

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜT POMPASI TASARIMI

Mukadder Eda ALPER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon Programı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT

Eş Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Temmuz, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜT POMPASI TASARIMI

Mukadder Eda ALPER tarafından hazırlanan tez çalışması 13.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU

TEMİZTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Berna BOLAT, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Atakan ALTINKAYNAK

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Berna BOLAT sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Süt Pompası Tasarımı 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.

Mukadder Eda ALPER

Tüm kadınlara,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı seçmem ve bu alanda ilerleme kaydetmemde bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ayrıca yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bana her zaman destek olan saygıdeğer hocalarım, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon A.B.D. öğretim üyelerinden Dr. Berna BOLAT ile Dr. Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ' a ve Berlin Teknik Üniversitesi'nde bulunduğum süre boyunca çalışmama destek olan Prof. Dr. Henning J. MEYER ve Sebastian SCHRÖDER'e teşekkürü borç bilirim.

Mukadder Eda ALPER

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez	10
2 MATERYALLER VE METOT	11
2.1 Anne Sütünün Bileşimi	11
2.2 Memenin Yapısı	13
2.3 Emzirme	14
2.4 Memeden Süt Pompalama	18
2.5 Elektrikli Süt Pompaları	21
2.6 Annelerle Anket Çalışması	27
2.7 Piyasa Araştırması	34
2.8 Bir Elektrikli Süt Pompasının İncelenmesi	35
3 KONSEPT TASARIM	40
3.1 Süt Pompasının Sistemik Yaklaşım ile Tasarımı	40
4 SOMUT TASARIM	53

4.1	Hesaplama	53
4.2	3 Boyutlu Modelleme	56
4.3	Süt Pompası Tasarımında Kullanılan Diğer Elemanlar	65
5	PROTOTİP	67
5.1	Prototipleme	67
5.2	3 Boyutlu Baskı	67
5.3	Montaj	71
5.4	Test	75
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	81
	KAYNAKÇA	84
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	89

SİMGE LİSTESİ

g_i	Ağırlık Faktörü
P	Basınç
S_i	Çözüm Önerileri
V_x	Flanş, Şişe ve Pompa Arasındaki Konektörlerin Hacmi
F_i	Fonksiyonlar
V	Hacim
V_s	Meme Flanşının Hacmi
P_i	Puan
k	sabit
V_b	Şişe Hacmi
ν	Viskozite
V_d	Yarım Pompa Hacmi
ρ	Yoğunluk
H_i	1. Derece Hedefler
H_{ii}	2. Derece Hedefler
H_{iii}	3. Derece Hedefler

KISALTMA LİSTESİ

3B	Üç Boyutlu
A	Arzular
BPA	Bisfenol A
BPC	Bathocuproine
CNC	Computer Numerical Control
H	Hedefler
K	Kesin İstekler
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorür
SLA	Sterolitografi
STL	Standard Tessellation Language
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Farklı vakum değerleri altında süt verimi [5]	5
Şekil 1.2 Basınç dalgalanma grafiklerinin oluşturduğu desenler Annelerin her vakum profili için verdikleri puan değerlendirmeleri grafiği(a) Profil 1, (b) Profil 2, (c) Profil 3, (d) Profil 4, (e) Profil 5, (f) Profil 6 [6]	5
Şekil 1.3 Annelerin her vakum profili için verdikleri puan değerlendirmeleri grafiği(a) Profil 1, (b) Profil 2, (c) Profil 3, (d) Profil 4, (e) Profil 5, (f) Profil 6 [6]	7
Şekil 1.4 Emme sırasında basınç dalgalanması [7].....	8
Şekil 2.1 Laktogenez aşamaları [8]	11
Şekil 2.2 Güne göre süt türü [12]	12
Şekil 2.4 Emme döngüsü [18]	16
Şekil 2.5 (A) gündüz, (B) gece ve (C) 24 saat farklı yaşlarda emzirenlerin sayısı. Ortanca, 25. [21]	17
Şekil 2.6 Orwell H. Needham'ın göğüs pompası, 1854 [25]	21
Şekil 2.7 Cunningham 1910 tarafından patentlenmiş model [25]	22
Şekil 2.8 Eignar Egnell, SMBTM, ilk hastane tipi meme pompası. [27].....	23
Şekil 2.9 Giyilebilir Meme Pompaları (Sol Willow, Sağ Elvie) [31, 32]	25
Şekil 2.10 Boyle Kanunu	25
Şekil 2.11 Elektrikli Göğüs Pompası Temel Parçaları.....	26
Şekil 2.12 Anket Katılımcılarının Süt Pompası Kullanım Oranı.....	27
Şekil 2.13 Laktasyon döneminde çalışma durumuna ait grafik	28
Şekil 2.15 Süt Pompasının Kullanım Sebepleri	30
Şekil 2.16 Süt pompasında marka tercihleri.....	31
Şekil 2.17 Yeni bir süt pompası alırken dikkat edilen kriterler.....	32
Şekil 2.18 Süt Pompası Kullanırken Karşılaşılan Problemler.....	33
Şekil 2.19 Piyasadaki başlıca elektrikli göğüs pompaları: Sırasıyla; Philips Avent, Lansinoh, Medela [35, 36, 37].....	35
Şekil 2.20 Ameda Purely Yours pompa kısmının incelemesi	36
Şekil 2.21 Purely Yours Süt Pompası Basınç Testi Kurulumu	37
Şekil 2.23 İkinci el süt pompasının içindeki süt kalıntıları.....	39
Şekil 3.1 Kara kutu.....	43
Şekil 3.2 Süt Pompası Ayrıntılı Fonksiyon Şeması.....	44

Şekil 3.3 Hedefler ağacı	50
Şekil 4.2 Meme flanşı tasarımının 3B modeli.....	57
Şekil 4.3 Flanş ölçüleri	58
Şekil 4.4 Süt haznesi	59
Şekil 4.6 Bağlayıcı	60
Şekil 4.7 Tasarımı yapılan pompanın çalışma prensibi	62
Şekil 4.8 Pompa modeli	63
Şekil 4.9 Pompa teknik resim.....	63
Şekil 4.10 Süt pompası kabuk tasarımı	64
Şekil 4.11 Süt pompası.....	65
Şekil 4.12 Servo motor üzerine gelen kuvvet	66
Şekil 5.1 Süt haznesi	68
Şekil 5.2 Meme flanşı.....	68
Şekil 5.3 Dış muhafaza	69
Şekil 5.4 İskoç mekanizması parçası	69
Şekil 5.5 Pompa üst parça.....	70
Şekil 5.6 Pompa alt parça.....	70
Şekil 5.7 Konektör	71
Şekil 5.8 Pompa montajı.....	72
Şekil 5.9 Dış muhafaza üzerine pompa sisteminin montajı.....	73
Şekil 5.10 Süt haznesi-konektör montajlanmış	73
Şekil 5.11 Konektör-dış muhafaza-pompa montajlanmış	74
Şekil 5.12 Tüm parçaların montajlanmış durumu	74
Şekil 5.13 Vakum Profiilleri.....	75
Şekil 5.14 Diyafram hareketi ve servo motor açısı ile oluşturulan hacim illüstrasyonu.....	76
Şekil 5.15 Basınç sensörlü deneysel kurulum	79
Şekil 5.16 Süt pompası basınç grafikleri 2.....	79
Şekil 5.17 Süt pompası basınç grafikleri 2.....	80

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Süt sağım ve pompalama metotları	2
Tablo 1.2 Sağım parametrelerine göre farklı profillerin karşılaştırılması [6]	6
Tablo 2.1 Kolostrum ve olgun anne sütünün bileşimi.....	12
Tablo 2.2 Emzirme esnasında ortaya çıkan ortalama basınç	15
Tablo 2.3 Bebeğin anne sütü tüketimi	18
Tablo 2.4 Süt sağımının nedenleri.....	19
Tablo 3.1 İstekler listesi	41
Tablo 3.2 İşlev Zinciri.....	45
Tablo 3.3 Çözüm tablosu.....	47
Tablo 3.3 Tasarım seçenekleri kombinasyonları	48
Tablo 3.5 Teknik ve ekonomik değerlendirmeler.....	51
Tablo 3.6 Tasarım seçeneği 22	52
Tablo 4.1 Süt pompasını oluşturan parçaların hacimleri.....	61
Tablo 5.1 Vakum Profili 1'e göre negatif basınç değerleri ve servo motor açısı....	77
Tablo 5.2 Vakum profili 2'ye göre negatif basınç değerleri ve servo motor açısı .	78

Süt Pompası Tasarımı

Mukadder Eda ALPER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Berna BOLAT

Eş Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Elektrikli süt pompası kullanımı, çalışma hayatında artan kadın istihdamına bağlı olarak artmaktadır. Artan istihdam süt pompası kullanımıyla ilgili farklı talep ve ihtiyaçları ortaya koymaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için piyasada farklı tasarımlar bulunmaktadır. Piyasadaki tasarımların çoğunda, Egnel'in tasarladığı pompa ve bu pompa için belirlediği negatif basıncı oluşturacak güvenli basınç değeri kullanılmaktadır. Belirlenen bu değer üst değer olmakla birlikte, her annenin kendisini konforlu hissettiği sağım değeri için gerekli basınç miktarı farklı olabilmektedir. Pompanın tasarımında bu basınç değeri yanında, sağım süresince oluşan sağım profilindeki dalgalanmalar da etkin bir sağımın yapılmasında rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasında; anneler için farklı, ergonomik, kullanıcı odaklı, konforu ön plana çıkaran yeni bir tasarım ortaya koyulmuştur. Tasarım için gerekli kriterleri belirlemek için öncelikle elektrikli süt pompası kullanan annelerle bir anket çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; literatür ve patent araştırmalarından elde edilen verilerle birlikte sistematik konstrüksiyon yöntemi kullanılarak irdelenmiş ve öncelikli kriterler belirlenmiştir. Özellikle anket sonucunda annelerin yaşadıkları fizyolojik ve psikolojik problemlerin ön planda olması ve ayrıca mevcut

elektrikli süt pompalarının çok parçalı ve büyük yapılara sahip olmalarının hareket kabiliyetini kısıtlaması, tasarım için çözülmesi gereken ana hedefler olarak ortaya konulmuştur.

Çalışmada pompa için gerekli basınç değerinin belirlenmesi için yapılan analitik hesapta Boyle prensibi esas alınmış ve bu prensip yardımıyla hacim-basınç dengesi oluşturulmuştur. Basınç dalgalanma profilleri bir mikro işlemci kontrolü ile diyaframın hareketine bağlı olacak şekilde sistemde aktive edilmiştir. Bu profiller bebeğin doğal emiş ritimlerini takip edecek şekildedir. Tasarımda Egnell'in tasarladığı süt pompası için belirlediği 200 mg Hg'lik basınç farkı referans alınmıştır. Fusion 360 çizim programı kullanılarak öncelikle bilgisayar ortamında tasarlanıp, sonrasında prototipi gerçekleştirilen elektrikli süt pompası, test edilmek üzere yapay meme modeline bağlanmıştır. Ardından bir basınç sensörü ile ulaşılan basınç değerleri ve oluşan vakum profilleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde anneler için daha ergonomik, kullanıcı odaklı yeni bir tasarım ortaya konabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: St pompası, anne st, sistematik konstrüksiyon, optimizasyon, endüstriyel tasarım

Breast Pump Design

Mukadder Eda ALPER

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Birgöl AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Co-advisor: Assist. Prof. Dr. Berna BOLAT

Electric breast pump usage is growing due to the increasing employment of women. It reveals different demands and needs regarding breast pumps. To meet these needs, there are different designs on the market. These designs base on the pump designed by Egnel and the safe pressure value determined for breast pumps are used. Although this is the upper value, the amount of pressure required for the expressing milk at which each mother feels comfortable may be different. In addition, pressure patterns also play a role in effective expressing. In this study, a different, ergonomic, user-oriented design that emphasizes comfort has been introduced for mothers. Firstly, a survey was conducted with mothers to determine the needs of the design. The results combined with literature and patent research to determine priority criteria's with using systematic approach. Survey signified the physiological and psychological problems experienced by the mothers are at the forefront, and that the existing electric breast pumps have multi-part and large structures, limiting their mobility. These are the main objectives to be solved for the design.

An analytical calculation has been made based on Boyle's law to determine the required volume of the pump and a volume-pressure balance was created. Pressure

patterns were applied to the system with the control of the microprocessor depending on the movement of the diaphragm. The patterns correspond to the baby's natural sucking. Egnell's safe negative pressure value of 200 mm Hg was taken as a reference. Initially, the electric breast pump was modelled on computer with Fusion 360 and prototyped. Later, it was attached to an artificial breast model and pressure sensor to observe working pressure value and patterns. The results were compared with the theoretical values.

As a result, more ergonomic and user-oriented a new breast pump design can be put forward for mothers.

Keywords: Breast Pump, breast milk, systematic approach, optimization, industrial design

1.1 Literatür Özeti

Bilimsel veriler, anne sütünün sahip olduğu özellikler nedeniyle, bebekleri beslemede en iyi seçenek olduğunu göstermektedir. Anne sütünü, içeriği ile bebeğe bağışıklık sağlamada önemli rol oynar [1]. Yapılan araştırmalar bebekleri 2 yaşına kadar anne sütünü ile beslemenin önemli olduğunu göstermektedir [2]. Ancak annelerin çalışması, sağlık problemleri gibi çeşitli sebeplere bağlı olarak bebeklerini doğrudan emziremeyebilirler. Bu noktada annelerin sütünlerini sağmaları gerekir. UNICEF da anne sütünü ememeyen bebekler için anne sütünü sağmanın önemini vurgulamıştır [2].

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada annelerin %85'inin bebeklerini sağılmış sütün ile besledikleri görölmüştür [3]. Anne sütünü sağmanın çeşitli metotları bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan metotlar: elle sağım, sıcak kavanoz yöntemi, manuel ve elektrikli pompalardır.

Sözlükte sütün pompası bir annenin göğsünden emiş gücüyle sütün getirilmesi olarak tanımlanmaktadır [4]. Sütün pompası sütün sağılması için ve aynı zamanda sütün gelişini tetiklemek üzere kullanılır. Sütün pompası ile anne sütünün sağımı; göğüs ucuna yerleştirilen huni şeklindeki bir flanş içerisinde pompa ile oluşturulan emiş sayesinde gerçeleştirilir.

Sütün pompaları elektrikli veya manuel olabilir. Elektrikli sütün pompaları ise:

- a. Yarı otomatik pompalar
- b. Bireysel kullanımlı pompalar
- c. Hastane tipi pompalar

olarak sınıflandırılır.

Pompa çeşitleri Tablo 1.1'de detaylandırılmıştır.

Tablo 1.1 Süt sağım ve pompalama metotları

Tip	Aksiyon	Ekipman	Bulunabilirlik
Elle sağım	El ile memenin sıkılması ve meme üzerine masaj yapılması ile süt gelme refleksinin uyarılması şeklinde uygulanır.	Yok	Evrensel
Sıcak kavanoz (soğuk bez)	Soğutma, sütün göğüsten (daha yüksek basınç) kavanoza (daha düşük basınç) akması için bir vakum oluşturur. Ancak emme basıncının kontrol edilmesi zor olabilmektedir.	Uygun bir cam kavanoz, sıcak su, soğuk su, bez.	Yaygın
Manuel Pompa bir puarı sıkma, bağlanmış iki silindiri çekme, tutma kolunu sıkma gevşetme	Negatif basınç pompayı manuel olarak el ile tahrik etme sonucunda oluşturulur. Ancak emme basıncının kontrol edilmesi zor olabilmektedir.	Pompa Temizleme malzemeleri En az parçadan oluşur. Tekli veya çift olarak kullanılabilir	Piyasada bulunabilir.

Tablo 1.1 Süt sağım ve pompalama metotları(devamı)

<p>Şarjlı veya pilli pompa: bir batarya ile çalışan elektrikli pompa</p>	<p>Pompadaki negatif basınç göğüsten süt akışını sağlar. Emiş gücü ve döngü birçok pompada ayarlanabilir.</p>	<p>Pompa</p> <p>Batarya. Pille çalışıyorsa bir saatten sonra yeni pil gereklidir.</p> <p>AC adaptör</p> <p>Temizleme elemanları.</p> <p>Birçok pompa en az parçadan oluşur.</p> <p>Çoğu elde tutulur, bu nedenle pompa ve süt ağırlığı endişe yaratabilir.</p>	<p>Piyasada bulunabilir.</p>
<p>Küçük diyaframli elektrikli pompalar</p>	<p>Pompa hareketinin yarattığı negatif basınç, sütün göğüsten pompaya akmasına neden olur.</p> <p>Bazı markalarda ayarlanabilir emiş basıncı ve döngü süresi</p>	<p>Pompa</p> <p>Elektrik</p> <p>Temizleme parçaları</p> <p>Birçoğu birden fazla parçadan oluşur</p> <p>İkili setler çift pompalama için kullanılabilir.</p>	<p>Piyasada bulunabilir</p>

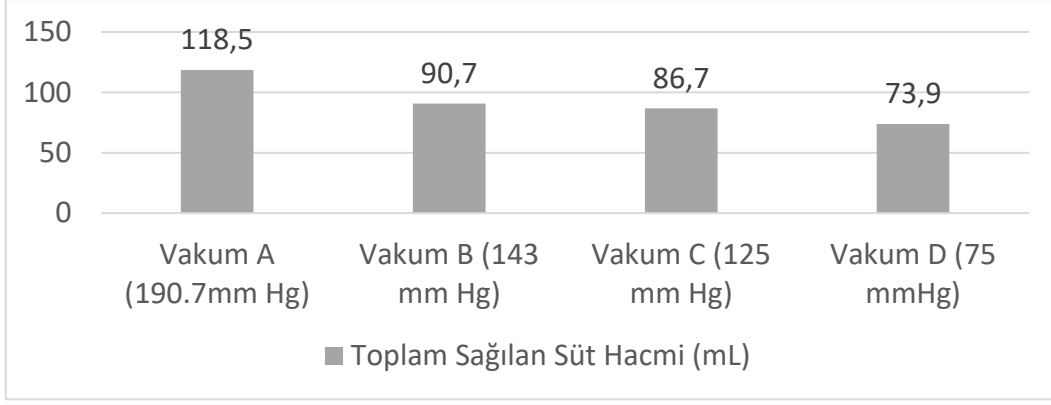
Tablo 1.1 Süt sağım ve pompalama metotları (devamı)

Büyük elektrikli: pistonlu pompa, döner kanatlı pompa, diyaframlı pompa. Güç, akü veya ayak pedalıyla sağlanabilir	Pompanın hareketinin yarattığı negatif basınç etkisi süt akışına sebep olur. Emiş basıncının kontrolü zor olabilir. Bazı markalarda kol kuvvetiyle bunu desteklemek üzere tasarlanmıştır.	Pompa Elektrik kaynağı Temizleme Ekipmanı 10 veya daha fazla parça içerir 2 set halinde bulunabilir. Çift sağım	Genellikle hastanelerde, pompa kiralayan şirketlerde
--	---	--	--

Literatürdeki yapılmış birçok çalışmanın temeli memeden sütün verimli sağılması üzerinedir. Bu bölümde ayrıca çalışmanın referansını oluşturacağı düşünülmüş belli başlı öne çıkan yayınlar özetlenmiştir.

1.1.1 Süt Sağımında Vakumun Önemi

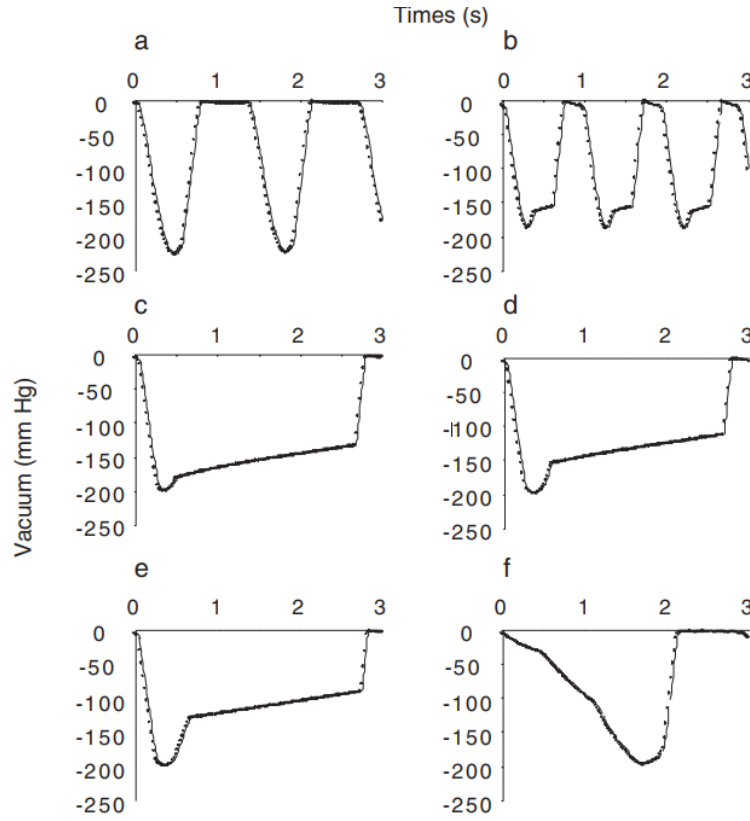
Elektrikli göğüs pompası kullanılarak uygulanan vakumun, akış hızı ve anne sütü verimi üzerindeki etkisi Kent J.C., Mitoulas L.R ve meslektaşları tarafından araştırılmıştır [5]. Bu çalışmada; emziren anneler ve süt veren iki anne denek olarak kullanılmıştır. Anneler sütlerini, rahat ettikleri en yüksek negatif basınç değerinde, 15 dakika boyunca sağmışlardır. Bu prosedürü daha düşük üç negatif basınç değeri için de tekrar edilmiş ve süt verimi ve akış hızı deneylerde ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 1.1'de görüldüğü üzere, annenin rahat edeceği maksimum negatif basınç (vakum etkisi) değeri seçildiği takdirde, süt verimi ve süt akışını hızlandırdığını göstermiştir.



Şekil 1.1 Farklı vakum değerleri altında süt verimi [5]

1.1.2 Vakum Profilin Süt Sağımı Üzerindeki Etkileri

Mitoulas ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 30 anne 6 farklı vakum profilini kullanarak sağım gerçekleştirmişlerdir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Basınç dalgalanma grafiklerinin oluşturduğu desenler (a) Profil 1, (b) Profil 2, (c) Profil 3, (d) Profil 4, (e) Profil 5, (f) Profil 6 [6]

Her anne 5 dakikalık sağım yapmıştır. Deneysel, yazılım kontrollü ve piyasada bulunabilen bir elektrikli süt pompası (B2000, Medela AG, Switzerland); piyasada

bulunabilen bir göğüs flanşı ve süt toplama haznesine (Medela AG, Switzerland) bağlanarak süt sağımı içim kullanılmıştır. Pompa 0-250 mm Hg arası basınç uygulama ve 20'den 120 ye kadar devir ayarlayabilme özelliklerine sahip bir pompadır. Anneler pompalama süresince rahat ettikleri basınç değerini ayarlama serbest bırakılmışlardır.

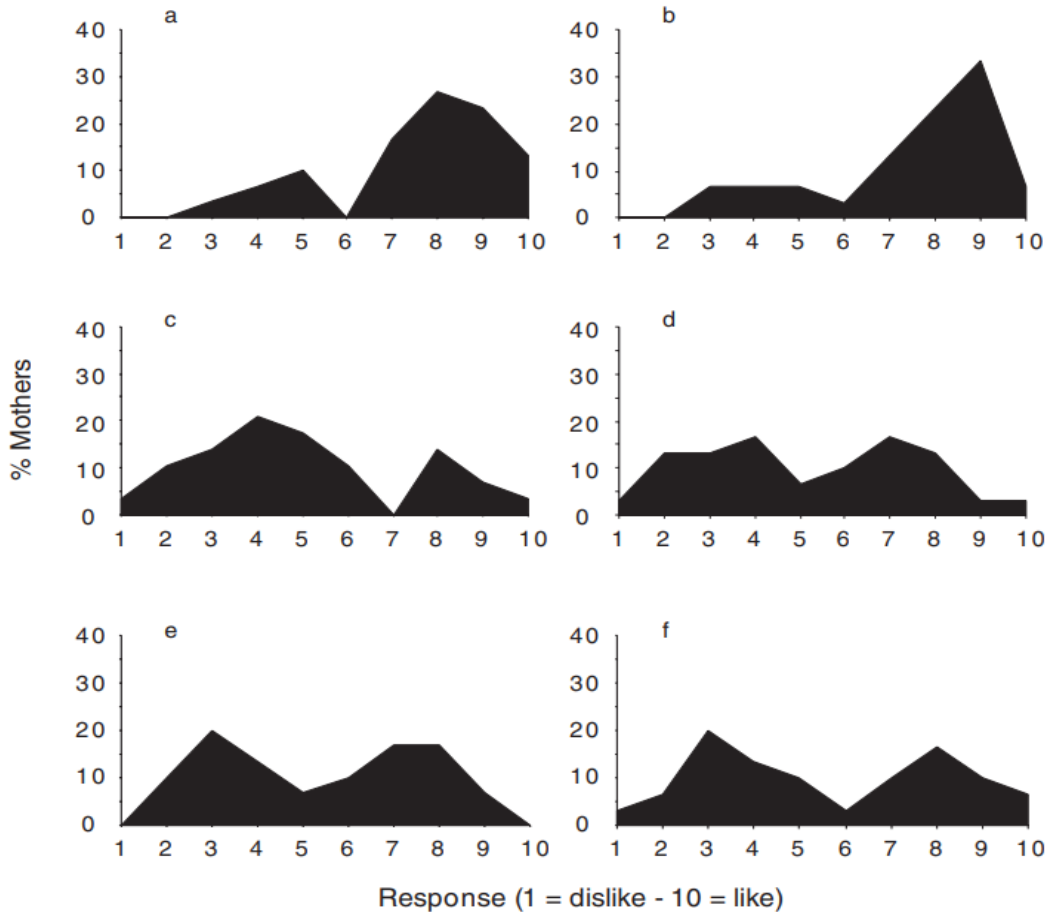
Farklı vakum profillerin uygulanması sonucu elde edilen süt hacimleri değerlendirmek üzere karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, her anneden elde edilen süt hacimleri farklı olabileceğinde bu değerler memede bulunan süt yüzdesine çevrilerek değerlendirilmiştir (Tablo 1.2).

Tablo 2.2 Sağım parametrelerine göre farklı profillerin karşılaştırılması [6]

Parametre	Vakum Profili					
	1	2	3	4	5	6
Hacim (mL)	60.6 ± 7.1	62.8 ± 6.6	50.6 ± 5.7	51.2 ± 5.2	50.2 ± 6.2	47.2 ± 5.1
% 2 dakikada	48.2 ± 6.5	43.3 ± 5.0	61.2 ± 8.1	50.9 ± 6.8	48.1 ± 6.8	46.7 ± 8.0
% 5 dakikada	99.4 ± 15.1	85.7 ± 10.2	92.8 ± 12.8	79.1 ± 9.0	70.6 ± 8.6	84.2 ± 11.5
Vakum (mm Hg)	-191.3 ± 6.5	-175.9 ± 8.9	-167.2 ± 6.0	-174.4 ± 6.2	-182.2 ± 7.4	-174.1 ± 7.7

Tablo 1.2'de görüldüğü üzere 5 dakikada elde edilen süt yüzdesi en yüksek değer olan %99,4'e vakum profili 1'de ulaşmıştır. Vakum profili ise ilk 2 dakikada en verimli süt sağımını gerçekleştirmiştir. Ancak gözlemlenen süt porsiyonlarında çok

fazla farklılık izlenmemiştir. Yine de 1,2,3,4,6 ile numaralandırılmış Şekil 1.2' de gösterilen profillerin 5' ten daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3 Annelerin her vakum profili için verdikleri puan değerlendirmeleri grafiği(a) Profil 1, (b) Profil 2, (c) Profil 3, (d) Profil 4, (e) Profil 5, (f) Profil 6 [6]

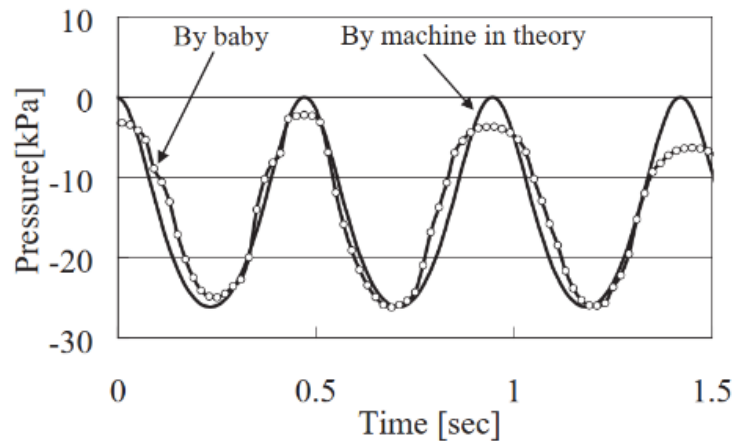
Bunların yanında annelerden de her sağım seansının sonunda geribildirim alınmıştır. Her profilin anneliğe özgü cevaplarında, 1 ve 2 numaralı profil %80 ile annelerin verdiği geri bildirimlerde en iyi olumlu yanıt almıştır. Diğer profillerin aldığı olumlu yanıtlar ise büyükten küçüğe sırasıyla şu şekildedir: *Profil 5* (%50), *4* (46.67%), *6* (46.67%), ve *3* (34.5%). Yanıtlar sağılan süt yüzdesi ile ilişkili değildir. Annelerin her profil için tercih ettiği puan (1 = hiç beğenmedim, 10 = çok beğendim) vakum puanı (0 = zayıf, 5 = güçlü) ile doğrudan ilişkilidir.

