

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ ORTAMLAR
İÇİN
SENSÖR AKIŞ HÜCRESİ GELİŞTİRİLMESİ

Ercan ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Biyomühendislik Anabilim Dalı
Biyomühendislik Programı

Danışman
Prof. Dr. İbrahim İŞILDAK

Haziran, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ ORTAMLAR

İÇİN

SENSÖR AKIŞ HÜCRESİ GELİŞTİRİLMESİ

Ercan ASLAN tarafından hazırlanan tez çalışması 08.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik Anabilim Dalı, Biyomühendislik Programı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim İŞILDAK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim İŞILDAK, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cem Bülent ÜSTÜNDAĞ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mahfuz ELMASTAŞ, Üye

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim İŞILDAK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Hareketli Ortamlar için Sensör Akış Hücresi Geliştirilmesi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ercan ASLAN

İmza

TEŞEKKÜR

Lisans bitirme tezi çalıőmamdan bu yana kendisinin öğrencisi olmaktan dolayı gurur duyduğum, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak yüksek lisans eğitimim boyunca da bana yol gösteren, ilgisini eksik etmeyen, değerli hocam, danışmanım Prof. Dr. İbrahim IŞILDAK'a,

Yüksek lisans eğitimim süresince başta tez çalıőmamda olmak üzere birçok konuda yardımlarını gördüğüm, Őu yoğun eğitim sürecini bir parça olsun keyifli kılan, sevgili arkadaşım Kaan ŐENDAL'a ,

Her zaman olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ercan ASLAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	1
MİKRO AKIŞKAN SİSTEMLERİ	3
2.1 Mikro Akışkan Çipler ve Özellikleri.....	4
2.2 Mikro Akış Teknolojisinde Kullanılan Malzemeler	6
2.3 Mikro Akışkan Sistemlerin Üretim Teknikleri	8
2.4 Mikro Akışkan Sistemlerde Kullanılan Komponentler.....	16
MATARYEL METOD	18
3.1 Kullanılan Materyaller ve Cihazlar	18
3.2 Metod	19
SONUÇ VE ÖNERİLER	25
4.1 Peristaltik Pompasının Sıvı Viskozitesi ve Akış Hızına Bağlı Performansının Değerlendirilmesi	25
4.2 Akustik Pompanın Sıvı Akışı Üzerindeki Etkileri	28
4.3 Akustik Pompanın Valf Olarak Kullanımının İncelenmesine Ait Sonuçlar	30
4.4 Pompa ve Valflerin Sensör Akış Hücrelerindeki Performansına Etkisi	30
4.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler	32
KAYNAKÇA	34
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	38

SİMGE LİSTESİ

μ l	Mikrolitre
μ m	Mikrometre
μ TAS	Mikro Toplam Analiz Sistemleri
cP	Poise
$^{\circ}$ C	Santigrad
HRC	Sertlik birimi



KISALTMA LİSTESİ

A	Amper
CAD	Computer Aided Manufacturing(bilgisayar destekli üretim)
cm	Santimetre
CNC	Computer Numeric Control (bilgisayar destekli numerik kontrol)
DC	Doğru Akım
ÇÜL	Çip Üstü Laboratuvar
Hz	Herz
MEMS	Mikro Elektro Mekanik Sistemleri
KHz	Kiloherz
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mV	Milivolt
PC	Polikarbon
PDMS	Polidimetilsiloksan
PMMA	Polimetil metakrilat
SLA	Stereolitografi
V	Volt

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sürekli akış tabanlı mikro akış sistemleri	5
Şekil 2.2 Damlacık temelli mikro akış hücresi	5
Şekil 2.3 Elektro ısıtma tekniği	6
Şekil 2.4 Üç eksen CNC sisteminin şekli ve kodlama sistemi	10
Şekil 2.5 Foto polimerizasyon yöntemi ile oluşturulmuş şablonun kimyasal aşındırma basamakları	11
Şekil 2.6 Elektro erozyonun işlem sırasında malzeme ve elektrotta oluşan deformasyonu	12
Şekil 2.7 Dalma erozyonuna ait şematik gösterim	13
Şekil 2.8 Lazer markalama ile işlenen bir MEMS örneği	14
Şekil 2.9 Üç boyutlu printer ile üretilmiş mikro yapılar	15
Şekil 2.10 Yumuşak litografinin uygulanması	16
Şekil 3.1 CAD ortamında tasarlanan mikro akış sisteminin 3 boyutlu yapıları	20
Şekil 3.2 Freecad ortamında tasarlanan peristaltik pompa düzeneği.....	21
Şekil 3.3 Mikro akış sistemler için tasarlanan 10 lu pompa test düzeneği.....	21
Şekil 3.4 Akustik pompanın CAD tasarımı ve bileşenleri.....	22
Şekil 3.5 Kontrol sistemi ve bileşenleri.....	23
Şekil 3.6 Motor kontrol yazılımı	24
Şekil 4.1 Hortum iç çapı ve akış hızının grafiği iki parametrenin arasında eksponansiyel ilişki	26
Şekil 4.2 Düzensiz çalışan sensör spektrumu.....	31
Şekil 4.3 Anlamsız veri üreten pH sensörü	31
Şekil 4.4 Anlamlı ve stabil sonuçlar veren sensör spektrumu.....	32

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Mikro akışkan sistemlerde kullanılan malzemelerin kimyasal ve ısı dayanımları	7
Tablo 3.1 Kullanılan kimyasallar	18
Tablo 3.2 Kullanılan devre elemanları	19
Tablo 3.3 Kullanılan cihazlar	19
Tablo 4.1 Hortum iç çapı değişimine bağlı olarak ölçülen akış hızları	25
Tablo 4.2 Peristaltik pompanın viskozite ve Akış hızı tablosu	27
Tablo 4.3 Tam kapasite ile pompalanamayan madeni yağın ısı ile akış hızına etkisi	28
Tablo 4.4 Pompanın voltaj-çalışma durumu ve çalışmama nedenleri	28
Tablo 4.5 Voltaj-çalışma durumu ve maksimum frekans değerleri	29
Tablo 4.6 Pompa giriş çıkış kanallarının çap değerleri ve çalışabildikleri sıvı yoğunluğu	29

Hareketli Ortamlar için Sensör Akış Hücresi Geliştirilmesi

Ercan ASLAN

Biyomühendislik Anabilim Dalı

Biyomühendislik Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim İŞILDAK

Mikroelektronik çipler için 1950 li yıllarda geliştirilen litografi tabanlı mikro teknolojinin icadından sonra, bu sistemlerin sıvı ve gaz akışında da kullanılabileceği fark edilmiştir. Mikro ölçek mertebesinde kullanılan yapılarla ilk mikro basınç sensörü 1966 yılında geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda mikro ölçekte yapıların daha da küçülmesi ile mems teknolojisi buna bağlı olarak çip üstü laboratuvar teknolojisi gelişme sağlamıştır. Mikro pompa, valf sistemleri, mikro elektronik ve mikro sensör yapıları sayesinde daha küçük daha gelişmiş cihazların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Geliştirilen bu yapılar belli bir plan doğrultusunda kullanıldığı zaman mikrolitre metrebesinde çalışan malzeme sarfiyatı düşük, hızlı ve güvenilir sonuçlar üretebilen tam veya yarı otomatik sistemleri meydana getirmiştir.

Bu çalışmada, geleneksel çip-üstü-laboratuvar komponentlerinden modüler olarak pompa ve valf komponentlerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Değişik dipollere sahip moleküller üzerinde su, etil alkol, izopropil alkol, aseton gibi çözücülerin yapıya etkisi sıvı akışındaki etkileri incelenmiştir. Bunun yanında benzen, hexan, toluen gibi apolar çözücülerin

malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Polar çözücülerdeki pH ve sıcaklık değerlerinin değişimi sonucu olası etkileri incelenip değerlendirilmiştir. Bunun sonucunda elde edilen parametreler ile tekniğin otomasyona uygunluğu kontrol edilmiştir.

Anahtar kelimeler:Çip üstü laboratuvar, mikro akışkanlar, sensörler, kontrol teknolojisi



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Developing Sensor Flow Cells for Flowing Environments

Ercan ASLAN

Department of Bioengineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim Işıldak

After the invention of technology on chip. Thanks to the micro pump, valve systems, micro electronics and micro sensor structures, it has allowed the development of smaller and more advanced devices. When these developed structures are used in accordance with a certain plan, full or semi-automatic systems that operate in microliter meters with low material consumption and produce fast and reliable results have created.

In this study, modular pump and lithography-based micro technology developed for microelectronic chips in the 1950s, it was realized that these systems could also be used in liquid and gas flow. The first micro pressure sensor was developed in 1966 with structures used on the micro scale. In the following years, with the shrinking of micro-scale structures, mems technology has improved accordingly, laboratory valve components were developed from traditional on-chip-laboratory components. The effects of solvents such as water, ethyl alcohol, isopropyl alcohol, acetone on the molecules with different dipoles on the structure and their effects on the liquid flow were investigated. In addition, the effects of apolar solvents such as benzene, hexane and toluene on the material were investigated. The possible effects of the changes in pH and temperature values in polar solvents were examined and evaluated. As a result, the compatibility of the technique with automation was checked with the parameters obtained.

Keywords: Lab-on-a chip, micro fluids, sensors, control technology



**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING**

1.1 Literatür Özeti

Mikro akışkan teknolojisi hassasiyeti ve hızlılığı sebebiyle günümüzde kimya ve elektronik sektörünün odak noktası haline gelmiştir. 2019 yılında başlayan salgınında etkisiyle hızlı ve hassas tanının önemini bir kez daha anlamış bulunmaktadır.

Mikro akışkan teknolojisi uzun zamandır çevremizde kullanılmaktadır. Yazıcıların mürekkep püskürtme mekanizması, kan sayımı, hamilelik testleri gibi gündelik yaşamda kullandığımız ürünlerin içinde çip üstü laboratuvar teknolojisi kullanılarak oluşturulmuş parçaları mevcuttur. Bu teknolojilerin hız ve hassasiyetin yanında diğer bir tercih edilme sebebi iste kalifiyeli personele olan gereksinimi ortadan kaldırım insana bağlı hataları en aza indirmektedir. Bunun yanında sarf malzeme sarfiyatını da en az seviyeye indirerek ekonomik olarak bir artı sağlamaktadır. Günümüzde klasik yöntemlerle yapılan çalışmalarda çalışmanın önemli bir kriteri tekrarlanabilirlik olup bu durum özellikle hassas çalışmalarda sağlanamamaktadır. Çip teknolojisi kullanarak yapılan çalışmalarda sonuçlar çok küçük bir yüzde ile sapmalar göstermektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada klasik olarak üretilen çip üstü laboratuvar tasarımlarından farklı olarak modüler olarak üretilmiş çip üstü laboratuvar komponentleri kullanarak hızlı ve etkili sistemler kurulması amaçlanmıştır. Günümüzde var olan modüler çip üstü laboratuvar çalışmalarında eksik olan komponentlerin üretimi ile ilgili çalışmalar yaparak sistemin otomasyona uyumluluğu denenmiş ve farklı karakterdeki sıvılar üzerinde deneyler yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Biyomedikal cihazların geliştirilmesinde maliyet çok önemli bir boyut olmaktadır. Programlanabilir ve maliyeti düşük cihazların geliştirilmesi için açık kaynaklı,

laboratuvarda kullandığımız cihazların minyatürünü yapmaya çalışarak modüler çip üstü laboratuvar konsepti oluşturulup kimyasal ve biyolojik sıvılardaki çalışma verimleri incelenmiştir.



MİKRO AKIŞKAN SİSTEMLERİ

Mikro akışkan sistemleri, mikrolitre ve mililitre bazında işlem yapabilen sistemlere verilen isimdir. Sıvıların laboratuvar proseslerini ölçek düşürmesiyle çok küçük alanlara sığdırılabilmesidir. Genel olarak analiz amacı ile kullanılmaktadır. Çip üstü laboratuvar (ÇÜL) sistemleri, mikro elektromekanik sistemler (MEMS), mikro toplam analiz sistemleri (μ TAS) gibi sistemler mikro akışkan sistemlerinin alt dalıdır. Bunlar genelde birbirine yerine yayınlarda çok kullanılmaktadır. Birbirine çok yakın çalışma prensipleri olmasına karşın bazı noktalarda ayrımları mevcuttur. Çip üstü laboratuvar sistemleri (ÇÜL), piko litre mertebesinde sıvılarla işlem yürüten sistemlerdir. Mikroakışkanlar dinamiği prensiplerinin kullanıldığı çip-üstü-laboratuvar (ÇÜL) teknolojisi, birçok alanda çoğu şeyin minyatürize edildiği günümüzde bilim insanlarına laboratuvarında geleneksel olarak yapılan birçok analizin mikro-ölçekte yapılmasına olanak sağlamaktadır [1] ÇÜL teknolojisinin gelişmesi akışkanlar mekaniği, termodinamik, elektrostatik ve kimya gibi alanlardan malzeme bilimlerine kadar birçok disiplinin bir arada çalışması ile gerçekleşmiştir [2]. Çip üstü laboratuvar sistemleri ile μ TAS sistemler genelde birbirine yerine kullanılmaktadır. Aralarındaki farkı belirtmek gerekirse; ÇÜL sistemleri çok adımlı bir prosesi yaparken μ TAS sistemler ise bir kimyasal analizi gerçekleştirmektedir. MEMS ise bu gruptan farklı olarak sıvıların dışında katı hal fiziği, klasik mekanik gibi konuları içeren minyatürize sistemleri de kullanmaktadır.

