

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRO ÜRETİM İLE NANOLİF ÜRETEN  
TAŞINABİLİR CİHAZIN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Salih GÜLŞEN**

**Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği**

**Programı : Sistem Dinamiği ve Kontrol**

**OCAK 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRO ÜRETİM İLE NANOLİF ÜRETEN  
TAŞINABİLİR CİHAZIN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Salih GÜLŞEN  
503061621**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şeniz ERTUĞRUL (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali DEMİR (İTÜ)  
Yrd. Doç. Dr. Ayhan KURAL (İTÜ)**

**OCAK 2010**



*Emeđi geçen herkese,*



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, “Nano liflerden oluşan bir ağ (NanoWeb) üretimi için taşınabilir bir sistemin geliştirilmesi ve prototip imalatı” isim ve 108M045 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında tamamlanmıştır.

Bu proje ekibinde yer almamı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ali DEMİR’e ve Dr. Ertan ÖZNERGİZ’e; tez danışmanım Doç. Dr. Şeniz ERTUĞRUL’a; takım arkadaşlarım ve dostlarım Fatih ORUÇ, Abdullah AŞLAMACI, Tuncay GÜMÜŞ, Onur ERDEN, Alparslan KUTLU, Emre KURUMAHMUT ve Mehmet BAYKARA’ya; tezime ve projeye prototip imalatı sürecinde desteklerini esirgemeyen Selçuk ATAFIRAT’a süreç içerisinde desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, özellikle İsmail GERZELİ, Eren KAYAOĞLU, Mesut ACAR, Alper GERÇEK, Metin TARHAN ve Özlem SALMAN’a; ve bana maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2010

Salih GÜLŞEN

(Tek. Öğrt.)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                     | v         |
| İÇİNDEKİLER .....                                              | vii       |
| KISALTMALAR .....                                              | ix        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                           | xi        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                             | xiii      |
| ÖZET.....                                                      | xv        |
| SUMMARY .....                                                  | xvii      |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                          | <b>1</b>  |
| 1.1 Nanoteknoloji .....                                        | 1         |
| 1.2 Nanolifler .....                                           | 2         |
| 1.3 Nanoliflerin Kullanım Alanları .....                       | 3         |
| 1.4 Elektro üretim ile Nanolif Üretimi .....                   | 3         |
| 1.5 Diğer Nanolif Üretim Teknikleri.....                       | 5         |
| 1.6 Nanolif Üretim Tekniklerinin Karşılaştırılması .....       | 7         |
| 1.7 Amaç ve Kapsam .....                                       | 8         |
| <b>2. ELEKTRO ÜRETİM İŞLEMİ İLE NANOLİF ÜRETEN TAŞINABİLİR</b> |           |
| <b>CİHAZIN TASARIMI.....</b>                                   | <b>11</b> |
| 2.1 Cihazın Donanım Seçimi .....                               | 11        |
| 2.1.1 Yüksek gerilim güç kaynağı .....                         | 12        |
| 2.1.2 Polimer besleme ünitesi .....                            | 13        |
| 2.1.2.1 Şırınga pompa:                                         | 15        |
| 2.1.2.2 Peristaltik pompa                                      | 15        |
| 2.1.2.3 Tek kullanımlık (Disposable) pompa                     | 16        |
| 2.1.2.4 Dişli pompa                                            | 16        |
| 2.1.2.5 Piston pompa                                           | 17        |
| 2.1.2.6 Tercih edilen polimer besleme ünitesi                  | 18        |
| 2.1.3 Kullanılan elektronik donanım.....                       | 19        |
| 2.1.4 Arayüz ekranı .....                                      | 19        |
| 2.1.5 Mesafe algılayıcı .....                                  | 20        |
| 2.1.6 Batarya .....                                            | 21        |
| 2.2 Cihazın Mekanik Tasarımı ve İmal Edilen Prototipler .....  | 22        |
| 2.3 Cihazın Yazılımı .....                                     | 25        |
| 2.3.1 Sistemin giriş ve çıkışları .....                        | 26        |
| 2.3.2 Mikrokontrolör ve çevre birimlerin haberleşmesi .....    | 29        |
| 2.3.2.1 Mikrokontrolör-pompa arası haberleşme                  | 30        |
| 2.3.2.2 Mikrokontrolör-sayısal potansiyometre arası haberleşme | 33        |
| 2.4 Tasarımın İyileştirilmesi .....                            | 34        |
| <b>3. CİHAZDA GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEMELER .....</b>             | <b>43</b> |
| <b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                           | <b>45</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                         | <b>47</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                              | <b>49</b> |



## **KISALTMALAR**

|              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| <b>PIC</b>   | : Programmable Interface Controller |
| <b>LCD</b>   | : Liquid Crystal Display            |
| <b>THF</b>   | : Tetrahydrofuran                   |
| <b>DMF</b>   | : Dimethylformamide                 |
| <b>MFI</b>   | : Melt Flow Index                   |
| <b>TTL</b>   | : Transistor–Transistor Logic       |
| <b>CCS</b>   | : Custom Computer Services          |
| <b>SPI</b>   | : Serial Peripheral Interface Bus   |
| <b>RS232</b> | : Recommended Standard 232          |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                        |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Çizelge 1.1 : Nanoteknoloji 2007,2008 yılı pazarı ile 2013 yılı hedeflenen pazarı .... | 1 |
| Çizelge 1.2 : Bazı doğal, suni ve sentetik liflerin çapları ve çap değişimleri.....    | 2 |
| Çizelge 1.3 : Nanoliflerle üretilen tekstil ürünlerine kazandırılacak özellikler.....  | 2 |
| Çizelge 1.4 : Nanolif üretim tekniklerinin karşılaştırılması .....                     | 8 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 : Nanolif uygulama alanları .....                                                                                                | 3  |
| Şekil 1.2 : Örnek bir elektro üretim sistemi.....                                                                                          | 4  |
| Şekil 1.3 : Meltblown tekniğinin işlem akışı .....                                                                                         | 6  |
| Şekil 1.4 : Bikomponent lif üretimi ile üretilmiş liflerin kesit ve boy örüntüleri .....                                                   | 6  |
| Şekil 1.5 : Denizde adacık sayısına göre lif yapısının değişimi (a) 900 adacıklı yapı<br>(b) 240 adacıklı yapı (c) 500 adacıklı yapı ..... | 7  |
| Şekil 2.1 : Emco High Voltage DX 250 .....                                                                                                 | 13 |
| Şekil 2.2 : Pompa sistemine alternatif mekanizmaların görünüşü.....                                                                        | 13 |
| Şekil 2.3 : Besleme ünitesi olarak pompa kullanılan bir elektro üretim düzeneği ....                                                       | 14 |
| Şekil 2.4 : Şırınga infüzyon pompa .....                                                                                                   | 15 |
| Şekil 2.5 : Peristaltik pompa mekanizması ve bir peristaltik pompanın görünümü ..                                                          | 15 |
| Şekil 2.6 : Tek kullanımlık pompa diyagramı .....                                                                                          | 16 |
| Şekil 2.7 : Tek kullanımlık pompa debi ayarlama elemanı .....                                                                              | 16 |
| Şekil 2.8 : Dişli pompanın çalışma mekanizması .....                                                                                       | 17 |
| Şekil 2.9 : Micro Annular marka mızr-2521 dişli pompa.....                                                                                 | 17 |
| Şekil 2.10 : Piston pompa çalışma mekanizması .....                                                                                        | 18 |
| Şekil 2.11 : Piston pompa görünüşü .....                                                                                                   | 18 |
| Şekil 2.12 : New Era NE-501 programlanabilir şırınga pompa.....                                                                            | 18 |
| Şekil 2.13 : 4x20 LCD ekran .....                                                                                                          | 20 |
| Şekil 2.14 : Sharp optik algılayıcı.....                                                                                                   | 20 |
| Şekil 2.15 : Kullanılan piller.....                                                                                                        | 21 |
| Şekil 2.16 : Elektro üretim tekniği ile nanolif üreten taşınabilir cihazın tasarımı ....                                                   | 22 |
| Şekil 2.17 : Tasarlanan cihazın kesit görünüşü (sol taraf).....                                                                            | 23 |
| Şekil 2.18 : Tasarlanan cihazın önden ve arkadan görünüşü.....                                                                             | 23 |
| Şekil 2.19 : Tasarlanan cihazın algılayıcıların monte edildiği uç parçası .....                                                            | 24 |
| Şekil 2.20 : Parçaların kutuya yerleştirilmesi ile imal edilen ilk prototip .....                                                          | 24 |
| Şekil 2.21 : Parçaların pleksiglastan bir yapının içine yerleştirilmesi ile imal edilen<br>ikinci prototip .....                           | 25 |
| Şekil 2.22 : İkinci prototip için hazırlanan baskı devre .....                                                                             | 25 |
| Şekil 2.23 : Taşınabilir cihazın program akış diyagramı .....                                                                              | 27 |
| Şekil 2.24 : Algılayıcı–cisim arası mesafe (cm) / Çıkış gerilimi eğrisi.....                                                               | 28 |
| Şekil 2.25 : Algılayıcı – cisim arası mesafe (1/cm) / Çıkış gerilimi eğrisi.....                                                           | 29 |
| Şekil 2.26 : Mikrokontrolör ile çevre birimlerin haberleşmesi .....                                                                        | 29 |
| Şekil 2.27 : Welco WPX1 peristaltik pompa ve Cane Microjet Crono pompa .....                                                               | 35 |
| Şekil 2.28 : (a) Pompa 24V 3000 d/dk'lık motor ile (b) Pompa dişli motor ile .....                                                         | 35 |
| Şekil 2.29 : Daiken Syrinjector tek kullanımlık pompa .....                                                                                | 36 |
| Şekil 2.30 : Elektrosis'ten temin edilen kaskat modülü .....                                                                               | 37 |
| Şekil 2.31 : Emco DX250 yüksek gerilim güç kaynağı ve V1G yüksek gerilim ölçer<br>modül.....                                               | 38 |
| Şekil 2.32 : Devantech SRF01 ultrasonik algılayıcı.....                                                                                    | 39 |
| Şekil 2.33 : Mikrokontrolör tarafından kontrol edilen AD5206 entegreli yüksek<br>gerilim güç kaynağı çıkış gerilimi kontrol devresi .....  | 40 |

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.34 :</b> Mikrokontrolör tarafından kontrol edilen PWM ile sürülen kalıcı durum<br>röleli yüksek gerilim güç kaynağı çıkış gerilimi kontrol devresi ..... | 40 |
| <b>Şekil 2.35 :</b> Mikrokontrolör tarafından kontrol edilen regülatör uygulaması.....                                                                              | 41 |
| <b>Şekil 2.36 :</b> Mesafeye göre yüksek gerilimin ve debinin değişimi.....                                                                                         | 43 |
| <b>Şekil 2.37 :</b> Mesafeye ve debiye göre ürün çapının değişimi .....                                                                                             | 43 |

# **ELEKTRO ÜRETİM İLE NANOLİF ÜRETEN TAŞINABİLİR CİHAZIN TASARIMI**

## **ÖZET**

Genel anlamda lifler söz konusu olduğunda ‘nano’ terimi, lif çapının büyüklüğü hakkında bilgi verir. Bazı araştırmacılar çapı bir mikronun altındaki liflere nanolif derken, diğerleri ise nanolif için çapı 0,3 mikron veya daha az olan lifler tanımını uygun görmüşlerdir.

TÜBİTAK 104M414 numaralı proje ve SANTEZ proje no 00131.STZ.2007-2 kapsamında “çapı bir mikron ve altındaki lifler” nanolif olarak kabul edilmiş ve bu lifleri üretmek için geliştirilmiş en son teknolojilerden biri olan elektro üretim (electrospinning) yöntemi araştırılmıştır. Bu projelerde elde edilen veriler ile elektro üretim metodunun uygulamalarında ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. Üretilen elektro üretim makinası prototipleri ile de bu işin yakın zamanda sanayileşebileceği görülmüştür.

Çalışmakta olduğum 108M045 numaralı TÜBİTAK projesinde, tıbbi alanda ve zirai alanda kullanılabilecek cihazların prototip imalatının yapılması planlanmıştır. Bu tez dahilinde ise tıbbi amaçlı cihazın prototip imalatı ele alınmıştır.

Deneysel çalışmalarda ise, uygulanan en uygun voltaj ve debi değerlerinin, toplayıcı ve gerilim kaynağı arasındaki mesafeye göre belirlenmesi sağlanmıştır. Çeşitli polimerler kullanılarak mesafeye göre bu değerler belirlenmiş ve bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı yardımıyla, mesafeye ve polimerin çeşidine göre yüksek gerilim ve pompa debisi parametreleri ayarlanmıştır. Algılayıcı ile debinin ve yüksek gerilimin ayarlanmasının talep edilmediği durumlarda kullanıcıya debi ve yüksek gerilim değerlerini elle değiştirme imkânı tanınmıştır.

Sonuç olarak, bu sistemin yapılabilirliği ve gerçekte kullanılabiliirliği kanıtlanmış ve endüstriyel tasarım için çalışmalara başlanmıştır.



# **DESIGN OF A PORTABLE DEVICE FOR MANUFACTURING NANOFIBERS VIA ELECTROSPINNING**

## **SUMMARY**

In the general context of “textile fibers”, the term “nano” describes the diameter of a single fiber. Some regards fibers with less than one micron diameter as nanofibers, whereas some others accept the diameter of a nanofiber as less than 0.3 micron.

Within the TÜBİTAK project 104M414 and SANTEZ project 00131.STZ.2007-2, a fiber with less than one micron diameter was treated as a nanofiber and the “electrospinning” technique was researched as the most recent technology. By the help of the data obtained within these projects, there had been serious improvements in the application of the electrospinning method. After the building of the prototypes of the electrospinning machines, it has been seen that electrospinning method could be industrialized in the near future

Within the TÜBİTAK project 108M045, it has been planned to build prototypes of the electrospinning devices that can be used within the medical and agricultural areas respectively. This thesis aims to develop a prototype portable medical electrospinning device.

In the experimental studies; applied voltage and the flow rate of the pump were determined with respect to the change of distance between the collector and the voltage source. These values were determined for various polymers and a database was created. High-voltage and pump flow parameters can be adjusted according to the distance and the database created. If it is not desired to adjust the high voltage and the flow rate of the pump with respect to the distance sensor data, a manual operation is also available.

In conclusion, two prototypes has been built. Feasibility and usability of the system have been shown and industrial design work has started.



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Nanoteknoloji

Yunanca’da “Nano”, matematiksel olarak  $10^{-9}$ ’a karşılık gelir. “Nanometre” de metrenin milyarda biri olarak tanımlanır.[1] “Nanoteknoloji” terimi ise, mikro altı uzunluğa sahip olan yapıları, aletleri, malzemeleri ve sistemleri kaplayan mühendisliği ifade eder. Nano parçacıklara sahip bir malzeme, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileri bakımından farklı özellikler gösterir. Ve bununla beraber bu büyüklükte parçacıklara sahip bir malzemenin kimyasal kompozisyonu değiştirmeden temel özelliklerinin değiştirilmesi mümkündür.[2] Nanometre büyüklüğündeki parçacıklar çok büyük bir yüzey alanına sahiptir ve bu parçacıkların davranışları ve hareketlilikleri de değiştirilebilir. Bu parçacıkların davranışlarının değiştirilmesi ve yüzey alanının artırılması vasıtasıyla su geçirmezlik, mukavemet, malzeme ağırlığı ve bunun gibi birçok parametre değiştirilebilir. Bu da, ürünler ve uygulamalar için çok geniş imkânları beraberinde getirmektedir. [3]

Çin’in üretim piyasasını düşük fiyatları ile alt üst etmesiyle ülkeler, rekabet için yüksek kaliteli malzemeyi ve yenilikleri ön plana çıkarmaya çalışmaktadırlar. Nanoteknoloji de bu nedenle üzerinde daha fazla çalışılması gereken bir bilim dalıdır. Son on yılda dünyada nanoteknoloji araştırma ve geliştirmesine ayrılan pay katlanarak artmıştır. Dünya pazarındaki nanoteknoloji uygulamalarının teknoloji tiplerine göre 2007, 2008 yılındaki pazarı ve 2013 yılındaki hedef pazarı Çizelge 1.1’de gösterilmiştir [4]. Öngörülen yıllık artış miktarlarından nanoteknoloji pazarının yakın gelecekte çok büyük önem arz edeceği görülebilir.