Çalışmanın sonucunda optimum profilin elde edilmesi için arka arkaya farklı iki profil kullanılması gerektiği saptanmıştır. *Profil 1* süt gelme refleksini uyarıcı profil olarak çalışırken *Profil 2* meme kanallarından sütü sağım için kullanılabilir. Ayrıca

çalışan anneler için zaman önemli bir faktör olduğundan Profil 2'nin 2 dakika kullanılması kullanışlı olmaktadır.

1.1.3 Peristaltik Hareketli Süt Pompası

Tokyo Bilim Üniversitesinden bir grup araştırmacının yaptığı çalışmada bebek emmesine benzer bir peristaltik hareketli pompa yapılmıştır [7]. Piyasada bulunan birçok ürün negatif basınç emişini kullanarak süt sağımını gerçekleştirir. Ancak, gerçekte bebek annenin memesinden sütü emerken, ağızında oluşan emiş dil hareketlerini de ekler. Öncelikle, bu çalışmada bu hareketlerin nasıl olduğu ultrason yardımıyla gözlemlenmiştir. Emen bebek; üst çenesi sabit, alt çenesi ve dili hareketliken peristaltizmi meme ucuna iletir. Peristaltik hareketi nedeniyle oluşan meme ucu yer değiştirmesi üst çeneden ölçülmüştür. Oluşan negatif basınç değerini ölçmek için, göğüs ucuna bir sensör bağlanmıştır. Bebeğin oluşturduğu emiş değeri 0.48 saniyede -26kPA (-200 mm Hg) cıva olarak gözlemlenmiştir(şekil 1.4). Bu çalışmadan elde edilen değerler, çalışmamızda referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.4 Emme sırasında basınç dalgalanması [7]

Devir ve en yüksek negatif basınç değeri süt sağımında ya da emiliminde Mitoulas 'a göre önemli faktörlerdendir [7]. Emmedeki negatif basınç profilleri ile peristaltik pozitif basınç arasındaki ilişki netleştirilmiştir.

Çalışmada göğüs pompası bir pedin peristalsis bölümünden, biberondan ve bir negatif basınç üreticiden oluşur. Peristalsis bölümünde bir kam kullanmıştır. Negatif basınç üretici, bebeğin peristalsis hareketi benzeri negatif basınç üretir. Bir

bebeğin ağızını, dilini, çenesi, dişlerini ve negatif basıncı kullanarak anne sütünü emmesi gibi; göğüs pompası pedinde, meme ucunu ve areolayı yeterince kavrayacak geniş bir açıklık tasarlanmıştır [7]. Şekil 1.4, peristalsis bölümüne genel bir bakışı göstermektedir. Makaralar bebeğin peristaltik hareketini taklit eder ve hareketi meme üzerindeki ped üzerinden verir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmamızın temel amacı; optimum düzeyde etkili ve kullanışlı anneler için bir süt pompası tasarımı yapmaktır.

Bu çalışmadaki amaçlar:

- Piyasada bulunan mevcut süt pompa örneklerini tetkik etmek,
- Annelerin ihtiyaç ve problemleri ile ilgili önemli verileri toplamak,
- Günümüzde çalışan kadınlar için süt pompasının önemine vurgu yapmak,
- Gerekli negatif basınç değerlerini sağlayacak sistemi geliştirmek ve teknik detayları sağlayarak hesaplanmalarını gerçekleştirmek,
- Süt pompası tasarımına dair bir metot ortaya koymak,
- Süt pompalama sırasında sağımın yanında aynı zamanda meme üzerinde masaj sağlayarak annenin konforunu da göz önünde bulunduran bir tasarım ortaya koymak,
- Giyilebilir ve ergonomik bir tasarım yapmak,
- Hedeflenen tasarımın bilgisayar destekli 3 boyutlu modellerini yapmak,
- Süt pompasını kontrol eden gerekli yazılımları gerçekleştirmek,
- Bir prototip yapmak
- Yapılan prototipin uygunluğunu test etmektir.

1.2.1 Tezin Kapsamı ve Sınırları

Tez kapsamında annelerin evde ya da diledikleri bir yerde kullanabileceği elektrikli bir süt pompası tasarımı düşünülmüştür. Konu içerisinde, süt pompası tasarımı sürecine kadar anne sütünün yapısı ve bebeğin emzirme süreci literatürde incelenmiştir. Çalışmada süt pompasının tasarımına odaklanılmıştır ve sütün akışı bu tez kapsamında incelenmemiştir. Süt pompası tasarımının prototipinin gerçekleştirilmesi için araştırma alanında bulunan uygun teçhizatlar kullanılmıştır.

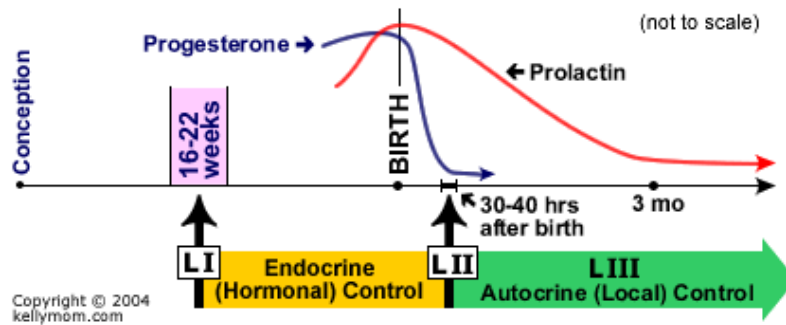
Herhangi bir proje desteğinden faydalanılmadığı için en uygun maliyetli olacak şekilde hazırlanması düşünülmüştür. Çalışmada geliştirilen ürün ticari değildir.

1.3 Hipotez

Süt pompası tasarımının günümüz standartlarına daha uygun kullanıcı odaklı yaklaşım ile geliştirilmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada tasarım metodu olarak sistematik konstrüksiyon yöntemi kullanılarak anneler için ev tipi bir elektrikli süt pompasının tasarımı öncelikle kararlaştırılmıştır. Tasarımda kadını ve biyolojik yapısını temel alan ergonomik bir pompa ortaya koyarak günümüz şartlarına uygun hale getirmek amaçlanmıştır.

2.1 Anne Sütünün Bileşimi

Piyasada bulunan elektrikli süt pompalarının problemlerini anlamak için öncelikle anne sütünü, onun yapısını ve biyolojik sürecini anlamak gereklidir. Anne sütü besinleri taşıyabilir, biyokimyasal sistemleri etkileyebilir, bağışıklığı artırabilir ve patojenleri yok edebilir. Ulusal ve uluslararası sağlık kuruluşları, annelerin yaşamlarının ilk yılı boyunca ve sonrasında anne ve bebeğe faydalı olduğu sürece emzirmelerini önermektedir [8, 9]. Süt bileşimini yani yapısını; laktasyon aşamaları, bebeğin kaç aylık olduğu, emzirme dönemi, bebeğin beslenme isteğinin sıklığı ve memedeki süt dolu duktal sistemin doluluk oranı gibi faktörler etkiler [8]. Laktogenez, gebelikten emzirmeye geçiş dönemi olarak tanımlanabilir. 16 haftalık gebelikten sonra, gebelik ilerlemese bile vücut kendini emzirmeye hazırlar [8]. Laktogenez aşamalara ayrılır. Doğum sonrası 30-40 saat sonrasına kadar olan ilk dönem Lactogenesis I fazı olarak adlandırılır. Laktogenez II fazı, progesteron hormonun doğumdan sonraki 36 ve 96. Saatler arasında azalması ve prolaktinin zirve yapmasıyla başlar. Laktasyonun 96. Saatten sonra devam ettiği süreç ise Laktogenez III aşamasıdır. Şekil 2.1'de laktogenez aşamaları grafik üzerinde gösterilmiştir.



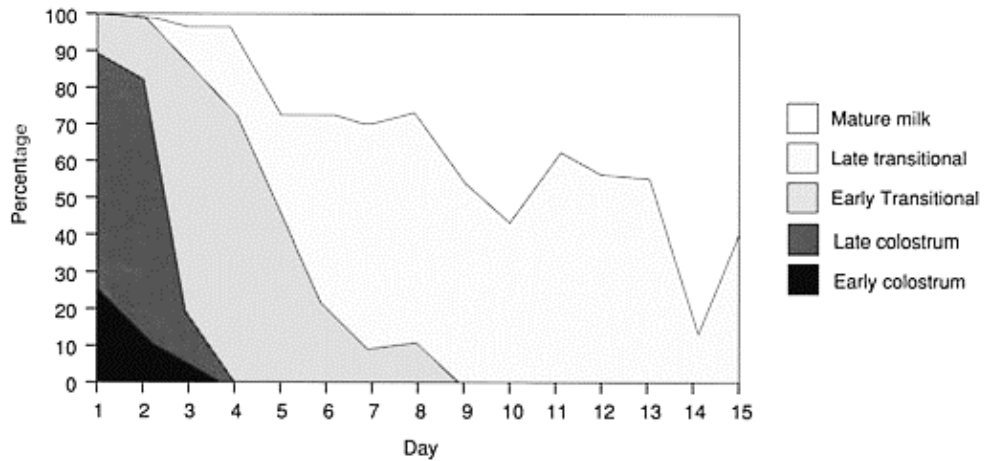
Şekil 2.1 Laktogenez aşamaları [8]

Laktogenez I aşamasında gelen süte kolostrum denir. Bu sütün yapısı, Laktasyon II aşamasındaki olgun sütün yapısından farklıdır. Genel olarak anne sütü; protein, yağ, karbonhidrat gibi temel bileşenlerden oluşur. Tablo 2.1’de kolostrum ve olgun anne sütünün bileşimi gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Kolostrum ve olgun anne sütünün bileşimi

Bileşen -100 mL Başına	Kolostrum 1-5 Gün	Olgun Süt
Enerji, kcal	58	70
Laktoz	5.3	7.3
Toplam yağ, g	2.9	4.2
Toplam protein, g	2.3	0.9

Kolostrum daha fazla protein ve mineral içerirken, yağ ve karbonhidratlar bakımından daha fakirdir. Özgül ağırlığı sonraki sütlerden daha yüksektir ve yaklaşık 1.079 g / mL’dir [10]. Doğumun ilk günlerinde kolostrum sütü gelir. Bebeğe verilen kolostrum sütünün miktarı 37 mL civarındadır. Her emzirmede ise, 7 ila 14 mL arasında kolostrum sütü bebeğe verilir [11]. Şekil 2.2 doğumla birlikte gelen sütün aşamalarını göstermektedir.



Şekil 2.2 Güne göre sütün türü [12]

İnsan sütünün içeriği birçok faktöre göre değişiklik gösterir. Ancak, geçmişte yapılmış olan çalışmalar içeriğin tahmin edilmesine dair yol haritasını sağlamaktadır. Annenin ürettiği süt hacmi, sütün bileşimi üzerinde önemli ölçüde etkilidir. Bebek büyüdükçe daha farklı ve daha fazla besine ihtiyaç duyar. Bu ihtiyaca karşılık annenin ürettiği süt miktarı da hatırı sayılır şekilde artmaktadır. Sütün yapısı bu çeşitli faktörlere bağlı olarak, aydan aya değiştiği için yoğunluk ve viskozitesi de değişecektir. Yaklaşık olarak sütün yoğunluğu $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ kabul edilir [13]. Viskozite ölçümüne yönelik klinik veriler, anne sütünün viskozitesinin laktasyonun ilk birkaç gününde (erken emzirme) büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. Emzirmenin ilk gününde viskozite $50 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ kadar yüksek olabilir ve emzirmenin ikinci haftasında hızla $1,66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ kadar düşer. Bundan sonra viskozite oldukça homojen bir seviyede kalır [13]. Mortazavi, Geddes ve Hassanipour tarafından yapılan çalışmada sütün viskozitesi $\nu = 26 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak kabul edilmiştir [14].

2.2 Memenin Yapısı

Göğüs bölgesinin ikinci ve yedinci kaburgalarının arasında kalan kısımda meme dokusu yer alır. Memenin fiziksel görünümüne bakıldığında ön yüzünden bakıldığında görülen kısım göğüs ucudur. Göğüs ucu ten rengine göre daha koyu pigmentli dairesel bir alan ile çevrelenmiştir. Bu dairesel alana areola adı verilir. Laktasyon dönemi boyunca göğüs ucundaki areolanın çapı her insanda farklı olmak üzere ortalama 6.4 cm dir. Meme ucunun erektil kısmı ortalama 1.6 cm çapındadır ve 0.7 cm uzunluğundadır [15]. Memenin içerisinde ise kanallar, salgı bezleri ve yağ dokusu bulunur. Meme bezi, insanlarda ve memelilerde yavruları beslemek için süt üreten ekzokrin bir bezdir. Olgun bir meme bezinin temel bileşenleri, süt salgılayan küboidal hücrelerle kaplı ve miyoepitelial hücrelerle çevrili alveollerdir. Memenin süt üreten lobülleri vardır. Bunlar birbirinden bağımsız şekilde 15-20 adet arasında olabilir [8]. Bu loblarında kendisinden daha küçük alt birimleri mevcuttur. Bu alt birimler süt içeren asıl hücrelerden oluşur. Şekil 2.3'te memenin yapısı görselleştirilmiştir. Sütün taşınması ise süt hücrelerinden meme ucuna ulaşan

kanallar sayesinde yapılır. Bu kanallardan bazıları meme ucuna geldiğinde birleşir ve meme yüzeyinde 5 veya 10 tane açıklık görülebilir [8].

Kadın memesinin büyüklüğünün, simetrisinin ve şeklinin laktasyon yeteneğiyle çok ilişkili değildir [16]. İnsanlarda çok farklı kombinasyonlarda meme bulanabilir. Örneğin Büyük dokulu küçük areolalı küçük uçlu olabileceği gibi, ya da küçük dokulu, büyük areolalı büyük uçlu gibi olabilir.

2.3 Emzirme

Emzirmenin hem emziren anne için hem de bebek için birçok avantajı vardır. Bunlar arasında; sağlık, beslenme, immünolojik, gelişimsel, psikoloji, sosyal, ekonomik ve çevresel faydalar yer almaktadır [15].

Koşullarda bir anormalliğin bulunmadığı bir emzirmede, bebeğin memeden emerek beslenmesi için gerekli iki unsur vardır:

- süt üreten ve serbest bırakan bir meme,
- sütü etkili bir emzirme ile memeden alabilen bir bebek.

Bebeğin memeye bağlanma şekli, bu iki elementin ne kadar başarılı bir şekilde bir araya geldiğine bağlıdır. Süt memeden emilmezse veya sağılmazsa, anne vücudunda daha fazla süt üretimi yapılmaz. Bebeğin iyi beslenmesi için ağızına çok miktarda areola alması gerekir. Areolada, cildi sağlıklı tutmak için yağlı bir sıvı sağlayan bezler vardır [15]. Göğsün içinde:

- Meme boyutunu ve şeklini veren yağ ve destekleyici doku,
- Memeden beyne laktasyon hormonlarının salınımını tetiklemek için mesaj ileten sinirler,
- Süt üreten hücrelerin küçük keseleri veya süt üreten alveoller,
- Meme ucuna süt taşıyan süt kanalları vardır. Sütün etkili bir şekilde çıkarılması için areolanın altındaki süt kanallarını sıkıştırılması gerekir. Bunun için bebeğin memeye düzgün tutunması gerekir.

Süt üretiminin ilk aşamaları, kandaki hormonların veya kimyasal habercilerin kontrolü altındadır. Oksitosin ve prolaktin hormonları, süt ekspresyözünde önemli bir role sahiptir. Bebeğin emiciliği prolaktin üretimini, oksitosin refleksini ve meme

içindeki inhibitörün çıkarılmasını kontrol eder. Bir annenin bebeğinin ihtiyacı olan sütü üretebilmesi için, bebeğini sık sık emzirmesi ve bebeğin doğru şekilde emmesi gerekir. Bir bebek, sütü sadece meme ucunda emerek alamaz. Bebek değişen anatomiye uyum sağlar. Bu sebeple emzirme dinamik bir süreçtir.

Bebeğin dudakları emzirme sırasında, memenin etrafındaki hava geçirmez kapanmayı sağlamak için en iyi şekilde uyarlanır. Dudaklar kısmen dışarı doğru döner böylece ağız mukozası hafifçe dışarıda görülmeye başlar. Dudakların iç yüzeyinde meme ve areolayı yerinde tutmayı kolaylaştıran küçük şişlikler bulunur. Bebekler kendi dilleriyle emdiklerinde, yanakların içeri çekilmesiyle karakteristik bir çukur oluşturur. Bu etkiyle negatif basınç sağlanır. Bebekler, anne sütü aktif olarak akarken saniyede bir veya daha hızlı bir frekansta emer ve yutar. Süt akışı arttığında emme oranı azalır [8].

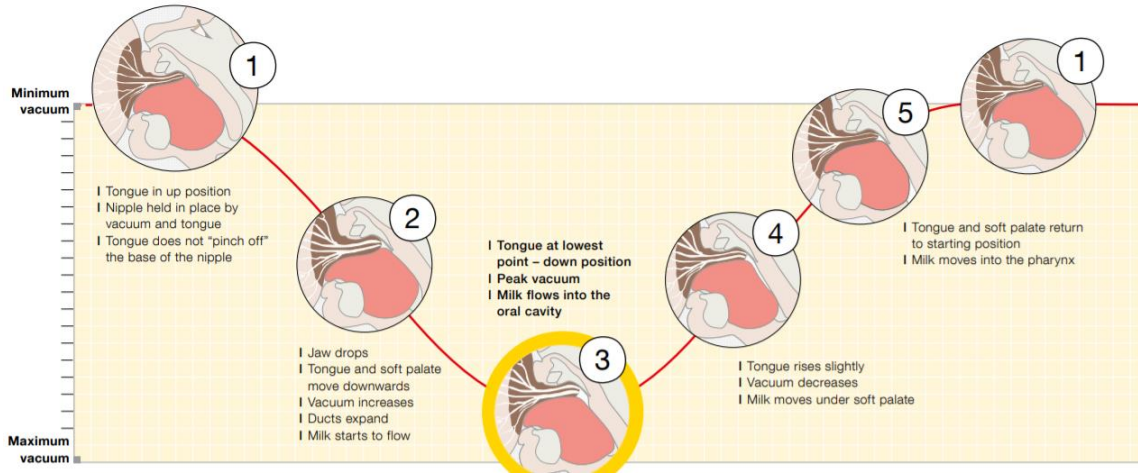
Ultrasonografi ve diğer teknolojilerin ortaya çıkmasıyla memedeki emmeyi doğru bir şekilde incelemek mümkündür. Kron ve Litt tarafından emzirme sırasında bebek emme basıncını ve süt akışını ölçmek için bir aparat geliştirilmiştir. Cihaz, alt atmosferik ağız içi basıncı sütün akmasındaki tek faktör olarak kabul eden ve ağız veya çiğneme hareketinin etkisini göz ardı eden bir şekilde inşa edilmiştir [17]. Aşağıdaki tablo, bir çalışmada 15 bebek üzerinde yapılan deneyde; ortalama emme basıncını, döngü sayısını ve süt alımını göstermektedir [14]. Tablo 2.2 Emzirme esnasında ortaya çıkan ortalama basınç, döngü ve süt hacmi değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Emzirme esnasında ortaya çıkan ortalama basınç

	Ortalama Basınç (kPa)	Beslenme Süresi	Döngü Sayısı	Süt Alımı(ml)
Ortalama Değer	-10,10 , ±5,66	674,51	455,2	93,93

Emzirme sırasında ortaya çıkan basınç ortalama -10 ila + 5,66 kPa arasında değişmektedir. Ortalama süt alımı ise her biyolojik yapıda farklı olabilir ancak ortalama değer 93,93 ml olarak alınmaktadır. Şekil 2.4 'te anne bebeği emzirdiğinde

oluşan döngü bir illüstrasyonla gösterilmiştir ve meydana gelen olaylar sırasıyla verilmiştir. Vakum sütün çıkarılmasında önemli bir etkidir. Ancak bebeğin emme esnasındaki dil hareketleri bu döngüde rol oynar.



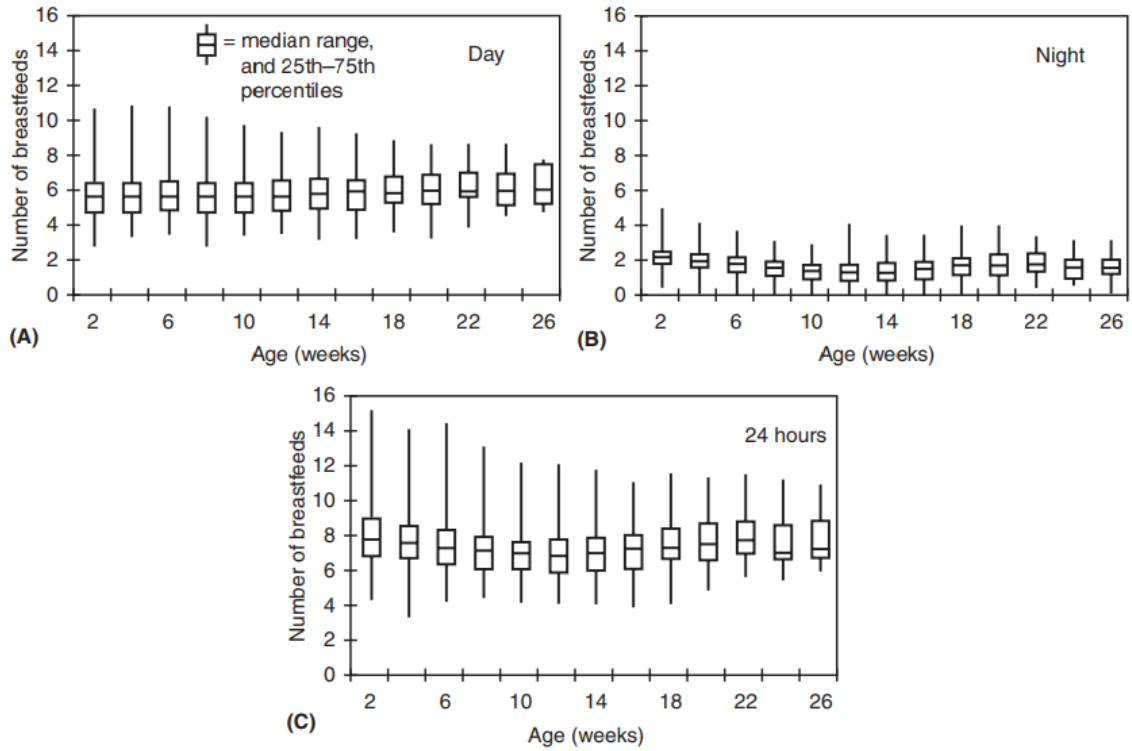
Şekil 2.4 Emme döngüsü [18]

Emzirme sırasında meydana gelen olaylar şu şekilde sıralanır [19]:

- Meme bebeğin dudaklarına dokunduğunda (veya bebek sütü kokladığında), başını hafifçe geriye koyar, ağzını geniş açar ve memeyi aramak için dillerini aşağı ve öne koyar. Bu kök salma refleksidir.
- Bebek memeye yeterince yakın olduğunda ve yeterince büyük bir ağız dolusu aldığıında, bebek meme ucunu yumuşak damağa dokunana kadar geri getirebilir. Bu emme refleksini uyarır.
- Kaslar daha sonra dili önden ağzın arkasına doğru bir dalga halinde hareket ettirir ve areolanın altındaki kanallardan gelen sütü bebeğin ağzına doğru salar. Aynı zamanda, oksitosin refleksi sütün kanallar boyunca akmasını sağlar.
- Ağız arkası sütle dolduğunda bebek yutar, (yutma refleksi).
- Kök alma, emme ve yutma refleksleri sağlıklı bir bebekte otomatik olarak gerçekleşir.

2.3.1 Bebeğin Beslenme Sıklığı

İlk emzirme bebeğin doğumundan kısa bir süre sonra yapılmalıdır. İlk birkaç hafta içinde, bebekler günde en az 8 kez emzirilmelidir. Bazı bebekler ise günde 15 kez veya daha fazla emzirilmelidir. İlk aydan sonra, isteğe bağlı beslenen bebekler genellikle günde 5 ila 12 kez emzilir [20]. Bebeğin ilk 6 ayda, 24 saat içerisinde beslenme sıklığı ise ortalama 8 kezdir [8]. Günlük besleme sıklığı ve süresi anne-bebeğe göre değişiklik gösterir. Örneğin, 2 haftada, gün boyunca besleme sıklığı 2,9 ila 10,8 ve gece beslemeleri 1,0 ila 5,1 arasında değişmektedir. Gündüz emme süresi 20 dakika ile 4 saat ve gece-saat süresi 0 ila 2 saat, 8 dakika arasında değişmektedir. Şekil 2.5'te ilgili grafik verilmiştir.



Şekil 2.5 (A) gündüz, (B) gece ve (C) 24 saat farklı yaşlarda emzirenlerin sayısı. Ortanca, 25. [21]

2.3.2 Süt Hacmi

Süt verimi doğumdan hemen sonraki ilk saatlerde hızlıca artmaya başlar. Bunu izleyen 49 ve 96. saatlerde de süt veriminde önemli ölçüde bir artış görülür. [16] Beşinci günden itibaren süt hacmi günde 500 ml ye ulaşır. Sürekli emzirme yapıldığı takdirde bunu izleyen günlerde 6 ay boyunca yavaşça artarak günde süt hacmi 800

ml'yi bulur. Göğüste depolanan süt hacmi her memede farklı olabilir. Örneğin bir araştırmacının çalışmasında, küçük göğüslü bir kadının sağ memesinde 111 ml süt olabilirken sol memesinde 81 ml süt oluğu saptanmıştır [22]. Aşağıdaki Tablo [21] 2.3'te bebeğin doğduğu günden itibaren 6 aya kadar her emzirmede içtiği süt hacmine ait tablo verilmiştir.

Tablo 2.3 Bebeğin anne sütü tüketimi

Gün	Süt Alım Günü (ml)	Besleme başına ortalama süt hacmi
1	5-100 (ortalama 30) kolostrum	5 ml
2	10-120 kolostrum	5-15 ml
3	200	15-30 ml
4	400	30-45 ml
5	600+	45-60 ml
6 gün ila 6 ay	550-950; ortalama750	90-150 ml

Emzirmede bebekler genellikle memede bulunan tüm sütü emmezler. Bu, memede üretilen süt miktarı arasında fark yaratır. Aynı zamanda memenin göğüs boşluğunda daha fazla süt üretmek önemlidir. İnsan vücudu akıllı bir mekanizmadır. Eğer vücutta bırakılan süt kalırsa, mekanizma buna göre bir sonraki emzirme seansında daha az süt üretir. Çünkü biyolojik mekanizma açısından, bu bebeğin daha fazla süte ihtiyacı olmadığı, bu miktarın yeterli olduğu anlamına gelir. Bu sebeple memeden sütün tamamen emilmesi, daha çok süt üretimi manasına gelmektedir. Bu gerçek, pompalarının memede üretilen süt hacmini artırabileceğini göstermektedir.

