

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VURGUN TEDAVİSİNDE KULLANILAN BASINÇ KUTUSU İÇERİSİNDEKİ
HAVANIN SICAKLIK VE BASINÇ KONTROLÜ**

EMRE TEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ

EDİRNE - 2022

Emre TEZ'in hazırladığı “**VURGUN TEDAVİSİNDE KULLANILAN BASINÇ KUTUSU İÇİNDEKİ HAVANIN SICAKLIK VE BASINÇ KONTROLÜ**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında** bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Sezgin ERSOY

.....

Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ

.....

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ozan AKI

.....

Tez Savunma Tarihi: 21/ 07 / 2022

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ

Tez Danışmanı

.....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

21 / 07 / 2022

Emre TEZ

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Vurgun Tedavisinde Kullanılan Basınç Kutusu İçerisindeki Havanın Sıcaklık ve Basıncının Kontrolü

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Ülkemiz üç tarafı denizlerle kaplıdır. İnsanlar tarafından çok sık ve çoğu zaman sporsal olsa da bazen ticari olarak gerçekleştirilen dalma aktivitesinin kötü sonuçları olabilmektedir. Bu kötü sonuçların en başlarında vurgun gelmektedir. Vurgun, denizaltında uzun süre basınca maruz kalan kişinin, bir anda normal atmosfer basıncı seviyesine çıkmasıyla gerçekleşmektedir. Böylece vurguna uğrayan kişinin kanındaki azot molekülleri çözünmeye başlar ve kanda kabarcıklara sebep olur. Bilimsel adı dekompresyon ya da halk arasındaki adı vurgun olarak nitelendirilen bu olayın tedavisi, basınç odaları sayesinde yapılmaktadır. Vurguna maruz kalan kişi hızlıca basınç odalarına alınır ve oda içindeki basınç tekrardan denizaltındaki basınca çıkarılır. Böylece vurgundan etkilenen kişi kademeli ve sağlıklı bir şekilde atmosfer basıncı seviyesine getirilir.

Bu tez çalışmasında, basınç odalarının bir prototipi olarak basınç tüpü tasarlanmış ve çalıştırılmıştır. Prototipte sıcaklık dengesinin sağlanması için rezistans, basıncın dengede tutulması için de basınçlandırma ünitesi kullanılmıştır. Ayrıca ısı yalıtımıyla kaplı tüp sadece hava giriş ve çıkışına sahip olmakla birlikte içindeki havanın basınç ve sıcaklığı, termokupl ve basınç transmitteri sayesinde analog olarak alınmıştır. Basınç, dışarıdan herhangi bir kompresöre bağlı ve bir regülatör aracılığıyla, sıcaklık ise rezistans ile düzenlenmektedir. Bu analog veriler bir PLC aracılığıyla bilgisayar yazılımında işlenerek içindeki havanın basınç ve sıcaklığı en uygun bir şekilde kontrol edilmiştir.

Birbirinden farklı dört denemede sonuçlar ortaya konarak tp içindeki havanın basınç ve sıcaklık değişimlerinin birbirlerine olan etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca donanımsal olarak kontrolün yazılım desteği olmadan sonuçları da raporda belirtilmiştir. Bu donanımsal kontrollere ek olarak sistemin çalışmasına yazılım desteği de sağlanarak ne gibi farkların ortaya çıktığı raporun sonuç kısmında açıklanmıştır.

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 81

Anahtar Kelimeler : Vurgun tedavisi, basınç tüpü, basınç kutusu, basınç odası, kapalı kaplarda basınç ve sıcaklık dengesi, kompresyon, dekompresyon

Master Thesis

Temperature and Pressure Control Of The Air In Pressure Box Used In The Treatment Of Stress

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechatronic Engineering

ABSTRACT

There are seas on three sides of our country. Often, people dive into the seas for sport or commerce. These diving activities can have dire consequences. The most important of these bad results is decompression sickness. If a diver who stays under the sea for a long time comes to the surface quickly, diver gets decompression sickness. Also, the nitrogen molecules in the blood of the sick person dissolve. Bubbles occur in the blood. Its scientific name is “Decompression Sickness” and popular name is “Decompression.” Treatment of this sickness takes place in pressure chambers. Patients quickly enter pressure chambers. The pressure of the pressure chambers is increased back to submarine pressure. The patient is gradually raised to atmospheric pressure.

In this thesis, a prototype of pressure chambers was created. This prototype is a pressure tube. resistance was used for temperature balance and pressure unit was used for pressure balance in the prototype. The heat insulated tube has only air inlet and outlet. The temperature and pressure of the air in the tube were measured with analog thermocouple and a pressure transmitter. The pressure comes from the external compressor through the air regulator. The temperature is regulated by the resistance. All of the analog data are controlled in PLC and computer software. Pressure and temperature are optimally controlled.

The results were created with 4 different trials. The pressure and temperature changes of the air inside the tube were investigated. Also, the operation of the system without software support has been reported. All effects of software control on the system are stated in the results section.

Year : 2022

Number of Pages : 81

Keywords : The pressure tube, decompression treatment, temperature and pressure balance of air in insulated tube, insulated box, compression, decompression

ÖNSÖZ

Bu çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin sonunda rapor içinde bulunan araştırmaların kaynakları kaynaklar bölümünde, analizlerin raporları da ekler bölümünde belirtilmiştir.

Birinci bölüm giriş bölümü olup konu ile ilgili hazırlayıcı bilgilere yer verilmiştir. Konunun amacı ve kapsamı açıkça belirtilmiştir. İkinci bölümde konu ile ilgili olan kavramların literatür içindeki yeri ve önemi araştırılıp derlenmiştir. Derlenen bu bilgiler ışığında varsa örnek uygulamalarıyla beraber yazılmıştır. Üçüncü bölümde çalışmaya yönelik termodinamik denklemler ve çeşitli analiz programları kullanılarak sistem her açıdan analiz edilmiştir. Amacına uygun prototip hazırlanmış olup okuyucuya açıklamalarıyla sunulmuştur. Prototipte kullanılan donanım ve ekipmanlar belirtilmiş, yöntem belirlenmiştir. Ayrıca sistem analizi yapılarak bilimsel veriler ışığında prototipin çalışması gözlemlenmiştir. Dördüncü bölümde yapılan analizlerden sonra ve bu analizler doğrultusunda projenin amacına çalıştırılmıştır. Deneysel gözlemler yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirilmelere bağlı olarak analizler ile doğrulu ölçülmüştür. Beşinci bölümde prototipten elde edilen veriler değerlendirilip tartışılmıştır. Bu çalışmanın insan yaşamındaki yeri ele alınmıştır. Bir sonraki çalışmalarda kullanılabilecek alternatif yöntemler belirtilmiştir. Sistemin çalışma prensibi açısından avantaj ve dezavantajları açıklanmış, sistemin tamamı ya da belli bölümlerinin okuyucuya sunulmuştur.

Tüm bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen ve çalışmamın başından sonuna dek yol gösteren tez danışmanım **Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ**'ye, teknik ekipman desteği sağlayan, bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan **Halim USUL**'a (ALBA Makine Ltd.Şti) teşekkürü bir borç bilirim.

Emre TEZ

2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1. Kapsam	1
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Dekompresyon (Vurgun) Tanımı.....	3
2.2. Dekompresyonun Belirtileri ve Seviyeleri	5
2.3. Dekompresyonun Tedavi Süreci.....	7
2.4. Dekompresyon İle İlgili Anket Çalışması	9
2.5. Hiperbarik Odanın Çalışma Prensibi	11
2.6. Yüksek İrtifada Mobil Dekompresyon Ünitesi.....	16
2.6. Dekompresyon Cihazının Tedavi Sırasında Çıkardığı Gürültüler.....	19
2.7. Hayvanlar İçin Tasarlanan Hiperbarik Tüp	22
2.8. Ticari Hiperbarik Basınç Tüpünün İncelenmesi	25
BÖLÜM 3 SİSTEMİN ANALİZİ.....	31
3.1. Basınç Analizi.....	31
3.2. Termodinamik Analiz	32

3.3. Çok Giriş – Tek Çıkışlı (MISO) Sistem	38
3.4. Deneş Düzenegİ	41
BÖLÜM 4 DENEYSSEL UYGULAMA	50
4.1. Basınçlandırma Olmadan Sıcaklık Kontrolünün Sadece PID Termostatı İle Yapılması	52
4.2. Basınçlandırma Kontrol Edilirken Hiçbir Sıcaklık Kontrolünün Yapılmaması	53
4.3. Basınçlandırma Kontrolü Yapılırken Sıcaklık Kontrolünün Sadece PID Termostatı İle Yapılması	54
4.4. Basınçlandırma Kontrolü Yapılırken Sıcaklık Kontrolünün Hem PID Termostatı Hem de PLC İle Yapılması.....	55
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	57
KAYNAKLAR	59
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGE	: Arteriyel Gaz Embolisi
AI	: Analog Giriş
AMS	: Akut Dağ Hastalığı
AO	: Analog Çıkış
DAN	: Dalıcı Güvenlik Ağı
DCI	: Dekompresyon Hastalığı
DCS	: Dekompresyon Hastalığı
HBOT	: Hiperbarik Basınç Odası Tedavisi
HMI	: İnsan Makine Arayüzü
HO	: Hiperbarik Oda
MISO	: Çok Giriş Tek Çıkış
NFPA	: Ulusal Yangından Korunma Derneği
NIHL	: Gürültüye Bağlı İşitme Kaybı
NMRI	: Naval Medikal Araştırma Enstitüsü
PID	: Oransal İntegral Türevsel
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrol
PSI	: Pnömoni Şiddet İndeksi
SISO	: Tek Giriş Tek Çıkış
TSSF	: Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı
YBÜ	: Yoğun Bakım Ünitesi

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Vaka sayılarının semptom gruplarına dağılımı.....	6
Çizelge 2.2 1996-2001 yılları DCS vaka oranlarının anket sonuçları	10
Çizelge 2.3 1996-2001 yılları dalıştan sonraki travmaların oranları.....	11
Çizelge 2.4 Chamberlite taşınabilir basınç odası özellikleri.....	17
Çizelge 2.5 Kompresyon ve dekompresyon sürecinde en yüksek ve en düşük ses seviyeleri	21
Çizelge 2.6 Tedavi sürecinin başında, ortasında ve sonuna doğru zaman aralığındaki ses seviyeleri	22

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çok kişili hiperbarik basınç odası.....	8
Şekil 2.2 1980 ve 2016 yılları arasındaki hiperbarik oksijen konulu yayınlanan makale sayısı.....	12
Şekil 2.3 Çok odalı hiperbarik odanın içyapısı	13
Şekil 2.4 Hafifletme ve duraklatma prosedürlerinin süreç grafiği.....	15
Şekil 2.5 Chamberlite basınç odasının şişirilmesi.....	17
Şekil 2.6 Kullanıma hazır bir Chamberlite basınç odası.....	18
Şekil 2.7 Hayvanlar için tasarlanmış HPO.....	24
Şekil 2.8 Hiperbarik basınç tüpü.....	26
Şekil 2.9 Hipertech Zyron12 marka basınç tüpünün etiketi.....	26
Şekil 2.10 Basınçlandırma tüpünün kullanıma ilişkin sertifika	28
Şekil 2.11 Basınçlandırma tüpünün kontrol panelindeki basınç ünitesi	29
Şekil 2.12 Basınçlandırma tüpünün kontrol paneli	30
Şekil 3.1 Çift giriş tek çıkış model.....	39
Şekil 3.2 Çok girişli tek çıkışlı model.....	40
Şekil 3.3 Sistemin blok diyagramı	40
Şekil 3.4 Prototipin elektrik pnömatik ve haberleşme bağlantı şeması	42
Şekil 3.5 Prototipin pnömatik kontrol modeli.....	43
Şekil 3.6 Prototipin sıcaklık kontrol modeli	44
Şekil 3.7 Deney düzeneğinin yandan görüntüsü	45
Şekil 3.8 Deney düzeneğinin basınç tüpü bölümünün üstten görüntüsü	46
Şekil 3.9 Deney düzeneğinin tamamının üstten görüntüsü.....	47
Şekil 3.10 Deney düzeneğinin panosu açık şekilde üstten görüntüsü.....	48
Şekil 4.1 C# programında hazırlanan uygulamanın arayüzü	51
Şekil 4.2 Sistemdeki ideal basınç ve sıcaklık değerleri	52
Şekil 4.3 Basınçlandırma olmadan sıcaklık kontrolünün sadece PID termostatu ile yapılması esnasında elde edilen verilerin grafiği.....	53

Şekil 4.4 Basınçlandırma kontrol edilirken hiçbir sıcaklık kontrolünün yapılmadığı deneyde elde edilen verilerin grafiği.....	54
Şekil 4.5 Basınçlandırma kontrolü yapılırken sıcaklık kontrolünün sadece PID termostatu ile yapılması esnasında elde edilen verilerin grafiği.....	55
Şekil 4.6 Basınçlandırma kontrolü yapılırken sıcaklık kontrolünün hem PID termostatu hem de PLC ile yapılması esnasında elde edilen verilerin grafiği.....	56

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Su altında zaman geçiren insanlar panik durumuna düştükleri zaman içgüdüsel olarak hızlıca yüze çıkmak isterler. Bu durumda hızlı basınç değişikliği sebebiyle, kanlarındaki azot moleküllerinin çözünmesi ile vurguna maruz kalırlar. Vurgun, felç, beyin hasarı gibi kalıcı problemlere sebep olduğu gibi ölümlerle de sonuçlanabilir (Kovacs & Paulsen, 2017).

Tezin kapsamı içinde vurgun ile insan yapısı arasındaki bağlantı, hangi koşullar altında ölümlerle sonuçlandığı, vurgundan sonra ne kadar süre içinde basınç kapsülüne alınması gerektiği, basınç kapsülüne alındıktan ne kadar süre içinde tekrar aynı basınç seviyesine getirilip insan yaşamını kurtarmaya çalışıldığı gibi konular araştırılmıştır. Ayrıca bu basınç kapsüllerinin çalışma prensipleri, temel parçaları günümüzde yaygınlık derecesi gibi teknik ve teorik bilgilerinde araştırması yapıp raporlanmıştır.

1.1. Kapsam

Basınç kapsüllerin çeşitli metotlar ve kontrolörlerle kontrol etmek mümkündür. Bunlardan bir kaçına örnek olarak bu iş için özel tasarlanmış gömülü sisteme sahip kontrol kartları, PLC'ler ve çeşitli mikrodenetleyiciler verilebilir. Kapasite ve geometri bakımından da farklılık gösterdikleri gibi bölgesel sabit ya da mobil basınç kapsül ya da odaları da bulunmaktadır.

Tezin oluşturulması esnasında, vurgun problemine uğramış kişilerin hızlı bir şekilde sağlıklı durumlarına gelmesi hedeflenmiştir. Prototip olarak hazırlanan basınç tüpü sayesinde içerisindeki havanın istenilen basınç ve sıcaklığa hedeflenen sürede getirilerek, hastanın sağlığına en kısa sürede kavuşması planlanmıştır. Bunun için uygulanacak metotlar sonuçlarını görmek adına sırasıyla uygulanmış olup sonuçları raporlanmıştır. Bu sonuçlara dayanarak sistem gerçek bir şekilde oluşturulabilir. Böylece elde edilen verileri kullanarak daha sağlıklı sistemler tasarlanabilir. Böyle bir sistemin sadece denizaltında vurguna uğramış kişiler üzerinde kullanmasının yanında hastanelerde tedavi amaçlıda kullanılabilir.

Sistem yapısı olarak kapalı bir kap kullanıldığından raporda ortaya çıkan sonuçlar ve deneyler, farklı hizmetler sunan sistemler tarafından da kullanılabilir. Sonuçta kapalı bir düzenek içerisinde hava bulunduran sistemlerin basınç ve sıcaklık kontrolü sağlanması istenebilir. Böyle bir durumda sisteme ek komponentler eklenerek farklı amaçlara hizmet edecek yeni sistemler ortaya konabilir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. Dekompresyon (Vurgun) Tanımı

Son yıllarda tüplü dalış, dünya çapında popülerlik kazanmıştır. Sualtında daha yeni yollar keşfetme çabası, eğlence, teknik, profesyonel, askeri ve bunlara bağlı gerçekleştirilen tüm aktiviteler dalışın insanlar arasında hızla yaygınlaşmasını sağlamıştır. Dalış ya da dalma aktivitesi nispeten güvenli olsa da 3-6 ölüm/100.000 dalgıç ölüm oranıyla ciddi yaralanma veya ölüm ile karşımıza çıkmaktadır (Kovacs & Paulsen, 2017).

Dekompresyon hastalığı (DCI), özellikle güvenli dalış uygulamalarında düzenlemelerin ve prosedürlerin olmaması durumunda, dalgıçlar açısından çok ciddi sonuçlara sebep olabilecek bir durumdur.

Tıp alanında çalışma yapan uzmanlar, uzmanlık alanları ne olursa olsun, hızlı değişen ortam basıncına maruz kalmanın insan vücudu üzerindeki kötü etkilerin farkındadırlar. Dekompresyon, ortam koşullarına da bağlı olarak hızlı başlangıçlı, düz ileri veya belirtisiz hafif ve gecikmeli olabilir. Dekompresyona uğramış dalgıçlar, maruz kaldıkları ortamdan uzaklaşmış halde, aradan dakikalar hatta saatler geçmiş şekilde gündelik hayatlarına devam edebilir. Fakat hastanın ufak belirtiler dâhilinde bile olsa her hangi bir sağlık görevlisinin bu tür hastaları uygun teşhis ve tedavi edebilmesi için, önceki günlerdeki hastanın dalış aktivitelerini dikkate alması ve dekompresyon olayının tetiklenmesini sağlayan değişken ortam koşullarını gözden kaçırmaması çok önemlidir.

Aksi takdirde hastaya yanlış yahut eksik teşhis konması durumunda ciddi sonuçlar doğabilir.

DCI, ortam çevresel basıncının azalmasıyla veya azalma sonrasında kan damarlarında üretilen vasküler – ekstrasvasküler kabarcıklarla doğrudan ilişkilidir. İki patofizyolojik sendrom içerir:

1. Nispeten daha yaygın olan Dekompresyon Hastalığı (DCS),
2. Arteriyel Gaz Embolisi (AGE)

AGE, dalgıçların suyun derinliklerinden yani basıncın yüksek olduğu noktadan suyun yüzeyine doğru hızlı şekilde çıkmasına bağlı olarak kan damarlarında genişleyen gazların alveolleri gerdiği ve alveolar kapillerleri yırtarak pulmoner barotravmaya neden olarak gazın, arteriyel dolaşıma girmesiyle ortaya çıkmasıdır.

Ekstrasvasküler ve intravasküler kabarcıkların boyutlarındaki değişimler ve sayılarındaki artışı ile kanda çözülmüş gazın kısmi basıncının orantısız bir şekilde ortam basıncını aşmasıyla tetiklenir. Kandaki gaz ve ortam arasındaki bu basınç farkı dekompresyon durumunu başlatır.

Hipobarik ortamlarda da DCI gerçekleşebilir. Havacılar veya düşük ortam basıncına maruz kalan uzay yolcuları, irtifadaki ani artış sırasında dekompresyona uğrayabilir. Böyle bir durumda dekompresyona maruz kalan kişi yapay olarak hipobarik ortam yaratabilen sistemlerin içerisine alınarak hızlıca tedavi edilmesi gerekmektedir.

DCI, tedaviye gerek kalmadan önlenabilir. Dalma işlemi öncesindeki dalgıç, zinde bir şekilde dalış süresini ve dalış türünü göz önünde bulundurarak titiz bir dalış planlamasıyla, DCS'nin önlenmesindeki ilk adımı atmalıdır. Yaş, DCS'nin kişi üzerinde oluşmasına etki eden bir faktör değildir. Bu durumun riski üç faktörden yani nefes tutma, hızlı yükseliş ve akciğer patolojisinden oluşur. Sıcak bir ortamda dayanıklılık egzersizleri, oral hidrasyon ve normobarik oksijen solunumu gibi basit dalış öncesi önlemler, dekompresyonun oluşma ihtimalini azaltmak için dalıştan önce uygulanabilir (Vann vd., 2004). Tüm bu alınabilecek önlemlere rağmen dekompresyon oluşması durumunda ise yüksek konsantrasyonlu oksijen solunumu eşliğinde basınçlı oda tedavisi uygulanmalıdır (Gempp & Blatteau, 2010).

2.2. Dekompresyonun Belirtileri ve Seviyeleri

Dalış, çoğunlukla dolaşımın toplardamar tarafında ortaya çıkan gaz kabarcığı ile ilişkilidir ve genellikle akciğer dolaşımından geçerken parçalanarak kaybolurlar. Akciğer damar tıkanıklığına sebep olabilecek büyüklük ve sayıdaki kabarcık topluluğu ise göğüs ağrısına, nefes darlığına, öksürüğe ya da akciğer ödemeine neden olabilir. Dalıştan sonraki ilk semptomlar tipik olarak ağrı veya uyuşma gibi hafif nörolojik belirtilerden oluşur. İkincil etkiler, çoğu zaman yüzeye çıktıktan sonra 24 saate kadar gecikmiş semptomlara neden olabilir.

2010-2013 yılları arasında dünya çapında takip edilmek suretiyle ve Divers Alert Network'e (DAN) bildirilen 323 dalış ölümünün 22'si AGE nedeniyle olmuştur. Uygun dekomperasyon prosedürleri izlenirse, DCS de yaygın değildir. 9000 rekreasyonel dalgıç tarafından yapılan 135.000 dalıştan oluşan bir verinin %0.03 oranında DCS meydana geldiği ortaya konmuştur (Tawar & Gokulakrishnan 2019).

DCS vakalarının tanımları ve marjinal etkileri Naval Medical Research Institute (NMRI) raporlarında yayınlanmıştır. Böylece araştırmacılar bağımsız olarak tanı koyabilmişlerdir (Temple vd., 1999). Koyulan bu tanımlar 6 kategoride toplanmıştır. Kategoriler genel olarak bir ölçek dahilinde oluşturulduğundan yüksek riskten düşük riske doğru sıralanmıştır (Ozyigit vd., 2010). Bu sıralamanın ölçeği "Algılanan Şiddet İndeksi (PSI)" olarak isimlendirilmiştir. PSI derecesine göre semptomların sıralanışı aşağıdaki gibidir:

1. Ciddi Nörolojik: Mesane, bağırsak, yürüme veya koordinasyon, refleks, zihinsel durum, (ruh hali, hafıza, kişilik) görme, işitme, bilinç, güç, baş dönmesi ile ilgili işlev bozuklukları.
2. Kardiyopulmoner: Akciğer ve kalpte oluşan işlev bozuklukları, şiddetli öksürük, hemoptizi, dispne.
3. Hafif Nörolojik: Parestezi, uyuşma, karıncalanma, ani duyu değişiklikleri.
4. Şiddetli Ağrılar: Ağrı, kramplar, rahatsız edici eklem ağrıları, spazm.
5. Lenfatik ve Deri: Ödem, kaşıntı, kızarıklık, yanma hissi.
6. Bünyesel ya da Spesifik Olmayan: Baş dönmesi, bulantı, terleme, halsizlik.

Belirli bir DCS vakası, birkaç PSI kategorisine atanabilir ancak, kategoriler hiyerarşik olduğundan vakalar en yüksek önem kategorisine göre de tanımlanabilir. Bu nedenle, ciddi nörolojik belirtileri olan (PSI=1) bir vakada baş ağrısı da olabilir. (PSI=4) bu durumda hiyerarşik düzene göre bu durum PSI=1 kategorisine atanır. PSI sistemi Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi “hafif” için Tip 1 (PSI=4-6) “ciddi “ için Tip 2 (PSI=1-3) geleneksel DCS şiddet kategorilerine de ayrılabilir (Conkin vd., 2013).