Mikroakışkan sistemleri fiziksel kuralları kullanarak sıvı manipülasyonu sağlamaktadır. Pompa, valf, karıştırıcı gibi komponentler ile sıvıların kontrollü bir şekilde hareketi sağlanarak analiz ve bazen de sentez prosesleri yapılmaktadır. Bu sistemler genel olarak üç bölümden oluşur; Saflaştırma, ön muamele ve sensör ölçüm bölümleridir. Saflaştırma kısmında numune fiziksel ayırma işlemlerinden geçerek partikül uzaklaştırması veya belli boyutların elenmesi işlemleri yapılır. Ön muamele aşamasında belli kimyasallar eklenerek sistemde ölçüm yapılacak analitin sensördeki sinyalini arttırmak için belli kimyasal reaktifler eklenerek sinyal güçlendirme veya işaretleme işlemleri yapılır sensör kısmında ise ölçüm yapılarak nitel veya nicel veriler elde edilir.

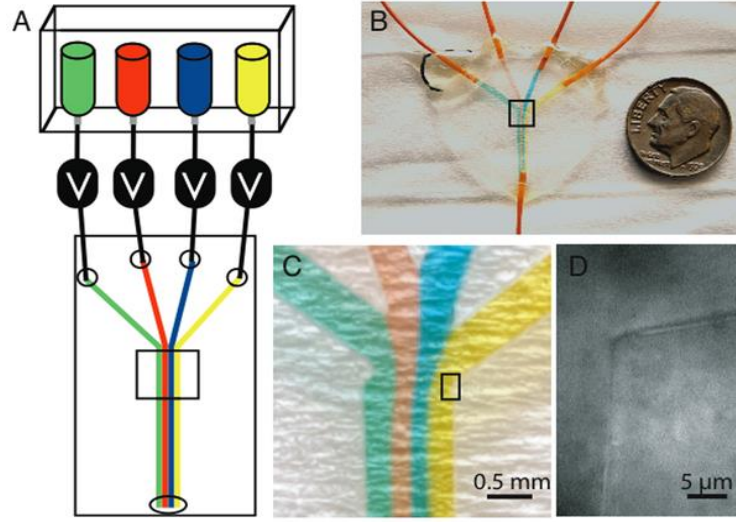
Mikroakışkanlar cihazlar, son dönemlerde mikro hacimleri yüksek hassasiyetle kontrol etmek için kullanılan önemli araçlar haline gelmiştir. Mikro-litre ve piko-litre seviyesindeki sıvıları kontrol etmesi bu teknolojideki önemini daha çok artırmıştır. Bu miktarlardaki küçülme sayesinde malzeme sarfiyatı önemli ölçüde azalmakla beraber analizlerin hızı, duyarlılığı ve güvenilirliği önemli ölçüde artmıştır. Bu sayede bu teknoloji analitik kimya, biyoteknoloji ve birçok mühendislik alanında vazgeçilmez bir konuma gelmiştir. Son zamanlarda, mikro elektro mekanik sistemler teknolojisinin biyomedikal, robotik, giyilebilir sistemler ve tahrik sistemleri gibi birçok uygulama alanında yer edinmiştir [3].

2.1 Mikro Akışkan Çipler ve Özellikleri

Mikro akışkan çipler genelde 3 farklı strateji üzerinden sıvıları manipüle etmektedir; Sürekli akış, damlacık temelli akış ve elektro ıslatma temelli damlacıkların dijital kontrolü şeklindedir. Bu sistemlerin yaptıkları işler aynı olmasına karşın aralarında ufak farklılıklar vardır.

2.1.1 Sürekli Akış Temelli Mikro Akışkan Çipler

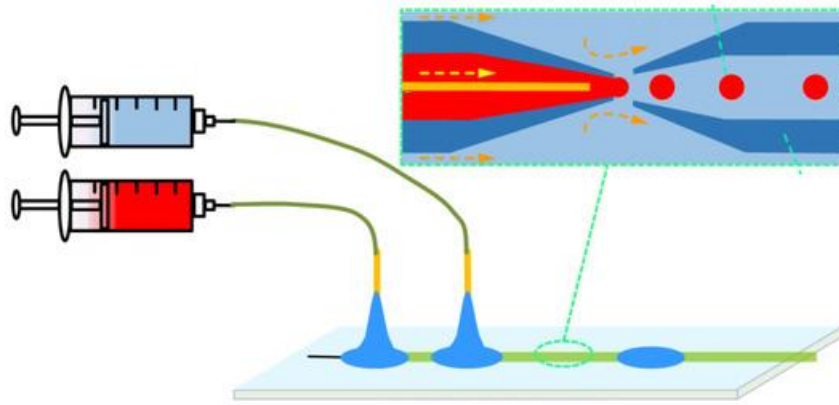
Mikro akışkan çip teknolojisinde en çok kullanılan çeşitleri bu tip çiplerdir. Genel olarak bir şırınga pompası ya da bir sürekli akış sağlayan bir yapı sayesinde ortama kimyasalların sürekli olarak verilmesi ile çalışır (Şekil 2.1). Yapısal olarak açık kanal ve kapalı kanal olmak üzere 2 ye ayrılır. Açık kanal sistemler kanalın bir kapak tarafından mühürlenerek oluşturulan tasarımlardır. Açık kanal sistemler kapalı kanal sistemlerine göre daha kolay temizlenebilir sistemlerdir ve üretimleri kolaydır. Kapalı kanal sistemler ise malzemenin içinde oluşturulan ve kanalların uçları haricinde dış ortamla bağlantısı olmayan sistemlerdir. Üretimleri geçmiş yıllarda karmaşık olduğu için tercih edilmemekteydi fakat günümüzde teknolojinin bize kazandırmış olduğu SLA tipi 3 boyutlu yazıcılar ile üretimi çok daha kolay hale gelmiştir.



Şekil 2.1 Sürekli akış tabanlı mikro akış sistemleri [4]

2.1.2 Damlacık Temelli Mikro Akış Çipleri

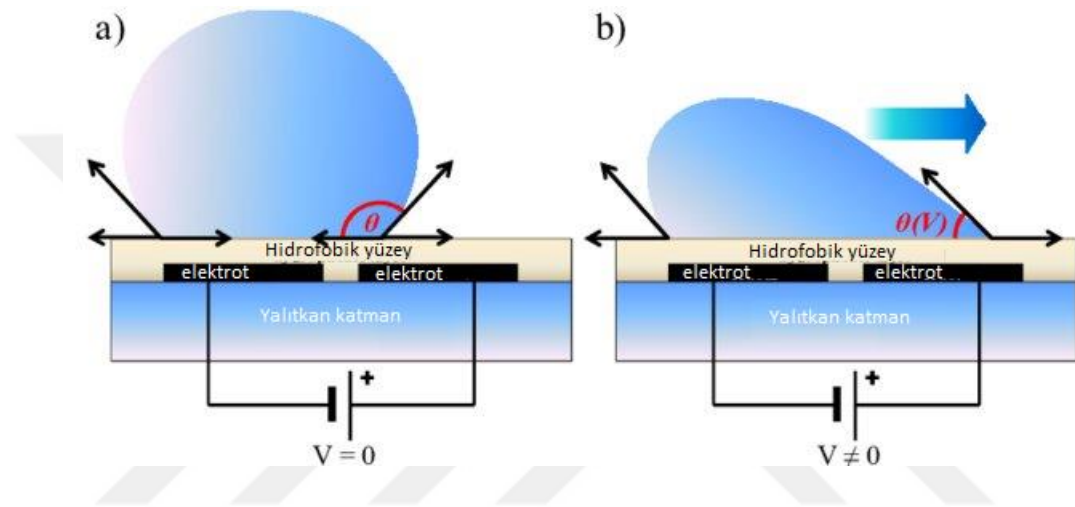
Damlacık temelli mikro akış çipleri yapı olarak sürekli mikro akış çipleri ile aynı olup işleyişlerinde farklılıklar bulunmaktadır. Genel olarak birbirini içerisinde çözünmeyen iki sıvı kullanılarak akış sağlanır. Bu sıvılardan bir tanesi taşıyıcı sıvı olarak damlacıkları gidecekleri yere taşıma işlemini yapar (Şekil 2.2). Temelde sürekli bir akış vardır fakat sürekli akış taşıyıcı sıvı için uygulanır analitler uygun dozlarda damlacıklar halinde verilir.



Şekil 2.2 Damlacık temelli mikro akış hücresi [5]

2.1.3 Dijital Kontrollü Mikro Akış Hücreleri

Dijital kontrollü akış hücreleri klasik akış hücrelerinden farklı olarak bir platform üzerinde konumlandırılmış elektrodların oluşturduğu elektrik alan vasıtasıyla sıvıların platform ile oluşturduğu kontak açılarının değişmesi prensibi ile hareketi sağlanarak oluşturulmuş çiplerdir (Şekil 2.3). Sistem üzerinde herhangi bir kanal veya pompa bulunmamaktadır. Elektro hidrodinamik prensipleri ile çalışmaktadır. Sıvı damlacıkları elektrot sisteminin oluşturduğu koordinatlar vasıtasıyla belli konumlara gitmektedir. Hareketi için kullanılan güç kaynağı minimum 250 V dc kullanılmaktadır



Şekil 2.3 Elektro ıslatma tekniği [6]

2.2 Mikro Akış Teknolojisinde Kullanılan Malzemeler

Mikro akış sistemlerinde incelenecek analitin yapısına göre malzeme seçimi yapılmaktadır. Seçilen malzemenin ortam şartlarına göre kimyasal olarak inert ve fiziksel olarak da dayanıklı bir yapısı olması gerekmektedir. Biyolojik analizlerde genel olarak kullanılan malzemelerin başında polidimetilsiloksan (PDMS), polimetilmetakrilat (PMMA) ve polikarbon (PC) gelmektedir. Bu malzemelerin kullanımının en temel nedenleri kolay şekil verilebilen yapıda olması ve saydam olmasıdır. Genelde bu tip sistemlerde saydam malzeme seçmekteki amaç sıvıların hareketini gözlemlemektir.

Malzemeyi seçerken dikkate alınması gereken diğer temel özellikler, dayanıklılık, imalat kolaylığı, şeffaflık, biyouyumluluk, ima edilen reaktiflerle kimyasal uyumluluk, reaksiyon için gerekli sıcaklık ve basınç koşullarını karşılama ve yüzey işlevselleştirme potansiyelidir [7]. İlk yıllarda mikro-akışkan cihazlarda silikon ve camdan

kullanılıyordu. Bu tip malzemelerin maliyet oldukça yüksek ve gaz geçirgenliği düşüktü. Bu özelliklerinden dolayı tıp alanında kullanılamıyordu. İlerleyen yıllarda kolay işlenebilen, elastik ve ucuz bir organik polimerler üzerinde çalışılmıştır [8]. 1990'lı yıllarda polidimetilsiloksan (PDMS) gelişmesiyle birlikte, akışkan kullanımı hızla günümüze kadar arttı. İlerleyen zamanlarda biyoloji alanındaki uygulamalarda mikro-akışkan sistemler kullanılmıştır [9]. Mikroakışkan sistemlerin imalatı söz konusu olduğunda silikon, hazır bulunabilirliği, kimyasal uyumluluğu ve termostabilitesi nedeniyle ilk tercihler arasındadır [10]. Üretim kolaylığı, tasarım esnekliği, yarı iletken özellikler ve yüzey modifikasyonları olasılığı, silikonun onlarca yıldır mikroakışkan platformlar için baskın malzeme olması için yeterli nedenler sağladı [11]. Mikroçip üretimi için uygun olan ve yaygın olarak kullanılan diğer bir malzeme PMMA'dır. PMMA, PDMS'den biraz daha iyi solvent uyumluluğuna sahip ve küçük molekül absorpsiyonu olmayan amorf bir termoplastiktir [12]. PMMA optik olarak şeffaftır, iyi mekanik özelliklere sahiptir ve yüzeye izin verir [13]. Polikarbon (PC) dışındaki malzemeler düşük sıcaklık gerektiren işlerde kullanılmaktadır. Ayrıca yağ veya su bazlı çözücülü sistemlerde kullanılmaktadır. Polimerik yapıda oldukları için yüksek sıcaklıklara ve birçok solvente karşı kararlı bir yapı göstermemektedir. (Tablo 2.1)

Tablo 2.1 Mikro akışkan sistemlerde kullanılan malzemelerin kimyasal ve ısı dayanımları

Malzeme	Erime Sıcaklıkları	Çözünbildiği solventler
PDMS	50 °C	Birçok organik solvent
PMMA	160 °C	DMF,Aseton,THF
PC	220°C	DMF,Kloroform,krizol

Polimerik malzemelerin yanında seramik ve cam gibi ürünlerde oldukça sık kullanılmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık ve organik solventlerin kullanıldığı kimyasal proses analizlerinde cam ve kuvars camı ile yapılan yapılar oldukça sık kullanılır. Cam kimyasal olarak inerttir, termostabildir, elektriksel olarak yalıtıcıdır, rijittir, biyolojik olarak uyumludur ve kolay yüzey işlevselliği sağlar. Bu özellikler, cam bazlı mikro reaktörleri, bu yüksek sıcaklıklar ve agresif çözücüler için kimyasal reaksiyonların

gerçekleştirilmesi için uygun hale getirir [14-16]. Polimerik yapılara göre biraz daha zor işlenmesinden dolayı maliyetleri polimerlere kıyasla fazladır.