**Çizelge 1.1 :** Nanoteknoloji 2007,2008 yılı pazarı ile 2013 yılı hedeflenen pazarı

| <b>Teknoloji</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2013</b> | <b>2008-2013<br/>Yıllık Artış %</b> |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------------|
| Nanomalzeme      | 10137,10    | 10770,40    | 18694,70    | 11,70                               |
| Nanogereç        | 1487,50     | 1891,10     | 7952,10     | 33,30                               |
| Nanocihaz        | 24,20       | 26,20       | 366,20      | 69,50                               |

## 1.2 Nanolifler

Bir tekstil ürününün görüntüsü ve dokunuşunu etkileyen en önemli faktörlerden biri, üründe kullanılan ipliğin liflerinin inceliğidir. Bir lif ne kadar inceyse o kadar kalitelidir [5]. İpek gibi doğal lifler çok incedir ve hoş bir görüntüye ve dokunuşa sahiptirler. Fakat imalatı çok zor ve masraflıdır. Bu nedenle tekstil endüstrisi görüntüsü ve dokunuşu ipek lifine benzeyen sentetik lif elde etmek için ciddi bütçeler ayırmıştır. Çizelge 1.2’de bazı doğal, suni ve sentetik liflerin çapları ve çap değişimleri verilmiştir. Çizelgedeki tüm liflerin çapları mikron düzeyindedir.

**Çizelge 1.2 :** Bazı doğal, suni ve sentetik liflerin çapları ve çap değişimleri [6]

| Lif          | Ortalama Çap (nm) | CV Değeri(%) |
|--------------|-------------------|--------------|
| Örümcek Lifi | 3570              | 14.8         |
| İpek         | 12900             | 24.8         |
| Merinos Yünü | 25500             | 25.6         |
| Poliester    | 13300             | 2.4          |
| Poliamid 6   | 16200             | 3.1          |
| Kevlar 29    | 13800             | 6.1          |

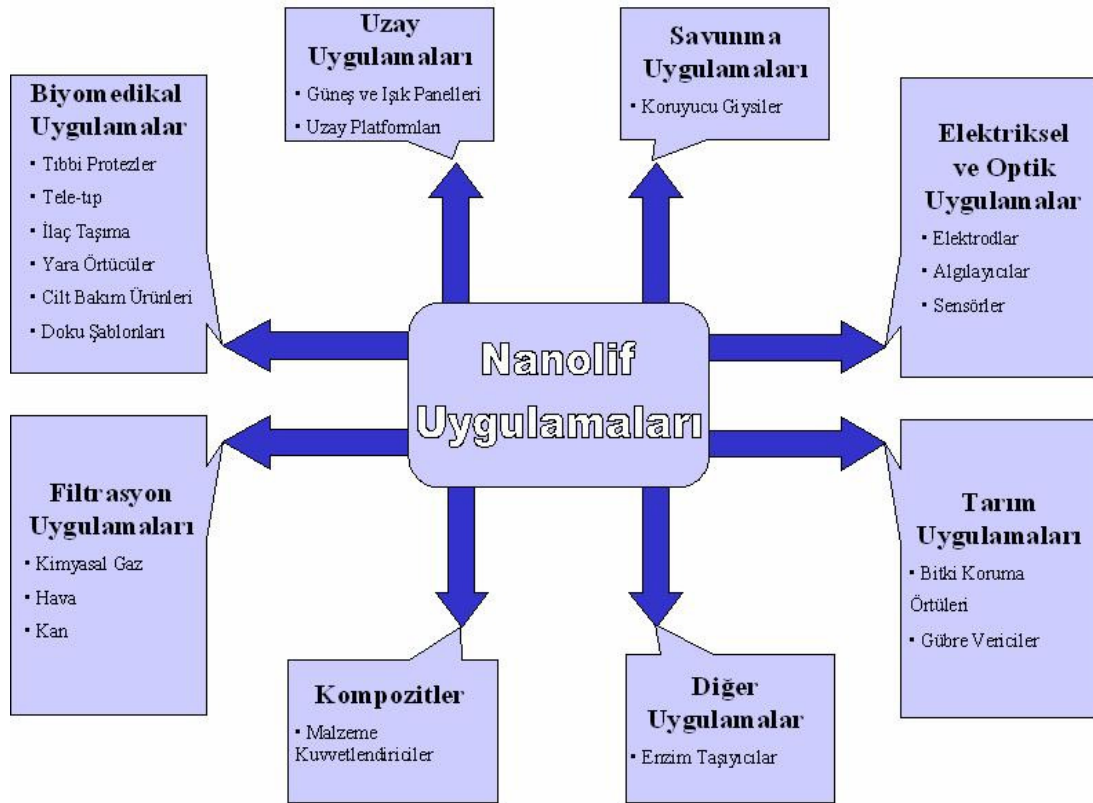
Nanolifler ise, çapları 1 mikrondan daha az olan lifler için kullanılan terimdir. Tipik nanoliflerin çapları 50 ila 300 nanometre arasındadır. Görsel büyütme olmadan görülemezler [7]. Tekstil ürünlerinde nanolifler kullanılarak Çizelge 1.3’deki özellikler ve birçok başka özellik kazandırılabilir.

**Çizelge 1.3 :** Nanoliflerle üretilen tekstil ürünlerine kazandırılacak özellikler [7]

|                                        |                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Giyisi kullanım konforu;               | Antimikrobiyal,<br>Koku gidericilik,<br>Vücut iklimasını düzenleme,<br>Kolay temizlenme (kir tutmazlık).                             |
| Vücut sağlığını koruma                 | Antistatik giysiler,<br>UV ışınlarından koruma,<br>Parfümlü giysiler,<br>Tıbbi koruyucu giysiler,<br>Manyetik alanlara karşı koruma, |
| İletişim ve bilgi teknolojileri;       | Giyilebilir elektronik,<br>GPS sistemleri,<br>Fotovoltaik giysiler,                                                                  |
| Güvenlik ve dış etkilere karşı koruma; | Kendinden ışıklı giysiler,<br>Bebek elbiseleri,                                                                                      |

### 1.3 Nanoliflerin Kullanım Alanları

Nanoliflerden oluşturulan yapıların, birim ağırlıkta büyük yüzey alanına sahip olması, yumuşak tutumu, iyi mukavemet/birim ağırlık özelliği ve mikroorganizmalara ve ince parçacıklara bariyer oluşturması gibi özellikleri, nanoliflerin birçok alanda kullanılmasının önünü açmıştır. Nanoliflerin endüstriyel üretimi üzerine çalışmaların ve buna verilen önemin artmasının yanında, yeni kullanım alanlarının araştırılıp tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 1.1’de nanoliflerin genel uygulama alanları görülebilir.



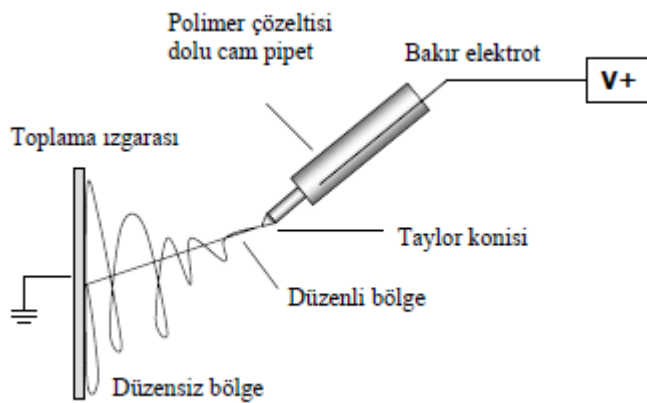
Şekil 1.1 : Nanolif uygulama alanları [7]

### 1.4 Elektro üretim ile Nanolif Üretimi

Polimer esaslı nanoliflerin üretimi için en etkin yöntem elektro üretim yöntemidir. Elektro üretim, akışkanlar dinamiği, polimer kimyası, temel fizik, elektrik fiziği, makine ve tekstil mühendisliği disiplinlerinden yararlanan bir yöntemdir [7]. Elektro üretim yöntemi için gerekli deney düzeneği temel olarak önemli üç ana parçadan oluşmaktadır (Şekil 1.2).

- Yüksek voltaj güç kaynağı,
- Besleme ünitesi (şırınga, metal iğne v.b.),
- Toplayıcı (iletken plaka, döner silindir v.b.).

Bu teknikte, kullanılacak polimer uygun bir çözücünde çözülür veya ısı ile eritilir ve polimer haznesine yerleştirilir. Polimer haznesinin çıkışında 0-50 kV arası yüksek gerilim uygulanan düşük yüzey alanı olan bir yüzey bulunur. Bu yüzey, metal bir iğne veya sac üzerinde 1mm'den küçük bir delik olabilir. Bu yüzeyin karşısında da topraklanmış bir toplayıcı ünite bulunmaktadır. Polimerin çıkışa kadar iletimi sağlanır. Haznenin çıkışına ulaşan polimer damlası kritik bir voltaj değerine kadar, yüzey gerilim kuvvetlerinden dolayı, küresel bir biçimdedir. Çıkışa uygulanan potansiyel fark bir eşik değerine ulaştığı anda, elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimi kuvvetlerine eşitlenir. Bu noktada polimer damlası şekil değiştirerek koni biçimini alır. Bu koniye Taylor konisi denir. Koni formundan sonra bir polimer jeti oluşur ve bu jet toplayıcıya doğru hareket eder. Bu jet, belirli bir mesafeyi kararlı halde kat eder. Kararlı halde kat ettiği mesafeye düzenli bölge adı verilir. Fakat jet, toplayıcıya belirli bir miktar daha yaklaştıktan sonra kararlılığını kaybeder ve kaotik bir şekilde genişleyen daireler çizerek inceler. Çarpma anına kadar oluşan bu bölgeye de düzensiz bölge ismi verilir. Sonuç olarak, daireler çizip çok uzun bir yol kateden ve çok incelen polimer yapı, toplayıcı üzerine çarparak toplayıcı üzerinde inceliği 10 nm'den birkaç mikrometreye kadar değişen ağırsı bir yapı oluşturur [5].



**Şekil 1.2 :** Örnek bir elektro üretim sistemi [2]

## 1.5 Diğer Nanolif Üretim Teknikleri

Nanolifler, elektro üretim metodu haricinde genellikle aşağıdaki yöntemler ile üretilmektedir.

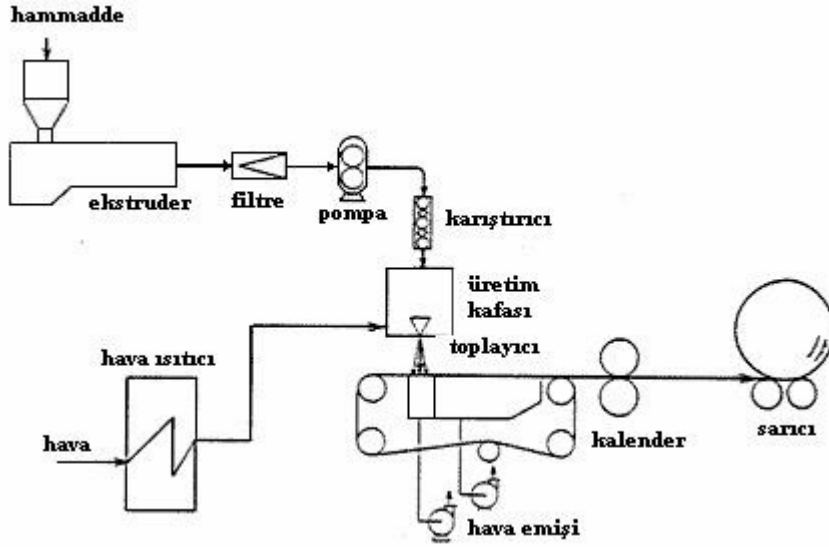
- Fibrilasyon ile nanolif üretimi,
- Eriyikten üfleme (meltblown) tekniği ile nanolif üretimi,
- Bikomponent nanolif üretimi,

Fibrilasyon ile nanolif üretimi işlemi, selüloz gibi lineer hücresel yapıya sahip ince liflerin nano boyutlu daha ince lifçikler halinde uzunlamasına bölünmesi işlemidir. Üretim süreci : çözünme, jelleşme, farklı çözücüler kullanarak üretim, dondurma ve nano gözenekli köpük oluşturacak şekilde kurutmayı içerir. Bu işlem zaman alıcı bir süreçtir. Bu teknikle üretilen lifler orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahip olmalarına rağmen, boyut ve oluşumda büyük değişiklikler gösterirler. Bunun yanı sıra, fibrilasyon işleminin yeteri kadar yapılmaması durumunda lif yapıda sonradan fibrilasyon meydana gelebilmekte ve şikayetlere neden olabilmektedir [7].

Meltblown tekniği, küçük çaplı lif üretimi için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Meltblown tekniğinde, yüksek hızlı sıcak hava ile filamentler düşerlerden geçerek çekim işlemine tabi tutulurlar ve taşıyıcı bant vasıtasıyla kalenderden geçip levante sarılırlar (Şekil 1.3). Bu işlem sonucunda üretilen lifler, nonwoven kumaş üretiminde kullanılır ve diğer nonwoven kumaşlara oranla daha yumuşak bir tuşeye sahip olmakla birlikte kumaş üzerindeki kaplama özelliği, şeffaflık ve gözeneklilik filament çaplarının farklı dağılımından dolayı farklı oranlarda olabilmektedir.

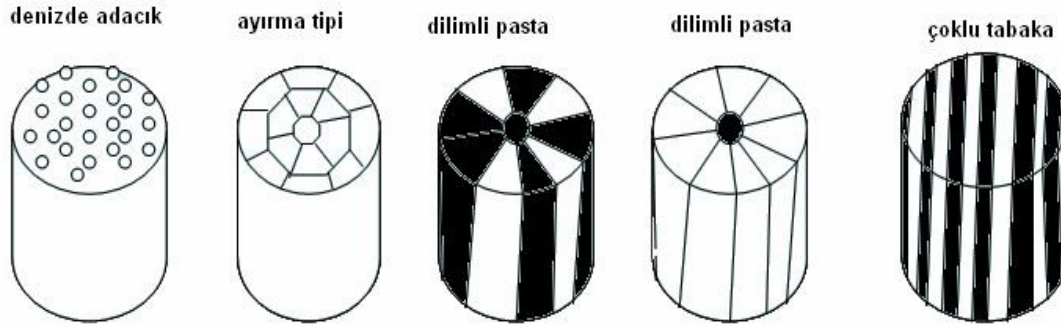
Meltblown işleminden çıkan ürünler; çok miktarlarda lif üretme olanağı, rastgele bir elyaf oryantasyonuna sahip olması, yüksek şeffaflıkla birlikte örtücülük özelliği, yüksek yüzey alanına sahip olmasından dolayı iyi yalıtım ve filtrasyon özelliği, liflerin düz bir yüzeye ve yuvarlak kesit alanına sahip olmaları, üretilen kumaşların lif çapları ile doğru orantılı olarak gramajlarının düşük olması gibi birçok özelliklere sahiptirler. Fakat bununla beraber her ne kadar teorik olarak 0.5 ile 30  $\mu\text{m}$  çaplara sahip lif üretme imkanına sahip gibi gözükse de, pratik olarak 2-7  $\mu\text{m}$  çaplarında lif üretmek mümkündür. Ayrıca düşe içindeki delik çapları 0,10 ile 0,15 mm arasında değiştiği için kullanılan polimerin 1000 veya üzerinde MFI'e (MFI: Melt Flow Index, Eriyik Akış Hızı İndeksi) sahip olmalı ve ayrıca da düşenin içi son derece temiz

olmalıdır. Bu yüzden uzun vadeli üretim işlemi sıkıntılıdır ve halen geliştirme aşamasındadır [7].



**Şekil 1.3 :** Meltblown tekniğinin işlem akışı [7]

Bikomponent lif, aynı lifi oluşturacak iki farklı polimerin aynı düse deliğinden akıtılarak elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Bikomponent lifler genel olarak kesit şekillerine göre içi-içe, yan-yana, denizde adacık ya da dilimli pasta bikomponent lifler olarak sınıflandırılırlar (Şekil 1.4) [8].



**Şekil 1.4 :** Bikomponent lif üretimi ile üretilmiş liflerin kesit ve boy örüntüleri

Nanoliflerin üretiminde bu teknolojinin kullanımı için birçok yaklaşım ileri sürülmüştür. Üzerinde en çok çalışılan yaklaşım ise standart bir üretim-çekim işlemi ile deniz-adacık tipi bikomponent liflerin üretimidir [9].

Denizde adacık modelinde iki ayrı polimer, özel yapılmış düselerden geçirilerek iç yapıdaki polimer fibrilli bir şekilde dış polimerin içine yerleşir. Genelde adacıkların sayısı 100 ile 600 arasında değişmektedir (Şekil 1.5). Filament üretildikten sonra

klasik yöntemlerle kumaş veya iplikler oluşturulur. Daha sonra dış ya da deniz olarak adlandırılan polimer uygun çözücünde çözülür.

Denizde adacıklar yöntemiyle üretilen lifler özellikle yapay kürklerde, sentetik damarlarda, filtrasyon malzemelerinde ve çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir [7].