Çizelge 2.1 Vaka sayılarının semptom gruplarına dağılımı

PSI	Kategoriler	Vaka	Tip 1/2	Tip A/B
1	Ciddi Nörolojik	18	38 Tip 2	20 Tip A
2	Kardiyopulmoner	2		
3	Hafif Nörolojik	18		
4	Şiddetli Ağrılar	150	152 Tip 1	170 Tip B
5	Lenfatik ve Deri	1		
6	Bünyesel ya da Spesifik Olmayan	1		
	Toplam	190	190	190

BIG292’den ele alınan ve Çizelge 2.1’de gösterilen 190 DCS vakasından 152’si Tip 1 ve 38’i Tip 2 olarak sınıflandırılmıştır. Dekompresyonun ciddiyetini Tip 1 ve 2 olarak sınıflandırılması, şuanda kullanımda olan tek sınıflandırma sistemi değildir. Dekompresyon hastalığını tanımlayan başka bir çalışmada, sadece duyuşal değışiklikleri olan hastaların, merkezi sinir sisteminde sorun çıkan hastalara göre daha az ciddi yaralanmaya maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Benzer şekilde bölgesel veya marjinal dekompresyon hastalığının tedavi süreci konulu çalışmada aşağıdaki maddeler oluşturulmuştur (Mitchell vd., 2006):

- Kol ve bacak ağrısı: Ağrının şiddeti çok az öneme sahiptir ancak bazı durumlarda hafif bir semptom olarak sınıflandırılmayabilir.

- Belirli karakteristik duyuşal değişiklikler, diğer spinal semptomların başlamasını tetikleyebilir ve hafif olarak kabul edilmemelidir.

- Bünyeye bağlı olarak semptomlar veya döküntüler meydana gelebilir.

- Nörolojik olarak gözlemlenen durumlarda tıbbi muayene yapılmalıdır. Semptomların ilerleyici olduğu durumlarda hafif tanısı kesinlikle yapılamaz. Hafif olarak gözlemlenen hasta, dalıştan sonra en az 24 saat boyunca tekrar tekrar gözlemlenmelidir (Conkin vd., 2013).

Tedavi sürecine dönük olarak oluşturulan bu çalışma sonuçları, hafif nörolojik semptomların (PSI=3) Tip 2 DCS yerine Tip 1 olarak sınıflandırılacağı DCS şiddetine alternatif bir yaklaşım önermektedir. Daha açık belirtmek gerekirse, bu sınıflandırma şemasındaki Tip 1 ve 2 yerine Tip A veya Tip B DCS şiddeti kabul edilebilir. BIG292, 170 Tip A ve 20 Tip B DCS vakası içerir. Genel olarak vakalardaki semptomlara bakarak hafif veya ciddi olmak üzere iki gruba ayrıldığında Tip A grubuna dahil olan vakalar ciddi, Tip B grubuna dahil olan vakalar ise hafif olarak belirtilmektedir (Howle vd., 2017).

2.3. Dekompresyonun Tedavi Süreci

Dekompresyon süreci, hasta kompresyon tedavisi için hiperbarik bir ortama nakledilirken bile %100 oksijen vererek başlar. %100 oksijen solumak, öncesinde solunan soy gazın dokularda yıkılmasını hızlandırır. Böylece soy gazın kabarcıktan dokuya difüzyonu için kısmi basınç sağlanmış olur. İlk yardım oksijeni erken, yani 4 saat içinde uygulandığında, sonradan uygulanacak kompresyonun etkisini artırır ve gereken kompresyon tedavisi sayısını azaltır. Önerilen uygulama, intravasküler baloncukların dolaşım sistemine doğru hareketini önlemek için yatay bir pozisyonun korunması ve %100 oksijen solunmasıdır. şekil 2.1'te de gösterildiği gibi çok kişilik bir kompresyon odasında tedavi sırasında %100 oksijen verilmektedir (Tel Aviv Üniversitesi, 2020). Bu uygulamaların hiperbarik ortama kadar kesintisiz şekilde uygulanması DCS ve AGE'nin olumsuz sonuçlarını ciddi oranda azaltır (Bennett vd., 2012).



Şekil 2.1 Çok kişili hiperbarik basınç odası

Tipik olarak rekompresyon, bir görevli eşliğinde hiperbarik bir ortamda yapılır. Söz konusu hiperbarik ortamdaki amaç, ortamın basıncını olabildiğince doğru ve lineer arttırmaktır. Basıncın artırımını sırasındaki gecikme ya da sürenin uzaması, tedavi etkisini azaltır (Gempp & Blatteau, 2010). En yaygın dekompresyon programı olarak Şekil 2.1'teki gibi, 'Kısa Oksijen Rekompresyon Terapi Ve Tedavi' uygulanır. Vakalar, aralıklı hava molası ile %100 oksijen solurken 18 metre deniz suyu derinliğine karşılık gelen 2.8 bar basınçta sıkıştırılır. 2.8 bar ve 9 deniz suyu derinliğine eşdeğer 1.9 bardaki süre, tedavi için yeterli gelmezse ek oksijen ve basınç seansları ile uzatılabilir (Royal Navy, 1972).

Maruz kalınan basınç 2.8 barın üstünde olması durumunda, oksijen toksisitesi riskini azaltmak için hava veya nitroks gibi herhangi bir karışım hastaya verilir. 48 saat sonra tedavisine başlanan hastaların yaklaşık %6,6'sı oksijen rekompresyon tedavisine yanıt vermeyebilir (Hadanny vd., 2015). Bu tür hastalar, tekrarlı kompresyon sürecine girmeleri gerekecektir. Bu hastalar genellikle nörolojik yaralanmalara maruz kaldıklarından ciddi risk grubuna dahil olurlar ve hipotonik ve glikozlu sıvılardan kaçınılmalıdırlar (Stipp, 2007).

Dekompresyon, özellikle şiddetli DCI vakaları için birincil tedavi olmasına rağmen, durumu ciddi ve ağır hastalar için tedavinin uygulanması aşamasında hava yolu, koma, hemodinamik dengesizlik, sıcaklık kontrolü, metabolik düzensizlikler, mesane disfonksiyonu, ağrı, gibi riskler ihmal edilmemelidir. Aksi takdirde kalıcı

nörolojik hasarlara yol açılabilir (Moon, 2009). Dalgıçlar özellikle ciddi nörolojik belirti ve semptomları olan vakalarda, termal olarak rahat ve sıcak tutulmalı ancak hipertermik ortamda bulunmamalıdır (Mitchell vd., 2018).

Başarılı dalışlarda, dalıştan sonra dekompresyondan şüpheleniliyorsa, dalgıçların tedavi için bir dekompresyon odasına zamanında ulaşmalarının ve teşhis konulduğunda en kısa zamanda yeniden dekompresyon uğradıkları basınç seviyesine çıkartılmalarının bilincinden olmak zorundadırlar. Hasta, uygulanan rekompresyondan sonra ağrılı semptomlara sahip ve kritik derecesi hafif olarak değerlendiriliyorsa 2 saat, ciddi veya nörolojik semptomlara sahip olarak değerlendiriliyorsa en az 6 saat gözetim altında tutulmalıdır. Rekompresyondan sonra hastalar en az 72 saat tekrar dalış yapmamalıdır. Rekompresyon odası ya da tüpünden çıkarılan hastalar görevli eşliğinde 1 saat boyunca tekrardan rekompresyona alınma ihtimallerine karşı rekompresyon merkezinde olmalıdırlar. DCI sonrası devam eden şiddetli ağrılar veya tekrarlan DCI semptomlarına istinaden PFO taraması için ilgili kliniğe sevk edilmelidirler (Sykes & Clark, 2013).

2.4. Dekompresyon İle İlgili Anket Çalışması

Çizelge 2.2’de Japon’yanın Osezaki bölgesindeki Japon dalgıçlarla altı yıllık (1996’dan 2001’e kadar) bir anket çalışması gösterilmiştir. Bu anketin konuları arasında dalış eğitmenlerinin yanı sıra eğlence amaçlı dalgıçlarda vardır. Elde edilen verilere dayanarak, teorik olarak öngörülen dekompresyon hastalığının insidansı araştırılmıştır.

Araştırmanın altı yıl boyunca 3078 dalgıçtan güvenilir cevaplar elde edilmiştir. 1996’da 499, 1997’de 634, 1998’de 549, 1999’da 499, 2000’de 431 ve 2001’de 466 kişi ankete katılmıştır. Ankete katılanların %60’ından fazlası erkek ve yaş ortalaması 32’dir. Kadın katılımcılarının yaş ortalaması 29’dur. Katılımcılar ortalama 5 yıldır dalış yapmaktadırlar. Maksimum dalış derinlikleri ortalama 37.4 metredir. Dalgıçları ankete tabi tutuldukları gün ki ortalama iki kez dalış yapmışlardır. Katılımcıların yaklaşık %72’si dalış yaparken dalış bilgisayarı kullanmıştır.

Çizelge 2.2 1996-2001 yılları DCS vaka oranlarının anket sonuçları

AÇIKLAMA	TOPLAM
Katılan Toplam Dalgıç Sayısı	3078
Yaş	
Erkek	32
Kadın	29
Genel Ortalama	31.1
Dalış Geçmişleri	
Ortalama Dalış Yılı	5
Ortalama Maksimum Derinlik	37.4
Gün İçindeki Dalış Sayısı Ortalaması	2
Dalış Bilgisayarı Olan Dalgıç Ortalaması	%71.8

Çizelge 2.3'te dalışla ilgili hastalıkların türleri ve olay oranları açısından yüzdeleri gösterilmektedir. Nitrojen narkozu %12 en sık görülenidir. Bunu sırasıyla kulak barotravmaları %5.6 olarak izlemiştir. Elli dalgıçtan %1.9'u DCS'den mustarip olmuştur. Dalışla ilişkili bu hastalıklardan en az birinden mustarip olan dalgıçların oranı %23.1'dir. Bu çalışmada yer alan toplam 378 dalgıçtan 103'ü anketi iki kez doldürmüştür. bu nedenle, 2975 dalgıç anketi fiilen tamamlamıştır. 2975 dalgıçtan 52 kişi, toplam 60 DCS vakası yaşamıştır. 46 dalgıç DCS'yi yalnızca bir kez deneyimlemiştir.

Tüm bu verilere dayanarak 2975 dalgıç arasında DCS oluşma oranının 19.011 dalışta bir olduğu gerçeği ortaya çıkmıştır. DCS açısından bakıldığında vakaların (60) deneyimli dalışlarının sayısına (1.140.653) bölünmesiyle $1.140.653/60 = 19.010,8$ olarak hesaplanmıştır (Nakayama vd., 2003).

Çizelge 2.3 1996-2001 yılları dalıştan sonraki travmaların oranları

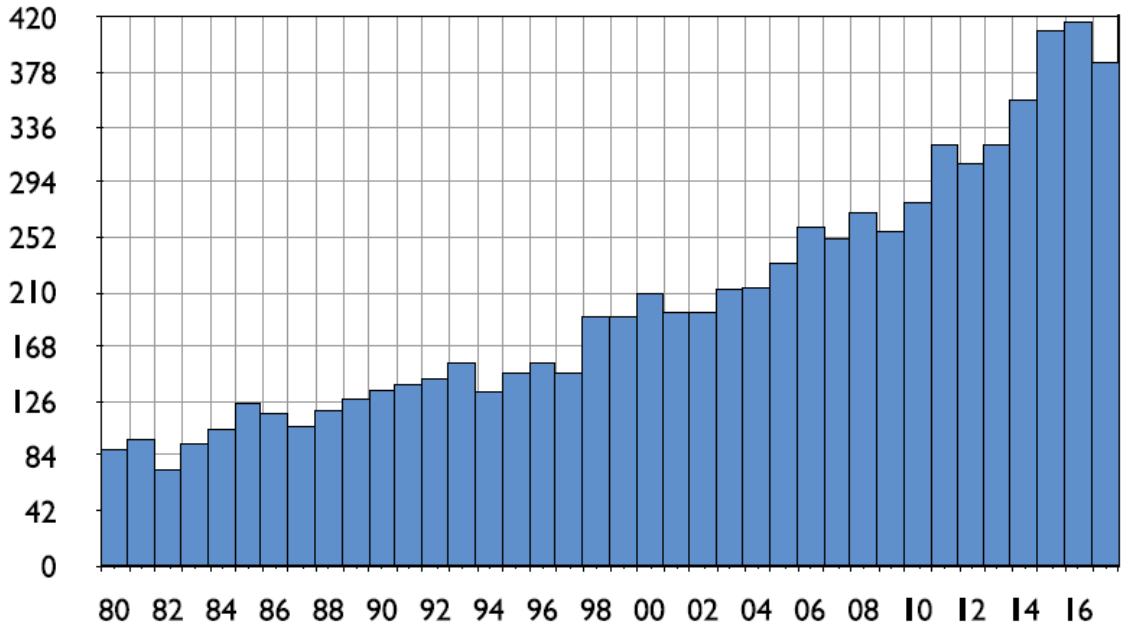
Dalıştan Sonra Oluşan Travmaların Sayısı	Oranı (%)
Nitrojen narkozu	12.1
Kulak barotravmaları	10.7
Paranasal sinüs barotravmaları	5.6
DCS	1.9

2.5. Hiperbarik Odanın Çalışma Prensibi

Hiperbarik oksijenasyon, hastanın kademeli olarak deniz seviyesindeki atmosfer basıncından daha yüksek, genellikle 1.5 – 2.5 bar arasında bir basınca maruz bırakıldığı tıbbi bir tedavidir. Hasta daha sonra kontrollü bir süre boyunca saf oksijen solumaktadır. Bu oksijen, odanın sıkıştırılmasında kullanılan gazda olabilir veya hastaya bir maske aracılığıyla da verilebilir. Tedaviden sonra hasta, tekrar atmosfer basıncına ulaşana kadar kademeli olarak daha düşük bir basınca (dekompresyona) tabi tutulur. Hiperbarik oda (HO), genellikle çelikten yapılmış, havayı sıkıştırarak veya bazen oksijeni sıkıştırarak basıncın yükseltilebildiği bir kaptır. Temel olarak, HO'lar boyutlarına ve kullanımına göre iki tipte sınıflandırılabilir:

- Sadece bir kişi tarafından kullanılan mono HO'lar,
- Aynı tedavi sürecini alan bir grup insan tarafından kullanılan çok bölmeli HO'lar.

Hiperbarik tıp on yıllardır kullanılmasına rağmen, 1980 ve 2016 yılları arasında dergilerde yayınlanan hiperbarik oksijen ile ilgili makalelerin sayısındaki artıştan dolayı bu tıbbi alandaki popülerliğin artışı Şekil 2.2'de görülmektedir (Perez vd., 2017) (Carmona vd., 2017).



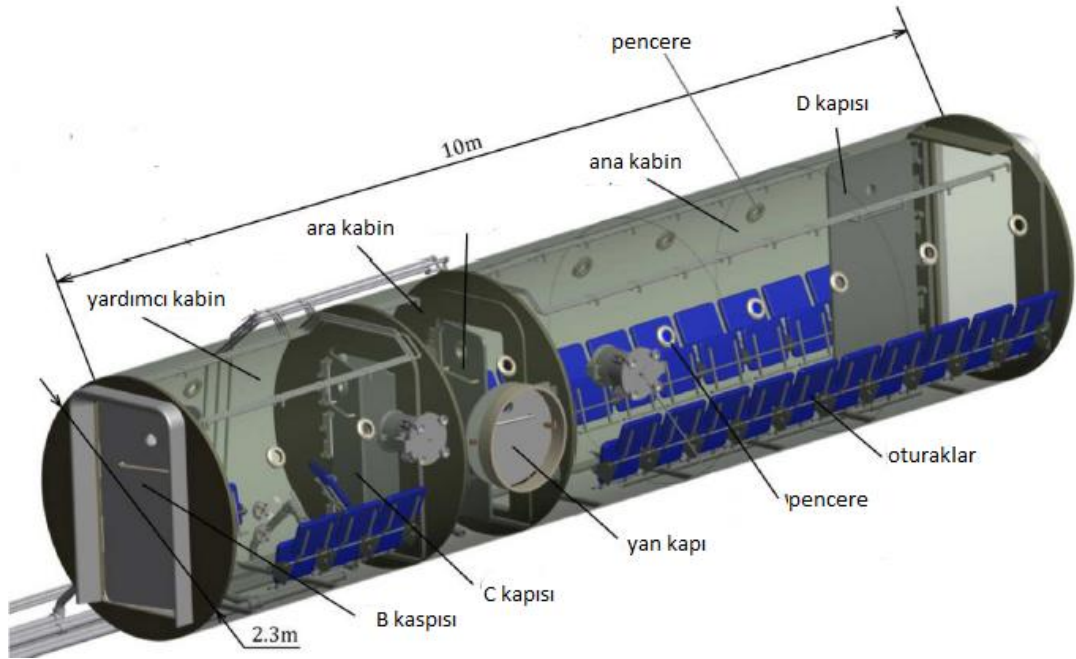
Şekil 2.2 1980 ve 2016 yılları arasındaki hiperbarik oksijen konulu yayınlanan makale sayısı

Avrupa Sualtı ve Baromedikal Derneği ile Denizaltı ve Hiperbarik Tıp Derneği tarafından kabul edilen kullanımları şunlardır: siyanür zehirlenmiş, klostridial miyozit ve miyonekroz (gazlı kangren), ezilme yaralanma, kompartman sendromu ve diğer akut travmatik iskemiler, dekompresyon hastalığı ve diğerleri (Mathieu, Marroni & Kot, 2017).

Bazı şirketler bu konuda ticari çözümler sunsa da, araştırmacılar tarafından bu konuyu ele alan yayınlanmış bir literatürleri yoktur. Bu nedenle kapsamlı bir araştırmadan sonra HO'ların geniş bir araştırma makalesi yok denecek kadar az olduğu kanaatine varılmıştır. Bu konuda yalnızca bazı patentler rapor edilmiştir, ancak bunların tümü belirsiz açıklamalar sunar ve modelleme, tanımlama ve kontrol algoritmaları hakkında hiçbir ayrıntı vermemektedir. Hiperbarik tıp, 1960'lar ve 1970'lerde önemli bir büyüme yaşamıştır (Clarke, 2008). Hiperbarik odaların uzun ömürlü olması nedeniyle, birçoğu hala düşük otomasyon düzeyine sahip hastanelerde çalışmaya devam etmektedir.

Yapılan bir çalışmada kâğıt üzerinde olmak kaydıyla çok bölmeli bir hiperbarik oda modellenip otomasyonu oluşturulmuştur. Bu model Şekil 2.3'te basitçe gösterilmiştir (Gracia vd., 2018). Bu hiperbarik oda, yoğun bakım ünitesi (YBÜ), ana

bölme ve bunlar arasında da başka bir bölme olmak şartıyla 3 bölmeden oluşmaktadır. Odanın 25 kişilik oturma kapasitesi ve on sedye veya dört yoğun bakım yatağı vardır. Ön oda, ana odaya veya yoğun bakım ünitesine dışarıdan erişim sağlar. Ön odanın amacı, hastaların ve sağlık personelinin farklı basınçlarda kompartımanlar arasında hareketini mümkün kılmak ve hastayı tedavi etmek veya acil bir durumda hastayı çıkarmak için odanın içine doktor sokabilmektir. Bu hiperbarik odayı tam otomatik şekilde kontrolünü sağlayabilmek için analog giriş ve çıkışlar bulunduran (AI, AO) bir programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) kullanılmıştır. Haznenin her bölümünü basınçlandırmak için üç farklı devre vardır. Her devrede bir kontrol valfi ve iki emniyet valfi bulunur. Gürültüyü azaltmak için hava, pnömatik susturucular aracılığıyla haznenin içine verilmektedir. Dekompresyon devresi, basınçlandırma devresine eşdeğerdir. PLC, hazneyi kontrol etmekten sorumlu elektronik bir cihazdır. Sensörlerden gelen analog sinyallerini okur ve analog – dijital aktüatörleri kontrol eder. PLC, prosesin çalışma bilgilerinin paylaşmak için bir bilgisayar ve bir İnsan Makine Arayüzü (HMI) ile endüstriyel Ethernet üzerinden iletişim kurar.



Şekil 2.3 Çok odalı hiperbarik odanın içyapısı

Tüm bileşenler, oksijen açısından zengin ortamlarda kullanılmak üzere özel olarak seçilmiştir (bölmeler hava ile basınçlandırılmış olsalar da, bir çıkıştan oksijen kaybı tehlikeli bir duruma neden olabilir). Çalışmada kullanılan ekipmanlar: WIKA tarafından üretilmiştir. S-11 modeli (4-20 mA aralığında 0 ile 10 bar) 6 basınç sensörü (yedek bir konfigürasyonda bölme başına 2 sensör), STATUS INS tarafından üretilmiş ve özellikle hiperbarik ortamlar için tasarlanmış SEM165 3 adet sıcaklık ve nem sensörü, 6 adet MetalWork tarafından üretilmiş Skillair REG-300 akış kontrol valfi, Atlas Copco ZT/ZR 110-900 VSD 2 adet vidalı tip hava kompresörü (biri maskelerden verilecek oksijen için diğeri de odanın basınçlandırılması için), bir UPS (kesintisiz güç kaynağı, 2 adet Siemens ET-200S IM151-8 PLC (PLC'ler, ATEX Direktifi 94/9/EC'ye göre seçilmiştir). Bir adet SIMATIC MP 377 12 inç dokunmatik panel ve Siemens WinCC Scada yazılımına sahip bir bilgisayardır.

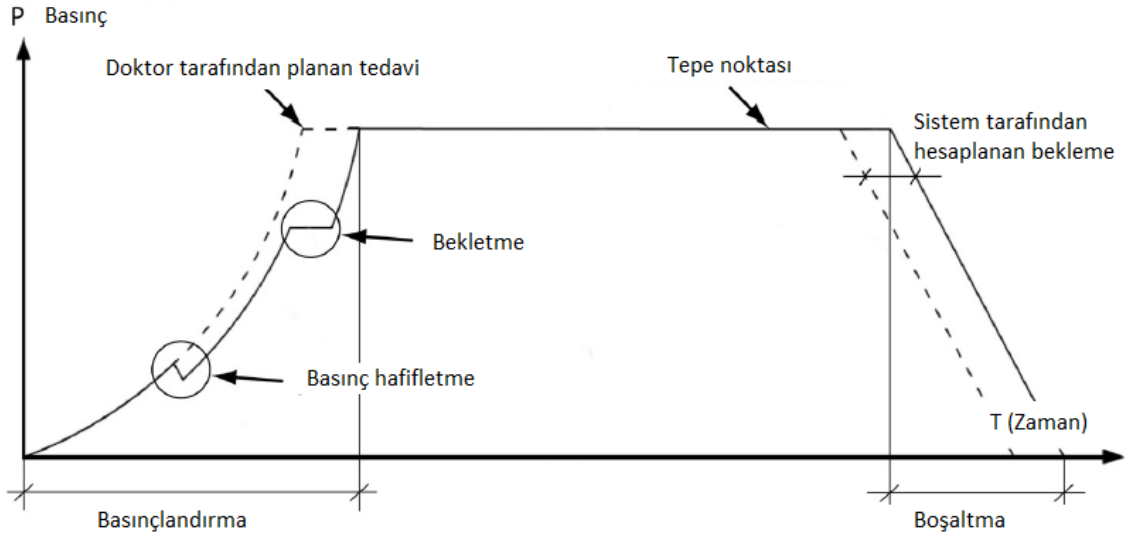
Çok odalı bir odanın otomasyonu ve tedavi sırasındaki prosedürler, aşağıda açıklanan odaya giriş ve çıkışla ilgili durumları yönetmeyi kolaylaştırır:

- İçeriden kilitleme işlemleri: Ana odaya veya yoğun bakım odasına giren personel, ön odaya açılan kapıyı ve yan kapıyı kapatıp kilitlemelidir. Dengelemek için ön oda, sistem tarafından kontrol edilen bir hızda basınçlandırılmalıdır. Ancak dakikada 2.25 barı geçmemelidir. Sistem, hastaların odayı terk etmeye hazır olduklarında dekompresyon programını başlatabilmek için ilk basınçlandırmanın başladığı zamanı kaydedecektir. Ön oda ve yoğun bakım odasındaki basınç seviyeleri eşit olduğunda (tedavinin başında kapalı olan) C kapısı açık olmalıdır. D kapısının her zaman kapalı olması gerektiği unutulmamalıdır.
- Dışarıdan kilitleme işlemleri: Yoğun bakım odasından çıkmak için personel ön odaya girer ve C kapısını kapatıp kilitletler. Çıkamaya hazır olduğunda süpervizör bilgilendirilir ve gerekli dekompresyon programı seçilir ve yürütülür. C kapısının kilitlendiğinden emin olmak için içerideki personelle sürekli iletişim sağlanır. Ön odanın derinliği, sistem tarafından dekompresyon boyunca kontrol edilir.

