işlemi parametreleri.....	68
Tablo 4. 1: Standart besleme ünitesi ile yapılan lif çekim denemesi detayları	70
Tablo 4. 2: Geliştirilen besleme ünitesi ile yapılan deneme üretim detayları	71

BÖLÜM 1.GİRİŞ VE AMAÇ

Elektrospinning lif üretim metodu, elektrostatik ve hidrodinamik kuvvetlerin yardımıyla hazırlanan iletken çözeltiyi lif formuna getirerek ve bu esnada katılaşmasını sağlayarak lif üretme yöntemi olarak tanımlanır. Elektrospinning lif çekil işlemi esnasında bu işlem üzerinde etki eden oldukça fazla değişken bulunmaktadır. Çözeltiye ait parametreler (polimerin molekül ağırlığı, çözeltinin iletkenliği, konsantrasyon, yüzey gerilimi, çözeltinin viskozitesi), işleme ait parametreler (uygulanan voltaj, düze ucu ve toplayıcı arasındaki mesafe, besleme oranı/besleme miktarı, toplayıcının hareketi ve biçimi) ve çevresel parametreler (çevre sıcaklığı, çözelti sıcaklığı, bağıl nem ve sıcaklık)

Elektrospinning, çapı 100 nanometreden daha az olan lifler olan nanolifler üretmek için kullanılan bir tekniktir. Elektrospinning, bir polimer çözeltisine yüksek voltaj uygulayarak çalışır, bu da çözeltinin bir şırınga ucundan fışkırmasına ve ince bir lif oluşturmaya neden olur. Lifler, düz bir yüzey veya dönen bir tambur olabilen bir hedef üzerinde toplanır. Elektrospinning besleme ünitesi, polimer çözeltisinin şırınga ucuna iletilmesinden sorumlu olduğu için elektrospinning sürecinin kritik bir parçasıdır.

Bu çalışmada eski besleme ünitesinin kullanımı zor ve çok fazla yer kaplamaktadır. Ayrıca eski elektrospinning besleme ünitesi minimum 500 mL çözelti ile çalıştırılmakta ve işlem bittiğinde çözeltinin çoğu besleme ünitesi havuzunda kalmaktadır. Bu durum çözelti israfı ile kullanılan çözeltilerin atık olarak geri dönmesine neden olmaktadır. Mevcut besleme ünitesi havuzlu ve çözeltinin açık ortamda kalması lif çekiminde donmalara neden olmaktadır. Bu durum üniteye polimer eklenmesini de zor hale getirmekte ve bu da üretimde gecikmelere neden olmaktadır. Üretim esnasında açık havuzlu besleme ünitesi içinde çözelti donduğu ve lif çekimi gerçekleşmediği için çalışılan çözelti çeşitliliğini sınırlamaktadır.

Yeni besleme ünitesi kullanımı kolay ve verimli olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca eski üniteye göre daha küçük ve daha az yer kaplamaktadır. Polimer çözeltisi ekleme haznesi 100 mL hacme sahip olup üretim bittiğinde haznedeki herhangi bir çözelti kalmayacak şekilde tasarlanmıştır. Buda besleme ünitesinde hem çözelti israfını önlemeye hem de çevre dostu bir yaklaşım getirmeyi hedeflemiştir.

Yeni besleme ünitesi, 3D yazıcılarla üretilen birkaç parçadan oluşmaktadır. Bu da ünitenin montajını ve sökülmesini kolaylaştırır. Parçaların kırılmaları halinde değiştirilmeleri de kolaydır. Ayrıca montajı ve demontajı kolaydır ve parçaların değiştirilmesi kolaylaştırılmıştır. Yeni besleme ünitesi nanoliflerin daha hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesini mümkün kılacaktır. Çevre dostu bir yaklaşım ile tasarlanan besleme ünitesi parçaları PLA PRO1 filamentli sürdürülebilir bir yaklaşımla üretilmiştir. Üretilen parçaların hasar görmesi durumunda değişimi çok kolay bir şekilde yapılmaktadır. Yedek parça üretimi 3D printer ile hızlı şekilde yapılmakta, bu sayede ileride değişmesi gereken parçalar olur ise yedek parça sorunu kolay şekilde çözülmesi hedeflenmiştir. Değişen eski parçalar atık yerine tekrar geri dönüşüm ile filament haline gelmekte bu sayede atık miktarını minimuma indirerek çevreci bir yaklaşım benimsenmiştir.

BÖLÜM 2.TEORİK

2.1.LİF ÜRETİM TEKNİKLERİ

Katı haldeki polimerlerin lif formuna getirilmesi için yaygın olarak 3 yöntem bulunmaktadır. Bu üretim yöntemleri kullanılan polimerin kimyasal yapısına bağlı olarak polimerin ısıya karşısındaki davranışı polimerin hangi yöntem kullanılarak lif haline getirileceğini belirler[1]. Polimerlerin insan yapımı lif üretilmesinde kullanılan yöntemler: eriyik lif çekimi, yaş lif çekim ve kuru lif çekim teknikleridir. Eriyikten lif üretim yöntemi, günümüzde en yaygın kullanılan yöntemdir [2].

Tablo 2.1 de insan yapımı liflerin hangi üretim teknolojileri ile üretildiği ve bu

Eriyikten Lif Çekim	Kuru Lif Çekim	Yaş Lif Çekim
PA	Asetat	Viskon
PES	Triasetat	Kupro
PP	Akrilik	Akrilik
PE	PU	PU
POF	Vinyon	Modakrilik

teknolojilere örnek lifler listelenmiştir.

Tablo 2.1: İnsan Yapımı Lif Üretiminde Kullanılan Polimerler

İnsan yapımı lif üretim teknolojilerinde en düşük maliyetli olan eriyikten lif çekimi polimerlerin belli bir akışkanlığa ulaşabilmesi için polimerin ısıtılması gerekmektedir. Bu polimer sıvı hale getirildikten sonra düze diye adlandırılan küçük delikli metal yapı içerisinden geçirilirler. Kuru lif çekim tekniğinde, kullanılan polimere göre seçilecek bir çözücü yardımı ile sıvı hale getirilir ve sıcak hava ile düzeden çıkan filamentlerdeki çözücü buharlaştırılır. Yaş ve kuru eğirme teknolojilerinde polimerler uygun bir çözücü ile birlikte akışkan hale getirilerek düzelerden çekilmektedir.

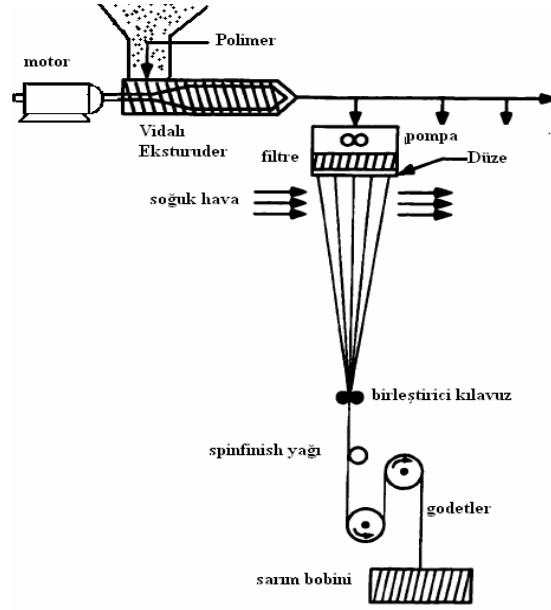
Düşük konsantrasyondaki banyoya lif çekimi gerçekleştirilirken difüzyonunda etkisi ile çözeltideki çözücü banyoya aktarılarak polimerin katılaşması ve buna bağlı olarak lif oluşumu gerçekleşir.

Eriyikten lif çekim işlemi termoplastik (ısıyla yumuşayan) polimerler ile yapılırken, kuru ve yaş üretimde olduğu gibi çözeltiden lif üretimi olan metotlar termoset (ısıyla sertleşen) polimerlerle yapılmaktadır [1].

Özel lif ve yüksek mukavemetli lif üretmek için kullanılan diğer üretim yöntemi jel üretim yöntemidir. Bu metot da polimer ekstrüzyon işleminde, zincirleri değişik noktalarda birbirlerine bağlı sıvı kristal formda bulunurlar. Bu durum sonuçta oluşan filamentlerin içinde zincirleri arası yüksek kuvvetler oluşmasına ve liflerin mukavemetinin artmasına neden olur. Bunun yanısıra kesme kuvvetlerinin etkisiyle sıvı kristallerin oryantasyonu lif eksenine boyunca artar. Filamentler olağandışı yüksek derecede oryante olmuş bir yapıya erişir. İşleminde filamentler önce havadan geçerek sonrasında sıvı banyosuna girer ve soğutulur.

2.1.1.Eriyikten Üretim Tekniği

Eriyikten lif üretim metodu, sentetik lif üretim teknikleri içerisinde çözücü kullanılmadan lif üretilen en basit metottur. Eriyik üretim metodu, 1930'lu yılların sonlarında poliamid 6 ve poliamid 6.6 polimerlerinde lif üretimi için geliştirilen bir yöntemdir [3]. Bu teknikte, chips, pellet veya granül formunda katı haldeki polimerler ilk önce besleme hunisine yerleştirilir. Ardından ekstrüder içerisindeki vida dönerek eriyik haldeki polimeri düzelerdeki deliklere sabit basınçla aktarır. Düzelerde lif çekim işleminin gerçekleştirildiği ve çözeltiye lif formu verildiği ana bölümdür. (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1:Eriyikten Lif Çekim

Erimiş polimerler oldukça hassas bir şekilde dozaj pompası yardımıyla filtrelerden geçirilerek ucunda lif oluşumu için delikler bulunan düzelere beslenir [2]. Eriyik haldeki polimerlerin düzeden önce bir dizi filtrelerden geçirilmesinin sebebi, eriyik içerisinde bulunan safsızlıklar ile topaklanmaların temizlenerek düze deliklerini tıkamasını önlemektedir. Filtrelerden süzülen eriyik haldeki polimerler, sabit basınç altında üzerinde life kesit şeklini veren farklı şekillere sahip delikler olan düze plakasından geçirilir [1]. Bu şekiller aynı zamanda elde edilen lifin kesit şeklini oluşturlar. (Şekil 2.2).

TEK DELİK	
Delik şekli	Y, D, X, /, #, C, S, Z, A, L
Lif kesiti	Y, D, X, /, #, C, S, Z, A, L
ÇOKLU DELİK	
Delik şekli	+, -, ., ---, Y, S, C, Z, A, L
Lif kesiti	+, -, ., ---, Y, S, C, Z, A, L

Şekil 2. 2:Düze Delik Şekilleri ve Oluşan Liflerin Kesitleri

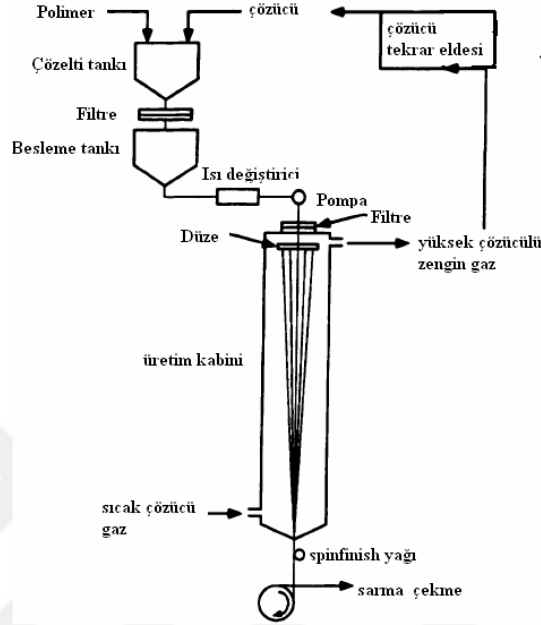
2.1.2.Yaş Üretim Tekniği

İnsan yapımı lif üretim teknolojisinde en düşük hızda lif üretimi yaş lif çekim prosesinde gerçekleştirilmektedir. [4].

2.1.3.Kuru Üretim Tekniği

6

doğru çözücüü buharlaştırarak çözeltinin katılaşmasını sağlayan sıcak hava ile muamele edilirler. (Şekil 2.4). Bu üretim yönteminde elde edilen liflerin üzerinde buharlaşmadan kaynaklanan gözenekli bir yapı oluşmaktadır. Bu yapı liflere bazı uygulamalarda avantaj sağlamaktadır.

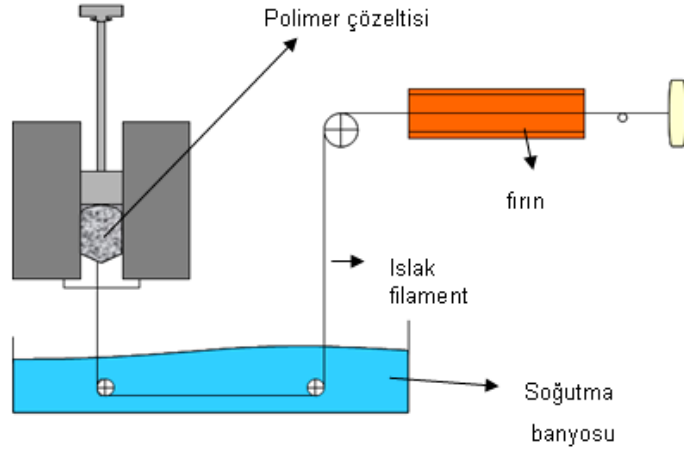


Şekil 2. 4: Kuru Üretim Metodunun Gösterimi

2.1.4. Jel Üretim Tekniği

Jel üretim metodu, özel ve yüksek mukavemetli lif üretmede kullanılan bir yöntemdir. Polimer ekstrüzyon sırasında tam sıvı halde değildir. Elde edilen liflerin polimer zincirleri yüksek oranda kristalin yapıya kavuşmaktadırlar. Bunun sonucunda da lifler yüksek mukavemet özelliğine sahip olmaktadır. İşlem yaşı ve kuru üretim metoduna benzemekle birlikte filamentler önce havadan geçerek sonrasında sıvı banyosuna girer ve soğutulur [87].

Şekil 2.5'te jel üretim sisteminin şekli verilmiştir [5].



Şekil 2. 5: Jel-Üretim Sistemi (Smith ve Lemstra)

2.2.NANOLİF ÜRETİM TEKNİKLERİ

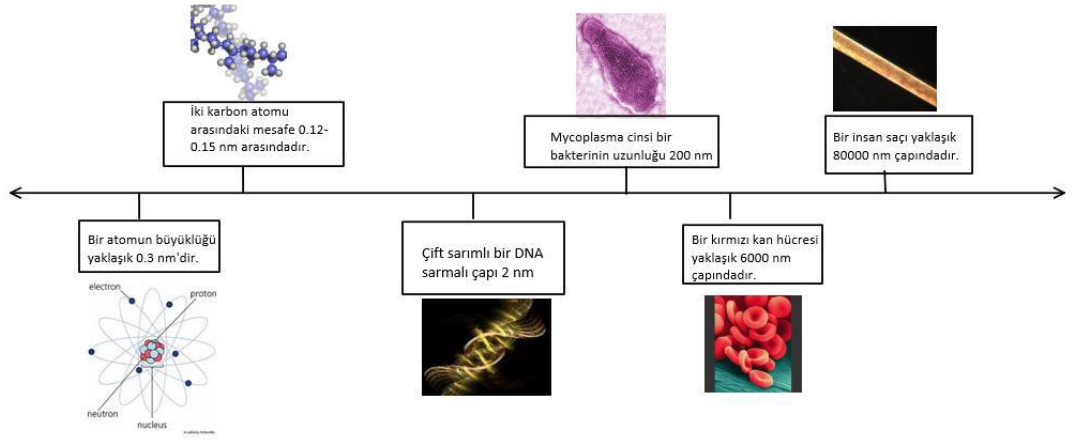
Nanobilimin temeli üzerine inşa edilen nanoteknoloji, yeni materyallerin, yeni cihazların üretimi ve yeni teknoloji için araştırma metotları ve tekniklerinin geliştirilmesi ile ilgilenmektedir.

Nano kelimesinin kökeni yunanca cüce kelimesinden gelmekte olup bir birimin 1 milyarda birini ifade eder. Bizim kullandığımız metrik sistemde ise 1 metrenin 1 milyarda birini ifade etmektedir.

Nanoteknoloji ifadesi ise milyarda bir ölçekli çalışmalar ve malzemeleri ifade etmektedir. National Science Foundation (NSF) tanımlamasına göre nanomalzemeler 100 nanometreden küçük ebatlı malzemelere verilmektedir.

Nanolifler ise çapı 1000 nanometreden küçük olan liflere verilen genel bir isimdir [83].

Şekil 2.6’da nanoliflerin boyutlarının karşılaştırılması şematize edilmiştir.



Şekil 2. 6: Çeşitli Büyüklüklerin Nanoölçek Değerlerinin Kıyaslanması

Bir tekstil ürünündeki liflerin çapları nanometreye doğru küçüldüğünde elde edilen liflerin ve buna bağlı ürünlerin karakteristik özelliklerinde ciddi farklar ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda nanoliflerin özellikleri bakımından yeni ve oldukça geniş yelpazede kullanım alanı oluşmuştur.

Nanoliflerin avantajları Tablo 2.2. de verilmiştir. [86];

- Yüksek yüzey alanı
- İnsan saçından çok daha ince yapı
- Yüksek gözenek oranı ve küçük gözenek boyutu
- Düşük gramajla eldeleri
- Çok katlı, kararlı yapılar.
- Daha yüksek mukavemet

Tekstil liflerinin numaralandırmasında kullanılan ağırlık ve uzunluğa göre numaralandırma sistemleri nanoliflerin numaralandırması için uygun bir yöntem değildir.

Son yıllarda giderek önem kazanan nanolifler, yüksek teknoloji malzemelerin üretimini mümkün kılmış ve bu sayede yeni malzemelerin geliştirilmesi mümkün olmuştur. Nanolif kullanımının avantajlarından belli başlıları şunlardır:

- ✓ Yüksek mukavemet (birim ağırlıktaki)
- ✓ Gözeneklilik özelliği yüksektir.
- ✓ Yüksek yüzey alanına sahiptir
- ✓ Filtreleme özelliği yüksektir

- ✓ Çok küçük parçalara karşı düşük geçirgenlik değerine sahiptir.
- ✓ Porpzite özelliği düşük seviyededir.
- ✓ Yüksek kaplama özelliğine sahiptir.
- ✓ Üretimi için düşük enerji gerektirir.

Tanımlar:

Nanolifler: 1000 nanometreden küçük çapa sahip liflerdir. Genellikle kullanılan nanoliflerin çapları ise 50-300 nm aralığındadır.

Mikrolifler: kesit lif çapları 1 denye altındaki liflere verilen genel ifadedir.

Monofilament: iplik yapısı içerisinde bir adet filamentten oluşan ipliklerdir.

Denye: 9000 metre uzunluktaki liflerin gram cinsinden ağırlığını ifade etmektedir..

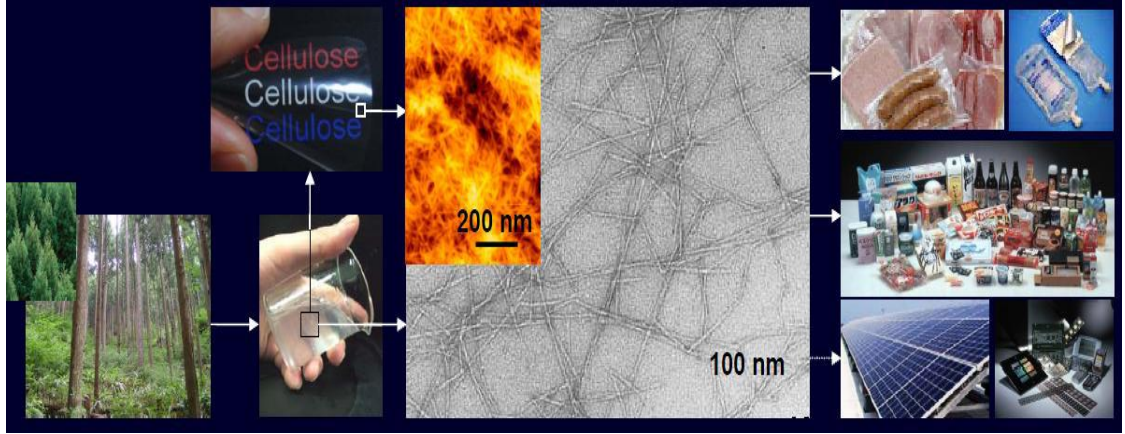
Tex: 1000 metre uzunluktaki liflerin gram cinsinden ağırlığını ifade etmektedir.

Desitex: 10000 metre uzunluktaki liflerin gram cinsinden ağırlığını ifade etmektedir..

2.2.1.Fibrilasyon Metodu ile Nanolif Üretimi

Fibrasyon metodu ile nanolif üretimi, diğer yöntemlere göre biraz farklı bir yaklaşım içermektedir. [88]. Lif üretimi fazla zaman almaktadır [5]. Bu teknikle üretilen lifler orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahiptir [10]. Fibrilasyon ile üretim metoduna uğrayan selülozik lifler ince ve hidrofil yapıda yüzeyler elde edilir. Elde edilen bu yüzeyler mikrobiyolojik, filtre üretimini ve kağıt yapımında kullanılmaktadırlar [8].