**Şekil 1.5 :** Denizde adacık sayısına göre lif yapısının değişimi (a) 900 adacıklı yapı (b) 240 adacıklı yapı (c) 500 adacıklı yapı [10]

Bahsi geçen üretim teknikleri haricinde araştırma aşamasında olan teknikler de bulunmaktadır. Araştırma aşamasında olan tekniklerden önemli olanları milimetrik boyutta olan bir damla polimerden mikropipet ile Nanolif Çekme tekniği, kapalı bir havza içerisinde basınçlı su ile ittirilen polimerin nano gözenekleri bulunan bir membrandan geçerek nanolif üretimi sağlayan Kalıp Sentezi tekniği, nano boyuttan çok daha küçük olan moleküllerin birleştirilmesiyle nanolif üretimini hedefleyen Self Assembly (Birleştirme) tekniği ve katılaşmakta olan bir polimerin çözücü vasıtasıyla fazlarına ayrılması ve geride kalan fazın gözenekli bir nanolif yapı haline döndüğü Faz Ayırımı tekniği olarak sıralanabilir. Fakat bu teknikler hala araştırma safhasındadır ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmektedir.

## 1.6 Nanolif Üretim Tekniklerinin Karşılaştırılması

Nanolif üretimi tekniklerinin arasında en çok göze çarpan teknik elektro üretim tekniği olmakla beraber, üretim hızı bakımından diğer proseslere göre daha yavaş olması üzerinde çalışılmasını gerektiren bir konudur. Diğer proseslerde de üretim hızı elektro üretime nazaran hızlı olmasına rağmen, lif çapı değişiminin kontrol altına alınamaması ve üretilen liflerin boyutunun mikron düzeyine kadar çıkabilmesi ciddi bir sıkıntı oluşturmaktadır. Ayrıca, elektro üretim işleminin uygulama mekanizmasının taşınabilirliği varken diğer üretim işlemlerinde işlem karmaşıklığı

göz önüne alındığında taşınabilirlik şu an için söz konusu değildir. Çizelge 1.4'te tekniklerin karşılaştırılması görülebilir.

**Çizelge 1.4 : Nanolif üretim tekniklerinin karşılaştırılması [5]**

|                           | Elektro üretim   | Fibrilasyon    | Melt Blowing   | Bi Komponent   |
|---------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Lif Çapı                  | 50-300 nm        | -              | >2000 nm       | 500-2000 nm    |
| Akış-Üretim Hızı          | 0.005 g/delik/dk | 0.5 g/delik/dk | 0.5 g/delik/dk | 0.5 g/delik/dk |
| Lif Mukavemeti            | -                | Orta           | Zayıf          | 2-4 g/denye    |
| Taşınabilirlik            | Evet             | Hayır          | Hayır          | Hayır          |
| Lif Boyutlarına Hakimiyet | Evet             | Hayır          | Hayır          | Hayır          |

## 1.7 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmadaki temel amaç, hava ve su buharı geçirgenliği olan fakat zararlı mikroorganizmaları geçirmeyecek nanolif membran üreten taşınabilir bir cihaz geliştirmektir.

Bu tür bir cihazla ilgili daha önce yapılan iki çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri, taşınabilir bir elektro üretim cihazı üzerine bir patent [25] diğeri ise yara tedavisi için geliştirilen taşınabilir bir cihazdır [24]. Bu iki çalışmanın üzerinden ciddi bir zaman geçmesine rağmen, yapılan çalışmalar veya geliştirilen ve üretilen ürünler hakkında hiçbir detaylı bilgi bulunmamaktadır. Bu da, konunun üzerine yeterince düşülmediğini göstermektedir.

Bu çalışma TÜBİTAK 108M045 projesi kapsamında gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında taşınabilir elektro üretim konusunun üzerine düşülerek var olan sistemlere bir alternatif getirilmiş ve şırınga pompa ile taşınabilir bir güç kaynağı kullanılmıştır. Mesafe ölçümü yapılarak yüksek gerilim güç kaynağının çıkış gerilimi ve şırınga pompanın debi değeri mesafe değerine göre değiştirilmektedir. Elde edilen deney sonuçları ışığında mesafe değeri, yüksek gerilim güç kaynağı çıkışı ve pompa

ıkış debisi değerleri bir bağıntı ile birbirine bağlanmıştır. Polimerin zellikleri ile son derece birbirine bağlantılı olan bu parametreler, ilk olarak 150 cp vizkosite ve 110 uS/cm iletkenlik değerlerine sahip polimer cinsi için belirlenmiştir. Projenin ilerleyen döneminde yapılacak ek denemeler ile bir polimer veritabanı oluşturulacak ve polimer cinsine göre mesafe değeri de göz önünde bulundurularak yüksek gerilim ve debi parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.



## **2. ELEKTRO ÜRETİM İŞLEMİ İLE NANOLİF ÜRETEN TAŞINABİLİR CİHAZIN TASARIMI**

### **2.1 Cihazın Donanım Seçimi**

Elektro üretim işlemi, tıbbi alanda ciddi bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bunlardan başlıcaları:

- Nanoliften üretilen protez, damar ve organ uygulamaları
- Nanoalgılayıcılar vasıtasıyla vücuttan bilgi toplayıp, hastaneye ve/veya hasta yakınlarına bilgi veren akıllı giysiler
- Nanoliflerin geçirgenliğinin ayarlanabilir olmasından yararlanarak içine ilaç yerleştirilmiş nanolif ürünleri
- Cilt iyileştirici ve temizleyici özelliğe sahip nanoliften imal edilen cilt bakım maskeleri
- Yaranın kurumasını önleyen, aynı zamanda yaranın akan sıvısının dışarıya alınmasını sağlayan, hava geçirgenliğine sahip fakat enfeksiyon yapan bakterilerin geçmesini engelleyen yara örtücü kaplamalar.

olarak sıralanabilir [7]. Bu çalışmanın hedef aldığı uygulama ise, uygun polimer seçimi ile açık yaraların üzerine kaplama yapılmasını sağlayan taşınabilir bir cihaz imalatıdır.

Daha önce de belirtildiği üzere, bir elektro üretim düzeneği :

- Yüksek gerilim güç kaynağı (kV mertebesinde gerilim üretebilen)
- Polimer besleme ünitesi
- Toplayıcı

olarak sıralanabilir. Üretimde kullanılan ham madde ise amaca uygun olarak seçilen polimer olarak nitelendirilebilir.

Bununla beraber, uygulama cinsine göre cihaz yapımında farklılıklar olabilir. İmal edilecek bu cihazda, hem insan sağlığına zararlı olmayan, hem de su ile çözünmeyecek bir polimer kullanılması planlanmıştır. Toplayıcı ise insan cildi olarak belirlenmiştir. Gerekli takdirde kaplanacak yüzeyin arkasına topraklanmış ve iletken bir metal yüzey eklenebilir. Bunların haricinde arayüz olarak kullanılan 4x20 LCD ekran, portatif kullanım için pil ve önemli parametrelerden biri olan mesafe ölçümü için kullanılan optik algılayıcı da kullanılan diğer donanımlar olarak sıralanabilir. Sonuç olarak, elektro üretim tekniği ile nanolif üreten portatif bir cihazda bulunması gerektiği düşünülen donanımlar:

- Yüksek gerilim güç kaynağı (kV mertebesinde gerilim üretebilen)
- Polimer besleme ünitesi
- Ayarların görüntülenebileceği arayüz ekranı
- Mesafe algılayıcı
- Portatif kullanım için akü veya pil olarak sıralanabilir.

### **2.1.1 Yüksek gerilim güç kaynağı**

Yüksek gerilim güç kaynağı olarak, pil veya akü ile beslenebilen, çıkış gerilim değeri uzaktan ayarlanabilen, çıkış olarak 0-40 kV arası gerilim üretebilen ve gövdeye rahatlıkla yerleştirebilecek büyüklükte bir cihaz uygun görülmüştür. Çeşitli araştırmalardan sonra fiyat/performansı uygun ve gövdeye rahatlıkla sığabileceği düşünülen Emco High Voltage firmasından DX250 modeli ürün temin edilmiştir. Bu ürünün özellikleri [11]:

- Boyutu: 95.3 mm x 38.1 mm x 25.4 mm
- 12 V, 0.25 A giriş, 4-25 kV, 75 uA çıkış
- Harici dirençle çıkış gerilim kontrol etme imkânı

olarak sıralanabilir. Şekil 2,1’de cihazın görüntüsü görülebilir.



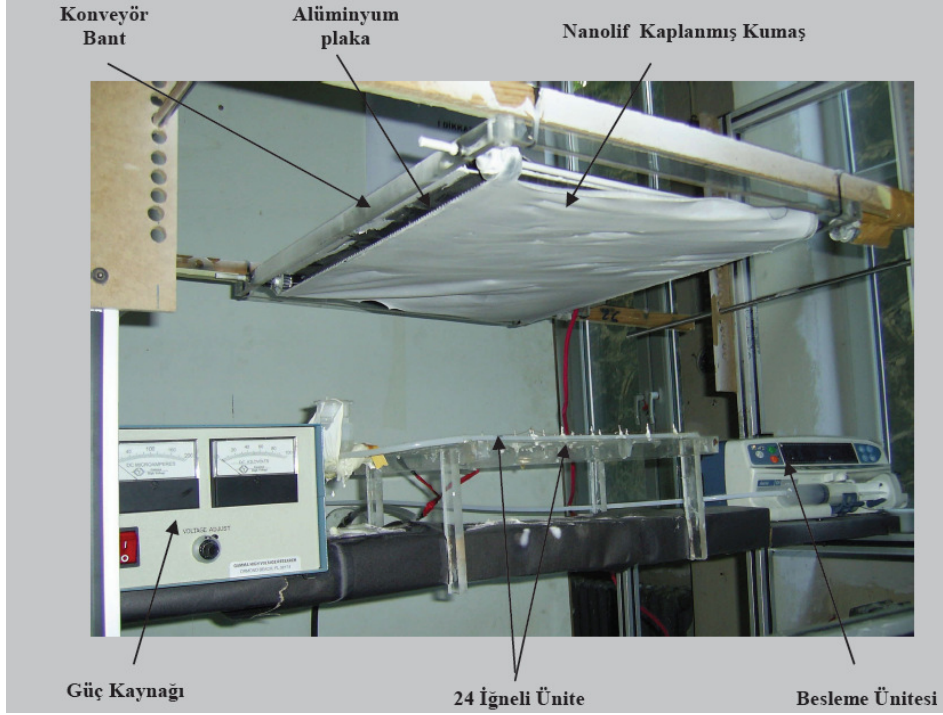
**Şekil 2.1 :** Emco High Voltage DX 250 [11]

### 2.1.2 Polimer besleme ünitesi

Elektro üretimde kullanılacak polimerin yüzey alanının çok dar olduğu bir yüzeye iletilip, yüksek gerilime tabi tutulabilmesi için bilim insanları tarafından çeşitli yaklaşımlar getirilmiştir. Üzerinde çıkıntılar bulunan dönen bir silindirin polimer havuzuna daldırılıp çıkarılması veya polimerin altında çok küçük bir delik bulunan bir kaptan sabit şekilde akmasını sağlayan bir yapı alternatif uygulamalar olarak gösterilebilir (Şekil 2.2). Bu mekanizmalar, sabit bir uygulamada kullanılabilmekle beraber, bahsi geçen uygulama portatif bir uygulama olacağı için pompa ile debinin kontrol altında tutulup polimerin bir iğne ucuna iletildiği bir sistem daha uygun görülmüştür. Pompa kullanılan bir sistemin görüntüsü Şekil 2.3'te görülebilir.



**Şekil 2.2 :** Pompa sistemine alternatif mekanizmaların görünüşü [12][13]



**Şekil 2.3 :** Besleme ünitesi olarak pompa kullanılan bir elektro üretim düzeneği [2]

Kullanılması planlanan pompanın seçiminde belirlenen kriterler:

- Pompa, iğne başına 0-5 ml/h arası ayarlanabilir bir debide enerji verilen uca kadar solüsyonu iletmesi,
- Pompada herhangi bir şekilde tıkanma olmamalı, viskos sıvılarda bile sıvı iletimini aynı debide gerçekleştirmesi,
- Pompanın çalışması yüksek gerilimden etkilenmemesi, yüksek gerilimle çalışırken pompaya dokunulduğunda çarpmaması, eğer pompa dokunulduğunda çarpıyorsa, pompaya dokunulması engellenmesi,
- Pompanın üretildiği madde veya içinden sıvı geçen boru karışımında kullanılan kimyasallarla (TMF-DMF vs.) etkileşim göstermemesi,

olarak sıralanabilir. Bu kriterlere uyabilecek pompa tipleri:

- Şırınga pompa
- Peristaltik pompa
- Tek kullanımlık (Disposable) pompa
- Dişli pompa
- Piston pompa

olarak belirlenmiştir.

### 2.1.2.1 Şırınga pompa:

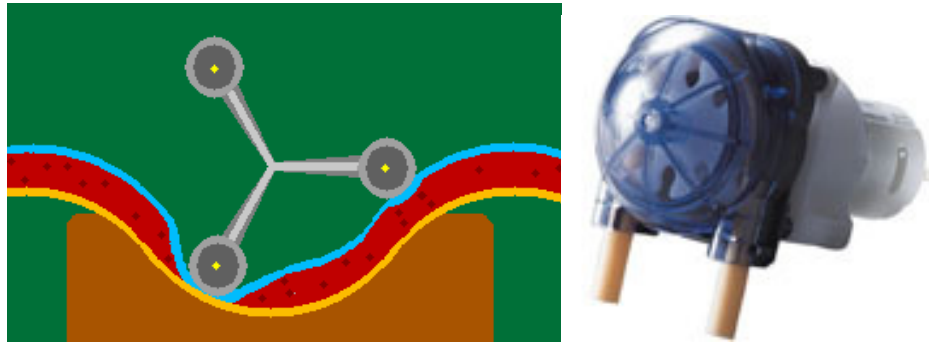
Bu pompa sıvı iletimini, şırınganın hareketli kısmını belirli miktarda ve sürede hareket ettirerek sağlamaktadır. Şırınganın hareket eden kısmı, pompa tarafından kontrol edilen kola kilitlenmektedir. Pompaya belirtilen debi değerine bağlı olarak, kol belirli bir frekansta belirli bir miktar hareket etmektedir. Böylece sabit bir akış elde edilmiş olmaktadır (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 : Şırınga infüzyon pompa [14]

### 2.1.2.2 Peristaltik pompa

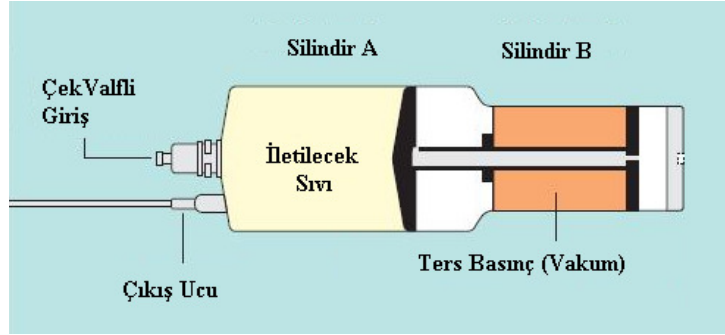
Sıvının bulunduğu yer bir havuzun içindedir. Pompanın mekanizmasında silindirler veya tek bir eksantrik silindir bulunmaktadır. Pompanın içindeki bu yapı dönerek etrafında sarılı olan aynı zamanda sıvı havuzuna bağlı boruya basmakta ve içindeki sıvının itilmesini sağlamaktadır (Şekil 2.5). Bu mekanizma sayesinde pompa ile aktarılan sıvı birbirine temas etmemektedir. Özellikle aşındırıcı kimyasallarda pompanın aşınmayan bir maddeyle yapılması yerine, aşındırıcı kimyasalın bu teknikte taşınması tercih edilmektedir.