Hasta, hiperbarik bir odanın içine yerleştirildikten sonra, baro travma yaralanmasını önlemek için timpanik zarın (kulak zarı) her iki tarafındaki basıncı

eşitlemek için Valsalva manevrası gerçekleştirilir. Valsalva manevrası, kapalı bir hava yoluna hafifçe zorlayarak, genellik ağız kapatarak ve burnu sıkıştırarak gerçekleştirilir. Hava, kulak zarının iç tarafına basınç uygulamak için östaki borularından geçer. Baro travma etkisinden kaçınmak için, hastalar önceden Valsalva manevrası yapmak üzere eğitilir (sağlık personeli, eğitim sürecinde hastanın, basıncı eşitleyebilmesi için bir endoskopik kamera kullanılır), ancak basınç artışının etkisi tamamen göz ardı edilmez.

Oda da yapılan en önemli işlemler (başvuru sayısına göre) hafifletme ve duraklamalardır. Bu prosedürler temeldir ancak hastalarda baro travmayı önlemek için son derece önemlidir. Görevli personel bir hastanın biraz kulak ağrısı hissettiğini algıladığında gerçekleştirilir (hastalar, herhangi bir kulak ağrısı duyduğunda iletmeleri istenmiştir). Şekil 2.4’da görevli personel tarafından çevrimiçi olarak bir hafifletme ve duraklatmanın tanıtıldığı doğrusal olmayan bir basınçlandırma prosedürünü (Smooth Ride tipi) göstermektedir (Gracia vd., 2018). Bu iki prosedür, odanın tedaviye ulaştığı anı değiştirir ve bu nedenle, doktor tarafından belirtilen ilk spesifikasyonları gerçekleştirmek için sistem tarafından hesaplanan bir gecikme ile uygulanır.



Şekil 2.4 Hafifletme ve duraklatma prosedürlerinin süreç grafiği

Hafifletme prosedürü kompresyon işlemi sırasında gerçekleştirilir. Bu durumda, belirli bir dekompresyon oranının ardından basıncı belirli bir değere düşüren

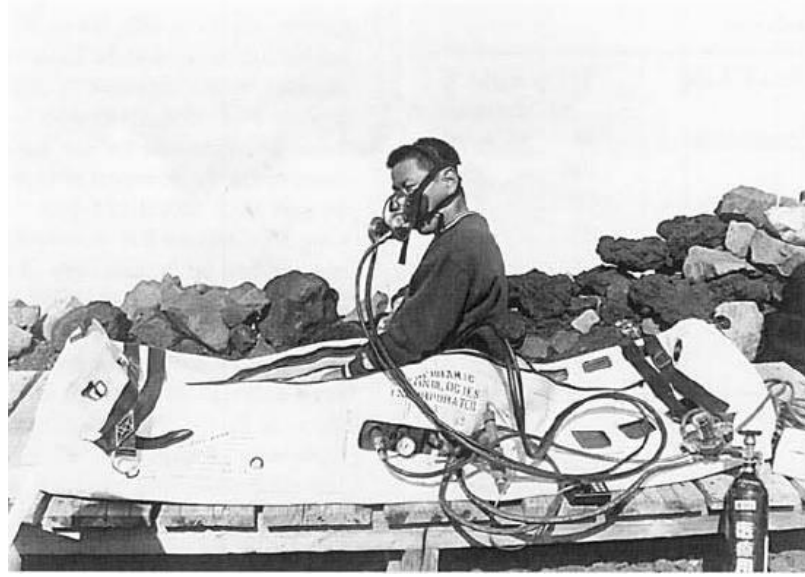
dekompresyon regülatörüne bir dekompresyon profili yüklenir. Örneğin, azaltma işleminin başladığı anda basınç 1.45 bar, hafifletme değeri 0.05 bar ve dekompresyon oranı 0.1 bar/dk. ise, regülatör 30 saniye içinde hazneyi 1.40 bara düşürür. Hafifletme bitince başka bir hafifletme yapmak veya tedaviye devam etmek mümkündür.

Duraklatma prosedürü, basıncı sabit tutmak için referans profilinde sabit bir durumdan oluşur. Duraklatma prosedürü başladığında, referans durdurulur ve görevli personelin kriterlerine göre duraklatma bitene kadar basınç sabit tutulur. Daha sonra, basınçlandırma o noktadan devam eder (Gracia vd., 2018).

2.6. Yüksek İrtifada Mobil Dekompresyon Ünitesi

Sınırlı süre içinde 3000 metreden daha yüksek bir rakımı ziyaret eden kişilerin %30'undan fazlası, akut dağ hastalığı (AMS) gibi yüksek irtifa bozuklukları yaşar (Houston, 1992). Bazı özel durumlarda, bireyler orta irtifalarda bile yüksek irtifa akciğer ödemi veya beyin ödemi gibi ciddi sendromlar yaşayabilir. Asetazolamid steroid ve oksijen takviyesi gibi çeşitli ilaçlar bu rahatsızlıklar için etkili tedavi olarak önerilmiş olsa da, dağdan inmek hala dağdan inerek tedavi merkezine gitmek en etkili tedavidir (Ward, Milledge & West, 1995). Hiperbarik bir odada yeniden basınçlandırma temel bir tedavi değildir. Ancak basınçlandırma imkanları olduğu sürece iniş için etkili bir alternatiftir.

Şekil 2.5'te gösterilen katlanabilir ve taşınabilir bir hiperbarik oda olarak 1988'de tasarlanan Gamow çantası, son zamanlarda yüksek irtifa keşif ekipleri tarafından sıklıkla kullanılmaktadır (Gamow vd., 1990). Bu oda en etkili şekilde ancak 4000 metreden yükseklere çıkıldıktan sonra yüksek irtifa bozuklukları yaşanan dağcılar için kullanılsa da, bu oda deniz seviyesinden 3000 metre yükseklikteki hastalarda da kullanılmıştır (Kasic vd., 1991). Bu yüksek irtifalarda, Gamow torbasındaki basınç, 1500 metreden daha fazla alçalmaya eşdeğerdir. Odanın bir sorunu, basınçlandırması ve havalandırması için gerekli olan operatörler için yorucu iş yüküdür. Chamberlite adı verilen başka bir hiperbarik oda tipi, 15 psi'ye kadar dayanıklıdır.



Şekil 2.5 Chamberlite basınç odasının şişirilmesi

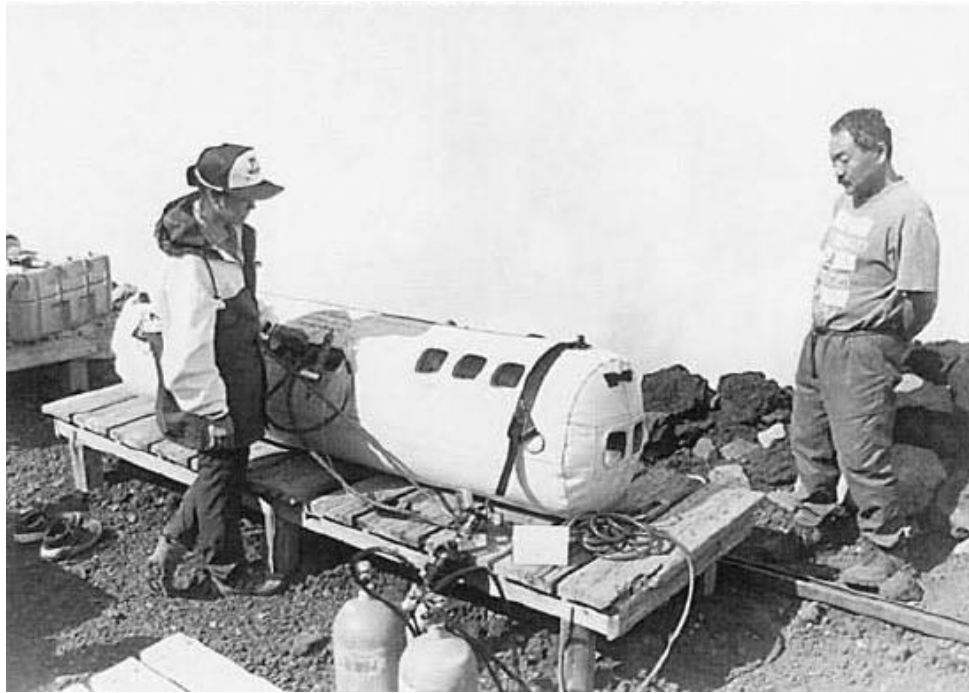
Chamberlite, 1995 yılında taşınabilir bir hiperbarik oda olarak tasarlanmıştır. Odanın özellikleri Çizelge 2.4'te gösterilmektedir. Bu oda, başlangıçta sorunlu dalışlardan sonra oluşan dekompresyon hastalığının tedavisi için tasarlanmıştır. Şiddetli akut dekompresyon yani büyük damarlarda hava embolizasyonu gerçekleştikten hemen sonra hiperbarik oksijen tedavisinin uygulanması sonra derece önemlidir. Ancak teorik olarak bu cihaz, hiperbarik tedavinin etkili olduğu teyit edilen hastalıklara uygulanabilir (Tibbles & Edelsberg, 1996).

Çizelge 2.4 Chamberlite taşınabilir basınç odası özellikleri

Boyutlar (cm)	Şişirilmiş şekil	212x53
	Katlanmış şekil	72x60x26
Hacim (L)		480L
Ağırlık (kg)	Silindirsiz ağırlık	20
	Minimum silindirli ağırlık	35
Maksimum basınç (psi)		15
Kumaş		Üretan

Taşınabilir odanın benzersiz özelliği, kaza yerindeki bir hasta 15 psi'ye kadar yüksek basınç uygulanabilmesidir. Chamberlite'nin şişirilmesi için basınçlı hava silindiri kullanılmalıdır. Gamow torba şişirmede olduğu gibi, bir pedal şişirici ile odanın şişirilmesi pratik olarak işe yaramaz. Hava, hastanın soluması için değil, yalnızca odanın şişirilmesi için kullanıldığından 15 psi'ye kadar tek bir şişirme için 480L 1atm hava yeterlidir. Genellikle tüplü dalış için kullanılan 10L ve 200atm'lik bir silindir şişirme için iki kez kullanılabilir. 15 psi'den daha düşük basınç uygulanırsa, tek bir silindir hazneyi daha fazla şişirebilir. Buna karşılık hastanın nefes alması için bir oksijen tüpü kullanılır ve gerekli hacim hastanın durumuna bağlıdır. Odadaki hasta her dakika büyük hacimlerde nefes alıyorsa (AMS vakalarında sıklıkla gözlemlendiği gibi) bir silindirdeki oksijen hızla tüketilir.

Bu cihaz taşınabilir olmasına rağmen, 35 kg ağırlığında olduğundan dolayı ve bir kurtarma ekibindeki sınırlı sayıdaki kişi için dolaştırılarak taşınması zor görünmektedir. Sadece otomobil, helikopter ve uçak gibi ulaşım araçlarının erişilebilir olduğu durumlarda orta ve yüksek irtifalarda Chamberlite kullanımı Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi pratik görünmektedir (Gamow vd., 1990).



Şekil 2.6 Kullanıma hazır bir Chamberlite basınç odası

Alternatif olarak bir kurtarma ekibinde çok sayıda güçlü üye varsa, odayı birkaç parçaya böldükten sonra taşımak daha kolay olabilir. Bu odadaki hastalara eşdeğer yüksek basınç uygulandığı için hastanelerdeki hiperbarik oksijen tesislerinde kullanılan basınçtan dolayı operatörlerin, barotravma veya kulak problemleri gibi hiperbarik tedavinin olası yan etkilerini göz önünde bulundurmalıdırlar yüksek irtifa bozuklukları için tedaviyi basınçlandırmasıyla bilinen geri tepme etkisi, irtifa ile ilgili bozukluklar için bu cihazın kullanımından sonra dikkatle izlenmelidir (Saito vd., 2000).

2.6. Dekompresyon Cihazının Tedavi Sırasında Çıkardığı Gürültüler

Akustikte gürültü için çeşitli tanımlar vardır. Basitçe istenmeyen ses olarak tanımlanabilir. Temel olarak ses ve gürültü arasında hiçbir fark yoktur. Ses dalgaları kişiye göre konuşma, müzik ya da gürültü olarak gelebilir (Berglund vd., 1999). Sağlık bilimlerinde gürültü bir stres kaynağı olarak kabul edilmekte ve uzun zamandan beri insanlar üzerinde fiziksel ve psikolojik etkileri olduğu bilinmektedir. Gürültüye bağlı olarak bilinen işitme bozukluğu ya da işitme kaybı (NIHL) en belirgin etkidir. Ancak vücut işlevleri üzerinde başka birçok etki gözlemlenmiştir. Yüksek tansiyon ve artmış koroner kalp hastalığı riskinin yanı sıra hormonal ve psikososyal rahatsızlıklarla ilişkilendirilmiştir (Eriksson vd., 2018). Ayrıca gürültünün tükenmişliğe ve bozulmuş konsantrasyon ve yanlış iletişimle ilgili hata riskine katkıda bulunduğu dair artan kanıtlar vardır (Ryherd, Waye & Ljungkvist, 2008).

Hiperbarik oksijen tedavi merkezleri de gürültülü ortamlar olabilmektedir. İnsanların kullanımı için basınçlı kaplar için Avrupa yönetmeliğine (EN14931) göre, ortalama açıkken tedavi basıncında 70dB(A)'yı geçmemelidir (EN14931, 2006). Dalış aktivitelerinin olduğu bölgelerde kullanılan odalarda çalışmalar yapılmıştır ancak hastane temelli odalarda ses seviyelerine odaklanan çok az çalışma vardır. Yapılan bir çalışmada Türkiye'deki farklı hiperbarik oksijen tedavi (HBOT) merkezlerindeki oda içi ses seviyelerinin uluslararası standartlarla karşılaştırılması ve hastalarla sağlık çalışanlarının üzerindeki olası etkileri ortaya konmuştur.

Çalışmanın detayları olarak, Türkiye'deki tüm HBOT merkezlerine telefon veya e-posta ile ulaşılarak çalışma detaylı olarak anlatılmıştır. Katılmayı kabul eden merkezlerle ses seviyesi ölçümleri planlanmıştır. Ölçüm günleri rastgele seçilmiştir. Ancak her zaman tedavilerin yürütüldüğü hafta içi günleri seçilmiştir. Katılan tüm

merkezlerde benzer boyutlara sahip silindirik, çelikten çok katlı odalar bulunmaktadır. Tüm odalar benzer mobilyalar, boru sistemleri ve dahili aletlerle donatılmıştır.

Sıkıştırma ve dekompresyon oranları tüm odalar için benzerdir ve 10 – 12kPa.dak-1 (dakikada 1-1.2 metre deniz suyuna[msw] eşdeğer) arasında değişmektedir. Odada ses seviyeleri ölçülmüştür. Üç kez kompresyon sırasında, üç kez dekompresyon sırasında ve iki kez tedavi basıncında (243kPa, [2.4 atmosfer mutlak basınç]), biri havalandırma sırasında ve diğeri havalandırma olmadan ölçülmüştür. Bu bağlamda ‘havalandırma’, gazın odaya eşit oranlarda aktarıldığı ve içindeki basıncın sabit kalacağı şekilde havalandırıldığı süreci ifade etmektedir. Buna ‘yıkama’ denmektedir. Sıkıştırma sırasında basınçlar 15-30kPa, 60-75kPa, 120-134kPa şeklinde ölçülmüştür. Dekompresyon sırasındaki ölçümler ters sırada yapılmıştır.

Ses seviyesi ölçümleri Bruel & Kjaer Tip 2240 ses seviyesi ölçer (SLM) ve SLM ile uyumlu Bruel & Kjaer tip 4231 ses seviyesi kalibratörü kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz, entegre bir ortalama alan Tip 1 ses ölçerdir ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61672-1 standartlarına uygundur. 30 ile 140dB(A) arasındaki ses seviyelerini ve 20 Hz. İle 16kHz. Arasındaki frekansları ölçebilir. Cihaz -10°C ile 50°C arasında ve iki adet 1.5V LR6/AA alkalin pil ile 16 saat çalışabilmektedir. 245 gr. Ağırlığında ve portatif olduğundan ölçüm noktalarına kolayca taşınabilir.

Cihazın hiperbarik koşullarda uyumluluğu hakkında bilgi, üreticisi tarafından sağlanmıştır. Çalışmaya sekiz farklı şehirden 41 HBOT merkezi katılmıştır. Çalışmada ölçülen en yüksek ses LAeq (eşdeğer sürekli ses seviyesi) ventilasyon sırasında tedavi basıncında 100.4dB(A) ve en düşük ventilasyonsuz tedavi basıncında 40.5dB(A) olmuştur. Çalışma boyunca kompresyon, tedavi uzunluğu ve dekompresyonda kaydedilen en yüksek ve en düşük ses seviyeleri Çizelge 2.5’te verilmiştir. Her bir örnek toplama aralığında merkezilerin ses seviyelerine göre dağılımı Çizelge 2.6’da verilmiştir. Merkezlerin çoğunda ses seviyeleri tedavi boyunca 70db(A) ile 85dB(A) arasındayken, sadece dördü 70dB(A)’dan düşüktür. Bu dört merkezde, hem ventilasyon açık hem de kapalıken tedavi derinliğinde ses seviyesi 70dB(A)’dan düşüktür. On üç merkez, ventilasyon açıkken tedavi uzunluğunda 85dB(A) sınırını aşmıştır ancak ventilasyon kapalıken tümü bu sınırın altında kalmıştır. Tüm merkezlerde

havalandırma açırken ses seviyelerinin önemli ölçüde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Leş = ağırlıklı eşdeğer ses seviyesi, Lpik = ağırlıklı tepe değer ses seviyesidir.

Çizelge 2.5 Kompresyon ve dekompresyon sürecinde en yüksek ve en düşük ses seviyeleri

Parametreler		Kompresyon	Tedavi basıncında		Dekompresyon
			Vent. Açık	Vent. Kapalı	
Leş dB(A)	En yüksek	95.6	100.4	79.0	94.0
	En düşük	58.6	63.9	40.5	47.7
Lpik dB(C)	En yüksek	109.3	113.6	99.1	106.7
	En düşük	76.0	85.7	74.5	77.5

Her numune toplama aralığında ölçülen ses seviyesine göre merkez sayısı C1, C2 ve C3 grupları altında verilmiştir. C1, C2 ve C3 sırasıyla sıkıştırma başında, ortasında ve sonuna doğru ölçüm aralıklarıdır. D1, D2 ve D3 ile ifade edilen gruplar ise sırasıyla dekompresyon başında, ortasında ve sonuna doğru ölçüm aralıklarını göstermektedir. Vent. ise ventilasyonun aktif olup olmadığını göstermek amacıyla Çizelge 2.5'e eklenmiştir.

Çizelge 2.6 Tedavi sürecinin başında, ortasında ve sonuna doğru zaman aralığındaki ses seviyeleri

Ses seviyesi dB(A)	Kompresyon			Ventilasyon		Dekompresyon		
	C1	C2	C3	Açık	Kapalı	D1	D2	D3
≤ 70	15	11	8	4	19	10	13	16
70.1 - 85	23	25	27	24	22	29	26	22
> 85	3	5	6	13	-	2	2	3
> 90	2	3	3	5	-	2	1	2

Tedavi boyunca 4 merkez, sırasıyla kompresyon ve dekompresyon aşamalarında 70dB(A)'nın altında kalmıştır. Geri kalan merkezler üç sıkıştırma ölçümünün hepsinde 85dB(A)'nın üzerindedir. Kompresyon ve dekompresyon sırasında çok azı 85dB(A) ve aşmıştır. '3 dB katlama faktörü dikkate alındığında, toplam tedavi basıncı süresinde 95dB(A), kompresyon ve dekompresyon sırasın 105dB(A) ses seviyesine izin verilebilir. Bu durumda, ventilasyon çalışması ile tedavi basıncında sadece üç merkez sınırı aşmıştır. Tedavi boyunca hiçbir sınırların üzerinde kalmamıştır. Ayrıca, izin verilen LCpik seviyelerini aşmamışlardır. Sonuçlar Çizelge 2.6'ya eklenmiştir. (Zaman vd., 2020).

2.7. Hayvanlar İçin Tasarlanan Hiperbarik Tüp

Hiperbarik odalarda deney hayvanları kullanılarak yapılan araştırmalar, fizyolojik ve bilimsel olarak incelenmesi için bir önceliktir. Hiperbarik odaların, güvenli kullanımı için sabit ve düzenli basınçlandırma, düzenli ve etkili oksijenasyon garantisi gerekmektedir. Evcil veya deney hayvanlarının hiperbarik odalardaki tedavisini konu alan bir araştırma ve çalışma, hayvanlar için özel bir hiperbarik oda üretilebileceğini ortaya koymuştur. Buradan yola çıkılarak, bir mühendislik şirketi ortaklığıyla, deneysel kullanıma ve veterinerlik tıbbına uygun olarak hiperbarik bir oda inşa edilmiş ve test edilmiştir .

Yapılan bu projedeki amaç, bir hiperbarik odanın temel özelliklerini ve bunların, küçük ve orta büyüklükteki laboratuvar hayvanlarında özel kullanım için geliştirilmesi, insan kullanıma yönelik odalar ile aynı standart güven ve güvenlik kurallarına uyarak sunmaktır.

Ayrıca çoklu odaya sahip HBO, ortalama köpek büyüklüğündeki bir hayvan için, mono HBO gibi de kullanılabilir. Projeye partner şirketteki mühendisler HBO standartlarına ve biyolojik canlıların ihtiyaçlarına göre kesin bir plan çıkartana kadar Şekil 1.15'teki gibi farklı tasarımlara ait çizimler gerçekleştirmişlerdir.

Projenin tabii olduğu yasal standartlar:

- a) Brezilya kuralları: Brezilya Ulusal Metalurji Enstitüsü, Endüstriyel Standardizasyon ve Kalite, Brezilya Çalışma Bakanlığı'ndan NR13 standardı.
- b) Uluslararası kanunlar: Amerikan Makine Mühendisleri Derneği ASME Bölüm 8 – Böl. 1 ASME UW-12 Tip 2 ASME UW-12 D ASME UW-12 C ASME UG-99 ve Ulusal Yangından Korunma Derneği (NFPA)

Makine mühendliği açısından proje, Code ASME bölüm 8- bölüm 1 referans alınarak, kategori C- sınıf BI basınçlı tüpler için hazırlanan kurallara göre detaylandırılmıştır. Kullanılan çelik ayaklar için ASTM A36, derin kapağı için alüminyum 5052'dir. Ön kapak (kapı), paslanmaz çelikten ve valflerde pirinçten yapılmıştır.