Selüloz fibriller mekanik ve kimyasal yöntemle üretilebilir. Kimyasal yöntemde kuvvetli asit hidrolisi yardımıyla selüloz lifin amorf bölgesini uzaklaştırması sağlanarak nano boyutta lifler üretilmektedir. Mekanik yöntemde, yüksek basıçlı arıtıcı, öğütücü işlem, mikrofludizer, yüksek basınç homojenleştirici işleminden oluşmaktadır. [8].

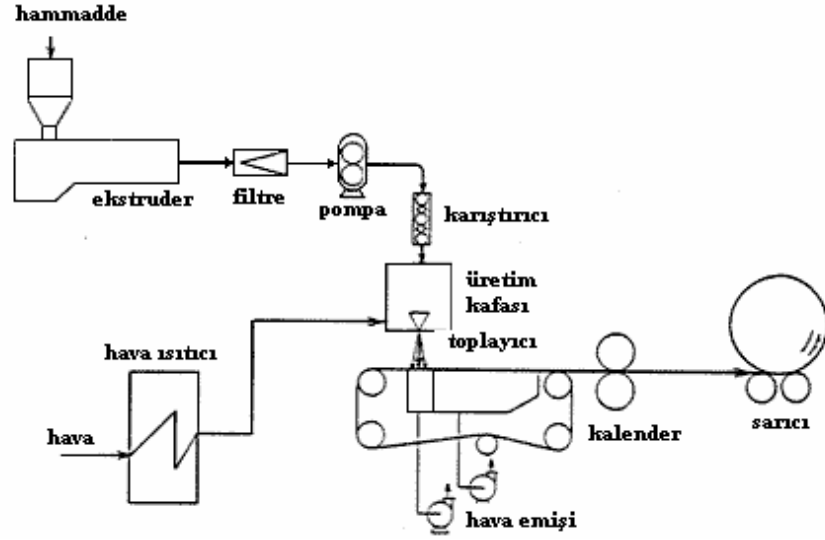


Şekil 2. 7: Selüloz nanolif üretimi [11]

2.2.2.Meltblown (Eriyik Üfleme) Metodu ile Nanolif Üretimi

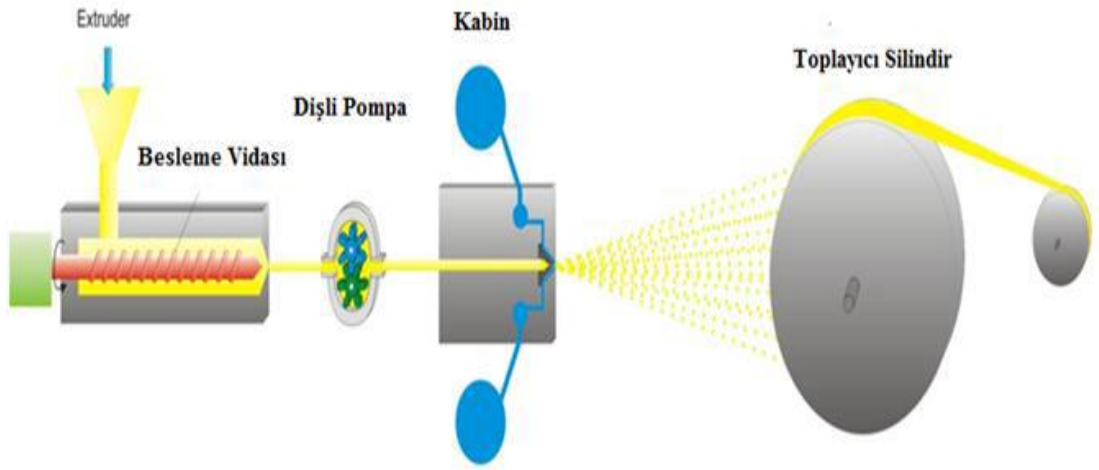
Meltblown metodu, düşük çaplı liflerin üretimi için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Teorik olarak 0.5-30 mikrometre, pratik olarak ise 2-7 mikrometre arasında çaplara sahip lifler üretilmektedir. Meltblown üretim yönteminde eriyik halindeki polimer bir yarıktan sabit basınç altında beslenmekteyken bu yarığın etrafında yüksek basınçlı sıcak hava yardımıyla eriyik inceltilecek lifli bir web oluşturmak üzere çekim işlemi yapılır. Bu işlem çoğunlukla nonwoven kumaş üretmek için kullanılan bir yöntemdir [89].

Bu yöntemde yaygın olarak Polietilen, Polipropilen ve Poliamid 6 kullanılır. Polimer cipsleri bir ekstrüdere beslenirler burada sıvı hale gelen polimer çeşitli filtrelemelerden geçerek pompa ile karıştırıcı bölgede homojenlik sağlar. Bu sistemde düze bölümü, makinenin enine yerleştirilmiş olup makine eni yaklaşık olarak 150–300 santimetre arasındadır. Filamentler taşıyıcı bantta uzunlamasına serilerek, kalender silindirlerinden geçirilerek birbirlerine daha sağlam yapıştırılıp homojen bir yapı kalınlığı elde edilerek rulo halinde sarılır [12].

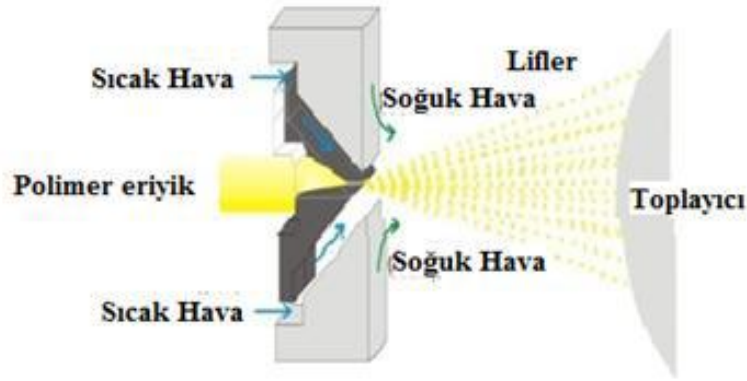


Şekil 2. 8: Meltblown Metodunun Gösterimi [90]

Yüksek üretim miktarlarında nanolif üretim yöntemlerinin başında Meltblown üretim yöntemi gelmektedir. Bu yöntemde eriyik haline getirilen polimerler basınçlı hava ile püskürtülerek çok sayıda lif aynı anda elde edilmesi ile üretim gerçekleşmektedir. Bu yöntem sonunda toplama bölgesinde üst üste yığılan lifçikler bir nanoweb tabanlı tülbent yapı eldesi sağlamaktadır. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'de bu metodun üretimi gösterilmiştir.



Şekil 2. 9: Meltblown Teknolojisi (a) [13]



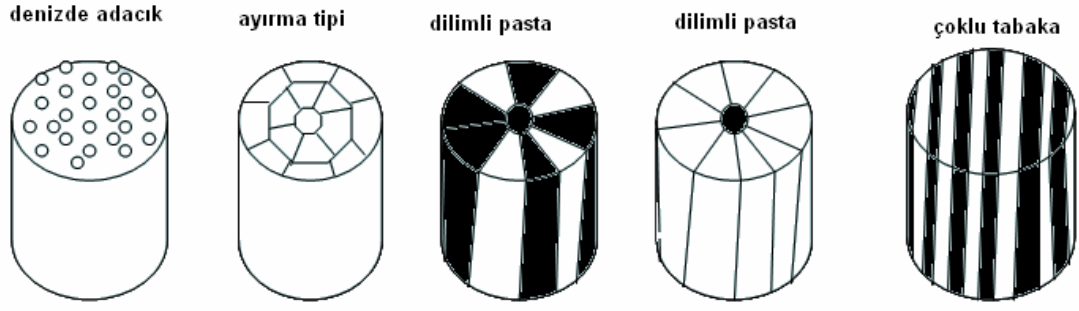
Şekil 2. 10: Meltblown Teknolojisi (b) [13]

Meltblow makinesinde polimer granülleri ısı yardımıyla akışkan forma sokulmakta ve ardından içerisindeki katı partiküllerden ayrılmak için filtrelenerek bir pompa ile sabit basınç altında karıştırıcıya iletilir. Daha sonra düzeden geçirilen sıvı polimer yüksek basınçla birlikte düze ucuna verilen sıcak hava yardımıyla püskürtülerek lifler inceltirilerek toplayıcı ve taşıyıcı sonsuz bant üzerinde toplanarak uzun metrajda üretim gerçekleştirilir [13].

Bu metod ile üretilen liflerin boyutları genellikle 1000-2000 nanometre ile sınırlıdır. Yapılan çalışmalarla birlikte son zamanlarda makine optimizasyonu sayesinde birkaç yüz nanometre mertebesinde lif üretimi mümkün olmaktadır. [14].

2.2.3.Bikomponent Nanolif Üretimi

Bikomponent lif yapı bakımından (fiziksel veya kimyasal) farklı özelliklere sahip polimerlerin yanyana veya iç içe yerleştirilerek üretilmesine denilmektedir. Farklı polimerlerin bir lif içerisinde yerleştirilerek üretilmesiyle elde edilen liflere bikomponent lifler denir. Bikomponent liflerin üretiminde lif kesit şekline göre; iç içe yerleştirilmiş, yan yana yerleştirilmiş, deniz-ada yerleşimi, pasta dilimi ve öz-kabuk gibi farklı yöntemlerle üretilmektedir [16]. Şekil 2.11’de bu lif kesitleri görülmektedir.

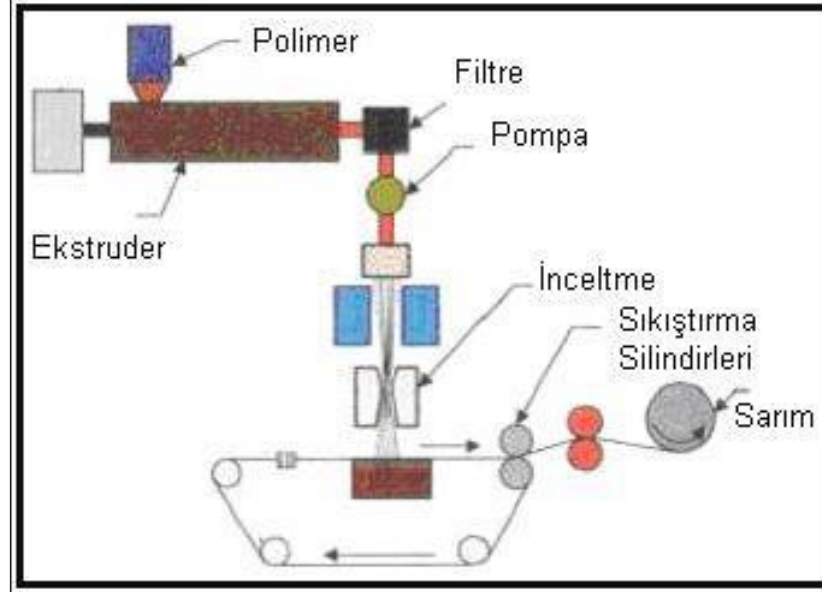


Şekil 2. 11: Bikomponent Liflerin Kesit Görüntüleri [12]

Polimerlerin arasındaki temel farklılıklar, ısıya göre çözülme derecesi yani erime noktası gibi özellikler bu nanolif üretim işleminde önemli yer oluşturmaktadır. Özellikle deniz-ada şeklindeki bikomponent üretiminden sonra deniz olarak kullanılan polimerin uygun sıcaklıkta veya çözücüde ortamdan uzaklaştırılması ile ada kısmındaki nano boyutta çapa sahip lifler serbest bırakılarak nanolif üretimi gerçekleştirilir [17].

2.2.4.Spunbond (Eğirmeli Bağlantı) Metodu ile Nanolif Üretimi

Spunbond metodu, meltblowing metodu ile çok benzerdir. Ana farklılıkları, filamentleri inceltmek için kullanılan havanın sıcaklığı ve hacmi ile ilgilidir. Meltblowing yönteminde yüksek miktarda hava akımı kullanılarak liflere gerilim uygulanmakta ve inceltilmektedir. Spunbond yönteminde ise üretimi sırasında liflere bir germe etki etmemekte olup polimer soğuyarak lif formasyonu oluşumundan sonra germe kuvveti uygulanmaktadır. Bu sebepten dolayı lifler daha kalın olur. Spunbond metodu ile elde edilen liflerin çapları 20 mikrona kadar çıkarken, meltblown metodunda lif çapları 2 mikronu pek geçmez [7]. Şekil 2.12’te spunbond yöntemi şematize edilmiştir.

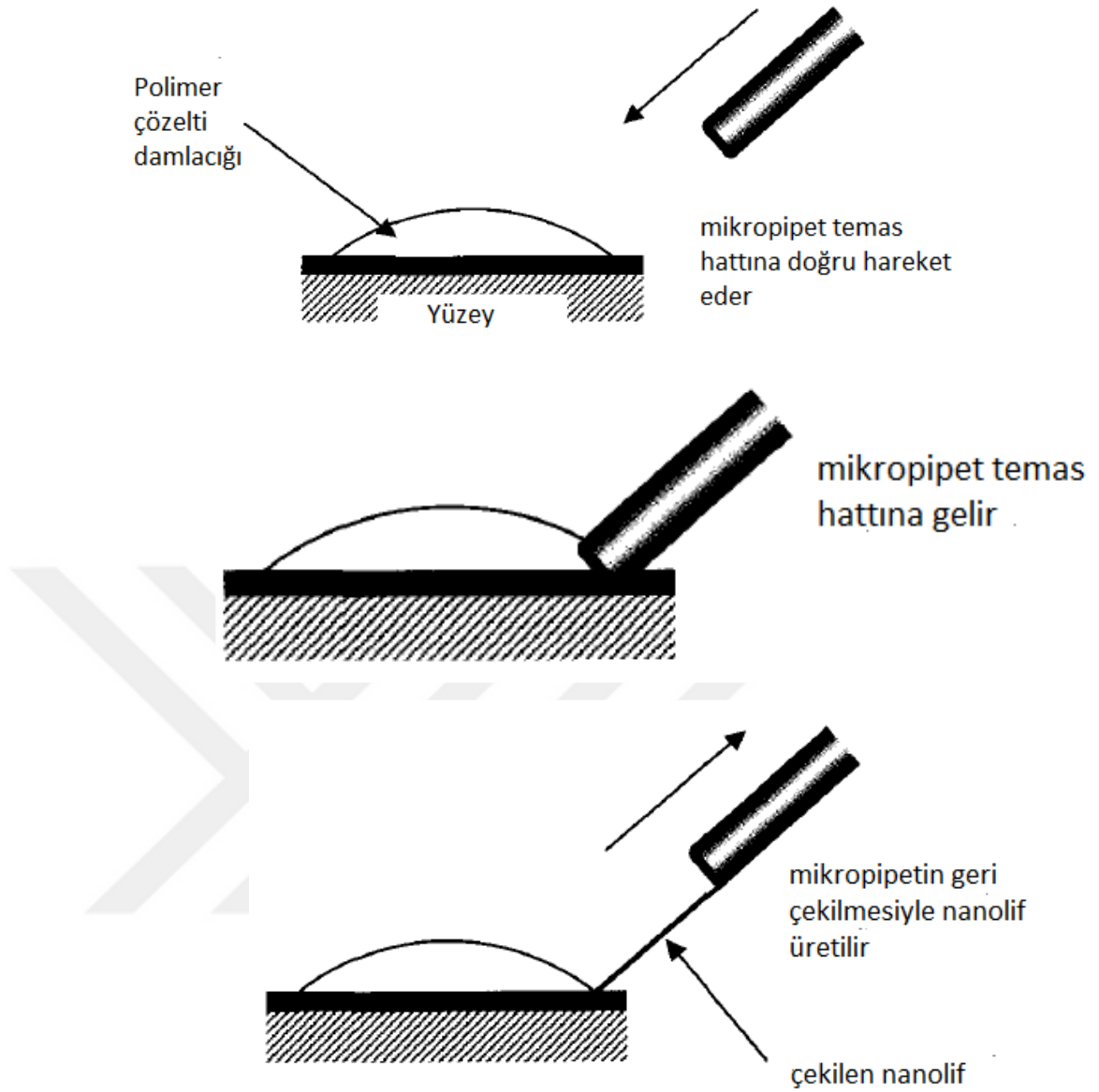


Şekil 2. 12: Spunbond Yönteminde Üretim Akışı [7]

2.2.5.Çekim Yöntemiyle ile Nanolif Üretimi

Çekim (Drawing) nanolif üretim yönteminde yapının oluşumu, bir yüzeyde bulunan çözeltinin pipet yardımıyla temas edilerek çekilmesi prensibine dayanır. Bu esnada çözelti içerisindeki çözücü buharlaşarak polimer katılarak lif oluşumu gözlenir. [19].

Çekim yöntemiyle lif üretiminin prensibi şu şekildedir. Polimer damlacığına bir mikro pipet batırılıp ardından çok düşük hızlarda (100 mm/s) dışarı doğru çekilir. Çekilmiş lif mikro pipetin ucuyla alınarak bir yüzeye bırakılır [20]. Lif oluşumunda yüzey buharlaşması viskoziteyi arttırır [21].



Şekil 2. 13: Çekim Yöntemiyle Nanolif Eldesi [22]

Çekim yöntemi düşük maliyetli ve basit bir nanolif üretimine imkan sağlamaktadır. Bu yöntem ile, viskozitesi germe kuvvetine karşı dayanıklı yapıya sahip özelliklerde lif elde edilmeye çalışılır [23].

Bu yöntemin en büyük dezavantajları;

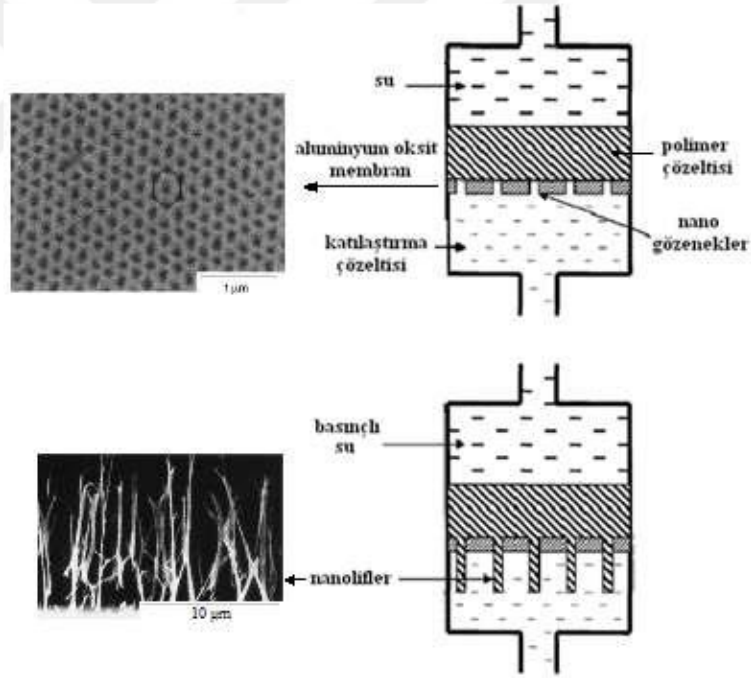
- ✓ Nanoliflerden oluşan web formunda yüzey oluşumu zordur.
- ✓ Genellikle 1000 nm den kalın lifler üretilir.
- ✓ Üretilen nano fiberlerin çaplarını kontrol etmemiz mümkün değildir
- ✓ Devamlı bir üretim mümkün değildir [24].

2.2.6. Şablon Sentezi Yöntemi

Şablon sentezi yönteminde istenilen yapıyı elde etmek için şablon kullanılarak üretim yapılmaktadır. Şablon sentezi metodunda çok sayıda üretim teknolojisi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;

- elektrokimyasal depolama,
- elektriksiz (örneğin kimyasal) depolama,
- kimyasal polimerizasyon,
- sol-jet depolama
- kimyasal buhar depolama

yukarıda belirtilen tekniklerde farklı şablonlar ve hammadde kullanımı mümkündür [25].



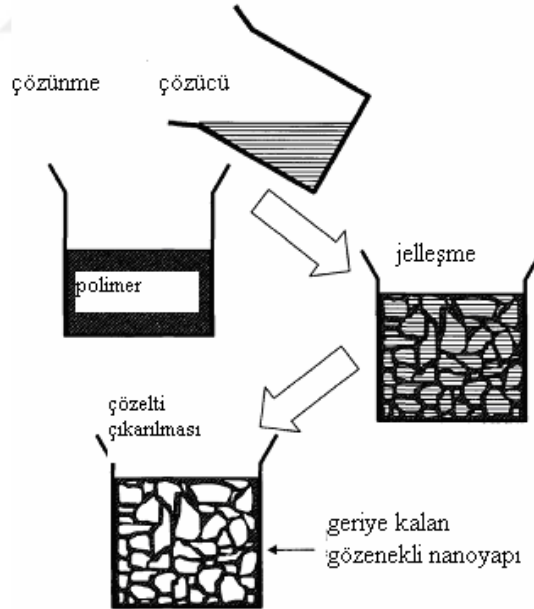
Şekil 2. 14: Şablon Sentezi ile Nanolif Eldesi [27;28]

2.2.7. Faz Ayrımı Yöntemi

Faz ayrımı metodu gözenekli polimer membranları elde edilmesinde kullanılır. Bu metot polimer jelleşme adımına gelmeden önce bir çözücü ile karıştırılarak prosesteki ana mekanizma fiziksel uyumsuzluktan dolayı fazlar ayrılır. Ardından yapı içerisinde bulunan çözücü uzaklaştırılarak geriye polimerin kalması sağlanır. Faz ayrımı üretim yöntemi 5 aşamadan oluşur. Bu aşamalar;

- Çözünme,
- katılaşma,
- çözgen uzaklaştırma,
- dondurma
- dondurarak kurutma ile uzaklaştırma adımlarıdır.