Uygulamanın çeşidine bağlı olarak kağıt ve metallerde kullanılmaktadır. 2007'den bu yana, kağıt bazlı mikroakışkanlar, mikroakışkan uygulamaları için pahalı malzemelere bir alternatif olarak araştırılmaktadır [17]. Kağıtların yüksek emiciliği kullanılarak oluşturulan kitler ucuz maliyeti diğer bir tercih sebebidir. Kağıdı bu kadar özel kılan, bir sıvının yüzey gerilimi ve selüloz lifleri ile temasıdır [18]. Bu nedenle, kağıdın sıvı akışı, çoğunlukla selüloz matrisinde kılcal hareket üreten kohezyon ve adeziv kuvvetlerden etkilenir [19-21]. Şerit şeklinde kesilen kağıtların belli bölgelerine damlatılan indikatörler sayesinde hızlı, ucuz ve pratik nicel tanı kitleri endüstri ve tıpta birçok alanda kullanılmaktadır. Bir diğer malzememiz olan metaller fiziksel ölçümlerde sensör olarak kullanılmaktadır. İnert yapısı ve metallerin arasında en uygun maliyetinden dolayı paslanmaz çelik kullanılması en ideal metalik malzemedir. Paslanmaz çeliğin dışında altın ve platin kimyasal dayanımının yüksek olması sebebiyle kullanılmaktadır.

2.3 Mikro Akışkan Sistemlerin Üretim Teknikleri

Yarı iletken teknolojisinde yaşanan gelişmeler doğrultusunda mikro sistemlerin üretim yaygınlaşmıştır. Buna bağlı olarak alternatif yöntemler kullanılarak günümüzde üretilen mikro elektromekanik sistemlerinin (MEMS) temelleri oluşturulmuştur[22]. MEMS alanında 1960'lı yıllardan bu yana çok ciddi gelişmeler göstermiştir. İsminden de anlaşılacağı gibi, bu alanda üretilen sistemler mikro ve nano seviyelerdedir. Günümüzde, MEMS teknolojisinin biyomedikal, mikro robotik, mikro kirli, giyilebilir cihazlar ve mikro aktüatör gibi birçok uygulama alanları vardır [23].

Waldbaur ve ark. mikroakışkan yapının nasıl oluşturulduğuna bağlı olarak bu yöntemlerin bir sınıflandırmasını sunmuştur: malzeme kaldırarak (yukarıdan aşağıya) veya malzeme biriktirerek (aşağıdan yukarıya) [24]. Başka bir sınıflandırma, imalat yöntemlerini, söz konusu süreçlerin doğasına bağlı olarak, yani kimyasal, mekanik, lazer tabanlı ve diğer işlemler olarak ayırır [25]. Yukarıdan aşağıya imalat tekniklerinde büyük bir bloktan parça kopararak nihai tasarıma gidilmesi tekniklerine verilen addır. Aşağıdan yukarıya imalat tekniklerinde ise durum tam tersidir. Küçük parçalar birbirlerine eklenerek daha büyük yapıların oluşturulması sağlanmaktadır. Oluşturulacak yapının özellikleri göz önünde bulundurularak doğru üretim tekniğini uygulamak gerekmektedir.

Sistemin tasarımına bağı olarak iki teknik birbirleriyle kombine bir şekilde de kullanılabilir.

Yukarıdan Aşağı üretim teknikleri

- Talaşlı işlem
- Asitle aşındırma-serigrafi
- Elektro erozyon
- Lazer İşleme

Aşağıdan Yukarıya üretim teknikleri

- 3 Boyutlu yazıcı teknolojisi
- Ultrasonik kalıplama
- Yumuşak litografi

2.3.1 Talaşlı İşlem

Talaşlı işlem malzemenin kesici bir uç tarafından parça koparılarak işlenmesi tekniğine verilen bir isimdir. Blok malzemenin üzerine delme, frezeleme, tornalama, vida yeri açma gibi işlemleri mevcuttur. Günümüzde birçok çeşit mekanik parçanın imalatı bu yöntem ile üretilmektedir. Yöntem basit, etkili, hassas ve ekonomiktir ve karmaşık 3 boyutlu yapılar oluşturmak için uygundur [26]. Günümüzde bu işleri CNC (Computer Numerical Control) adı verilen cihazlarla bilgisayarda dizayn edilen parçalar birebir ölçülerinde üretimi sağlanmaktadır (Şekil 2.4). Mikro işleme, bütün haldeki malzemeleri işlemek için yüksek hassasiyetli bilgisayar sayısal kontrollü hareket sistemi kullanır [27]. Özellikle polimer ve metal malzemeler yüksek hassasiyetle (0.005 mm hassasiyet) işleyebilmektedir. Talaşlı işlem teknolojisi mikro akışkan çip üretiminin prototipleme aşamasında oldukça kolaylık sağlamaktadır. 3 boyutlu yazıcılara göre oldukça hızlı ve hassastır. Çip üzerindeki kanallar 0.2 mm kadar küçük açılabilir. Ayrıca talaşlı işlemin zımparalama ve polisaj prosesleri sayesinde yüzey kalitesi de iyi çıkmaktadır.

Mikro Akışkan çiplerde ve endüstrinin birçok alanında kullanılan pompa, valf, vida, somun gibi ürünler talaşlı imalat sayesinde üretilebilmektedir.



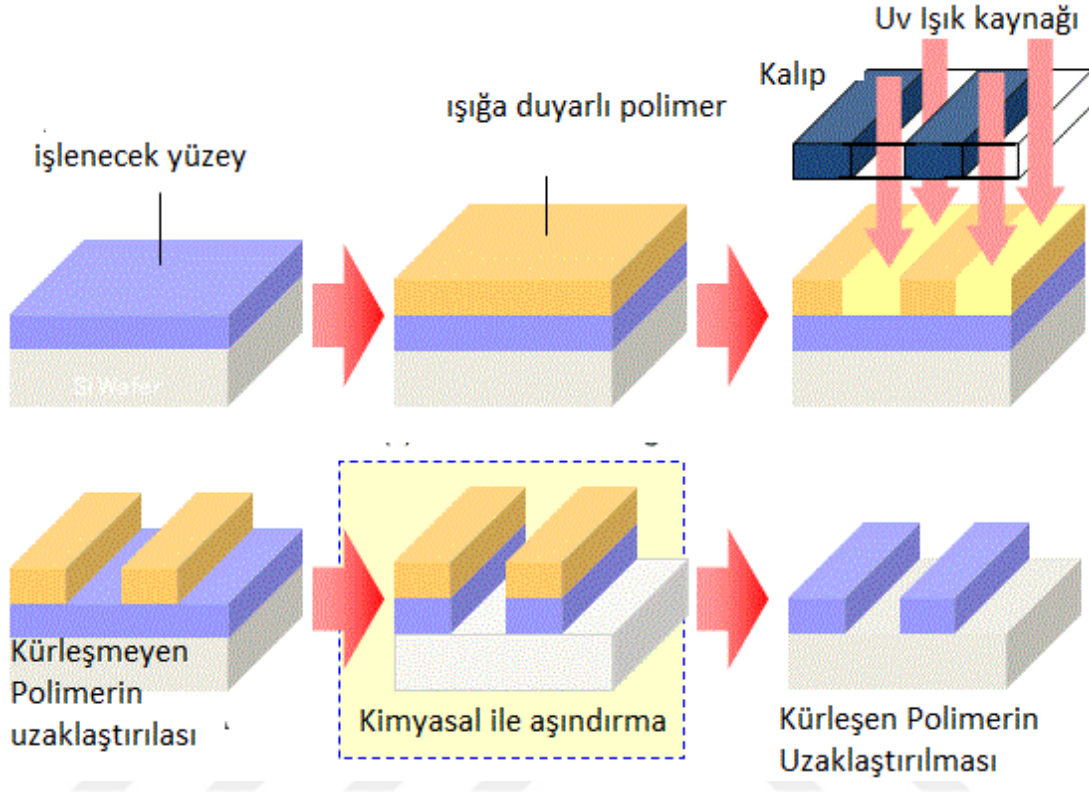
Şekil 2.4 Üç eksen CNC sisteminin şekli ve kodlama sistemi [34]

2.3.2 Kimyasal Aşındırma

Kimyasal aşındırma işlemi hidrofobik veya aşındırıcıya karşı dayanıklı bir kaplama ile oluşturulan şablonlar işlenecek parçayı aşındırıcıdan korur ve açıkta kalan kısımlar aşındırıcıda eriyerek şablonun negatif motifi elde edilir. Bu teknik elektronik sanayisinde mikroçip üretiminde oldukça popüler bir endüstriyel uygulamadır [28]. Malzemenin çıkarılması için güçlü kimyasallar gerektirir ve tercih edilen dağlayıcı genellikle hidroflorik asittir [29]. Kimyasalla aşındırarak nanometre boyutlarında yapılar oluşturulabilmektedir. Cam, metal, plastik gibi ürünler üzerinde uygulanabilir.

Maskeleme işleminde en çok kullanılan iki teknik vardır; UV kürleme ve serigrafi kalıp oluşturma. UV kürleme tekniğinde maskeleme işleminde kullanılan kimyasallar ince bir film şeklinde tüm yüzeye uygulanıp bir UV ışık yarımı ile istenen şablon düzeninde kürleme yapılır. Kürleşmemiş bölgedeki kaplama ajanları bir temizleme solüsyonu ile temizlenerek ortamdan uzaklaştırılır. Açıkta kalan yerler aşındırıcının reaksiyonu ile eritilerek istenen motif elde edilir (Şekil 2.5). Kürleşme işlemi radikal foto polimerizasyonu ile gerçekleşir. Kaplamanın kalınlığı yaklaşık 1-3 mikrometre arasında değişmektedir. Serigrafi kalıpta ise oluşturulmak istenen şablonun negatif polyester ipek