İnşaat mühendisliği açısından proje, HBO en az 1.70 m uzunluğa, 1.16 m genişliğe ve 0.74 m yüksekliğe sahip, klimalı ve doğrudan güneş ışıklarının gelmediği bir odaya sahiptir. Ekipman, incelemeler ve onarımları için kolay erişime izin veren bir yere yerleştirilmiştir. Elektrik beslemesi 110/220 volta ayarlanmıştır. Direnci 5 Ohm'dan düşük olması durumunda gereken elektrik izolasyon sistemine daha özel dikkat edilmiştir. Oksijen kaynağı minimum 3.5 bardadır.

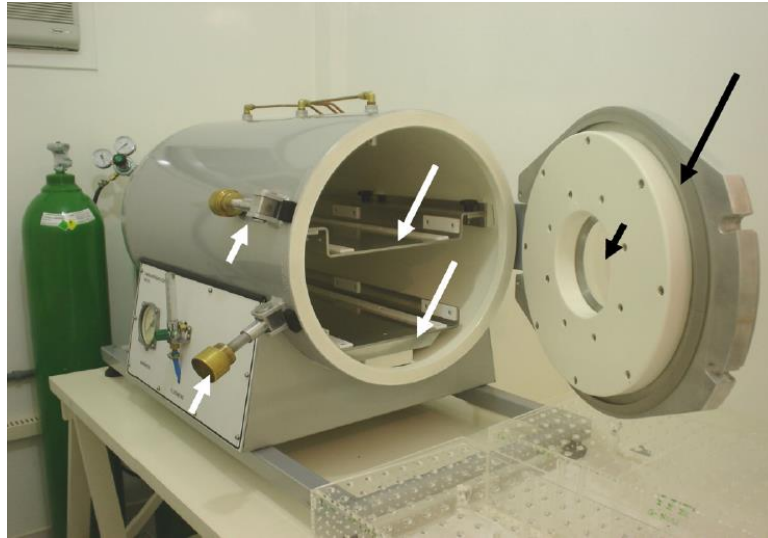
Egzoz sisteminin kanallarının binanın dış alanına, her zaman elektrikli ekipmanlardan, alevlerden veya bölgedeki diğer herhangi yanıcı malzemelerden uzakta olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Biyolojik açıdan gereksinimler:

a) Tüp içerisindeki dahili alan, birkaç küçük hayvanın rahat ve güvenli bir şekilde bireysel olarak yerleştirilebileceği gibi 15 kg'a kadar olan sadece bir hayvanın yerleştirilebileceği şekilde tasarlanmıştır.

b) HBO, birkaç hayvanın aynı anda tedavi edilmesini sağlamak için, gazların dolaşımı için küçük deliklere sahip, değiştirilebilir kalın bölme duvarları ve kapakları olan akrilik çekmecelerle projelendirilmiştir. Akrilik plakaların kesimi ve delikler, hayvanları yaralayabilme ihtimalini ortadan kaldırmak için lazer ekipman ile gerçekleştirilmiştir. Kafesler 150 mm yüksekliğinde, 280 mm genişliğinde ve 690 mm uzunluğunda projelendirilmiştir.

c) Tüp içerisindeki kafeslerin bölümlerine göre her seanstaki hayvan sayısına yetecek kadar boşluk yapılmıştır. Yirmi fare, on sıçan/hamster, altı tavşan, dört kedi, bir köpek, bir domuz, rahatlıkla sığabilmektedir. Maksimum ve minimum sayılar, hayvanın ırkına, ağırlığına ve yaşına bağlıdır. Şekil 1.16'daki gibi tasarlanan tüp, aynı anda farklı büyüklükteki farklı hayvan türlerini de bünyesinde barındırabilmektedir.



Şekil 2.7 Hayvanlar için tasarlanmış HBO

Bir mühendis grubu ve tıbbi veteriner personelinin ortaklığıyla, çelik karbondan, sabit ve eliptik bir arkaya sahip, hayvan davranışlarını gözlemlemek için akrilik pencereye hareketli ve düz bir ön kapıya sahip güvenli ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibi

bir hiperbarik tp inŒa edilmiŒtir (Rech vd., 2008). HBO, i çapı 50.5 cm, uzunluğu 83.0 cm ve duvar kalınlığı 4.78 mm olan hava sızdırmaz silindir Œeklinde dir. n kapak (alüminyum 5052) 25 mm kalınlığa sahiptir ve gaz kaçağının engellenmesi için O'ring (sızdırmazlık halkası) ile birlikte, hava sızdırmazlığını destekleyen iki vidalı bir menteŒe sistemi yapılmıŒtır.

Tp yaklaŒık 160 kg. ağırlığında, 150 litre i hacme sahiptir. Arka ekstrmite de oksijen giriŒ ve ıkıŒ valfleri, oksijen dreni ve basınç ayar valfi bulunmaktadır. Tüpün basıncı, n panele monte edilmiŒ bir hava basıncı regülatörü tarafından kontrol edilmektedir. Gazların giriŒi ve tahliyesi için, tüpün sol tarafına ve tavanına borular yerleŒtirilmiŒtir.

AŒırı basınç durumları için emniyet valfi, tüpün solunda ve manometre ile fluximetre de sağında yer almaktadır. Fluximetre, tüpten çıkan oksijen hacminin kontrolünü sağlamaktan ve tüpün içindeki havanın yenilenme hızını düzenlemekten sorumludur. Silindirin iç kısmında, akrilik kafeslere destek görevi görecek iki yatay kalın bölme duvar bulunmaktadır. Orta ki kalın bölme duvarı, daha büyük hayvanların girmesine izin vermek için çıkarılabilmektedir (Rech vd., 2008).

2.8. Ticari Hiperbarik Basıncı Tüpünün İncelenmesi

İstanbul Avcılar'da bulunan Oksimer Hiperbarik Oksijen Tedavi Merkezi, hiperbarik ortam oluŒturabilen bir makine ile eŒitli sağlık sorunları yaŒayan hastalarına tedavi imkanı sunmaktadır. Makine operatörlerinden Suzan Sağlıncı ile 07.01.2022 Cuma günü bir röportaj gerekleŒtirilmiŒtir. Bu röportaj, alıŒmanın konusuna uygun sorular baŒta olmak üzere makinenin genel alıŒma prensipleri ve eŒitli konular hakkındaki sorulardan oluŒmaktadır. Röportaj sonrasında ise makinenin kullanımı deneyimlenmiŒ ve alıŒma esnasında makine incelenmiŒtir (Sağlıncı, 2022).

Operatör, klinikte bulunan makinenin Türk bir firma tarafından üretildiğini sylemiŒtir. Enerji kesintisi olduğu takdirde kesintisiz güç kaynağı (UPS) sayesinde 14 dakikaya kadar enerji verebilmektedir. 14 dakika içinde jeneratör devreye girmektedir.



Şekil 2.8 Hiperbarik basınç tüpü

Şekil 2.8’de gösterilen makine kapasitesi 13 kişi ana kabin, 2 kişi de ara kabinde olmak üzere toplamda 15 kişiye kadar hizmet verebilmektedir. Genel olarak ana kabin kullanılmaktadır. Ara kabin daha çok transfer kabini olarak kullanılmaktadır. Transfer kabini olarak kullanılan ara kabin, seanslarda acil durumlar için ayrılmıştır. Makine çalışma basıncı Şekil 2.9’daki makine etiketinde de görüldüğü gibi maksimum 8.25 bara kadar çıkmaktadır. Gövdesi çelikten imal edilmiştir. Ama operatör çalışma basıncı olarak makineyi 2.5 bara kadar basınçlandırmaktadır.



Şekil 2.9 Hipertech Zyron12 marka basınç tüpünün etiketi

Seans süresi boyunca hastaların gördükleri maksimum basınç 2.5 bardır. Tedavi başladıktan sonra ilk 15 dakika boyunca ortam basınçlandırılmaya başlanmaktadır. 15 dakikanın sonunda ortam basıncı, su derinliği anlamında 13.5 metreye denk gelmektedir. Buda açık hava basıncı ile beraber ortalama 2.3 bar civarlarındadır. Ama operatör, sistemdeki basıncı feet olarak takip etmektedir buda 15 dakikanın sonundaki makine içi basıncı olan 2.3 barı, ortalama 45 feet olarak görmektedir. Operatörün dalış derinliği olarak adlandırdığı basınca gelindiğinde makinen basınçlandırması durmaktadır. Fakat makine 8.5 bar, ortalama 80 metre derinlikteki basıncı sağlayabilmektedir. Operatör ve ekibi, vurguna uğrayan hastaların 2.3 bar koşulu olmaksızın makine basıncını vurguna uğradıkları su derinliğine getirip tedavi edebilmektedir.

Hastalar 15 dakikalık dalış süresi boyunca oksijen maskesi takmamaktadırlar. Makine basınçlandırmayı kademeli olarak yapmaktadır. İlk 15 dk'nın sonunda makine basıncı 2.3 bara çıkmaktadır. Buda dakikada ortalama 1 metre dalmak anlamına gelmektedir. Tedavi yaklaşık 2 saat sürmektedir. İlk 15 dk dalış son 20 dk ise çıkış olarak isimlendirilmektedir. Arada kalan sürede hastalar sabit 2.3 bar basınca maruz kalmaktadır. Dinlenme sürecinde hastalar 25 dk oksijen solumaktadırlar. 5 dk da oksijen maskelerini çıkartarak hava molası vermektedirler.”

Operatör, Şekil 2.10'da gösterilen makine çalışma sertifikasına sahip makinenin denetlemelerinin genelde 6 ayda bir şeklinde olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda bazen haber vererek bazen de haber vermeden yapıldığını da eklemiştir. Denetlemeyi yapan kurum ve kuruluşlar değişmektedir. Bazen Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu'ndan (TSSF) görevliler bazen il ve ilçe sağlık müdürlüklerinden bazen de sualtı hekimleri tarafından denetlenmektedir.

Operatör ve ekibi sadece bir hastanın makinede olması ve o hastanın rahatsızlanması durumunda direk makinenin basıncını düşürüp doktorun içeriye girmesini sağlamaktadır. Kalabalık bir seansta ise hasta bir şekilde transfer bölgesine alınmaktadır. Ve transfer bölgesi ile ana kabin arasındaki kapıyı kapatarak diğer gurubun tedavi sürecini devam ettirmektedir. Ayrıca makine içerisine elektronik herhangi bir eşya kesinlikle alınmamaktadır. Çünkü içerde yoğun bir oksijen ortamı

bulduğundan olası bir statik elektriklenme bile yangına sebebiyet vermesi durumu her zaman düşünülmektedir.

TÜRK LOYDU Serüvise No / Certificate No : 1912209 / TL İş No. : 507

BASINÇLI KAP SERTİFİKASI
CERTIFICATE FOR PRESSURE VESSELS

İmalatçı / Manufacturer : AR METAL MAKİNA VE YEDEK PARÇA SAN. VE TIC. LTD. ŞTİ.
Sipariş Veren / Ordered By : HİPERTEK ELEKTRONİK BİL.YAN.SAN. VE TIC. LTD.ŞTİ.
Basınç Kap Tanımı / Pressure Vessel Definition : 23.8 m³ Hiperbarik Oksijen Tedavi/Basınç Odası
Kod / Code : AD-MERKBLATTER

Gövde Tipi / Shell Type : Silindirik - Yatay
Boru Demeti / Bundle Type : ---
Klas Sınıfı / Classification : ---
Seri No / Serial No : ---

Tasarım Basıncı / Design Pressure		Tasarım Sıcaklığı / Design Temp.		Çalışma Basıncı / Working Pressure		Çalışma Sıcaklığı / Working Temp.		Gövde İç Çapı / Shell Inside Diameter	Boru İç Çapları / Tube Size
Gövde Tarafı / Shell Side	Boru Tarafı / Tube Side	Gövde Tarafı / Shell Side	Boru Tarafı / Tube Side	Gövde Tarafı / Shell Side	Boru Tarafı / Tube Side	Gövde Tarafı / Shell Side	Boru Tarafı / Tube Side		
5.5 Bar	kg/cm ²	+51 °C	°C	5.5 Bar	kg/cm ²	°C	°C	2320 mm	mm
Hidrostatik Basınç Testi / Hydrostatic Pressure Test		Süre / Time	Sıcaklık / Temperature	Gövde Tarafı / Shell Side		Boru Tarafı / Tube Side			
		60 dakika	20 °C			8.25 Bar			

Düğünceler/Remarks :

DAMGA ÖRNEĞİ / STAMPED AS

TÜRK LOYDU

TL NO : 507-1
TAS. B. : 5.5 BAR
TEST B. : 8.25 BAR
TEST T. : 27.10.2006

BASINÇ KABI; yukarıda belirtilen kod'a göre proje onays, imalatın muhtelif safhalarında muayeneleri ve sürveyör gözetiminde hidrostatik testi yapılarak uygun olduğu görülmüştür. (Proje onays, malzeme ve muayene detayları arka sayfadadır).
The pressure vessel has been inspected during various stages of construction and after manufacturing the vessel was hydrostatically tested in the presence of the surveyor and found in accordance with the above code. (For project approval, material and other inspections, see back page).

BAMGA YERİ : Giriş Bölümü Kapı
PLACE OF STAMP : Yanı

Cem ULUSOY
Kuru End. Bölüm Başkanı
Head of Ind. Division

Hasan HANBOĞLU
Sürveyör
Surveyor

Form No: END 10-05 Sorumluluk için arka sayfaya bakınız. See back page for liability.
TÜRK LOYDU - Terasler Cad. No.26 - 34944 Tuzla/İstanbul - Tel : 0216 446 22 40 (PBX) - e-mail : tl@turkloydu.org

112

Şekil 2.10 Basınçlandırma tüpünün kullanıma ilişkin sertifika

Basınçlandırma sırasında sistemden kaynaklı bir arıza olduğunda, makine maksimum 8.5 bara kadar çıkmaktadır. 8.5 barı geçmesi durumunda makinede bulunan emniyet valfi açarak içerdeki basıncı düşürmeye çalışmaktadır. Olası bir yangın durumunda yangın sistemi devreye girmektedir. Böyle bir durumda operatör, havanın boşaltılmasını otomatiğe bırakmadan manuel olarak sağlamaktadır. Acil stop butonlarının sayısı sadece kontrol panelinde 1 adet olmak kaydıyla toplamda 1 adettir. Makinenin içinde herhangi bir acil durum butonu bulunmamaktadır. Makinenin içindeki her koluğun üstünde uyarı ikaz butonları vardır.

Bu butonlar sayesinde hangi koltuktan basıldığı anlaşılmaktadır. İçeride bulunan 4 adet kamera sayesinde operatör, makine içini sürekli izlemektedir. Kameralardan olası bir anormallik algılandığında operatör ve ekibi acil boşaltma sürecine geçerek makineye doğrudan müdahale etmektedirler.



Şekil 2.11 Basınçlandırma tütünün kontrol panelindeki basınç ünitesi

Makinenin içinde rezistans yerine klima ünitesi bulunmaktadır. Klima sayesinde içerideki havanın sıcaklığı dengelenmektedir. Fakat operatör klimayı genel olarak soğutma olarak kullanmaktadır. Makine Şekil 2.11'deki basınç saatlerinde de gösterilen basınçlandırmayı yaparken klimanın kullanımı tabiki devam etmektedir. Seans esnasında operatör klimayı kapattığında iç sıcaklık yükselmeye başlamaktadır. Bu durumu engellemek için operatör ve ekibi klimayı sürekli açık tutmaktadırlar.

Makinede 3 tane hava boşaltma egzozu bulunmaktadır. Operatör normal bir seans esnasında sadece birini kullanmaktadır. Diğer ikisinden biri acil boşaltma egzozu ve diğeri de acil boşaltma manuel egzozu olarak kullanılmaktadır. Ekip, acil durumlarda diğeri ikisini de devreye sokmaktadır. Acil durumlarda 2. egzoz devreye girmektedir.

Makinenin kontrolü ve seans sürecinin izlenmesi Şekil 2.12'de görüldüğü gibi panel sayesinde olmaktadır. Bu panel sayesinde operatör süreci rahatlıkla izlemektedir. Ayrıca üretici firma tarafından verilen Software sayesinde de makinenin kontrolü bir elektronik kart ile sağlanmaktadır. Süreç boyunca basıncın artırılması, azaltılması,

ısıtma sistemleri, yangın tehlike alarmları gibi tüm kontroller otomatik olarak denetlenmektedir. Tabii süreç esnasında örneğin bir hastada problem olduğunda manuel moda geçerek müdahale edilebilmektedir. Müdahale edildikten sonra tekrardan otomatik sisteme geçerek tedavi yarım kaldığı yerden devam etmektedir.



Şekil 2.12 Basınçlandırma tüpünün kontrol paneli

BÖLÜM 3

SİSTEMİN ANALİZİ

Bu bölümde sistemin matematiksel denklemlere göre analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre çıkan sonuçlar, prototipleme aşamasında deneysel verilerin elde edilmesi sırasında kullanılmıştır. Ayrıca bazı analiz sonuçları denklemler ile sağlanırken bazı analizlerde bilgisayar ortamında elde edilmiştir. Bu bilgisayar ortamında elde edilen sonuçlara göre sistemin güvenilir olduğu kabul edilmiş ve sistem oluşturulmuştur. Formüller aracılığıyla yapılan hesaplamalar sistemin sıcaklık ve basınç değişimleri esnasında gerçekleşen veriler iken bilgisayar ortamında yapılan analiz ise sistemin basınca bağlı olarak gerçekleşen değişimleri kapsamaktadır. Bunlara göre, çıkan sonuçlar değerlendirilip sistemin oluşturulması sağlanmıştır.

3.1. Basınç Analizi

Sistemin statik basınç analizi üç boyutlu tasarım ve analiz (SolidWorks) programında yapılmış olup analiz sonuçları Ek 3-1 ve Ek 3-2'de gösterilmiştir. Sistem gerçekleştirilmeden önce analiz sonuçlarına göre metalin cinsi metalin kalınlığı ortam koşulları vs. belirlenmiştir. Maksimum çalışma ve emniyet basınçları sırasıyla 0.25 MPa (yaklaşık 2,5 bar) ve 0.4 MPa, (yaklaşık 4 bar) olmak üzere 2 farklı analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre sistem, çalışma ve emniyet basınçlarını kaldırmış olup, herhangi bir deformasyona uğramadığı sonucuna varılmıştır.

3.2. Termodinamik Analiz

Bir gazın kimyasal yapısından bağımsız olarak moleküller arası etkilerinin göz ardı edilebileceği basınç ve sıcaklık koşullarında, yani düşük bir basınçta (atmosferik basınç ya da o mertebelerde) ve yeterli bir sıcaklığa sahip ise aynı zamanda gazın sıvılaşılabileceği sıcaklıktan uzak olması şartı sağlanıyorsa makroskopik durumunu tanımlayan değişkenler (basınç P, sıcaklık T, hacim V) arasındaki ilişki Denklem 3.1'deki yazılığ gibi ideal gaz denkleminde açıklanmaktadır (Giancoli, 2006).

$$PV = nRT = \frac{m}{M}RT \quad 3.1$$

Burada n, m ve M sırasıyla madde miktarı, dikkate alınan gazın kütlesi ve molar kütesidir. R değeri SI'da $8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ olan evrensel gaz sabitidir ($0,0821 \text{ atm.L.K. mol}^{-1}$ olarak da alınabilir). R sabiti, Boltzman sabiti k ve Avagadro sabiti NA gibi temel sabitlerle ilgilidir ($k = R/NA$). Bu nedenle termodinamik, reaksiyon kinetiğini, kimyasal denge, elektrokimyasal süreçler vb. gibi fizik ve kimyanın diğer alanlarında, özellikle moleküler düzeyde enerji alışverişi ile ilişkili yaklaşımları incelerken ortaya çıkar (Barrow, 1985).

İdeal gaz denkleminde dayalı olarak R sabitinin değerini bulunabilmesi için, söz konusu denklemi etkileyen diğer parametrelerin yani P, V, m, ve T'yi ölçülmesi gerekmektedir. Bu dört parametreden ölçülmesi en zor olan havanın kütlesi m'dir. Çünkü değerini elde edebilmek için daha önce içi boşaltılmış olan bir kabın ağırlığı ölçülmesi gerekmektedir. Denklem 3.2'de havanın kütle değerini Δm miktarı kadar arttırır ve havanın hacmini ve sıcaklığını sabit tutarak buna karşılık gelen ΔP basıncındaki artış ölçülmüştür. Denklem:

$$(P + \Delta P)V = \frac{m + \Delta m}{M}RT, \quad \Delta PV = \frac{\Delta m}{M}RT \quad 3.2$$

olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada $M= 28.96 \text{ g. mol}^{-1}$, havanın görünen molar kütesidir. Denklem 2’de ΔP ’ye karşı Δm grafiği (sıcaklık-sabit hacim), orjindne geçen lineer bir çizgiye karşılık gelmelidir. Bunu da Denklem 3.3’te belirtildiği gibi:

$$\frac{\Delta P}{\Delta m} = \frac{RT}{MV}, \quad R = \frac{MV \Delta P}{T \Delta m} \quad 3.3$$

R sabit değeri bulunmuş olunur (Tomas & Hurtado, 2020).

Enerji herhangi bir sisteme yahut herhangi bir sistemden ısı (Q), iş (W) ve kütle geçişi (m) olmak kaydıyla 3 farklı şekilde aktarılabilir. Bu 3 farklı parametrenin sistem sınırından geçişleri ile ilgili çeşitli durumlar vardır. Bir sistem sınırından sadece ısı veya iş geçişi varsa kapalı sistemler, bunlarından haricinde kütle geçişi de varsa açık sistemler olarak kabul edilir. Böyle sistemlerin analizi enerjinin korunumu ilkesine dayanır. Bu ilke enerjinin yoktan var edilemeyeceğini vardan da yok edilemeyeceğini ve sadece biçim değiştirebileceğini savunur. Kapalı sistemler olarak tanımlanan ve kütle geçişinin olmadığı sistemlerde kütle sabittir. Enerji ısı veya iş şeklinde taşınır. Açık sistemlerde ise ısı ve işin taşınımına ek olarak kütle geçişi de sağlanır. Bu 3 parametrenin açılımı olarak:

1. Isı geçişi, bir sistem içindeki moleküllerinin enerjisinde azalmaya veya artmaya sebebiyet verebilir. Sistem tarafından çevreye doğru olan ısı geçişi, sistem içerisindeki iç enerjinin azalmasına sebep olur. Bunun tam tersi koşulunda yani çevreden sistem içerisine doğru ısı geçişi olması durumunda ise, sistem iç enerjisi artar.

2. İş geçişi, sistem tarafından ya da sisteme doğrudan yapılabilir. Sistem içinde olup sistemin iç enerjisini arttırabilen parçalara örnek olarak pervaneler, ısıtıcılar vs. verilebilir. İş, sistem içine bir elektrik yardımıyla girmesi durumunda sistemin iç enerjisini arttırabilir. Aynı zamanda farklı durumlar aracılığı sayesinde sistemin iç enerjisi artması durumunda sistemin kendisi de iş yapması söz konusu olabilir. Serbest bir pistonun içindeki suyun ısıtılmasıyla pistonun yukarı doğru kalkması buna örnek olarak verilebilir.

3. Kütle akışı, sisteme doğrudan ya da sistemden kütle transferi olması ile alakalıdır. Böyle bir durumda sistem içine kütle geçişi oluyorsa kütle ile beraber sisteme bir enerji

geçışı de olmaktadır. Böyle sistemlere açık sistemler denir. Bunun tam tersi durumunda yani sistemden kütle alındığı zamanda da sistem içindeki iç enerji azalır.