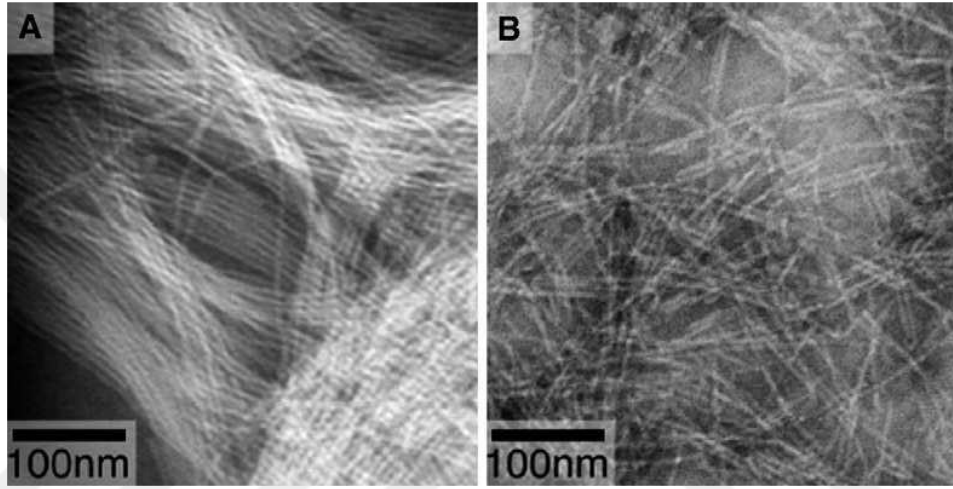
Yapının mekanik özelliklerini ayarlamak için çözelti konsantrasyonunun değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Faz ayrımı yönteminde kullanılabilecek polimerler sınırlı sayıdadır [22].



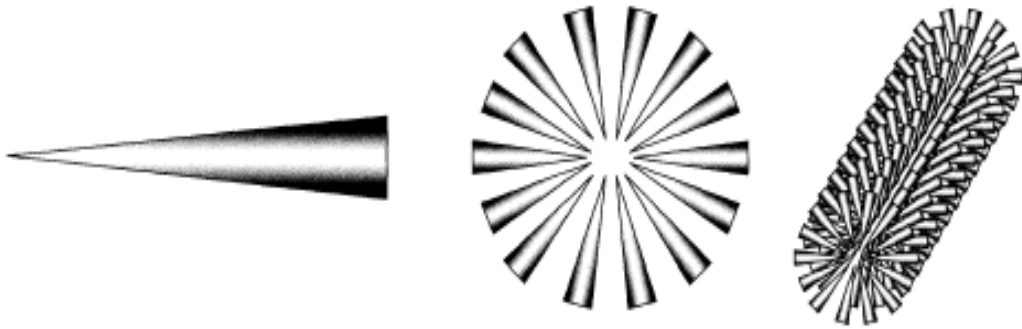
Şekil 2. 15: Faz Ayrımı ile Nanolif Eldesi [22]

2.2.8.Kendiliğinden Montaj Yöntemi

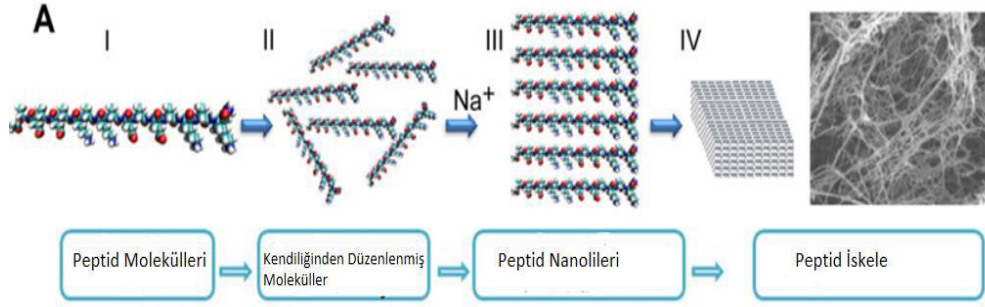
Kendiliğinden montaj metodu; bağımsız bileşenlerin, gelişigüzel olarak stabil ve düzenli hale gelmesi işlemidir. Bu yöntemde küçük moleküller bir araya getirilerek nano liflerin üretilmesinin sağlanması prensibine dayanır[22]. Bu yöntemde oldukça sınırlı sayıda polimerle laboratuvar ölçeğinde üretime olanak tanıyan bir prosestir. Kendiliğinden montaj yönteminde 5 ila 8 nanometre çapa sahip ve uzunluğu 1000 nanometre boyunda lifler elde edilmektedir [29].



Şekil 2. 16: Kendiliğinden Montaj Metodu Oluşturulmuş Nanoliflerin SEM Mikrogramları [29]



Şekil 2. 17: Kendiliğinden Montaj ile Nanolif Oluşumuna Örnekler [22].



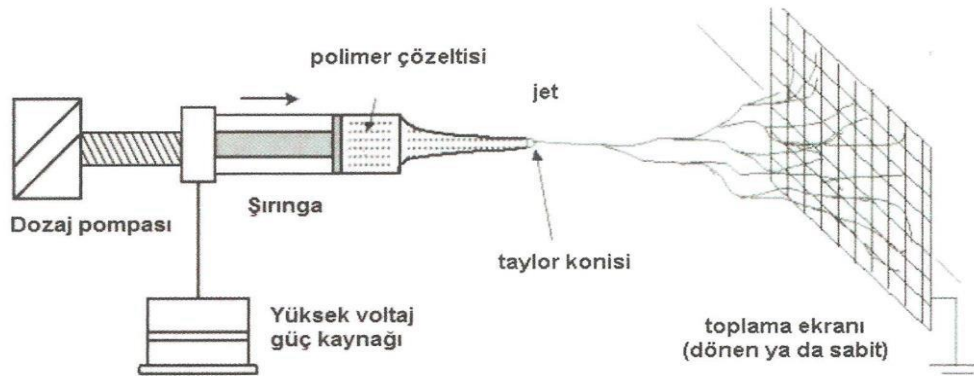
Şekil 2. 18: Kendiliğinden Düzenleme Yöntemi ile Oluşturdukları Peptit İskelesinin Şematik Sıralaması [30]

2.2.9. Elektro Üretim ile Nanolif Üretimi

Elektrolif çekim kavramı ilk olarak Formhals tarafından elektrik alan kuvveti kullanılarak polimerden filament lif üretme işleminin patenti ile çıkmıştır.

Elektrolif çekme işlemi, polimer çözeltisinden, elektrostatik kuvvetler ile nanolif üretim teknolojisidir. Elektrolif çekim işlemi devamlı bir proses olmasından dolayı hacimli bir yapının üretilebilmesini sağlamakta olup, çekim işlemi sırasında çözelti damlalarının oluşturduğu jet formunun kararsız olması homojen bir yapı üretimini mümkün kılmamaktadır.

Elektrolif çekim yönteminde oldukça fazla sayıda polimerle çalışılabilmekte olup, işlemin kolay, kesiksiz olması ve parametreler değiştirilerek lif çaplarının ve yapısının kolay bir şekilde değiştirilmesine imkan tanınması günümüzde en çok tercih edilen üretim yöntemlerinin başında gelmesini sağlamıştır.



Şekil 2. 19: Elektroçekim Prosesinin Temel Prensipleri [32]

2.3.ELEKTRO ÜRETİM İLE NANOLİF ÜRETİMİ

2.3.1.Elektro Üretim Yönteminin Tarihsel Gelişimi

Elektroeğirme metodu yeni bir teknoloji değildir. Temeli 1600’lü yıllara dayanmaktadır. 1600’lü yıllarda William Gilbert manyetik ve elektrostatik olayların davranışını tanımlayan ilk bilim insanıdır. William Gilbert’ın çalışması modern bilimsel yöntem haline gelen ilk örnektir [33]. William Gilbert elektromanyetik akımın farklı sıvılar üzerine etkisini araştırmıştır. Yaptığı çalışmalarda su damlasını elektriksel kuvvet karşısında belli bir mesafede koni şeklinde çekildiğini gözlemlemiştir. Bu çalışma günümüzde elektroçekim işleminin başlangıcını olmuştur [12].

1700’lü yıllarda Stephan Gray elektrostatik kuvvetler hakkında çalışmış ve yüklü bir çubukla sabun köpüğünün çekilebilir olduğunu ve daha sonra elektrikli bir çubuğun tutulan su yüzeyinin yakınına getirilmesinde gözlemlenen etkiyi incelemiştir. Su yüzeyinde bir koni oluşumu gözlemlemiştir [34].

1745 yılında Bose cam kılcal bir tüpün ucundaki sıvının yüksek voltaj uygulanarak elektrohidrodinamik püskürtme yaptığını ortaya çıkarmıştır [35,36].

Yüklü damlacıkların davranışlarını daha sonra Lord Rayleigh tarafından sistematik olarak incelendi. 1882 yılında Rayleigh teorik olarak, sıvı jetler yüzeyden püskürtülmeden önce bir sıvı damlacığının taşıyabileceği minimum yük miktarını araştırdı [37].

1800’lü yılların sonlarına doğru bu alanda yapılan araştırmalar Joseph Larmor’un sıvıların bu elektrik alan etkisiyle yaptığı hareketleri elektro hidrodinamik teorisi ile açıklamıştır [38].

Elektroçekim olarak tanınan bir sürecin ilk açıklaması 1902 yılında John Francis Cooley’nin ‘Elektriksel olarak dağılma aparatı’ başlıklı ABD patentine

başvurmuştur [39]. Patentinde (US 692631) iplik üretmek için yüksek voltajlı güç kaynaklarını



kullanma yöntemini açıklamıştır. Bu erken aşamada bile, damlacıklardan ziyade elyaf oluşturmak için, sıvının yeterince viskoz olması, katı polimerin rejenerasyonuna izin vermek için buharlaşacak kadar uçucu olması ve bir belirli aralık olması gerekmektedir [40].

Daha sonra, elektrik yükü uygulayarak sıvı püskürten ilk cihazlar, 1902 ve 1903 yıllarında Cooley ve Morton tarafından patentlenmiştir [37,41].

1914 yılında John Zeleny elektrostatik kuvvet uygulanan sıvıların davranışını matematiksel olarak modelleme üzerine çalışmalar yapmıştır[40]. John Zeleny, sıvı damlasındaki elektrik yoğunluğu, sıvının damla formundan jete geçiş durumunu ve damlanın ucundaki şekil bozuklukları üzerinde araştırmalar yapmıştır.

Zeleny 1917 yılında yapmış olduğu çalışmalarda, elektrik alanının sıvı yüzeyler üzerinde oluşturduğu kararsızlıkları incelemiştir [43].

Alkol ve su ile yaptığı çalışmalarda suyun damladan jete geçiş yapması için alkole göre daha yüksek bir gerilime ihtiyaç duyduğu sonucunu elde etmiştir. 1917’ de ise ilk kez elektriklenmiş sıvı yüzeylerin hızlı elektrodinamik çarpmasını incelemiştir [44].

1929 yılında Hagiwara ipek liflerini elektrolif çekimi yöntemi ile üretimi için sistem tasarlayarak patentini almıştır. [45].

Elektroeğirme ile lif üretimine yönelik ilk patent 1934 yılında Anton Formhals tarafından alınmıştır. Formhals çeşitli polimerler kullanarak çözelti üzerinde elektrik alan oluşturarak filament üretmeyi amaçladığı çalışmalarından 11 adet patent almıştır[46]. Formhals yapmış olduğu çalışmalar sonucunda elektrolif çekim işleminde gerekli olan akım şiddetinin çözelti yapısına, polimerin molekül ağırlığına ve viskozitesine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ifade etmiştir [12]. Ayrıca düze ile kolektör arası mesafenin lif oluşumuna olan etkileri üzerinde de çalışmalar yapmıştır [47].

Elektroeğirme keşifleri çok olmasına rağmen bu yöntem ticari olarak kullanılmadı. Elektroeğirilmiş nanolifler ilk olarak 1938 yılında Sovyetler Birliği’nde N.D. Rozenblum ve I.V. Petryanov-Sokolov tarafından aerosol partiküllerini yakalamak amacı ile “Petryanov Filtreleri” olarak bilinen filtrelerden kullanılmaya başlandı. 1939 yılında ise bu çalışma, Trev şehrinde gaz maskesi olarak nanolif esaslı matlarla duman filtreleri üretmek için bir fabrikanın kurulmasına yol açmıştır. Bu filtreler 1960’lı yıllara gelindiğinde yılda 20 milyon m² üretilmiştir. Bu zaman

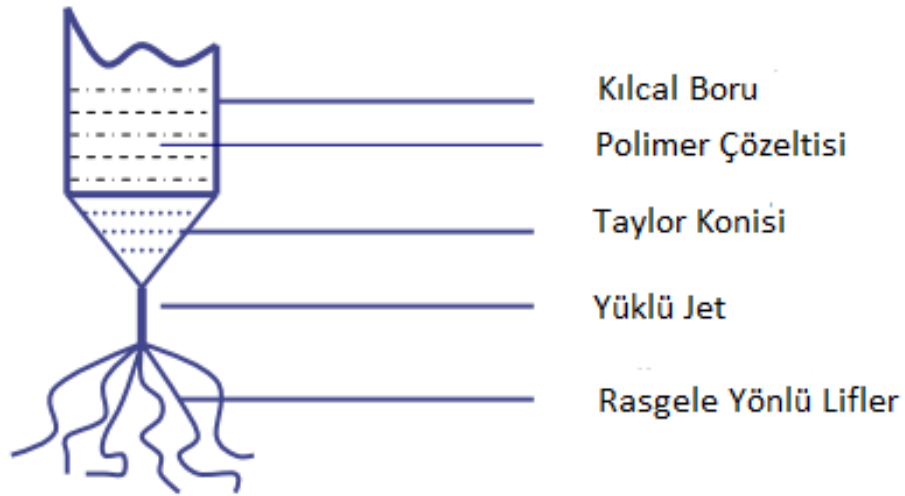
boyunca, elektroğirme yönteminin mekanik anlayışı yavaş yavaş geliştirilmiştir [46-48-49].

1940 yılında Gladding liflerin toplanması için hareketli bir bant kullanmıştır. Bu bant ile oluşan lifler iki elektrot arasından geçip toplanabilmektedir [12-40].

1955 yılında ise Drozin uygulanan voltaj ile damlacıkların karakteristiğinin değişimini incelemiştir [47].

1966 yılında Simons, elektrospinning için yeni bir sistem geliştirerek patentini almıştır. Patent aldığı bu deneyde günümüzdeki elektroçekim sistemlerinin temellerini oluşturmuştur. Bu geliştirilen yöntemde akım kutuplarından pozitif olan çözeltinin içerisine negatif olan kutup ise toplayıcı üzerine monte edilmiştir. Bu yöntem ile çok ince lifler ve nanolifli web yapılar üretilmiştir. [50].

1960'lı yılların başında Taylor elektrik ile yüklenmiş sıvıların temel teorik prensiplerine açıklama getirmiştir. Tylor uygulanan elektrik alanın sıvı damlacığı şeklini deforme ettiği ve koni oluşturduğunu deneysel olarak gözlemiş ve bu gözlemler neticesinde modelleme yapmıştır [51].



Şekil 2. 20: Taylor Konisi Oluşumu ve Liflerin Dağılımı [52]

1971 yılında Baumgarten akrilik nanoliflerin üretimini yapmıştır. Üretilen liflerin çapları 0,5-5 mikrometre mertebesinde [53, 54].

1980 yılında Fine ve Tora TPU (termoplastik elastomerik poliüretan) üzerinde çalışmalar yapmış ve polimeri çözündürmek için tetrahidrofuran kullanmıştır. Daha sonra çözeltiyi merkezkaç kuvvetinden yararlanarak bir eksen etrafında dönen bir

yüzeye yerleştirilmiştir. Döndürülen yüzeyden çözelti püskürtülerek dışarıda bir toplayıcıda toplanmış ve nanolifli web yapı elde edilmiştir. Böylece nanolif üretiminde yeni bir teknik elde edilmiştir. Bu teknik hem merkezkaç kuvveti hemde elektrostatik çekim kuvvetini kullandığından dolayı hibrid sistemlerin başlangıcında doğurmuştur [12, 52].

1990'ların başına kadar, özellikle Darrell Reneker ve Gregory Rutledge tarafından yönetilen gruplar da dahil olmak üzere çeşitli araştırma grupları bu tekniği yeniden icat etmeye başlanmamıştı [55–56]. Bu, nanometre ölçeğine kadar özellikleri ölçebilen elektron mikroskoplarının erişebilirliğinin artmasıyla mümkün oldu. Bu gruplar, birçok farklı organik polimerin nanolif olarak eğrilebileceğini gösterdi. “Elektroeğirme” terimi, bu tekniği tanımlamak için popüler hale getirildi. Bu teknik ile nanometre boyutunda çaplara sahip uzun ve sürekli lifler üretebiliyor olmak, yöntemi tercih edilir hale getirdi. Bu yüzyılın başında, kompozit ve seramik nanoliflerin üretimi için yeni malzemelere ve formülasyonlara geçilerek kapasitesi daha da genişletildiğinde elektroeğirme giderek artan bir ilgi görmeye başladı [57–58]. Yeni malzemeleri hızlı bir şekilde elektroeğirme yeteneği, geleneksel olarak inorganik nanopartiküllerin hâkim olduğu enerji dönüştürme, depolama gibi alanların yanı sıra kataliz uygulamalarında kullanılabilirliğini sağladı. Buna paralel olarak, elektroeğrilmiş nanoliflerin yapısını ve hizalamasını kontrol etmek için yeni stratejiler de geliştirildi. Özellikle, nanoliflerin boyutu, yapısı, bileşimi, morfolojisi, gözenekliliği ve düzenlenmesinden kaynaklanan farklı özelliklerin bir araya getirmesinin uygulanabilirliği sağlanarak hizalı nanolifler üretmek için çeşitli yöntemler geliştirildi [58–59]. Bu üstün özellikler, elektroeğirme yöntemini, nanolif temelli malzemelerin üretimini sağlayabilen çok yönlü ve uygulanabilir bir teknoloji haline getirdi.

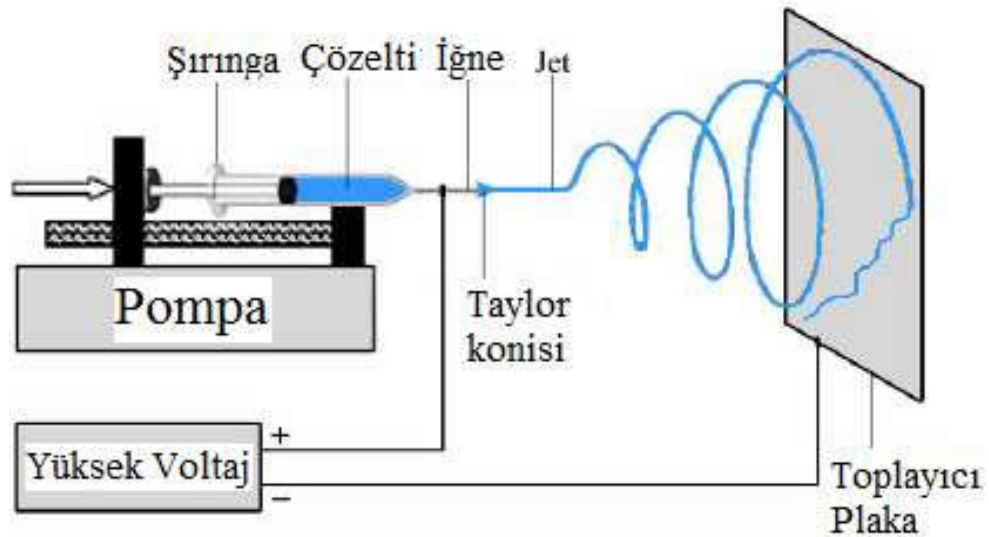
2.3.2.Elektro Üretim Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Nanolifler birçok yöntem ile üretilebilmektedir fakat elektro-lif çekim yöntemi, uygulama kolaylığı ve lif elde edilebilmede kullanılabilecek polimer zenginliği açısından ön plana çıkmıştır [60].

Elektro çekim tekniği, nanolifleri üretmek için hızlı, kolay ve uygun maliyetli bir yaklaşımdır. Bu yöntemde polimer çözeltisi/eriği elektriksel alana tabi tutulur. Elektriksel alan etkisiyle lifler saçılır ve toplayıcı yüzey üzerinde nano çaplara sahip, ince, kuru polimerik lifler oluşur. [61;62;63].

Elektroeğirme yönteminde prensip mekanik kuvvetlerin kullanılması yerine polimerler çözeltisine uygulanan voltajla nanoliflerin üretilmesi prensibine dayanmaktadır[12,65]. Üretilcek polimerin belirli bir viskozitede olmalıdır. Bunun için polimer ısı veya uygun çözücü ile akışkan hale getirilmesi gerekmektedir. Akışkanlık çok yüksek veya çok düşük olması durumunda istenilen özelliklerde nanolifler elde edilememe riski bulunmaktadır. Çözeltinin akışkanlığı kontrol altında tutulmalıdır. Bu nedenle polimerin molekül ağırlığı ve çözeltinin konsantrasyonu viskozite üzerinde etkin parametrelerdir.