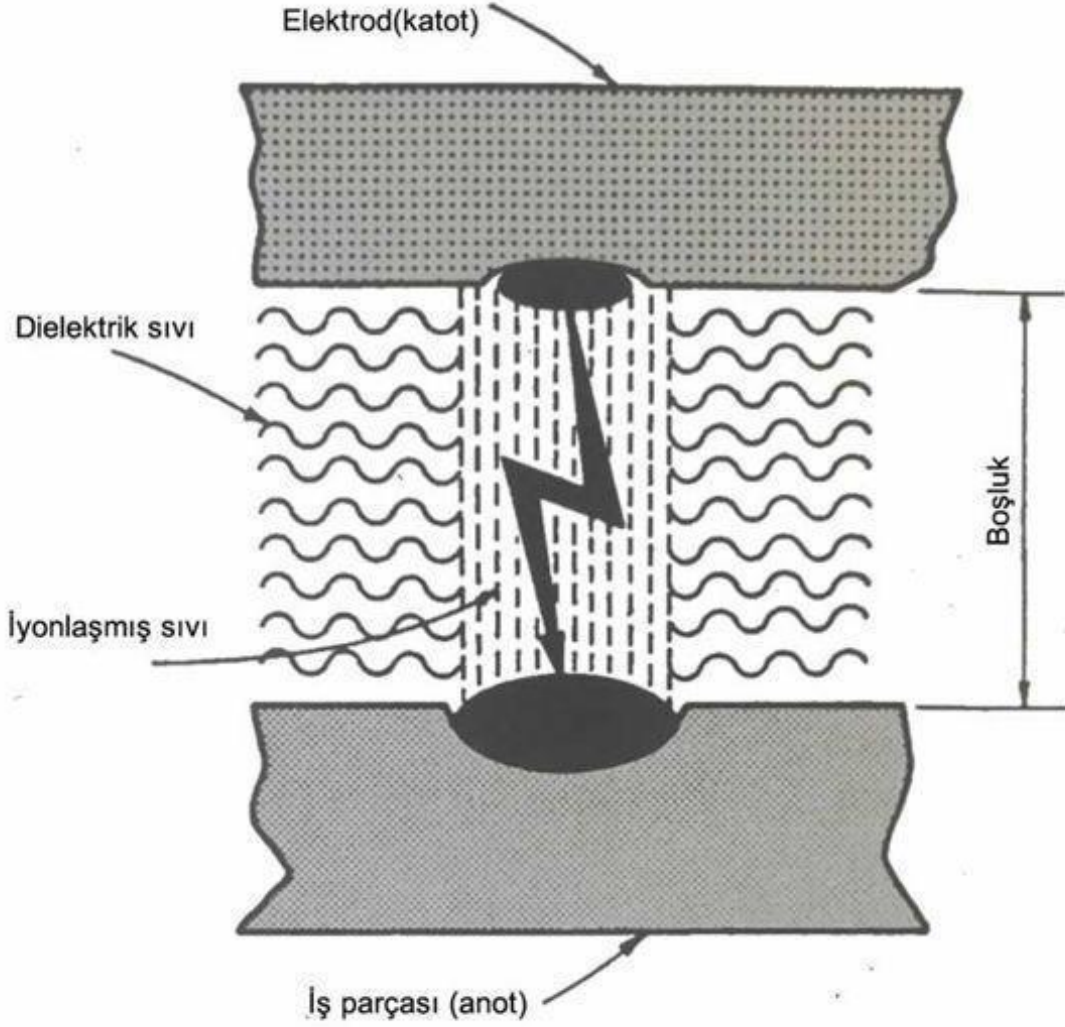
kumaşın foto film emülsiyonu ile kürlenerek kalıp oluşturulur. Kalıp kullanılarak istenilen yüzeye uygulanabilir. Maliyet açısından daha ucuz ve uygulaması daha kolay bir teknik olduğu için günümüzde elektronik kart üretiminde bu teknik kullanılmaktadır.



Şekil 2.5 Foto polimerizasyon yöntemi ile oluşturulmuş şablonun kimyasal aşındırma basamakları [35]

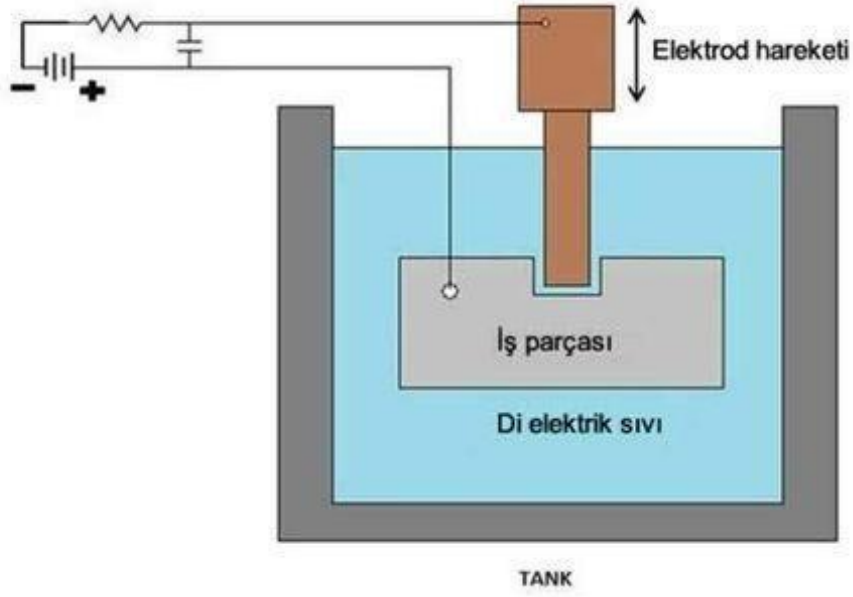
2.3.3 Elektro Erozyon

Elektro erozyon tekniği iletken yüzeylerden elektrik akımı yardımıyla parça koparılması ile malzemenin yüzeyine şekil verme işlemidir. Elektro erozyon tekniğinde parça koparma işlemi yüksek iletkenliğe sahip malzemelerin elektrod olarak kullanılması ile mümkündür. Malzeme ve elektrot birbirine temas etmeden aralarında oluşan ark ile malzemedan parçalar koparır. Parça kopması sırasında elektrotta deforme olur fakat elektrottaki deformasyon parçaya göre çok daha azdır (Şekil 2.6). Elektrotların yapısına göre belli bir kullanım ömrü vardır. Genel olarak metal parçaları işlemek için kullanılır fakat grafit gibi iletken malzemelerinde işlenmesi mümkündür.



Şekil 2.6 Elektro erozyonun işlem sırasında malzeme ve elektrotta oluşan deformasyonu [36]

Elektro erozyon tekniği sayesinde çok kritik parçaların üretimi yapılabilir. İşlenmesi çok güç olan sert metallerin (örn. Elmas çeliği 100 HRC sertlik) işlenmesi bu teknikle yapılır. Bu sayede yüksek mekanik dayanılma sahip mikro parçaların üretimi mümkün olur. İki çeşidi bulunmaktadır; Dalma erozyon, tel erozyon. Dalma erozyon ile üç boyutlu sistemlerin üretimi yapılır (Şekil 2.7). Tel erozyon ile sadece kesim işleri yapılabilmektedir.



Şekil 2.7 Dalma erozyonuna ait şematik gösterim [37]

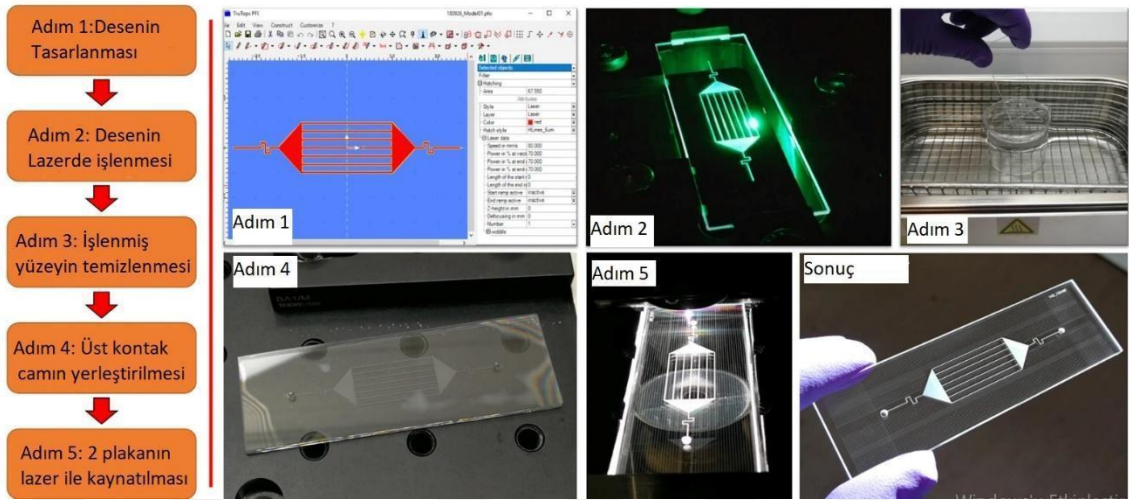
Mikro akışkan teknolojisinde elektro erozyon ile mikro dişli ve pompa parçaları üretimi yapılabilmektedir. Sistemdeki mikro parçaların boyutu yüzünden talaşlı işleme üretilmeyen mikro mekanik parçalar bu teknik ile çok basit bir şekilde üretilebilir.

2.3.4 Lazer İşleme

Lazer, fotonların bir radyasyon kaynağı ile yükseltilerek uyarılmasını sağlayan optik bir düzenektir. Uyarılan fotonlar tek yöne ve daha yüksek enerji ile hareket etmektedir. Bu özelliğinden dolayı güçlenen fotonlar çarptıkları yüzeyden parça koparabilmektedir. Lazerle işleme tekniği metal, seramik, cam ve polimer malzemeler üzerinde kullanılır [30]. Kesme, delme ve yüzey oyma işlemlerinde oldukça hızlı bir tekniktir. Gaz lazerleri ve katı hal lazerleri kullanılmaktadır. Gaz lazerleri CO₂, ve N₂ gaz lazerleri üretimde en çok kullanılan lazerlerdir. Kızıl ötesi ve görünür bölge kızılötesi dalga boylarında çalışırlar. Gaz lazerleri kesim işlemleri için kullanılmaktadır. Katı hal lazerleri ise yüzey oyma işlemleri için kullanılır (şekil 2.8).

Mikro akışkan sistemlerde bu teknik ince malzemelerin yüzeylerini işlemek için kullanılır. Genelde PMMA ve PC malzemeler için kesim işlemleri ve yüzey oyma işlemleri için hassas sonuçlar verir. Metal malzemeler için bu teknik, 1 milimetreden az

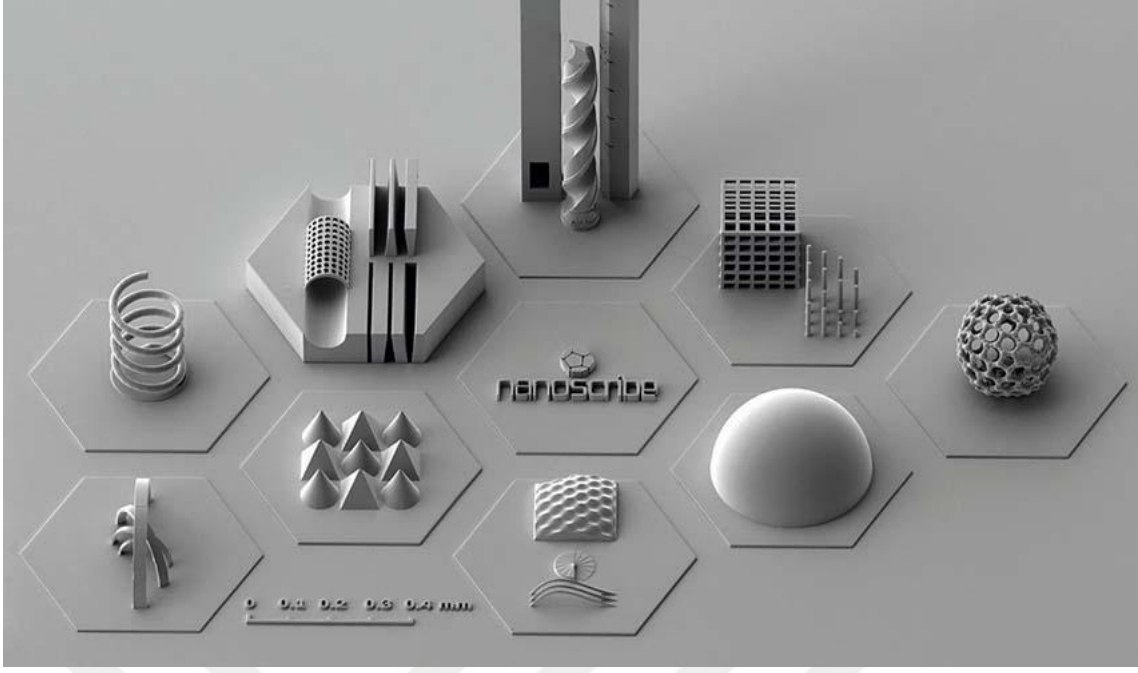
kalınlıktaki parçaların mikro deliklerin açılması ve kesilmesi işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.8 Lazer markalama ile işlenen bir MEMS örneği [31]