2.4 Memeden Süt Pompalama

Anne sütünün sağımı, anne- bebek ayrımı ile ilgili sorunların çözülmesine yardımcı olabilir. Anne göğsünü daha önceki bölümlerde bahsedilen yöntemlerden biri ile sütünü sağabilir. Meme pompalarının anne sütü üretiminin başlatılmasına ve sürdürülmesine yardımcı olduğu genel olarak bilinen bir gerçektir.

Günümüzde kadınlar bebeklerine anne sütü sağlamak için, kısa veya uzun süreler boyunca sütlerini pompalayarak sağmaktadırlar.

Tablo 2.4 Süt sağımının nedenleri

Neden anne-sütü sağılır?
Süt arzının artırılması
Prematürelilik
Anne-bebek ayrımı
Çoklu doğum
Diğer ailelere süt sağlama
Evlat edinilmiş bir bebeğe süt annelik yapılması
Fazla anne sütünü saklama
Anne konforu
Annenin biberonla beslemeyi tercih etmesi
Hasarlı meme uçları

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi anne sütünün sağılmasının tekniği, bebeğe verilecek sütün bileşimini ve bakteri sayısını etkileyebilir. Bu sebeple sağım prosedürü için yazılı ve sözlü bilgi verilmesi gereklidir. Memedeki sütün sağılması için geçen süre genellikle yaklaşık 10 ila 15 dakika sürer, ancak bu süre kadından kadına değişebilir ve emzirmeden sonra, bazı anneler memeden süt sağımını sağlamak için daha az zaman harcayabilirler.

Günlük süt sağımının gerçek sayısı her annenin emzirme hedeflerine göre farklılık gösterecektir. Maksimum süt üretmeyi hedefleyen anneler, günlük 8 ila 10 sağım yapmayı planlamalıdır.

Sütün memeden sağılması süt çıkarma refleksi ile kolaylaşır. Bu nörohormonal refleks fiziksel, duyuşal ve/veya duyuşal uyarımlar tarafından başlatılır. Sonuçta arka hipofiz bezinden oksitosin salgılanır [23]. Süt fırlatmaları arasındaki ortalama süre insanlarda 122 saniye olarak ölçülmüştür [24]. Süt çıkarma işleminin %50'sinden fazlası, pompalamanın ilk 7 dakikasında ve ilk 2 süt atılımı sırasında ortaya çıkma eğilimindedir.

Annelere meme pompasının kullanımı ile ilgili verilen öneriler şu şekildedir.

- 1) Her sağımdan önce eller yıkanmalıdır.
- 2) Ara sıra sağım için, hangisi en iyi sonuçları verirse; besleme sırasında, sonrasında veya arasında pompalama. Çoğu anne sabahları daha fazla süt verme eğilimindedir. Çalışan anneler için, kaçırılan emzirme sayısı kadar, düzenli olarak pompalama yapılmalıdır. Emzirilemeyen prematüre veya hasta bebekler için, pompalama sayısı ilk 14 gün boyunca her 24 saatte bir toplam 8-10 veya daha fazla olmalıdır. Daha sık pompalama sırasında çok fazla geri basınç oluşturulmasından kaçınılmalıdır.
- 3) Tek meme üzerinde pompalamada elektrikli pompalarda, 10-15 dakikalık bir süre ve manuel pompalarda 10 ila 20 dakikalık sağım süresi gerçekleşir. Eğer iki meme aynı anda pompalanıyorsa her sağım için 7-15 dakika optimum süre olacaktır.
- 4) Pompayı kullanmadan önce süt gelme refleksi tetiklenmelidir.
- 5) Süt akışını korumak ve rahat kalmak için sadece gerektiği kadar vakum kullanılır.
- 6) İç basıncı artırmak için pompalamadan önce ve pompalama sırasında memeye masaj yapılmalıdır
- 7) Pompa ve meme arasına sığacak şekilde kesici uçlar veya farklı boyutlarda flanşlar kullanılmalıdır.
- 8) Uzun süre kesintisiz vakumdan kaçınılmalıdır.
- 9) Süt akışı yoksa veya çok azsa pompalama durdurulmalıdır.
- 10) Etkili en düşük basınç kullanılmalıdır. Anneler vakum ve döngü karakteristik değerlerini her sağımda değiştirerek süt verimini artırabilirler.

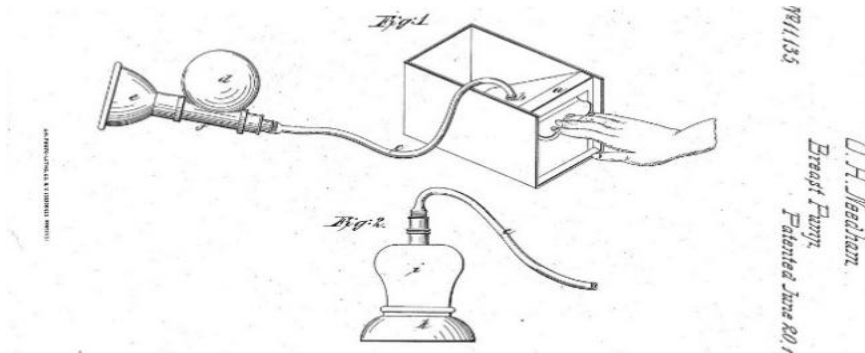
- 11) Süt sağımı yapan pompa hormonları aktive edebilecek ve sütü etkili şekilde boşaltabilecek bir cihaz olmalıdır.
- 12) Süt üretimi bir bebeğin yokluğunda başladığında, sütün geri basıncının neden olduğu alveollerin involüzyonunun ve süt hacmini aşağı düzenleyen baskılayıcı peptitlerin birikmesini önlemek için pompalama sıklığının geçici olarak artırılması gerekebilir.
- 13) Tam dolu meme süt çıkarma refleksini elde etmek için daha az zaman alma eğilimindedir, daha az dolu bir memede bu refleks 120 saniyeye kadar sürer.

2.5 Elektrikli Süt Pompaları

Süt pompalarından daha önceki bölümlerde genel olarak bahsedilmiştir. Bu bölümde sadece elektrikli süt pompalarına odaklanılarak daha ayrıntılı bilgi verilmiştir. Günümüzde manuel pompalar hala mevcuttur. Ancak elektrikli pompalarla sağım yapmak manuel pompalarla sağım yapmaktan çok daha kolaydır.

Süt pompaları yıllardır kullanılmaktadır. Değişen toplum ve teknoloji ile süt pompalarında da zaman içerisinde gelişme kaydedilmiştir. Sistem mekanik süt pompalarının elektrikli pompalara evrilmesini sağlamıştır. Her ürün gibi süt pompaları da değişmeye ve gelişmeye devam edecektir. Annelik devam ettiği sürece de meme pompalarına olan ihtiyaç hep var olacaktır. Meme pompalarının gelişimini anlamak için tarihten günümüze olan pompalara aşağıda değinilmiştir.

İlk göğüs pompası patenti 1854'te Orwell H. Needham tarafından alınmıştır. Orwell'in göğüs pompası, geleneksel meme pompalarının cam flanşlarında yaşanan rahatsızlığı hafifletmek için, esnek kauçuktan yapılmış flanşlar içeriyordu [25].



Şekil 2.6 Orwell H. Needham'ın göğüs pompası, 1854 [25]

1898'de Joseph H. Hoover vakum teknolojisini ve vakumdan emmeyi daha az fevri ve daha rahat hale getirmek için sisteme bir yay dahil etmiştir. Daha sonra Halstead, serbest bırakma süresini kontrol etmek için, yay iç kısmına sahip bir hava odası olan gerçek bir pistonu meme pompasına dahil ederek buluşunu geliştirmiştir. Ayrıca parmak yerleştirme gibi ergonomi ve rahatlık üzerinde durmuştur [25].

Kadınların emzirirken rahat olmadığı ve erkeklerin de bundan rahatsız olduğunu fark eden sektör buna çözüm üreterek; küçük ve taşınabilir, tek kullanımlık parçaları olan ikili uygulama için elektrikli pompalar geliştirildi (Şekil 2.8).



Şekil 2.7 Cunningham 1910 tarafından patentlenmiş model [25]

Meme pompaları, emme ve serbest bırakma döngüsünde vakumla çalıştırılır. 1928'e kadar pompaların devir hızı çok yavaştı. 1928'de Colby, vakum yaratmak için her zamankinden çok daha az miktarda havaya ihtiyaç duyan bir şey tasarlamıştır.

Einar Egnell (1956) tarafından yürütülen, meme pompaları üzerine yapılan ilk klasik çalışma, Egnell'in periyodik ve sınırlı negatif basınç aşamaları yaratan bir pompa ile kendi deneylerine dayanıyordu [26]. Egnell'le birlikte bir grup jinekolog 1942'de hastane sınıfı meme pompaları geliştirdiler (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Egnar Egnell, SMBTM, ilk hastane tipi meme pompası. [27]

Şekil 2.8'de gösterilen tasarım göğüs pompalarının temelini oluşturmaktadır. Bundan sonra birçok ticari şirket aynı teknolojiye dayalı meme pompalarını geliştirmiştir. Egnell ineklerde ve insanlarda iki organın anatomik olarak farklı olmasına ve aynı şekilde akmasına rağmen, meme ve memesinin alveollerini salgılayan sütün benzer olduğunu varsaymıştır. Salgılanan süt miktarının uyguladığı karşı basınçla düzenlendiğini söylemiştir. Süt mevcut alanı doldurdukça bu karşı basınç yükselir; basınç 28 mm Hg'ye ulaştığında salgı durur [28]. Egnell'in pompası atmosferik basıncın (760 mm Hg) altında maksimum 200 mm Hg negatif basınç yarattı. Egnell, basınç dolu alveol ile pompasının negatif basıncı arasındaki fark:

$$760 + 28 - 560 = 228 \text{ mm Hg} \quad (2.1)$$

Buna göre süt çıkışını aktive eden faktörün meme içindeki basınç olduğunu söylemiştir. Egnell, mekanik pompalamanın elle sağımdan daha güvenli olduğunu, çünkü memeyi "sıkmanın" yarattığı "yüksek" pozitif basıncın alveollere ve kanallara zarar verebileceğinden korktuğunu iddia etmiştir. Ayrıca, elle sağımın memede çok fazla süt bırakacağını ve bunun süt endüstrisinde yaygın bir endişe kaynağı olacağı düşüncesini ortaya koymuştur [28].

Yeni Zelandalı fizyolog Whittlestone 1978'de annelerin 50 yılı aşkın süredir kaba pompaları kullandığını fark ettikten sonra, çift kullanımlı bir süt pompası tasarımını gerçekleştirmiştir. Tasarımıyla anne sütünü sağmayı başarmayla kalmayıp aynı zamanda memede süt üretiminin teşvik edilmesini sağlamıştır. Tasarladığı pompaya "Breastmilker (Annesütçüsü)"adını vermiştir. [26, 29].

1980'de Medela, göğüs pompasını daha taşınabilir hale getirmek için Egnell'in teknolojisini kullanarak yeni bir tasarım gerçekleştirmiştir. Daha sonra Ameda, 1993'te Elite hastane sınıfı göğüs pompasına mikroişlemci koyan ilk şirket olmuştur [26]. Bu, daha karmaşık pompalama programlarının ve otomasyonun önünü açmıştır. Ayrıca Ameda, süt toplama kitlerine geri akış koruyucularını koyan ilk şirket olmuştur. Bu, hijyen standartlarını karşılayan bir gelişme olarak görülmektedir. Sistem bulaşıcı hastalıklara karşı koruma sağlamıştır ve küflerin meme pompa motoruna girmesini önleyerek, birden fazla kullanıcının aynı pompadan faydalanmasını mümkün kılmıştır.

1990 yılına kadar hastanedeki tıp uzmanları göğüs pompalarını kullanmışlardır. Kadınlar ancak hastane sınıfı pompa kiralamış ya da satın almışlardır. "Ameda Purely Yours" piyasada bulunan ilk kişisel kullanımlı pompadır. Medela, Ameda'yı takip ederek 1996'da Pump In Style modelini çıkarmıştır [30]. 2000'li yılların başında, süt pompası şirketleri tüm dünyada ortaya çıkmaya başlamıştır ve süt pompaları daha uygun fiyatlı hale getirilmiştir.

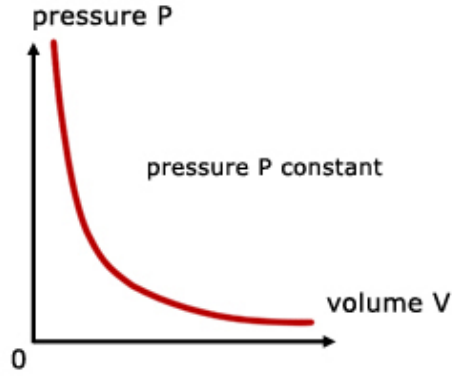
Ürün yaklaşımı değişmeye başladığında piyasada çok daha farklı tasarlanmış meme pompaları da ortaya çıkmaya başlamıştır. Whisper adlı bir şirket, 2007 yılında, giyilebilir eller serbest göğüs pompaları geliştirmiştir. Bu yıllarda, dünya genelinde "Feministik" yaklaşım yayılmaya başlamıştır. Teknoloji, kadınların daha fazla özgür olmasına imkân tanımıştır. Bugün, insanların akıllı telefonları ve onlarla bağlantılı giyilebilir öğeleri var. Elvie ve Willow gibi şirketler 2017,2018'de sırasıyla giyilebilir ve akıllı göğüs pompaları ürettiler (Şekil 2,9) [31, 32]. Şu anda, bir düzineden fazla farklı şirket kişisel kullanımlı meme pompaları üretmektedir.



Şekil 2.9 Giyilebilir Meme Pompaları (Sol Willow, Sağ Elvie) [31, 32]

2.5.1 Mekanik Özellikler

Süt sağımı ve süt atım refleksi süt pompaları tarafından mekanik olarak tetiklenir. Süt pompaları, alveoldeki süt çıkışını harekete geçirirler. Süt bir sıvı olduğundan, sütün memeden sağılması fizik yasalarının akışkanlar mekaniğine uygulanmasına dayanır. Süt, yüksek basınçtan düşük basınca doğru gidecektir. Bu durum, Boyle kanunu ile ilişkilidir. Boyle' kanuna ait grafik Şekil2.10'da verilmiştir.

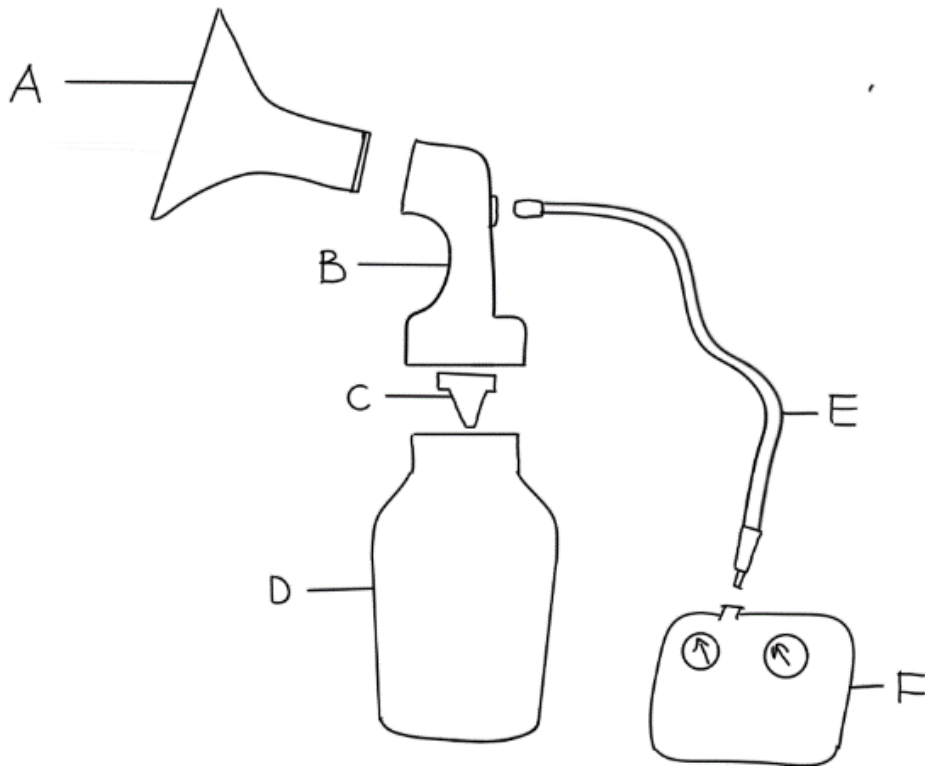


Şekil 2.10 Boyle Kanunu

İnsan vücudu çoğunlukla sudan oluşur. Bu, anne sütünün basıncının atmosferik basınca yaklaşık olarak eşit olduğu anlamına gelir [3]. Sütün akması ve basınç farkı oluşturmak için, meme basıncı artırılmalı veya dışarının basıncı azaltılmalıdır. Tüm pompalar, negatif basınç oluşturulmasıyla sonuçlanan; konteyner hacmini azaltmaya dayanır. Negatif basıncı korumak önemlidir. Çünkü sistemde hava kaçağı varsa, dış ve iç basınç eşit hale gelir ve sistem çalışmaz. Sistemin ilk adımı meme ve

pompa bağlantısını iyi yapmaktır. Bu nedenle, flanş meme üzerine ve çoğunlukla süt toplayıcıya bağlanır. Flanş (meme kalkanı) meme ucuna ve areolaya uygun ölçülerdedir. Sert veya esnek polimerik malzemeden yapılır [2].

Emme (negatif basınç oluşturma), bir motor tarafından çalıştırılan pompada meydana gelir. Pompanın anne sütüyle doğrudan teması olmamalıdır. Ticari meme pompalarının birçoğu silindirik pistonlar tarafından tahrik edilir. Piston meme ucu kalkanını plastik tüple, kalkan ise süt toplayıcıya bağlanır. Silindirik pompa yerine diyafram pompası olabilir ve doğrudan kalkana ve süte haznesine bağlanır Parçalar Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Elektrikli Göğüs Pompası Temel Parçaları, A-Meme Kalkanı, B-Konektörü, C-Vana, D-Süt Toplayıcı, E-Boru, F-Pompa

İdeal olarak, pompa dakikada yaklaşık 40 ila 50 emme serbest bırakma döngüsüne sahip bir bebeğin emmesini taklit eder. Egnell 1956'da otomatik pompalar için güvenli negatif basınç değerinin 220 mm Hg olduğunu yayınlamıştır [28]. Vakum basıncı arttıkça birçok pompa döngü süresini otomatik olarak artırarak, döngülerin daha uzun süreli ve frekans olarak daha yavaş olmasına neden olur. Vakum basıncı ve döngü süresi-frekansı arasındaki ilişki istenmez, bu nedenle anne hem emme

basınçlarının hem de çevrim hızının birbirinden bağımsız olarak ayarlanmasına izin veren bir pompa elde etmek isteyebilir.

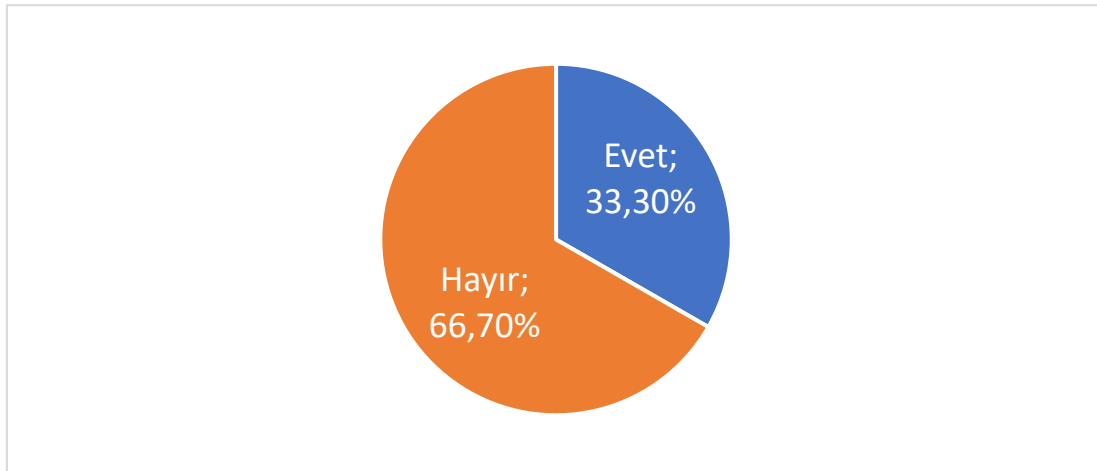
Birçok elektrikli meme pompası, emzirme aşamasına kıyasla daha kısa, daha hızlı ve daha düşük vakumlu; önceden programlanmış bir stimülasyon aşamasına sahiptir. Pompaya bağlı olarak, bu faz pompalama başlar başlamaz otomatik olarak başlayabilir veya pompalama süresi boyunca herhangi bir zamanda seçilebilir.

Önceden programlanmış bir stimülasyon fazı olmayan bazı pompalar hem vakumu hem de emme oranını kontrol etme seçeneğine sahiptir. Böylece annenin manuel olarak bir stimülasyon fazı oluşturmasına izin verir [33, 34].

2.6 Annelerle Anket Çalışması

Annelerin beklentilerini anlamak ve mevcut meme pompası sorununu daha iyi belirlemek için, Türkiye’de yaşayan örnek bir grup anne ile anket çalışması yapılmıştır. Tasarlanan ankette, katılımcılara elektrikli süt pompası kullanıp kullanmadığı sorulduktan sonra kullanmayan annelere neden kullanmadığı sorularak anket bitirilirken; kullanan katılımcılarla anketin geri kalan kısmına devam edilmiştir. Toplamda 69 anne soruları yanıtlamıştır. Katılımcıların yaş aralığı 25 ile 50+ arasındadır. Tüm katılımcılar en az lise mezunudur. Anket katılımcılarının %52,2’si ise lisans mezunu olup, %32,3’ü lisansüstü eğitime sahip bir kitleden oluşmaktadır.

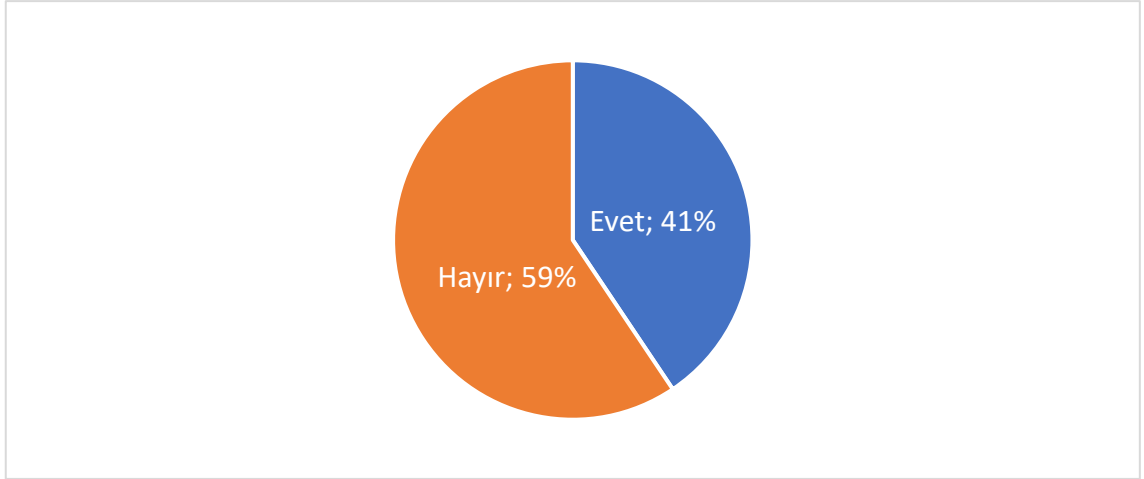
Katılımcılardan 46 kişi bir süt pompası kullandığını belirtirken, 23 kişi kullanmadığını belirtmiştir.



Şekil 2.12 Anket Katılımcılarının Süt Pompası Kullanım Oranı

Alınan rastgele kitlenin %66,7'sinin bir süt pompası kullanıyor olması toplumdaki ihtiyaca işaret etmektedir. (Şekil 2.12).

Ankette katılımcıların ayrıca laktasyon döneminde çalışıp çalışmadığı da değerlendirilmiştir. Şekil 2.13'teki grafikte yüzde ile gösterildiği üzere 69 katılımcıdan 41'i laktasyon döneminde çalıştığını söylemiştir. Bu veriye dayanarak çalışan annelerin süt pompasına ne kadar ihtiyaç duyduğuna bakılmıştır. Elektrikli süt pompası kullanan annelerinin yüzde 60,8'i laktasyon döneminde çalıştığını belirtmiştir. Laktasyon döneminde çalışan annelerin %31,7'si elektrikli süt pompası kullanmadığını belirtmiştir.



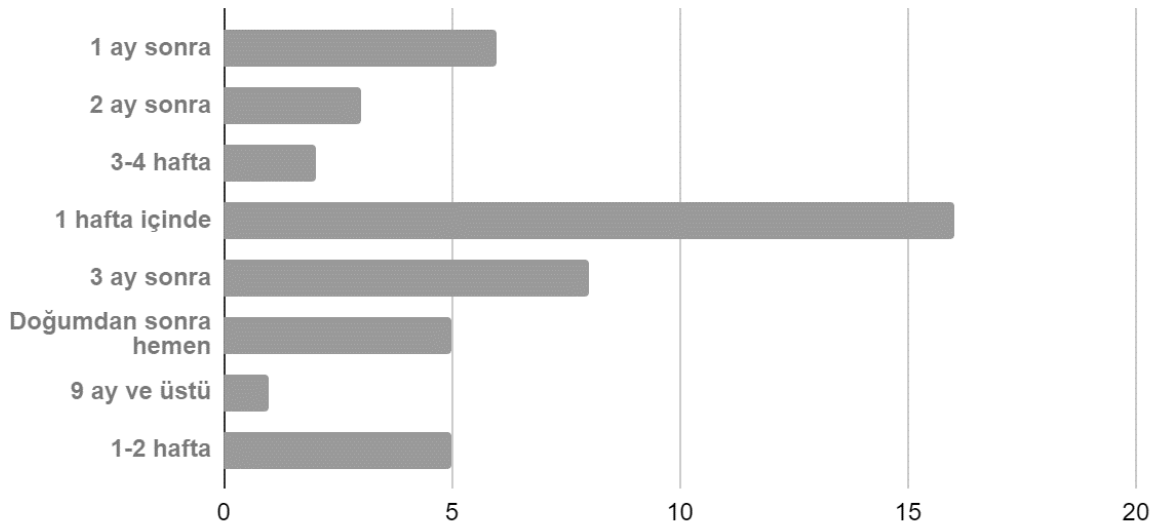
Şekil 2.13 Laktasyon döneminde çalışma durumuna ait grafik

Laktasyon döneminde çalışıp süt pompası kullanmayan annelere neden elektrikli süt pompası kullanmadığı sorulduğunda 13 kişiden 6'sı ihtiyaç duymadığını için kullanmadığını belirtmiştir. 2 kişi ise göğsüne uymadığı için kullanamadığına dikkat çekmiştir. Gerek duymadığını belirten çalışan annelerin meslek gruplarına bakıldığında özel sektörde çalışmayan izin süreleri nispeten daha fazla olabilecek kişiler olduğu gözlemlenmiştir. Yaşı 50 üzeri kişi ise laktasyon döneminde süt pompalarından haberdar olmadığını belirtmiştir. Süt pompalarının tarihçesine bakıldığında bireysel kullanımlı pompaların 1980'li yıllardan beri piyasada yaygın bulunabileceğinden bahsedilmiştir. Verilen bu cevaplar süt pompalarının o yıllarda teşvik edilmediğine veyahut pompaların annelerin ihtiyacını karşılayabilecek

yeterliliğe ulaşmadığını göstermektedir. Ancak literatür incelendiğinde süt pompalarının sadece bebekten uzak kalma durumunda değil aynı zamanda da memede daha fazla süt üretimini teşvik etmek içinde kullanılabileceğine dikkat çekilmiştir.