Şekil 2.21’de basit bir elektroçekim sistemi verilmiştir. Bu sistem; polimer çözeltisi, kontrollü besleme sistemi, elektrik güç kaynağı ve toplayıcı olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır.



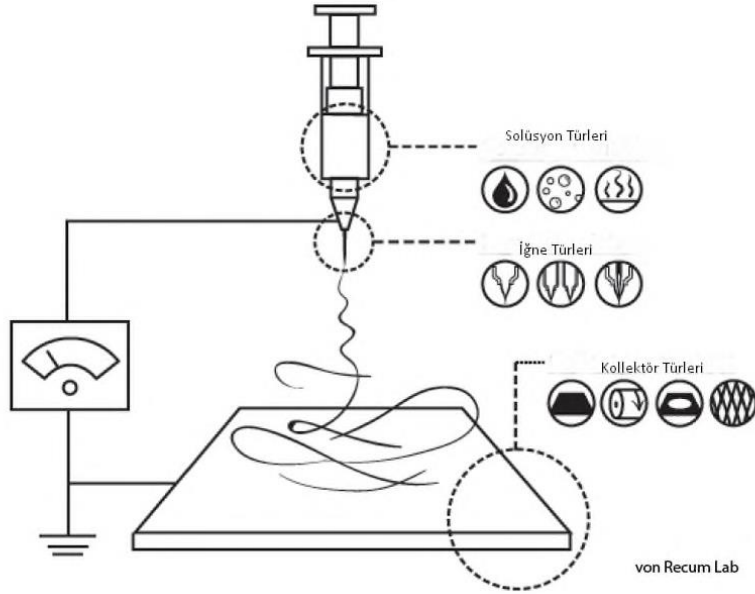
Şekil 2. 21: Elektro Çekim Metodu ile Nanolif Üretimi [64]

Elektroeğirme metodunda, çıkışında metal iğneli şırınga içerisinde bulunan polimer çözeltisi şırıngadan çıkarken metal iğneye voltaj uygulanarak polimer damlacığı karşı taraf konumlanmış topraklanmış toplayıcı plakaya doğru jet formunda fırlamaktadır. Toplayıcı plakaya ulaşınca kadarki zamanda damlacıklar elektrik alanının etkisiyle uzamakta ve incelerek plaka üzerinde nanolif formunda toplanmaktadır. Çözelti içerisindeki çözücü maddeler nanolif oluşupda plakanın üzerinde toplanınca kadar geçen süreçte buharlaşarak sistemden uzaklaşır ve kuru nanolifler plaka üzerine toplanırlar.

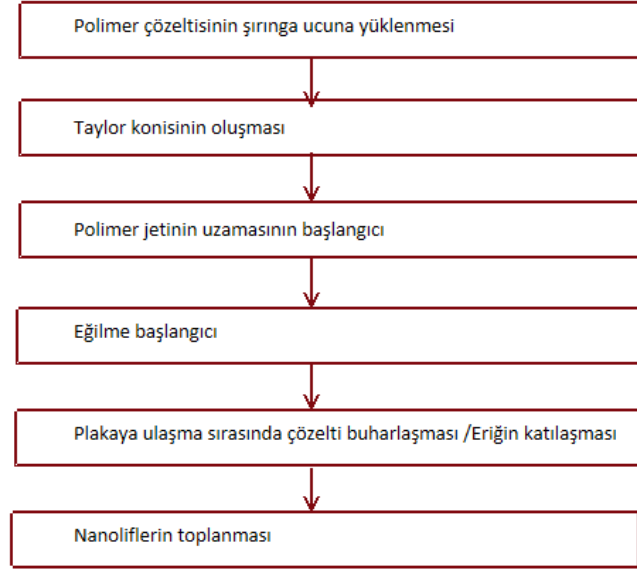
2.3.3.Elektro Çekim ile Lif Oluşumu

Elektrolif çekim yönteminde düşük seviyede cihaz gerekmekte olup ayrıca, çok geniş lif çaplarında üretime uygun olması ile çok sayıda polimer ile üretim yapılabilmesi açısından günümüzde en rağbet gören üretim yöntemidir.

Şekil 2.22’de Elektro lif çekimi düzeneği şematize olarak gösterilmiştir.



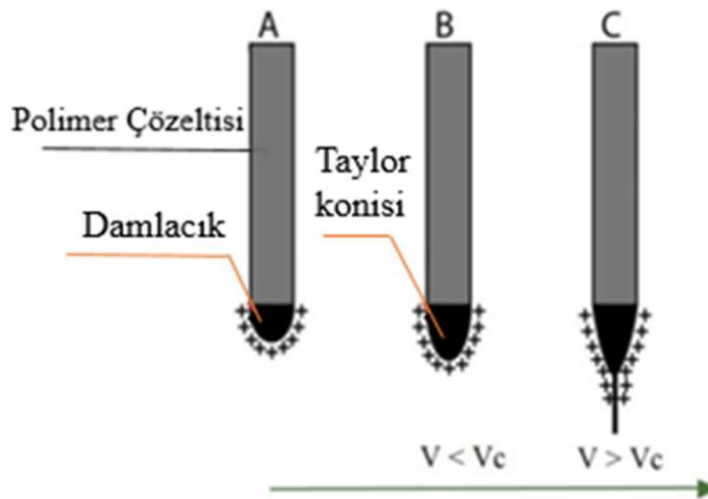
Şekil 2. 22: Farklı Varyasyonlara Sahip Elektro Lif Çekimi Düzeneği [68]



Şekil 2. 23:Elektrolif çekim işlemini genel olarak üç aşamaya ayırabiliriz: (1) Jet oluşumu; (2) kararsız yapı oluşumu (3) lif katılaşması

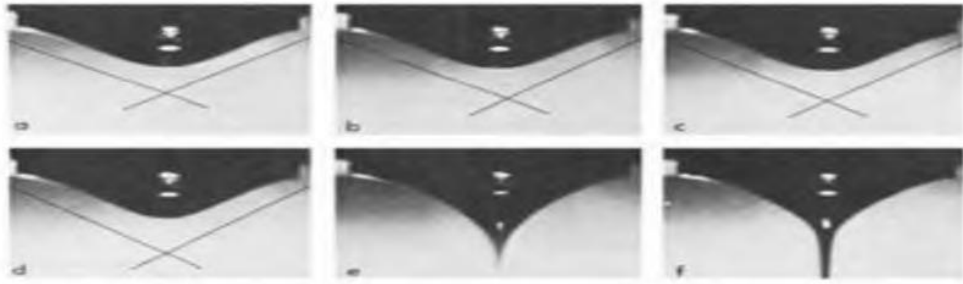
Şekil 2.23’te Elektro lif çekimi işleminin aşamaları verilmiştir. Bu aşamalarda;

1. Damlacık oluşumu: Elektro çekim işleminin ilk aşaması damlacık oluşumudur. Burada hazırlanan polimer çözeltisi besleme pompası yardımıyla düzenin ucuna doğru hareket ettirilir. Bu aşamada polimer çözeltisi küresel bir halde damla formundadır.



Şekil 2. 24: Elektro Çekim İşlemi Esnasında Jet Oluşumu [69]

2. Taylor konisi oluşumu: Polimer çözeltisine akım uygulanmaya başladığında elektrik kuvveti uygulanan damla yuvarlak formunda değişim oluşarak toplayıcı plakaya doğru uzama eğilimi göstermesi aşamasıdır. Bu aşamada çözeltinin yüzey gerilimi aşılamadığından dolayı çözelti bir arada kalma eğilimindedir. Voltajın artışına bağlı olarak yuvarlak damla formu konik bir şekle kavuşur[70]. Bu değişim ilk olarak Geoffrey Ingram Taylor tarafından tanımlandığı için günümüzde bu damlacığın şekli Taylor Konisi olarak adlandırılmıştır.

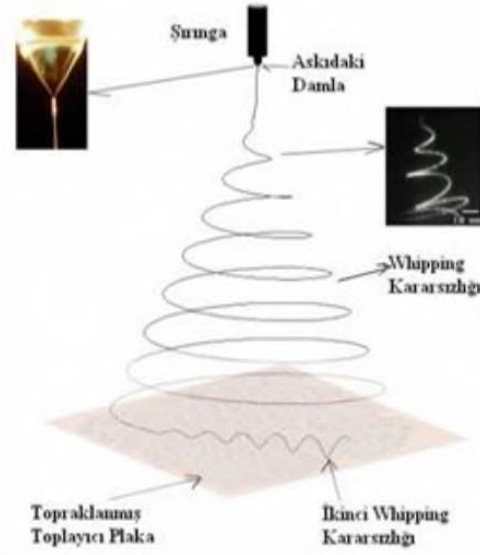


Şekil 2. 25: Kılcal boru ucundaki damlanın artan voltaj etkisiyle koni şeklini alması(a,b,c,d) ve jetin fişkırması (e,f) [66]

3. Elektro lif çekim jetinin oluşumu: Voltaj artışı devam etmesi durumunda çözeltinin yüzey gerilimi aşılmasına bağlı olarak çözelti jet formunda damlacıktan toplayıcıya doğru uzayarak jet oluşumunu sağlar.

4. Kararlı bölgede jetin uzaması,

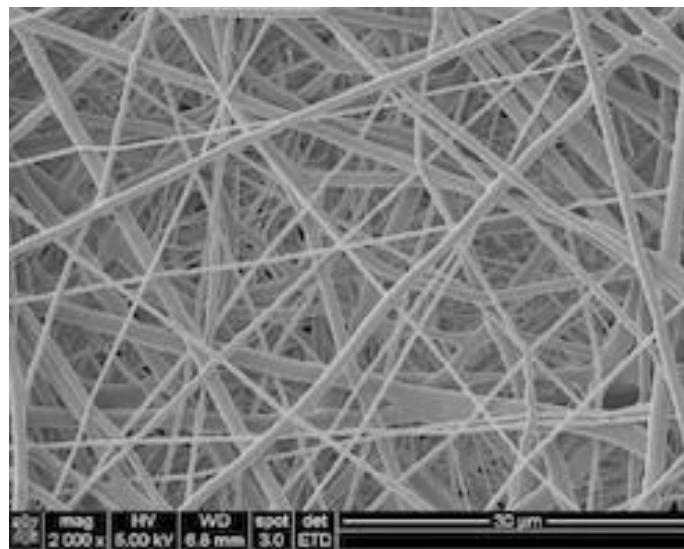
5. Kararsız bölgenin oluşması: Toplayıcıya doğru yaklaştıkça yüklerin birbirini itmesi sebebiyle jet bölünerek daha fazla sayıda jetlere ayrılmakta ve bu esnada jet incelmektedir. Oluşan jetler kontrolsüz bir şekilde toplayıcıya doğru ilerlemeye devam etmektedirler. Bu kararsızlık hali whipping kararsızlığı olarak adlandırılır ve Şekil 2.25.'de gösterilmiştir [71].



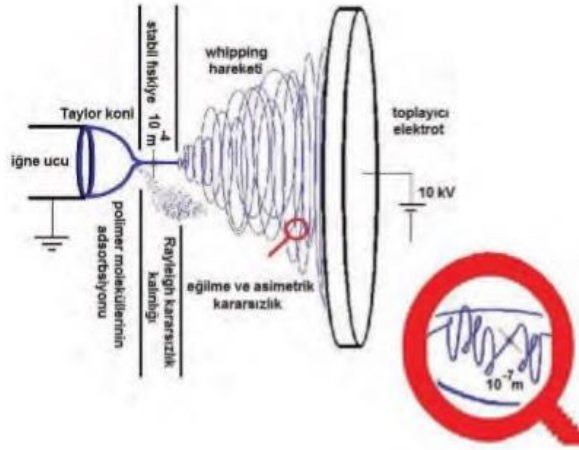
Şekil 2. 26: Elektro Lif Çekiminde Whipping Kararsızlığı [65]

6. Lif formunda katılaşma toplayıcı plaka: çözelti toplayıcıya doğru yaklaştıkça çözelti içerisindeki çözücü uzaklaşarak polimer katılaşmakta ve toplayıcı üzerine lif şeklinde toplanmaya başlamaktadır. Çözücünün uzaklaşması ile katılaşan lifin toplayıcı üzerine ulaşması benzer zamanda olması için çekim mesafesinin dikkatli ayarlanması gerekmektedir.

Toplayıcı üzerinde depolanan lifler tamamen çözücünden arınmış ve sürekli lif formunda iki boyutlu web formundaki yapılardır[75].



Şekil 2. 27: Elektro Çekim Yöntemi ile Üretilen Nanolifler [73]



Şekil 2. 28: Elektrostatik Lif Çekim Prosesinin Anatomik Şeması [63]

2.3.4. Elektro Çekim Yönteminde Kullanılan Düzenekler

Elektroçekim düzeneği aslında çok basittir. Elektroçekim düzeneğinde ana ekipman yüksek voltajlı ve düşük akımlı güç kaynağı, sıvı ve iletken polimer çözeltisi kontrollü besleme sistemi ve toplama yüzeyi olmak üzere üç ana bileşenden oluşur.

Polimer çözücü kullanılarak çözelti haline veya ısıyla eritilerek eriyik haline getirilir. Polimer çözeltisi veya eriyiği düzeye beslenir.

Proses sonunda oluşan elektroegirme nanolifler toplayıcı sistem üzerine depolanırlar. Günümüzde farklı üretim metodlarını sağlamak amacıyla geliştirilmiş birçok toplama sistemi bulunmaktadır.



Şekil 2. 29: Adım Motor Regülatörü

Ayarlı dozaj pompası ile akışkanın düzeye kontrollü olarak beslenmesi sağlanır. Şekil 2.29’de elektroçekim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ayarlı dozaj pompası görülmektedir.

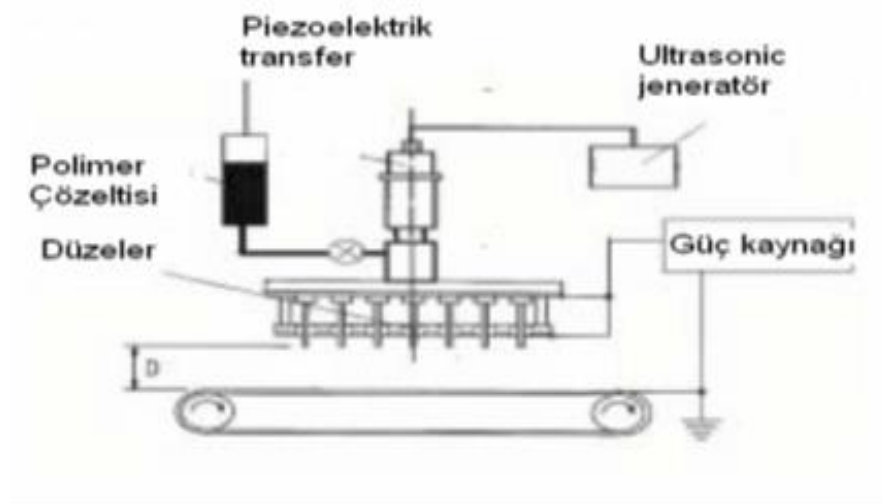


Şekil 2. 30: Dozaj Pompası

2.3.5.Elektro Üretim Besleme Üniteleri

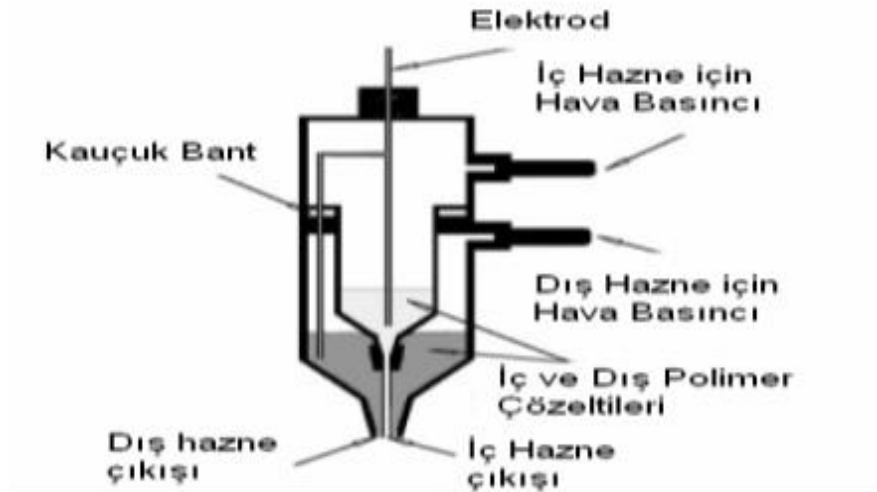
Elektro çekim makinelerinin besleme üniteleri teknoloji geliştikçe büyük gelişimler göstermiştir. Eskiye nazaran günümüzde daha verimli daha kullanışlı besleme üniteleri olsa da bunun temelleri yapılan araştırmalar ile mümkün kılınmıştır [12].

Geliştirilmiş elektroçekim düzeneğinde besleme sisteminde bulunan polimer çözeltisine ultrasonik titreşimler verilerek çözeltinin akışkanlığı düşürülmektedir. Bu sayede Elektroçekim işlemi için gerekli olan çekim voltajı daha düşük seviyelere çekilmiştir. Şekil 2.31’da besleme sistemi sonrasında çoklu düze sistemi kullanılmıştır. Bu da üretim hızını arttırmaktadır. Bu üniteye çözeltiye uygulanan ultrasonik titreşim dalgalarının amacı çözeltinin akışkanlığını arttırmak ve jet uzunluğunu kontrol altında tutulmasıdır.



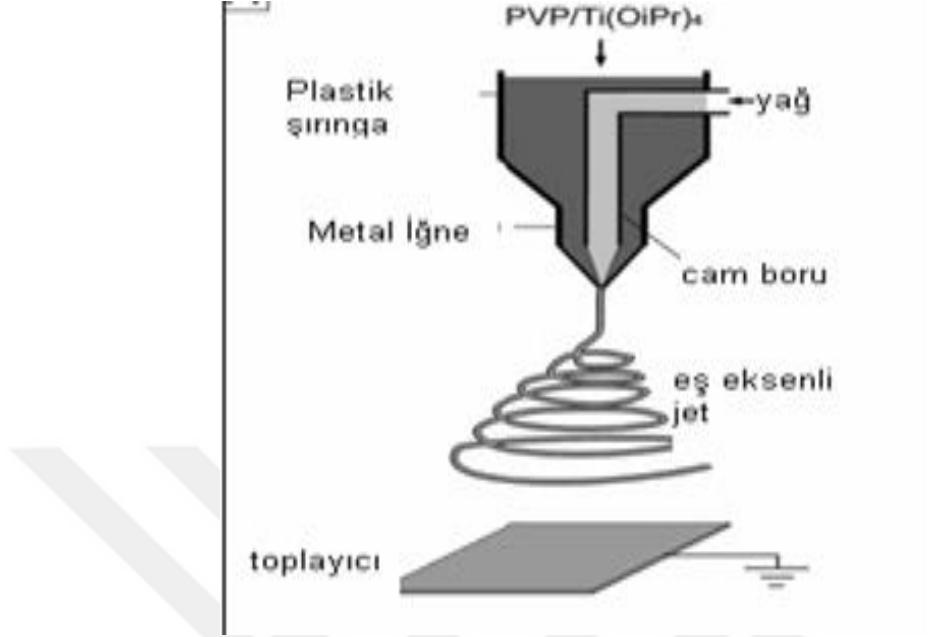
Şekil 2. 31: Titreşimli Besleme Ünitesi Olan Elektro Üretim Düzeneği [76]

Şekil 2.32.' deki besleme ünitesinde bikomponent (core-shell) olarak iç içe beslenen polimerler aynı olabileceği gibi farklı polimerlerde kullanılabilir. Şekil 2.31'de verilen düzeneğin çalışmasında araştırmacılar farklı konsantrasyonlarda PEO ve PDT polimerlerini kullanmışlardır. Merkezde bulunan çekirdek polimeri polietilen tereftalat (PDT), dış kısımda ise polietilen oksit (PEO) kullanılmıştır. Üretim sonucunda çekirdek lif çapı 150 nm olurken dış lif çapı 1000 nm civarında oluşmuştur.



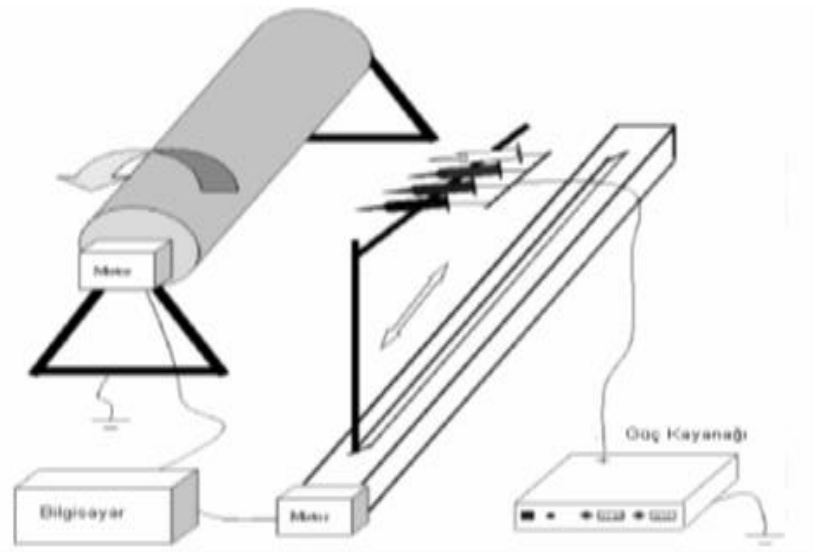
Şekil 2. 32: Öz-Kabuk Nanolif Üretimi [77]

İçi boş nanolif yapmak için geliştirdikleri besleme ünitesi şekil 2.33.'de verilmiştir. Bu düzeneği başka araştırmacılar da kendi polimerlerini işleyerek kullanmıştır.