2.3.5 Üç Boyutlu Yazıcılar

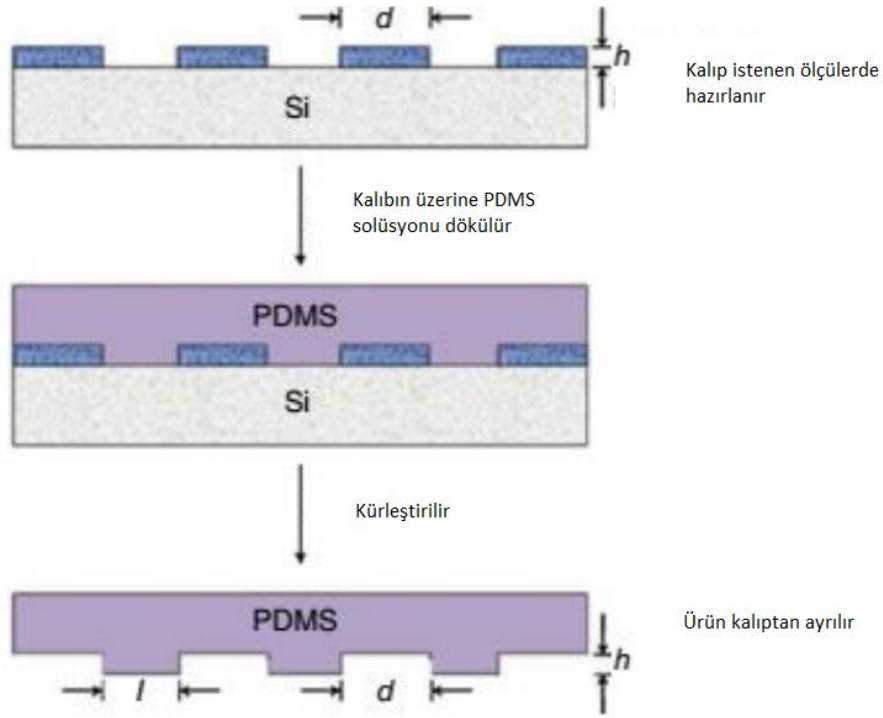
Üç boyutlu yazıcılar plastik şekil verebilme özelliği olan malzemelerde kullanılan en popüler teknolojilerden bir tanesidir. Üç boyutlu baskı, mikroakışkan kanalları oluşturmak için yeni, ancak başarılı bir yaklaşımdır [32]. Son yıllarda 3 boyutlu yazıcıların önemi arttığından en çok çalışma yürütülen alanlardan biridir. Temel olarak çalışma prensibi 3 eksen kartezyen bir manipülatör sistemle 3 boyutlu koordinat malzemeleri kaynatarak eklemeli bir imalat sağlamaktadır. Eklemeli üretim minimum malzeme sarfiyatı sağlamakta ve üretimi zor olan parçalar için kolaylık sağlamaktadır (Şekil 2.9). Birçok malzeme çeşidi için 3 boyutlu yazıcı ile üretimi mümkündür. Bununla birlikte, bazı yönler, mikroakışkan üretiminde 3D baskının geniş uygulamasını sınırlar. Bunlardan en önemlileri, baskı sistemlerinin düşük z-çözünürlüğü, sınırlı şeffaf malzeme çeşitliliği, son derece pürüzsüz yüzey örme ihtiyacı ve içi boş ve boş bölümlerin hassas yüzey kalitesi gibi sınırlamalardır [33].



Şekil 2.9 Üç boyutlu printer ile üretilmiş mikro yapılar [38]

2.3.6 Yumuşak Litografi

Yumuşak litografi; Oluşturulacak formun negatifinin üzerine elastomer modülü yüksek bir polimer solüsyonunun kürleşmesini sağlayarak ürün oluşturma işlemidir. Kalıbın üzerine polimerin oligomerleri ve kürleşme ajanları eklenir. Ekleme sırasında oluşan hava kabarcıklarını ortadan kaldırmak için vakumlu bir ortama alınarak kabarcıklardan arındırılır. Arındırılan kabarcıklar oluşturulan ürünün daha berrak çıkmasını sağlar. Polimer kürleştikten sonra kalıptan ayrılarak kullanıma hazır hale getirilir (Şekil 2.10). Yumuşak litografi genelde PDMS polimeri şekillendirmek için kullanılan bir tekniktir. Ucuz olmasının yanında, kolay kurulum ve yüksek verim gibi avantajları vardır.



Şekil 2.10 Yumuşak litografinin uygulanması [39]

2.3.7 Ultrasonik Kalıplama

Ultrasonik ses dalgaları insan kulağının duyamadığı 20 KHz üstü ses dalgalarına verilen isimdir. Frekansının yüksek olması sebebiyle taşıdığı enerjide yüksektir. Ultrasonik kalıplama tekniği bir metal parçasının üzerine desen işlenip o desenin negatifinin yüksek frekans ile malzeme üzerine oyulması tekniğidir. Metalle malzeme arasında yüksek frekanstan dolayı oluşan ısı ile malzemenin yüzeyinde bir yumuşama gerçekleşir metalin baskısı sonucu metal üzerindeki desen negatif olarak yüzeye geçmiş olur. Mikro akışkan sistemlerin üretiminde kullanılan bir tekniktir ve daha çok seri üretim için kullanılır.

2.4 Mikro Akışkan Sistemlerde Kullanılan Komponentler

Sıvı kontrolü sağlanması için aktif ve pasif olarak bir grup komponente ihtiyaç vardır. Bu komponentleri sistem içerisindeki karıştırma, yönlendirme, saflaştırma ve ölçüm işlemlerini yapmaktadır. Bu görevleri yerine getirmesi için pompa, valf, karıştırıcı ve sensör gibi komponentlere ihtiyaç vardır. Bu komponentler tasarlanırken numuneyi kontamine etmemesi ve tekrarlanabilirlik göz önünde bulundurulmalıdır

2.4.1 Pompalar

Pompa sıvının akışını sağlamakla görevli sistem elemanıdır. Pompa uygulamasına göre pompalama hızı, pompalayacağı sıvının viskozitesi ve kimyasal dayanım göz önünde bulundurulmalıdır. Mikro akış sistemlerinde kullanılan pompa tipleri peristaltik pompa ve şırınga pompası, akustik pompalar, piezo pompaları tercih edilir. Bazı çalışmalarda el yordamı ile şırınganın kendisi pompa olarak kullanılabilir. Bu pompaların tercih edilmesindeki neden sıvıları kontamine etme riskinin az olmasıdır. Düşük akış hızları ve stabil hızlarda çalışması diğer önemli parametrelerdir.

2.4.2 Valfler

Sıvıların Akış yönünü belirlemek için kullanılan komponentlerdir. Sistemde vana görevi yapmaktadır. Mikro akış sistemlerinde mikro valf olarak görev yapan çeşitli yapılar bulunmaktadır. Çek valf sistemler, selenoid valfler çalışmalarda en çok kullanılan valf çeşididir.

2.4.3 Mikro Kanallar

Sıvıların taşınması, saflaştırılması, karıştırma işlemi bu kanallar vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Kanalların kalınlığı, birleşim noktaları gibi yapılar akış hücrelerine yapısallık kazandırmaktadır.

3.1 Kullanılan Materyaller ve Cihazlar

3.1.1 Kullanılan Kimyasallar

Bu tez çalışmasında kullanılan kimyasallar analitik ve teknik saflıklarda olup Merck, Tekkim ve Klebth End firmalarından temin edilmiştir. Çalışma sırasında kullanılan kimyasallara ait bilgiler, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Kullanılan kimyasallar

Kimyasalın Adı	Üretici Firma
HCl	Tekkim
NH ₃	Tekkim
Metil Akrilat	KLEBTH END
NaOH	Tekkim
Asetik Asit	Tekkim
Aseton	Tekkim
THF	Merck
Nitro Selüloz	Merck
Etil Asetat	Merck

Deneyde kullanılan asitler ve baz çözeltileri pH değerleri 1’den 14’e kadar hazırlanarak sensör ölçümleri için örnek hazırlandı.

Nitroselüloz etil asetat ile değişik viskoziteye sahip çözeltiler oluşturularak akış-viskozite incelenmesi yapılmıştır.

3.1.2 Kullanılan Elemanları

Deneylerde kullanılan devre elemanları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kullanılan devre elemanları

Kullanılan Devre Elemanları	Kullanım Amacı
Mach3 4 eksen kontrol kartı	Sistemin otomasyonunu kontrol için kullanılmıştır
CWD556 Step motor sürücü	Pompaların motorlarını kontrol etmek için
Panasonic FP0R-C16	Otomasyon sistemlerinde programlama ünitesi

3.1.3 Kullanılan Cihazlar

Çalışmalarda kullanılan cihazlar özel yapım olup cihazlara ait bilgiler Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3 Kullanılan cihazlar

Cihaz	Kullanım amacı
Cnc Router	Mikro akışkan yapıları üretiminde kullanıldı
Ph Metre	Karıştırıcıların ve pompaların performans testlerinde kullanıldı

3.2 Metod

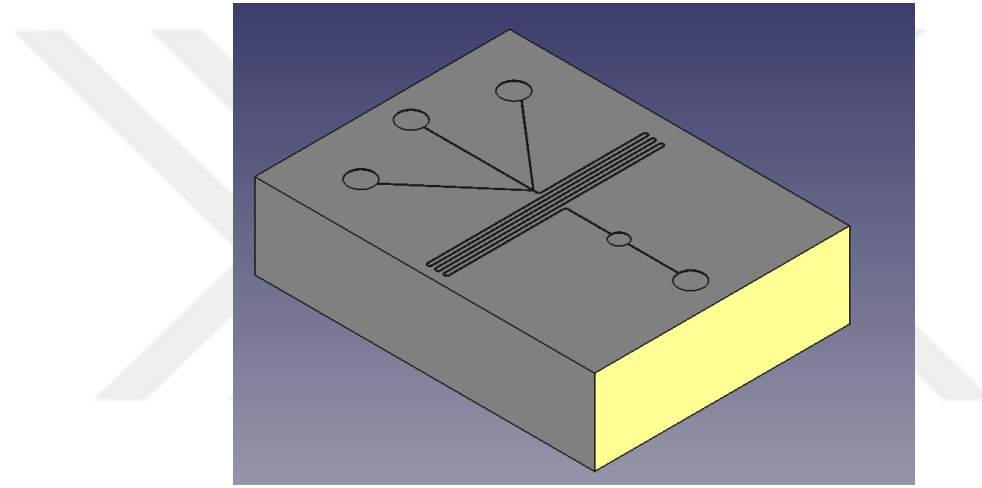
3.2.1 Nitroselüloz Çözeltilerinin Viskozitesinin Ayarlanması

Nitro-selüloz polimerinin tamamı çözülmeye kadar etil asetat eklendi ve eklenen tüm nitro-selüloz moleküllerinin çözünmesi sağlandı. Bir beherin içinde viskozimetre cihazı

yardımı ile istenen değere ulaşana kadar çözücü eklendi. Saf çözücü ve çözücü polimer viskoziteleri 0.4, 1 ,10 ,20, 50, 80, 150, 250, 500, 750, 1000 cP şeklinde hazırlandı.

3.2.2 PMMA ve PC Tabanlı Akış Hücrelerinin Tasarlanması ve Üretimi

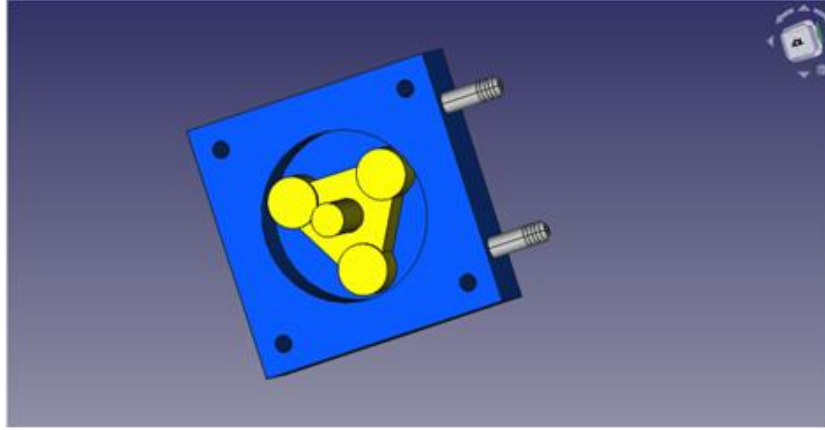
PMMA ve PC tabanlı akış hücrelerinin freecad ile 3 boyutlu tasarımları yapıldı. (Şekil 3.1) PMMA ve PC plakaları uygun ölçülerde kesilip 3 eksen CNC merkezi işlemede CAD tasarımına birebir ölçülerinde işlendi. Oluşan yüzey pürüzleri ve çapaklar THF ve aseton ile temizlendi. Açık kanal sistemi kanallarını örtmek için cam bir plaka ile birbirlerine yapıştırıldı. Sızdırmazlık testleri ve pompa sistemleri ile sensör okumaları yapıldı.