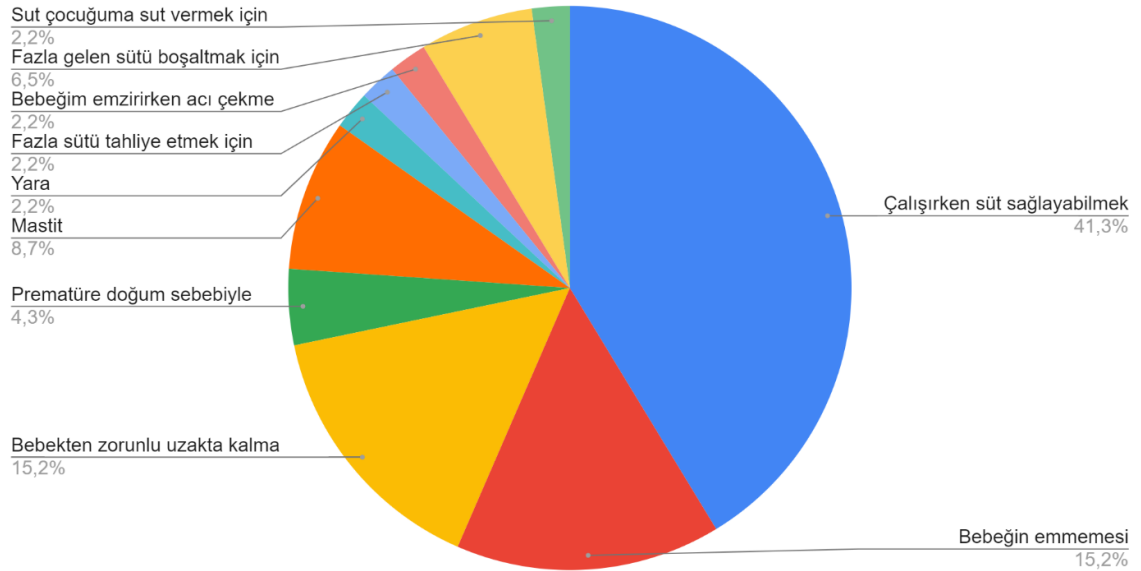
Süt pompası kullanan 46 kişiden 28'i laktasyon döneminde çalıştığını belirtmiştir. Bu veri süt pompası kullanan annelerinin yaklaşık %60'ının bu dönemde çalıştığını göstermektedir. Süt pompasının kullanım sebeplerinden biri de annelerin çalışma saatleri boyunca bebekten uzak kalmasıydı. Süt pompası kullanan katılımcıların %60'ının laktasyon döneminde çalışıyor olması da bu amaca işaret ederek tasarımda çalışma ortamında süt pompasının kullanımı göz önünde bulundurularak bir tasarım ortaya konulması gerçeğini vurgulamaktadır.

Süt pompası kullanan annelere sorulan bir sonraki soru "Doğumdan ne kadar süre sonra süt pompası kullandınız?" şeklindeydi. Şekil 2.14'te sütun grafiğinde gösterildiği üzere 46 katılımcıdan 16'sı 1 hafta içinde süt pompası kullanımına başladığını belirtmiştir. Yasal izin 4. ayda bitmesine rağmen, ilk haftalarda başlayan süt pompası kullanımı da sadece çalışma durumunda değil başka sebeplerle de süt pompasına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2.14 Doğumdan sonra süt pompası kullanımı- zaman

Süt pompası kullanan katılımcılara ne amaçla süt pompası kullandıkları sorulmuştur. Şekil 2.15'te verilen yanıtla ve yüzdeleri gösterilmiştir. Çalışırken bebeğe süt sağlayabilmek amacıyla süt sağımı %41,6 ile en çok verilen cevap olmuştur. Bebekten zorunlu olarak uzak kalma dönemi ve bebeğin memeden emme refleksini gerçekleştirememesi sebebiyle süt pompasının kullanılması toplulukta en çok verilen cevaplar arasında 2. sırada gelmektedir. Toplanan bu veriler süt pompası kullanımının birçok farklı sebebinin olabileceğine kaynaklık etmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi en temel kullanım sebebinin çalışan annelerinin bebeklerinden uzak kaldıkları vakitlerde beslenmelerini sağlamak için sütlerini pompa ile sağmaları söylenebilir. Anketteki katılımcıların %6,5'inin fazla sütü tahliye etmek amacıyla pompadan faydalanmış olması da dikkat çekici bir noktadır. Bu cevap toplulukta en çok verilen dördüncü cevap olmuştur.

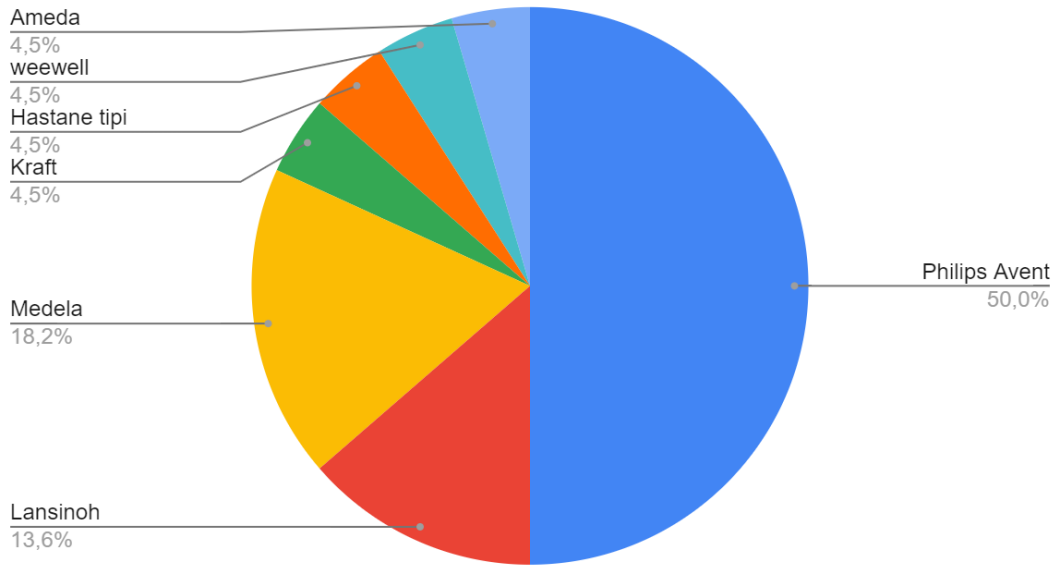


Şekil 2.15 Süt Pompasının Kullanım Sebepleri

Laktasyon döneminde çalışan annelere, günde ne kadar süre bebeklerinden ayrı kaldıkları ve günde kaç kere sağım yaptıkları sorularak, süt pompasının günlük kullanım süresi ve sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Anketten hareketle çalışan annelerin çoğunun ortalama 7 ila 10 saatini bebekten ayrı olarak geçirdikleri saptanmıştır. Gün içerisinde ortalama 2 veya 3 defa sağım yaptıkları anket sonuçlarına göre söylenebilir.

Kullanıcıların yeni bir ürün alma isteklerini analiz etmek amacıyla yeni bir elektrikli pompa mı aldıkları yoksa ikinci el bir pompa mı kullandıkları soruldu. Süt pompası kullananların %56'sı yeni bir elektrikli süt pompası aldıklarını belirtti, %6'sı ise manuel pompa kullandıkları şeklinde cevap verdi. %41'i ise ikinci el bir pompa kullandığını ifade etti. Hatırı satılır bir kitlenin yeni bir pompa almak yerine ikinci el bir pompa kullandığı sonucuna ulaşıldı. Ancak ikinci el pompa kullanımının hijyen açısından problem doğurabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle 2019 yılında ortaya çıkan ve 2021 yılında etkileri devam etmekte olan pandemide toplumda artan temizlik hassasiyetinin hiç kullanılmamış yeni bir süt pompası alma davranışına iteceği düşünülmektedir.

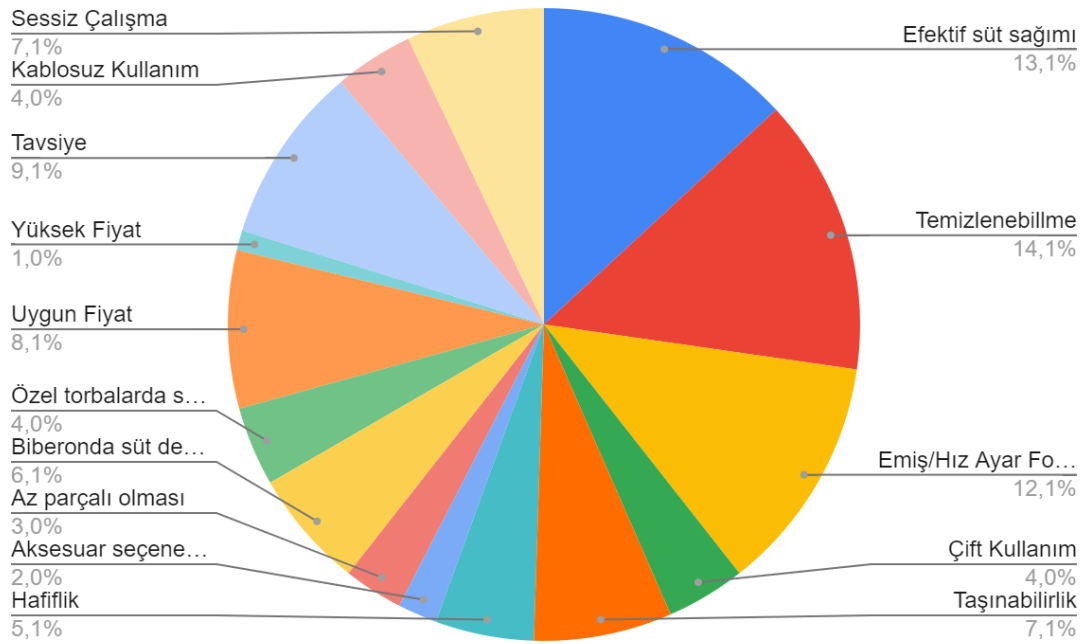
Ankette bir piyasa analizine de yer verilmiştir. Elektrikli süt pompası kullanan annelere hangi markaları tercih ettikleri sorulmuştur. Şekil 2.16'daki grafikte en çok tercih edilen markalar gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Süt pompasında marka tercihleri

Philips Avent marka süt pompasının katılımcılar arasında en çok tercih edilen süt pompası olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların %50'si bu markayı tercih etmiştir. Medela ise %18,2 ile ikinci sırada gelmektedir. Lansinoh ise %13,6 ile en çok tercih edilen üçüncü marka olmuştur.

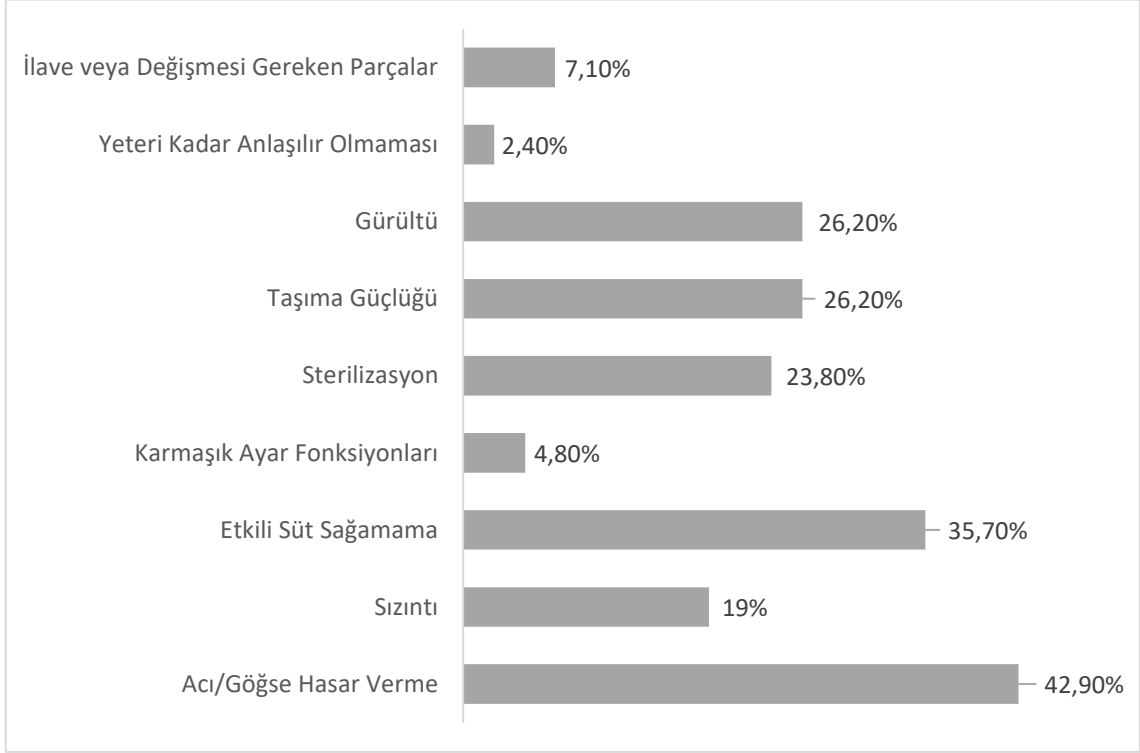
Anneler, tercihlerinde hangi kriterlere dikkat ettikleri ankette soruldu. En fazla sık işaretleyecek şekilde katılımcılar cevaplarını vermişlerdir. Şekil 2.17’de pasta grafiğinde verilen cevaplar gösterilmiştir. Annelerin en çok dikkat ettiği kriter emiş ve hız fonksiyonları olarak saptanmıştır. Etkin süt sağımı ve sterilize edebilme ise bunu izlemektedir.



Şekil 2.17 Yeni bir süt pompası alırken dikkat edilen kriterler

Katılımcılara süt pompası kullanırken yaşadıkları problemler sorulduğunda verilen şıklar arasından bir veya daha fazla cevap vermelerine olanak tanınmıştır. Şekil2.18’de verilen cevaplar gösterilmiştir. Tüm cevaplar arasında %42,9 ile katılımcılar en fazla “Acı/Göğse zarar verme” seçeneğini işaretlemişlerdir. Bu problem süt pompası kullanan annelerin dikkat çektiği bir konudur. Meme üzerine gelen fazla vakum, tam oturmayan göğüs flanşları, yetersiz temizlenme gibi birçok etken buna sebep olabilmektedir. Bu sebeple tasarımın kullanıcının anlayabileceği gibi ve fazla basınçlara izin vermeyecek şekilde güvenli; mümkün olduğunca doğal ritimlere uygun şekilde bulunması faydalı olabilir. En çok verilen ikinci cevap ise %35,7 ile etkili süt sağamama olmuştur. Etkin süt sağamama da pompanın doğru ayarda kullanılmaması, flanşın memeye düzgün oturmuş olmaması bunun yanında memede süt bulunmaması gibi biyolojik faktörlere de bağlı olabilmektedir.

Pompanın yeteri kadar anlaşılır olmaması ise %2.4 ile en az verilen cevap olmuştur. Gürültü, taşıma güçlüğü, sterilizasyon ve sızıntı problemleri ise diğer verilen cevaplardır. Bütün bu problemler annelerin süt pompası ile sağma deneyiminde karşılaştığı zorluklardır. Anketten de anlaşıldığı gibi annelerin ortak problemleri günümüz süt pompalarının sıkıntılarını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.18 Süt Pompası Kullanırken Karşılaşılan Problemler

Katılımcılardan elektrikli süt pompası ile ilgili problemleri ve önerilerini kısaca yazılı olarak ifade etmeleri istenmiştir. Birçok anne bu bölümde de pompanın acı vermesinden göğüs üzerinde hasara sebep olmasından bahsetmiştir. Ayrıca sızdırma problemi de oldukça öne çıkan problemler arasındadır. Bunun haricinde taşıma güçlüğü, sesli çalışması katılımcıların ifade ettiği sıkıntılar arasındaydı.

Laktasyon döneminde çalışan annelere çalıştıkları yerde süt sağımı yapabilecekleri özel bir oda olup olmadığı soruldu. Katılımcılardan laktasyon döneminde çalışan annelerin %66,7 si olmadığını belirtti. Türkiye koşullarında bu imkânın çoğunlukla sağlanmadığı bu sonuca göre söylenebilir. Bu sebeple süt pompalarının tasarımında mahremiyetin nasıl sağlanabileceği de önem taşımaktadır.

Süt pompası kullanan katılımcılardan kullanım deneyimlerine dair konfor, estetik, efektif süt sağımı gibi yönlerden 0-5 arasında puanlamaları talep edildi. 0 en kötü, 5 en iyi olacak şekilde ifade edilmiştir. Kullanıldıkları süt pompalarının konforu için katılımcıların ortalama puanı yaklaşık 3,88 oldu. Estetik açıdan değerlendirme için annelerin verdiği puan ortalaması 3,21'di. Efektif süt sağımı için verilen ortalama puan ise 3,31 şeklindeydi. Verilen puan ortalamalarına bakıldığında piyasada anneler tarafından kullanılan pompaların orta iyi olarak değerlendirildiği görüldü. Özellikle estetik açıdan verilen puan ortalamasının diğer kriterlere göre biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bu değer piyasadaki süt pompalarının estetik açıdan da yetersiz kaldığını açıkça ortaya koymaktadır.

Yapılan anket ile anneler için süt pompası geliştirilmesinin önemi ve gerekliliği ortaya konulmak istenmiştir. Çalışma sonucunda annelerin ihtiyaçları belirlenmiştir. Katılımcılara sorulan sorular ve geri bildirimler doğrultusunda özellikle pompaların göğüste hasara sebep olabildiği konusu ön plana çıkmıştır. Bunun yanında sızıntı, gürültü ve taşıma zorluğu da mevcut süt pompalarının problemleri arasında bulunmaktadır. Doğal ritimleri takip eden ve annenin konforunu ön plana alan bir süt pompası tasarımının sıkıntılara çözüm oluşturabileceği düşünülmüştür. Anket; süt pompası tasarımının geliştirilmesine olan ihtiyaca ışık tutmanın yanı sıra kullanıcıyı anlamak adına bir rehberdir. İhtiyaçlar, kullanım alanları veya kullanım sıklığı gibi faktörler tasarımın şekillenmesinde rol oynar. Anket çoğunluğuna bakıldığında özellikle anne ile bebeğin ayrı kaldığı durumlarda süt pompası ile süt sağımına ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir. Her ne kadar hastalık, bebeğin emmesi, kayıp, erken doğum gibi durumlarda da süt pompasına ihtiyaç olsa da hedef kitlenin çoğunluğunu çalışan anneler oluşturmaktadır. Bu durum "Çalışma ortamında süt pompası ile süt sağma deneyimi nasıl daha konforlu hale getirilebilir?" sorusunu tasarım kriterlerini belirlemede temel noktalardan birine oturtmaktadır.

2.7 Piyasa Araştırması

Piyasada farklı markaların elektrikli süt pompalarını bulmak mümkündür. Bu seçeneklerin arasından anneler seçim yapmakta zorlandığı bir gerçektir. Uluslararası düzeyde popüler olan markalardan bazıları Medela, Philips ve

Lansinoh'tur. Çalışmamızda yürütmüş olduğumuz ankette de bu markaların anneler tarafından en çok tercih edilen markalar olduğu gözlemlenmiştir. Çeşitli forumlarda ve alışveriş web sayfalarında süt pompası satın alan annelerinin yorumları piyasadaki ürünlere dair fikir vermektedir. Türkiye şartlarında fiyatları 2021 yılı itibariyle 110 ₺ ve 1500 ₺ arasında değişmektedir. Yeni tip giyilebilir süt pompaları ise piyasada oldukça yenidir ve ne yazık ki yerli üretimi mevcut değildir.

Son yıllarda hantal ve taşınması zor pompalardan biraz daha küçük pompa sistemine sahip sistemlere geçiş olduğu söylenebilir. Piyasadaki en eski isimlerden biri olan Medela'nın kalitesi nedeniyle öne çıkmaktadır. Bir diğer öne çıkan marka da Ameda'dır. Bu markaların en çok tercih edilen modellerini kıyasladığımızda; Ameda'nın üstün görülen özelliği hem manuel hem elektrikli kullanılabilmesidir. Medela ise doğal emiş parametrelerini taklit edebilmektir. Yaptığımız ankette ise en çok tercih edilen markanın Philips Avent olduğu görülmüştür. Philips ise flanş kısmının silikon olması ve masaj desteği özelliği ile ön plana çıkmaktadır. Bahsedilen süt pompası modelleri şekil 2.19'da gösterilmiştir.



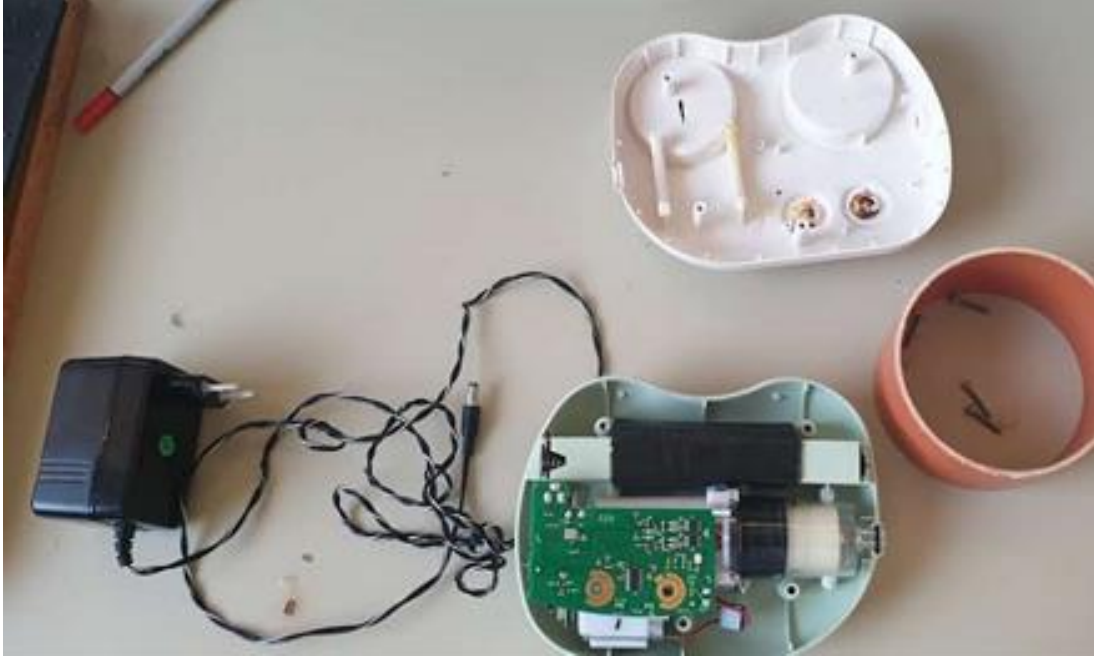
Şekil 2.19 Piyasadaki başlıca elektrikli göğüs pompaları: Sırasıyla; Philips Avent, Lansinoh, Medela [35, 36, 37]

Pazar araştırmasının sonucunda görülmüştür ki, piyasadaki pompalar aslında birbirinden çok farklı olmayan ve yıllardır aynı prensip üzerine inşa edilmiş ürünlerdir. Bu sebeple, araştırma, bu konunun çalışılmasına olan ihtiyacın ne kadar fazla olduğunun anlaşılmasını pekiştirmiştir.

2.8 Bir Elektrikli Süt Pompasının İncelenmesi

Bu kısımda mevcut patentler incelenmiştir ve piyasada bulunabilen Ameda Purely Yours modeli parçalarına ayrılarak sistemin teknik analizi yapılmıştır. Ürünün

temininde ikinci el bir pompa tercih edilmiştir. Kullanılmış ürün olması sistemdeki hasarın ve problemlerin tatbiki açısından önem arz etmektedir. Şekil 2.20’de parçalanmış Ameda Purely Yours modelinin pompa mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.20 Ameda Purely Yours pompa kısmının incelemesi

Şekil 2.4’te görüldüğü üzere, ürünün bir baskılı devre kartı, pil bölmesi, dc motor, pompa, motorun pompayı tahrik etmesi için kullanılan kayış ve diğer mekanik parçaları bulunmaktadır. Pompa kısmında, piston mekanizmalı bir pompa sistemi vardır. Pompa sisteminin ucundaki açıklık bir hortumla göğüs flanşındaki açıklığa bağlanır. Pistonun motor tahrikiyle geri çekilmesi sonucunda hacim büyüdüğünde, basınç azalarak negatif basınç alanı oluşur. Bu vakum etkisi ile süt gelme refleksi tetiklenerek süt sağımı gerçekleştirilir. Ancak, güvenli basınç değeri olan maksimum 220 mm Hg negatif basınç dikkate alındığında, pistonun hacmi bundan daha fazlasını oluşturabilecek büyüklüktedir. Fakat, bu kadar büyük basınçlara memeyi maruz bırakmak göğüs ucunda hasara sebep olabilmektedir.

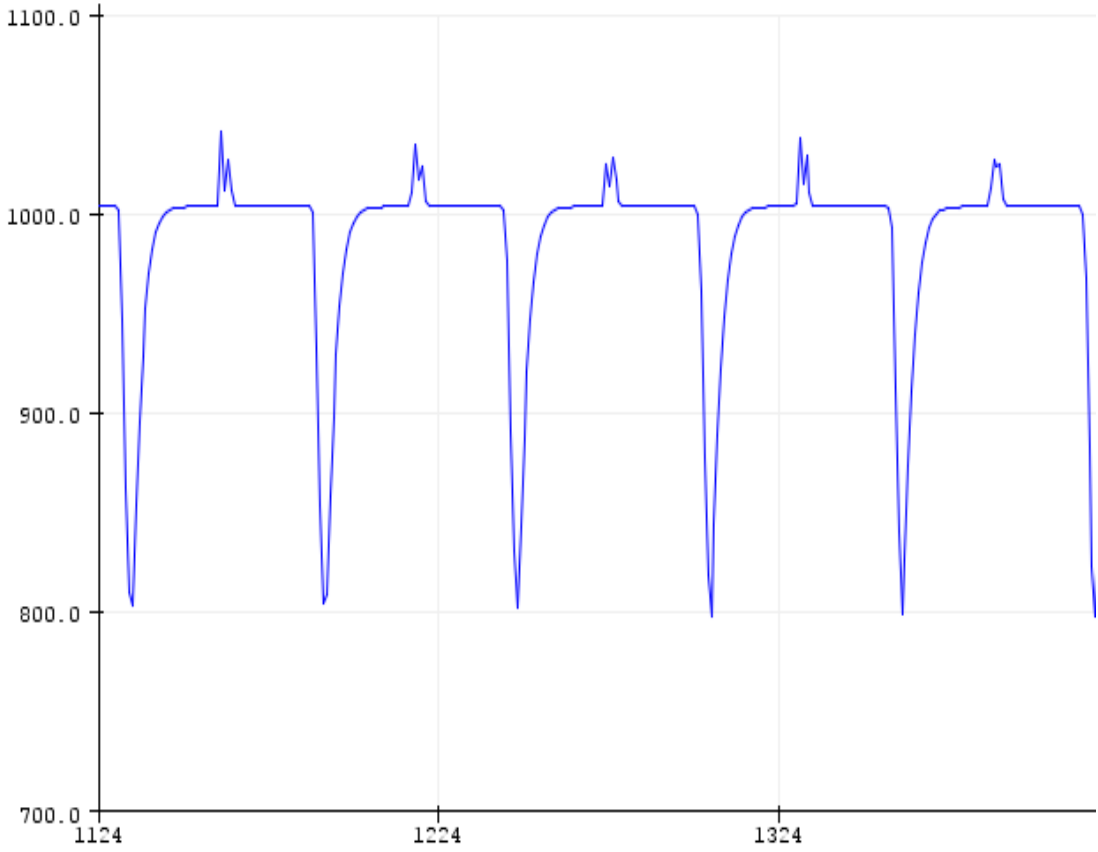
Pompa maksimum basınç değerinin gözlemlenmesi ve basınç değerlerinin izlenebilmesi için bir basınç sensörüne bağlanmıştır. Basınç sensörü açık kaynak kodlu Arduino programına bağlanmış ve vakum grafiği çıkarılmıştır. Şekil 2.21’de test düzeneği görülmektedir. Pompanın flanşı silikon malzemeden yapılmış yapay

bir göğüs modeline sabitlenmiş, flanş ve pompa mekanizmasını bağlayan parçadaki diğer açıklığa da bir hortum yardımıyla basınç sensörü bağlanmıştır.