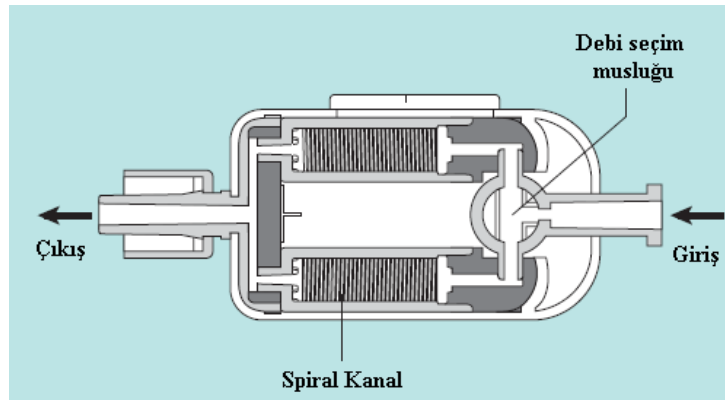
Şekil 2.5 : Peristaltik pompa mekanizması [15] ve bir peristaltik pompanın görünümü [16]

### 2.1.2.3 Tek kullanımlık (Disposable) pompa

Bu pompalarda bir adet şırınga benzeri bir piston vardır ve bu pistonun üst kısmında belirli bir miktar hava bulunmaktadır. Pompanın içine sıvı doldurulduğunda pompanın üst kısmındaki hava, alt kısma basınç uygulayarak aktarılan sıvının viskozitesine bağlı olarak sıvıyı belirli bir debide akıtmaktadır. Pompanın üzerinde yazan debi değerleri, suyun viskozitesine göre ml/h cinsinden belirlenmektedir. Aktarılan maddenin viskozitesine bağlı olarak debi değeri değişmektedir (Şekil 2.6). Debi ayarlanmak istendiğinde ise, çıkış borusuna Şekil 2.7'deki gibi bir bağlantı elemanı bağlanmaktadır. Bu bağlantı elemanının içindeki dönen kısım döndürüldüğünde sıvının tek kanaldan yarı debi ile, tek kanaldan tam debi ile ve iki kanalı birden kullanarak maksimum debide sıvı akışı sağlanmış olmaktadır.



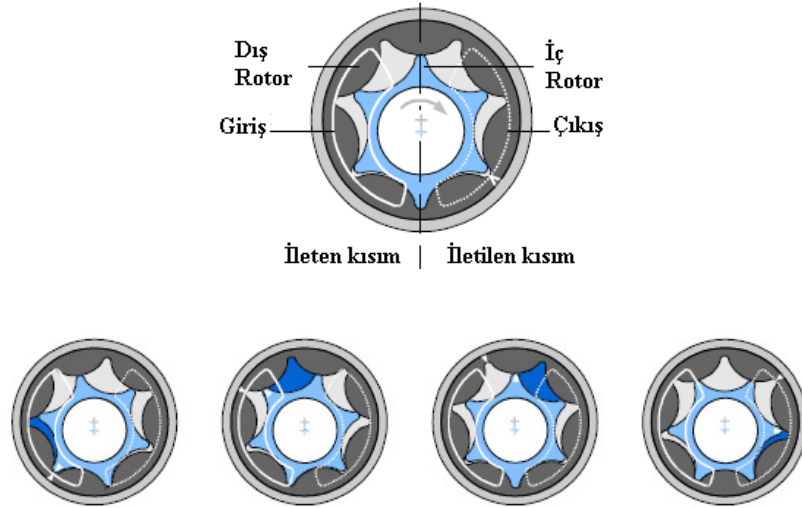
Şekil 2.6 : Tek kullanımlık pompa diyagramı [17]



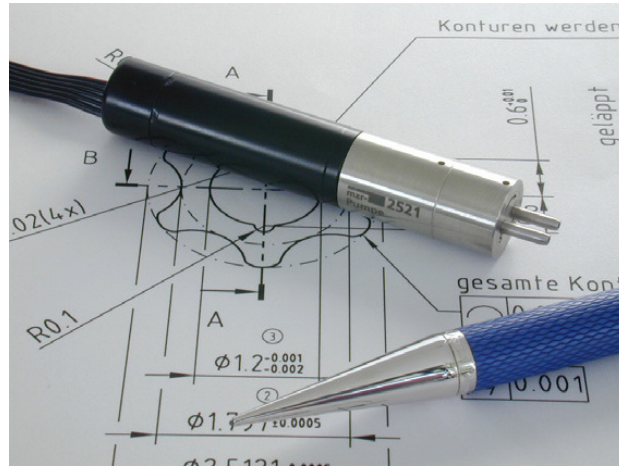
Şekil 2.7 : Tek kullanımlık pompa debi ayarlama elemanı [17]

### 2.1.2.4 Dişli pompa

Dişli pompada, diğer pompalardan farklı olarak sıvı pompanın içinden geçmekte ve hareketli iki dişli arasındaki boşluk miktarı ve dönüş hızı debiyi belirlemektedir (Şekil 2.8). Şekil 2.9'da bir dişli pompa görülebilir.



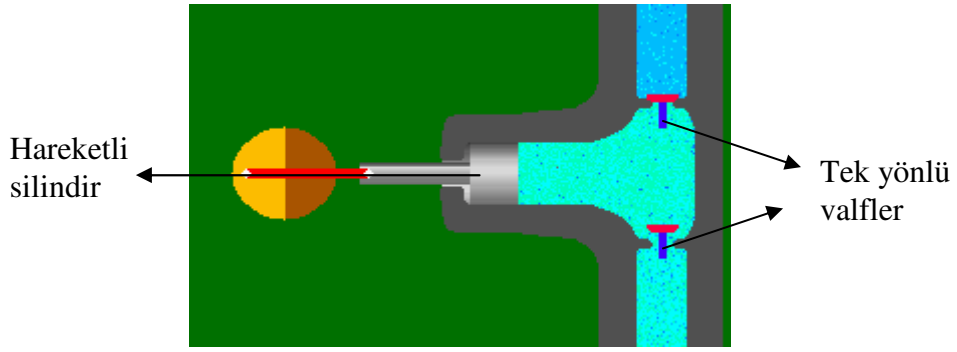
**Şekil 2.8 :** Dişli pompanın çalışma mekanizması [18]



**Şekil 2.9 :** Micro Annular marka m2r-2521 dişli pompa [18]

#### 2.1.2.5 Piston pompa

Piston pompalar, iki valf ve bir doldurma kutusundan oluşan mekanizmalardır. Bu pompalarda ileri geri hareket eden bir silindir, valflerden birisini açarken diğerini kapatmaktadır. Böylece ilk silindir hareketinde aktarılan sıvı boşluğa dolmakta, ikincisinde ise aktarılan sıvı açık olan valf vasıtasıyla tahliye edilmektedir (Şekil 2.10). Şekil 2.11’de bir piston pompa görülebilir.



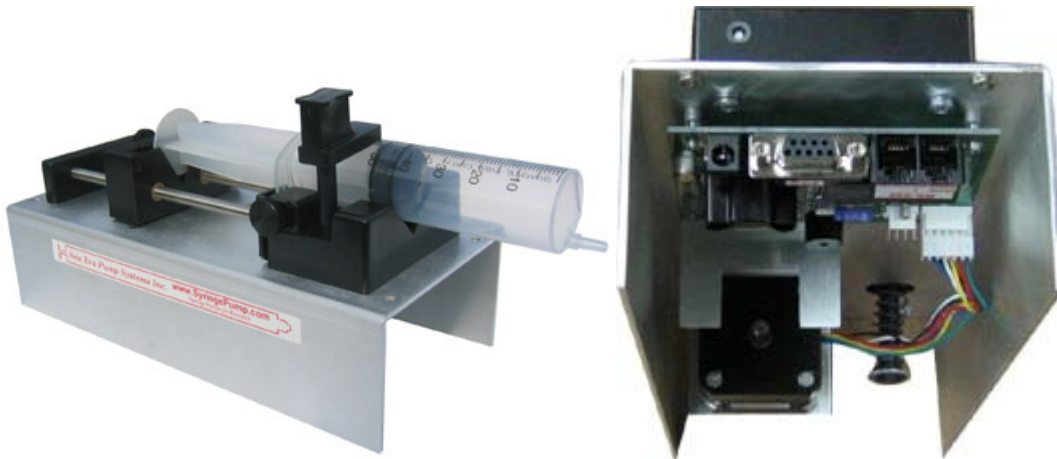
**Şekil 2.10 : Piston pompa çalışma mekanizması [19]**



**Şekil 2.11 : Piston pompa görünüşü [20]**

#### **2.1.2.6 Tercih edilen polimer besleme ünitesi**

Polimer besleme ünitesi olarak hassasiyeti, her koşulda ve konumda çalışabilmesi, portatif cihaza uygun şekli ve aynı zamanda mikrokontrolör ile kontrol edilebilmesi nedeniyle New Era marka NE-501 model şırınga pompa tercih edilmiştir (Şekil 2.12).



**Şekil 2.12 : New Era NE-501 programlanabilir şırınga pompa [21]**

Pompanın başlıca özellikleri:

- Şasiye monte edilebilme imkânı
- Boyutları 235 x 108 x 105 mm
- 12V DC güç kaynağı ile çalışabilme
- 60 cc'ye kadar şırıngalarla çalışabilme
- 0.73 µL/hr ( 1 cc şırınga ile) - 2100 ml/hr (60 cc şırınga ile) debi aralığı
- Tamamen programlanabilir yapı
- Alarm ve uyarı fonksiyonları
- $\pm\%1$  Debi hassasiyeti

olarak sıralanabilir [21].

### **2.1.3 Kullanılan elektronik donanım**

Taşınabilir elektro üretim cihazında kullanılan birkaç temel elektronik aksam bulunmaktadır. Bunlar, tüm giriş çıkış işlemlerini gerçekleştirebilmek için bir adet PIC 16F877A mikrokontrolör, yüksek gerilim güç kaynağına uygulanan gerilimin değiştirilebilmesi için bir adet AD5206 sayısal potansiyometre, pompa ile mikrokontrolörün haberleşebilmesi için bir adet MAX232 TTL-RS232 çevirici, biri 18V'tan 14V'a gerilim düşümü için ve diğeri yüksek gerilim güç kaynağına beslenen giriş gerilimin uygun değerlerde beslenebilmesi için olmak üzere 2 adet LM317, mikrokontrolöre ve diğeri TTL entegrelere 5V gerilim beslemek için 1 adet 7805 regülatör ve biri ters polarizasyon koruması için ve diğeri yüksek gerilim koruması için olmak üzere 2 adet röle olarak sıralanabilir. Bu elektronik elemanlar, tek bir devrede toplanmak yerine tasarımda kolaylık sağlaması için 5 ayrı baskı devre haline getirilerek daha modüler bir yapı sağlanmıştır.

### **2.1.4 Arayüz ekranı**

Arayüz ekranı olarak hem mikrokontrolör ile kolaylıkla kullanılabilir, hem de tüm parametreleri aynı yerde toplayabileceğimiz bir ekran düşünülmüştür. Bunun için de bir adet 4 satır 20 sütun Hitachi 44780 chipsetli LCD ekran kullanılmıştır (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13 : 4x20 LCD ekran [22]**

### **2.1.5 Mesafe algılayıcı**

Elektro üretimin 3 önemli işlem parametresi bulunmaktadır:

- Uygulanan voltaj
- Yüksek gerilimli polimer çıkışı/toplayıcı arası mesafe
- Çözeltilerin debisi

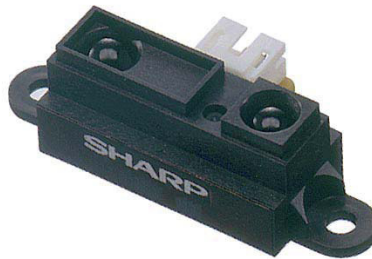
Mesafe algılayıcı, gerilim çıkışı ile toplayıcı arasındaki mesafenin ölçülerek uygulanan yüksek gerilimin ve debinin değiştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Elektro üretim yapan taşınabilir cihazda kullanılabilecek mesafe algılayıcıları:

- Optik mesafe algılayıcı
- Ultrasonik mesafe algılayıcı
- Lazer mesafe algılayıcı olarak sıralanabilir.

Lazer algılayıcı, ve optik mesafe algılayıcıları ışık gönderip, ışığın yansıma sürelerine göre mesafe ölçümü yaparken, ultrasonik mesafe algılayıcıları ise ses dalgası göndererek sesin geri dönüşüne göre mesafe ölçümü gerçekleştirirler.

Bu sistem için bir adet Sharp gp2y0a21yk ürün numaralı optik algılayıcı kullanılmıştır (Şekil 2.14).



**Şekil 2.14 : Sharp optik algılayıcı [23]**

Algılayıcının özellikleri [23]:

- Ölçüm aralığı: 10 - 80 cm
- Analog çıkış: 0.4-2.3V (1/80-1/10 cm ile lineer)
- Boyutu: 29.5×13×13.5 mm
- Besleme gerilimi: 4.5-5.5 V'dir.

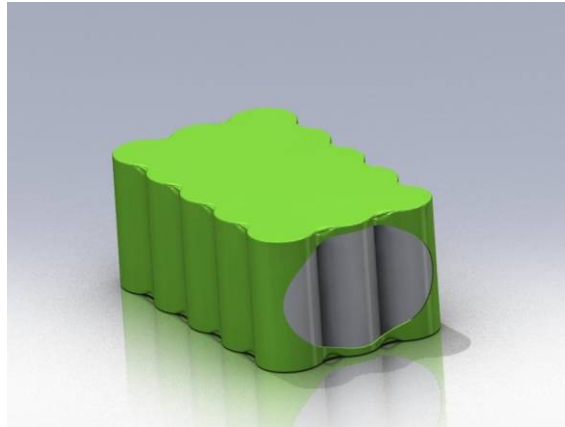
Algılayıcının 10 cm'lik ölü mesafesi bulunmaktadır. Bu ölü mesafe, en başta problemmiş gibi görünse de, güvenlik amacıyla toplayıcı/yüksek gerilim arasında 10 cm'den düşük bir mesafede yüksek gerilimin devreye girmemesi planlandığından bu durum sorun olmaktan çıkmaktadır.

### 2.1.6 Batarya

Sistemde kullanılan parçaların çektiği akımlar:

- LCD ekran: 100 mA
- Algılayıcı: 30 mA
- Şırınga pompa : ~ 300 mA
- Yüksek gerilim güç kaynağı: En fazla 400 mA

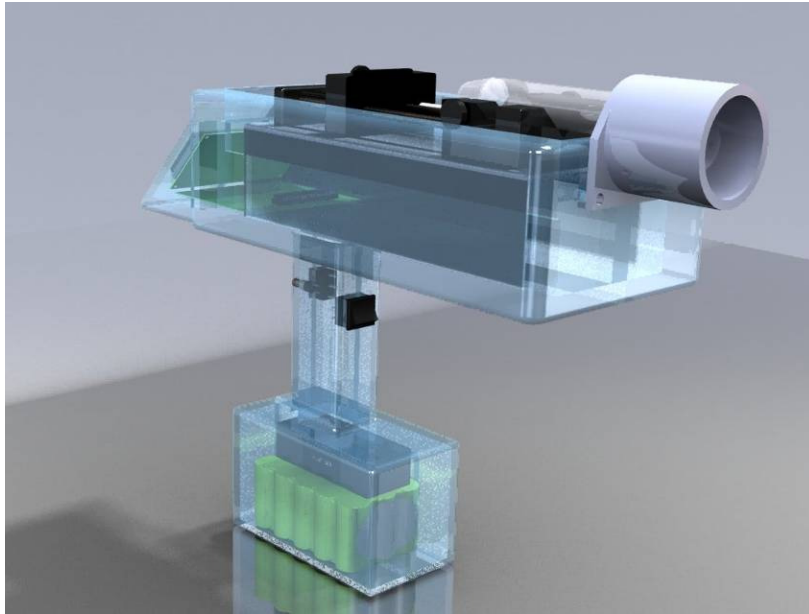
olmak üzere toplamda 800 mA civarındır. Sistemin portatif bir şekilde kullanımı için sistemde 15 adet 1.2V 2.2 Ah pilin seri bağlanmasıyla oluşan bir pil grubu cihazda kullanılmıştır (Şekil 2.15).