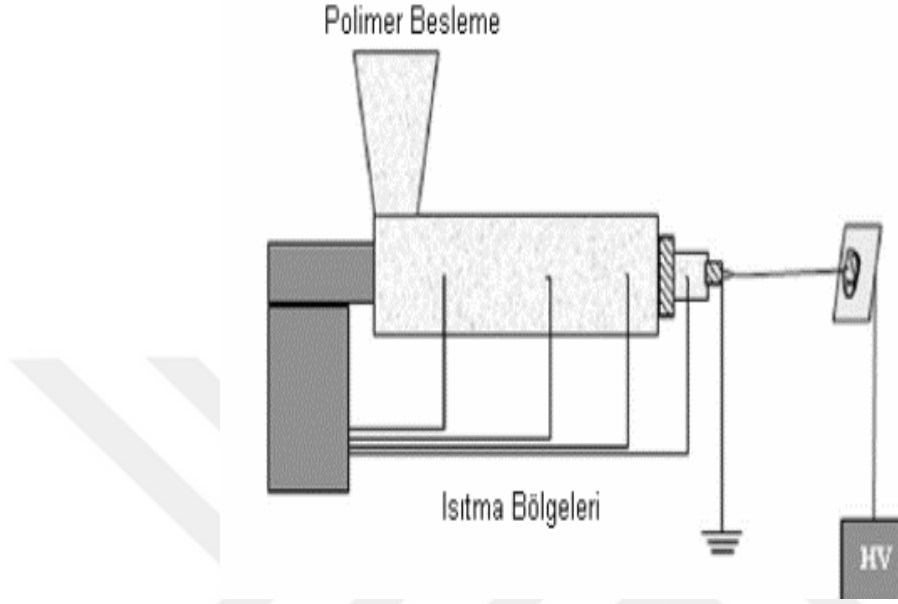
Şekil 2. 33: İçi Boş Nanolif Yapmak İçin Geliştirilen Düzenek ve Besleme Ünitesi [78]

Biyo-bozunur nanolifli yapıda web elde etmek için geliştirilmiş, çok sayıda şırınga kullanılarak elde edilen bir başka besleme ünitesi olarak şekil 2.34.'de gösterilmiştir.



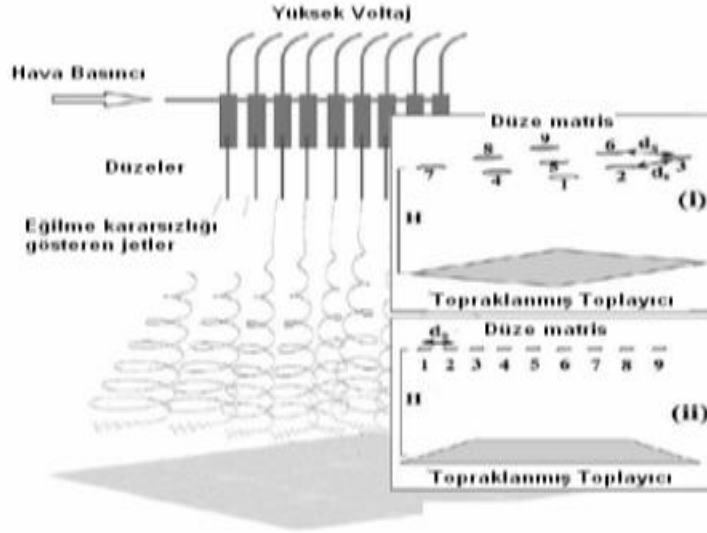
Şekil 2. 34: Çoklu Besleme Ünitesi Elektro Üretim Düzeneği [79]

Bir başka farklı besleme ünitesi ise eriyikten elektro eğirme yapmak için var olan ekstrüder sistemini kullanmak ve düzeden çıkan eriyik polimeri yüksek voltaj etkisinde incelterek nanolif yapmaktır. Bu düzenek şekil 2.35.'de gösterilmektedir.



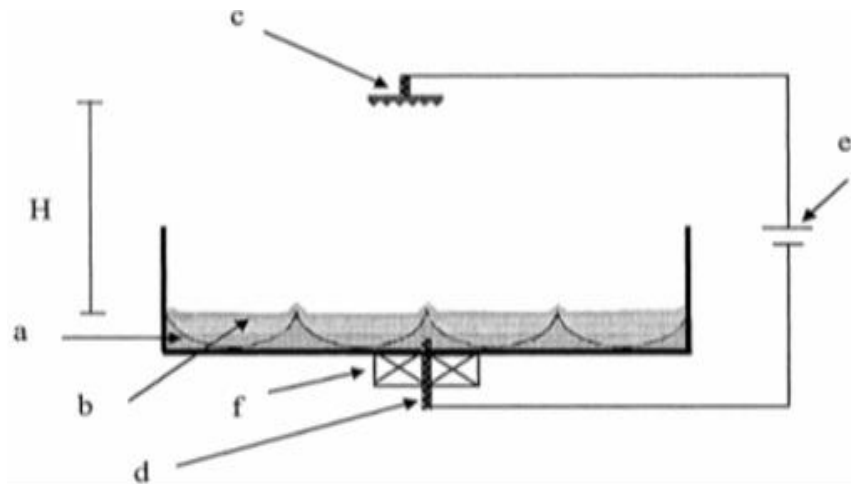
Şekil 2. 35: Eriyikten Üretim Düzenegi ve Ekstrüder Besleme Ünitesi [53]

Birden fazla besleme ünitesinin aynı hızda veya bir düzlem içerisine farklı şekillerde olması ile besleme üniteleri yerleştirilmiştir (Şekil 2.36.). Buradaki amaç sadece üretim kapasitesini arttırmak değil aynı zamanda jetlerin birbiri ile etkileşmelerini de izlemektir. Jetlerin birbirini elektriksel itme kuvvetleriyle itmesinden dolayı dış jetler sapma eğilimi gösterirler.



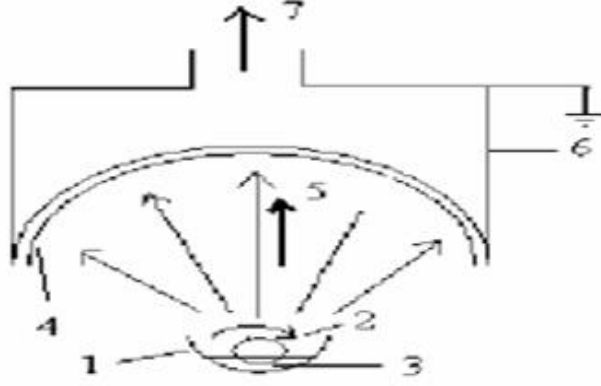
Şekil 2. 36: Çoklu Jet Düzenekleri [80]

Şekil 2.37’da düzensiz elektro çekim besleme ünitesi gösterilmektedir. Bu sistemde bir kap içinde iki farklı tabaka oluşturulmuştur. İlk tabaka ferromanyetik süspansiyondur. ikinci tabaka ise birinci tabaka üstüne konulmuş polimer çözeltisidir. Akım uygulandığında ferromanyetik tabaka üzerindeki polimer çözeltisini toplayıcıya doğru itmekte ve damlacıklar oluşarak birçok çekim jetinin oluşumu sağlanmaktadır. Bu esnada çözelti içerisindeki çözücü uzaklaşarak polimer katılaşmakta ve nanoliflerden oluşan bir web meydana gelmektedir.



Şekil 2. 37: Elektro Üretim Besleme Sistemi [81]

Bir başka besleme ünitesi düzeneğinde şekil 2.38’de görüldüğü gibi çözelti içerisinde dönen bir silindirin üst bölgesinde oluşan damlalar sistemin üzerinde hareket eden bir toplama bandı üzerinde liflerin toplanarak devamlı bir nanoliflerden oluşmuş web yapı elde edilmektedir. Bu sistem sürekli bir web yapı üretmeden başarılı olmuş olup ticari üretimde kendine yer bulmuştur.



Şekil 2. 38: Elektro Üretim Düzeneği ve Besleme Ünitesi (1- Metal Silindir, 2- Çözelti, 3-çözelti havuzu, 4-Toplama kumaşı, 5-Lif hareket Yönü, 6- Topraklama, 7- Hava çıkışı) [82]

3.MATERYAL METOD

3.1. MATERYAL

3.1.1. Kullanılan Malzemeler

Araştırmada kullanılan madde ve malzemeler satın alma yöntemiyle temin edilmiştir. Satın alınan malzemelerin temin edildiği üretici firmalar Tablo 3.1’ de gösterilmektedir.

Tablo 3. 1: Kullanılan madde ve malzemeler, Üretici firmaları

Kullanılan madde ve	Üretici firma
PVA	Sigma-Aldrich
PLA Filament	BASF
Lifin Toplandığı Kumaş	Nonwovens

3.1.1. Kullanılan Cihazlar

Araştırmada kullanılan cihazlar ve üretici firmaları Tablo 3.2’ de gösterilmektedir.

Tablo 3. 2: Kullanılan cihazlar ve üretici firmaları

Kullanılan Cihazlar	Üretici Firma
Elektrospinning Cihazı	Elmarco
3D Printer	Ultimaker
Terazi	Kern
Isıticılı Karıştırıcı	Isolab

Destile Su Cihazı	Nüve ND 8
Mukavemet Test Cihazı	Instron 4411
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	FEI Sirion XL-30

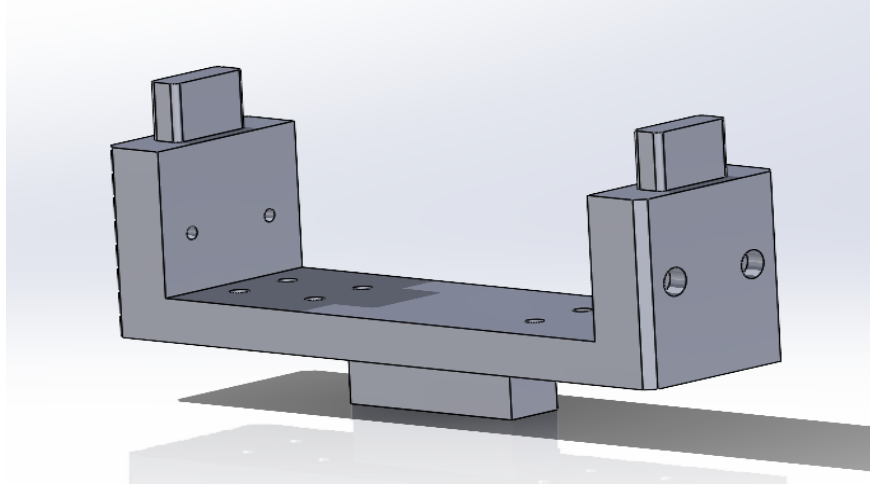
3.2. METOT

3.2.1. Besleme Ünitesi Parçalarının Üretimi

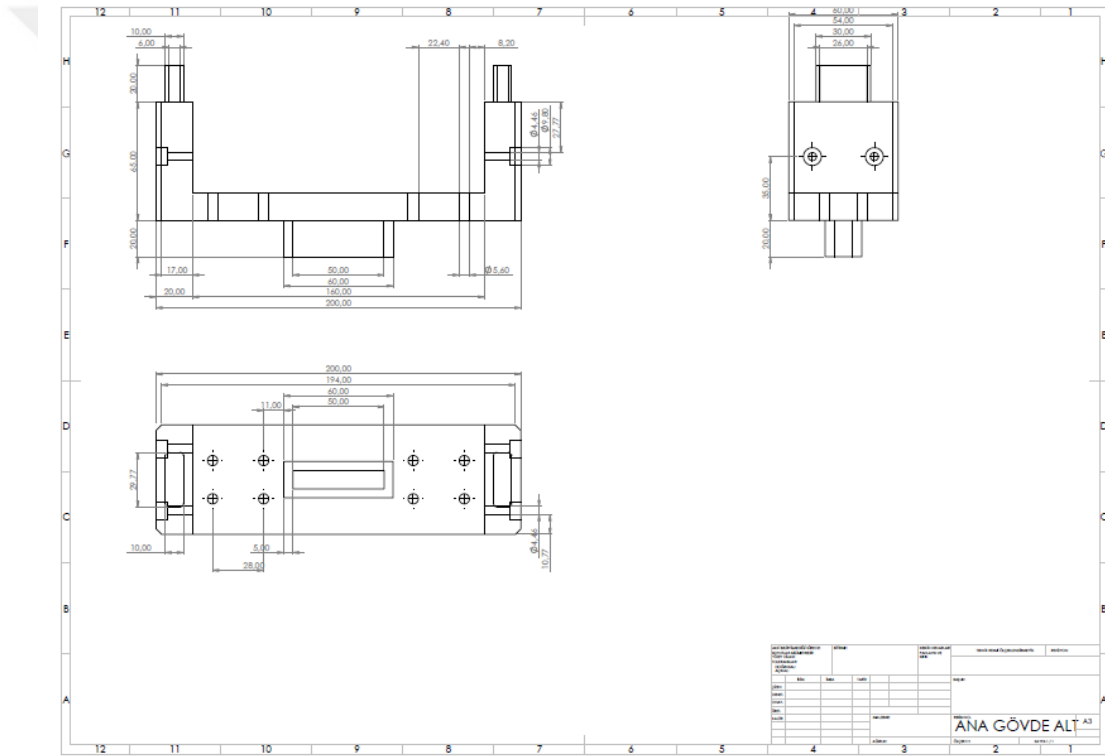
Besleme ünitesi parça üretimi Ultimaker 2+ 3D printer ile gerçekleştirilmiştir. Bütün parçalar Solidworks programı ile tasarlanmıştır. Besleme ünitesi parçaları ve parçaların ölçüleri şekil olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 1: Ultimaker 2+ 3D Printer

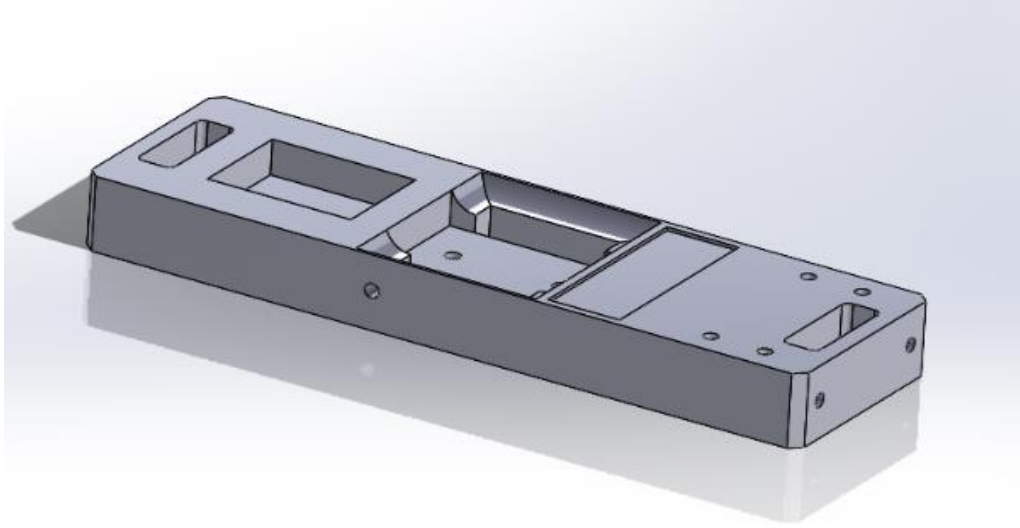


Şekil 3. 2:Besleme Sistemi Alt Ana Gövde

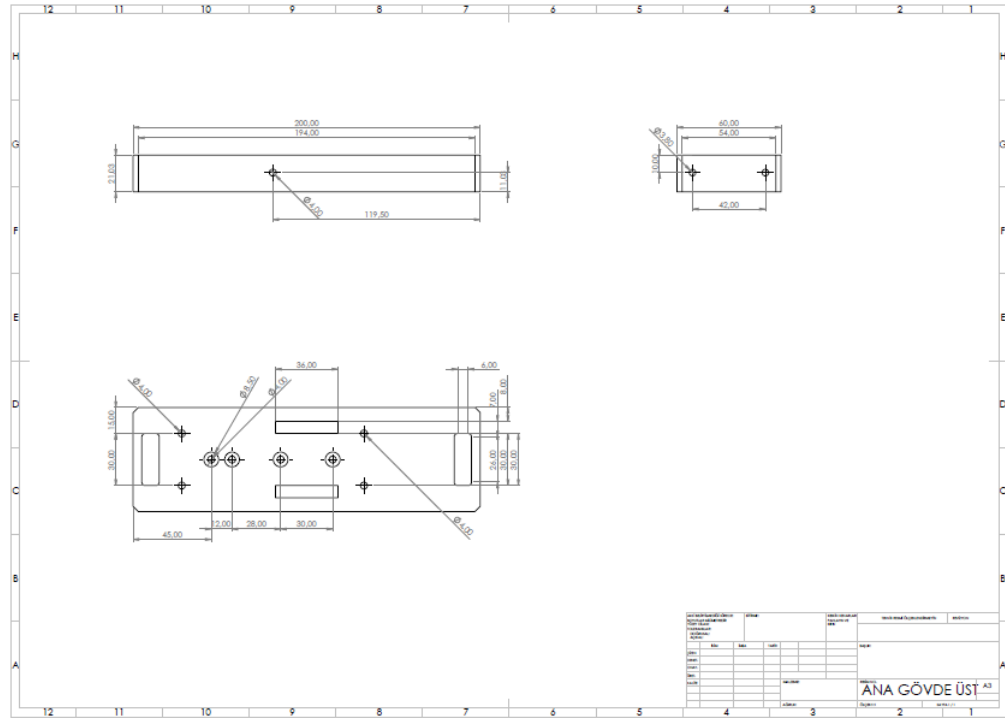


Şekil 3. 3:Besleme Sistemi Alt Ana Gövde Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin alt ana gövdesini oluşturmaktadır. Bu kısım yukarıda besleme sistemine çözelti beslemesini sağlayan düzeneğin taşıyıcı parçası olarak kullanılacaktır. Ayrıca bu kısım makineden ileri-geri hareket alınmasını sağlayacaktır.

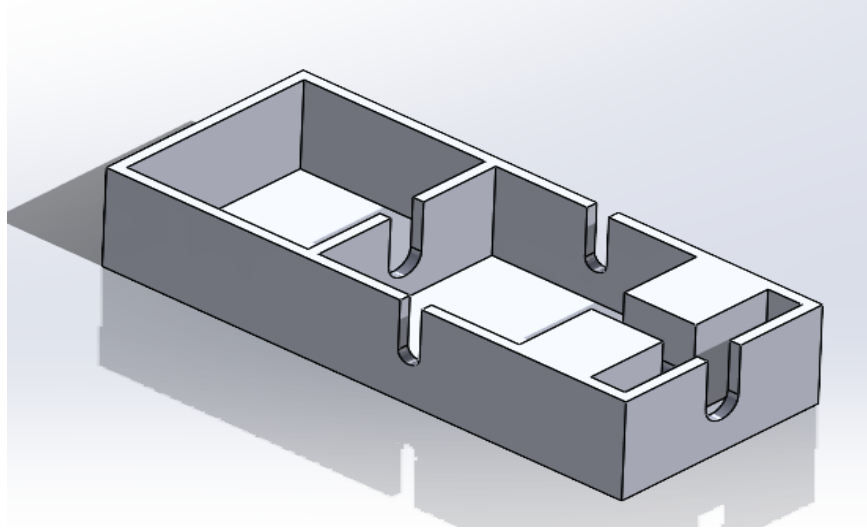


Şekil 3. 4:Besleme Ünitesi Üst Ana Gövde

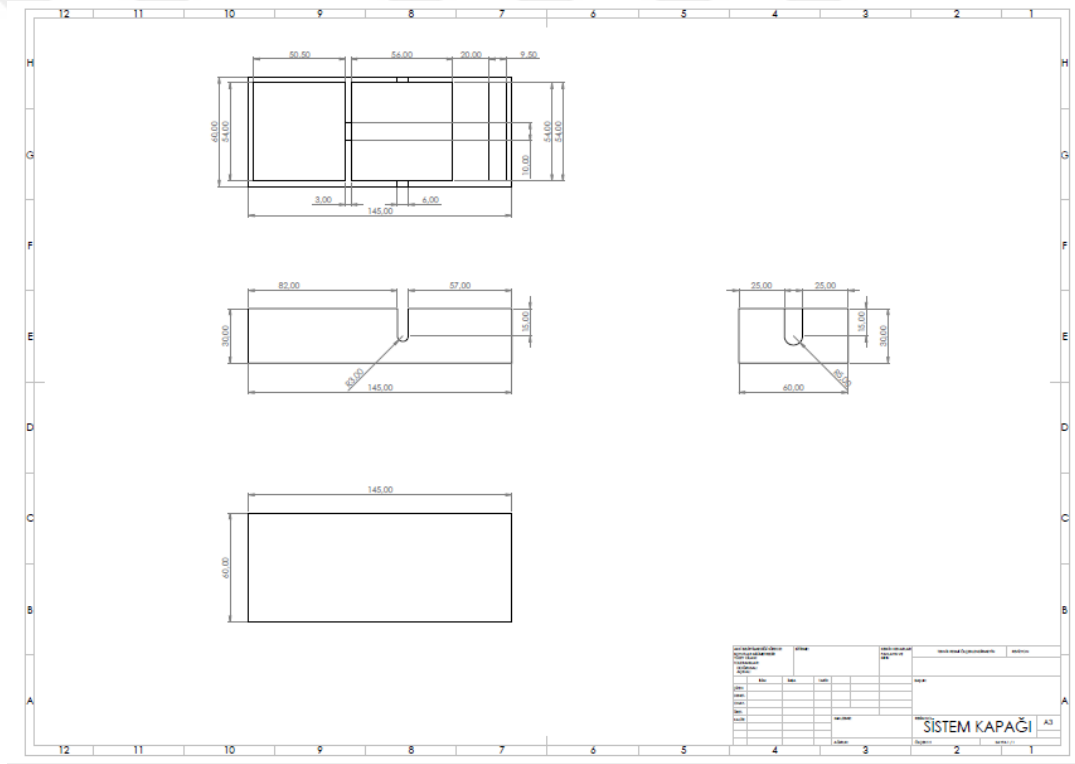


Şekil 3. 5:Besleme Ünitesi Üst Ana Gövde Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin üst ana gövdesini oluşturmaktadır. Bu kısım çözelti eklenmesi, çözeltinin tele aktarılmasındaki sistem parçalarını üzerinde taşıyacaktır.