Şekil 2.21 Purely Yours Süt Pompası Basınç Testi Kurulumu

Test neticesinde grafikte izlenen değerin maksimum negatif 250 mm Hg basınç değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Ancak grafik desenine bakıldığında ve literatürden elde edilen verilerle karşılaştırıldığında doğal emiş ritmine uygun olmadığı fark edilmiştir. Şekil 2.22'de Ameda Purely Yours modeli süt pompasının vakum grafiği verilmiştir.



Şekil 2.22 Ameda Purely Yours Basınç Ritmi Grafiği

Süt pompası analiz edilmek üzere açıldığında pompanın plastik silindirik haznesinde süt kalıntıları bulunmuştur. Şekil 2.23'te pompa içindeki kalıntılar görülmektedir. Anne-bebek sağlığı için hijyen önemlidir. Bu durum bakteri oluşumuna açık bir ortam yaratarak anne-bebek sağlığını tehdit edebilmektedir. Annelerin bu parçaları açıp temizlemesi çok kolay değildir. Birçok kullanıcı ürünleri bozmaktan çekinip parçalarına ayırmak istememektedirler. Bunun yanında bu parçalar kullanım kılavuzu ile gelen, temizlenip ayrılabilen parçalar arasında değildir. Buradan hareketle iyi izole edildiğini düşünülen bir pompada bile kaçakların olabileceği görülmüştür. Sızdırma probleminin süt pompalarında bulunan temel problemlerden biri olduğu açıkça anlaşılmıştır.



Şekil 2.23 İkinci el süt pompasının içindeki süt kalıntıları

3.1 Süt Pompasının Sistemik Yaklaşım ile Tasarımı

Literatür taraması, piyasa araştırması, anketler ve mevcut problemler belirlendikten sonra süt pompası tasarımını gerçekleştirmek üzere teknik değerlendirme safhasına geçilmiştir. Olası tasarım seçeneklerini belirlemek ve analiz etmek amacıyla Paul ve Beitz'in sistemik tasarım yaklaşımı kullanılmıştır [38]. Bu yaklaşımda metodik olarak uygulanan tasarım adımları bir ön hazırlık olarak kabul edilebilir. En uygun çözümün belirlenmesine kadar sistemik yapılaşmada atılacak temel adımlar aşağıdaki gibidir:

1. Teknik Ödevin Netleştirilmesi

- a. Piyasa Analizi
- b. Ürün Teklifinin Hazırlanması
- c. Ayrıntılı İstekler Listesi Oluşturulması

2. Kavramsal Tasarım

- a. Temel Fonksiyonun Belirlenmesi
- b. İşlev Yapılarının Oluşturulması
- c. Alt İşlevler İçin Çözüm Aranması
- d. Konsept Varyantlarının birleştirilmesi
- e. Teknik Kriterlere Göre Değerlendirilmesi
- f. Çözüm Önerisinin Netleştirilmesi

3.1.1 Teknik Ödevin Aydınlatılması

Piyasadaki ürünlerin incelenmesi sırasında bulunan problemler ve literatürde daha önce yapılan çalışmaların güçlü yönleri tasarımın sistem gereksinimlerini

şekillendirecektir. Teknik ödev; süt-hava teması olmadan pompa sistemi yardımıyla anne sütünün memeden sağılması olarak belirlenir.

3.1.2 İstekler Listesinin Oluşturulması

Teknik ödev aydınlatıldıktan sonraki adım, meme pompasının istekler listesinin oluşturulmasıdır. İstek listesiyle, tasarımcının tüm tasarım süreci boyunca temel alacağı bir tasarım belirtimi oluşturulur. İstek listesi, tasarımın sağlaması gereken tüm işlevleri ve kısıtlamaları kapsar [39, 40].

Süt Pompası Tasarımı için istekler listesi Tablo 3.1'de gösterilmiştir. İstekler üç ana başlıkta oluşturulmuştur. Bunlar: Kesin istekler (K), Arzular (A) ve Hedefler (H) olarak gösterilmiştir.

Kesin İstekler (K) : Bu gereklilik yapılmalıdır.

Arzular (A) : Bu gereklilik gerekli değildir, ancak yapılırsa avantaj sağlar.

Hedefler (H) : Bu gereklilik gelecek için iyileştirmelerde kullanılabilir.

Tablo 3.1 İstekler listesi

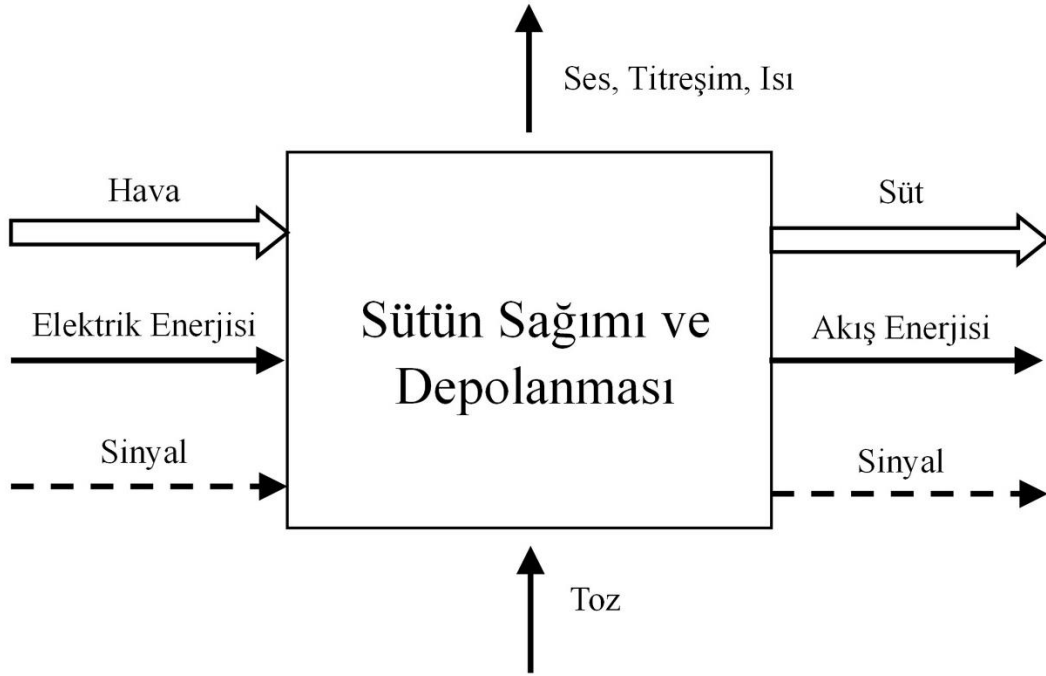
K, A, H	Süt Pompası İçin İstekler Listesi	Yıldız Teknik Üniversitesi- Berlin Teknik Üniversitesi
K	Pompa 50-220 mm Hg'de çalışacak şekilde tasarlanmalıdır	
K	Pompa doğal emiş basınç profillerine uyum sağlamalıdır.	
A	Batarya ile çalışabilmelidir.	
K	Boyut 30x40 cm'yi geçmemelidir	
A	Pompa maliyeti 300 TL 'den fazla olmamalıdır	
K	Parçalar kolayca birleştirilip ayrılabilmelidir.	

Tablo 3.1 İstekler listesi (devamı)

K	Çift veya tek çalışabilmelidir
K	Anne sütü depolanacağı hazneye ulaşana kadar hava ile çok fazla temas etmemelidir.
K	Süt toplama haznesi köşesiz ve temizlenmesi kolay olmalıdır.
K	Meme flanşı yumuşak ve temizlenebilir malzemeden yapılmış olmalıdır.
K	Temizlenebilir parçalar 70-80°C'ye kadar dayanmalıdır
K	Sütle temas eden parçalar BPA, BPC, PVC ve fitalat içermemelidir
A	Elle sağıma istenildiğinde geçilebilmelidir.
K	Farklı meme uçlarına uyarlanabilir olmalıdır
K	Pompa ve elektrik parçalarına sızıntıdan kaçınmalıdır.
K	Sütü sağarken sızıntı olmamalıdır
K	Bireysel kullanımlı pompa
K	225gr'den fazla olmamalı.
H	Sütün yoğunluğu ve hacmini ölçmek için bir sensör kullanılabilir
H	Süt minimum miktarda parça ile temas etmelidir.
K	Parçaların sterilizasyonları kolayca yapılabilir
H	Akıllı sistem olabilir
H	Kontrol arayüzü anneler tarafından kolayca yapılmalıdır.

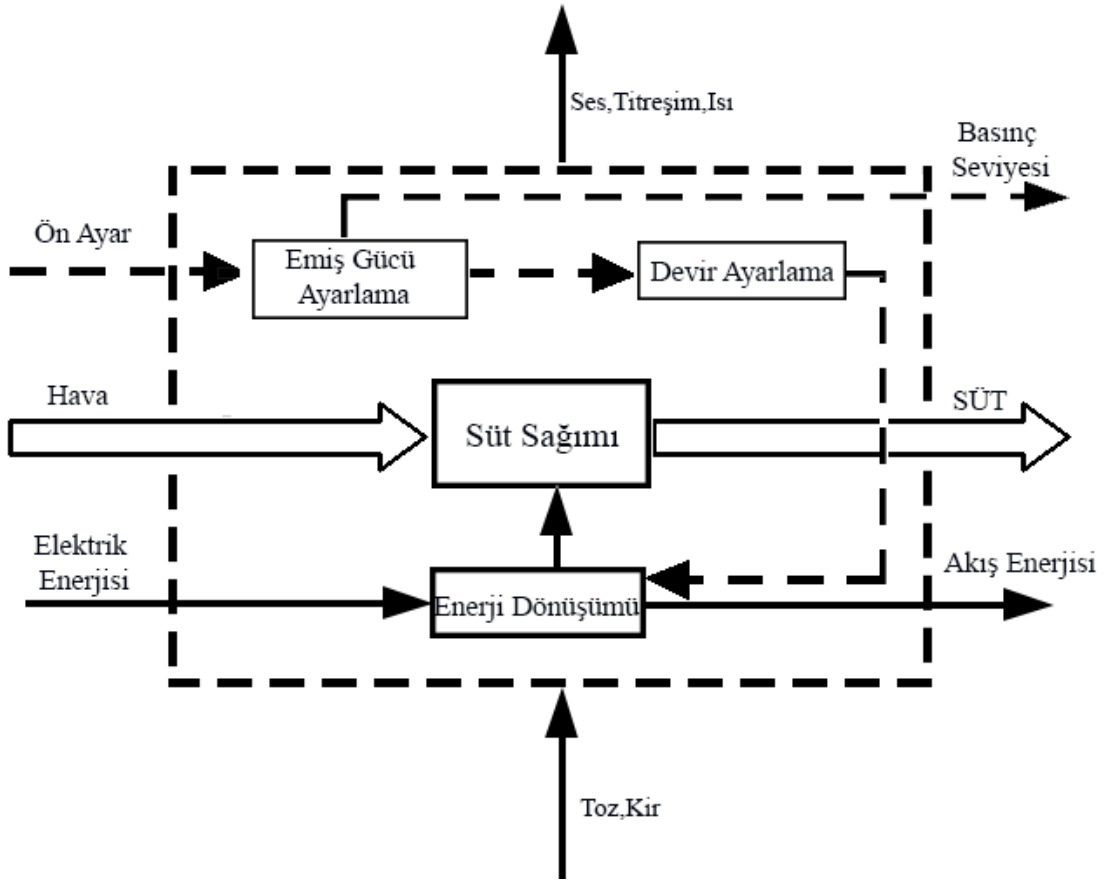
3.1.3 İşlev Yapılarının Oluşturulması

İstekler, girdiler ve çıktılar arasındaki hedeflenen genel ilişkiyi temsil eden işlevi belirler [24]. Teknik bir sistemde giriş çıkış boyutları, 3 temel fiziksel büyüklük altında gruplandırılır. Bunlar; enerji (düz çizgi ok), malzeme (kalın ok) ve sinyaldir (kesik çizgi). Tüm fonksiyonları kapsayan temel işlev “sütün pompalanarak(sağılarak) haznede depolanması” olarak belirlenmiştir. Sistematik Konstrüksiyon yönteminde işlev yapıları bir kara kutu üzerinde gösterilir [38, 40]. Süt pompası tasarımına ait temel işlevleri gösteren kara kutu Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kara kutu

Teknik sistemin işlevleri alt sistem ve elementlere ayrılabilir. Tek tek işlevlerin birleşimi, genel işlevi temsil eden bir işlev yapısıyla sonuçlanır. Sistemde temel işlev sütün sağılması ve biriktirilmesi; basıncı ayarlama, sistemi muhafaza etmek yan işlevler olarak belirlenmiştir. Şekil 3.2’de alt işlevler ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



z

Şekil 3.2 Süt Pompası Ayrıntılı Fonksiyon Şeması

3.1.4 Genel Fonksiyon Yapısının Tanımlanması ve Alt Fonksiyonlara Ayrılması

Fonksiyon yapısında, alt işlevleri ana işlevler belirlenmiş olur. Alt işlevler ana işlevi sağlamak için gereken bağımsız işlevler olarak tanımlanabilir [38]. Tablo 3.2 de fonksiyon zincirini içeren ana fonksiyon (1.derece fonksiyon), alt fonksiyonlar (2. derece fonksiyonlar) ve konstrüksiyon tercümesi gösterilmiştir. Mekanik tanımlar, işlev tanımlarının konstrüksiyon tercümesini oluşturur. Her bir alt fonksiyon için verilen açıklamalar gerekli değildir. Ancak ana fonksiyonu oluşturmak adına, fikir vermektedir. Aynı zamanda, sonraki aşamalarda konsept tasarımı gerçekleştirirken, temel elemanların seçilmesi adına fikirlerin yazılı kalmasını sağlayarak tasarım sürecine katkıda bulunmaktadır.

Temel fonksiyon memedeki süt dolu loblardan sütün sağılmasıdır. Bunun alt fonksiyonları bunu gerçekleştirmek için gereken bir yan fonksiyonlar dizisi olduğu

da söylenebilir. Örneğin; sütün sağılmasını gerçekleştirmek için basıncın ayarlanması, bunun 2. derece fonksiyonlarından birini oluşturur.

Tablo 3.2 İşlev zinciri

İşlev Derecesi	İşlev Tanımı	Mekanik Tanım
ANA İŞLEV 1. Derece İşlevler	İnsan göğsünden sütün sağımı	
Alt İşlevler 2. derece İşlev	1-Memeden süt pompalama ve meme üzerindeki hareketlerle ifade etme desteği	Pompalar Silindirler
	2-Süt Toplama ve Depolama	Bebek Şişeleri Plastik Torbalar Diğer Koleksiyoncular
	3- Basınç ve hız döngüsünün ayarlanması	Potansiyometre
	4- Desenlerin ayarlanması	
	5- El ifadesi	El Pompası
	6- Enerjiyi dönüştürmek	Elektrikli Motor
	7- Parçaları bir arada tutmak	Kap
	8- Zamanlamayı ve ifade sayısını ölçün	Kronometre

Tablo 3.2 İşlev zinciri(devamı)

3. Derece fonksiyonlar	1.1 Negatif basınç oluşturma	
	1.2 Memeye masaj uygulayın	
	1.3 Peristatik hareket oluşturun	
	3.1 Değişen direnç	
	6.1 Elektrik enerjiden kinetik enerjiye geçiş	
	6.2 Diğer sistem elemanlarının enerji vermesi	
	7.1 Mührü koruyun	
	7.2 Parçaların montajı	
	8. Kullanıcıya bilgi verme	

3.1.5 Alt İşlevler İçin Çözüm Arama

Fonksiyon yapıları çözüm arama aşaması için yol göstericidir. Alt fonksiyonlar bölüm 3.2.4'te açıkça tanımlanmıştır. Fonksiyon yapıları ve alt fonksiyonlar kurulduktan sonraki aşama, temel fonksiyonu temsil eden her alt fonksiyon için çözüm önerilerinin sunulmasıdır. Sütün sağılması ve bir haznede depolanması temel fonksiyonu için oluşturulan alt fonksiyonlar şunlardır: Negatif basınç oluşturulması, memeye masaj yapılması, hazne malzemesinin seçimi flanş malzemesinin seçimi, hız ve basınç ayarlaması, sızdırmazlık seçenekleri ve dış muhafaza materyalinin belirlenmesidir. Bu çözüm önerileri bir tablo haline getirilir. Tablo 3.3 de çözüm önerileri (Si) ve fonksiyonlar (Fi) olarak gösterilmiştir. Her bir

fonksiyon için en az 1 en fazla 4 çözüm önerisi bulunmuştur. Verilen fonksiyonlar için getirilen çözüm önerileri Tablo 3.3'te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 3.3 Çözüm tablosu

	S1	S2	S3	S4
Enerji(F1)	Pil	Elektrik	USB	Çok
Negatif Basınç Oluşturma(F2)	Pistonlu Pompa	Diyafram Pompa		
Göğüs masajı (F3)	Silindirler	Küre Rolerleri	Özel Şekil	
Hazne Malzeme(F4)	PE	PP	Kompozit	
Flanş Malzemesi(F5)	Silikon	PP		
Hız ve Basınç Ayarı (F6)	Dijital			
Sızdırmazlık(F7)	Diyafram			
Kasa Malzemesi(F8)	Polimer	Metal		

Fonksiyonlara ait çözüm önerilerinin verildiği tablo oluşturulduktan sonra bu Fonksiyon ve çözüm önerilerinin her birinin birbiriyle olan kombinasyonu yazılır. Bu kombinasyonun matematiksel değeri 288 adet tasarım önerisi oluşturur. Ancak 288 tane tasarım önerisini analiz etmek çok fazla zaman alacağından ve bazı çözüm önerilerinin birbiriyle kombinasyonlarının yan yana gelmesinin mümkün olmayacağından inisiyatif kullanılarak bazı elemelere gidilir. Sonuç olarak 28 adet tasarım önerisi her fonksiyonun çözümünün birbiriyle kombinasyonu ile ortaya çıkmıştır. Tablo 3.4'te Tasarım seçeneklerini meydana getiren kombinasyonlar verilmiştir.

Tablo 3.1 Tasarım seçenekleri kombinasyonları

1	F1S4	F2S1	F3S1	F4S1	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
2	F1S4	F2S1	F3S1	F4S1	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
3	F1S4	F2S1	F3S2	F4S1	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
4	F1S4	F2S1	F3S2	F4S1	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
5	F1S4	F2S1	F3S2	F4S2	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
6	F1S4	F2S1	F3S2	F4S2	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
7	F1S4	F2S1	F3S2	F4S3	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
8	F1S4	F2S1	F3S2	F4S3	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
9	F1S4	F2S1	F3S3	F4S1	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
10	F1S4	F2S1	F3S3	F4S1	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
11	F1S4	F2S1	F3S3	F4S2	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
12	F1S4	F2S1	F3S3	F4S2	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
13	F1S4	F2S1	F3S3	F4S3	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
14	F1S4	F2S1	F3S3	F4S3	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
15	F1S4	F2S2	F3S1	F4S1	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
16	F1S4	F2S2	F3S1	F4S1	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
17	F1S4	F2S2	F3S2	F4S1	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
18	F1S4	F2S2	F3S2	F4S1	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
19	F1S4	F2S2	F3S2	F4S2	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
20	F1S4	F2S2	F3S2	F4S2	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
21	F1S4	F2S2	F3S2	F4S3	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
22	F1S4	F2S2	F3S2	F4S3	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1

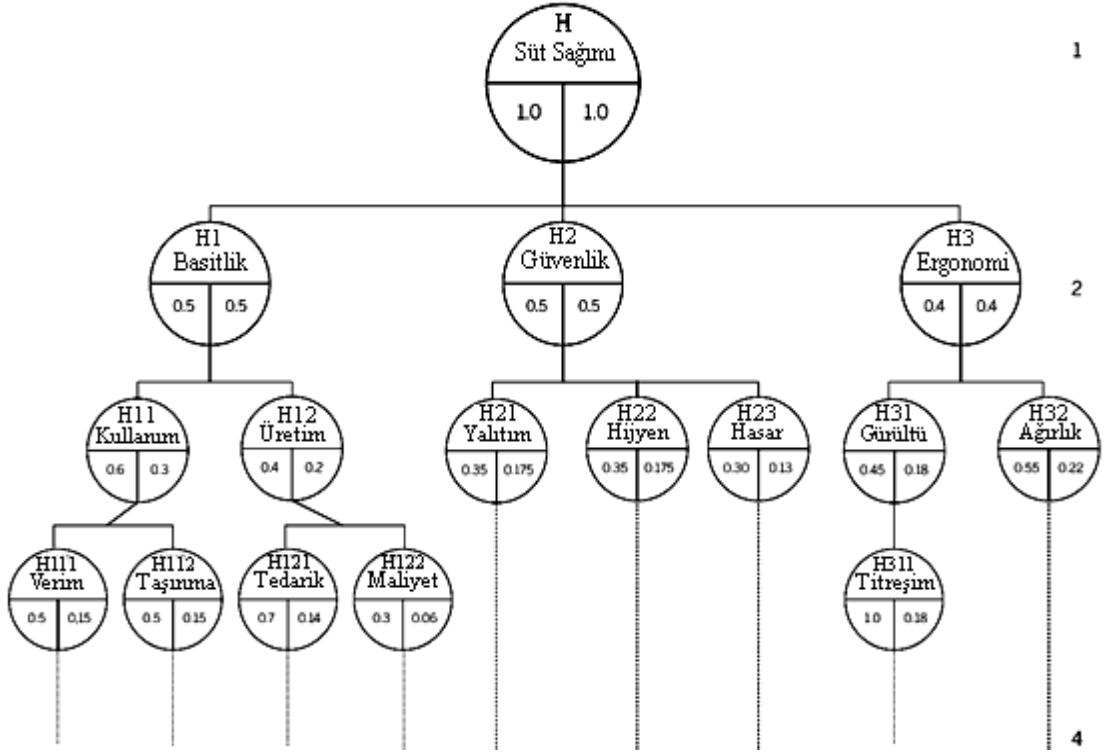
Tablo 3.2 Tasarım seçenekleri kombinasyonları(devamı)

23	F1S4	F2S2	F3S3	F4S1	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
24	F1S4	F2S2	F3S3	F4S1	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
25	F1S4	F2S2	F3S3	F4S2	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
26	F1S4	F2S2	F3S3	F4S2	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1
27	F1S4	F2S2	F3S3	F4S3	F5S1	F6S1	F7S1	F8S1
28	F1S4	F2S2	F3S3	F4S3	F5S2	F6S1	F7S1	F8S1

3.1.6 Teknik Değerlendirme

Fonksiyon yapıları çözüm arama aşaması için yol göstericidir. Alt fonksiyonlar bölüm 3.2.4'te açıkça tanımlanmıştır.

Sistematik konstrüksiyonun bir sonraki aşaması, elde edilen tasarım seçeneklerinin teknik olarak ve ekonomik olarak değerlendirilmesidir. Ağırlıklandırma faktörlerinin ve varyantların parametrelerinin daha yakından tanımlanmasını sağlar. Ayrıca daha iyi atanmasını kolaylaştırmak için hiyerarşik bir sınıflandırma (hedefler ağacı) hazırlanır. Değerlendirme kriterleri, yapılması hedeflenen gereksinimlere göre oluşturulmuştur. Tasarım seçeneklerini değerlendirmek için hedefler ağacı kullanılmıştır. Hedefler ağacında her değerlendirme kriterine göre bir ağırlıklandırma faktörü verilir, bu gerçek ve pozitif bir sayıdır. Hedefler ağacında, ağırlıkların toplamı 1 ile 100 olacak şekilde ağırlıklandırma yapılır. Her kıstas belli bir ağırlık yüzdesi ile ifade edilebilir [40, 39] Şekil 3.2'de oluşturulan hedefler ağacı ve üzerinde tasarım kıstasları için verilen ağırlıklar gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Hedefler ağacı

Şekil 3'te de görüleceği üzere hedefler, karmaşıklık derecesine göre 4 düzeyde düzenlenmiş ve ağırlık faktörleri belirlenmiştir. Hedefler ağacında ilk düzeyde H_i ile gösterilen 1. Düzey kistaslar verilmiştir. Bunlar; Basitlik, güvenlik ve ergonomi olarak sınıflandırılmıştır. 2. Düzeyde H_{ii} olarak gösterilen kistaslar 1. Düzeydeki kistasları tamamlayıcı alt kistaslardır. Örneğin Ergonomi kistası 2. Düzeyde gürültü ve ağırlık kistaslarına ayrılmıştır. Gürültü kistası altında, 3. Düzeyde H_{iii} ile gösterilmek üzere titreşim yer alır. Standart notasyona uygun olarak, hedefler ağacında ağırlıkların toplamı 1.0 (%100) olacak şekilde bir ağırlıklandırma yapılmıştır. Alt seviyedeki hedeflere, belirlenen oran ile orantılı olarak, üst seviyedeki hedefe göre bir ağırlık değeri verilir. Bu noktadan sonra, en uygun çözüme karar vermek için, tüm çözüm seçenekleri (P_i) puanlandırılmalı ve daha sonra yukarıda elde edilen ağırlık oranları (g_i) ile çarpılmalıdır ($P_i \cdot g_i$).