Şekil 3.1 CAD ortamında tasarlanan mikro akış sisteminin 3 boyutlu yapıları

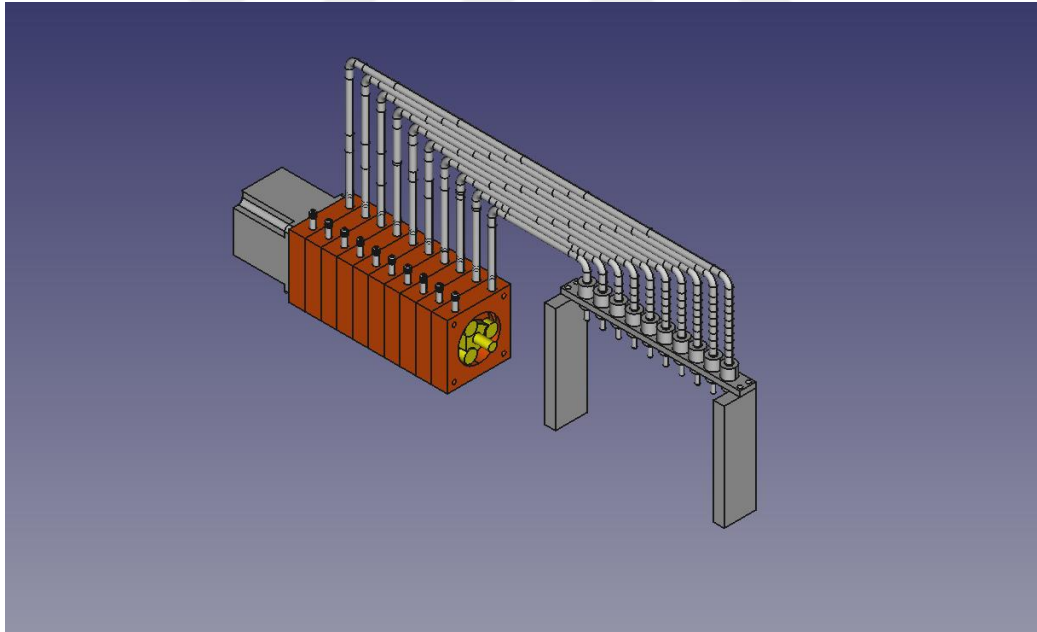
3.2.3 Pompa ve Valf Prototiplerinin Üretilmesi

Pompa sistemlerinden 2 farklı pompa çeşidi üretildi; akustik pompa ve peristaltik pompa. Valflerden ise mikro selenoid valf üretildi. Hesaplanan mekanik güç verilerine göre motorlar belirlendi ve selenoid bobinler tasarlandı. Güven aralığında olması için hesaplanan değerlerin üzerindeki güçlerde motor ve bobin imalatı yapıldı. Hesapsal değerlere göre mekanik tasarım freecad ortamında yapıldı (Şekil 3.2) ve parçalar üretildi.



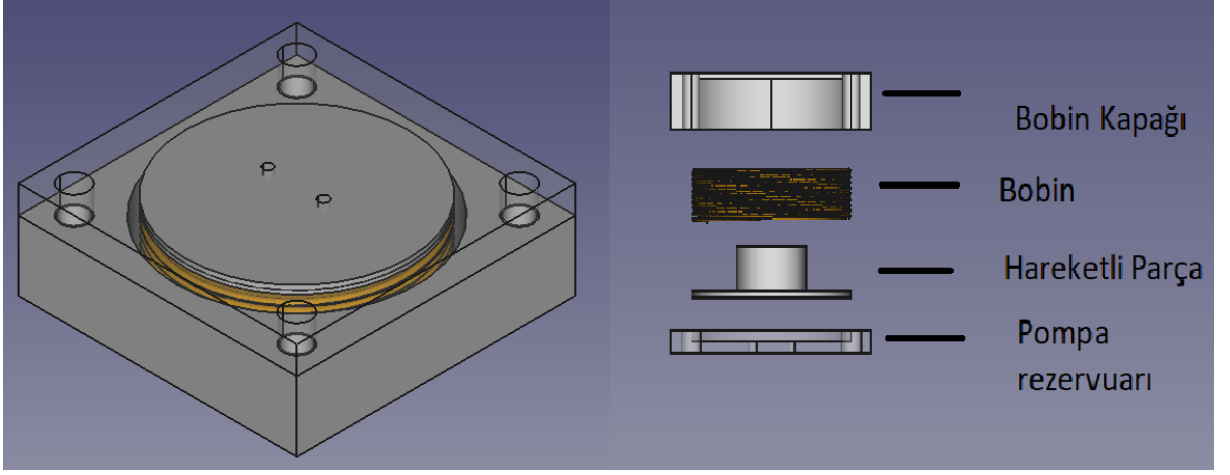
Şekil 3.2 Freecad ortamında tasarlanan peristaltik pompa düzeneği

Sistemde 2.2 Nm gücünde step motor 1:5 oranında redüktörle gücü yükseltilmiştir. Sistemin maksimum hızı 60 rpm olarak sınırlandırıldı. Peristaltik pompa sistemlerinde sıvı pompalama hız- viskozite parametreleri belirlendi. Modüler 10'lu pompa düzeneği oluşturuldu (Şekil 3.3) ve farklı viskozite değerlerindeki performansları, viskozite-sıcaklık değişimlerinde performans değerlendirmesi yapılmıştır.



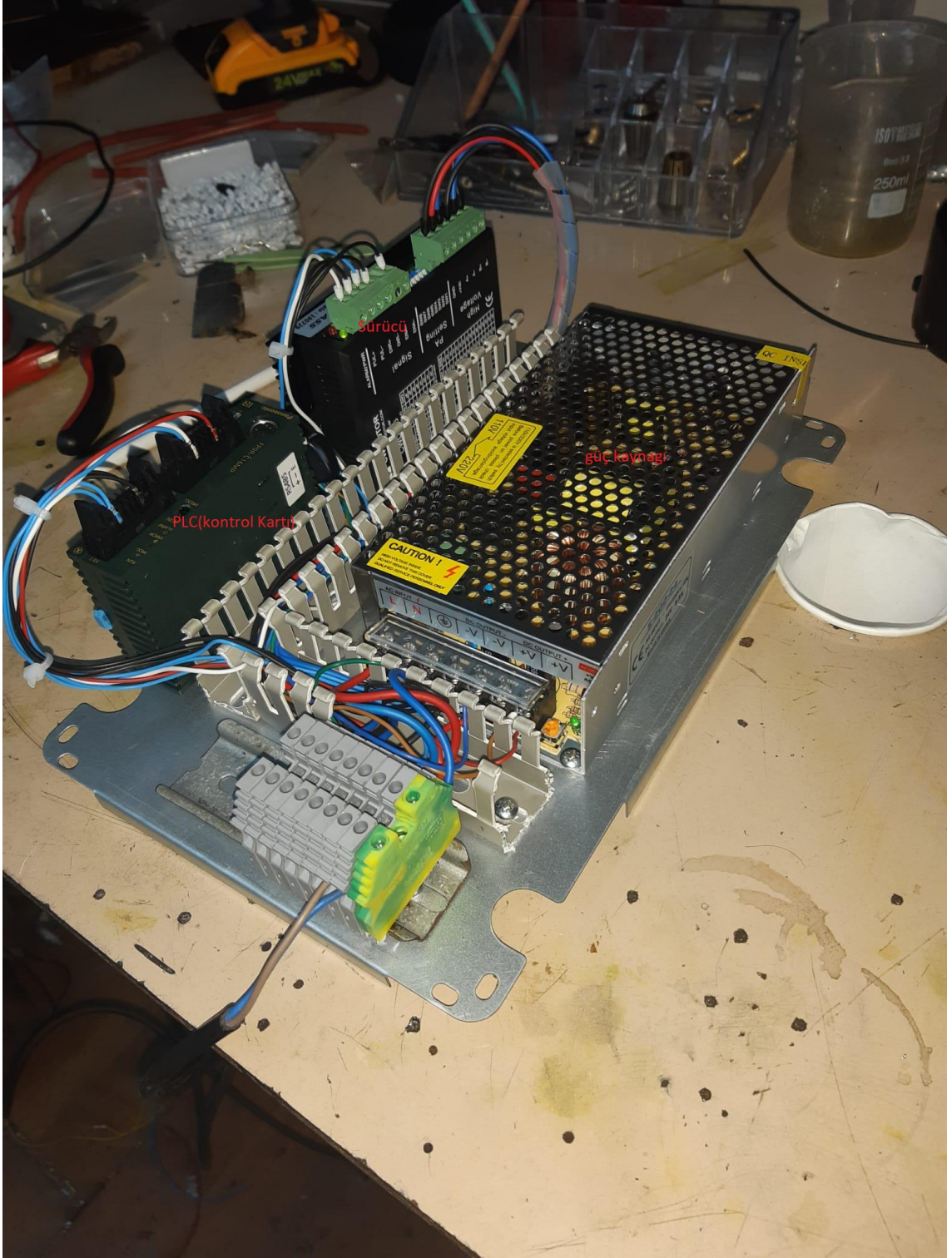
Şekil 3.3 Mikro akış sistemler için tasarlanan 10 lu pompa test düzeneği

Akustik pompanın Hesaplamaları yapıldı. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda pompanın tasarım ölçüleri belirlenip CAD ortamında tasarlanıp CNC sistemleri ile parçaları işlenmiştir (Şekil 3.4). İşlenen parçaların birbirine uygunluğu kontrol edip montajı yapılmıştır. Sistemin viskozite – hız, akım- performans ve akış performansları değerlendirildi



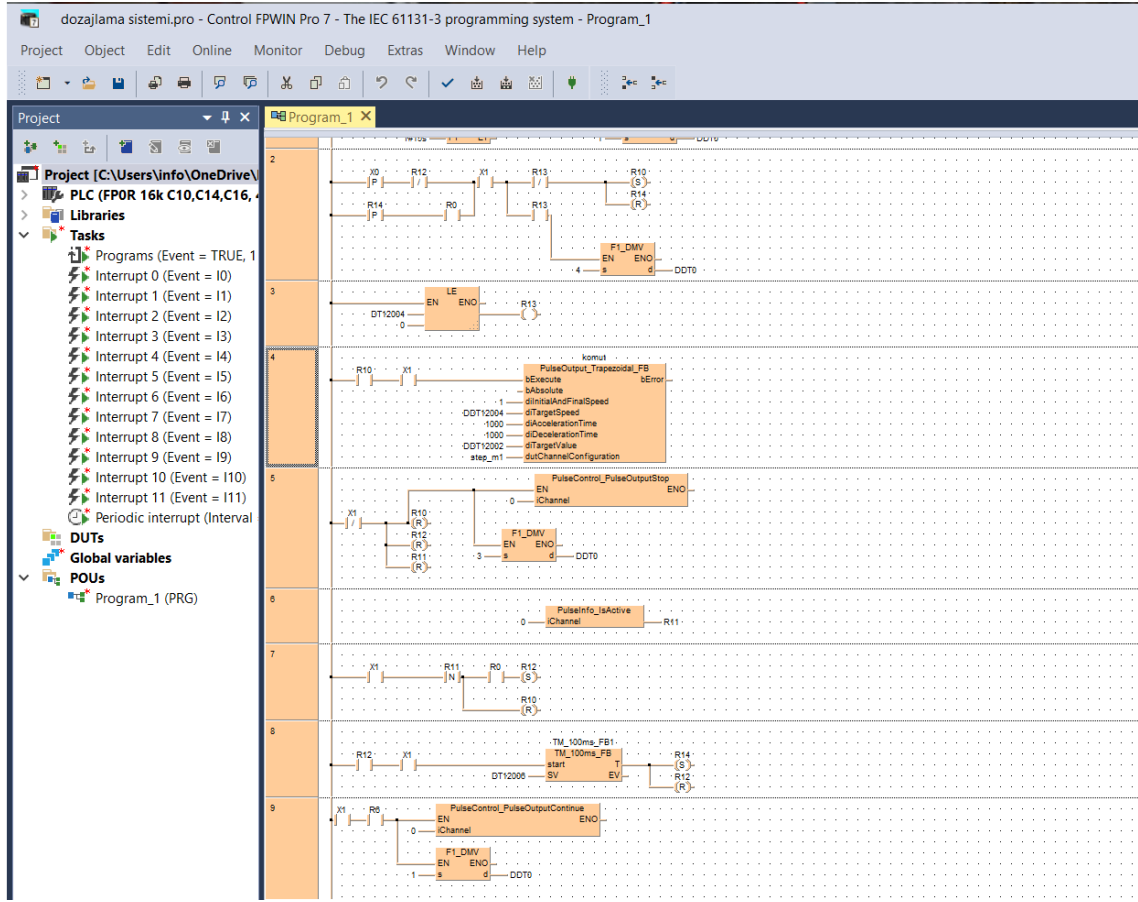
Şekil 3.4 Akustik pompanın CAD tasarımı ve bileşenleri

Elektronik sistem için panasonic FP0R-C16 serisi transistör tabanlı bir plc(endüstriyel kontrolör) kullanılmıştır. 24 volt dc güç kaynağı kullanılarak şebekeden ac-dc dönüşümü yapıp HMI(dokunmatik ekran) vasıtasıyla gerekli parametrelerin girişı için bir arayüz oluşturulmuştur.(Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Kontrol sistemi ve bileşenleri

Program ladder diyagramıyla yazılmıştır. Sürücü pulse direction modu ile kullanılmıştır. En yüksek puls frekansı ise 50000 hertz olarak yazılımlar yazılmıştır.(Şekil 3.6)