Termodinamiğin 1. yasasına göre enerjinin korunumu genel denklemi Denklem 3.4'te verilmiştir.

$$E_g - E_ç = (Q_g + W_g + E_{g.kütle}) - (Q_ç - W_ç - E_{ç.kütle}) \quad 3.4$$

Değişkenlerin alt indisleri olarak verilen g ve ç, sisteme giren ve çıkan değişkenler olarak belirtilmiştir. Denklem daha basit bir şekilde yazılacak olursa:

$$E_g - E_ç = \Delta E_{sistem} \quad (\text{kJ}) \quad 3.5$$

veya birim zamana bağlı olarak Denklem 3.5 tekrar düzenlenirse:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = dE_{sistem}/dt \quad (\text{kW}) \quad 3.6$$

Olarak bulunur. Δt zaman aralığında enerji korunumundaki parametreler birim zamana bağlı olarak yazılırsa:

$$Q = \dot{Q}\Delta t, \quad W = \dot{W}\Delta t, \quad \text{ve} \quad \Delta E = (dE/dT)\Delta t \quad 3.7$$

Olarak yazılır. Çevrim oluşturan sistemlere kapalı sistemler denmektedir. Kapalı sistemlerde madde giriş çıkışı olmadığı için Denklem 3.5'teki denklemin sağ tarafı yani $\Delta E_{sistem} = E_2 - E_1 = 0$ olur. Bu duruma göre Denklem 3.5 tekrar düzenlenirse:

$$E_g - E_ç = 0, \quad E_g = E_ç \quad 3.8$$

Olarak yazılır. Sistemin açık olması durumunda yani kütle giriş çıkışı olduğu biliniyorsa Denklem 3.5 düzenlenerek:

$$E_g - E_{\zeta} = \Delta E_{sistem} = E_2 - E_1 = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad 3.9$$

Denklem 3.9 yazılır. Buradaki E_2 sisteme kütle girdikten sonraki son enerjiyi, E_1 ise sisteme kütle girmeden önceki ilk enerjiyi sembolize etmektedir. Son olarak ΔU , ΔKE ve ΔPE değişkenlerini açılırsa:

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \quad 3.10$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$

Şeklinde yazılarak enerjinin korunumu kanunu uygulanır (Çengel & Boles, 2008).

Dış ortamın 1 bar basınca sahip olduğunu kabul edip, 15 °C ortam koşuluna göre temel alarak sistemdeki iç enerji analizi yapılırsa:

$$E_g - E_{\zeta} = \Delta E_{sistem}$$

$$Q_g + W_g + m \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g \right) - Q_{\zeta} - W_{\zeta} - m \left(h_{\zeta} + \frac{v_{\zeta}^2}{2} + gz_{\zeta} \right) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

Eğer ki dış ortam sıcaklığı 25 °C'den küçük olursa, sistem 25 °C'ye çıkartılacaktır. Çıkartılacağı esnada sistem, kapalı bir sistem gibi düşünülmektedir. Çünkü madde giriş çıkışı olmamaktadır.

$$W_g = \Delta U = m(u_{son} - u_{ilk})$$

$$W_g = \Delta U = mc(T_{son} - T_{ilk})$$

İlk durumda kutu içinde 15 °C (288 K) 1 bar (100 kPa) basınca sahip m kütleli bir hava bulunmaktadır. Hava için ideal gaz denklemi kullanıldığında m kütlesi bulunur:

$$P.V = m.R.T$$

$$100 \text{ kPa} * 0.028 \text{ m}^3 = m * 0.287 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * \text{K}} * (273 + 15) \text{ K}$$

$$\mathbf{m = 0,0327 \text{ kg.}}$$

400 W'lık rezistans t saniye boyunca enerjilendirilerek sistem içi sıcaklığını 15 °C'den 25 °C'ye çıkaracaktır. ($c_{hava} = 1,0049$)

$$W_g = \Delta U = mc(T_{son} - T_{ilk})$$

$$400W * t * \left(\frac{1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1000VA} \right) = 0,0327 * 1,0049 * (25 - 15)$$

$$\mathbf{t \approx 1 \text{ s.}}$$

Isıtıcının tam kapasitede çalışmaya geçene kadar geçen süre göz ardı edilmemelidir. Sistem 25 °C'ye çıktıktan sonra 15 dk'lık süre sonunda sistem içinde 2.5 bar (250 kPa) basınç ve 25 °C olması gerekmektedir.

$$Q_{net} + E_{g,kütle} = Q_{net} + m_{giren}h_{giren} = \Delta U = m_{son}u_{son} - m_{ilk}u_{ilk}$$

$$P_{son}V_{son} = m_{son}RT_{son}$$

$$250 \text{ kPa} * 0.0327 \text{ m}^3 = m_{son} * 0.287 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * \text{K}} * (273 + 25) \text{ K}$$

$$\mathbf{m_{son} = 0,0955 \text{ kg.}}$$

İlk durumdan yani iç sıcaklığın 100 kPa, 25 °C'den son duruma yani 250 kPa, 25 °C'ye geçtiğinde sistem içinde toplam $m_{son} = 0,0955 \text{ kg}$. hava bulunmaktadır. Hava girmeden önceki ve girdikten sonraki hava kütleleri bilindiğine göre içeri giren hava kütlesi Δm bulunabilmektedir. Sisteme giren havanın sıcaklığı 12 °C'dir. (12 °C'de hava için $h=285,14 \text{ kJ/kg}$, 25 °C'deki hava için $u=212,64 \text{ kJ/kg}$, 15 °C'deki hava için $u=204,5 \text{ kJ/kg}$ geçerlidir (hava için gerekli entalpi değerleri Ek 3.1'de görülmektedir) (Çengel & Boles, 2008).

$$\Delta m_{giren} = m_{son} - m_{ilk}$$

$$\Delta m_{giren} = 0,0955 - 0,0327 = 0,0628 \text{ kg.}$$

$$Q_{net} + m_{giren} h_{giren} = m_{son} u_{son} - m_{ilk} u_{ilk}$$

$$Q_{net} + 0.0628 \text{ kg} * 285.14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.0955 \text{ kg} * 212.64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0.0327 \text{ kg} * 204.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{net} = -4,2868 \text{ kJ}$$

Q_{net} 'in eksi işarete sahip olması sistemden çıkan ısı kayıplarının sonucudur.

Sistem dinlenme periyodunu 25 °C'de ve 2,5 bar (250 kPa) basınçta geçirdikten sonra çıkış periyoduna geçmektedir. Çıkış periyodu 15 dk sürmektedir. 15 dk'nın sonunda sistem atmosfer koşullarına yani 25 °C'ye ve 1 bar (100 kPa) basınca inmektedir. 25 °C'deki hava için $h=298,18 \text{ kJ/kg}$ geçerlidir. (Çengel & Boles, 2008).

$$Q_{net} - E_{\text{ç,kütle}} = Q_{net} - m_{\text{çıkan}} h_{\text{çıkan}} = \Delta U = m_{son} u_{son} - m_{ilk} u_{ilk}$$

$$P_{son} V_{son} = m_{son} R T_{son}$$

$$100 \text{ kPa} * 0.028 \text{ m}^3 = m_{son} * 0.287 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * \text{K}} * (273 + 25) \text{ K}$$

$$m_{son} = 0,0327 \text{ kg.}$$

$$\Delta m_{\text{çıkan}} = m_{\text{ilk}} - m_{\text{son}}$$

$$\Delta m_{\text{çıkan}} = 0,0955 - 0,0327 = 0,0627 \text{ kg.}$$

$$Q_{\text{net}} - 0,0627 \text{ kg} * 298,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,0327 \text{ kg} * 212,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0,0955 \text{ kg} * 212,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{net}} = 5.342 \text{ kJ}$$

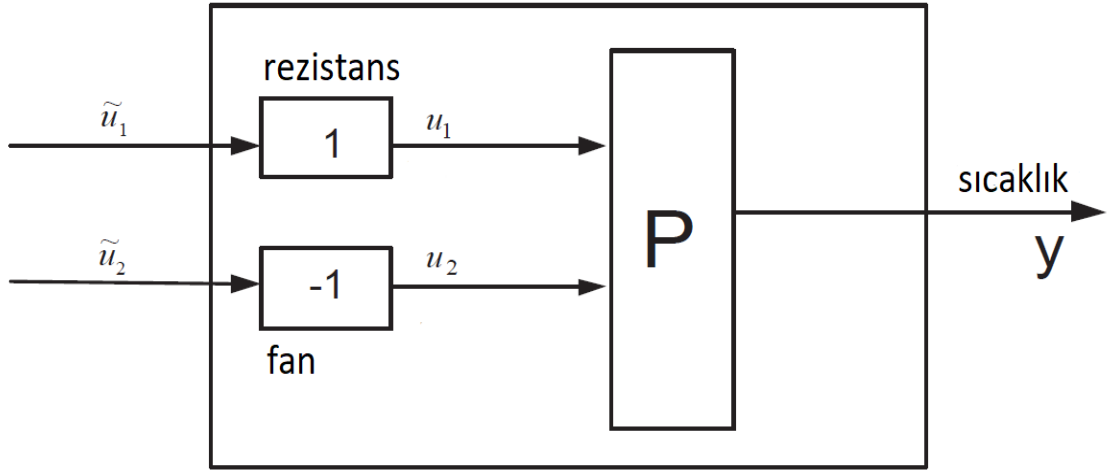
Q_{net} pozitif bir değer çıkararak, sistemin çıkış esnasında ortamdan enerji aldığını ifade etmektedir.

3.3. Çok Giriş – Tek Çıkışlı (MISO) Sistem

Çeşitli karmaşık kontrol yaklaşımları geliştirilmiş olmasına rağmen, mühendislik uygulamalarında en popüler kontrol yaklaşımlarından biri çok girdi veya çıktılı integral kontrolüdür. Merkezi kontrol yapısı ile karşılaştırıldığında, çok girdi veya çıktılı kontrolün avantajları arasında, basitliği etkinliği ve hata toleransının göz önünde bulundurulmasıdır.

Çok giriş tek çıkış (MISO) süreçleri mühendislik uygulamalarında sıklıkla karşılaşılmaktadır. Örnek olarak aynı anda sıcaklığı kontrol etmek için birden fazla aktüatör (ısıtıcı fan, rezistans vs.) uygulanabilen kimyasal reaktörlerin sıcaklık kontrolü verilebilir. Diğer bir örnek olarak otomatik koşu bandı sistemi kullanılıp egzersize kalp atış hızının düzenlenmesi verilebilir. Burada hem koşu bandı hızı hem de eğim sistem modelinde çok girişi ifade ederken, kalp atış hızı tek çıkışı ifade etmektedir. Herhangi bir sistemin modellenmesinde hızlı ve doğru analizi için birden fazla giriş kullanılması avantaj yaratır. Bu avantaja bağlı olarak modelin çıktısı doğru sonuçlara daha yakın olmaktadır.

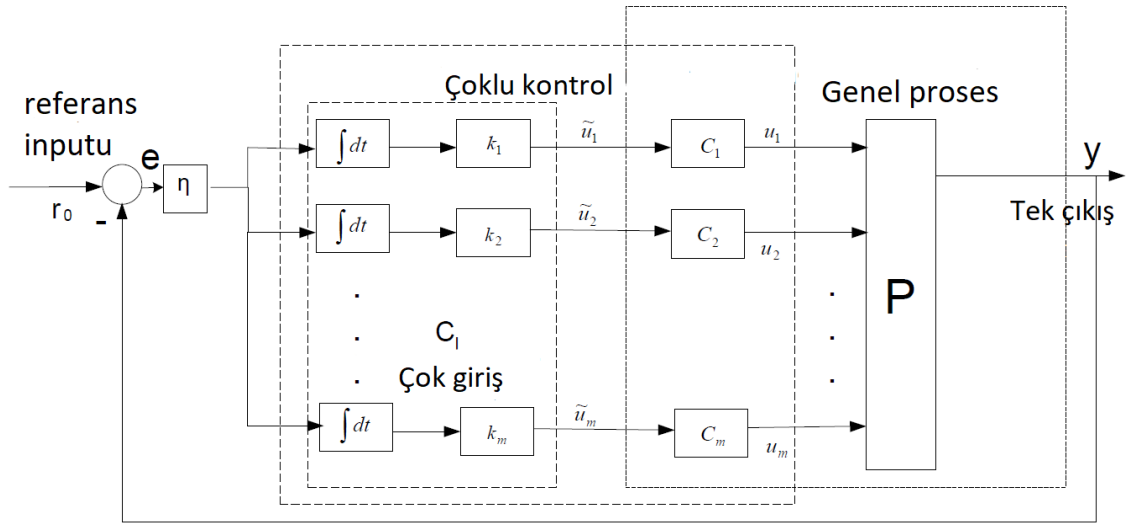
Gerçek mühendislik süreçleri her zaman fiziksel sınırlamalardan oluşmaktadır. Ve bu nedenle sınırlı kontrol aralığına sahiptir. Birden fazla girdiyi aynı anda kontrol ederek, süreçlerin kontrol aralığı genişletilebilir. İkinci olarak çoklu girişler, sistem içindeki aktüatörün maksimum kazancını ve buna bağlı olarak verimini arttırabilir.



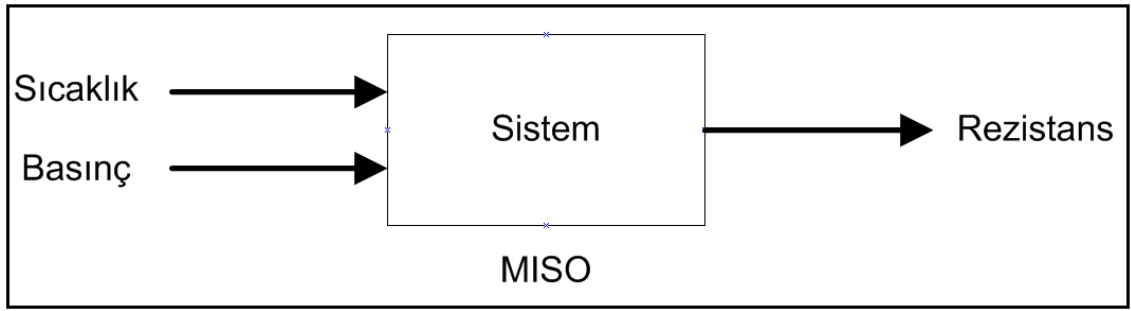
Şekil 3.1 Çift giriş tek çıkış model

Bazı mühendislik uygulamalarında, MISO süreçleri genellikle fazla kontrol girdileri atılarak tek girişli ve tek çıkışlı (SISO) sistemleri olarak basitleştirilmektedir. Buna bağlı olarak atılan girdilerin hata paylarının da ortadan kalkmasıyla sistem modeli çıkışının doğruluğu önemli ölçüde düşebilir. Şekil 3.1’de çift giriş tek çıkış modeline sahip açık çevrim sistemi gösterilmiştir (Zang vd., 2012).

Isı ile işlem gerçekleştiren sistemlere kontrolü açısından bakıldığında, her ısı dağıtım sistemi en az MISO sistemi olarak düşünülmelidir. Bu tür sistemler geleneksel SISO sistemlerinden çok daha karmaşıktır. Bu da kontrol ve tasarım problemlerini arttırıp daha zor hale getirmektedir. İyi tasarlanmış kontrol sistemi birçok farklı gereksinimi karşılamalıdır. Örneğin düşük enerji tüketimi, verimli kapalı çevrim, sağlamalıdır. Bu nedenle, kontrol sisteminde bulunan multi input’ların seçimi ve sistem içindeki çalış algoritmaları çok dikkatli bir şekilde oluşturulmalıdır. MISO sistemlerinde bu seçim birçok farklı şekilde yapılabilmektedir. En kolay yol, bir girişin manipüle edici bir değişken olduğu ve diğerinin değerinin manuel olarak sabitlendiği, iyi bilinen tek döngülü kontrol sistemidir. Daha gelişmiş sistemlerde, tüm kontrol sisteminin verimliliğini arttırmak için iki yada daha fazla giriş sinyali birbirleriyle işbirliği yapmaktadır (Fratczak vd.,2017). Şekil 3.2’de kapalı çevrim ile kontrol edilen ve çok giriş tek çıkıştan oluşan örnek bir model gösterilmiştir (Zang vd., 2012).



Şekil 3.2 Çok girişli tek çıkışlı model



Şekil 3.3 Sistemin blok diyagramı

Şekil 3.3'te görülen diyagram, sistemin çalışma diyagramıdır. Bu diyagrama göre sistem içine giren basınç ve sıcaklığın etkisi rezistansın çalışmasını kontrol etmektedir. Sistem, çok giriş tek çıkışlı sistem (MISO) olarak tanımlanmaktadır. Böyle sistemlerin birden fazla girişi ve tek bir çıkışı vardır. Sistem kendi içinde çalışması halinde basınç bağımsız değişken olarak, sıcaklık ise bağımlı değişken olarak tanımlanmaktadır. Basıncın değişmesi sistem içindeki sıcaklığı doğrudan etkilemektedir. Teorik olarak değişken sıcaklık kapalı tüp içindeki basıncı etkilese de bu çalışmada ki sıcaklık değerleri düşük olduğundan basınca etkisi görmezden gelinebilir.

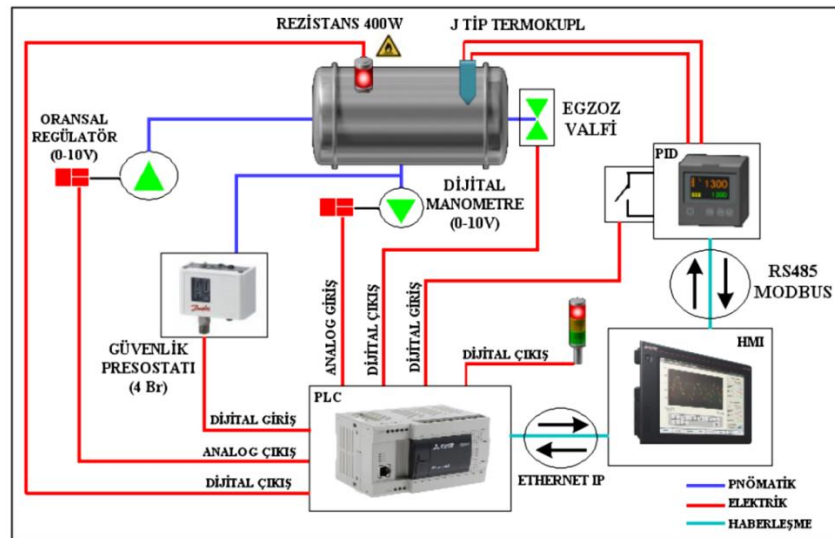
3.4. Deney Düzenegi

Hiperbarik basınç tüpü 0.028 m³lük bir hacimden oluşmaktadır. Tüpün yapımında 2 mm kalınlığında AISI 304 paslanmaz çelik kullanılmış olup dış ortam ile ısı transferi olmaması için yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Emniyet basıncı maksimum 4 bar olacak şekilde sistemde 1 adet Danfoss marka basınç presostatı vardır. Basınçlandırmak için 1 adet FESTO oransal regülatör (0-10 V), hava tahliyesi için de 1 adet manuel ayarlanabilir egzozu sahip FESTO marka valf kullanılmıştır. Sistemde sıcaklığın kontrolü için 400W rezistans, algılanması için de kendisine J tipi termokupl bağlanan PID termostatı, basıncın algılanması için de 1 adet çalışma basıncını gösteren aynı zamanda 4-20 mA analog değer veren basınç sensörü kullanılmıştır. Kontrolör olarak Mitsubishi FX3GE PLC ve değerlerin izlenebilmesi ve kontrol edilmesi içinde gene Mitsubishi marka GS21 serisi ekran seçilmiştir. Sistem çalışma esnasında uyarı vermek amacıyla 3 renge sahip lamba kullanılmıştır. Acil durum olması durumunda 1 adet acil stop butonu da sistemde bulunmaktadır. Rezistansın çalışması için devrede güç ünitesi ve anahtarlanması için kontaktör, tüm elektrik panosunun kontrolü için de 6A çift kontak sigorta bulunmaktadır.

Sistem ekran üzerinden başlama komutu verilmesi ile başlamaktadır. İlk başlama komutu ile tüp içinde bulunan havanın sıcaklığı 25 °C'ye kadar çıkartılmaktadır. Eğer tüpün içindeki sıcaklık 25 °C'den fazla ise 25 °C'ye düşürülene kadar tüp içindeki havanın süpürülmesi işlemi yapılmaktadır. İstenilen sıcaklığa erişildikten sonra 15 dk'lık dalış boyunca tüp içindeki basınç 2,5 bara kadar çıkmaktadır. 15 dk'lık dalış olarak tabir edilen sürenin sonunda 5 dk'lık dinlenme süreci başlamaktadır. Bu 5 dk'lık dinlenme sürecinde iç basınç 2,5 bar ve 25 °C de sabit tutulmaya çalışılmaktadır. 20. dk'dan itibaren de tekrar 15 dk boyunca ortam basıncına dönmesi yani çıkış süreci başlamaktadır. İşlem süresi 15 dk + 5 dk + 15 dk olmak kaydıyla toplam 35 dk sürmektedir. Basınçlandırma işlemi başlamadan önce tüp içindeki havanın ısıtılması yada süpürülmesi işlemi esnasında lamba yeşil ışık vererek sistemin hazırlandığı bilgisini vermektedir. Basınçlandırma başladığında lamba sarı ışığa geçmektedir. Yazılımsal olarak takip edilen iç basınç 2,7 barı geçmesi durumunda kırmızı ışıkla korna çalarak sistem alarm vermektedir. Toplam işlem süresi boyunca 25 °C sıcaklık korunmaya çalışılmıştır. Dış ortamın 25 °C'den yüksek olması durumunda iç ortam

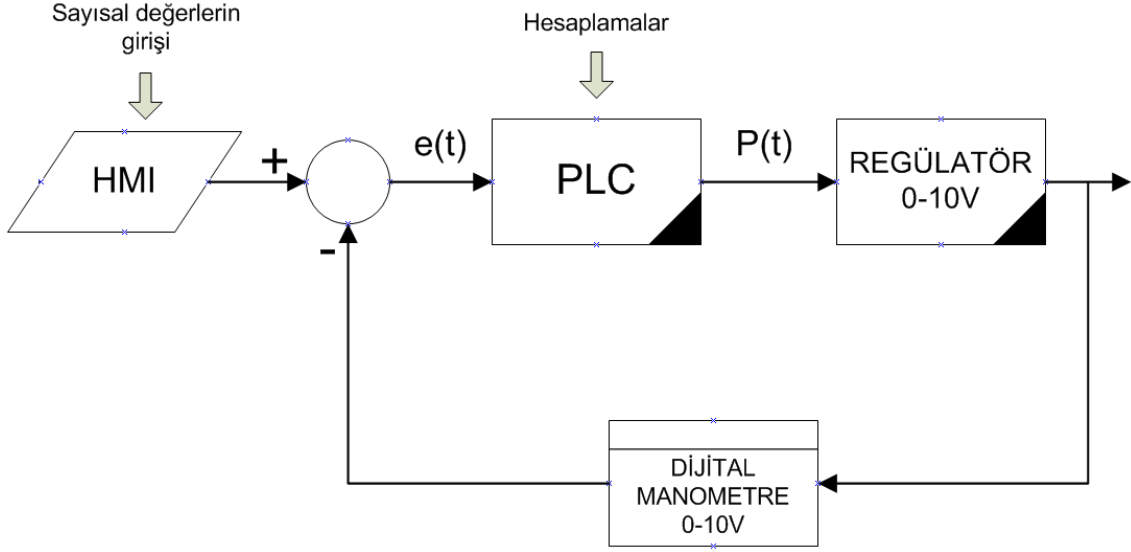
soğutulurak 25 °C'ye indirilmiş ardından basınçlandırılma işlemi başlamaktadır. Ekran üzerinden olması gereken basınç-zaman ve sıcaklık-zaman grafikleri izlenmektedir.