Ağırlık faktörlerinin verilen puanlarla çarpılması ile elde edilen tablo ve yapılan puanlama Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Kistaslar için puanlama yaparken aşağıda belirtilen puanlama sistemi esas alınmıştır:

4: İyi,

3: Yeterli,

2: Orta,

1: Zayıf

0: Mevcut Değil

Tablo 3.1 Teknik ve ekonomik değerlendirmeler

	H111 0,15		H112 0,15		H121 0,14		H122 0,06		H21 0,175		H22 0,175		H23 0,13		H31 0,18		H32 0,22		TOPLAM
D1	4	0,6	3	0,5	4	0,6	3	0,2	3	0,5	3	0,5	1	0,1	1	0,2	3	0,7	3,81
D2	4	0,6	3	0,5	4	0,6	4	0,2	3	0,5	3	0,5	1	0,1	1	0,2	3	0,7	3,87
D3	4	0,6	3	0,5	4	0,6	3	0,2	3	0,5	3	0,5	1	0,1	2	0,4	3	0,7	3,99
D4	4	0,6	3	0,5	4	0,6	4	0,2	3	0,5	3	0,5	1	0,1	2	0,4	3	0,7	4,05
D5	4	0,6	3	0,5	2	0,3	3	0,2	2	0,4	2	0,4	2	0,3	2	0,4	2	0,4	3,27
D6	4	0,6	3	0,5	2	0,3	3	0,2	2	0,4	1	0,2	2	0,3	2	0,4	2	0,4	3,095
D7	4	0,6	4	0,6	3	0,4	2	0,1	3	0,5	3	0,5	4	0,5	2	0,4	2	0,4	4,11
D8	4	0,6	4	0,6	3	0,4	2	0,1	3	0,5	3	0,5	2	0,3	3	0,5	2	0,4	4,03
D9	4	0,6	4	0,6	3	0,4	2	0,1	2	0,4	2	0,4	1	0,1	3	0,5	2	0,4	3,55
D10	4	0,6	4	0,6	3	0,4	2	0,1	2	0,4	1	0,2	1	0,1	2	0,4	1	0,2	2,975
D11	4	0,6	4	0,6	1	0,1	1	0,1	2	0,4	2	0,4	2	0,3	3	0,5	1	0,2	3,12
D12	4	0,6	4	0,6	1	0,1	1	0,1	2	0,4	1	0,2	2	0,3	3	0,5	2	0,4	3,165
D13	3	0,5	4	0,6	4	0,6	1	0,1	4	0,7	3	0,5	3	0,4	3	0,5	2	0,4	4,265
D14	3	0,5	4	0,6	4	0,6	1	0,1	4	0,7	4	0,7	2	0,3	2	0,4	2	0,4	4,13
D15	3	0,5	4	0,6	3	0,4	1	0,1	3	0,5	3	0,5	1	0,1	2	0,4	4	0,9	3,95
D16	3	0,5	4	0,6	3	0,4	1	0,1	5	0,9	3	0,5	1	0,1	2	0,4	4	0,9	4,3
D17	3	0,5	4	0,6	3	0,4	3	0,2	4	0,7	2	0,4	1	0,1	3	0,5	4	0,9	4,25
D18	3	0,5	4	0,6	3	0,4	4	0,2	4	0,7	1	0,2	1	0,1	3	0,5	4	0,9	4,135
D19	3	0,5	4	0,6	2	0,3	3	0,2	4	0,7	2	0,4	4	0,5	3	0,5	2	0,4	4,06
D20	3	0,5	4	0,6	2	0,3	4	0,2	4	0,7	1	0,2	2	0,3	3	0,5	2	0,4	3,685
D21	3	0,5	5	0,8	3	0,4	2	0,1	5	0,9	4	0,7	1	0,1	3	0,5	2	0,4	4,425
D22	3	0,5	5	0,8	3	0,4	2	0,1	5	0,9	4	0,7	1	0,1	3	0,5	2	0,4	4,425
D23	3	0,5	5	0,8	3	0,4	2	0,1	4	0,7	2	0,4	2	0,3	3	0,5	2	0,4	4,03
D24	3	0,5	5	0,8	3	0,4	2	0,1	4	0,7	1	0,2	2	0,3	4	0,7	3	0,7	4,255
D25	3	0,5	5	0,8	3	0,4	2	0,1	4	0,7	2	0,4	4	0,5	4	0,7	1	0,2	4,25
D26	3	0,5	5	0,8	3	0,4	2	0,1	4	0,7	1	0,2	2	0,3	4	0,7	1	0,2	3,815
D27	3	0,5	5	0,8	1	0,1	1	0,1	4	0,7	1	0,2	2	0,3	4	0,7	1	0,2	3,475
D28	3	0,5	5	0,8	1	0,1	1	0,1	4	0,7	1	0,2	2	0,3	4	0,7	2	0,4	3,695

Yapılan puanlama neticesinde; Talo3.5'te görüldüğü üzere, toplamda Tasarım seçeneği 21 ve 22, 4,425 puan almıştır. Tasarım seçeneği 22'ye ait çözüm önerileri seçimleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.2 Tasarım seçeneği 22

	S1	S2	S3	S4
Enerji(F1)	Pil	elektrik	Usb	Çok
Negatif Basınç Oluşturma(F2)	Pistonlu Pompa	Diyafram Pompa		
Göğüs masajı (F3)	Silindirler	Küre Rolerleri	Özel Şekil	
Hazne Malzeme(F4)	Pe	pp	Kompozit	
Flanş Malzemesi(F5)	Silikon	PP		
Hız ve Basınç Ayarı (F6)	Dijital			
Sızdırmazlık(F7)	Diyafram			
Kasa Malzemesi(F8)	Polimer	Metal		

Bu aşamadan sonra tasarımın seçilen tasarım seçeneği üzerinde detaylı şekillendirme yapılabilmesi ve boyut sınırlamaları göz önünde bulundurularak geçilen bir sonraki aşama bilgisayar üzerinde 3 boyutlu modelleme yapılmasıdır. Sistemik konstrüksiyon yöntemi kullanılarak ihtiyaç-ürün ilişkisine katkıda bulunulmuştur. Bunun yanında çalışmanın sınırları netleştirilmiştir. Buraya kadar olan değerlendirmeler süt pompasının konsept tasarımına dair fikir vermektedir ve bir yol haritası oluşturmaktadır.

4.1 Hesaplama

Tasarımın yapılabilmesi için, öncelikle boyutlarının netleştirilmesi gerekmektedir. Sistemik tasarım aşamalarının gerçekleştirilmesinin neticesinde Tasarım 22 seçeneği en optimum seçenek olarak belirlenmiştir. Pompa sistemi için bu seçenekte diyafram tipli pompa kullanımı uygun bulunmuş ve diyaframlı çalışacak pompanın tasarımı gerçekleştirilmiştir. Pompanın gerekli mühendislik hesaplamaları yapılarak, boyutlandırma ve tasarımı yapılmıştır.

Diyafram pompa, bir pozitif yer değiştirme yapan vakum pompasıdır. İleri geri hareketler sayesinde bir negatif basınç(vakum) oluşturur. Hacmi periyodik olarak artan ve azalan pompalama veya sıkıştırma odası, pompalama eylemini etkiler [41].

Çalışmada pompalama sistemi Boyle-Mariotte kanunu kullanılarak hesaplanmıştır. Boyle kanuna göre: İdeal bir gazın belirli bir kütlesi tarafından uygulanan mutlak basınç, kapalı bir sistemde gaz sıcaklığı ve miktarı değişmeden kalırsa kapladığı hacimle ters orantılıdır [4]. Matematiksel olarak, Boyle yasası şu şekildedir:

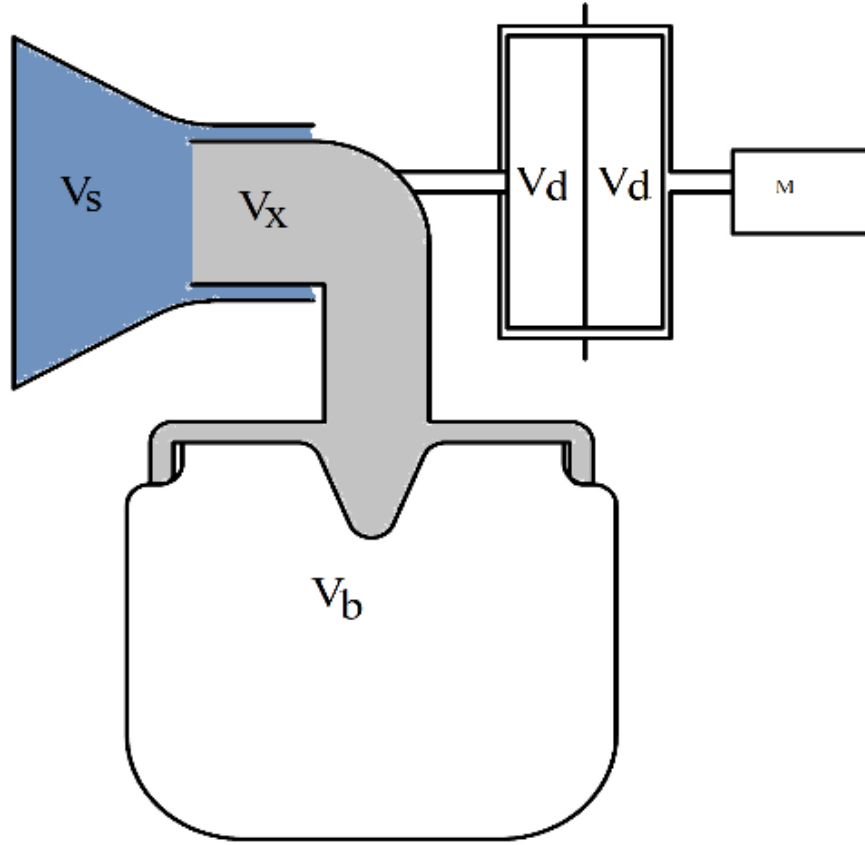
$$PV = k$$

P: Basınç
V: Hacim (4.1)

Bölüm 2.5'te bugünkü pompaların Egnell'in pompasını temel alarak yapıldığından bahsedilmiştir. Hesaplamalarda maksimum güvenli basıncın 220 mm Hg olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Anne memesinden süt gelme refleksini uyarmak için gereken basınç buna dahildir. Bu değer referans alınmak üzere pompanın boyutlandırma hesaplarına başlanmıştır.

Boyle kanuna göre, pompa çalıştığında pompaya etki edecek hacimler, pompanın ilk pozisyonundaki ve son pozisyonundaki hacimler olacaktır. Diyaframın çalıştığı kapalı hacmi diyaframın yer değiştirmesi ile denklemde yerini bulacaktır. İlk

pozisyonda ve son pozisyonda sabit kalan hacimler; meme bölgesine temas haline gelen flanşın hacmi ve pompa sistemi ile flanşı birbirine bağlayacak olan arada kalan parçaların hacmidir. Şekil 4.1’de bu alanların daha iyi anlaşılması için görselleştirme yapılmıştır.



Şekil 4.1 Meme pompası tasarımı için hesaplanan hacim şeması. (V_s : Meme flanşı hacmi, V_x : Flanş, şişe ve pompa arasındaki Konektörlerin Hacmi, V_d : Yarım Pompa Hacmi. V_b :Şişe hacmi)

Yapılan hesaplamalarda pompa vakum etkisi yaptığına öne doğru gelecek olan meme ucunun hareketi ihmal edilmiştir. Şişenin hacminin ise arada kullanılan valften dolayı herhangi bir etkisi yoktur. Pompanın boyutlarının belirlenmesi üzere başlangıç durum basıncı P_1 ve son durum P_2 olarak alınmıştır. P_1 basıncı meme içerisindeki basınçtır. Sütün gelmediği durumda yani başlangıçta memedeki basınç hava basıncına eşittir. Sonuç olarak başlangıç basıncı P_1 'in atmosferik basın olan 760 mm Hg olarak alınması gerekir.

200 mm Hg negatif basınç olabilmesi için basıncın 560 mm Hg'ya düşürülmesi gereklidir. Buradan hareketle P_2 basıncı da 560 mm Hg olarak alınır. Formülde

yazılan bilinmeyen hacimler Şekil 4.1'de gösterildiği üzere; yazılan denklemde yerine konulduğunda pompanın ($2V_d = 0$) ilk durumunda hacmi:

$$V_s + V_x \quad (4.2)$$

Pompanın 200 mm Hg negatif basınç oluşturduğunda bulunan hacimler:

$$V_s + V_x + 2V_d \quad (4.3)$$

Bu değerler,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (4.4)$$

Formülünde yerine yazılırsa oluşacak denklem:

$$P_1 (V_s + V_x) = P_2 (V_s + V_x + 2V_d) \quad (4.5)$$

Bu denklemden henüz değerini bilmediğimiz pompa dışındaki hacimlerin pompa hacmine oranı bulunmuştur:

$$\frac{760}{560} = 1 + \frac{2V_d}{(V_s + V_x)}$$

$$\frac{2V_d}{(V_s + V_x)} = 0,3571 \quad (4.6)$$

Denklemden gelen sonuca göre pompa hacminin diğer hacimler toplamının en az %35'i büyüklüğünde olması gerektiği saptanmıştır. Pompa hacminin kesinleşmesi için arada kalan hacimlerin bilinmesi gerekir. Bu hacimlerin belirlenmesi için, ergonomi ve bugüne kadar pompa tasarımı standartlaşmış faktörler düşünülerek tasarım safhasına geçilmesi uygun bulunmuştur.

4.2 3 Boyutlu Modelleme

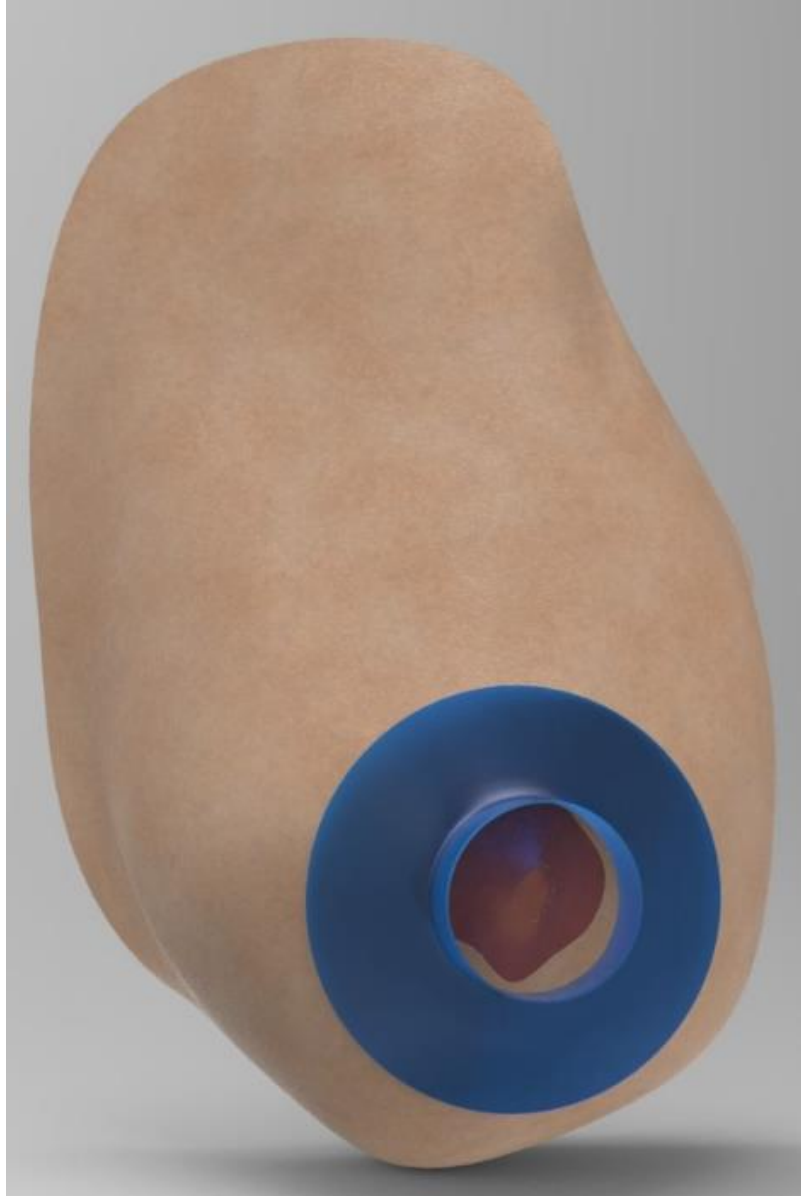
Pompanın modellenmesi için, bilgisayar üzerinde 3B modelleme bu aşamada yapılmıştır. Bu çalışmada da süt sağması için bulunan elemanların boyutlarının belirlenmesi ve birbirleriyle olan ilişkilerin saptanması; bunların yanında ergonomik olarak kadın vücuduna uygun olabilecek uygun tasarımın tatbik edilebilmesi için 3 boyutlu model oluşturmaya yarayan bilgisayar yazılımlarından destek alınmıştır.

Organik bir tasarım elde etmek üzere Autodesk'e ait Fusion 360 (Student Version) programından faydalanılmıştır. Fusion 360 içerisinde kullanıma sunulan T-Splines ile serbest bir yüzey modelinin oluşturulmuştur.

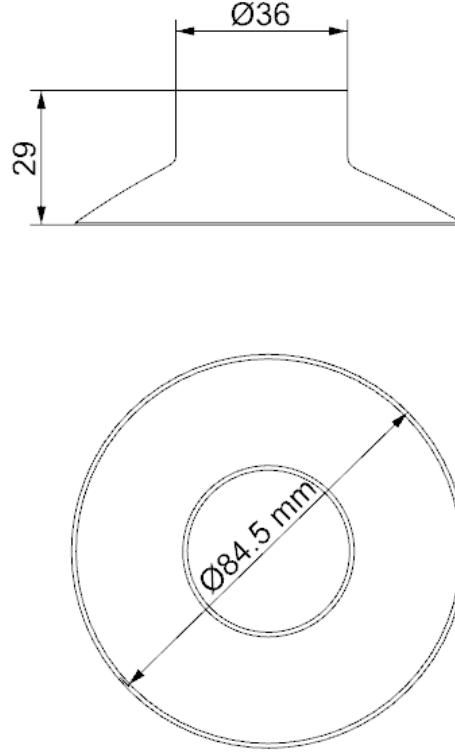
Sistematik yaklaşımın sonucunda uygun bulunan en optimum tasarım diyaframlı bir meme pompasıydı. İstekler listesinde meme pompasının ergonomik ve giyilebilir bir tasarım olması belirlenmişti. Tasarımı oluşturacak olan temel konudan biri ise, sistemin memeye nasıl oturacağı ve gelen sütün nasıl bir haznede biriktirilmesi idi. Sistematik konstrüksiyondan alınan yol haritasıyla beraber memeye uygun ergonomik bir tasarım ortaya koymak hedeflenmiştir. 3 boyutlu tasarıma başlamadan önce, meme bölgesine uyarlanabilecek bir cihazın olası yaklaşık boyutları atanmıştır. Ayrıca mevcut süt pompalarında süre gelmiş tecrübeden faydalanılmıştır. Mevcut veriler ve ölçütlerle, demirbaş parçalar konsept olarak şekil almaya başlamıştır.

Pompanın süt sağımını gerçekleştirebilmesi için, meme ile temasa gelen ve hava geçişini önleyen bir parçaya ihtiyacı vardır. Bu parça, klasik pompalarda çoğunlukla bir meme flanşıdır. Hava geçişini önlemek ve süt sağımını tetikleyebilmek için parçanın memenin areola bölgesine tam olarak oturması gereklidir. Ancak, insan fizyolojisi birbirinden çok farklıdır. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere çok farklı kombinasyonlarda meme olabilir. Bu sebeple; büyük, küçük ve orta gibi seçenekler sunan, farklı kadınların ihtiyacını karşılayabilecek, yeri geldiğinde değiştirilebilir parçalara sahip bir tasarım ortaya konulması gereklidir. Bu tasarımda meme flanşı, memeye uygun konik bir tasarım olarak yapılmıştır. Ticari meme pompalarının meme flanşlarının meme ucu çapı boyutları yaklaşık 21 ila 36 mm arasında değişir. 3 boyutlu bilgisayar modeli yapılırken en büyük göğüs flanşı

boyutu referans alınmıştır. Göğüs flanşının ölçüleri, pompa boyutunun hesaplanması neticesinde, gereken hacim üzerinde fark oluşturur. 3B meme modeli memeye uyacak ergonomik bir şekil oluşturmak için kullanılmıştır. Şekil 4.2, tasarlanmış meme flanşının 3B modeli ve Şekil 4.3’de boyutları gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Meme flanşı tasarımının 3B modeli

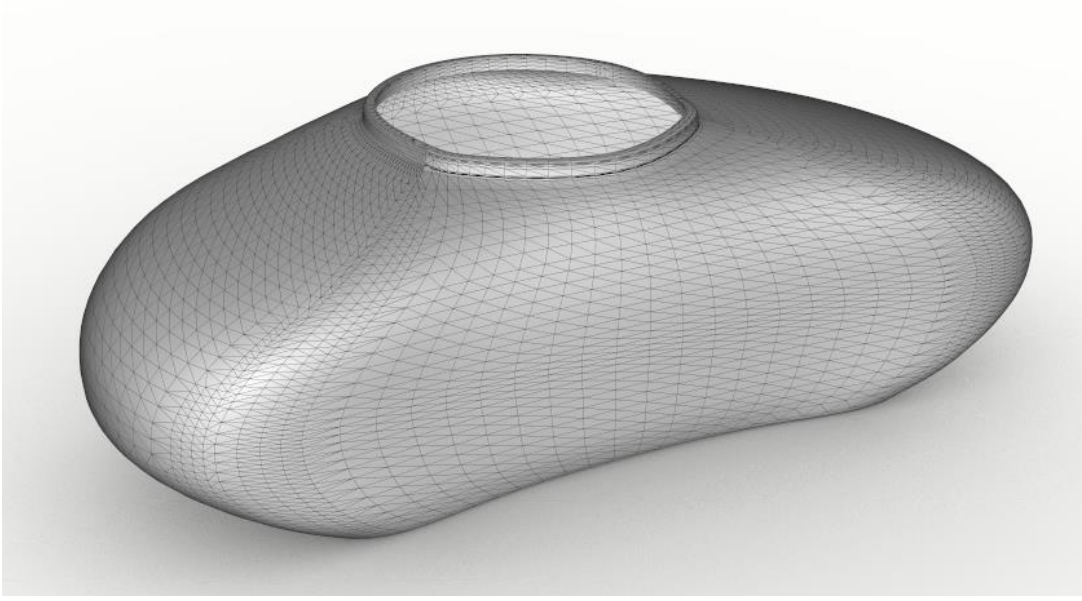


Şekil 4.3 Flanş ölçüleri

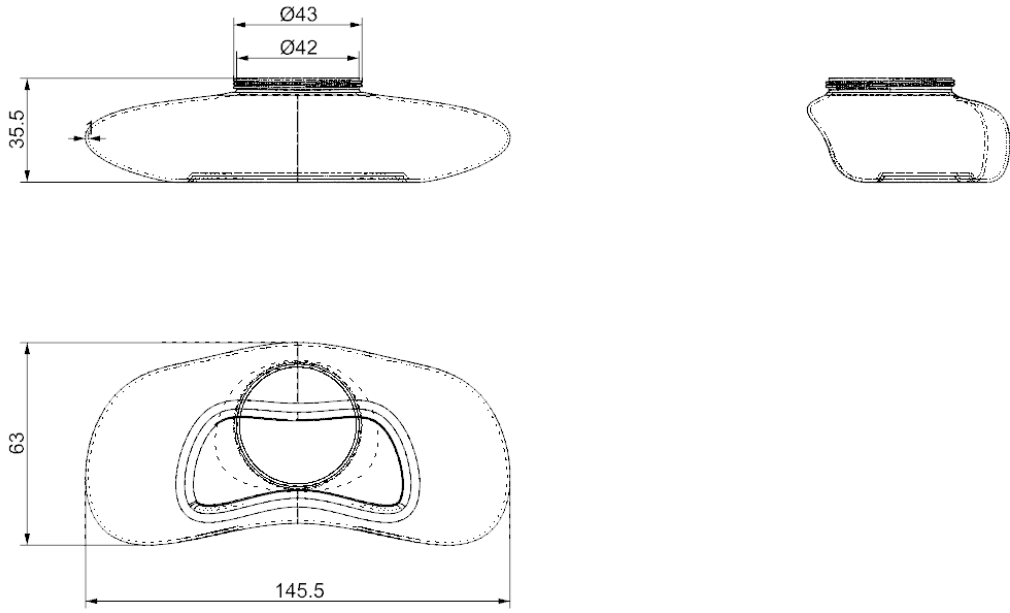
Tasarlanan flanşın hacmi yaklaşık 13569 mm³ olarak hesaplanmıştır. Bu parça süt haznesi ve pompaya bağlanmalıdır. Süt haznesinin kapasitesi her bir pompalama seansı için yeterli olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Ancak her annenin memesindeki süt miktarı farklı olabilir. Bu miktarın tespiti için literatürde bulunan konuyla ilgili çalışmalarda ölçülen değerler referans olarak alınmıştır. Alınan referans değer ortalama değer olmaktan ziyade olabilecek maksimum değer olmalıdır. Ölçülen değerler en fazla yaklaşık 150 mL'dir. Bu nedenle kapasitesi en az 150 000 mm³ olan bir süt haznesi tasarlanmıştır. Süt haznesini tasarlarken göz önünde bulundurulacak noktalar:

- Minimum kenarlı yüzeye sahip olması, köşelerden kaçınma
- Bebek biberonu olmaya uygun
- Giyilebilir tasarıma uygun kompakt olması
- Hazne içinin kolay temizlemeye uygun olması

Bu kriterlere göre süt toplayıcı tasarımının 3B modeli oluşturulmuştur. Şekil 4.4'te gösterilen bu model ve şişe boyutları Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Süt haznesi



Şekil 4.5 Süt haznesi ölçüler

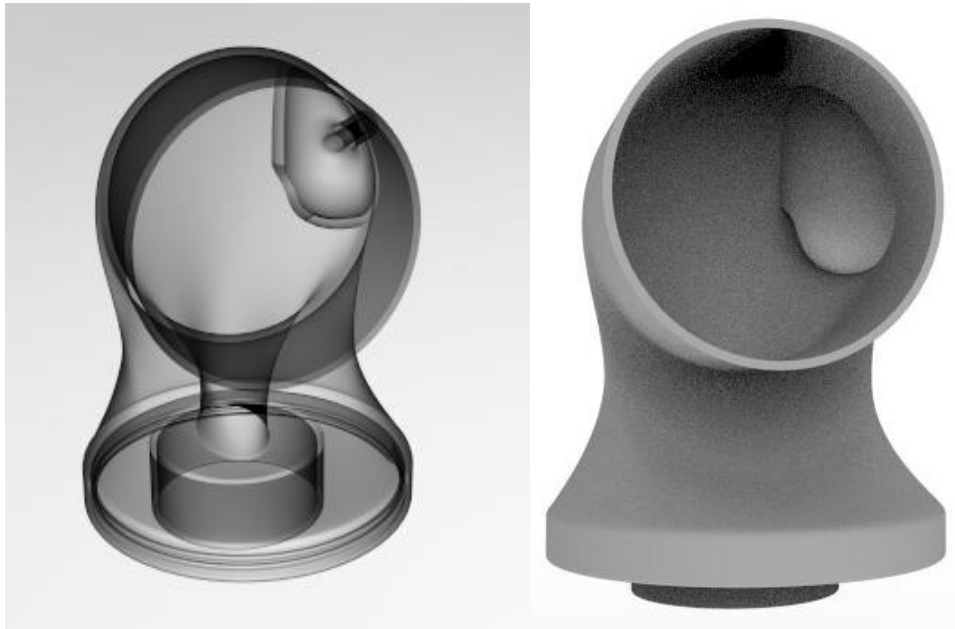
Süt toplayıcının organik şekli, annelerin vücuduna daha iyi uyacak şekilde tasarlanmıştır. Öndeki içbükey şekil memenin önünde durur. Ayrıca, bebeğin bu haznedan doğrudan besleme olasılığı da hesaba katılmıştır. Sağ ve sol yanlardaki şişkinlik bebek tarafından kolayca tutulabilir şekilde düşünülmüştür.

Süt toplayıcı ve göğüs flanş şekillendirildikten sonra, ikisini birbirine bağlayan bir parçaya ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan; parça, diyafram pompasının

bağlı olduğu kısım olmalıdır. Bu adımda ilk olarak süt toplayıcı, pompa ve göğüs flanşı arasındaki konektör için bu parçaların formlarına uyarlanabilecek bir tasarım yapılmasıydı. Konektörün tasarımında göz önünde bulundurulacak faktörler ise şunlardır:

- Pompa boyutunun mümkün olduğunda küçük tutulabilmesi için konektör iç hacminin de küçük olabilmesi önemlidir.
- Hijyen kriterlerine uygun olmalıdır.
- Meme ucunun hareketi için yeterli alana sahip olmalıdır.
- Hava akışının ve sütün geldiği yerde, pompadan sızmayı önlemek için konektör içinde ayrılmalıdır.
- Konektör, sızıntıyı önleyen ve pompa basıncı oluştuğunda hacmi azaltan bir kanala bağlanmalıdır.
- Temizlenebilir olmalıdır.
- Keskin kenarlardan kaçınılmalıdır.

Yukarıda verilen kriterler göz önünde bulundurularak uygun tasarım yapılmıştır. Konektörün bir ağzı flanşa bağlanırken, bir diğer açıklığı ise hazneye sütün akabileceği şekilde düşünülmüştür. Şekil 4.6' da bağlantı parçasının 3 boyutlu modeli verilmiştir.



Şekil 4.6 Bağlayıcı

Konektörün üst kısmından verilen ince açıklık pompaya gitmektedir. Pompada oluşan vakum sebebiyle, sütün direkt pompa içine kaçmasını önlemek için bir parçayla direkt çekiş önlenmiştir. Ayrıca konektörün altına valf takılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu valf piyasada bulunabilen süt pompası valfleri esas alınarak, uygun ölçülerde yapılmıştır. Bu noktada daha sonra bu parça kaybolduğunda veya hasar gördüğünde kolay değiştirilebilir olması öngörülmüştür.

Konektörün iç hacmi oldukça küçük tutulurken, temizlemeyi zorlaştıracak alanlar kullanılmasından kaçınılmıştır. Konektörün içinde keskin kenarlardan mümkün olduğunca kaçınıldı. Öte yandan olası süt akış yolu oluşturuldu.