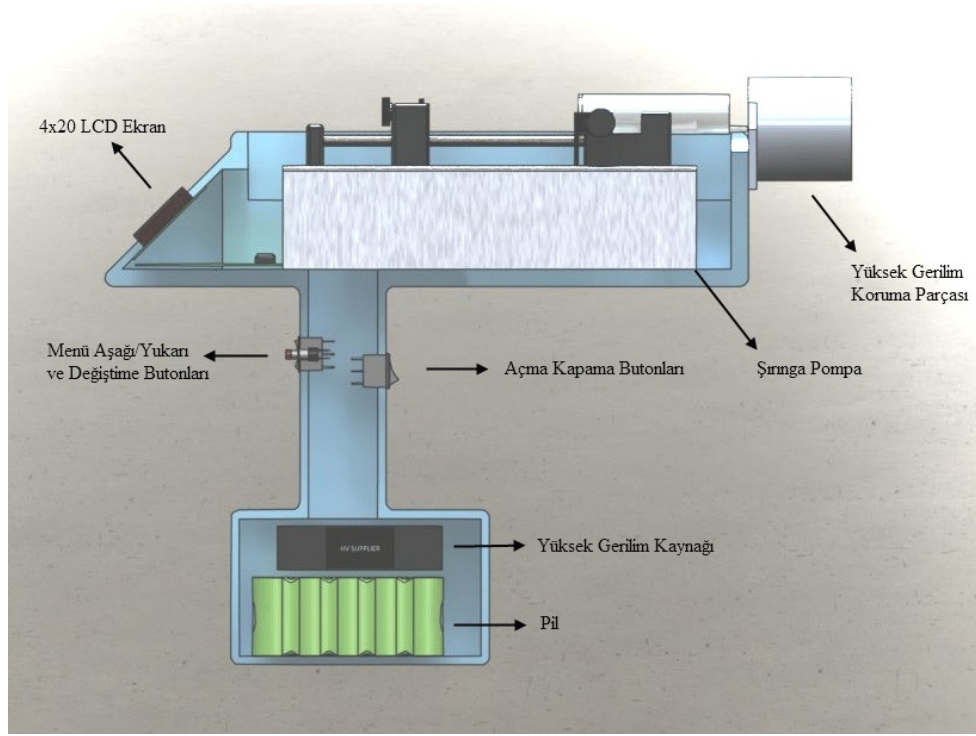
**Şekil 2.15 :** Kullanılan piller

## 2.2 Cihazın Mekanik Tasarımı ve İmal Edilen Prototipler

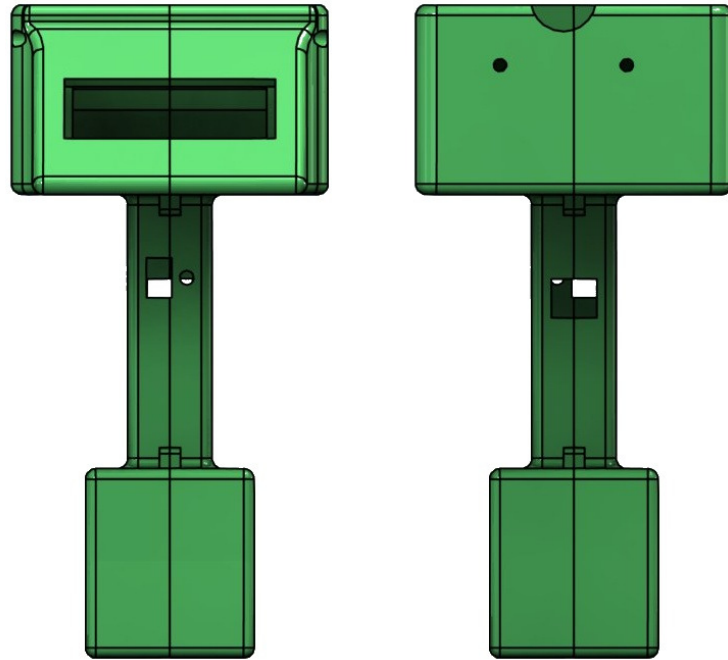
Cihaz; pompa, yüksek gerilim güç kaynağı, menü/ayar değiştirme ve açma kapama butonları, pil grubu, LCD ekran ve algılayıcıları (mesafe algılayıcısı ve koruma amaçlı kullanılan yüksek gerilim ucuna cisim yaklaştığını algılayan optik algılayıcı) içeren bir yapıya sahiptir (Şekil 2.16) (Şekil 2.17). Cihaz, cihazın kullanım alanı hastane ve tıbbi alanlar olması nedeniyle bu alanlarda minimum tehlike arz edecek ve kullanıcıyı en az yoracak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle cihazın, ergonomik açıdan uygun olduğu kabul edilen el matkabına yakın bir büyüklüğe sahip olması öngörülmüştür. Böylelikle cihazın ağırlık merkezi tutma bölgesine yakın olması ve bileği dönmeye karşı çok daha az zorlaması hedeflenmiştir. Fakat gerek tasarlanan parçaların imalatının kolay olması, gerekse montaj kolaylığı nedeniyle cihazın mekanik tasarımı ilk prototipte pompayı tamamen içerecek şekilde yapılmıştır. Bu nedenle boyut olarak istenilen boyuttan daha büyük bir boyuta sahiptir. Cihazın kolay bir şekilde imal edilebilmesi için cihaz tek parça olarak düşünülmemiş, aynı zamanda montajının da kolay olması açısından üç parçadan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bu parçalardan ikisi 75 mm kalınlığındadır ve birbirine buton ve montaj delikleri haricinde simetrik (Şekil 2.18). Diğer parça ise yüksek gerilime temasın engellenmesi için kullanılan kızılötesi algılayıcının monte edildiği ve simetrik olan iki parçanın önüne monte edilecek olan uç parçasıdır (Şekil 2.19).



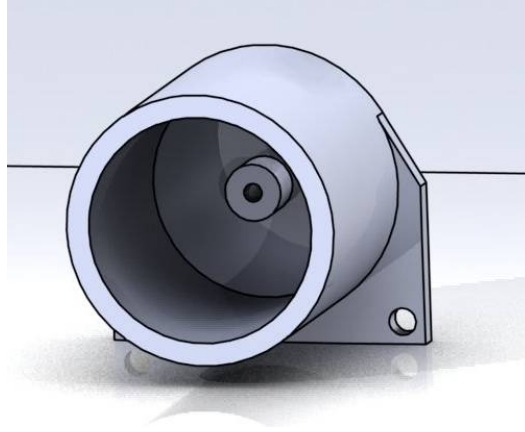
**Şekil 2.16 :** Elektro üretim tekniği ile nanolip üreten taşınabilir cihazın tasarımı



**Şekil 2.17 :** Tasarlanan cihazın kesit görünüşü (sol taraf)



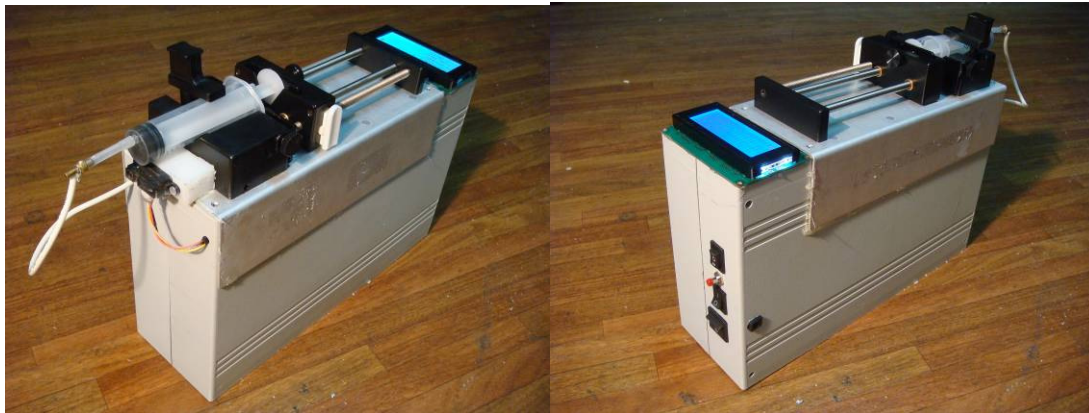
**Şekil 2.18 :** Tasarlanan cihazın önden ve arkadan görünüşü



**Şekil 2.19 :** Tasarlanan cihazın algılayıcıların monte edildiği uç parçası

Tasarlanan bu prototip için imalatçılarla görüşülmüş, fakat imalat için gerekli bütçe elde edilemediğinden ilk planda pompa, yüksek gerilim güç kaynağı, pil ve delikli pertinaks ile hazırlanan elektronik devreler bir kutu içerisinde toplanarak bir cihaz yapılmış ve denemeler bu cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.20). İlk prototipte koruyucu algılayıcı kullanılmamıştır. Denemelerden olumlu sonuç elde edildikten sonra cihazı oluşturan parçalar kutudan çıkarılarak, daha ergonomik ve tasarlanan cihaza daha yakın olan pleksiglastan bir yapı içerisine yerleştirilerek tekrar imal edilmiştir (Şekil 2.21). Pleksiglastan yapı için daha önceden delikli pertinaksle parça parça hazırlanan devreler, tek devre haline getirilmiş ve baskı devresi hazırlanmıştır (Şekil 2.22).

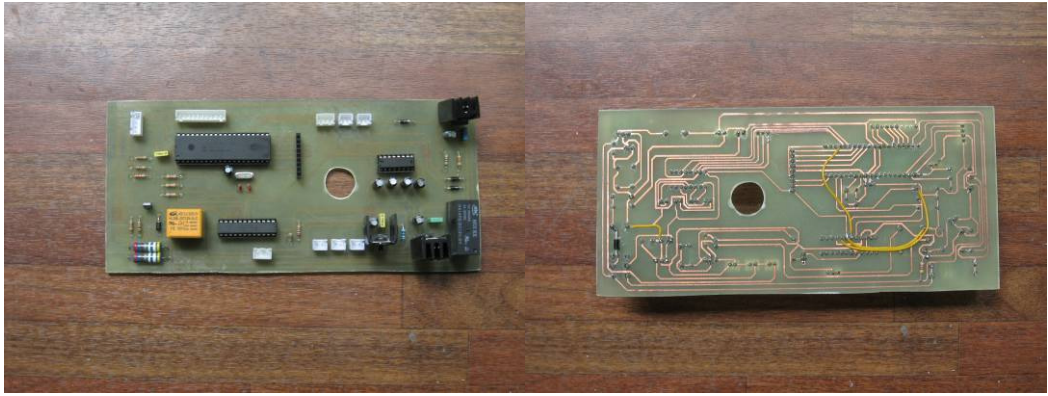
İmalat için bütçe oluştuğunda tasarım, kutu ve pleksiglastan yapılan cihazlarda yaşanan tecrübeler göz önüne alınarak gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra imal ettirilecektir.



**Şekil 2.20 :** Parçaların kutuya yerleştirilmesi ile imal edilen ilk prototip



**Şekil 2.21 :** Parçaların pleksiglastan bir yapının içine yerleştirilmesi ile imal edilen ikinci prototip



**Şekil 2.22 :** İkinci prototip için hazırlanan baskı devre

### 2.3 Cihazın Yazılımı

Cihazın yazılımı CCS PIC-C ile C dilinde yazılıp, hex formatında derlenmiş ve kullanılan PIC programlama cihazı olan sprut brenner8 PIC programlama cihazının desteklediği USBurn 1.10a programı yardımıyla PIC mikrokontrolörüne hex formatında kaydedilmiştir.

Yazılan yazılım ile amaçlanan uygulamalar:

- Algılanan cihaz-cizim arası mesafe değeri ile şırınga pompanın debisini ve yüksek gerilim değerini değiştirmek,
- İsteğe göre cihazın algılayıcıya göre otomatik çalışmasını veya elle girilen değerlere göre çalışmasının sağlanması,
- Pil değerinin devamlı görüntülenerek sistemin verimli çalışabileceği gerilim değerinin altına düştüğünde sistemin çalışmasına izin verilmemesi,

- Pompa ucuna dolayısıyla yüksek gerilime çok yaklaşıldığı durumların algılanarak yüksek gerilim güç kaynağının ve pompanın çalışmasının önüne geçilmesi

olarak sıralanabilir. Buna göre bir akış diyagramı hazırlanmıştır. Bu akış diyagramı Şekil 2.23'te görülebilir.

### 2.3.1 Sistemin giriş ve çıkışları

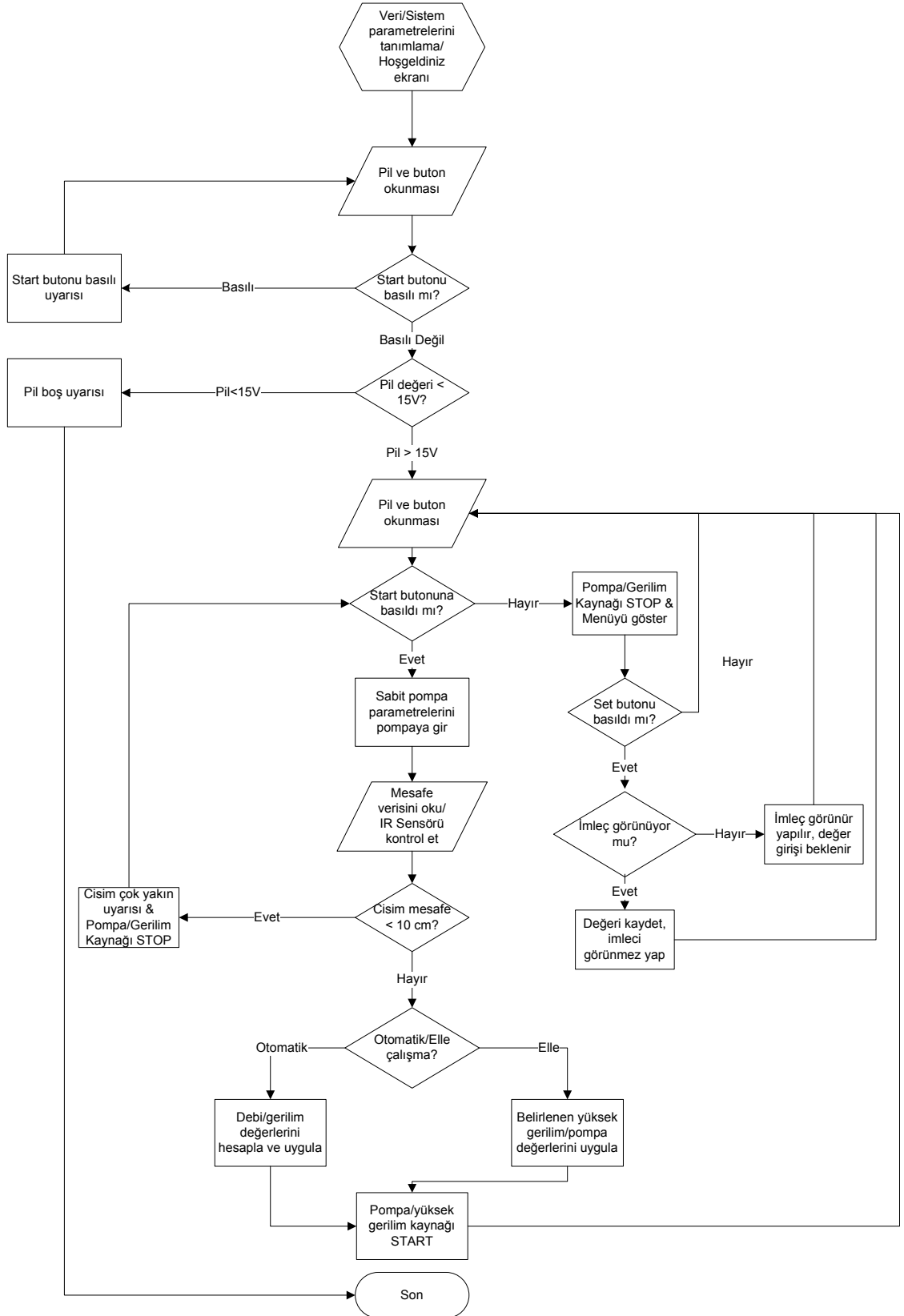
Mikrokontrolöre tanımlanan sayısal girişler, menü ileri-geri/değer arttır-azalt butonu, ayarlama push butonu, pompa ve yüksek gerilime başlat komutunu ileten aç/kapa butonu ve yüksek gerilim ucunun yakınında cisim var/yok algılayıcısı olarak sıralanabilir. Bunun yanı sıra, mikrokontrolöre bağlı olmayan, taşınabilir cihaza enerji veren ana bir buton bulunmaktadır.

Mikrokontrolöre tanımlanan sayısal çıkış ise, yüksek gerilime cisim yaklaştığında sistemin kapanmasını sağlayan röledir. Bunun yanı sıra, pompa ve sayısal potansiyometre ile haberleşmek için sistem sırasıyla RS232 seri haberleşme protokolü ile SPI protokolünü kullanmaktadır.

Sistemde iki adet analog değer ölçümü yapılmaktadır. Bunlar pilin gerilim değeri ve algılayıcıdan okunan mesafe değeridir.

Pilin gerilim değeri 18V'tur ve pil deşarj oldukça bu değer düşecektir. Bununla beraber, sisteme pilden ve adaptörden beslenen gerilim değeri regülatör yardımı ile 14 V ile sınırlandırılmıştır. Normalde mikrokontrolörün okuyabildiği maksimum gerilim değeri 5V'tur. 0-5V arası bir gerilim değeri, mikrokontrolöre beslendiğinde beslenen gerilim değerine göre mikrokontrolörden 0-1024 arası ondalık bir değer elde edilmektedir. Bu aralıkta bir gerilim değerinin mikrokontrolör tarafından okunabilmesi için mikrokontrolörün analog giriş bacağına düşen gerilimi 4V düzeyine çekecek biri 4,7k, diğeri ise 10k olmak üzere iki adet direnç seri olarak bağlanmış ve 4,7k'lık direncin üzerindeki gerilimin mikrokontrolör tarafından okunması sağlanmıştır.