Prototipin haberleşme, elektrik ve pnömatrik bağlantı şeması Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu şemaya göre pnömatrik bağlantılar mavi, elektriksel bağlantılar kırmızı ve haberleşme bağlantıları turkuaz rengindedir. PLC ile HMI arasındaki haberleşme Ethernet IP ile sağlanmıştır. HMI ile PID termostatı arasındaki bağlantı protokolü Modbus'tur. PLC'ye gelen analog veri, dijital manometreden 0-10V şeklindedir. Ve sistemin basınçlandırma işleminin kapalı çevrimi manometreden gelen bu bilgiye göre yapılmaktadır. PLC'den çıkan analog çıkış ise oransal regülatörü kontrol etmektedir. Regülatör, PLC kontrolünde tüp içindeki basıncın ayarlanmasını sağlamaktadır. Basınçlandırma, saniyede bir olacak şekilde arttırılmakta ya da azaltılmakta, grafiklerin oluşturulması için gereken veride saniyede bir olarak alınmaktadır. Hem regülatör hem de dijital manometre üstünde dijital gösterge bulunmaktadır. Bu display'ler aracılığıyla tüp içindeki basınç izlenebilmektedir. Yalnız regülatör ve manometre göstergeleri arasında sürekli sabit kalacak şekilde bir basınç farkı vardır. Bu basınç farkı da egzoz valfinin sürekli açık olmasından dolayı hava akışı sağlanmasından kaynaklanmaktadır. Egzoz valfi basınçlandırma başladıktan sonra sürekli açık kalmaktadır. Basınçlandırma esnasında egzoz valfi sayesinde tüpün girişinden çıkışına doğru hava akışı sağlanmaktadır. Bu akış tüp içindeki basınçlı havanın soğutulmasını sağlamaktadır.



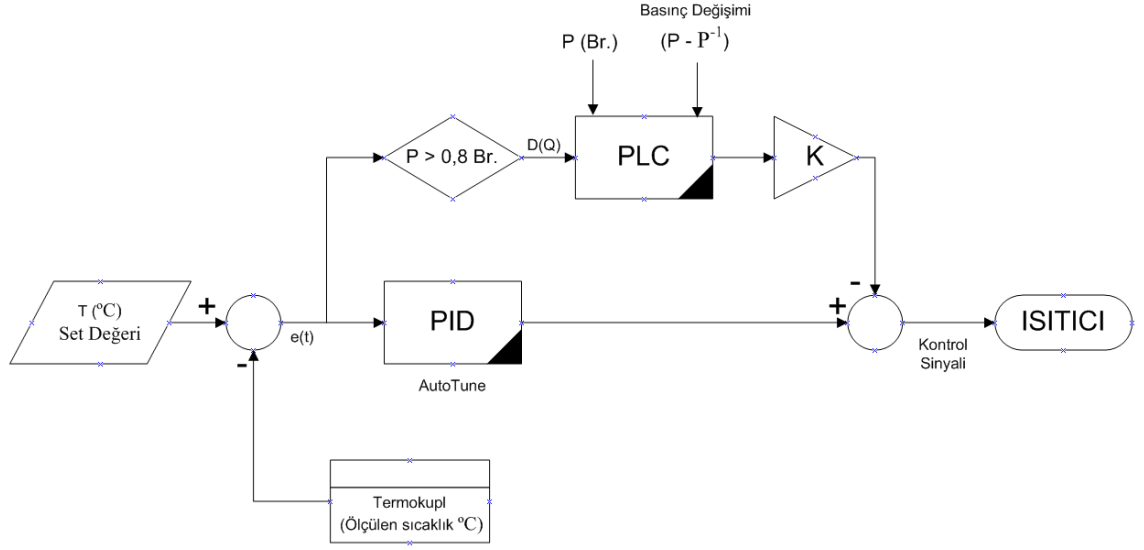
Şekil 3.4 Prototipin elektrik pnömatrik ve haberleşme bağlantı şeması

Prototipin pnömatik kontrol modeli Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Bu modele göre prototip çalıştırılmadan önce HMI aracılığıyla sayısal veriler alınmaktadır. Bu verilere göre PLC kendi içinde bulunan yazılımı çalıştırarak regülatöre analog veri göndermektedir. Basınçlandırmanın kontrolü ise dijital manometre sayesinde saniye başı izlenmektedir.



Şekil 3.5 Prototipin pnömatik kontrol modeli

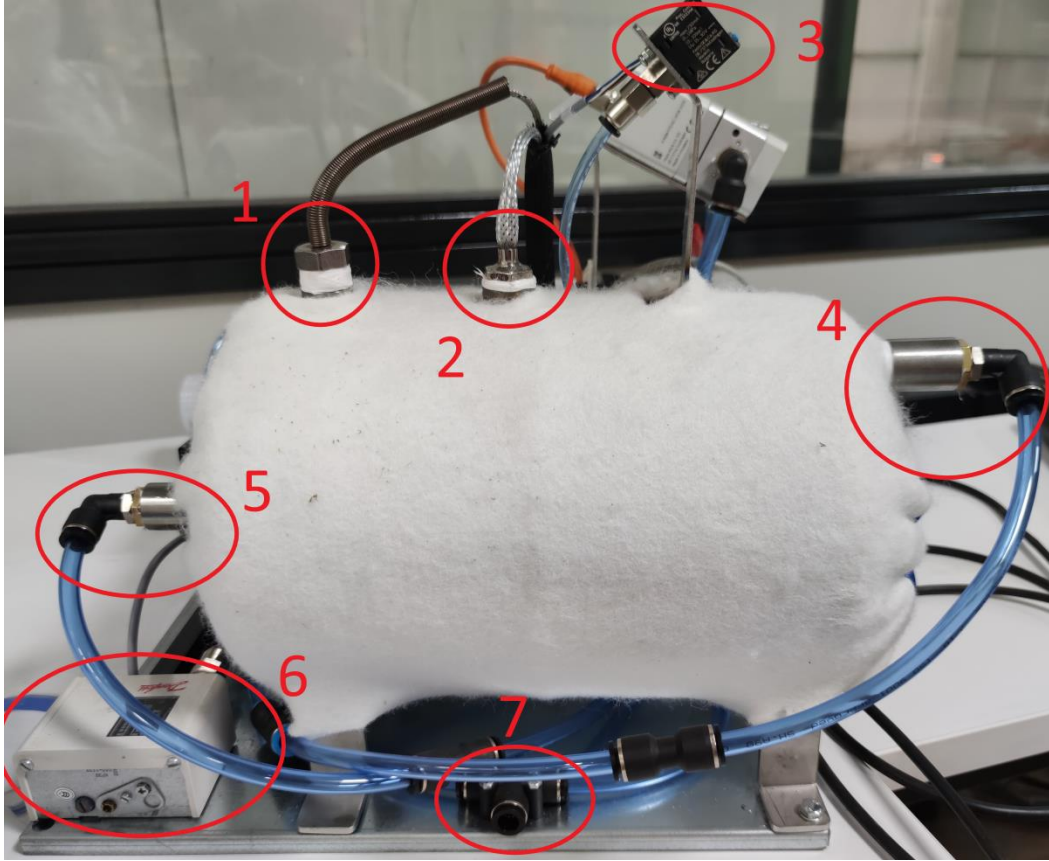
Prototipin sıcaklık kontrol modeli Şekil 3.6'te gösterilmiştir. Bu modele göre sıcaklık hem PID termostatı tarafından hem de PLC tarafından yazılım ile kontrol edilmektedir. PLC tarafından sıcaklık kontrol şartı sistem içi basıncın 0,8 bardan fazla olması istenmektedir. Çünkü düşük basınçta sistem içinde PLC tarafından kontrol edilmesi, sistem sıcaklığını bozucu etki olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun engellenmesi için sistem basıncın sınır basınç değeri olan 0,8 barı aşması gerekmektedir. Sistem içindeki sıcaklık termokupl ile analog olarak (0-10V) sürekli ölçülmektedir. Bu ölçülen değere göre PLC içinde bulunun yazılım, gerekli zaman ve şartla çıkış sağlayarak ısıtıcıyı etkinleştirmektedir. Böylece sistem içindeki sıcaklık sürekli istenilen seviyede tutulmaktadır.



Şekil 3.6 Prototipin sıcaklık kontrol modeli

Deney düzeneği kabaca iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım kontrol panosu, ikinci kısım basınçlandırmanın yapıldığı ve basınçlandırmaya yardımcı elemanların bulunduğu kısımdır. Şekil 3.7’te düzeneğin yandan görüntüsü yer almaktadır. Bu şekle göre 1 numara, basınçlandırma tüpünün J tip termokupludur. Basınçlandırma tüpünün içindeki sıcaklık bu termokupl sayesinde algılanmakta ve buna göre sıcaklık değerlendirmesi yapılmaktadır. 2 numara basınçlandırma tüpünün içine doğru monte edilmiş parmak şeklinde 400 W rezistanstır. Rezistans, 220 V ile çalışmakta ve kontrolü PID termostatı ile PLC tarafından kontaktör aracılığıyla sağlanmaktadır. 3 numara, tüp içindeki havanın basıncını ölçmeye yarayan dijital manometredir. Manometre 0-10V analog çıkış vermektedir. Bu çıkış PLC tarafından algılanmakta ve basınçlandırma yazılımında kullanılmaktadır. Ayrıca manometrenin üstünde bulunan mavi ekran ile mevcut basınç bar cinsinden de görülmektedir. 4 numara tüp içine giren havanın yeridir. Regülatörden çıkan hortum 4 numaradan tüpe girmektedir. Böylece hava akışı 4 numaradan 5 numaraya doğru sağlanmaktadır. Fakat 5 numaranın kontrolü egzoz valfi tarafından kontrol edilmektedir. Egzoz valfi PLC tarafından kontrol edilmektedir ve basınçlandırma başladıktan itibaren sürekli açık tutulmaktadır. 6 numara emniyet presostatıdır. Presostat, mekanik olarak 4 bara ayarlanmıştır. Tüp içindeki hava 4 bara ulaşması halinde PLC’ye dijital çıkış göndermektedir. Bunun üstünde PLC acil duruma geçerek derhal boşaltma evresine geçmektedir. 7 numara hava girişidir. Dışardan harici

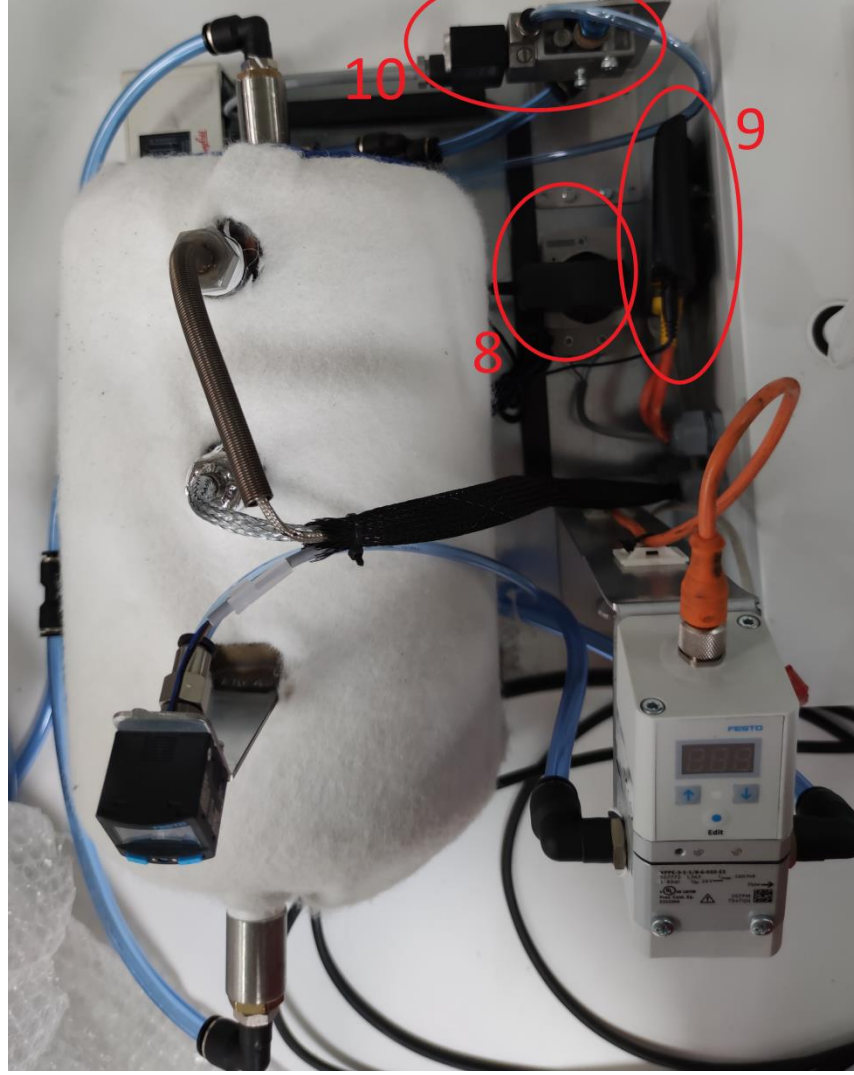
bir kompresörden 8 bar basınç ve 12 °C'lik sıcaklık ile gelmektedir. Gelen bu hava T bağlantı elemanı ile 2 kola ayrılmaktadır. Bir kol regülatörün girişine giderken diğer bir kol egzoz valfinin pilot valfine gitmektedir.



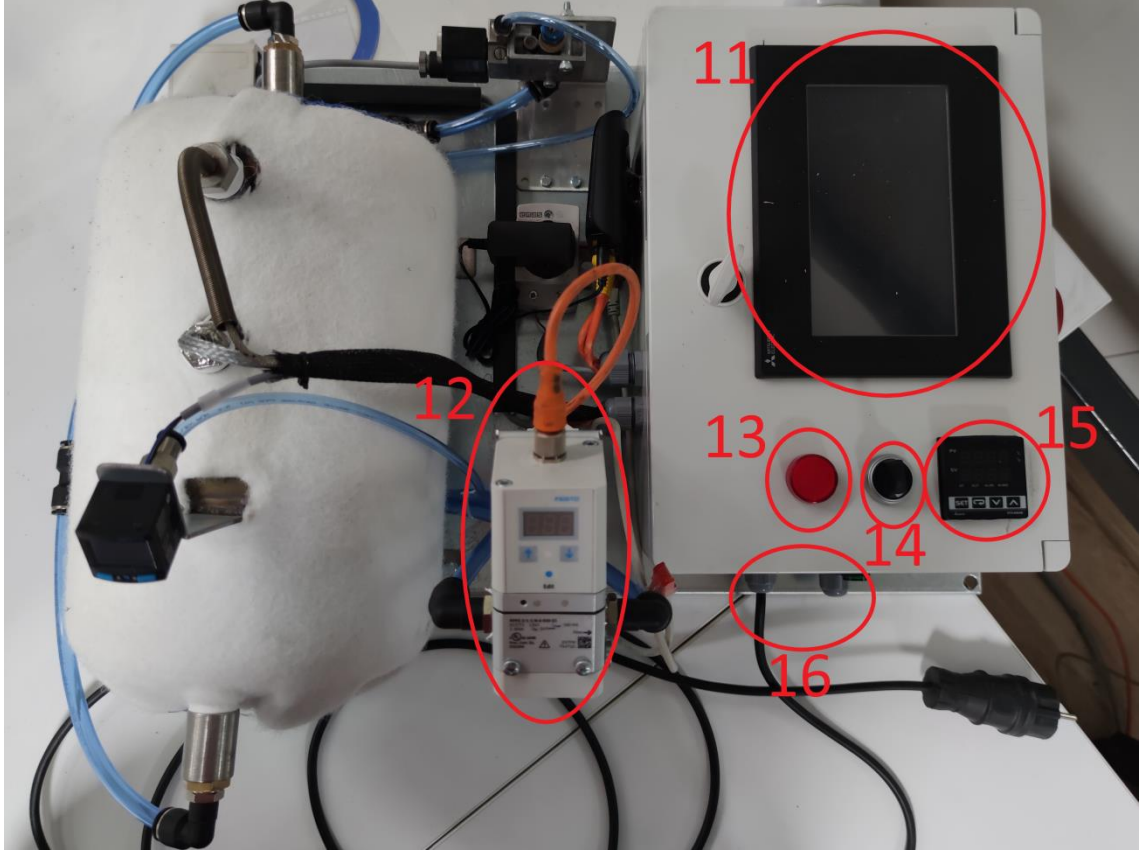
Şekil 3.7 Deney düzeneğinin yandan görüntüsü

Şekil 3.8, deney düzeneğinin üstten görüntüsüdür. Panonun yan tarafından bulunan basınçlandırma tüpü ve bu tüpün çalışmasını kontrol eden elemanlar bulunmaktadır. Bu şekle göre 8 numarada priz bulunmaktadır. Priz haberleşme için eklenen ve 9 numarada bulunan Ethernet Switch'tir. 5 kanallı destekleyen Switch Hub'a giren Ethernet kablolarından biri PLC'ye, biri ekrana biri de dışardan bağlanacak bilgisayara gitmektedir. 10 numarada egzoz valfi bulunmaktadır. Egzoz valfine üstten giren pnömomatik hortum pilot valfi kontrol etmektedir. Egzoz valfin kontrolü de dijital çıkış olarak PLC tarafından yapılmaktadır. Basınçlandırma başladıktan sonra PLC

egzoz valfini otomatik olarak açmaktadır. Pilot valfli bir egzoz valfinin kullanılmasının sebebi çok küçük basınçlarda da valfin sürekli açık kalmasını sağlamaktır.



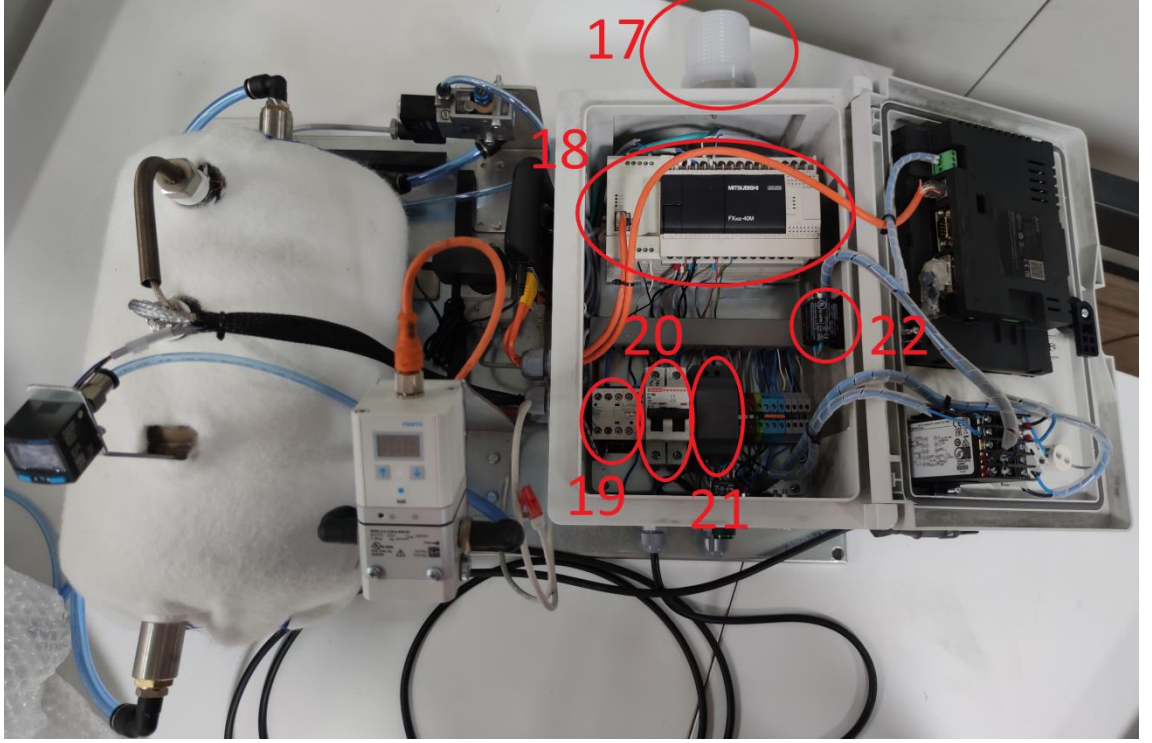
Şekil 3.8 Deney düzeneğinin basınç tüpü bölümünün üstten görüntüsü



Şekil 3.9 Deney düzeneğinin tamamının üstten görüntüsü

Şekil 3.9’da tüm deney düzeneğinin üstten görüntüsü yer almaktadır. Bu şekle göre 11 numara pano kutusu üstünde bulunan kontrol ekranıdır. Bu ekran sayesinde basınçlandırma işlemi için gerekli olan tüm bilgiler kullanıcı tarafından girilmektedir. Ayrıca bu ekrandan çalışma esnasında düzeneğin sıcaklık, basınç ve zaman değerleri izlenebilmektedir. 12 numara oransal regülatördür. Oransal regülatör aracılığıyla tüp içine giren hava basıncı PLC tarafından 0-10V şeklinde kontrol edilmektedir. Regülatörün hava girişi, sistemin ana girişinden gelmektedir. Çıkışı ise doğrudan tüpün girişine gitmektedir. 13 numara düzenek panosunun elektrik olup olmamasını kontrol eden 220V lambadır. Pano içerisine elektrik geldiği zaman lamba yanmaktadır. 14 numara sisteme elektrik enerjisini sağlayan ON/OFF anahtardır. Anahtar çevrildiğinde sistem panosuna elektrik gelmektedir. 15 numara tüp içerisindeki havanın sıcaklığını kontrol etmesine yardımcı olan ve aynı zamanda içindeki sıcaklığı dijital olarak ekranı üstünde gösteren PID termostatıdır. PID termostatı aynı zamanda ekran ile MODBUS

ile haberleşmekte, PLC'ye de dijital çıkış göndermektedir. Tüpün içinden gelen J tip termokupllar da gene PID termostatına girmektedir.