Bu noktaya kadar tasarlanan parçalar gerekli pompa hacmini belirlemek üzere yeterlidir. Parçaların hacmi 3D yazılım tarafından hesaplanmış ve elle hesaplanan yaklaşık değerler karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda bu parçaların hacmi göster verilmiştir.

Tablo 4.1 Süt pompasını oluşturan parçaların hacimleri

Parça	Hacim (mm ³)	Yaklaşık Hacim(mm ³)
Hazne	162291 mm ³	150000 mm ³
Bağlayıcı(V _x)	28277 mm ³	25000 mm ³
Valf (V _v)	2426 mm ³	-
Kalkan (V _s)	13569 mm ³	13500 mm ³

Bu değerlere göre hesaplamalar tekrar yapılmıştır:

$$P_1(V_s + V_x + V_v) = P_2(V_s + V_x + V_v + 2V_d)$$

$$760 (13569 + 28277 + 2426) = 560 (13569 + 28277 + 2426 + 2V_d)$$

$$2V_d = 15811,4 \text{ mm}^3 \quad (4.7)$$

Denklemden değerler yerine konulduğunda pompa hacmi 15811,4 mm³ olarak hesaplanmıştır. Pompa sistemi ve konektör arasındaki borular ve diğer bağlantı

geometrileri gibi hacimler ve sızıntı yoksa bu değer teoriktir. Bulunan değer bir emniyet faktörü ile çarpılabilir. Süt pompaları için literatürde bir emniyet katsayısı tanımlanmamıştır. Bu çalışmada bu faktör 1,5 olarak alınmıştır. Bulunan pompa hacmi emniyet katsayısı ile çarpılırsa emniyetli değer 23717 mm³ olarak bulunur.

4.2.1 Pompa Tasarımı

Nihai pompa hacminin en az 23717 mm³ olması gerektiği bulunmuştu. Pompa iç hacmi 40 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde silindirik iki plastik parça içerisine inşa edilmiş bir sistem olarak tasarlanmıştır.

İstekler listesinde pompanın temel fonksiyonları yazılmıştı. Süt sağım pompasının temel görevi; en çok 200 mm Hg negatif basınç değerine ulaşmak ve doğal emiş ritimlerini kombine etmek olarak belirlenmiştir. Bu fonksiyonları oluşturmak için gerekli ayarlamalar pompa içerisindeki diyaframın pozisyon değiştirmesi ile elde edilebilir. Pompanın genel prensibi hacmi azaltarak vakum oluşturma prensibine dayanır. Ortada bulunan diyafram ileri geri giderken basınç değişikliğine sebep olur. Diyafram geri çekilip hacim arttığında basınç düşerken, ileri gittiğinde hacim küçülüp basınç azalacaktır. Pompanın çalışması şekil 4.7’de ifade edilmiştir.

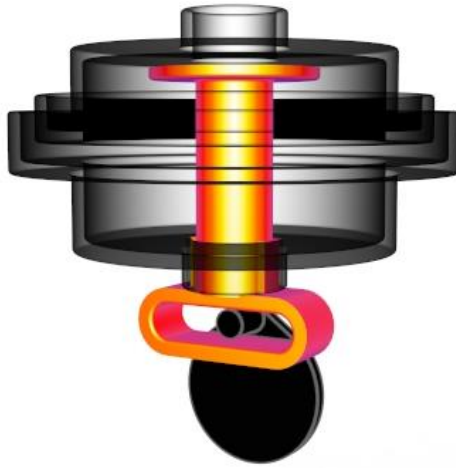


Şekil 4.7 Tasarımı yapılan pompanın çalışma prensibi

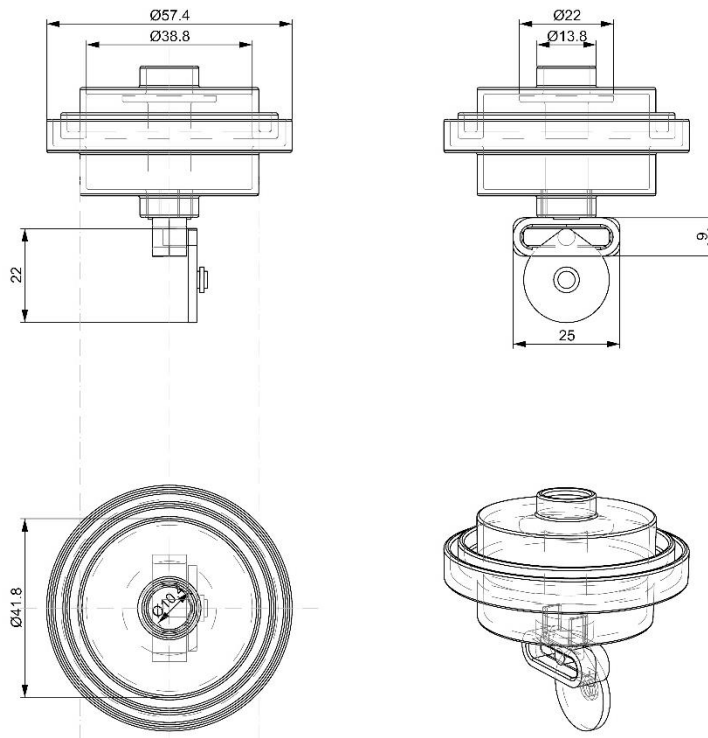
Bu çalışmada, özellikle pompanın farklı vakum profillerini kombine edebilmesi üzerinde durulmuştur. Bu vakum profilleri bebeğin emiş ritmine benzer özelliktedir. Sütün sağılabilmesi öncelikle, süt fişırma refleksinin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu refleks gerçekleşene dek kullanılan vakum profili ile sağım başladıktan sonra kullanılan vakum profili farklı olmalıdır.

Vakum profillerinin uygulanması için motorun tahrik ettiği pompanın hareketini, motorun dönme açısını değiştirerek kontrol edebilen mikro kontrolcü kullanılarak sağlanmıştır.

Motorun diyaframa lineer hareketi iletebilmesi için bir İskoç boyunduruk mekanizması kullanılmıştır. Pompa ve mekanik elemanlar da bilgisayar ortamında boyutlu olarak Fusion 360'ta modellenmiştir. Şekil 4.8'de pompa modeli ve 4.9'da ölçülendirmesi için teknik resmi gösterilmiştir.



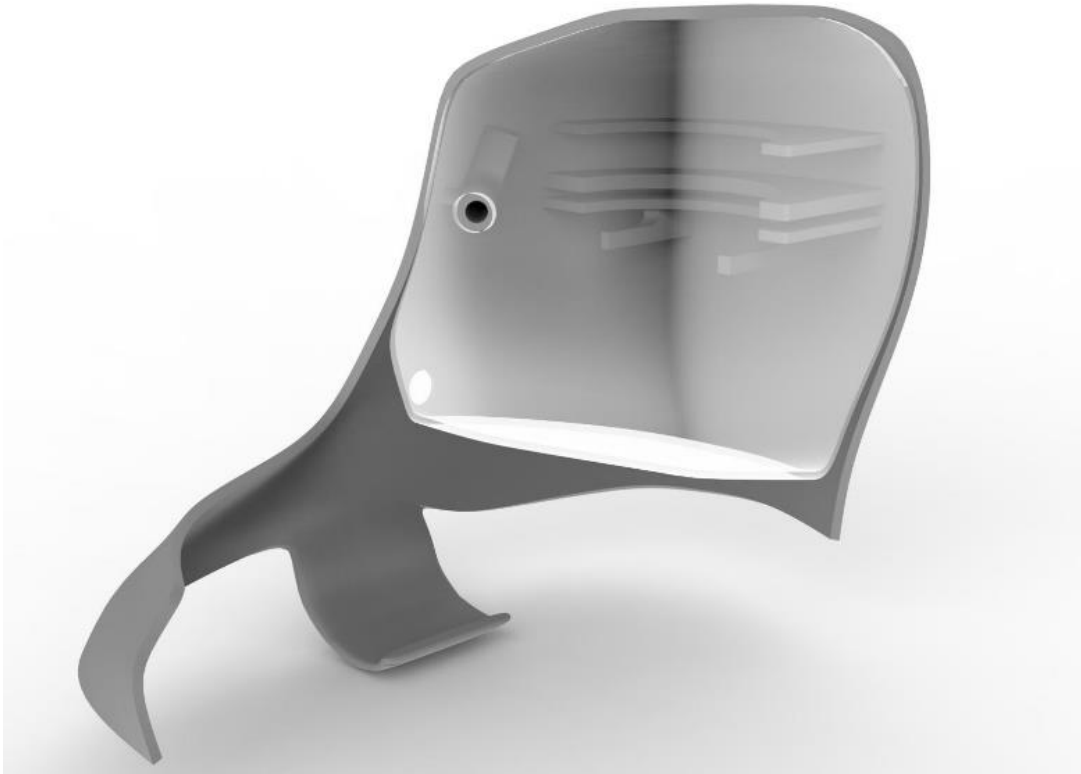
Şekil 4.8 Pompa modeli



Şekil 4.9 Pompa teknik resim

Pompanın plastik kaplarının arasında silikon bir diyafram kullanılması öngörölmüştü. İki silindirik plastik kabın birbirine sıkı geçmesi arasında diyafram montajlanır. Diyaframın ortasından geçen bir çubuk diyaframı tutarken öbür taraftan motora bir İskoç mekanizması ile bağlıdır. İskoç düzeneği (oluklu mekanizma) dönme hareketini, lineer bir harekete veya tam tersine dönüştüren bir mekanizma olup ileri geri hareketi sağlamaktadır.

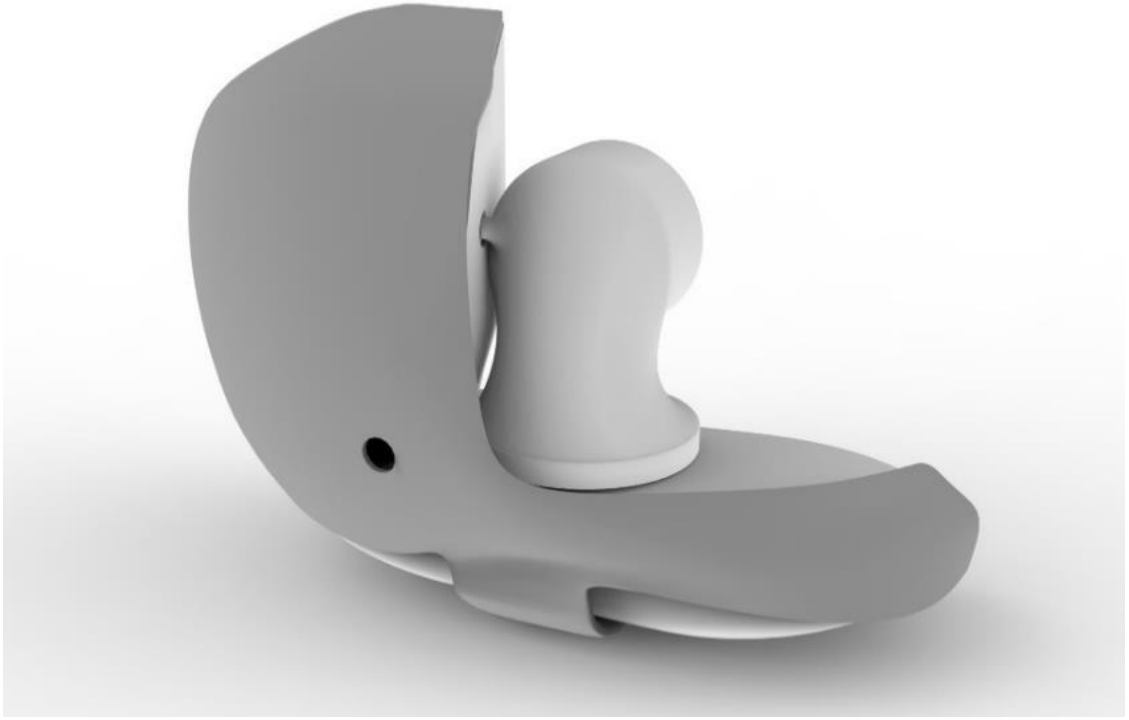
Parçaları bir arada tutabilmek için bir kabuk tasarımı da ayrıca gereklidir. Ayrıca pompayı bir muhafaza içerisine almak sesi azaltmaya yardımcı olur. Kabuk tasarımı emzirilen bebekten ilham alınarak yapıldı. Yapılan kabuk tasarımının 3 boyutlu modeli Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Süt pompası kabuk tasarımı

Alttaki uzantı parçası süt haznesini tutar ve süt haznesinin altına uyumlu bir biçimde tasarlanmıştır. Modelde görölen iç destekler pompa mekanizma elemanlarını sabitler. Kabuk tasarımı birbiri üzerine geçebilen iki parçadan oluşur biri sistem elemanlarını tutarken diğeri bu iç görüntüyü kapatır.

Tüm parçalar birbirine takıldığında şekil 4.11’de ki gibi bir görünüm alacaktır. Kullanıcı pompayı direkt elektriğe veya bir powerbanke takabilir. Konektör, flanş ve süt haznesi takılıp çıkarılabilir ve temizlenebilir özellikte olmak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 4.11 Süt pompası

4.3 Süt Pompası Tasarımında Kullanılan Diğer Elemanlar

Servo motor, mikroişlemci ve iç hortumları gibi bazı elemanlar piyasadan seçilmiştir. Kullanılan motorun boyutlarını ve güç gereksinimini belirlemek için hesaplamalar kesinleşen boyutlarla beraber tekrardan yapılmıştır. Meme pompası parçalarının içindeki gerçek hacimler Fusion 360’da ölçüldü. Bu ölçümlerle yapılan ilk teorik hesaplamalar karşılaştırılmıştır.

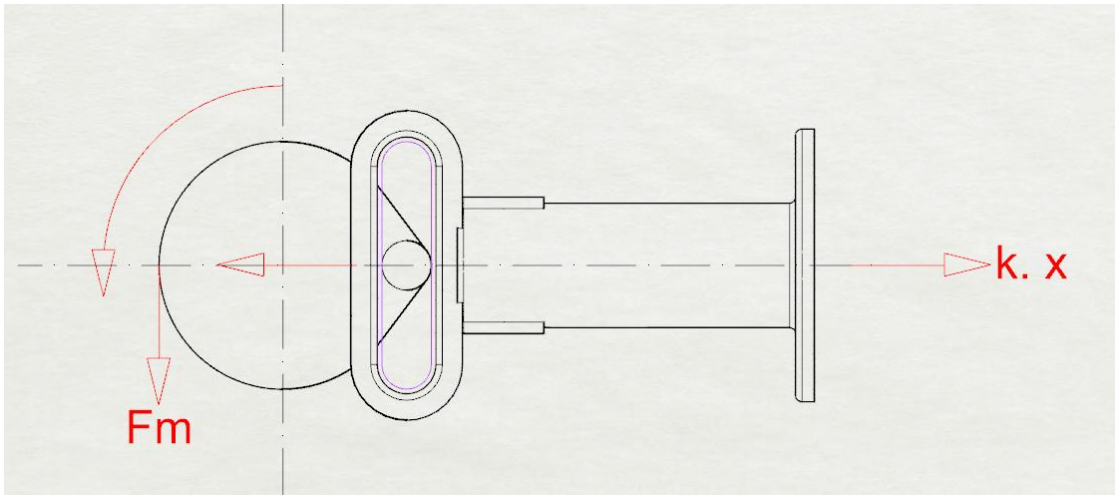
Pompa ve meme arasındaki toplam hacim, pompanın boyutunu ve servo motor seçimini etkiler. Meme kalkanı, konektör, valf ve diğer geometrilerin hacimlerinin toplamı 53394 mm³tür. Meme pompası hacmi 23364 mm³ teorik olarak bulunmuştu. Formüle tekrar konulduğunda:

$$760 \times 53394 = 560 \times (2V_d + 53394)$$

$$2V_d = 19069,3 \text{ mm}^3 \quad (4.8)$$

Gerekli pompa hacmi $19069,3 \text{ mm}^3$ olarak tespit edilir. Tasarımdaki gerçek pompa hacmi ise 26958 mm^3 'dir ve bu değerden büyüktür.

Teorik olarak pompanın 200 mm Hg negatif basınçtan fazla bir basınç oluşturması gerekir. Diyaframın esnekliği ve meme ucunun hareketi bilinmediğinden test edilmeden ortaya çıkan gerçek kuvvetler bilinemez. Şekil 4.12'de motordan gelen kuvvetler çizim üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Servo motor üzerine gelen kuvvet

Sistemi sürmek için kullanılan elektrik bileşenleri; 25 N.cm tork ve ATmega328P CH340 16MHz mikroişlemcili 3X HD RC mini servo motor seçilmiştir.

5.1 Prototipleme

Bilgisayar yazılımında hesaplanan ve boyutlandırılmış tasarımın, işlevini yerine getirip getirmediğini veya ne ölçüde yerine getirip getirmediğini incelemek için prototipleme çalışmaları yapılmaktadır. Çalışma sonucunda tasarımın geliştirilmesi gereken yönlerini belirlemeyi netleştirilecektir. Her zaman teorik hesaplamalar ve bilgisayar modelleri gerçeği tam olarak yansıtmayabilir. Bu şekilde Bölüm 4'te detaylanan konseptin işlevselliğini test etmek üzere prototipin yapılmasına karar verilmiştir.

5.2 3 Boyutlu Baskı

Konsept çalışmayı prototiplemek ve test etmek için 3D baskı kullanılmıştır. Yazdırma için SLA yazıcı kullanılmıştır. Stereolitografi (SLA) 3D baskı , yüksek hassasiyetli, izotropik ve su geçirmez prototipler ve çeşitli gelişmiş malzemelerde ince özelliklere ve pürüzsüz yüzey kaplamasına sahip parçalar üretme kabiliyetine sahiptir.

Fusion 360'da yapılan modellerin 3 boyutlu baskıya aktarılabilmesi için STL formatına dönüştürülmüştür. Organik modellerin 3 boyutla baskıya hazırlanmasında bazı problemler çıkabilir. SLA yazıcılar sıvı reçineyi katman katman kürleştirme mantığı ile çalışır. Modelin düzgün çıkabilmesi için destekler yazılım yardımıyla eklenir. Bu çalışmada yapılan tasarımda 3 boyutlu baskıdan çıkartılması hem iç bükey hem dış bükey yüzeyler barındıran modellerin de baskısının yapılabileceğine bir örnek teşkil etmektedir. Tasarlanan süt pompasının parçaları aşağıda Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7'de gösterildiği gibi basılmıştır.



Şekil 5.1 Süt haznesi

Süt haznesi baskıdan çıkarıldıktan sonra diğer tüm 3 boyutlu baskıdan çıkarılan parçalar gibi UV ışığı altına bir süre bekletilerek modelin sertleşmesi sağlanmıştır. Modelin baskısının yapılabilmesi için yerleştirilen destekler elle temizlenmiştir. Daha sonrasında yüzeye zımparalama işlemi yapılarak, pürüzsüz ve temiz bir yüzey oluşturulmuştur.



Şekil 5.2 Meme flanşı

Meme flanşı parçası da ilk testlerin gerçekleştirilmesi için silikon malzeme yerine 3B baskıda reçineden imal edilmiştir. Meme flanşının ilk baskısında et kalınlığının çok ince olduğu tespit edilmiştir. İnce et kalınlığı elde edilen baskının yeterince sertleşmemesine ve yarı esnek bir yapıya sahip olmasına sebep olmuştur. Et

kalınlığı 2 mm'ye yükseltilerek daha rijit bir parça elde edilmesi sağlanmıştır. Süt Haznesindeki yüzey işlemleri aynı şekilde uygulanmıştır.



Şekil 5.3 Dış muhafaza



Şekil 5.4 İskoç mekanizması parçası

İskoç mekanizmasının montajının gerçekleşmesi için, 3B baskı(Şekil 5.5) alınıp UV altında sertleşmesi sağlandıktan sonra, alt merkezden matkapla vida deliği açılmıştır.



Şekil 5.5 Pompa üst parça



Şekil 5.6 Pompa alt parça



Şekil 5.7 Konektör

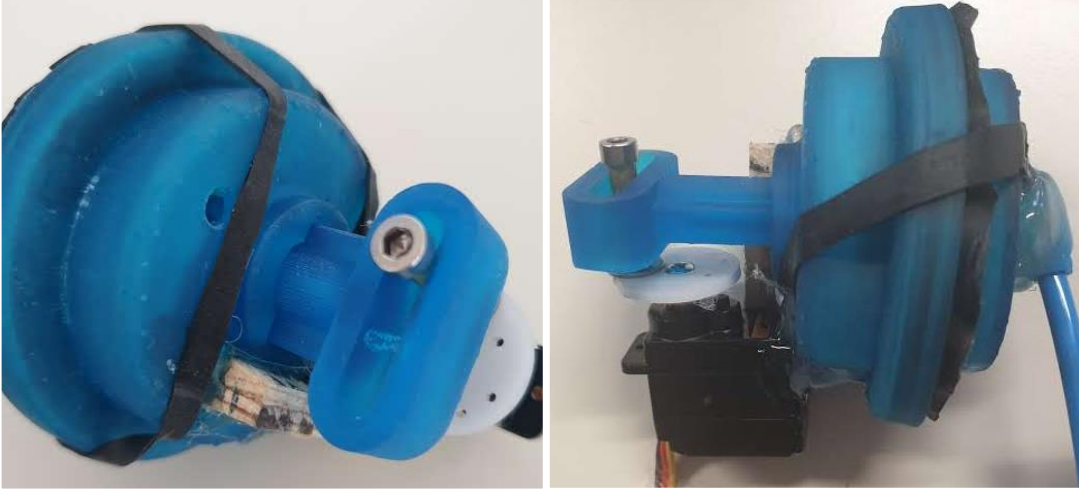
3D baskıya ilaveten, diyaframın itilebilmesi için CNC yönlendirici ile 1,5 mm kalınlığında çelikten bir daire mekanizma üzerine montajlamak için kullanılmıştır. Diyafram olarak kauçuk malzeme temin edilebildiğinden prototip aşamasında bu malzeme kullanılmıştır.

Valf olarak piyasada kolayca temin edilebilen Medela firmasının ürettiği valf kullanılmıştır. Valf seçiminde böyle bir yola gidilmesinin bir diğer sebebi de malzeme tedarikinin kolay olmasının yanı sıra testlerde piyasa standart flanşlarla ölçüm yapılmasına olanak tanımaktır.

5.3 Montaj

Basılan parçalar uygun şekilde birleştirilmiştir. Pompa mekanizmasına ait parçalar kalıcı olarak monte edilirken, süt haznesi konektör flanş gibi parçalar kullanımda sökülüp takılmak üzere montajlanmıştır.

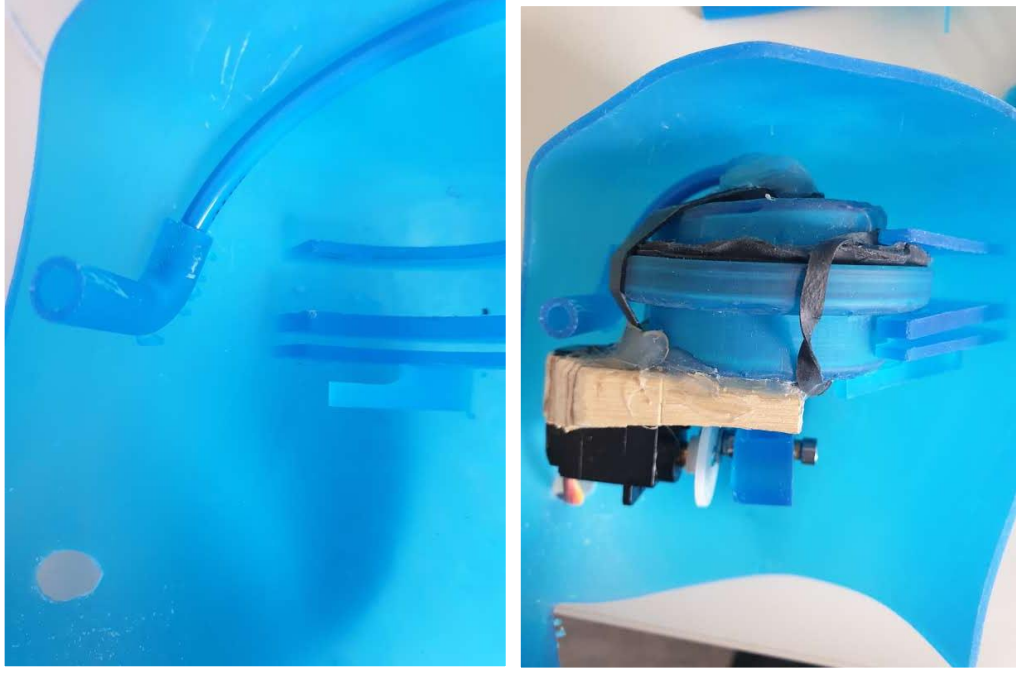
Pompanın T biçimindeki iskoç mekanizması bir pinle motora bağlanmıştır diğer ucuna ise diyafram montajlanarak pompanın kapları kapatılmıştır. Pompanın monte hali şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Pompa montajı

Pompanın diyafram kısmında, konsept olarak silikon malzeme üzerine düşünülmüştür. Ancak malzeme temin edilemediğinden bunun yerine kauçuk malzeme kullanıldı. Kauçuk malzeme silindirik şekle sahip olmadığından epoksi kullanılarak pompanın plastik dış kaplarına sabitlenmiştir. Motordan gelen çelik pim boyunduruğa sabitlenerek, diyaframın ileri geri hareketinin yapmasını sağlamak üzere montajlanmıştır. Kauçuk parçanın içeride oluşturacağı hacim esnekliğe bağlı olarak değişebileceğinden, ilk test parçası olarak kabul edilmiştir.

Dış muhafazanın içine pompa sistemi yerleştirilmiştir. Kabuğun içindeki destekler, Şekil 5.9'da gösterildiği gibi pompayı tutar. Konektör parçasına vakum bağlantısına sağlamak için dış muhafaza içine bir tüp yerleştirilip, muhafazaya ait çıkışa verilerek pompaya bağlanmıştır.



Şekil 5.9 Dış muhafaza üzerine pompa sisteminin montajı

Şekil 5.10'da Konektör ve süt haznesinin birine bağlandığındaki halinde durumu gösterilmiştir. Pompa resimde gösterildiği gibi dış muhafazaya montajlanmıştır. Şekil 5.10'da ve 5.11'de süt pompası parçalarının birbiriyle bağlanmış halleri sunulmaktadır.



Şekil 5.10 Süt haznesi-konektör montajlanmış



Şekil 5.11 Konektör-dış muhafaza-pompa montajlanmış



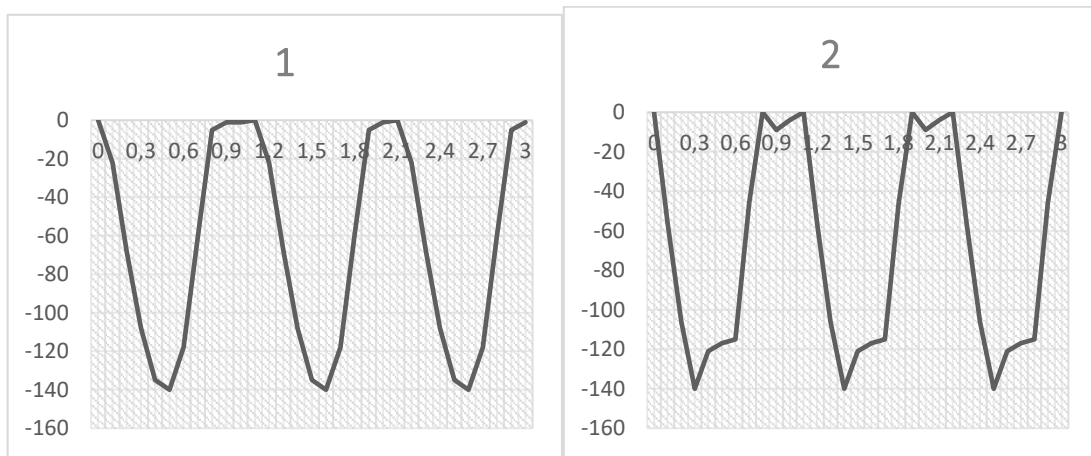
Şekil 5.12 Tüm parçaların montajlanmış durumu

Şekil 5.12’de tüm parçalar birbirine takıldığındaki son pozisyonu gösterilmektedir. Kullanıcının, tasarımı bu şekilde (Şekil5.13) göğsüne yerleştirip sağım yapması düşünülmüştür. Test amaçlı olarak prototip içerisine bir batarya yerleştirilmemiştir. Ancak sonraki aşamalarda bu geliştirmeyi yapmak mümkündür. Bu haliyle USB’ye bağlanarak veya bir powerbanke bağlanarak doğrudan çalıştırılabilir.