Algılayıcıdan okunan mesafe değeri ise, 10-20 cm arası önemsenecek şekilde ayarlanmıştır. Cismin 10 cm'den yakın veya 20 cm'den uzak olması durumunda sistem çalışmamaktadır. Bu değer de, pil gerilim değeri gibi, algılayıcıdan gerilim değeri olarak okunmaktadır.



**Şekil 2.23 : Taşınabilir cihazın program akış diyagramı**

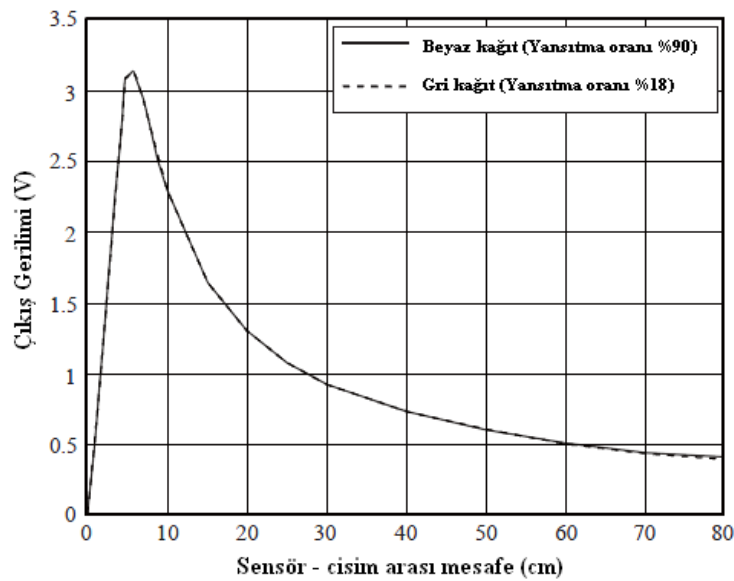
Algılayıcı, 80 cm’de 0,4V , 10 cm’de ise 2,3V gerilim çıkışı vermektedir. Şekil 2.24’te ve Şekil 2.25’te çıkış değerinin mesafeyle değişimi ve 1/mesafe ile değişimi görülmektedir. 1/mesafe değeri ile gerilim değerinin değişimi lineere çok yakındır ve gerilimden mesafe hesaplanırken ilk önce 1/mesafe değerine, sonra da mesafe değerine ulaşılmıştır.

Bu eğrilere göre, uzaklık/gerilim fonksiyonu:

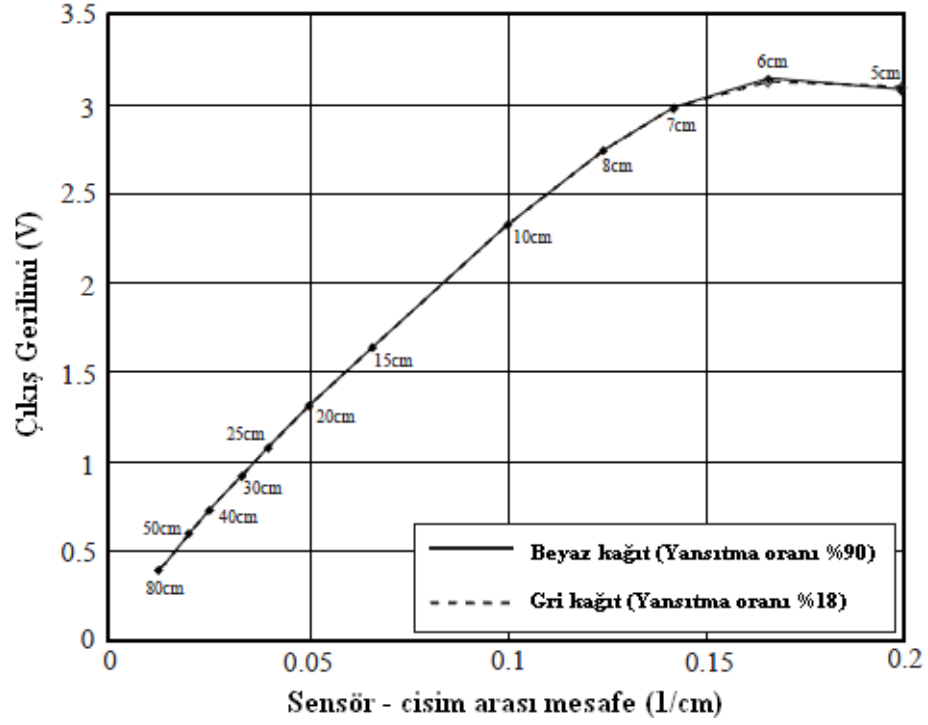
$$\frac{V-0,4}{2,3} = \frac{d-0,0125}{0,1}$$

şeklinde sağlanmıştır. Burada, 0.4 ve 2.3 sırasıyla algılayıcının 80cm ve 10cm’deki voltaj değerleridir. 0,0125 ve 0,1 ise sırasıyla 1/80 ve 1/10’dur. Gerilim değerinden mesafe değeri bu fonksiyonun sonucunda 1/cm cinsinden elde edilmektedir. İşlem gerçekleştirildikten sonra milimetre cinsinden değer ise 10/sonuç işlemi ile elde edilmektedir.

Okunan mesafe değeri ile orantılı olarak, pompanın debi değeri 1-5 ml/h arası, yüksek gerilim güç kaynağının değeri ise 15-25kV arası değiştirilmektedir. Mesafeye göre yüksek gerilimin ve debinin ne kadar değiştirileceği kullanılan polimerin cinsine göre belirlenmektedir. İlk planda en sık kullanılan polimer dikkate alınarak bir fonksiyon oluşturulmuştur. Fakat projenin ilerleyen safhalarında menü ekranında polimer cinsinin de belirtilmesi ve kullanılan polimer cinsine göre yüksek gerilim ve debi değerlerinin belirlenmesi sağlanacaktır.



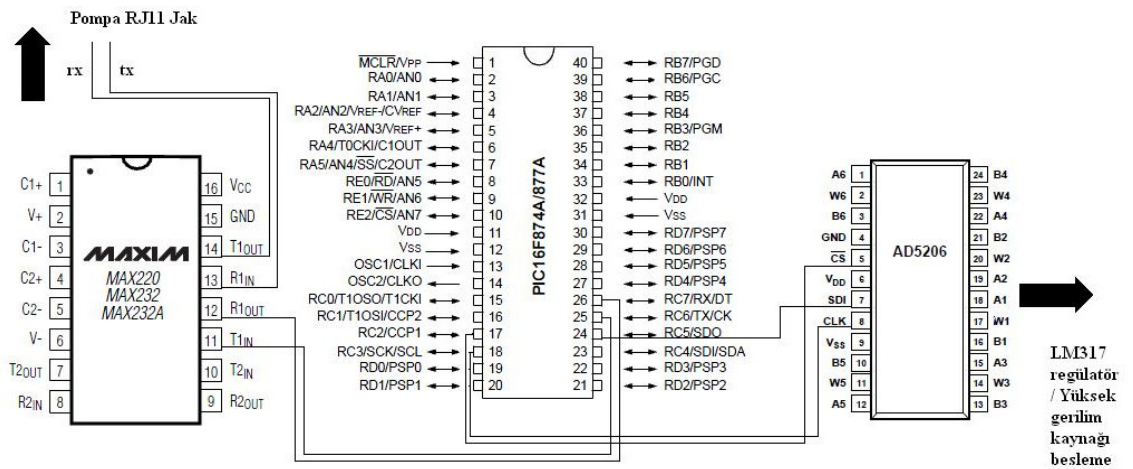
**Şekil 2.24 :** Algılayıcı-cisim arası mesafe (cm) / Çıkış gerilimi eğrisi [23]



Şekil 2.25 : Algılayıcı – cisim arası mesafe (1/cm) / Çıkış gerilimi eğrisi [23]

### 2.3.2 Mikrokontrolör ve çevre birimlerin haberleşmesi

Mikrokontrolörün kontrol ettiği iki temel parça bulunmaktadır. Bu parçalar, kullanılan şırınga pompası ve yüksek gerilim güç kaynağıdır. Pompa ile direkt olarak RS-232 protokolü ile haberleşebilmekle beraber, yüksek gerilim güç kaynağının çıkış gerilim değerinin değiştirilebilmesi, bir regülatör devresinin ayarlanabilir direncinin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Bahsi geçen haberleşmeler, Şekil 2.26’da görülebilir.



Şekil 2.26 : Mikrokontrolör ile çevre birimlerin haberleşmesi

### 2.3.2.1 Mikrokontrolör-pompa arası haberleşme

Mikrokontrolör ve pompa arası haberleşme, daha önce de belirtildiği üzere RS-232 seri haberleşme protokolü ile gerçekleştirilmektedir. Haberleşme hızı, pompanın desteklediği en yüksek hız olan 19200 baud olarak belirlenmiştir. Mikrokontrolör ile pompa arasındaki haberleşme 10 bitlik 8N1 (1 bit haberleşme başlama, 8 bit veri, 1 bit haberleşme sonu) veri yapısı ile gerçekleştirilmektedir. Kullanılan mikrokontrolörün seri haberleşme çıkışı TTL (0-5V) düzeyinde olduğundan mikrokontrolörün haberleşme çıkış gerilimi ilk önce bir MAX232 entegresi kullanılarak RS-232 ( $\pm 12V$ ) seviyesine çıkarılmıştır (Şekil 2.26).

Pompa ile haberleşmek için, pompaya ilk önce bir komut gönderilmelidir. Gönderilen komut pompa tarafından alındıktan sonra işlenmekte ve pompa mikrokontrolöre cevap göndermektedir. Pompanın gönderdiği cevap bilgisi mikrokontrolör tarafından mutlaka alınmalıdır. Alınmazsa haberleşme kanalı, alınmayan birkaç byte veri sonrasında tıkanacaktır ve haberleşme kesilecektir. Bunun yanı sıra, veri göndermeden hiç beklenmeden pompadan dönen cevabı almaya çalışmak da yine haberleşmenin bozulmasına yol açacaktır. Bu yüzden, belirli bir süre beklenerek pompadan verinin gelip gelmediğinin kontrol edilmesi, pompadan gelen verinin mikrokontrolöre geldikten sonra okunmaya çalışılması gerekmektedir. Bu süreç, mikrokontrolörün programında iki adet fonksiyonla tanımlanmıştır. Pompaya gönderilecek komutlar fonksiyona tanımlanarak gönderilmekte ve pompadan komutlara cevap olarak gelen veriler gönderilen komutlarla beraber arayüzde gösterilmektedir.

Pompaya gönderilen komutlar:

- Her start verildiğinde gönderilmesi zorunlu olan ve değişmeyen komutlar olan VOL, DIR, STP, RUN komutları
- Belirlenen parametrelere göre değişik değerlerde gönderilen komutlar olan DIA, RAT komutları

olarak iki çeşite ayrılmaktadır.

İlk grupta sayılan komutların fonksiyonları:

VOL [2 ondalıklı 32 bit sayı veya hacim birimi] : VOL komutu, yanında belirtilen değere göre enjekte edilecek sıvının hacmi veya hacim birimini belirtmek için kullanılabilir.

Örneğin: VOL ml => Enjekte edilen sıvının birimi olarak ml seçildi

VOL 10 => Daha öncesinde ml olarak birim belirlendiği için VOL 10, 10 ml sıvı aktarılacağını belirtmek için kullanılmıştır.

VOL 0 => Pompanın sürekli sıvı iletmesi için kullanılmaktadır. Programda bu komut pompaya start komutu ile beraber gönderilmektedir.

DIR [INF/WDR/REV] : Pompanın sıvı enjekte edeceğini veya sıvı çekeceğini belirtmekte kullanılmaktadır. DIR INF komutu, pompanın sıvı enjekte edeceğini belirtmekte ve bu komut da pompaya start komutu ile beraber gönderilmektedir.

STP/RUN: Pompanın durması/çalışması için kullanılan komutlardır.

İkinci grupta sayılan komutların fonksiyonları:

DIA [2 ondalıklı 32 bit sayı] : DIA şırınganın mm cinsinden iç çapını belirtmek için kullanılmaktadır. Şırınganın hacmine ve üretici firmasına göre iç çapı değişmektedir. Şırınganın iç çapına göre debi değiştiğinden, bu değerin mutlaka belirtilmesi gerekmektedir. Pompaya her RUN komutu gönderildiğinde, belirtilen şırınga hacmine göre iç çap değeri pompaya gönderilmektedir.

RAT [2 ondalıklı 32 bit sayı ve/veya birim] : RAT komutu, debiyi belirtmek için kullanılır. Debi değeri, pompa çalışırken değiştirilebilmekle beraber, debi değerinin birimi pompa çalışırken değiştirilememektedir. Bu yüzden, 1 kereye mahsus birim değeriyle debi değeri girilmektedir. Eğer mesafe ile pompanın debisi değiştirilecekse ilk komuttan sonraki her komutun sadece 32 bit sayı içermesi gerekmektedir. Eğer pompaya pompa çalışırken sayı ile birim gönderilirse, bu komut pompa tarafından geçerli kabul edilmemektedir.

Pompaya komutlar c dilinde seri haberleşmede de kullanılabilen printf komutuyla gönderilmektedir. Gönderilen her komutun sonuna komutun bittiğine dair “\r” eklenmektedir.

Pompadan iki tür veri alınmaktadır.

- Komut ulaştı verisi
- Hata oluştu verisi

Komut ulaştı verisi, pompaya veri gönderildiğinde pompa tarafından gönderilen “OO” verisidir. Bu veriden sonraki verilerden ilk karakter, pompanın durumunu göstermektedir. Bu durumlar:

“A” : Alarm durumu

“S” : Pompa STOP konumunda

“P” : Pompa bekleme konumunda

“T” : Pompa çalışıyor

olarak tanımlanmıştır.

Bu veriden sonra eğer “?” var ise, bu bir hatayla karşılaşıldığı manasına gelmektedir. Hata kodları 4 ayrı şekilde ulaşmaktadır:

“?” : Pompadan sadece “?” gönderilmesi durumu mikrokontrolör tarafından gönderilen komutun pompa tarafından anlaşılmadığı manasına gelmektedir. Bu durumda komut tekrar gönderilmektedir.

“?NA” : Pompadan “?NA” gönderilmesi durumu, pompaya uygulanamaz bir komut gönderildiği anlamına gelmektedir. Bu duruma örnek olarak pompa çalışırken debi değerinin biriminin belirtilmesi verilebilir.

“?OOR” : Pompadan “?OOR” gönderilmesi durumu, pompaya pompanın çalışma değerlerinin dışında bir değer gönderildiği manasına gelmektedir. RAT 99.99 ml/m çalışma değerlerinin dışında bir değer olarak gösterilebilir. Bu durumda komut tekrar gönderilmemektedir.

“?COM” : Haberleşme hatası oluştuğunu belirtmektedir. Bu durumda pompaya gönderilen komut tekrar gönderilmektedir.

Pompadan alınan verilere göre yapılacak işlem belirlenmektedir. Gelen veri, eğer bir problem olduğuna işaret ediyorsa, problemin cinsine göre uyarı verilmektedir. Gelen veri verinin alındığına dair bir bilgi ise, bir sonraki komut gönderilmektedir.

### 2.3.2.2 Mikrokontrolör-sayısal potansiyometre arası haberleşme

Mikrokontrolörle sayısal potansiyometre arası haberleşme SPI (Serial Peripheral Interface- Seri çevresel arayüz) protokolü ile gerçekleştirilmektedir.

SPI protokolünde haberleşme tek ana (master) ve birçok bağımlı (slave) birim arasında oluşmaktadır. SPI haberleşmede tetikler (clock pulse) ortaktır. Bu nedenle ana ve bağımlı birimler aynı tetikle haberleşirler. Tetiğin düşen kenara veya yükselen kenara göre olması, haberleşmeyi değiştirmektedir. Bu durum, kullanılan ünitenin kataloğunda belirtilmektedir. Bunun haricinde tetiğin sıklığı parametresi de SPI tanımlamasında kullanılmaktadır. Cihazlar farklı tetik frekanslarında çalışmaktadır. Bu parametrenin de haberleşme yapılmadan belirtilmesi gerekmektedir. Protokolün ana tanımlamaları programın parametre tanımlama kısmında belirtilmiştir.