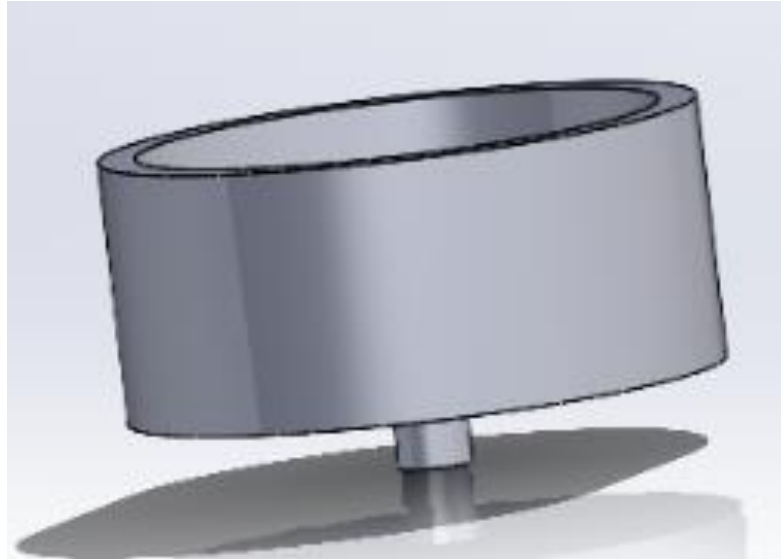


Şekil 3. 14:Besleme Ünitesi Ana Yuva Kapağı

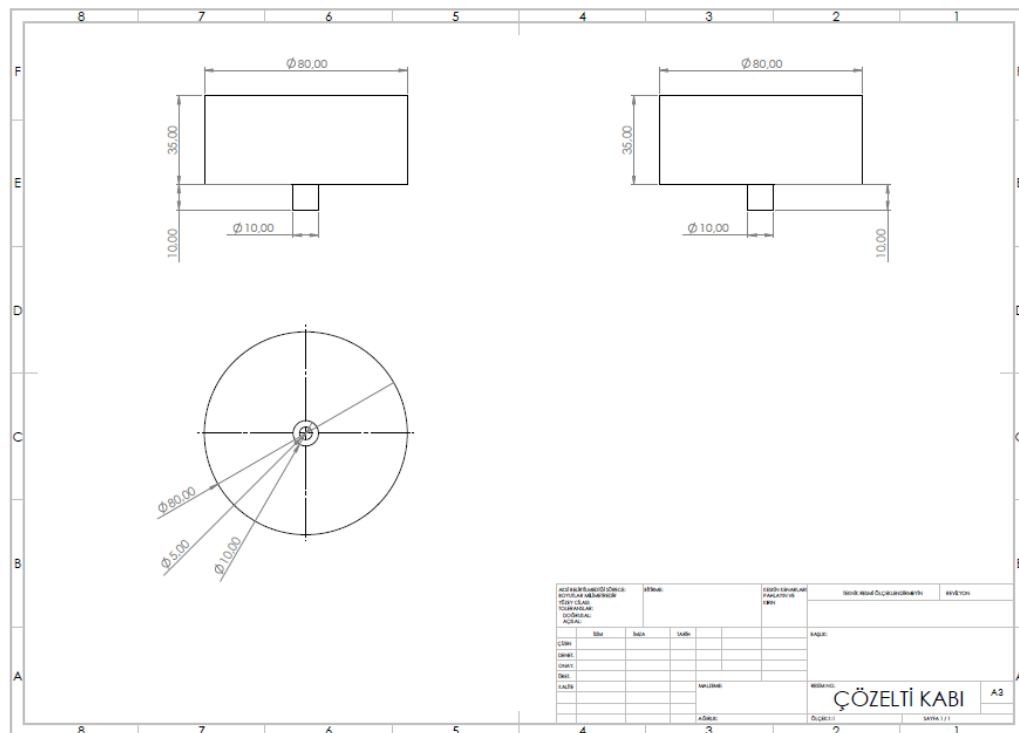


Şekil 3. 15:Besleme Ünitesi Ana Yuva Kapağı Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin ana yuva gövdesinin kapak kısmını oluşturmaktadır. Bu kısım ana yuva, ana yuva yatağı, ana yuva sıkıştırma parçası, sıkıştırma parçası sabitleme parçalarını kapalı bir şekilde tutmayı sağlayacaktır.

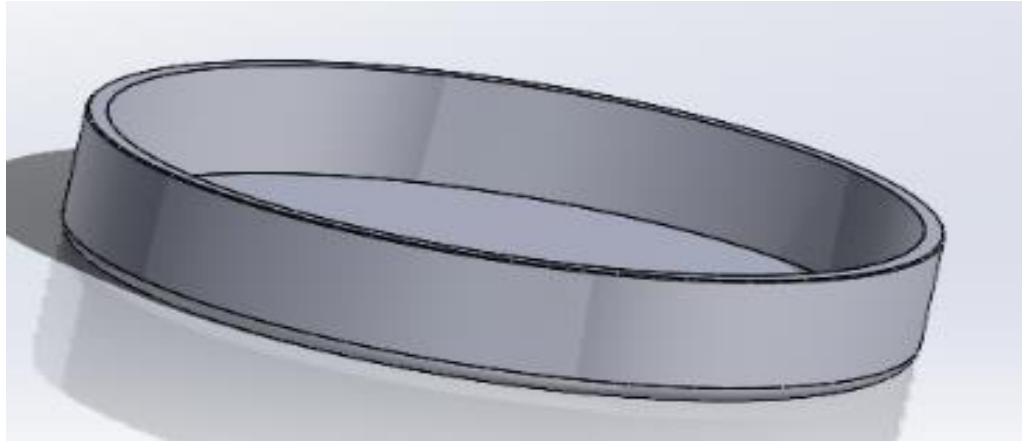


Şekil 3. 20:Besleme Ünitesi Çözelti Kabı

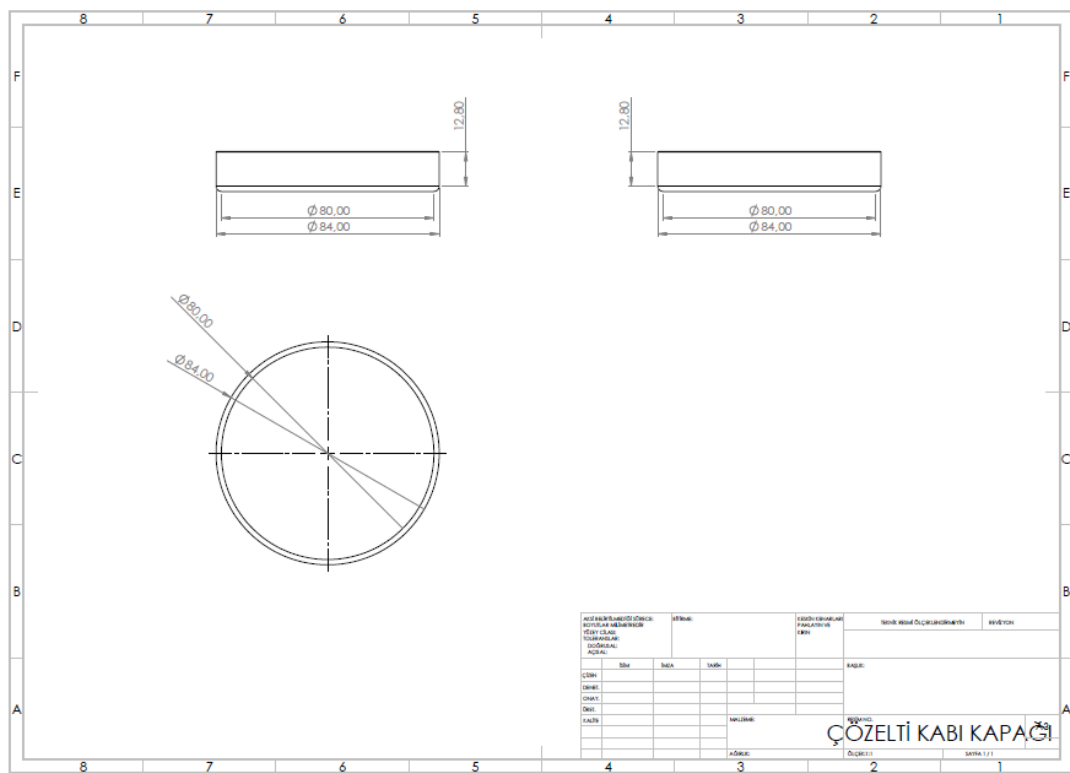


Şekil 3. 21:Besleme Ünitesi Çözelti Kabı Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin çözelti kabını oluşturmaktadır. Bu parça üst çözelti platformu içine geçmekte ve çözeltinin ilk eklendiği yerdir. Çözelti kabı hacmi kadar çözelti besleme işlemi yapılması sağlanacaktır.

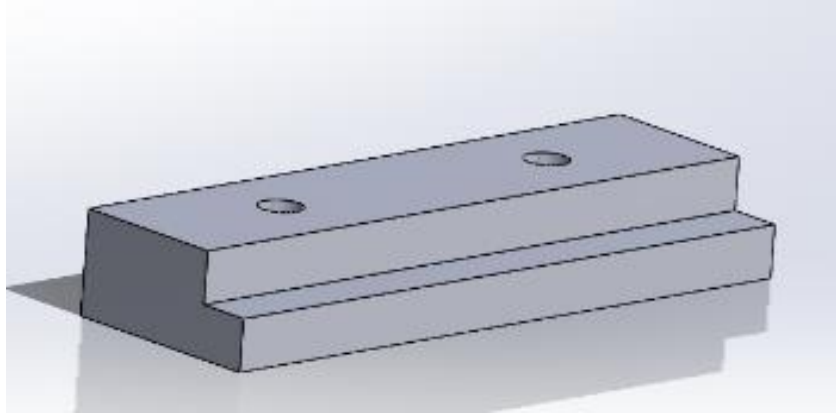


Şekil 3. 22:Besleme Ünitesi Çözelti Kabı Kapağı

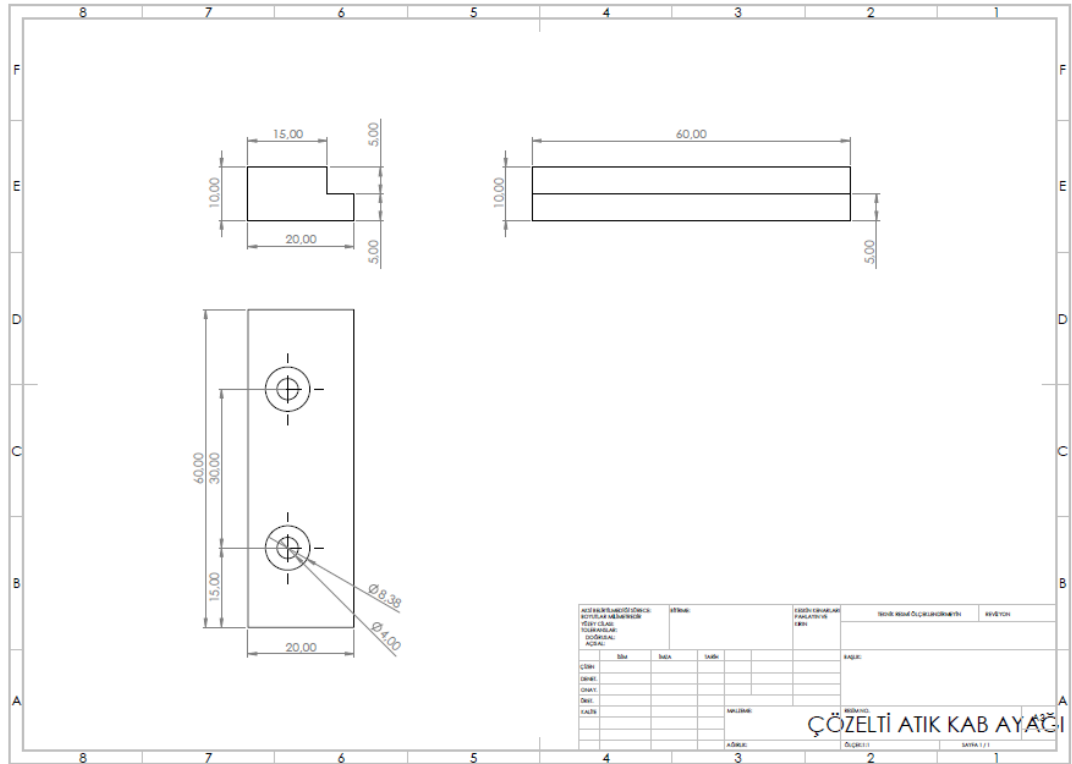


Şekil 3. 23:Besleme Ünitesi Çözelti Kabı Kapağı Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin çözelti kabı kapağını oluşturmaktadır. Bu parça çözelti kabının üzerine kapatılarak uçuşan partiküllerin çözelti içine karışmamasını sağlayacaktır.

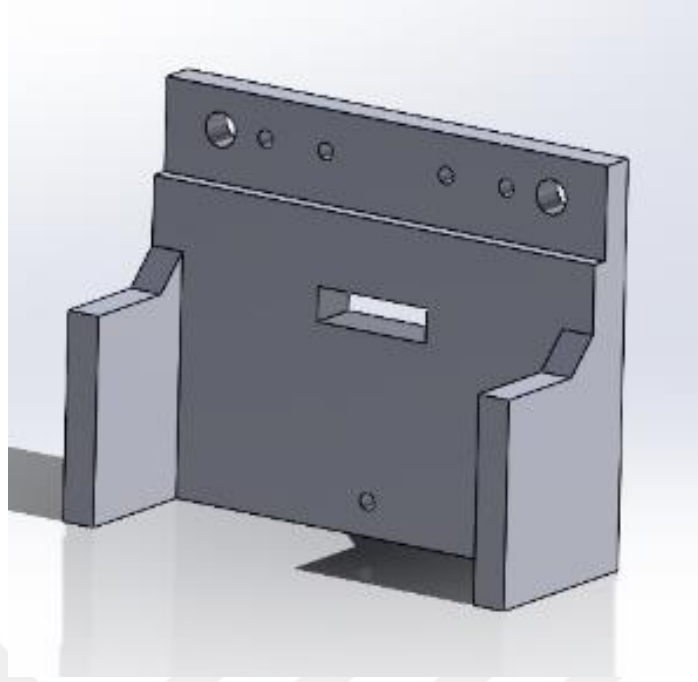


Şekil 3. 30:Besleme Ünitesi Çözelti Atık Kabı Ayağı

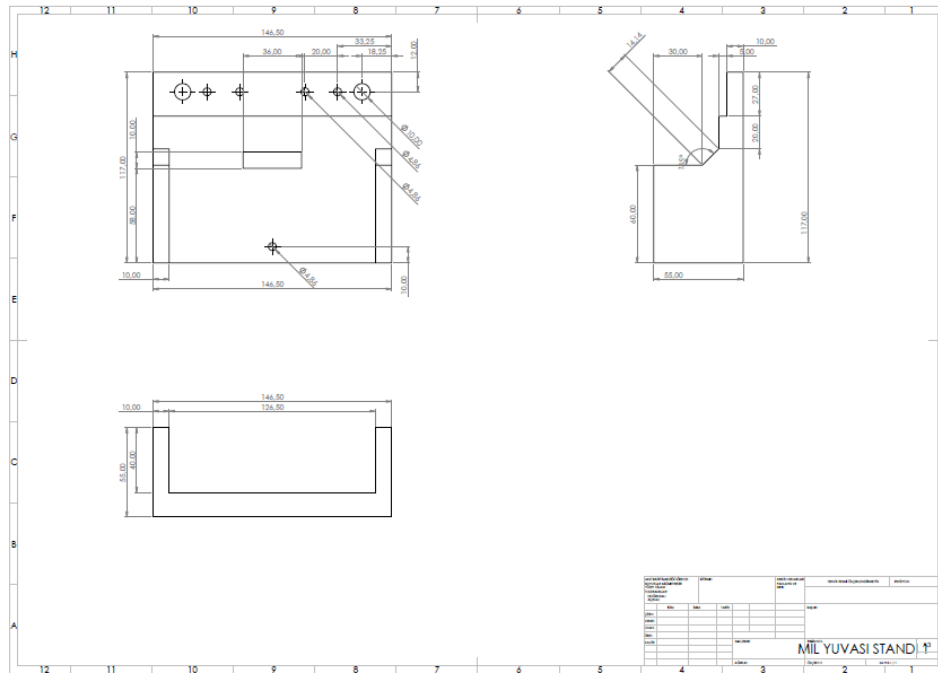


Şekil 3. 31:Besleme Ünitesi Çözelti Atık Kabı Ayağı Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin çözelti atık kabı ayağıdır. Karşılıklı olarak iki adet çözelti atık kabı ayağı besleme ünitesi üst ana gövde altına yerleştirilerek çözelti kabı bu iki ayak arasına yerleştirilmesi sağlanacaktır.

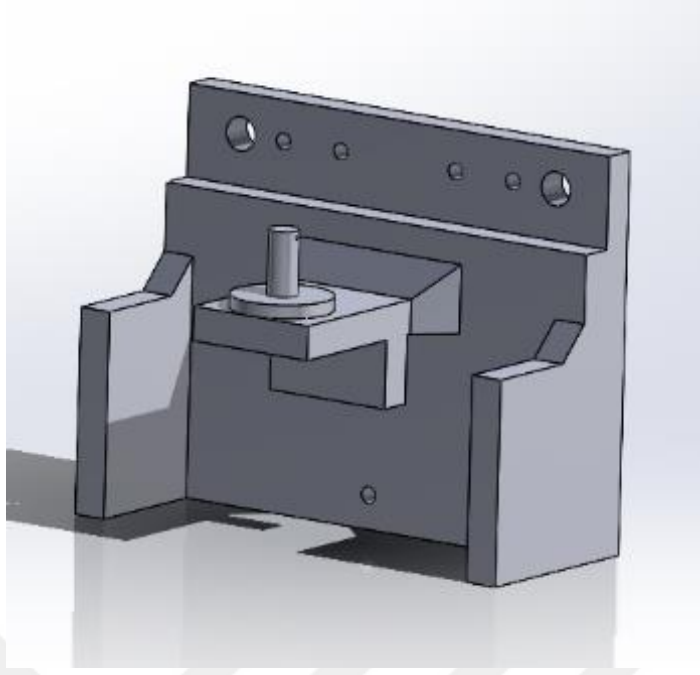


Şekil 3. 38:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 1

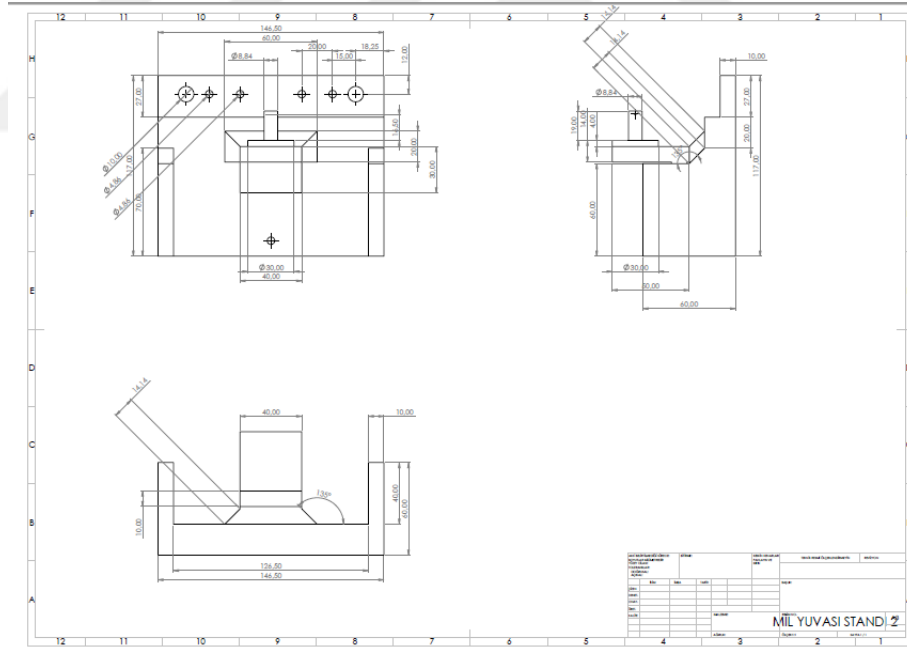


Şekil 3. 39:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 1 Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin mil yuvası standı parçasıdır. Bu parça üzerinde besleme ünitesinin hareket eden millerin taşınmasını sağlayacaktır.