Şekil 3.10 Deney düzeneğinin panosu açık şekilde üstten görüntüsü

Şekil 3.10'de deney düzeneğinin panosu açık şekilde üstten görüntüsü gösterilmiştir. 17 numara sinyal lambası olup 24V ile çalışmaktadır. Sinyal lambası üç renk vermektedir. Yeşil renk verdiğinde sistem henüz çalışmaya başlamamış ama başlamaya hazır şekilde beklediğini ifade eder. Sarı renk yandığında tüp içindeki basınçlandırma başlamıştır ve ekran üzerinden girilen süreler boyunca sarı ışık verecektir. Kırmızı ışık yandığında sistem acil duruma geçmiştir. Acil stopa basıldığında yada presostattan sinyal geldiğinde kırmızı ışık yanar acil boşaltma durumuna geçer ve ekran üzerinden uyarı yayınlanır. 18 numara sistemin kontrolünü sağlayan Mitsubishi marka FX3GE PLC'dir. Tüm dijital yada analog giriş çıkışlar bu PLC üzerinden yapılmaktadır. Tüp içerisindeki havanın sıcaklığı basıncı gene PLC tarafında bulunan yazılım ile kontrol edilmektedir. 19 numara rezistans kontaktörüdür. Kontaktör 24V ile çalışmakta ve kontrolü PLC tarafından sağlanmaktadır. 20 numara 6A sigortadır. Tüm elektrik

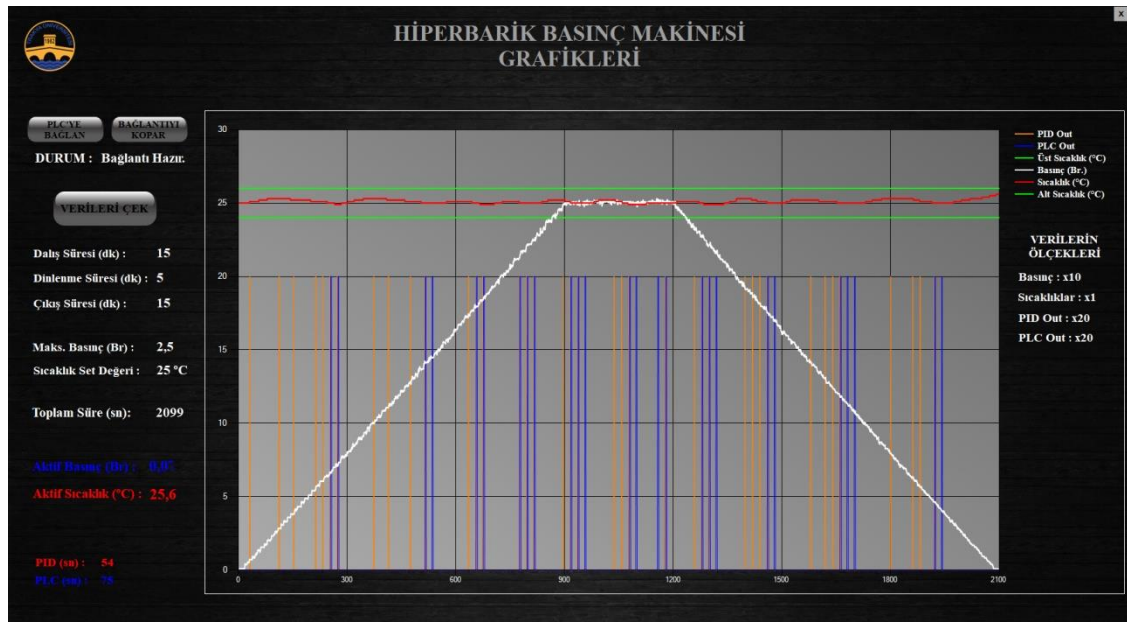
kompanentlerin enerji beslemeleri bu sigorta üzerinden geçmektedir. 21 numara, 220V-24V trafodur. Dışardan gelen 220V elektriği 24V ile çalışan kompanentlerin beslemesi için düşürmektedir. 22 numara acil stop'dur. Acil stopun mantar kısmı panonun sağ tarafında bulunmaktadır. Kapalı kontak olarak acil stop devresinin girişi PLC'ye gitmektedir. Harici bir güvenlik rölesi kullanılmamıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL UYGULAMA

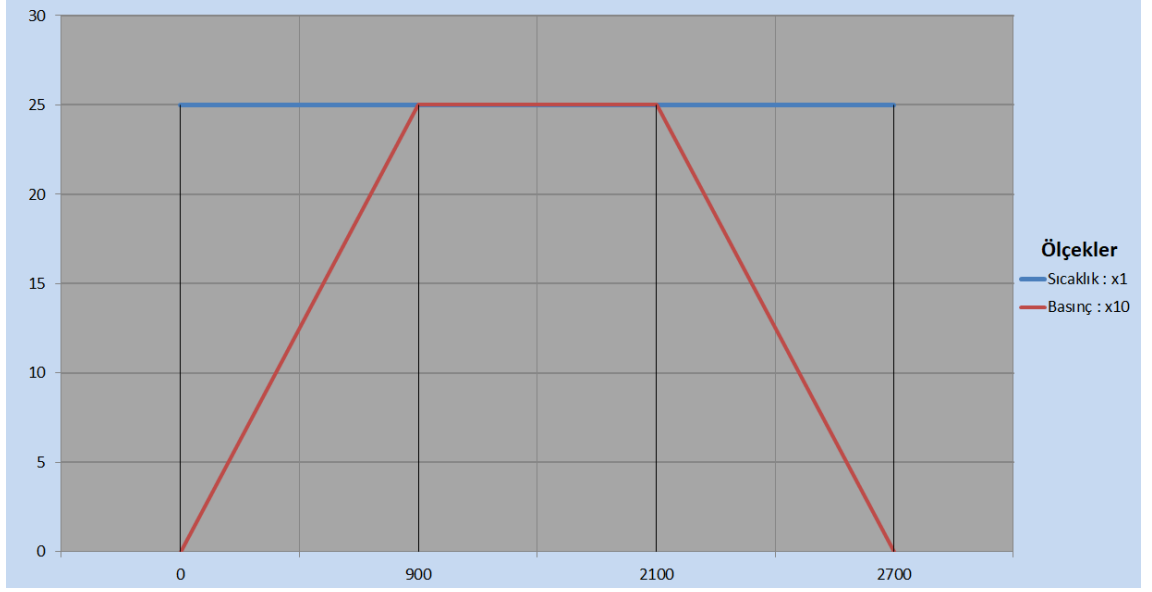
Projenin sonunda gerçekleştirilen prototip, çok girişli tek çıkışlı bir sistemdir. Girişlerden biri basınçlandırma diğeri ise sıcaklıktır. Bu iki girişte zamana bağılı olarak değişmektedir. Fakat sistem çalışma sıcaklığı düşük olduğundan dolayı değişken sıcaklığın basınca etkisi görmezden gelinebilir. Fakat değişken basınç sıcaklığı doğrudan etkilemektedir. Bu durumda sıcaklığın kontrolü rezistansla birlikte basınçlandırmaya da bağılı olarak zamana göre değişmektedir. Prototip üstünde ilk denemelerde sıcaklığın kontrolü tamamen oransal-integral-türevsel kontrol termostatu (PID) tarafından kontrol edilmiştir. Fakat bu denemelerin sonucunda sadece PID termostatu tarafından sıcaklık kontrolü yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Çünkü donanımsal PID termostatının, istenilen sıcaklık için basınçlandırma olmadan autotuning yaparak elde ettiği PID değerleri, basınçlandırma aktif olduğunda yetersiz kalmıştır ve basınçlandırma sisteme dahil edildiğinde sistemde istenilen sıcaklıkta sapmalar meydana gelmiştir. Buna bağılı olarak donanımsal PID termostatu ile sıcaklığı kontrol edecek yazılımsal bir algoritma oluşturulmuştur. Bunun sonucunda basınçlandırmanın yarattığı hatalar, yazılım destekli kontrol ile ortadan kaldırılması istenilmiştir. Sonuçta sıcaklık hem PID termostatu hem de yazılım ile birlikte kontrol edilip en doğru sonuçlar alınmıştır. Fakat tüm bu değişkenlerin zamana göre birbirlerine olan etkisi daha iyi ortaya konması için 4 farklı deneysel gözlemlerde sonuçlar incelenmiştir. Bu deneysel gözlemlerden elde edilen veriler C# programında yazılmış bir uygulama ile alınmıştır. Bu uygulama sayesinde sistem PLC ile haberleştirilmiş ve

çalışması esnasında saniye başına verileri TXT olarak kaydetmiştir. Daha sonra kaydedilen bu verilerden grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca uygulamanın 4. deneyinin sonundaki örnek resmi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Uygulama, her deneme başında çalıştırılmış ve anlık olarak çalışması esnasında veri almaya ve görsel olarak anlatmaya dayalıdır. Sistem üzerindeki ekranda bulunan veriler bu uygulamada da gösterilmiştir.



Şekil 4.1 C# programında hazırlanan uygulamanın arayüzü

Şekil 4.2’de görülen grafikte sistemin çalışma süreci boyunca ideal sıcaklık ve basınç değerleri görülmektedir. Buna bakılarak 0-900 saniyelik ilk periyot, 900 ve 2100 saniyeleri arasında kalan süre ikinci periyot ve 2100-2700 saniyeleri arasında kalan süre de üçüncü periyot olarak görülmektedir. İlk 900 saniyede yani çıkış periyodunda basınç ideal olarak 2,5 bara kadar stabil bir şekilde artmaktadır. Başlangıç sıcaklığı 25 °C süreç boyunca aynı tutulması istenmektedir. İkinci periyot yani dinlenme evresinde basınç 2,5 barda sabittir. Son periyot yani çıkış sürecinde basınç 2,5 bardan 0 bara kadar ideal şekilde azalmaktadır. Bu grafik tüm sistemin başından sonuna dek çalışması esnasında ideal olarak gösterilmiştir. Çalışma boyunca elde edilmesi beklenen veriler bu ideal grafiğe göre gerçekleşmektedir.

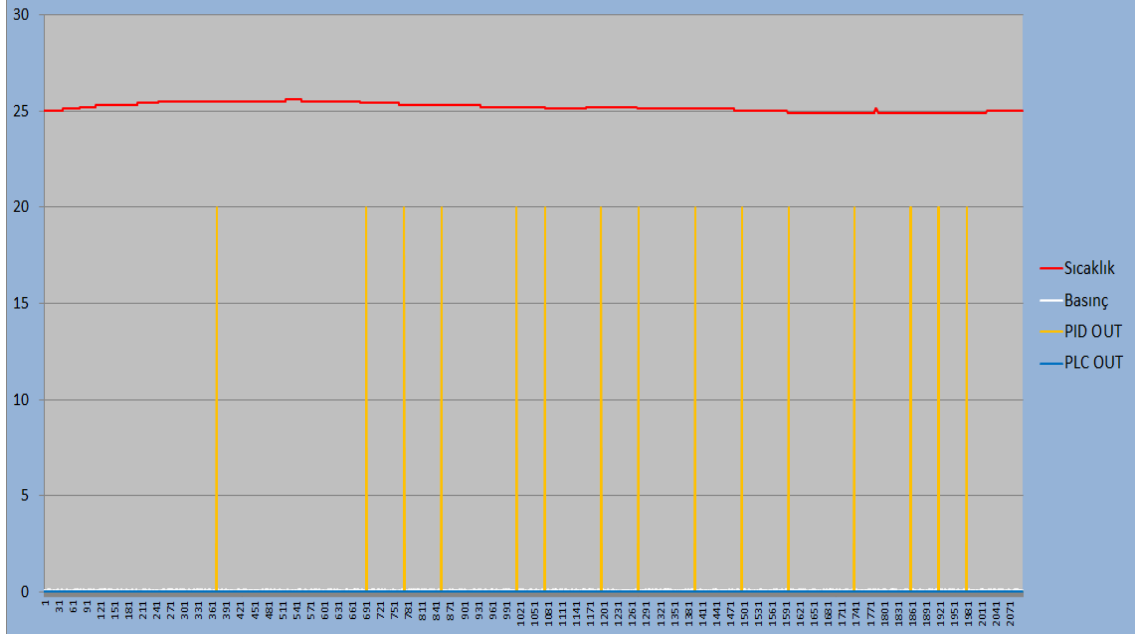


Şekil 4.2 Sistemdeki ideal basınç ve sıcaklık değerleri

4.1. Basınçlandırma Olmadan Sıcaklık Kontrolünün Sadece PID Termostatı İle

Yapılması

Birinci deneyde belirlenen süre boyunca basınçlandırma yapılmamış fakat sıcaklık (25 °C), hem donanımsal PID termostatı, hem de yazılım ile kontrol edilip sabit tutulmaya çalışılmıştır. Ve sonuçlar Şekil 4.3'de bulunan grafiğe dökülmüştür. Bu şekilde bakılarak basınçlandırma olmadan sistem sıcaklığının küçük sapmalar dışında sabit olduğu görülmektedir. Böylece bir sonra deneylerde basıncın sıcaklık üstündeki gözle görülür etkisi ortaya çıkmış olacaktır. Ayrıca yazılım kontrolünde hiçbir çıkış görülmemektedir. Bu sebeple sistem, yazılımdan kontrol desteği almamış sadece donanımsal olarak kontrol edilmiştir. Son olarak grafik üzerindeki sıcaklık değerlerinin ortalaması 25,18 °C'dir. Bu değerler elde edilirken maksimum olarak 25,6 °C minimum olarak da 24,9 °C'yi görmüştür.

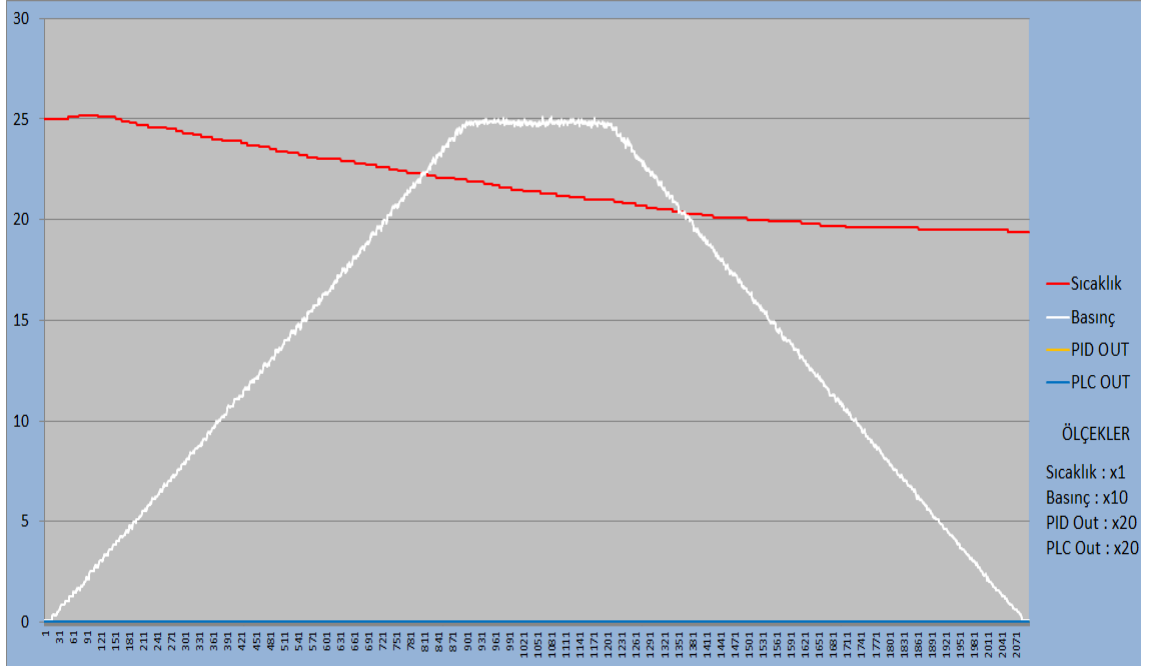


Şekil 4.3 Basınçlandırma olmadan sıcaklık kontrolünün sadece PID termostatu ile yapılması esnasında elde edilen verilerin grafiği

4.2. Basınçlandırma Kontrol Edilirken Hiçbir Sıcaklık Kontrolünün Yapılmaması

İkinci deneyde sistemin çalıştırılması istenilen sıcaklıkta başlatılmış (25 °C), basınçlandırma yapılmış fakat süreç boyunca sıcaklık kontrolü yazılımsal ve donanımsal kontrol edilmemiştir. Bu durumda sıcaklık kontrolü olmadan basıncın sistem sıcaklığı üstündeki etkisi gözlemlenmiştir. Sonuç verileri Şekil 4.4'te bulunan grafiğe dökülmüştür. Bu grafiğe göre sıcaklık, hedeflenen sıcaklıktan (25 °C) 5°C kadar sapmıştır. Bu sapma sıcaklık kontrolünde donanımsal ve yazılımsal kontrolün önemini ortaya koymuştur. Sayısal olarak ifade etmek gerekirse grafik üzerindeki sıcaklıkların ortalaması 21,73 °C' dir. Bu veriler elde edilirken sistem maksimum olarak 25,2 °C minimum olarak da 19,4 °C'yi görmüştür.

Basınçlandırma sıcaklıktan bağımsız olarak hedeflenen ölçekte düzeyini her zaman korumuştur fakat bu durum sıcaklık için geçerli değildir. Böyle bir durumda basıncın tepe değerine bağlı olarak sıcaklık sapması çok daha fazla görülecektir. Bunun engellenmesi için sıcaklığında ayrıca kontrol edilmesi gerektiği Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4 Basınçlandırma kontrol edilirken hiçbir sıcaklık kontrolünün yapılmadığı deneyde elde edilen verilerin grafiği

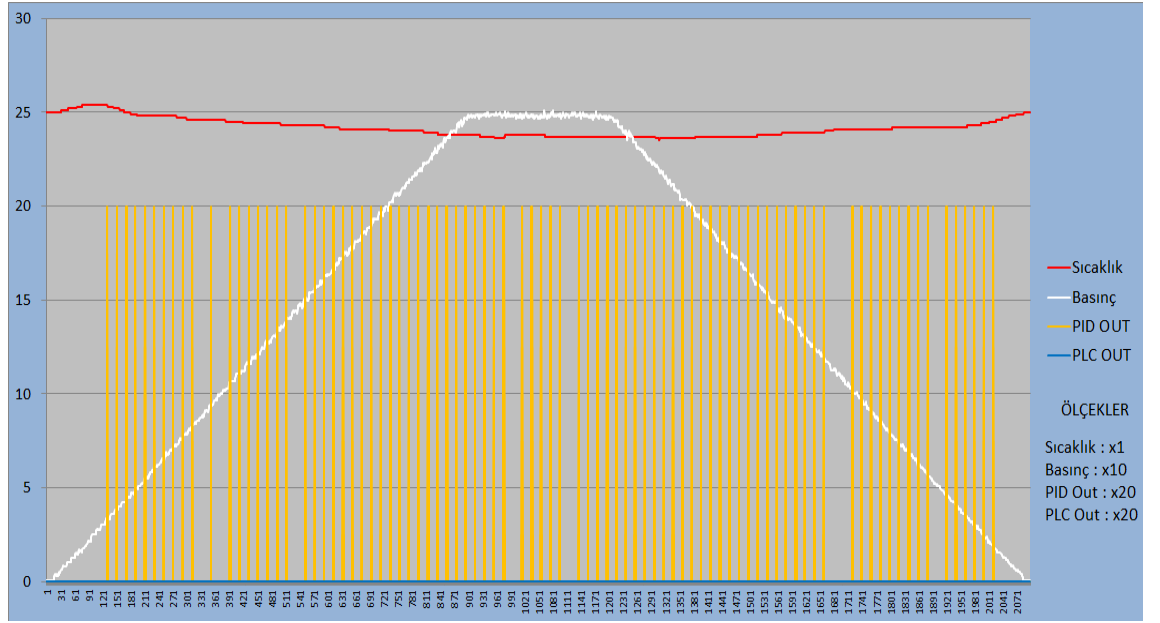
4.3. Basınçlandırma Kontrolü Yapılırken Sıcaklık Kontrolünün Sadece PID

Termostatı İle Yapılması

Üçüncü deneyde sistem gene istenilen sıcaklıkta başlatılmış (25 °C), basınçlandırma yapılmış fakat sıcaklık kontrolü sadece donanımsal PID termostatı ile kontrol edilmiştir. Böylece yazılım desteği olmadan basınçlandırmanın sıcaklık üstesinde etkisi incelenmiştir. Termostatın PID katsayılarını belirlemesi, autotuning işlemi ile gerçekleşmiştir. Bu işlem 15 °C ortam sıcaklığında ve atmosfer basıncında yapılmıştır. Autotuning işlemi esnasında herhangi bir basınçlandırma yapılmamıştır.

Sonuç verileri Şekil 4.5'te bulunan grafiğe dökülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak, yazılım destekli bir kontrolün sistem içindeki önemi görülmektedir. PID termostatı çıkışlarının sıklığı Şekil 4.5'te gözükmektedir. Sistem sıcaklığı her sapma aşamasında donanım sistem sıcaklığını tekrar tekrar kontrol etmeye çalıştığı gözükmektedir. Grafik üzerindeki sıcaklıkların ortalaması 24,17 °C'dir. Bu veriler elde edilirken sistem maksimum olarak 25,4 °C minimum olarak da 23,5 °C'yi görmüştür.

Sistem içindeki donanımların çalışma şartlarına bağlı olarak yetersiz kaldığı durumlarda sistemin çalışması, yazılım tarafından da desteklenmelidir. Bu, sistem içindeki hataların tolere edilmesini sağlayabildiği gibi yersiz kullanımlarda da hatalara sebep olabilir. En doğru sonuçların sağlanabilmesi için sisteme yeterli veya gerekli olduğu kadar yazılımsal kontrol desteği sağlanmalıdır. Aksi durumlarda sapmalar ciddi şekilde artabilir.



Şekil 4.5 Basınçlandırma kontrolü yapılırken sıcaklık kontrolünün sadece PID termostadı ile yapılması esnasında elde edilen verilerin grafiği

4.4. Basınçlandırma Kontrolü Yapılırken Sıcaklık Kontrolünün Hem PID

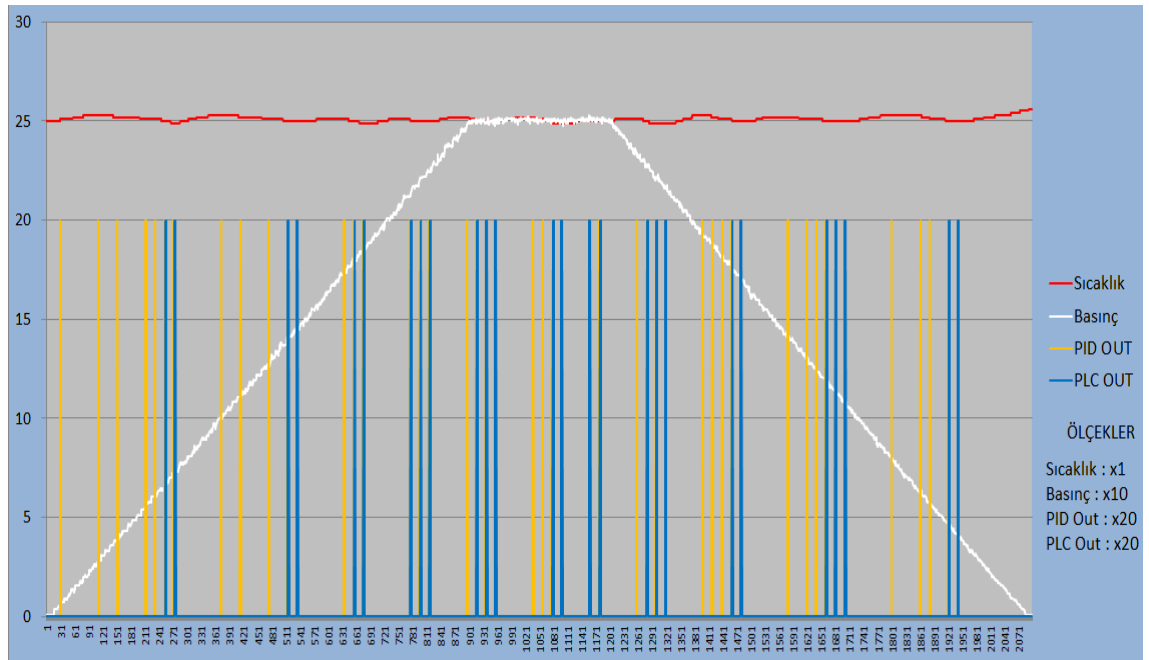
Termostadı Hem de PLC İle Yapılması

Dördüncü ve son deneyde basınçlandırılma yapılmış ve sıcaklık kontrolü hem donanımsal PID termostadı hem de yazılım destekli olarak PLC ile kontrol edilmiştir. Böylece çok girişli tek çıkışlı bir model uygulanarak en doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar da Şekil 4.6'te bulunan grafiğe dökülüp incelenmiştir. Tüm bu grafiklere bakılarak sıcaklık kontrolünde kullanılan donanımsal PID termostadı ile yazılımsal kontrolün sistem üstündeki etkileri ortaya konmuştur. Grafik üzerindeki sıcaklıkların

ortalaması

25,10 °C' dir. Bu veriler elde edilirken sistem maksimum olarak 25,5 °C minimum olarak da 24,9 °C'yi görmüştür.