Kullanılan sayısal potansiyometre, Analog Devices marka AD5206 model 256 basamaklı, entegrede maksimum direnç değeri  $10k\Omega$  olan 6 potansiyometre bulunan, direnç değerlerinin SPI haberleşme ile belirlendiği bir sayısal potansiyometredir. AD5206, düşen kenar ile tetiklenmektedir. Aynı zamanda haberleşmenin başladığını ve bittiğini belirtmek için CS pini bulunmaktadır. CS pini terslenmiş bir pindir. CS pinine 5V uygulandığında bu entegrenin seçili olmadığı anlamına gelmektedir. Entegreyi seçmek, dolayısıyla haberleşmeyi başlatmak için CS pinine 0V ve bitirmek için de 5V uygulanmaktadır.

Entegre aktifleştirildikten sonra ilk olarak direnç değerinin belirleneceği potansiyometre bilgisi gönderilmektedir. Bu bilgi, 6 potansiyometreli AD5206 için 0-5 arası bir değerdir. Bu bilginin sonrasında ise belirlenen potansiyometrenin direnç değeri 0-255 arası bir değer olarak sayısal potansiyometreye gönderilmektedir. AD5206'da bulunan 6 adet potansiyometrenin her birinde 3 adet terminal bulunmaktadır. Bu terminaller A,W ve B terminalleridir. Tipik bir potansiyometre gibi, A ve B terminalinin arasındaki direnç değeri maksimum direnci, A ve W terminali ve W ile B terminali arasındaki dirençlerin toplamı da yine aynı şekilde maksimum direnci göstermektedir. Potansiyometreye gönderilen veriye göre direnç değeri değişmektedir. Potansiyometreye "0" verisi gönderildiğinde potansiyometrenin değeri B ve W arasındaki direnç değeri  $33\Omega$  gibi bir değer olurken A ile W arasındaki direnç değeri  $10k\Omega$  civarı bir değer olmaktadır. "255" değerinin potansiyometreye gönderilmesi durumunda A ile W arasındaki direnç  $33\Omega$ ,

B ile W arasındaki direnç ise  $10k\Omega$  civarı bir değer olacaktır. "127" değerinin gönderilmesi durumunda ise A ile W arası ve B ile W arasındaki direnç birbirine eşit, yani  $5k\Omega$  gibi bir değer olmaktadır. Buna göre, kademedeki her artış veya düşüş,  $41\Omega$  civarı bir değişim getirmektedir. Gereken direnç değeri, istenilen gerilim değerine göre hesaplanarak potansiyometreye gönderilmektedir. Bu gönderme işlemi "spi\_write(direnç değeri)" komutu ile yapılmaktadır. Değer gönderme işlemi gerçekleştirildikten sonra sayısal potansiyometrenin CS pinine 5V sinyali gönderilerek haberleşme tamamlanır.

Yüksek gerilim güç kaynağının çıkış değeri, potansiyometrenin her adımıyla 0.125 kV değişir. Bir başka söylemle, 8 adımda 1 kV'luk bir değişim söz konusudur. Bu çözünürlüğü sağlayabilmek için iki adet potansiyometre birbirine paralel bağlanmıştır. Daha düşük çözünürlük istenirse, daha fazla potansiyometre paralel bağlanarak kullanılabilir.

## 2.4 Tasarımın İyileştirilmesi

Elektro üretim tekniği ile nanolif üreten taşınabilir cihaz, pek çok aşamadan geçerek son şeklini almıştır. Bu aşamalar :

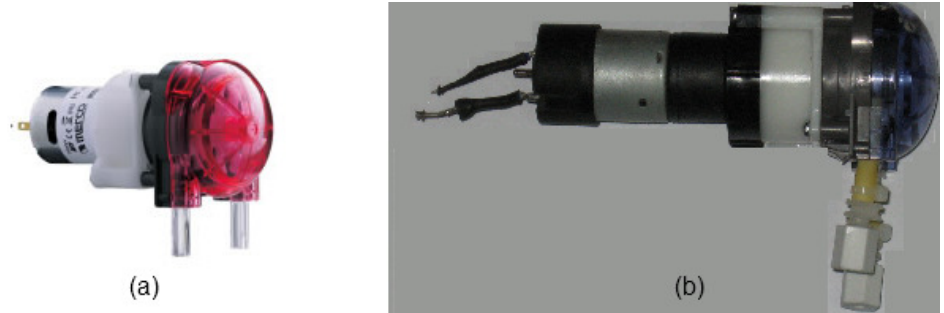
- Polimer besleme ünitesi seçimi
- Yüksek gerilim güç kaynağı seçimi
- Sensör seçimi
- Mikrokontrolör ve derleme yazılımı seçimi
- Yüksek gerilim güç kaynağının giriş gerilimi değiştirme metodunun seçimi
- Ek özelliklerin geliştirilmesi
- Tasarım ve tasarımın gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

Polimer besleme ünitesi olarak istenen özellikleri karşılayan ve piyasada bulunabilen üç tip pompa bulunmaktadır. Bunlar; şırınga, peristaltik ve dişli pompa olarak sıralanabilir. İlk olarak bedelsiz olarak temin edilen pompalar denenmiştir. Bu pompalar Welco WPX1 peristaltik pompa ve Cane Microjet Crono mini şırınga pompasıdır (Şekil 2.27).



**Şekil 2.27 :** Welco WPX1 peristaltik pompa ve Cane Microjet Crono pompa

İlk olarak Welco WPX1 peristaltik pompa numune olarak temin edilmiştir. Beraberinde gelen motor ile ulaşılabilen minimum debi değeri 10 ml/saat olduğundan ve istenilen debi değeri 1-2 ml/saat aralığında olduğundan pompadaki 24V 3000 d/dk motor sökülerek yerine 1/5 dişli oranlı 24V 625 d/dk'lık bir motor takılmıştır. Bu motor, istenilen değerlere yakın bir debi üretebileceği ve pompaya uygun en yüksek dişli oranlı motor olması nedeniyle tercih edilmiştir (Şekil 2.28).



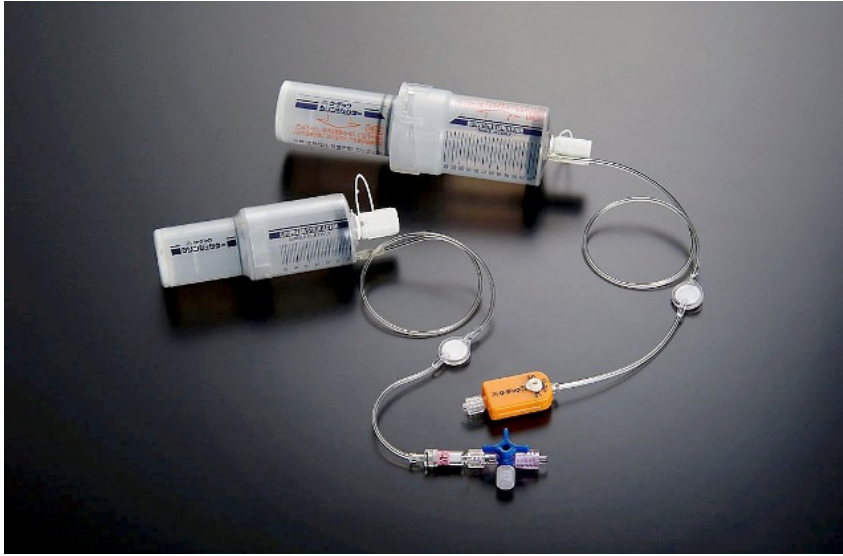
**Şekil 2.28 :** (a) Pompa 24V 3000 d/dk'lık motor ile (b) Pompa dişli motor ile

WPX1 pompa ile yapılan denemeler, peristaltik pompanın yapısı gereği sıvıyı büyük hacimler halinde iletmesi (>10 ul/h palsler şeklinde) nedeniyle polimerin istenilen düzeyde düzenli şekilde beslenemeyeceğini gösterdi. Bununla beraber, yine peristaltik pompanın mekanizması gereği, polimeri dışarıya taşıyan borunun polimer kabına daldırılmış olan ucunun hiç bir şekilde boşa çıkmaması gerekmektedir. Borunun ucunun boşa çıkması durumunda ise, pompa polimer yerine borudan hava

geçirecektir ve bu da sistemin verimsiz çalışmasına neden olmaktadır. Bunun çözümü ise, polimer haznesinin hiç bir şekilde hareket etmemesidir. Ancak taşınabilir olması istenen bir cihazda bu durum tercih edilebilir olmadığından peristaltik pompanın uygun olmadığına karar verilmiştir.

Cane Microjet Crono şırınga pompasında ise yine polimerin palsli iletilmesi ile ilgili problem yaşanmıştır. Polimer 22 ul/pals ile iletilmektedir. Buna göre, polimer debisinin 1 ml/saat olarak belirlenmesi durumunda, pompanın polimeri besleyen mekanizması 4 dakikada 3 kez hareket etmektedir. Bu da, sistemin sürekli aynı debide çalışmasının mümkün olmayacağı anlamına gelmektedir. Bu yüzden bu pompanın da uygun olmadığına kanaat getirilmiştir.

Deneme amaçlı ücretsiz olarak temin edilen pompalardan sonra ucuz bir alternatif olan tek kullanımlık (disposable) bir pompa denenmiştir. Normal kullanım koşullarında tek kullanımlık olan pompaların, taşınabilir cihazda pompanın steril olmasının gerekmemesinden dolayı sürekli kullanılabileceğine kanaat getirilmiştir. Bu amaçla, Daiken Medical Syrinjector marka bir adet pompa temin edilmiştir (Şekil 2.29). Fakat yapılan deneylerde pompanın çok viskoz sıvılarda çabuk tıkanıdığı fark edilmiş ve kullanılamayacağına karar verilmiştir.



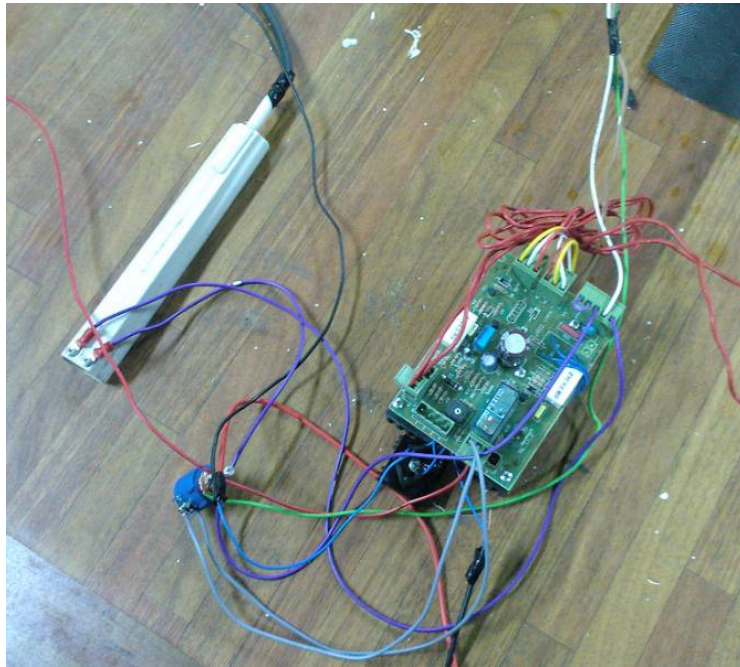
**Şekil 2.29 :** Daiken Syrinjector tek kullanımlık pompa

Ucuz alternatiflerin denenmesi ile daha işlevsel fakat maliyetli olan pompalar arasından uygun olabilecek iki pompa seçilmiştir. Bunlardan biri New Era NE-501 şırınga pompa, diğeri ise Microannular mizr-2921 dişli pompadır. Dişli pompanın

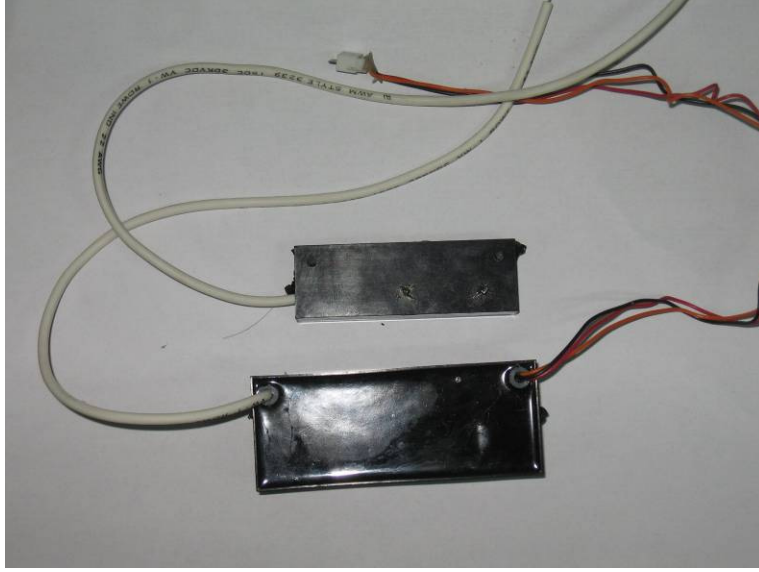
fiyatı, şırınga pompaya oranla üç kat daha pahalı olduğu için ilk olarak New Era NE-501 şırınga pompa tercih edilmiştir.

Yüksek gerilim güç kaynağı seçiminde; kaynağın pil veya akü ile beslenebilmesi, çıkış gerilim değerinin uzaktan ayarlanabilir olması, 0-40 kV arası çıkış gerilimi üretebilmesi ve gövdeye rahatlıkla yerleştirilebilecek büyüklükte olmasına dikkat edilmiştir. İlk olarak elektro üretim gibi yüksek genlikte statik elektrik kullanan uygulamalar incelenmiştir. Elektrostatik boya makinalarında benzer bir uygulama ile boyanın statik elektrik yardımı ile duvara aktarıldığı görülmüştür. Elektrostatik boya makinası imalatçısı olan Elektrosis'ten bir adet yüksek gerilim üreten kaskat temin edilmiştir (Şekil 2.30). Fakat kaskatın taşınabilir cihaza entegre edilemeyecek kadar büyük olmasından, çıkış geriliminin pratik şekilde ve net olarak ölçülememesinden ve çıkış yüksek gerilim değerinin %5-%10 dalgalanması nedeni ile daha uygun bir cihaz arama kararı alınmıştır.

Yurt içi ve yurt dışı firmaların taranması neticesinde gerek boyutu, gerekse fonksiyonları açısından en uygun yüksek gerilim güç kaynağının Emco DX-250 olduğuna kanaat getirilmiştir. Yanına eklenebilen V1G modülü vasıtası ile çıkış gerilim değerinin ölçülmesi mümkün kılınmıştır (Şekil 2.31).



**Şekil 2.30 :** Elektrosis'ten temin edilen kaskat modülü



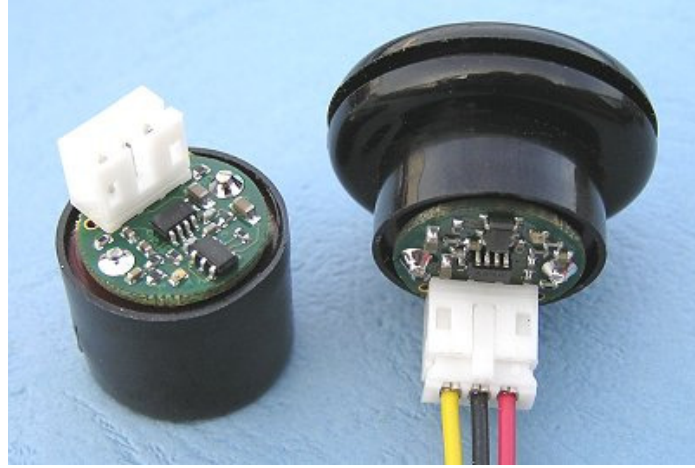
**Şekil 2.31 :** Emco DX250 yüksek gerilim güç kaynağı ve V1G yüksek gerilim ölçer modül

Proje başlangıcında yüksek gerilim ve debinin elle girilerek elektro üretim yapılması planlanmıştır. Fakat projenin ilerleyen dönemlerinde cihaza, elektro üretim parametrelerinin elle kontrolünü sağlayan fonksiyonun yanı sıra cisimle aradaki mesafenin ölçülerek debi ve yüksek gerilim değerlerini otomatik olarak belirleyen bir kontrol fonksiyonu eklenmesine karar verilmiştir.

Mesafe algılayıcısında algılayıcının ölü mesafesinin elektro üretim yapılan alanlar haricinde olması gerekmektedir. Elektro üretimin gerçekleştiği mesafe aralığına uygun algılayıcılar araştırılmış ve ultrasonik, lazer ve optik tip mesafe algılayıcılarının uygun olabileceği görülmüştür.

Lazerli ölçüm, hassas fakat bir o kadar da maliyetli olduğu için ilk planda düşünülmemiştir.