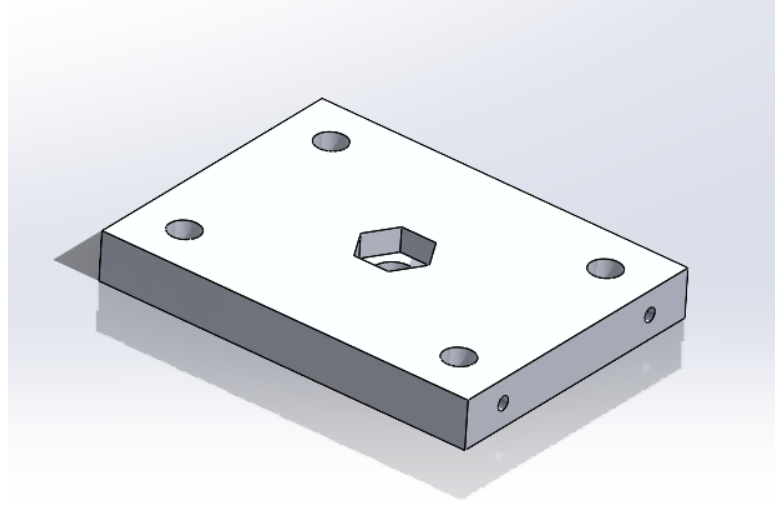


Şekil 3. 40:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 2

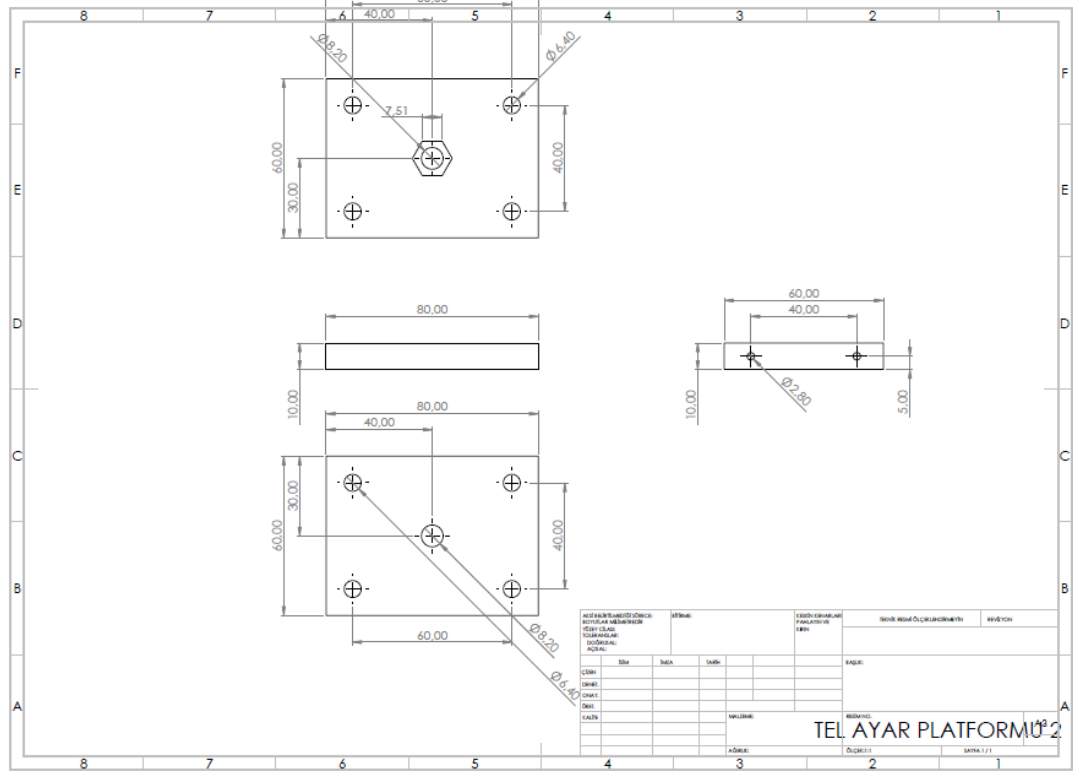


Şekil 3. 41:Besleme Ünitesi Mil Yuvası Standı 2 Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin mil yuvası standı parçasıdır. Bu parça besleme ünitesine hareket sağlayan kayışın bağlı olduğu dişliyi ve üzerinde besleme ünitesinin hareket ettiği millerin taşınmasını sağlayacaktır.

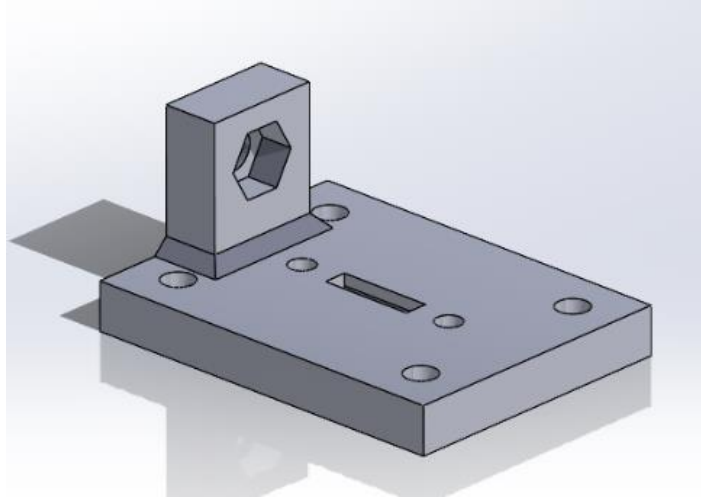


Şekil 3. 48:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 2

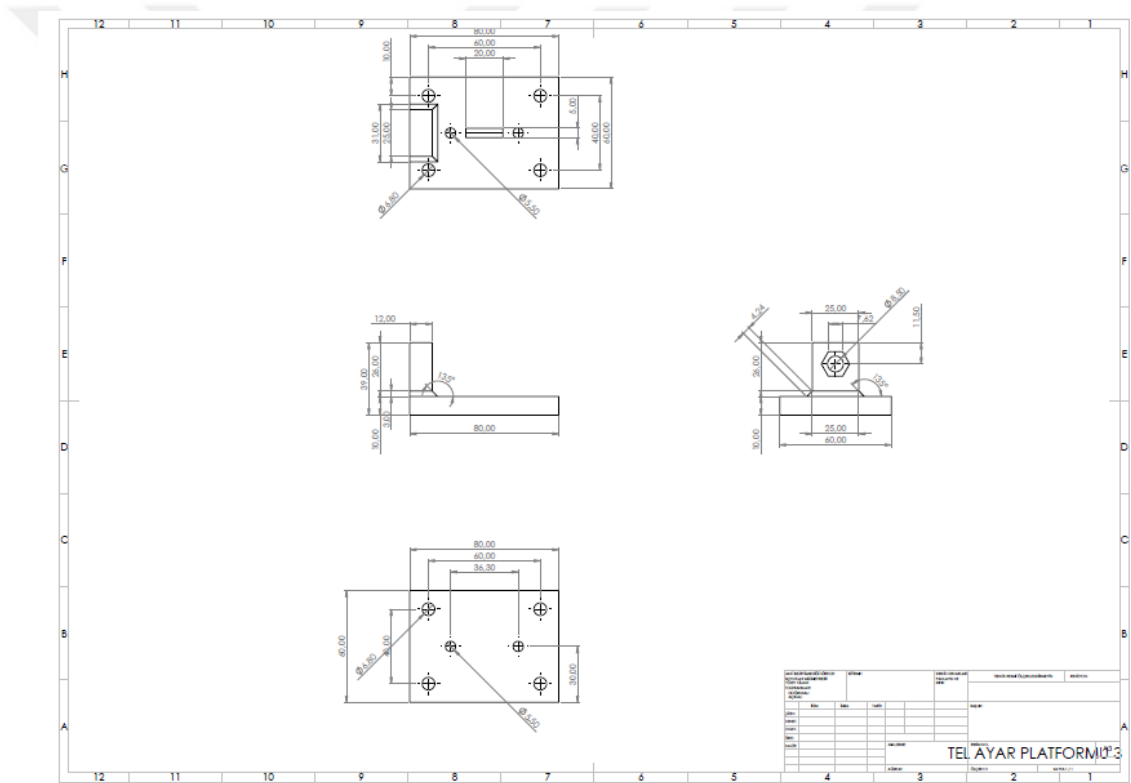


Şekil 3. 49:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 2 Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin tel ayar platformunun orta katının parçasıdır. Bu parça üst parçayı taşıyan vidalı mili tutma ve üst parçanın ayar yapılmasını sağlayacaktır.

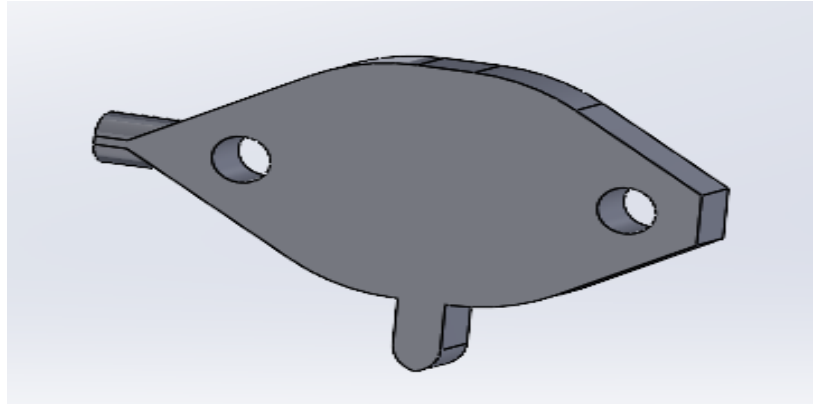


Şekil 3. 50:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 3

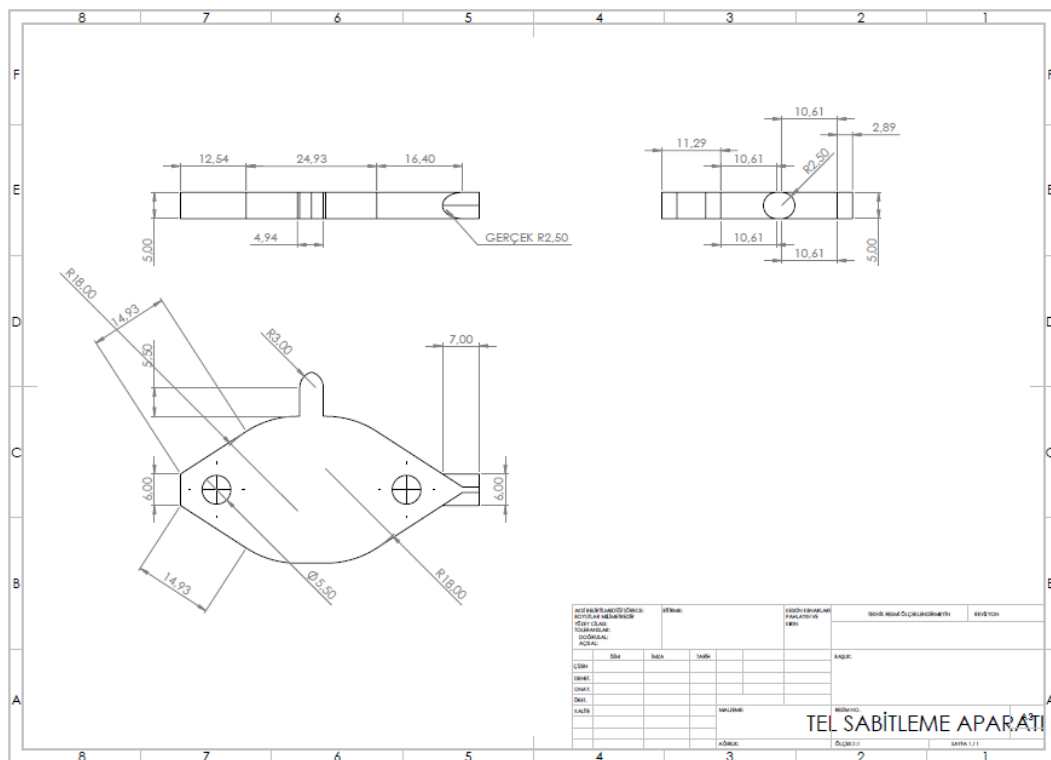


Şekil 3. 51:Besleme Ünitesi Tel Ayar Platformu 3 Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin tel ayar platformunun üst parçasıdır. Bu parça tek sabitleme aparatını ve tek ayar vidalı milini taşımaktadır. Sistem atasında gerdirilen telin sağa sola ince ayarının yapılmasını sağlayacaktır.

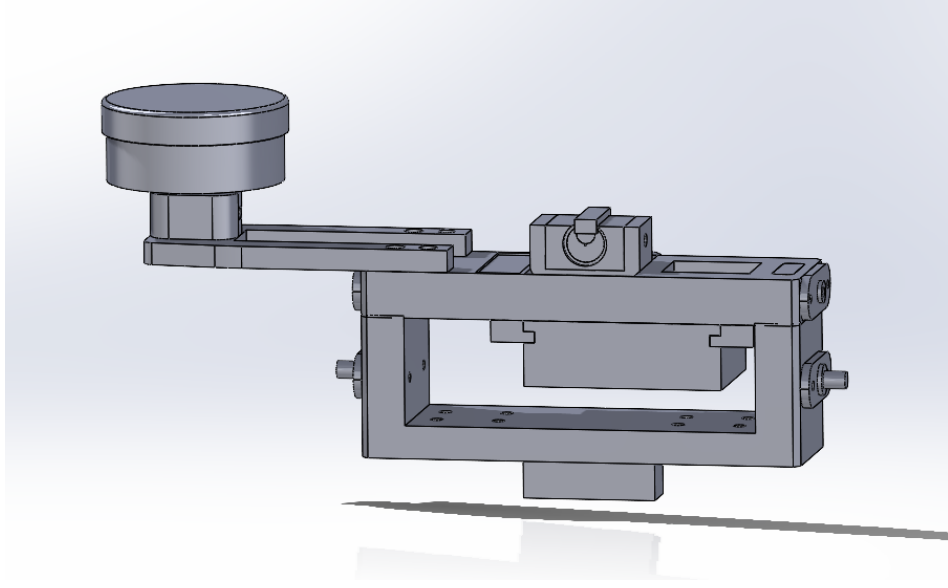


Şekil 3. 52:Besleme Ünitesi Tel Sabitleme Aparatı



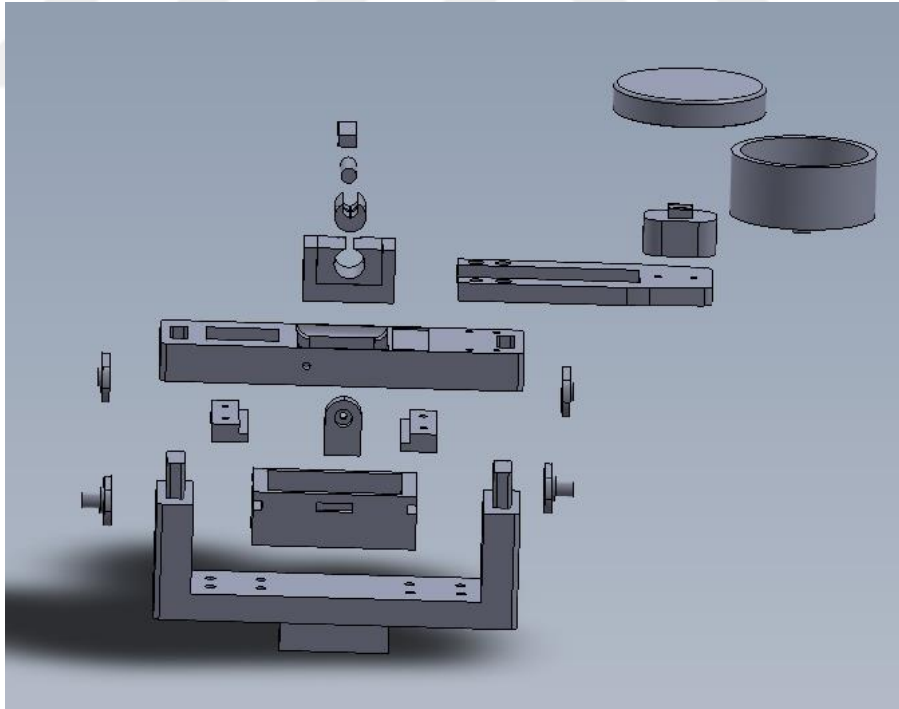
Şekil 3. 53:Besleme Ünitesi Tel Sabitleme Aparatı Teknik Çizim

Yukarıdaki şekillerde verilen makine çizimleri besleme sisteminin tel sabitleme aparatı parçasıdır. Bu parçalardan karşılıklı iki adet bulunmaktadır. Sistem arasında gerdirilen telin sabitlenmesini ve telin sağa sola hareket ederken kaymamasını sağlayacaktır.



Şekil 3. 54:Besleme Ünitesi Montaj Hali

Yukarıdaki şekilde 3.54 ile gösterilen besleme ünitesi sisteminin bütün parçalarını içermektedir. Besleme ünitesi sistemi makine üzerinde görünümü bu şekildedir.



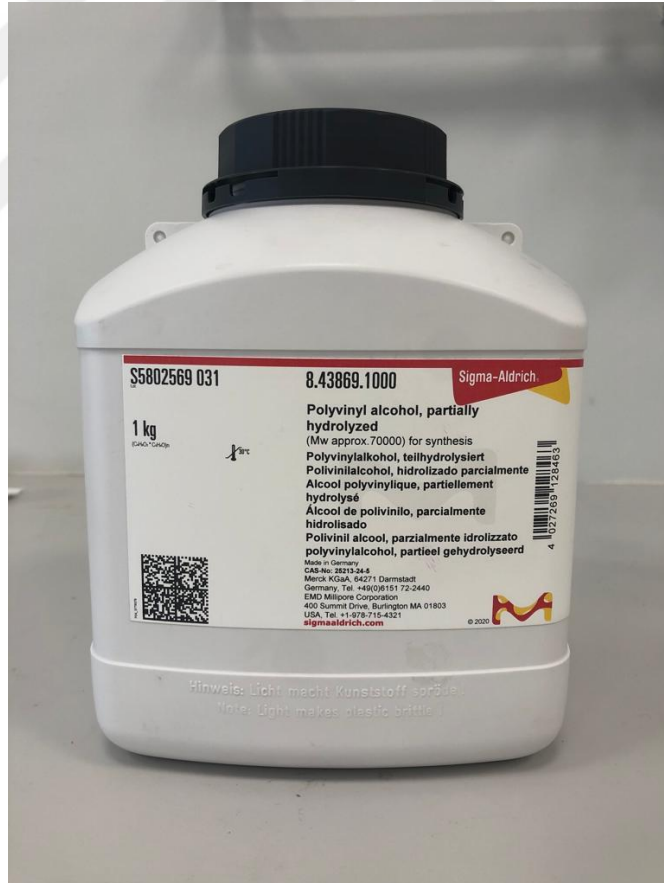
Şekil 3. 55:Besleme Ünitesi Tüm Parçalar

3.3. DENEME ÜRETİMİ

Tasarımı ve üretimi yapılan besleme sisteminin gerçek çalışma şartlarında denenmesi için üretim yapılmıştır. Bu üretimde PVA polimeri kullanılmış olup çözelti ve işlem parametreleri aşağıda verilmiştir.

3.3.1. PVA çözeltisinin hazırlanması

Deneme üretiminde kullanılan Polivinilalkol (PVA) polimeri Sigma-Aldrich marka olup molekül ağırlığı 70.000'dir. PVA Polimerinin çözücüsü olarak kullanılan su ise distile edilmiş olarak hazırlanmıştır. Distile su içerisinde kütlece %14 PVA polimeri eklenmiş ve manyetik karıştırıcı ile 80-100°C'de dört saat sürekli olarak karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır.



Şekil 3. 56: Polivinil Alkol (PVA) Çözeltisi

3.3.2. Elektroeğirme İşlemi

Deneme üretimi hem cihazın kendi açık havuz şeklindeki besleme ünitesi ile hem de tasarımı yapılan besleme ünitesiyle gerçekleştirilmiştir. Öncelikle cihazın kendi besleme ünitesi içerisine yaklaşık 400mL PVA çözeltisi konmuş ve sisteme güç vermeye başlanmıştır. Mesafe olarak 12,5 cm mesafeden 80 kV güç verilmesine karşılık devamlılık sergileyen bir çekim elde edilememiştir.