Şekil 3.6 Motor kontrol yazılımı

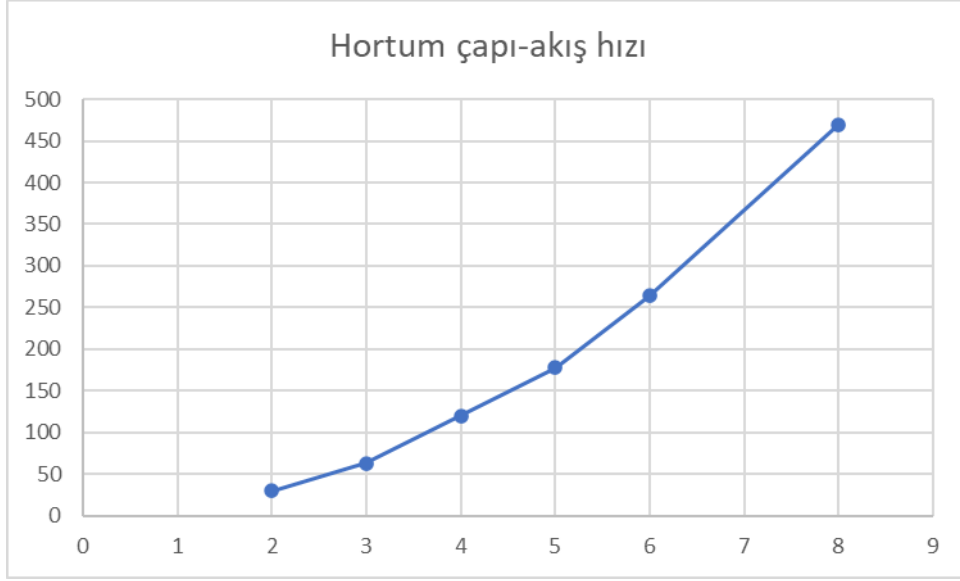
SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1 Peristaltik Pompasının Sıvı Viskozitesi ve Akış Hızına Bağlı Performansının Değerlendirilmesi

Oluşturulan peristaltik pompalarda kullanılan hortumun iç çapı ile akış arasında parabolik bir ilişki olduğunu göstermiştir (Şekil 4.1). Saf su ile yapılan çalışmada pompanın mil hızı 60 rpm sabit hız ile çalıştırıldığında pompalama hızı Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Hortum iç çapı değişimine bağlı olarak ölçülen akış hızları

İç çap(mm)	Akış hızı(ml/s)
2	30
3	63
4	120
5	178
6	264
8	470



şekil 4.1 Hortum i çapı ve akış hızının grafiği iki parametrenin arasında eksponansiyel ilişki

Hız ve çap arasındaki bağlantıda sistemin parabolik olarak arttığı açıkça görülmektedir. Sistemin viskozite ve hız arasındaki bağlantı incelendiğinde artan viskozite karşısında sistemin pompalama hızında düşüş gözlemlenmiştir. Viskozitesi 0.4 poise den 1000 centipoise kadar sıvıların 2 mm iç çapı olan silikon hortumda oda koşullarında pompalama hızları 60 Rpm de incelenmiştir.

Tablo 4.2 Peristaltik pompanın viskozite ve Akış hızı tablosu

Viskozite (cP)	Akış Hızı (ml/s)
0.4	30
1	30
10	30
20	30
50	30
80	28
150	25
250	20
500	18
750	14
1000	10

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere sistem belli bir viskoziteye kadar tam performanslı çalışırken viskozitenin artışı ile pompalanan sıvının akış hızında azalmalar görülmektedir. Viskozitesi 150 cP olarak ölçülen bir madeni yağın değişik sıcaklıklarda etkileri incelenmiştir. Silikon hortumun elastikiyetini kaybetmemesi için deney 80 °C sıcaklıkla sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak %10 luk bir akış hızı artışı izlenmiştir (Tablo 4.3)

Tablo 4.3 Tam kapasite ile pompalanamayan madeni yağının ısı ile akış hızına etkisi

Sıcaklık (°C)	Akış Hızı (ml/s)
25	25
30	25
50	26
80	27

4.2 Akustik Pompanın Sıvı Akışı Üzerindeki Etkileri

4.2.1 Voltajın Pompanın Çalışmasındaki Etkisi

Selenoidin çalışma voltajı bobine zarar vermemesi için 3.3 volt olarak hesaplanmıştır. 3.3 volt pompayı çalıştırmadığı görülmüştür. Çalışma 5, 12, 24, 30 ve 48 volt olacak şekilde denemeler yapılmıştır. Bu çalışmaya ait sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Pompanın voltaj-çalışma durumu ve çalışmama nedenleri

Çalışma Voltajı (V)	Pompanın Çalışma Durumu	Olumsuzluklar
5	Başarısız	Elektromanyetik kuvvet yetersiz
12	Başarılı	
24	Başarılı	Uzun sürede ısınma problemi
30	Başarısız	Yüksek Amper çekiyor
48	Başarısız	Yüksek amper çekiyor

12 voltta çekilen amperi ölçüp 1 amper yük çektiği görülmüştür. Deneyi araya akım sınırlayıcı devre eklenerek 1 amperde, ısınma problemi ve yüksek amper çektiği deneyler

tekrarlanmıştır ve çalıştığı maksimum amperler kaydedilmiştir. Çalışmaya ait sonuçlar Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.5 Voltaj-çalışma durumu ve maksimum frekans değerleri

Çalışma Voltajı (V)	Pompanın Çalışma Durumu	Frekans (Hz)
12	Başarılı	60
24	Başarılı	75
30	Başarılı	90
48	Başarılı	120

4.2.2 Giriş Çıkış Kanallarının Genişliğinin Çalışma Performansına Etkisi

Akustik pompada sıvı giriş çıkışlarının çapı ile sıvı akışı üzerindeki performansında pozitif bir bağlantı görülmüştür. Giriş ve çıkış çapı arttıkça selenoidin pompalama kapasitesi artmakta daha yüksek viskoziteli sıvıları pompalayabilmektedir. Üç farklı delik çaplarına sahip akustik pompanın 12 V 60 Hz deki pompalayabildikleri maksimum viskozite değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir

Tablo 4.6 Pompa giriş çıkış kanallarının çap değerleri ve çalışabildikleri sıvı yoğunluğu

Giriş-Çıkış Delik Çapları (mm)	Çalıştığı En Yüksek Viskosite (Cp)
0.3	1
1	30
2	50

4.2.3 Frekansın Akış Hızına Etkisi

Frekansın etkisi arttıkça akustik pompanın pompalama kapasitesinin artacağı ön görülmüş fakat deneylerde bu durum ispatlanmamıştır. Üretilen akustik pompalarda yüksek verimi 60 Hz de sağlanmıştır. Daha yüksek frekanslarda sıvı pompanın oluşturduğu basınç sebebiyle tam pompalama yapamadığı görülmüştür.

4.3 Akustik Pompanın Valf Olarak Kullanımının İncelenmesine Ait Sonuçlar

Üretilen akustik pompa aktif valf elemanı gibi çalışabileceği de gözlemlenmiştir. Basınç hesabı yapıldığında 5kg'lık bir itme gücüne sahip olup $0.6m^2$ alana basınç yapmaktadır.

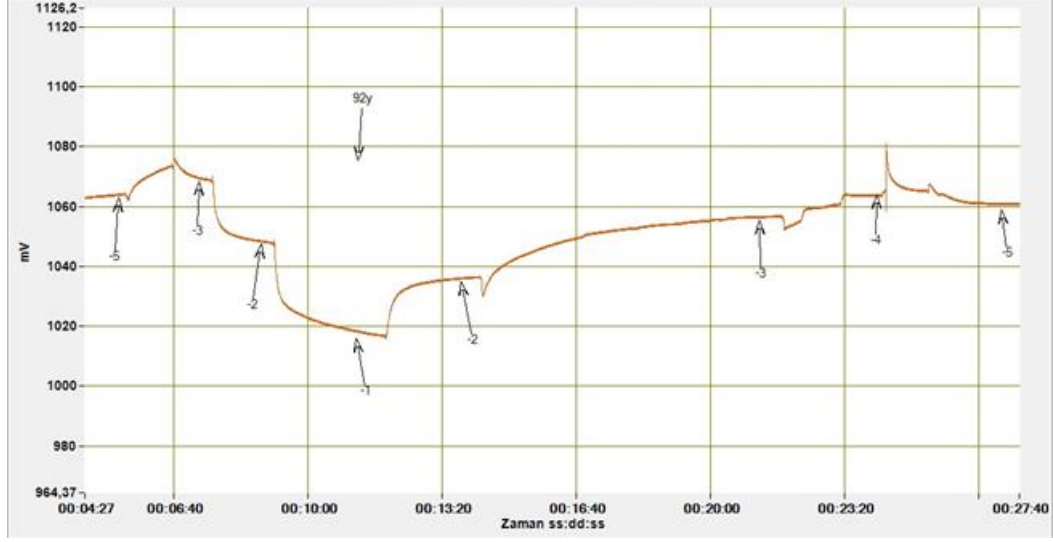
$P=F/S$ bağlantısı kullanılarak $(5 \times 9,8)/0.6=81$ P'lik bir basınca dayanabileceği hesaplanır.

4.4 Pompa ve Valflerin Sensör Akış Hücrelerindeki Performansına Etkisi

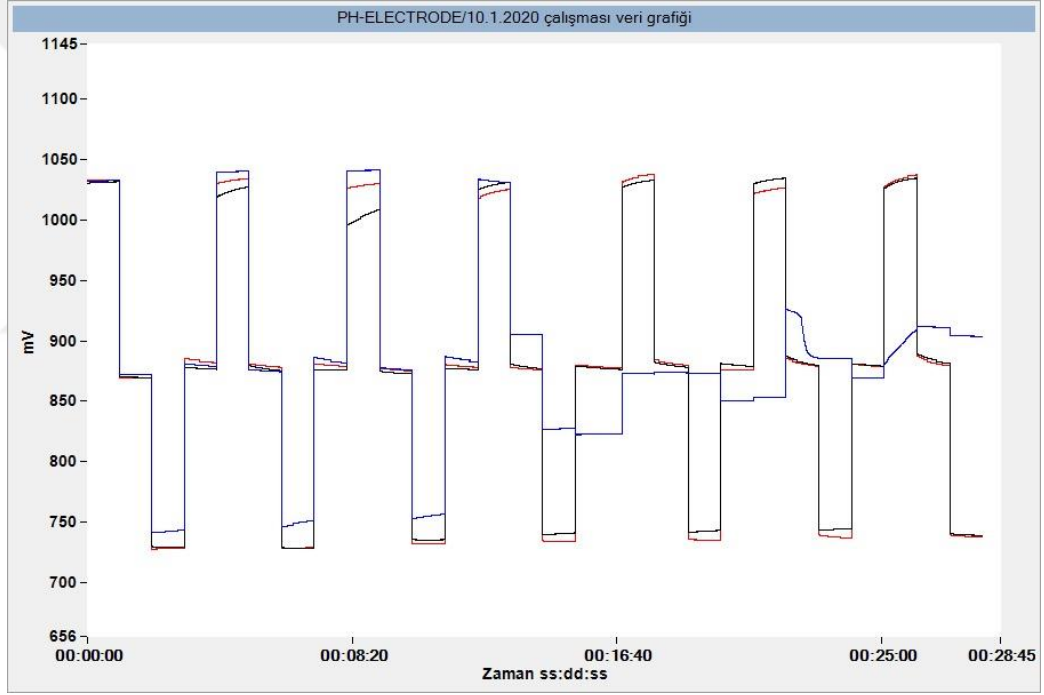
Üretilen mikro akış hücreleri ile pompa ve valflerin performansları incelendiğinde istenen hız standartlarını karşıladığı görülmektedir. Mililitre mertebesindeki akış yazılım ve elektronik kullanılarak mikro litre mertebesine kolaylıkla çekilmektedir.

Üretilen mikro akış sistemlerinin kanal kalınlığı ve sensör performansı üzerindeki etkileri incelendiğinde akışkanın hızı ile sensör tepkisi ölçümlenmiş ürettiği sinyaller değerlendirilmiştir.