Ultrasonik algılayıcı olarak ölü mesafesi, kullanım kolaylığı ve son derece küçük olmasından dolayı Devantech SRF01 algılayıcı üretici firmadan satın alınmıştır (Şekil 2.32). Fakat gerek gürültüden etkilenmesi, gerekse algılama açısının çok geniş olmasından dolayı (SRF01'in 55°'lik bir algılama açısı vardır [24]) yanlış ölçüm yapması nedeniyle cihazda kullanılamayacağına karar verilmiştir

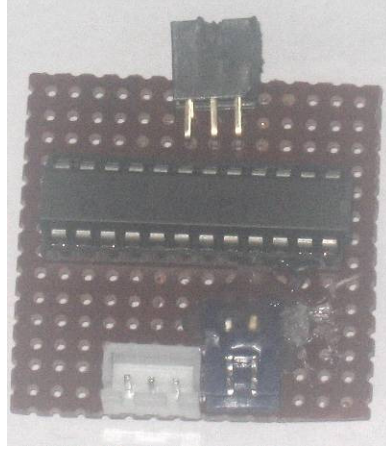


**Şekil 2.32 :** Devantech SRF01 ultrasonik algılayıcı

Optik algılayıcı olarak ise, gerek ölü mesafesi gerekse hassasiyeti göz önünde bulundurularak bir adet Sharp gp2y0a21yk optik algılayıcı satın alınmıştır.

Tüm giriş ve çıkışlar tanımlandıktan sonra, mikrokontrolör seçimi yapıldı. Mikrokontrolör seçiminde giriş/çıkış ve haberleşme açısından tasarımda ileride yapılabilecek değişimleri kapsayabilmesi, fiyat/özellik eğrisinin uygun olması ve piyasada kolaylıkla bulunabilmesi kriterleri dikkate alınmıştır. Dijital giriş/çıkış sayısının fazla olması ve donanımsal SPI ve RS232 haberleşme olanağı sunması nedeniyle mikrokontrolör olarak PIC 16F877A seçilmiştir. Derleyici olarak da, mikrokontrolörün kolay programlanabilmesi açısından PIC Basic Pro derleyicisi kullanılmış, fakat 16 ve 32 bit işlemlerin ağırlık kazanması nedeniyle daha karmaşık fakat donanıma daha hâkim bir derleyici olan CCS C derleyici kullanılmıştır.

Yüksek gerilim güç kaynağının çıkış geriliminin ayarlanabilmesi için ilk olarak yüksek gerilim güç kaynağına potansiyometre bağlanarak yüksek gerilim güç kaynağının çıkış geriliminin değiştirilmesi amaçlanmıştır. 5k'lık mekanik bir potansiyometre ile yüksek gerilimin çıkışı sorunsuz bir şekilde değiştirilmiştir. Bunun üzerine, mikrokontrolörden yüksek gerilim güç kaynağının potansiyometre girişine bağlı bir sayısal potansiyometreye komut gönderilerek yüksek gerilim güç kaynağının çıkış değerinin değiştirilebileceği düşünülmüş ve bunu denemek için bir adet Analog Devices AD 5206 kullanılarak delikli pertinakstan bir devre oluşturulmuştur (Şekil 2.33). Fakat cihazın topraksız çalıştırılması nedeniyle entegre ve yüksek gerilim güç kaynağının potansiyometre girişi arkın etkisi ile kullanılamaz hale gelmiştir.



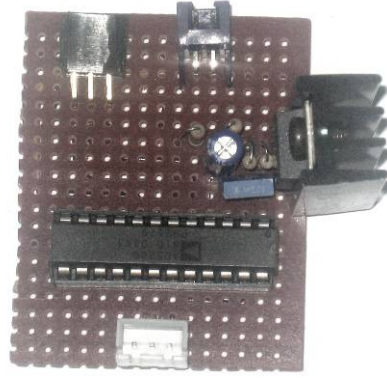
**Şekil 2.33 :** Mikrokontrolör tarafından kontrol edilen AD5206 entegreli yüksek gerilim güç kaynağı çıkış gerilimi kontrol devresi

Bunun üzerine, var olan yüksek gerilim güç kaynağının çıkış geriliminin, giriş gerilimi ile değiştirilmesi denenmiştir. İlk olarak mikrokontrolörden PWM sinyali ile yüksek gerilim güç kaynağı sürülmeye çalışılmıştır. Bunun için delikli pertinaks üzerine 5V ile sürülebilen bir kalıcı durum rölesi (SSR) yerleştirilmiş ve rölenin çıkışı yüksek gerilim güç kaynağının girişine bağlanmıştır (Şekil 2.34).



**Şekil 2.34 :** Mikrokontrolör tarafından kontrol edilen PWM ile sürülen kalıcı durum röleli yüksek gerilim güç kaynağı çıkış gerilimi kontrol devresi

Fakat yüksek PWM frekanslarında yüksek gerilim güç kaynağı maksimum çıkış gerilimi üretmiş, PWM frekansı düşürüldüğünde ise yüksek gerilim güç kaynağı ON-OFF şeklinde çalışmıştır. Bu yüzden, yüksek gerilim güç kaynağına girilen gerilim değerinin değiştirilebilmesi için LM317 regülatör entegresinin ayar bacağına sayısal potansiyometre bağlanarak mikrokontrolör kontrollü ayarlı DC gerilim regülatörü uygulaması yapılmıştır (Şekil 2.35).



**Şekil 2.35 :** Mikrokontrolör tarafından kontrol edilen regülatör uygulaması

Devre ile gerçekleştirilen ilk denemelerde yüksek gerilim güç kaynağına 3-7 volt arasında ayarlanabilen gerilim beslenebilmiştir. Sonradan bunun nedeni olarak sayısal potansiyometrenin üzerinden geçen gerilimin en fazla 7 volt olabileceği fark edilmiştir. Bu nedenle, sayısal potansiyometrenin önüne 2k direnç girilerek sayısal potansiyometreden daha az gerilim geçmesi sağlanmıştır. Bu değişiklik ile çıkış gerilimi, minimum sayısal potansiyometre direnci ile 13,6 kV olarak elde edilmiştir. Minimum elektro üretim geriliminin 15 kV olduğu düşünülerek sistemin 15-25 kV arası kontrol edilmesi sağlanmıştır.

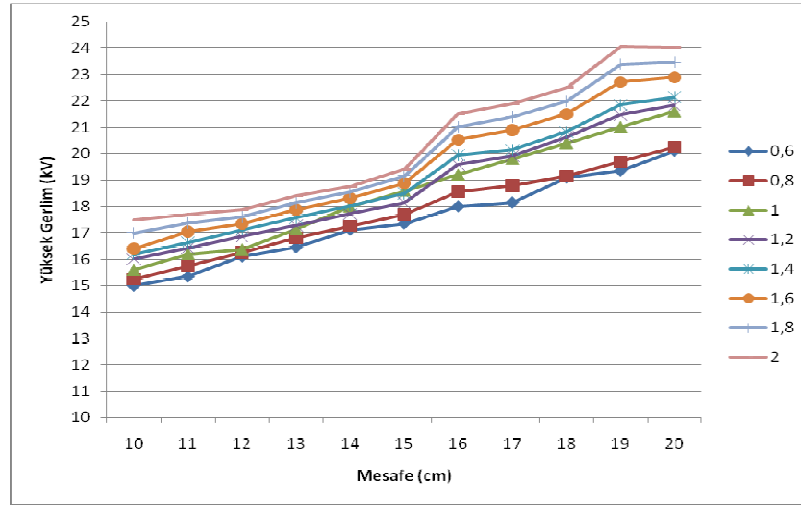
Cihazda taşınabilir güç kaynağı olarak 12V 2.6Ah akü kullanılmış, fakat akünün geriliminin azalmasının yüksek gerilim güç kaynağının çıkışını direkt olarak etkilediği görülmüş ve pil durumunun mikrokontrolör vasıtası ile okunması sağlanarak LCD ekrana pil durumunu gösteren bir işaret yerleştirilmiştir. Bununla beraber, zaman içerisinde akünün kullanılamaz hale gelmesi nedeniyle cihazda farklı bir gerilim kaynağı kullanılması gerektiğine karar verilmiş ve kullanılacak gerilim kaynağı 18V olarak seçilmiştir. 18V'luk gerilim bir regülatör ile 14V'a düşürülerek pompa ve yüksek gerilim güç kaynağına beslenmiştir. Yüksek gerilim güç kaynağından önce 14V'luk gerilim tekrar regüle edilerek yüksek gerilim güç kaynağına beslenmiş ve çıkış geriliminin giriş gerilimine göre ayarlanması sağlanmıştır.

Mesafe algılayıcısının etrafından gelen cisimlerden etkilenmemesi, sadece karşısındaki cisme göre mesafe verisi üretmesi ve algılayıcının ölü bölgesine cisim geldiğinde algılayıcının yanlış mesafe bilgisi üretmesinden dolayı iğne ucuna 60 mm uzunluğunda bir parça eklenerek iğnenin ucuna bir cismin yaklaştırılması durumunda bu durumun algılanması için bir adet optik var/yok algılayıcı cihaza eklenmiştir.

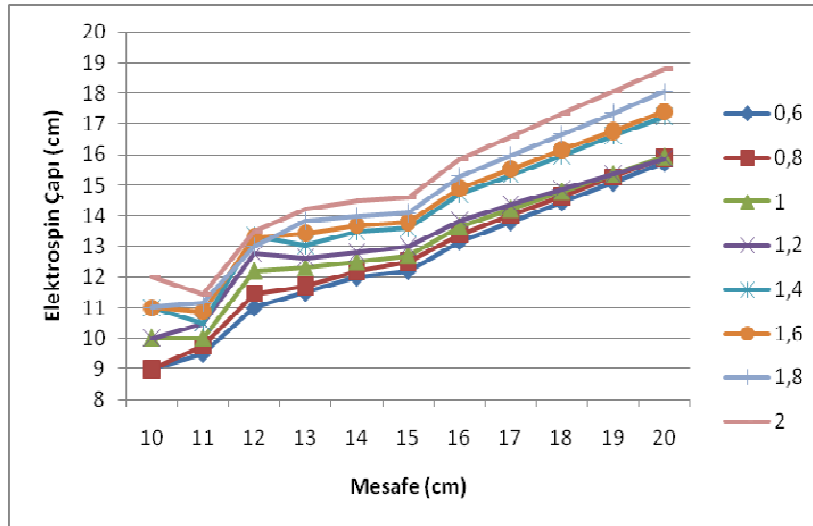
Tasarım bu bilgiler ışığında gerçekleştirilmiş fakat yüksek imalat maliyeti nedeniyle ilk olarak cihazın parçaları bir devre kutusuna yerleştirilerek denenmiş, daha sonra daha ergonomik ve görünüş olarak tasarıma daha yakın olan pleksiglastan imal edilen bir gövde içine yerleştirilerek denemeleri tamamlanmıştır.

### 3. CİHAZDA GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEMELER

Cihazda ilk planda optimum mesafe-yüksek gerilim-debi eğrisi çıkarılmıştır. Denemelerimizde 150 cp vizkosite – 110 uS/cm iletkenlik değerlerine sahip bir polimer kullanılmıştır. Bununla beraber üretilen ürünün yüzey çapı da deney sonuçlarında gösterilmiştir.



Şekil 2.36 : Mesafeye göre yüksek gerilimin ve debinin değişimi



Şekil 2.37 : Mesafeye ve debiye göre ürün çapının değişimi



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektro üretim tekniği ile nanolif üreten taşınabilir cihazda ürün üretimine başlanmıştır ve güvenli kullanım için yeterli özelliklere sahiptir.

Fakat cihaz, yüksek gerilim güç kaynağının oluşturduğu statik gerilimin girişe aksetmesinden ve pompanın yüksek gerilimle polimerin iletken yapısı nedeniyle birbirine dolaylı olarak temasından dolayı yüksek gerilimden etkilenmektedir. Bu yüzden cihazın mutlaka topraklanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, ilk aşamada tek tip çözelti ile mesafeye göre debi ve yüksek gerilim parametreleri elde edilmiştir.

Projenin ilerleyen aşamalarında, topraklama yapmadan kullanılabilecek bir güç kaynağı seçilerek cihazın topraklanmadan kullanılabilmesi ile farklı çözeltiler denenerek bu çözeltilerin mesafeye göre en uygun gerilim ve debi değerlerinin tespit edilmesi ve yazılımda gerekli değişiklikler gerçekleştirilerek polimer tipinin seçilmesi ile mesafe değerine göre debinin ve yüksek gerilim parametrelerinin belirlenmesi planlanmıştır.

Bununla beraber, devre kutusu kullanılarak ve pleksiglastan yapılan prototiplerde 10-80 cm'lik mesafe aralığı bulunan SHARP optik algılayıcı kullanılmıştır. Bu algılayıcı, imal edilen prototiplerde iğneye paralel konumda bulunan bir cisimi görecektir şekilde konumlandırılmıştır. Olabildiğince iğne ucuna yakın olan bu algılayıcı, iğne ucu ile cisim arasındaki mesafeyi okumak için yeterli olmakla beraber, projenin ilerleyen aşamalarında iki adet algılayıcının çapraz yerleştirilmesi ile mesafe ölçümü gerçekleştirilebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Warad, H.C. and Dutta, J.**, 2005; Nanotechnology for Agriculture and Food Systems-A View. *Proc. Of the 2nd International Conference on Innovations in Food Processing Technology and Engineering*, Bangkok, January 11-13.
- [2] **Kaymakçı, K., Gümüş, T., and Bölek, U. K.**, 2007; Elektro üretim Metoduyla Membran Tasarımı ve Üretim, Lisans Bitirme Tasarım Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi.
- [3] <http://www.asse.org/practicespecialties/articles/nantechArticle.php>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [4] <http://www.electronics.ca/presscenter/articles/825/1/Global-Market-for-Nano-technology-Slated-for-High-Growth-through-2013/Page1.html>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [5] **Oruç, F., Onat, A., and Kılıç, A.**, 2006; Elektro-Üretim Metoduyla Üretilen Liflerle İplik Eldesi ve Tüylendirme Mekanizması Tasarımları, Lisans Bitirme Tasarım Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi.
- [6] **Tsai, P.P., Chen, W. and Roth, J.R.**, 2003; Investigation of Meltblown Microfiber and Electrospun Nanofiber Fabrics Treated By a One Atmosphere Uniform Glow Discharge Plasma, *Proceedings of the 13th International TANDEC Nonwovens Conference*, Knoxville, 1-23.
- [7] **Kozanoğlu, G. S.**, 2006; Elektrospinning Yöntemiyle Nanolif Üretim Teknolojisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] **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.
- [9] **Demir, A., ve Oruç, F.**, 2004; Polimer Esaslı Nanoliflerin Üretimi, *Tekstil Araştırma Dergisi*, 2, 28-30.
- [10] **Url-1** <http://www.hillsinc.net/nanofiber.shtml>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [11] **Url-2** [www.emcohighvoltage.com/DXseries.pdf](http://www.emcohighvoltage.com/DXseries.pdf), alındığı tarih 08.12.2009.
- [12] **Url-3** <http://www.electrospinz.co.nz/products.php> , alındığı tarih 08.12.2009.
- [13] **Url-4** <http://www.elmarco.com/nano/nanospider>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [14] **Url-5** <http://www.longfian.com/enproduct/enuser/view.asp?proid=224>, alındığı tarih 08.12.2009.

- [15] **Url-6** <<http://www.animatedsoftware.com/pumpglos/peristal.htm>>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [16] **Url-7** <[http://www.welco.net/wpx1a\\_e.html](http://www.welco.net/wpx1a_e.html)>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [17] **Url-8** <[http://www.daiken-iki.co.jp/english/contents/products/catalog/pdf/anesthesia/sj\\_200708.pdf](http://www.daiken-iki.co.jp/english/contents/products/catalog/pdf/anesthesia/sj_200708.pdf)>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [18] **Url-9** <<http://www.idex-hs.com/products/ProductDocument.aspx?DocumentID=933>>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [19] **Url-10** <<http://www.animatedsoftware.com/pumpglos/peristal.htm>>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [20] **Url-11** <[http://www.dienerprecisionpumps.com/en/piston\\_pump\\_4.html](http://www.dienerprecisionpumps.com/en/piston_pump_4.html)>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [21] **Url-12** <<http://www.syringepump.com/oem.htm>>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [22] **Url-13** <<http://www.mil.ufl.edu/~chrisarnold/design2.html>>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [23] **Url-14** <<http://document.sharpsma.com/files/GP2Y0A21YK-DATA-SHEET.PDF>>, alındığı tarih 08.12.2009.
- [24] **Url-15** <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/114282287/HTMLSTART>>, alındığı tarih 08.12.2009
- [25] **Url-16** <<http://www.freepatentsonline.com/6753454.html>>, alındığı tarih 08.12.2009

## **EKLER**



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad: Salih GÜLŞEN**

**Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 23.04.1984**

**Lisans Üniversite: Marmara Üniversitesi**