Yeni tasarlanan besleme ünitesi ile PVA çözeltisinden 100 mL besleme ünitesi çözelti kabına konulmuştur. Tablo 3.3.'de verilen denemeler besleme ünitesi değiştirilerek yapılmıştır. Besleme ünitesi ile lifin toplandığı kumaş arasındaki mesafe parametresini değiştirerek çekim yapılmıştır. Bu mesafelerde çekimler gerçekleşmiştir.

Tablo 3. 3: Besleme ünitesi ile PVA lif çekim işlemi parametreleri

Yeni Besleme Ünitesi			
Mesafe (cm)	kV	mA	Çekim
12,5	30,5	0,004	Yüzey Oluştur
10	25,0	0,002	Yüzey Oluştur
7,5	22	0,002	Yüzey Oluştur



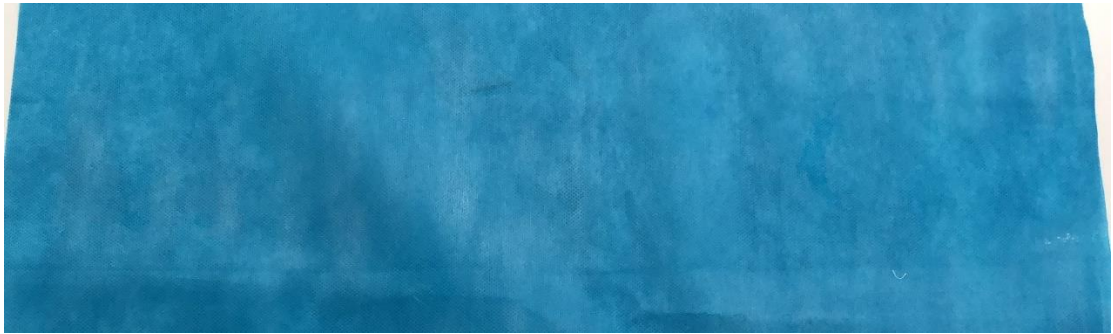
Şekil 3. 57:Elmarco NSLAB 500S Elektrospinning Cihazı

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Nanospider Elektrosponning cihazının tasarımı ve üretimi yapılan besleme ünitesi makineye monte edilmiş ve çalışması mevcut makine kontrol sistemi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Eski sistemde besleme ünitesi bir havuz şeklinde olup çözelti ilave edilmesi sonrası çözelti açıkta dış ortam şartlarına maruz kalacak şekilde bulunmaktaydı. Bu şekilde çözelti beslenmesi üretim esnasında havuz içerisinde bekleyen çözeltinin içerisinde bulunan çözücünün zamanla buharlaşmasına ve üretim devamlılığında sorunlar oluşmasına sebebiyet vermekteydi. Diğer yandan havuzun içerisine ilave edilen çözeltinin yüzey alanı oldukça geniş bir şekilde olmasından dolayı lif çekimi esnasında verilen akım bu büyük yüzey alanının yüzey gerilimini yenerek lif çekim işlemine geçişi engellemekteydi. Cihazda eski sistem besleme ünitesi ile yapılan ve detayları Tablo 4.1.'de verilen deneme de oldukça güç bir bir lif çekimi gerçekleşmiştir.

Polimer	PVA
Çözücü	Distile Su
Çekim Mesafesi	15 cm
Çekim Gücü	80 kV

Tablo 4. 1: Standart besleme ünitesi ile yapılan lif çekim denemesi detayları



Şekil 4. 1:Standart besleme ünitesi ile yapılan lif çekim deneme üretimi sonucu

Normal besleme ünitesi makineye monte edilerek aynı çözeltiyle yapılan numune üretiminde ise oldukça hızlı bir şekilde üretim gerçekleşmiştir. Yapılan deneme üretiminin üretim parametreleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Polimer	PVA
Çözücü	Distile Su
Çekim Mesafesi	15 cm
Çekim Gücü	15 kV

Tablo 4. 2: Geliştirilen besleme ünitesi ile yapılan deneme üretim detayları



Şekil 4. 2:Geliştirilmiş besleme ünitesi ile yapılan deneme üretimi sonucu

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’nin karşılaştırmasına bakılacak olursa aynı çözelti ile yapılan deneme sonrası çekim kuvvetinin 80 kV’tan 15kV seviyesine düşmüş olduğu görülmüştür. Böylelikle yeni besleme ünitesi çok daha düşük voltajlarda makinenin çalışmasını ve optimum kalitede nanolif üretimini sağlamıştır.

5.KAYNAKLAR

- [1] Koç E. ve Demiryürek O.:” Sentetik Lif Üretim Esasları ve Tekstilde Ekstrüzyon İşlemi, Tekstil Teknoloji”, (2004) 9, 100-118.
- [2] Demir, A. and Behery, H.M.: Synthetic Filament Yarn Texturing Technology, Pp: 17-25, Prentice Hall, USA (1997).
- [3] Rangkupan, R.: Electrospinning Process of Polymer Melts, PhD Thesis, The Graduate Faculty Of The University Of Akron (2002).
- [4] Goswami, J., Martindale J.G., and Scardino F. 1977. Textile Yarns, Technology, Structure and Application, John Wiley, New York.
- [5] Barham, P.J., 1986. Strong Polymer Fibers, Physics Technology, 17, 167-173.
- [6] Senol, F., Tayyar, E., Dogan, G. ve Yaman, N. 2005. Nanolifler ve Uygulama Alanları, Tekstil Maraton, 3, 20-25.
- [7] Süpüren, G., Çay, A., Kanat, E., Kırıcı, T., Gülümser, T., Tarakçıoğlu, I., Nano Lifler 2. 2007, Tekstil ve Konfeksiyon, Sayı 2, Sayfa 83-89.
- [8] Yener, F., 2010. Klasik ve İğnesiz Elektrospinning Yöntemleriyle Elde Edilen Nanoliflerin Kıyaslanması ve Bu Yöntemlerdeki Sistem Parametrelerin Lif Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 120s.
- [9] Wang S., Qingzheng C., Tim G.R., and Seung-Hwan L., 2006. Cellulose Microfibril/Nanofibril and Its Nanocomposites, Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium,301-308.

- [10] Demir, A., ve Oruç, F., 2004. Polimer Esaslı Nanoliflerin Üretimi, Tekstil Araştırma Dergisi, 2, 28-30.
- [11] Isogai,A., Saito,T., Fukuzumi, H., 2011. TEMPO-oxidized cellulose nanofibers, Nanoscale, 2011, 3, 71-85.
- [12] Kozanoğlu, G., 2006, Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 148s.
- [13] Kalinová Klára, Technical University of Liberec, PDF, Anonim.
- [14] Ellison C.J., Phatak A., Giles D.W., Macosko C.W., Bates F.S., 2007. Melt blown nanofibers: Fiber diameter distributions and onset of fiber breakupPolymer 48 (2007) 3306e3316.
- [15] Bodaghi, H., Sinangil, M.,2006. Meltblown nonwoven webs including nanofibers and apparatus and method for forming such meltblown nonwoven webs. United States Patent 7501085.
- [16] Kikutani, I, Radhakrishnan, J., Arikawa, S., Takaku, A., Okui, N., Jin, N., Niwa, F. and Kudo, Y., 1996. High-Speed Melt Spinning of Bicomponent Fibers: Mechanism of Fiber Structure Development in Poly (ethylene terephthalate) / Propylene System, Journal Applied Polymer Science, 62, 1913-1924.
- [17] Çelen, R. ve Ulcay, Y. (2019). Bikomponent Lifler. Tekstil ve Mühendis, 6: 114, 177-187.
- [18] Ondarcuhu, T. and Joachim, C., 1998, Drawing a single nano_bre over hundreds of microns, Europhys. Lett., 42 (2): 215-220.
- [19] Nain, A.S., Wong, J.C., Amon, C. and Sitti, M., 2006, Drawing Suspended Polymer Micro/Nanofibers Using Glass Micropipettes, Appeared in Applied Physics Letters, 89 (18): pp. 183105-7.

- [20] Nayak, R., Padhye, R., Kyratzis, I. L., Truong, Y. B., and Arnold, L., 2012, Recent advances in nanofibre fabrication techniques, Textile Research Journal, 2(82), 129-147p.
- [21] Evcin, D. D., 2017, Nanolif Üretim ve Uygulamaları, "http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/03/2-Nanolif-%C3%9Cretim-Teknikleri.pdf", (Erişim Tarihi: 09 Temmuz 2018)
- [22] Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W. E., Lim, T. C., Ma, Z. (2005) An Introduction to Electrospinning and Nanofibers, World Scientific.
- [23] Doğan, G., 2012, Elektrolif Çekim Yöntemiyle Elde Edilen Biyopolimer Nanoliflerden Doku Mühendisliği ve İlaç Salımı Uygulamalarında Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, İZMİR: EGE ÜNİVERSİTESİ TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ, 184s.
- [24] Anonim, 2017c. <http://www.plastik-ambalaj.com/en/plastic-packaging-article/1120-nanofiber-membranlarn-retim-yoentemleri-ve-uygulama-alanlar> (Erişim tarihi: 20.03.2017).
- [25] Huczko, A. 2000, Template-based synthesis of nanomaterials, Appl. Phys. A 70: 365–376.
- [26] Tao, S. L., Desai, T. A. (2007) Aligned Arrays of Biodegradable Poly(ϵ -caprolactone) Nanowires and Nanofibers by Template Synthesis. Nano Letters, 7(6),1464-1468.
- [27] Ramakrishna S., Fujihara K., Teo W.E., Lim T.C. and Ma Z., 2005, An Introduction to Electrospinning and Nanofibers, World Scientific Publishing, 382 p.
- [28] Feng, L., Li, S., Li, H., Zhai, J., Song, Y., Jiang, L. and Zhu, D., 2002, Super-Hydrophobic Surface of Aligned Polyacrylonitrile Nanofibers, Angew. Chem. Int. Ed., 41(7): 1221-23.
- [29] BARNES, C. P., S. A. SELL, E. D. BOLAND, D. G. SIMPSON, G. L. BOWLIN. 2007. Nanofiber Technology: Designing the Next Generation of

Tissue Engineering Scaffolds, Advanced drug Delivers Reviews, 59: 1413-1433

- [30] Luo, Z., Wang, S., and Zhangb, S., 2010, Fabrication of self-assembling D-form peptide nanofiber scaffold d-EAK16 for rapid hemostasis, Biomaterials, 32(8), 2013-2020p.
- [31] Zhang, S., 2003, Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly, Nano Biotechnology, 21(10), 1171-1178p.
- [32] Uslu, İ. 2009. Elektro-eğirme yöntemi bor katkılı alüminyum asetat nanolif malzemelerin eldesi. TÜBAV Bilim, 2(3): 266-270).
- [33] Stanger, J., Tucker, N., Staiger, M., (2005), Electrospinning, Rapra Review Reports, Vol. 16, No. 10
- [34] Ahern J. C. (2003) The Influence of Electric Charge and Electric Fields on the Formation and Duration of Water Boules, Phd thesis, Brunel University, United Kingdom, 18-19.
- [35] Srinivasan, A., Bandyopadhyay, S., (2017), Advances in polymer materials and technology, Taylor & Francis Group
- [36] Reneker, D.H., Chun, I., (1996), Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning, Nanotechnology, Vol. 7, No. 3
- [37] Cooley, J.F., Apparatus for electrically dispersing fluids., Google Patents. (n.d.). <https://patents.google.com/patent/US692631A/en> (accessed March 26, 2022).
- [38] Teo, W.E. and Ramakrishna, S., 2006, A review on electrospinning design and nanofibre assemblies, Nanotechnology, 17: 89–106.
- [39] Cooley J.F. (1902), US 705691 W.J. Apparatus for electrically dispersing fluids, February 4.
- [40] Stanger J., Tucker N., Staiger M. (2005) Electrospinning, Volume 16, Number 10, Rapra Technology, Shropshire, United Kingdom.

- [41] Morton, W.J., Method of dispersing fluids., Google Patents. (n.d.).
<https://patents.google.com/patent/US705691A/en> (accessed March 26, 2022).
- [42] Erdem, R., (2013), Nanolif Bazlı Yara Örtüsü Yüzeyi Geliştirilmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 36-40, 53
- [43] Zeleny, J., 1917, Instability of electrified liquid surfaces, Physical Review, 10 (1): 1–6.
- [44] Okutan, N., (2013), Elektrodöndürme Yöntemiyle Elde Edilen Jelatin Nanoliflerinin Emülsiyonlarda Stabilize Edici Olarak Kullanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 7-18
- [45] Hagiwara, K., 1929, Process for Manufacturing Artificial silk and Other Filaments by Applying Electric Current, US Patent, No 1 699 615. (Jan 22, 1929).
- [46] De Vrieze, S. and De Clerk, K., 2009, 80 Years of Electrospinning, 5 p, <https://biblio.ugent.be/publication/767594> (Erisim Tarihi: 30.08.2012).
- [47] Huang Z.M., Zhang Y.Z., Kotaki M. and Ramakrishna S., 2003, A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, Composite Science and Technology, 63:2223-2253.
- [48] G.I. Taylor, 1964. Disintegration of water drops in an electric field, Proc. R. Soc. London. Ser. A. Math. Phys. Sci. 280 383–397.
<https://doi.org/10.1098/RSPA-.1964.0151>.
- [49] G.I. Taylor, Electrically driven jets, Proc. R. Soc. London. A. Math. Phys. Sci. 313 (1969) 453–475. <https://doi.org/10.1098/RSPA.1969.0205>.
- [50] Han,T., 2007. Elektrosinning and Nanofibers, PhD Thesis, The Graduate Faculty of the University of Akron.

- [51] Taylor, G.I., 1964, Disintegration of Water Drops in an Electric Field, Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 80(1382): 383-397.
- [52] Mohan, A. (2002) Formation and Characterization of Electrospun Nonwoven Webs, MSc Thesis, The Graduate Faculty of North Carolina State University, USA.
- [53] Lyons, J., Li, C. and Ko, F., 2004, Melt-electrospinning part I: processing parameters and geometric properties, *Polymer*, 45: 7597–7603.
- [54] Baumgarten, P. K. (1971) Electrostatic spinning of acrylic microfibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 36(1), 71–79.
- [55] H. Fong, I. Chun, D.H. 1999. Reneker, Beaded nanofibers formed during electrospinning, *Polymer (Guildf)*. 40 4585–4592. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00068-3).
- [56] Y.M. Shin, M.M. Hohman, M.P. Brenner, G.C. Rutledge, 2001. Electrospinning: A whipping fluid jet generates submicron polymer fibers, *Appl. Phys. Lett.* 78 1149. <https://doi.org/10.1063/1.1345798>.
- [57] H. Dai, J. Gong, H. Kim, D. Lee, 2002. A novel method for preparing ultra-fine alumina-borate oxide fibres via an electrospinning technique, *Nanotechnology*. 13 674. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/13/5/327>.
- [58] D. Li, Y. Wang, Y. Xia, 2003. Electrospinning of polymeric and ceramic nanofibers as uniaxially aligned arrays, *Nano Lett.* 3 1167–1171. https://doi.org/10.1021/NL0344256/Asset/Images/NL0344256.Social.Jpeg_V03.
- [59] R. Dersch, T. Liu, A.K. Schaper, A. Greiner, J.H. Wendorff, 2003. Electrospun nanofibers: Internal structure and intrinsic orientation, *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* 41 545–553. <https://doi.org/10.1002/POLA.10609>.

- [60] Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.E., Yong, T., Ma, Z. and Ramaseshan, R., 2006, Electrospun nanofibers: solving global issues, *Materials Today*, 9(3): 40-50pp.
- [61] Sahay, R., Thavasi, V. ve Ramakrishna, S. (2011). Design Modifications in Elektrospinning Setup for Advanced Applications. *Journal of Nanomaterials*. 2011(17), 1-18. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1155/2011/317673>
- [62] Li, Z. ve Wang, C. (2013a). Introduction of Elektrospinning. One-Dimensional nanostructures (s. 1-13). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [63] Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S. ve Ramkumar, S. S. (2005). Elektrospinning of Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*. 96(2), 557-569. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1002/app.21481>
- [64] Güçlü, S. (2012). İki Farklı Polimerden Simultane Olarak Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif ve Membran Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [65] Tucker, N., Stanger, J, J., Staiger, M, P., Razzaq, H, A., Hofman, K. 2012. The History of the Science and Technology of Elektrospinning from 1600 to 1995. *Journal of engineered fibers and fabrics*, 7(2), p.63-73.
- [66] Andray, A., (2008). Science and technology of polymernanofibers. A John Wiley&Sons. Inc. Publication, Elektrospinning Basics: 55-76.
- [67] Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W., E., Yong, T., Ma, Z. (2005). An introduction to elektrospinning and nanofibers. World Scientific Publishing, Singapur, 382 s.
- [68] Merritt, Sonia R., Agata A. Exner; Zhenghong Lee., Horst A.(2012). Elektrospinning and
Imagin. *Advanced Engineering Materials*. 14 (5), 266–278.
doi:10.1002/adem.201180010

- [69] Anonim. (2018). Elektrospinyasyon- elektrosponing teknikleri. <https://www.inovenso.com/ourtechnology/ourtechnology/>-(Erişim tarihi: 27.05.2021).
- [70] Leach, M. K., Feng, O. Z., Tuck, S. J. ve Corey, J. M. (2011). Elektrosponing Fundamentals: Optimizing Solution and Apparatus Parameters. J Vis Exp. 47(2494), 1-4. Erişim adresi: doi: 10.3791/2494
- [71] Shin, Y.M., Hohman, M.M., Brenner, M.P. and Rutledge, G.C., (2001). Elektrosponing: A Whipping Fluid Jet Generates Submicron Polymer Fibers, Applied Physics Letters, 78-8,1- 3.
- [72] Yarin, A.L., Koombhongse, S. and Reneker, D. H., (2001). Taylor cone and jetting from liquid droplets in elektrosponing of nanofibers , Journal of Applied Physics, 90-9, 4837- 4846.
- [73] Chaparro, F. J., Michelle, E., Matusicky, M. J., Allen, J. ve Lannutti, J. (2016). Biomimetic microstructural reorganization during suture retention strength evaluation of elektrospon vascular scaffolds. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. 104(8), 1525–1534. doi:10.1002/jbm.b.33493
- [74] Kılıç A., 2008, Eriyikten elektro üretim yöntemiyle polipropilennanolifüretimi(Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [75] Yang, G., Li, X., He, Y., Ma, J., Ni, G. ve Zhou, S. (2018). From nano to micro to macro: Elektrospon hierarchically structured polymeric fibers for biomedical applications. Progress in Polymer Science. 81(2018), 80-113. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.12.003>
- [76] He, J.-H., Wan, Y.-Q., Yu, J.-Y., 2004. Application of Vibration Technology to Polymer Elektrosponing, International Journal of Nonlinear Science And Numerical Simulation, 5-3, 253-262.

- [77] Sun, Z., Zussman, E., Yarin, A.L., Wendorff, J.H., Greiner, A., 2003. Compound Core-Shell polymer Nanofibers by Co-Electrospinning, *Advanced Materials*, 15-20, 1929-1933.
- [78] Li, D., and Xia, Y., 2004. Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel, *Advanced Materials*, 16-14, 1151-1169.
- [79] Ding, B., Kimura, E., Sato, T., Fujita, S. and Shiratori, S., 2004. Fabrication of Blend Biodegradable Nanofibrous Nonwoven Mats via Multi-Jet Electrospinning, *Polymer*, 45, 1895-1902.
- [80] Theron, S. A., Yarin, A.L., Zussman, E. and Kroll, E., 2005. Multiple Jets in Electrospinning: Experiment and Modeling, *Polymer*, 46, 2889-2899.
- [81] Yarin, A. L., and Zussman, E., 2004. Upward Needleless Electrospinning of Multiple Nanofibers, *Polymer*, 45, 2977-2980.
- [82] Martinova, L., Pradny, M. and Michalek, J., 2005. Electrospinning Of Polymer Blends Giving The Submicron Fibers, 5. Uluslararası Istanbul Tekstil Konferansı, Istanbul, TÜRKİYE, Mayıs 19-21.
- [83] Ko, F., (2004). I Nanofiber technology: Bridging the Gap between nano and macro world, in NATO ASI on Nanoengineered Nanofibrous Materials, Guceri, S., Gogotsi, Y.A. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 18 p.
- [84] Frenot, A. and Chronakis, I. S., 2003, Polymer nanofibers assembled by electrospinning, *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8:64– 75.
- [85] Gunesoğlu, C., 2009, Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları (Nano Tekstiller), *Mühendis ve Makine Dergisi*, 50:591, 25-34.
- [86] Doğan G., Ozyıldız F., Basal G. and Uzel A., 2012, Antimicrobial Natural Compound Loaded Polyamide 6 Nanofibers, *International Congress on Healthcare and Medical Textiles*, Abstract Book, İzmir, May 17-18, 47-49.
- [87] <http://www.fibersource.com/f-tutor/techpag.htm>
- [88] <http://www.hillsinc.net/>

[89] http://www.apparesearch.com/education_research_nonwoven_melt_blown_technology.htm

[90] <http://www.kodoshi.co.jp/english/images/meltblown.gif>



ÖZGEÇMİŞ

Müslüm DEMİRCİOĞLU, İlk ve ortaokulu Öğretmen Zekeriya Göçer İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Liseyi 2006 yılında Kartal Lisesi'nde tamamladı. Üniversite öğrenimini 2008-2013 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde, 2015-2022 yılları arasında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümünde, 2015-2019 yılları arasında Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümünden 2. olarak tamamladı. 2020 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Tekstil Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans'a başladı. Halen bu programda Yüksek Lisans'ı devam etmektedir.