Sisteme 1 ml/s akış verildiği zaman sensörler değişimlere cevap vermekte fakat anlamlı veri üretmediği görüldü (Şekil 4.2). Değişik Ph değerlerinde 1 ml/s akış değerindeki sonuçlar (şekil 4.3)

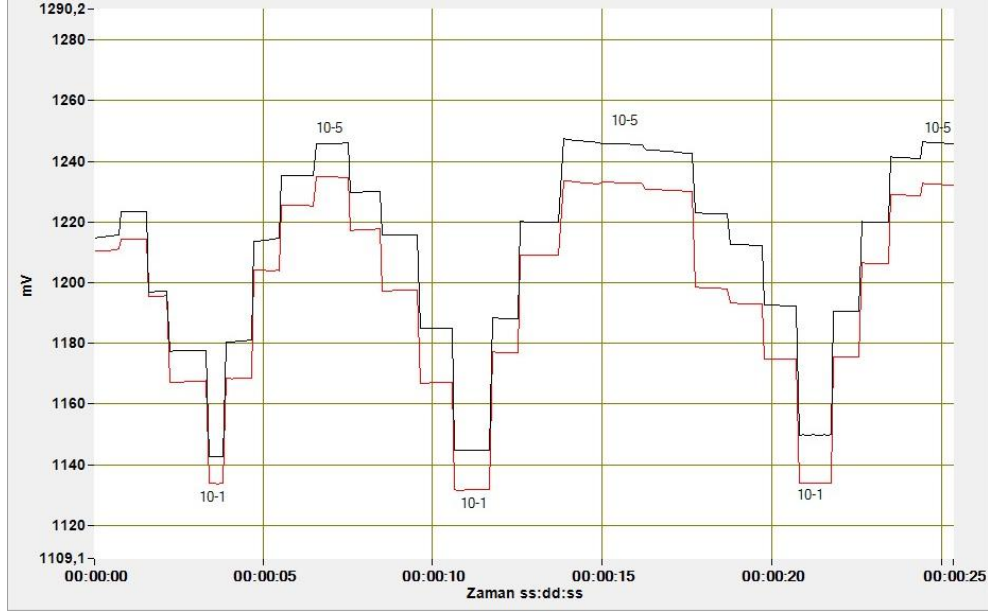


Şekil 4.2 Düzensiz çalışan sensör spektrumu



Şekil 4.3 Anlamsız veri üreten pH sensörü

Sistemin akış hızı düşürüldüğünde sensör cevaplarının daha anlamlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Akış hızı 500 mikrolitre/ saniyedeki sonuçlar şekil 4.4'te verilmiştir



Şekil 4.4 Anlamlı ve stabil sonuçlar veren sensör spektrumu

4.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Bu çalışmada, mikro akışkan sistemlerinde akış hızına etki eden amper, voltaj, viskozite, sıcaklık ve frekans parametrelerini ve birbiriyle olan ilişkileri incelenmiştir. Otomasyon sistemlerine uyumluluğu denenmiştir. Fiziksel ve kimyasal olarak çeşitli limitleri üzerine deneyler yapılmıştır. Peristaltik pompa sistemlerinde kullanılan hortumların elastik modülü daha yüksek olması durumunda pompanın verimi olduğundan daha iyi konumda olacaktır. Silikon bazlı hortumların malzeme tutma özelliği, sistemi tehlikeye sokmaktadır. Silikon tüplerin içi malzeme tutmayan elastik bir kaplama ile birleştiğinde sistem daha performanslı çalışacaktır. Ayrıca peristaltik pompaların pals sistemli olması ve peristaltik pompalarının mekanik yapısı itibari ile düzenli bir akış oluşturmaması diğer bir dezavantajdır. Bu duruma alternatif olarak geliştirdiğimiz akustik pompanın frekansının yüksek olması nedeniyle peristaltik pompaya göre daha düzenli akış sağlaması için iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Boyut ve az sayıda mekanik ekipmana sahip olması nedeniyle gelecekte daha kullanışlı sistemlerin eldesinde kullanılması daha olasıdır. Mikro akışkan sistemlerin otomatize edilme ve modüler olarak üretilmeleri durumunda yapılan çalışmaların verimliliğini artıracığı ve insan faktörünü en aza indirerek daha kaliteli çalışmaların önünü açacaktır. Minimum madde sarfiyatı sayesinde ise çalışmaların ekonomisine olumlu katkıları olacak sistemlerdir. Bu sistemlerin

modüler olması durumunda ve yazılım kullanarak daha özgün çalışmalar çıkacaktır. Tüm bunlar bu sistemlerin gelecekte ne kadar önemli olduğunun göstergesidir.



- [1] Wen-Ming, L., Li, L., Li, R., Jian-Chun, W., Qin, T., Xue-Qin, W., Jin-Yi, W., Diversification of microfluidic chip for applications in cell based bioanalysis. Chinese Journal of Analytical Chemistry 40(1): 24-31, 2012.
- [2] Guo, L., Feng, J., Fang, Z., Xu, J. and Lu, X. Application of microfluidic "lab-on-a-chip" for the detection of mycotoxins in foods. Trends in Food Science & Technology 46: 252-263, 2015.
- [3] Ertugrul, İ., Akkus, N., Aygöl, E., Yalçınkaya, S. and Ertunç, H. M., "MEMS fabrication using PµSL technique based 3D printer", International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Vol. 4, Issue 1, Pages 38-43, 2020.
- [4] C. DS, R. RS Fast Benchtop Fabrication of Laminar Flow Chambers for Advanced Microscopy Techniques,2009
- [5] Q. Hu, T. Jiang 1 and H. Jiang, Numerical Simulation and Experimental Validation of Liquid Metal Droplet Formation in a Co-Flowing Capillary Microfluidic Device,2020
- [6] N. Lovecchio, D. Caputo, A. Nascetti, G. Petrucci, M. Carpentiero and G. de Cesare., Drop position sensing in digital microfluidics based on capacitance measurement, 2015
- [7] Pan, L.-J.; Tu, J.-W.; Ma, H.-T.; Yang, Y.-J.; Tian, Z.-Q.; Pang, D.-W.; Zhang, Z.-L. Controllable synthesis of nanocrystals in droplet reactors. Lab. Chip, 18, 41–56. 2018,
- [8] Thomases, B. and Guy, R. D., "Polymer stress growth in viscoelastic fluids in oscillating extensional flows with applications to micro-organism locomotion", Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 269, Issue 5, Pages 47-56, 2019.

- [9] Ma, J., Wang, Y. and Liu, J., “Biomaterials meet microfluidics: from synthesis technologies to biological applications”, *Micromachines*, Vol. 8, Issue 8, Pages 255-268, 2017.
- [10] James, M.; Revia, R.A.; Stephen, Z.; Zhang, M. Microfluidic Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles. *Nanomaterials*, 10, 2113. [CrossRef] [PubMed], 2020.
- [11] Nielsen, J.B.; Hanson, R.L.; Almughamsi, H.M.; Pang, C.; Fish, T.R.; Woolley, A.T. Microfluidics: Innovations in Materials and Their Fabrication and Functionalization. *Anal. Chem.*, 92, 150–168, 2020.
- [12] Ren, K.; Zhou, J.; Wu, H. Materials for Microfluidic Chip Fabrication. *Acc. Chem. Res.*, 46, 2396–2406, 2013.
- [13] Singh, A.; Malek, C.K.; Kulkarni, S.K. Development in microreactor technology for nanoparticle synthesis. *Int. J. Nanosci.*, 9, 93–112, 2010.
- [14] Kotz, F.; Mader, M.; Dellen, N.; Risch, P.; Kick, A.; Helmer, D.; Rapp, B.E. Fused deposition modeling of microfluidic chips in polymethylmethacrylate. *Micromachines*, 11, 873, 2020.
- [15] Cabeza, V.S. High and efficient production of nanomaterials by microfluidic reactor approaches. In *Advances in Microfluidics—New Applications in Biology, Energy, and Materials Sciences*; InTech: Rijeka, Croatia, 2016.
- [16] Martins, J.P.; Torrieri, G.; Santos, H.A. The importance of microfluidics for the preparation of nanoparticles as advanced drug delivery systems. *Expert Opin. Drug Deliv.*, 15, 469–479. [CrossRef], 2018.
- [17] Bruijns, B.; Veciana, A.; Tiggelaar, R.; Gardeniers, H. Cyclic olefin copolymer microfluidic devices for forensic applications. *Biosensors*, 9, 85. 2019.
- [18] Boodaghi, M.; Shamloo, A. A comparison of different geometrical elements to model fluid wicking in paper-based microfluidic devices. *Aiche J.*, 66, e16756, 2020.
- [19] Zhang, Y.; Liu, J.; Wang, H.; Fan, Y. Laser-induced selective wax reflow for paper-based microfluidics. *RSC Adv.*, 9, 11460–11464. [CrossRef], 2019.

- [20] Soum, V.; Park, S.; Brilian, A.I.; Kwon, O.-S.; Shin, K. Programmable paper-based microfluidic devices for biomarker detections. *Micromachines* 2019, 10, 516. [CrossRef]
- [21] Schaumburg, F.; Berli, C.L.A. Assessing the rapid flow in multilayer paper-based microfluidic devices. *Microfluid. Nanofluidics* 2019, 23, 98. [CrossRef]
- [22] Behera, B. and Chandra, S., “An innovative gas sensor incorporating ZnO–CuO nanoflakes in planar MEMS technology”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 229, Issue 2, Pages 414-424, 2016.
- [23] Ertugrul, I., “The Fabrication of micro beam from photopolymer by digital light processing 3D printing technology”, *Micromachines*, Vol. 11, Issue 5, Pages 518, 2020.
- [24] Waldbaur, A.; Rapp, H.; Länge, K.; Rapp, B.E. Let there be chip—towards rapid prototyping of microfluidic devices: One-step manufacturing processes. *Anal. Methods* 2011, 3, 2681–2716.
- [25] Hwang, J.; Cho, Y.H.; Park, M.S.; Kim, B.H. Microchannel Fabrication on Glass Materials for Microfluidic Devices. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 2019, 20, 479–495.
- [26] Faustino, V.; Catarino, S.O.; Lima, R.; Minas, G. Biomedical microfluidic devices by using low-cost fabrication techniques: A review. *J. Biomech.* 2016, 49, 2280–2292.
- [27] Guckenberger, D.J.; de Groot, T.E.; Wan, A.M.D.; Beebe, D.J.; Young, E.W.K. Micromilling: A method for ultra-rapid prototyping of plastic microfluidic devices. *Lab. Chip* 2015, 15, 2364–2378.
- [28] Moore G. E. ‘Cramming More Circuits into Chips’*Electronics*, 38(8) 114-117 1965.
- [29] Iliescu, C.; Taylor, H.; Avram, M.; Miao, J.; Franssila, S. A practical guide for the fabrication of microfluidic devices using glass and silicon. *Biomicrofluidics* 2012, 6, 016505.

- [30] Gale B.K., Jafek A.R., Lambert C.J., Goenner B.L., Moghimifam H., Nze U.C., Kamarapu S.K. A review of current methods in microfluidic device fabrication and future commercialization prospects. *Inventions*. 2018; 3: 60. doi: 10.3390/inventions3030060
- [31] K.L.Wlodarczyk, D. P. Hand & M. M. Maroto-Valer, Maskless, rapid manufacturing of glass microfluidic devices using a picosecond pulsed laser, 2019
- [32] Nielsen J.B., Hanson R.L., Almughamsi H.M., Pang C., Fish T.R., Woolley A.T. Microfluidics: Innovations in Materials and Their Fabrication and Functionalization. *Anal. Chem.* 2020; 92: 150–168. doi: 10.1021/acs.analchem.9b04986
- [33] Alapan Y., Hasan M.N., Shen R., Gurkan U.A. Three-Dimensional Printing Based Hybrid Manufacturing of Microfluidic Devices. *J. Nanotechnol. Eng. Med.* 2015;6 doi: 10.1115/1.4031231.
- [34] Toyomi, Machining & Turning Services, Eriřim Tarihi: 1 Ocak 2023, <https://www.toyomi.com.my/services/machining-turning-services/>
- [35] Hitachi, Etch System - What is an Etch System? Eriřim Tarihi: 1 Ocak 2023, <https://www.hitachi-hightech.com/global/en/knowledge/semiconductor/room/manufacturing/etch.html>
- [36] Makine Eđitimi, Elektro-erozyon nedir, Eriřim Tarihi: 1 Ocak 2023, <https://www.makinaegitimi.com/elektro-erozyon-nedir/>
- [37] Makine Eđitimi, Elektro-erozyon nedir, Eriřim Tarihi: 1 Ocak 2023, <https://www.makinaegitimi.com/elektro-erozyon-nedir/>
- [38] 3dnatives, Nano printing, Eriřim Tarihi 1 Ocak 2023, <https://www.3dnatives.com/en/nanoscribe-3d-printing-170620194/#>
- [39] Bartın Üniversitesi, Nano malzemeler yukarıdan aşağıya üretim, Eriřim Tarihi: 1 Ocak 2023, <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c393503ed6ffb/nanomalzemellersunu2yukaridanasagiuretim.pdf>

Konferans Bildirileri

- [1] E. Aslan, İ. Işıldak, "Çip Üstü Laboratuvar Sistemlerinin (Lab on a Chip) Komponentlerinin Geliştirilmesi", 8.Hitit Öğrenci Kongresi, 12-15 Mayıs 2022