5.4 Test

Teste başlamadan önce, basınç ve hacim değerleri yeniden hesaplanmıştır. Kauçuk levha kullanmak ve kauçuğu dairesel çelikle çekmek, silindirik hacim yerine kesik konik hacim oluşmasına sebep olmuştur. Bunun oluşacak negatif basınç miktarını azaltacağı, basınç testleri gerçekleşmeden öngörülmüştür. Diyaframdan istenen maksimum 200 mm Hg negatif basınç oluşturmaktadır. Diyaframın pompa içindeki tüm hacimde etkili olamama durumundaki maksimum basınç teorik olarak hesaplanabilir. Etkili maksimum negatif basıncın bu durumda 145 mm Hg olacağı denklemde yerine yazıldığında çıkan sonuçta görülmüştür.

Önceki bölümlerde süt sağımında vakum profilinin öneminden bahsedilmiştir. Bu çalışmada iki vakum profili birleştirilmiştir. Pompanın önce, süt çıkarma refleksinin gelmesi için 2 dakika boyunca belirlenen vakum profilinin yürütmesi ve ardından süt sağım modu profilinin devreye girmesi pompadan beklenmiştir. Şekil 5.13 vakum profillerini göstermektedir. Basınç dalgalanma grafiklerindeki bu profiller doğal emiş ritimlerinin bir benzerini oluşturmaktadır.

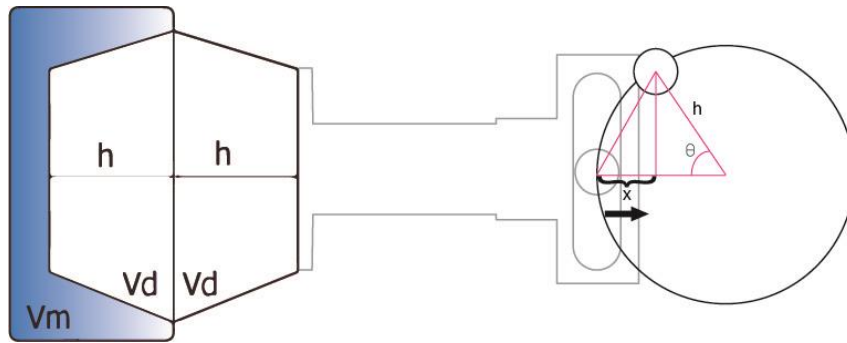


Şekil 5.13 Vakum Profilleri

Vakum Profili 1 süt gelme refleksini uyarma için kullanılmıştır. Bu refleks sağlandıktan sonra sağım için Vakum Profili 2 kullanılmıştır.

Servo motorun hareketini bu vakum profillerinin ritmine benzetmek için diyaframın hareketine bağlı hesaplamalar yapılmıştır.

Süt pompasının tüm parçaları montajlandıktan sonra basınç sensörüne bağlandığında 200 mm Hg negatif basınca ulaşamamıştır. Pompanın üretebileceği en yüksek değer referans alınarak servo motorun programlanması için gerekli hesaplamalar yapıldı. Şekil 5.14'te Servo motorun dönme açısının diyaframın pozisyonu üzerine etkisini hesaplamada kullanılan şablon verilmiştir.



Şekil 5. 14 Diyafram hareketi ve servo motor açısı ile oluşturulan hacim illüstrasyonu

Konik hacime göre teorik maksimum elde edilecek basınç hesaplaması yapılırsa, denklemde yerine yazıldığında maksimum negatif basınç;

$$\begin{aligned} V_m &= 6234 \text{ mm}^3 & V_d &= 6332 \text{ mm}^3 \\ 760 \times 53394 &= P_2 \times (53394 + 12264) \\ P_2 &= 614,3 \text{ mm Hg} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Yani 145 mm Hg olur.

Koşulları nedeniyle maksimum negatif basınç eldesi 145 mm Hg olabileceği görülmüştür. Şekil 5.12' de gösterilen desenler bu değere göre şekillendirilmiştir. Değişken faktör "x" dir. Pimin hareketi servo motor dönüş açısı ile gerçekleşir. Denklemden "h" çekildiğinde dönüş açısını verir.

$$\cos \theta = \frac{h - x}{h} \quad (5.2)$$

Şekil 5.12'de gösterilmiş basınç değerleri bu denklemlere konur. Tablo 5.1'de vakum profilinin oluşması için basınç değerlerine göre hacim ve açı hesaplamalarının sonuçları listelenmiştir.

Şekil 5.12'de gösterilmiş basınç değerleri bu denklemlerde yerine konur. Tablo 5.1'de ve 5.2 ,de vakum profilinin oluşması için basınç değerlerine göre hacim ve açı hesaplamalarının sonuçları listelenmiştir.

Tablo 5.1 Vakum Profili 1'e göre negatif basınç değerleri ve servo motor açısı

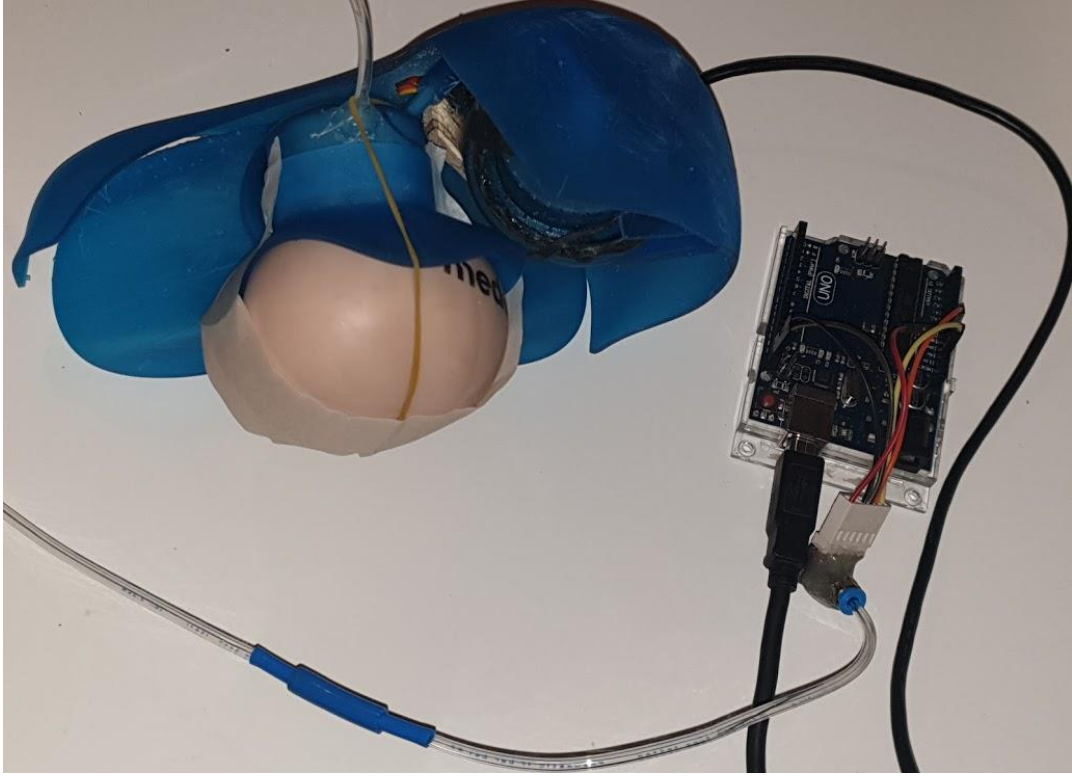
Desen 1					
Time	Neg. Basınç (mm Hg)	P ₂ (mm Hg)	V _d -teorik (mm ³)	h-teorik (mm)	Açı (rad)
0	0	760	0	0	0
0,1	22	738	1591,7	1,9	0,72
0,2	68	692	5246,81	6,2	1,4
0,3	108	652	8844,4	10,5	1,97
0,4	135	625	11533,1	13,65	2,5
0,5	140	620	12056,71	14,3	2,7
0,6	118	642	9813,85	11,6	2,15
0,7	60	700	4576,6	5,4	1,29
0,8	5	755	353,6	0,4	0,33
0,9	1	759	70,35	0,08	0,15
1	1	759	70,35	0,08	0,15

Tablo 5.2 Vakum profili 2'ye göre negatif basınç değerleri ve servo motor açısı

Desen 2					
Time	Neg. Basınç	P ₂	V _a -teorik (mm ³)	h-teorik (mm)	Açı (derece)
0	0	760	0	0	0
0,1	56	704	4247,25	5,03	70,8
0,2	106	654	8654,07	10,25	111,5
0,3	140	620	12056,71	14,3	154,7
0,4	121	639	10110,6	11,9	126,6
0,5	117	643	9715,55	11,5	122,3
0,6	115	645	9519,86	11,3	120,2
0,7	46	714	3439,95	4,1	62,8
0,8	0	760	0	0	0
0,9	9	751	639,87	0,75	25,9
1	4	756	282,51	0,33	17,2

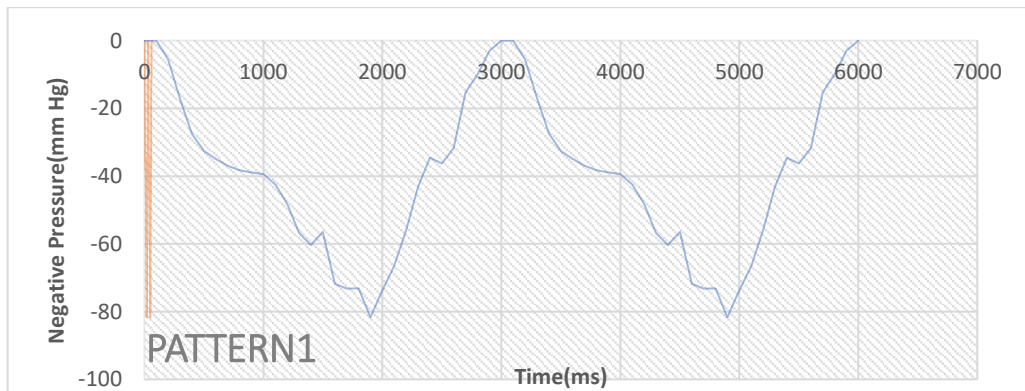
Bu veriler servo motoru programlamada kullanılan açık kaynak kodlu program Arduino üzerinde kullanılmıştır. Her saniye başına, düzeneğin alacağı doğrusal mesafenin, servo motordaki Mikro kontrol cihazı aracılığıyla motorun bu değerlere uygun kontrolü sağlanmıştır.

Uygulanan hesaplamaların kontrolü için sistem konektörün üzerinden delinerek bir hortum aracılığı ile bir basınç sensörüne bağlanmıştır. Ancak kullanılan bu bağlantı elemanları da sonuç basıncını düşürecektir. Deneysel kurulum Şekil 5.15'te gösterilmiştir.

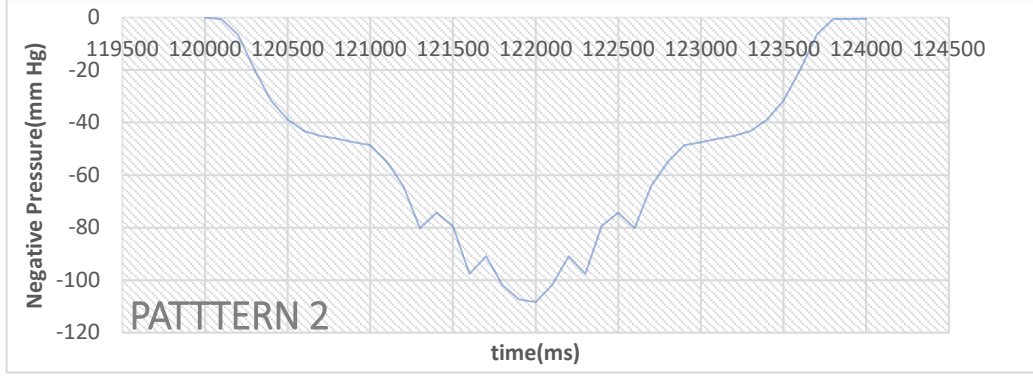


Şekil 5.15 Basınç sensörlü deneysel kurulum

Pompayı test etmek için Medela plastik meme modeli üzerine kurulum yapılmıştır. Arduino Uno mikroişlemci tarafından kontrol edilen basınç sensörü kullanılmıştır. Test sonucunda meme pompasının stimülasyon süresi üzerinde -81 mm Hg negatif basınca ulaştığını göstermiştir. Öte yandan ifade süresinde -108 mm Hg'ye ulaşır. Basınç grafikleri Şekil 5.16'de ve 17'de gösterildi.



Şekil 5. 16 Süt pompası basınç grafikleri 2



Şekil 5. 17 Süt pompası basınç grafikleri 2

Basınç grafikleri hedeflenen doğal emiş ritmine uygun basınç dalgalanma desenleriyle karşılaştırıldığında benzer grafiklerin elde edilebildiği gözlenmiştir.

6.1 Sonuç ve Gelecekteki Çalışmalar

Tez kapsamında anne sütünü sağmak isteyen annelerin kullanımına sunulabilecek, ev veya işyerinde mobil olarak kullanılabilen elektrikli bir süt pompası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, annelerin sağım deneyimleri sırasında konforu artırarak günümüz tasarım anlayışına yakın optimum bir tasarım yapmak hedeflenmiştir.

Çalışmanın başlangıcında anneler için neden bir süt pompası geliştirilmesi gerektiği sorusu irdelenmiştir. Bu bağlamda, öncelikle literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Anne sütünün ve biyolojik sürecin temeli irdelenmiştir. Bebeğin anne memesinden sütü emmesinin nasıl gerçekleştiği ve sütün yapısı ile üretilen süt miktarının emzirme boyunca nasıl ve hangi faktörlerle değiştiği araştırılmıştır.

Süt pompalarıyla sağımda süt veriminin farklı yöntemlerle (vakum gücü, döngü sayısı, sıcaklık, dış etkiler vb.) nasıl etkilendiği literatürdeki çalışmalar ile incelenmiştir. Anneler için en uygun basınç değerinin maksimum 200 mm Hg olduğu literatürdeki verilerle doğrulanmıştır. Elde edilen verilerle, basınç grafiklerindeki farklı dalgalanma desenlerinin sağım sonucunda elde edilen anne sütünün verimini ve annelerin sağım sırasındaki konforunu artırabileceği saptanmıştır. En uygun yöntemin, sağma deneyimi sırasında iki farklı basınç profilinin uygulanarak bebek emiş ritmine benzer bir dalgalanma deseni olacağına karar verilmiştir.

Piyasada bulunan süt pompalarının geçmişten günümüze nasıl bir noktaya geldiği incelenerek, pazardaki güncel durum analiz edilmiştir. Elektrikli süt pompalarının çalışma prensipleri patentler araştırması ile incelenmiştir. İkinci el bir süt pompası alınarak, pompa parçalarına ayrılmıştır ve çalışma koşulları gözlenmiştir. Parçalarda sızıntı bölgeleri belirlenmiştir.

Pompaların problemlerinin daha iyi saptanması ve annelerin ihtiyaç ile isteklerinin belirlenmesi adına kısa bir anket çalışması yapılmıştır. Bunun neticesinde özellikle çalışan annelerin süt pompası kullanmaya ihtiyaç duyduğu ancak bunun süt

pompası talebindeki tek sebep olmadığı bunun dışında hastalık gibi veya bebeğin memeden emmesi vb. birçok sebep olduğu tespit edilmiştir. Annelerin süt pompası alırken en çok kolay temizlenebilmesine ve etkili süt sağabiliyor olmasına odaklandığını sonuçlar göstermiştir. Kullanımda olan süt pompalarının sıkıntılına dair annelere sorular sorulmuştur. Kullanıcılar, süt pompalarının memeye acı vermesini ve etkili süt sağamaması problemini vurgulamışlardır. Bu tercihlerden alınan veriler tasarımın şekillenmesine katkıda bulunmuştur. Ortaya koyulan ihtiyaçlara yönelik, daha sessiz, hafif, kompakt, ergonomik, efektif, bebek emiş ritimlerine benzer vakum etkisi yapabilecek, vücuda uyumlu bir süt pompası tasarımına dair bir metot ortaya konmuştur.

Sonraki adımda alınan verilerin analiz edilmesi neticesinde sistematik konstrüksiyon metodu kullanılarak konsept tasarım süreci başlatılmıştır. İstekler listesi hazırlanarak olası tasarım seçenekleri belirlenmiştir. Sunulan seçeneklerin teknik ve ekonomik değerlendirmesi yapılarak optimum tasarım seçeneği belirlenmiştir ve somut tasarım aşamasına geçilmiştir.

Somut tasarım aşamasında, sistematik konstrüksiyon neticesinde ortaya çıkan tasarım seçeneği detaylandırılmıştır. Pompa sisteminin tasarlanması için Boyle prensibi esas alınarak hesaplamalara gidilmiştir. Vakum etkisinin oluşması için hacim azaltma yolu kullanılmıştır. Boyutlandırmaların uygun yapılabilmesi için sistemi oluşturacak parçalar belirlenmiştir. Kadın ergonomisi ve memede üretilen süt miktarları göz önüne alınarak parçaların uygun boyutlandırması yapılmıştır. Boyutlandırmadan gelen hacimlerle ne kadar büyüklükte bir pompaya ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır. Tasarım bilgisayar ortamında 3B olarak modellenmiştir.

Tasarımın hesaplanmalarının yapıp modellenmesinin neticesinde prototip oluşturma aşamasına geçilmiştir. Modellenen parçalar SLA yazıcıda basılmıştır. Uygun elektronik komponentlerle de birleştirilerek basılan parçaların montajı gerçekleştirilmiştir. Basınç dalgalanma desenlerinin uygulanabilmesi için pompa diyaframı hareketini aldığı doğrusal yolun servo motorun dönme açısına dönüşümü programlanarak uygulanmıştır. Sonrasında prototip test edilmiştir ve sonuçlar teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

Değerlendirme sonucunda, pompada meydana gelen kaçakların ve tedarik sebebiyle diyaframda kullanılan kauçuk malzemenin hacim basınç dengesini bozması sebebiyle istenilen basınç değerini sağlayamadığı tespit edilmiştir. Ayrıca test düzeneğinin basınç sensörüne bağlamak için kullanılan ilave hortumlar teoride hesaplanmayan hacim artışlarına ve bunun sonucunda daha az negatif basınç elde edilmesine sebebiyet vermiştir. Ancak yine de istenilen basınç profillerine benzer basınç grafikleri elde edilmiştir. Her ne kadar tasarımda boyutsal toleranslar tespit edilse de imalat sonrası süt pompasında bir miktar kaçak meydana gelmiştir.

Günümüz koşulları değiştikçe, süt pompasında da değişimleri karşılayacak yeni tasarım çalışmaları devam edecektir. Yapılan çalışma neticesinde diyaframlı bir pompa mekanizmasına sahip, ergonomik ve estetik elektrikli farklı bir süt pompası tasarımı ortaya konulmuştur. Pompanın kullanımı için insan üzerinde test yapılmamıştır. Bu sebeple hemen kullanılacak bir ürün değildir.

Gelecekte elektrikli süt pompası üzerine yapılacak çalışmalar ve tasarımlar için öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Pompa ve servo motor arasında sürtünmelere ve ağırlıklara dayanıklı olması, mümkünse piezo pompa sistemi kullanılarak birçok sistem elemanından kurtulmanın sağlanması,
- Daha küçük pompa geliştirilmesi,
- Yapay zekâ kontrol sistemleri uyarlanarak pompanın daha detaylı kontrol edilebilmesidir.

- [1] Committee on Nutrition American Academy of Pediatrics, Nutritional needs of preterm infants. In Kleinman RE (ed): Pediatric Nutrition Handbook, Elk Grove Village: American Academy of Pediatrics, 1998, p. 55–87.
- [2] UNICEF, Facts for Life 3rd edition, New York, 2002.
- [3] M. Biancuzzo, «Selecting Pumps for Breastfeeding Mothers,» *JOGNN*, no. 28, pp. 417-426, 1996.
- [4] A Dictionary of Physics, Oxford: Oxford University Press, 2009.
- [5] J. Kent, L. Mitoulas, M. D. Cregab, D. T. Geddes, M. Larsson, D. A. Doherty ve P. E. Hartmann, «Importance of Vacuum for Breastmilk Expression,» *Breastfeed Med*, no. 1, pp. 3-11, 2008.
- [6] L. R. Mitoulas, T. C. Lai, L. C. Gurrin, M. Larsson ve E. P. Hartmann, «Effect of vacuum profile on breast milk expression using an electric breast pump,» *Journal of Human Lactation*, no. 18, pp. 353-360, 2002.
- [7] H. KOBAYASHI, T. TSUJI, Y. AWANO, K. Mizuno, H. Kawamuro, Z. Onuki ve A. Ishimari, «Development of the breast pump with a baby-like peristaltic motion,» *C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C*, cilt 6, no. 73, pp. 1817-1826, 2007.
- [8] J. Riordan ve K. Wambach, Breastfeeding and Human Lactation, Jones & Bartlett Learning, 2005.
- [9] H. Salazar ve H. Tobon, «Morphologic changes of the mammary,» *Josimovich J, ed. Lactogenic hormones, fetal nutrition and lactation*, p. 1–18, 1974.

- [10] D. Mandel, R. Lubetzky, S. Dollberg, S. Barak ve F. B. Mimouni, «Fat and energy contents of expressed human breast milk in prolonged lactation,» *Pediatrics*, cilt 116, no. 3, pp. 432-435, 2005.
- [11] M. J. Houston ve P. W. Howie, «Factors affecting the duration of breast feeding: 1. Measurement of breast milk intake in the first week of life,» *Early Hum Dev*, pp. 49-54, 1983.
- [12] S. S. Humenick, «The clinical significance of breastmilk maturation rates,» *Birth*, cilt 14, no. 4, p. 174–179, 1987.
- [13] M. B. Almedia, J. A. Almeida, M. E. Moreira ve F. R. Novak, «Adequacy of human milk viscosity to respond to infants with dysphagia: experimental study Journal of applied oral science,» *Journal of applied oral science*, cilt 19, no. 6, p. 554–559, 2011.
- [14] S. Negin Mortazavi ve F. Hassanipour, «Lactation in the Human Breast From a Fluid Dynamics Point of View,» *Journal of Biomechanical Engineering*, p. 139(1), 2017.
- [15] L. M. Gartner ve J. Morton, «Breastfeeding and the use of human milk,» *American Academy of Pediatrics Section on Breastfeeding*, cilt 115, no. 2, pp. 496-506, 2005.
- [16] R. Black, *Lactation Specialist Self Study Module 3: The Science of Breastfeeding*, Shelburne, Vermont: Jones & Bartlett Pub, 1998.
- [17] R. Kron ve M. Litt, «Fluid Mechanics of Nutritive Sucking Behaviour: The Suckling Infant's Oral Apparatus Analysed as a Hydraulic Pump,» *Med Biol Eng*, cilt 1, no. 9, pp. 45-60, 1971.

- [18] D. T. Geddes, J. C. Keny, L. R. Mitoulas ve P. E. Hartmann, «Tongue movement and intra-oral vacuum in breastfeeding infants,» *Early human development*, cilt 84, no. 7, pp. 471-477, 2008.
- [19] WHO, UNICEF, «Session 6 HOW MILK GETS FROM BREAST TO BABY,» 2009. [Çevrimiçi]. Available: www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK153490/.
- [20] Institute of Medicine (US) Committee on Nutritional Status During Pregnancy and Lactation, «Nutrition During Lactation,» National Academies Press , Washington, 1991.
- [21] A. Hörnell, C. Aarts, E. Kylberg, Y. Hofvander ve M. Gebre-Medhin, «Breastfeeding patterns in exclusively breastfed infants: a longitudinal prospective study in Uppsala, Sweden,» *Acta paediatrica* , cilt 88, no. 2, p. 203–211, 1992.
- [22] S. E. Daly ve P. E. Hartmann, «Infant demand and milk supply. Part 1: Infant demand and milk production in lactating women,» *Journal of Human Lactation: official journal of International Lactation Consultant Association*, cilt 1, no. 11, pp. 21-6., 1995.
- [23] G. Canul-Medina ve . C. Fernandez-Mejia, «Morphological, hormonal, and molecular changes in different maternal tissues during lactation and post-lactation,» *J Physiol Sci*, no. 69+, p. 825–83, 2019.
- [24] D. T. Ramsay, J. C. Kent, R. A. Owens ve P. E. Hartmann, «Ultrasound imaging of milk ejection in the breast of lactating women,» *Pediatrics*, cilt 2, no. 113, p. 361–367, 2004.
- [25] M. Obladen, «Guttus, tiralatte and tételre: a history of breast pumps,» *Journal of perinatal medicine*, cilt 40, no. 6, pp. 669-675, 2012.

- [26] J. Martucci, «History of medicine: Breast Pumping,» *Virtual Mentor*, cilt 15, no. 9, pp. 791-797, Eylül 2013.
- [27] *Bröstpump*. [Art]. Upplandsmuseet.
- [28] E. Egnell, «The mechanics of different methods of emptying,» *Journal of Swedish Medical Association*, cilt 40, pp. 1-8, 1958.
- [29] Havenwood Industries Ltd, The Whittlestone Breastmilk Model Hawenwood Mk III Operating Manual, Auckland, 1983.
- [30] M. Inc, «Diaphragm pump and pump mounted in a carrying case useful in breast pumping». United States Patent: US5776098A, 1995.
- [31] I. Willow Innovations.Amerika Birleşik Devletleri Patent: US9539376B2, 2017.
- [32] C. T. Limited, «Breast Pump System». Amerika Birleşik Devletleri Patent: US 2018 /0361040 A1, Aralık 2018.
- [33] P. P. Meier, j. l. Engstrom ve J. E. Janes, «Breast pump suction patterns that mimic the human infant during breastfeeding: greater milk output in less time spent pumping for breast pump dependent mothers with premature infants,» *J Perinatol*, cilt 32, pp. 103-110, 2012.
- [34] D. K. Prime, D. T. Geddes, A. R. Hepworth, N. J. Trengove ve P. E. Hartmann, «Comparison of the patterns of milk ejection during repeated breast expression sessions in women,» *Breastfeeding medicine : the official journal of the Academy of Breastfeeding Medicine*, cilt 6, no. 4, pp. 183-190, 2011.
- [35] *Philips Avent Breast Pump*. [Art]. Philips.
- [36] *Signature Pro Double Electric Breast Pump*. [Art]. Lansinoh.

- [37] *Swing Breast Pump*. [Art]. Medela Inc.
- [38] P. Gerhard, J. Feldhusen ve K. Grote, *Engineering Design A Systematic Approach*, Berlin: Springer, 2007.
- [39] B. Aşçıoğlu Temiztaş, T. Ertunç ve O. C. Azeloğlu, «Systematic Construction of a Breast Pump,»*4th International Conferance on Advances in Mechanical Engineering İstanbul*, İstanbul, 2018.
- [40] O. C. Azeloğlu ve M. E. Alper, «Yeni Bir Hidroterapi Egzersiz Aletinin Sistemik Konstrüksiyon Yaklaşımıyla Kavramsal Tasarımı,» *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, cilt 7, no. 2, pp. 291-302, 2019.
- [41] D. W. Umrath, *Fundamentals of Vacuum Technology*, Cologne: Leybold Vacuum Products and Reference Book, 1998.

Konferans Bildirileri

1. M.E Alper, B. Aşcıoğlu Temiztaş, B. Bolat,"Breast-Pump Design," *International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies (ICENSS2021)*, pp. 119
Ankara, May, 2021