Sonuç olarak böyle bir sistemin sıcaklık ve basınç kontrolü hem donanımsal hem de yazılımsal olarak PLC vasıtası ile kontrol edilmelidir. Aksi takdirde sistem istenilen sıcaklık yada basıncı sağlayamayacaktır.



Şekil 4.6 Basınçlandırma kontrolü yapılırken sıcaklık kontrolünün hem PID termostatu hem de PLC ile yapılması esnasında elde edilen verilerin grafiği

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yürütülen bu çalışma sonucunda konu ile ilgili literatür araştırması yapıp sistem prototiplenmiştir. Bu prototip, söz konusu hiperbarik ortamı temsilen oluşturulmuştur. Matematiksel hesaplamalar ve analizler bu prototipi baz alarak ortaya konmuştur. Tüm bu hesaplamalar ve analizler ışığında çeşitli denemeler yapılmış sonuçları grafikler halinde gösterilmiştir. Bu grafiklere bakılarak donanımsal kontrollerin bazı noktalarda yetersiz kaldığı ve böyle bir sistemin yazılımla desteklenerek kontrol edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Sistem çalışma durumunda iken zamana bağlı değişkenlerin (sıcaklık, basınç) birbirlerine olan bozucu etkileri gözlemlenmiştir. Bu bozucu etkileri ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek için PLC ve bilgisayar yazılımı yapıp sistem içindeki donanımlar ile bağdaştırılmıştır.

Sıcaklık kontrolünün hem PLC hem de donanımsal PID termostatı ile yapılan denemenin sonunda, sistemin çalışmasını düzenlemek için oluşturulan yazılım başarıyla çalışmıştır. Buna bağlı olarak sistem üzerindeki sıcaklık ortalaması 25,1 °C olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu denemede maksimum 25,5 °C, minimum 24,9 °C'dir. Böylece istenilen sıcaklık değerinden (25 °C) %2 kadar saparak çalışmıştır. Ortalamaya bakılırsa da sapma miktarı sadece %1'dir. Sıcaklığın sadece PID termostatı ile kontrol edilmesi deneyi ile PID termostatı ve PLC'nin aynı anda çalıştığı kontrol deneyi arasındaki rezistans çıkış süreleri birbirlerine çok yakındır. Bu durumda grafiklerden de görüleceği üzere PLC ve PID termostatının sıcaklığı aynı anda kontrol etmesi, sistemin daha verimli çalışmasını sağlamıştır.

Çok girişli ve tek çıkışlı modele sahip sistemler endüstriyel anlamda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tarz sistemler sensörlerden gelen bilgiler ile kontrol edilerek oluşturulmalıdır. Girişlerden birinin diğerleri üzerindeki etkileri parazit olarak etkileyebilir. Böyle durumları engellemek için tüm sistemin kapalı çevrim olarak kontrolü sürekli sağlanmalıdır.

Prototip içindeki havanın soğutulması giriş ve çıkış arasındaki sürekli hava akışıyla sağlanmıştır. Bu soğutma farklı metotlarla da oluşturulabilir. Örneğin tüp girişinden çıkışına doğru sarmal bir serpantin yapılarak içinden soğuk su geçirilebilir. Böylece sistem sıvı soğutmalı olarak karşımıza çıkacaktır. Durum böyle olunca tüm hesaplamalarda buna göre yapılmalıdır. Gerçek bir sistemde ise soğutma genellikle klimalar aracılığıyla yapılmaktadır. Ayrıca oluşturulan gerçek sistemler içindeki hastalarına oksijen takviyesi veren ünite bulunmaktadır. Fakat bu çalışma sistemi temsilen oluşturulduğu için bu ünite eklenmemiştir. Sistem içindeki ısıtma rezistans aracılığıyla yapılmıştır. Isının sağlanabilmesi için gene sıvı dolaştırılması ile sağlanabilir.

Kontrol için kullanılan PLC'ye alternatif olarak elektronik kart tasarlanabilir. Böyle bir kartın kullanılabilmesi için çalıştırılacak tüm sistemin ihtiyaçları hesaplanmalıdır. Aksi halde oluşturulan karta bağlanacak olan komponentler sonradan farklılık oluşturursa oluşturulan kart tasarımı yetersiz kalacaktır. Son olarak bu çalışmanın sonucunda oluşturulan prototip, enerji kesintilerine uygun değildir. Söz konusu sistemler insan sağlığına doğrudan etki ettiği için enerji kesintileri göz ardı edilmemelidir. Buna bağlı olarak sistemin sürekli enerji ihtiyacı için UPS bağlanabilir.

Sistem, PID termostatu ile basınç değerlerine bağlı olarak PID katsayılarının adaptif bir şekilde değiştirilmesi ile de kontrol edilebilir. Bu durumda sabit PID katsayıları yerine basınç değerlerine göre değişken PID katsayıları verilerek sistemin kontrolü farklı bir metotla kontrol edilmiş olur.

KAYNAKLAR

- Barrow G. M. (1985) *Químico-física*, 4a ed. Barcelona: Reverte.
- Bennett, M. H., Lehm, J. P., Mitchell, S. J., & Wasiak, J. (2012). Recompression and adjunctive therapy for decompression illness. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012(5), Cd005277. doi:10.1002/14651858.CD005277.pub3
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D. H., World Health Organization, O., & Environmental Health, T. (1999). Guidelines for community noise. In. Geneva: World Health Organization.
- Carmona, C., Alorda, B., Gracia, L., Perez-Vidal, C., & Salinas, A. (2017). A ZigBee-based wireless system for monitoring vital signs in hyperbaric chambers: Technical report. *Undersea Hyperb Med*, 44(3), 243-256. doi:10.22462/5.6.2017.5
- Clarke, D. (2008). Chapter 1 - History of Hyperbaric Therapy. In T. S. Neuman & S. R. Thom (Eds.), *Physiology and Medicine of Hyperbaric Oxygen Therapy* (pp. 3-23). Philadelphia: W.B. Saunders.
- Conkin, J., Gernhardt, M. L., Abercromby, A. E., & Feiveson, A. H. (2013). Probability of Hypobaric Decompression Sickness Including Extreme Exposures. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 84(7), 661-668. doi:10.3357/ase.3506.2013
- Çengel, Y.A., Boles. M.A. (2008) *Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla* 5. Baskı, (s.165-192, 910)
- D, Temple., Ball, R., Weathersby, P., Ec, P., & Ss, S. (1999). *Dive profiles and manifestations of decompression sickness cases after air and nitrogen oxygen dives*.
- EN14931 (2006) Pressure vessels for human occupancy (PVHO) - Multi-place pressure chamber systems for hyperbaric therapy - Performance, safety requirements and testing. European Committee for Standardization
- Eriksson, H., Andersson, E., Schiöler, L., Söderberg, M., Sjöström, M., Rosengren, A., & Torén, K. (2018). Longitudinal study of occupational noise exposure and joint effects with job strain and risk for coronary heart disease and stroke in Swedish men. *BMJ Open*, 8, e019160. doi:10.1136/bmjopen-2017-019160
- Fratczak, M., Nowak, P., Laszczyk, P., & Ieee. (2017, Aug 28-31). *Dynamical Aspects of Multi-Input Single-Output Control for Heat Distribution Processes: Case*

Study. Paper presented at the 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), Miedzyzdroje, POLAND.

- Gamow, R. I., Geer, G. D., Kasic, J. F., & Smith, H. M. (1990). Methods of gas-balance control to be used with a portable hyperbaric chamber in the treatment of high altitude illness. *Journal of Wilderness Medicine*, *1*(3), 165-180. doi:10.1580/0953-9859-1.3.165
- Gempp, E., & Blatteau, J.-E. (2010). Preconditioning Methods and Mechanisms for Preventing the Risk of Decompression Sickness in Scuba Divers: A Review. *Research in sports medicine (Print)*, *18*, 205-218. doi:10.1080/15438627.2010.490189
- Giancoli D. C. (2006) Física. Principios con aplicaciones. Mexico: Pearson Educacion.
- Gracia, L., Perez-Vidal, C., de Paco, J. M., & de Paco, L. M. (2018). Identification and control of a multiplace hyperbaric chamber. *Plos One*, *13*(8), e0200407-e0200407. doi:10.1371/journal.pone.0200407
- Hadanny, A., Fishlev, G., Bechor, Y., Bergan, J., Friedman, M., Maliar, A., & Efrati, S. (2015). Delayed Recompression for Decompression Sickness: Retrospective Analysis. *Plos One*, *10*, e0124919. doi:10.1371/journal.pone.0124919
- Houston, C. S. (1992). Mountain sickness. *Sci Am*, *267*(4), 58-62, 66. doi:10.1038/scientificamerican1092-58
- Howle, L. E., Weber, P. W., Hada, E. A., Vann, R. D., & Denoble, P. J. (2017). The probability and severity of decompression sickness. *Plos One*, *12*(3), 25. doi:10.1371/journal.pone.0172665
- Kasic, J. F., Yaron, M., Nicholas, R. A., Lickteig, J. A., & Roach, R. (1991). Treatment of acute mountain sickness: hyperbaric versus oxygen therapy. *Ann Emerg Med*, *20*(10), 1109-1112. doi:10.1016/s0196-0644(05)81385-x
- Kovacs, C. R. P. D. a. P., Trevor D. M.S. (2017). Effect of In-water SCUBA Diving Activities on Response Time in Recreational Divers. *International Journal of Aquatic Research and Education*, *10*(1). doi:https://doi.org/10.25035/ijare.10.01.02
- Mathieu, D., Marroni, A., & Kot, J. (2017). Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment. *Diving Hyperb Med*, *47*(1), 24-32. doi:10.28920/dhm47.1.24-32
- Mitchell, S., Doolette, D. J., Wacholz, C. J., & Vann, R. (2006). Management of mild or marginal decompression illness in remote locations workshop proceedings. [Final consensus statements, editorial notes and executive summary]. *Journal of the South Pacific Underwater Medicine Society*.

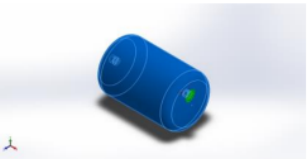
- Mitchell, S. J., Bennett, M. H., Bryson, P., Butler, F. K., Doolette, D. J., Holm, J. R., . . . Lafère, P. (2018). Consensus guideline: Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. *Undersea Hyperb Med*, 45(3), 273-286.
- Moon, R. E. (2009). Adjunctive therapy for decompression illness: a review and update. *Diving Hyperb Med*, 39(2), 81-87.
- Nakayama, H., Shibayama, M., Yamami, N., Togawa, S., Takahashi, M., & Mano, Y. (2003). Decompression sickness and recreational scuba divers. *Emergency Medicine Journal*, 20(4), 332-334. doi:10.1136/emj.20.4.332
- Ozyigit, T., Egi, S., Denoble, P., Balestra, C., Aydın, S., Vann, R., & Marroni, A. (2010). Decompression Illness Medically Reported by Hyperbaric Treatment Facilities: Cluster Analysis of 1929 Cases. *Aviation, space, and environmental medicine*, 81, 3-7. doi:10.3357/ASEM.2495.2010
- Perez-Vidal, C., Gracia, L., Carmona, C., Alorda, B., & Salinas, A. (2017). Wireless transmission of biosignals for hyperbaric chamber applications. *Plos One*, 12, e0172768. doi:10.1371/journal.pone.0172768
- Rech, F. V., Fagundes, D. J., Hermanson, R., Rivoire, H. C., & Fagundes, A. L. N. (2008). A proposal of multiplace hyperbaric chamber for animal experimentation and veterinary use. *Acta Cirurgica Brasileira*, 23(4), 384-390. doi:10.1590/s0102-86502008000400014
- Ryherd, E. E., Waye, K. P., & Ljungkvist, L. (2008). Characterizing noise and perceived work environment in a neurological intensive care unit. *J Acoust Soc Am*, 123(2), 747-756. doi:10.1121/1.2822661
- Royal Navy (1972). Royal Navy Diving Manual. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Sağlıncı S. (2022). Oksimer tedavi merkezi operatörü ile gerçekleştirilen röportaj.
- Saito, S., Aso, C., Kanai, M., Takazawa, T., Shiga, T., & Shimada, H. (2000). Experimental use of a transportable hyperbaric chamber durable for 15 psi at 3700 meters above sea level. *Wilderness & Environmental Medicine*, 11(1), 21-24. doi:10.1580/1080-6032(2000)011[0021:Euoath]2.3.Co;2
- Sykes, O., & Clark, J. E. (2013). Patent foramen ovale and scuba diving: a practical guide for physicians on when to refer for screening. *Extrem Physiol Med*, 2(1), 10. doi:10.1186/2046-7648-2-10
- Stipp W. (2007) Time to treatment for decompression illness. Research report RR 550, Norwich, UK, *Health and Safety Executive Books*, 1–29.
- Tawar, A., & Gokulakrishnan, P. (2019). Decompression illness. *Journal of Marine Medical Society*, 21(2), 112-115. doi:10.4103/jmms.jmms_32_19

- University of Tel Aviv (2020). <https://english.tau.ac.il/news/hyper-baricoxygen-therapy>
- Tibbles, P. M., & Edelsberg, J. S. (1996). Hyperbaric-oxygen therapy. *N Engl J Med*, 334(25), 1642-1648. doi:10.1056/nejm199606203342506
- Tomás Serrano, A., & Hurtado-Pérez, J. (2020). Determinación de la constante de los gases usando un manómetro y una balanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17, 1-9. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3401
- Vann, R., Gerth, W. A., Denoble, P., Pieper, C., & Thalmann, E. (2004). Experimental trials to assess the risks of decompression sickness in flying after diving. *Undersea & hyperbaric medicine : journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc*, 31, 431-444.
- Ward, Milledge, J. S., & West, J. B. (1995). *High Altitude Medicine And Physiology*. 2nd ed. Chapman & Hall Medical.
- Zaman, T., Celebi, A., Mirasoglu, B., & Toklu, A. S. (2020). The evaluation of in-chamber sound levels during hyperbaric oxygen applications: Results of 41 centres. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 50(3), 244-249. doi:10.28920/dhm50.3.244-249
- Zhang, Y., Su, S., Savkin, A., Celler, B., Nguyen, H., & Ieee. (2012, Nov 15-16). *Multi-loop Integral Controllability Analysis for Nonlinear Multiple-Input Single-Output Processes*. Paper presented at the 2nd Australian Control Conference (AUCC), Sydney, AUSTRALIA.

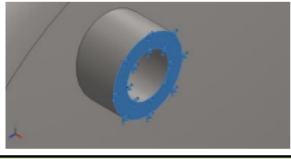
EKLER

Ek 3-1 Sistemin 2.5 Bar Basıncıdaki Statik Basıncı Analizi

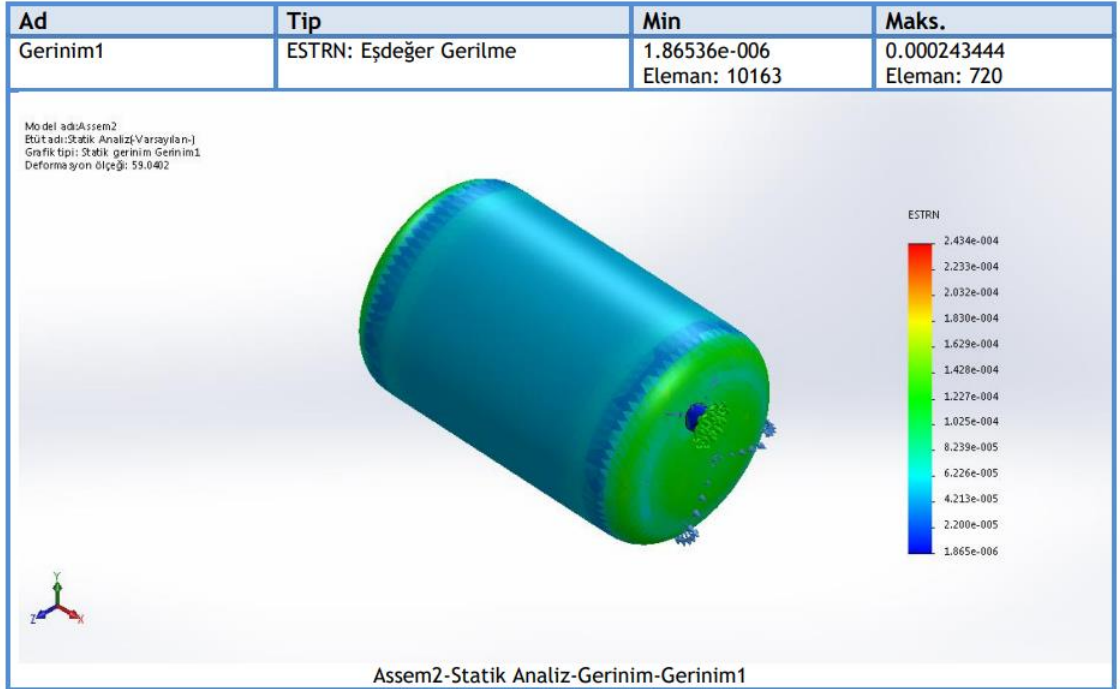
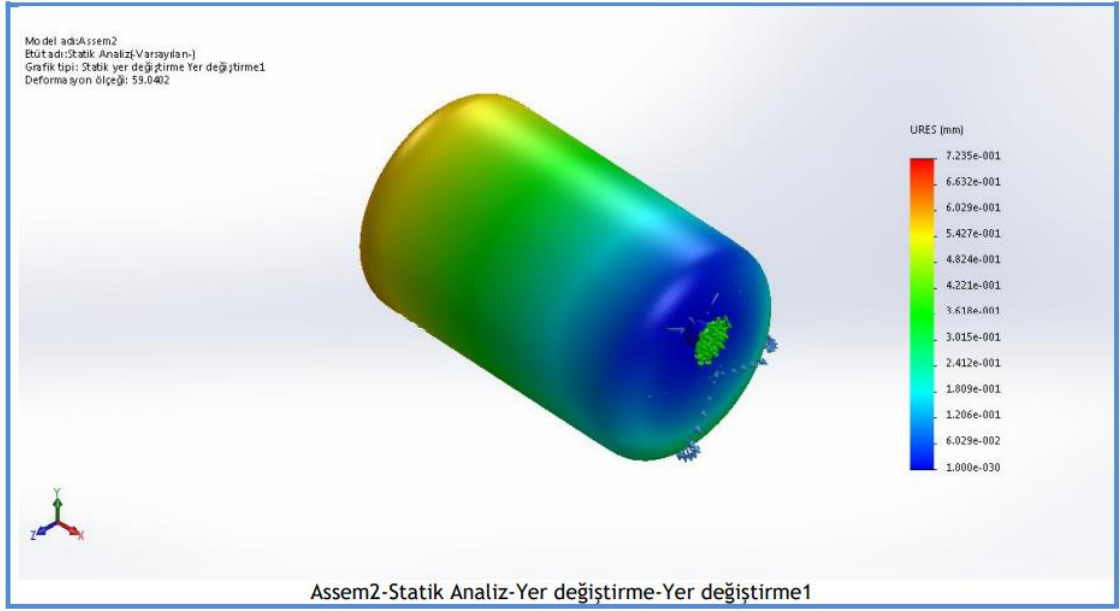
Malzeme Özellikleri

Model Referansı	Özellikler	Bileşenler
	Ad: AISI 304 Model tipi: İzotropik Doğrusal Elastik Analizi Varsayılan hata kriteri: Maks. von Mises Gerilimi Akma mukavemeti: 2.06807e+008 N/m ² Gerilme mukavemeti: 5.17017e+008 N/m ² Elastik modül: 1.9e+011 N/m ² Poisson oranı: 0.29 Kütle yoğunluğu: 8000 kg/m ³ Yırtılma modülü: 7.5e+010 N/m ² Termal genleşme katsayısı: 1.8e-005 /Kelvin	SolidBody 1(Yükseklik-Ekstrüzyon2)(tüp-1)
Eğri Verisi:N/A		

Yükler ve Fikstürler

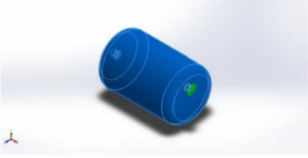
Fikstür adı	Fikstür Resmi	Fikstür Detayları		
Sabitlenmiş-2		Objeler: 1 yüzler Tip: Sabit Geometri		
Sonuç Kuvvetleri				
Bileşenler	X	Y	Z	Sonuç
Tepki kuvveti(N)	-0.575816	-0.0587635	-0.00301021	0.578814
Tepki Momenti(N.m)	0	0	0	0

Yük adı	Resim Yükle	Yük Detayları
Basıncı-1		Objeler: 15 yüzler Tip: Düzleme Dik Değer: 0.25 Birimler: N/mm ² (MPa) Faz Açısı: 0 Birimler: deg

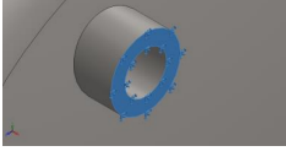


Ek 3-2 Sistemin 4 Bar Basıncıdaki Statik Basınç Analizi

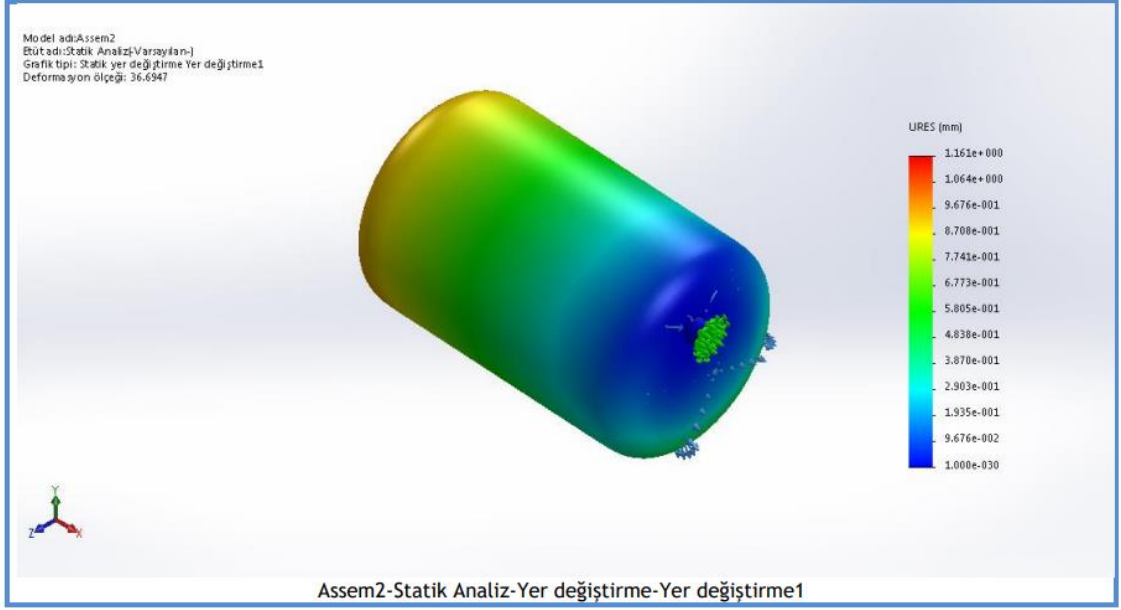
Malzeme Özellikleri

Model Referansı	Özellikler	Bileşenler
	<p>Ad: AISI 304 Model tipi: İzotropik Doğrusal Elastik Analizi Varsayılan hata kriteri: Maks. von Mises Gerilimi Akma mukavemeti: 2.06807e+008 N/m² Gerilme mukavemeti: 5.17017e+008 N/m² Elastik modül: 1.9e+011 N/m² Poisson oranı: 0.29 Kütle yoğunluğu: 8000 kg/m³ Yırtılma modülü: 7.5e+010 N/m² Termal genleşme katsayısı: 1.8e-005 /Kelvin</p>	SolidBody 1(Yükseklik-Ekstrüzyon2)(tüp-1)
Eğri Verisi:N/A		

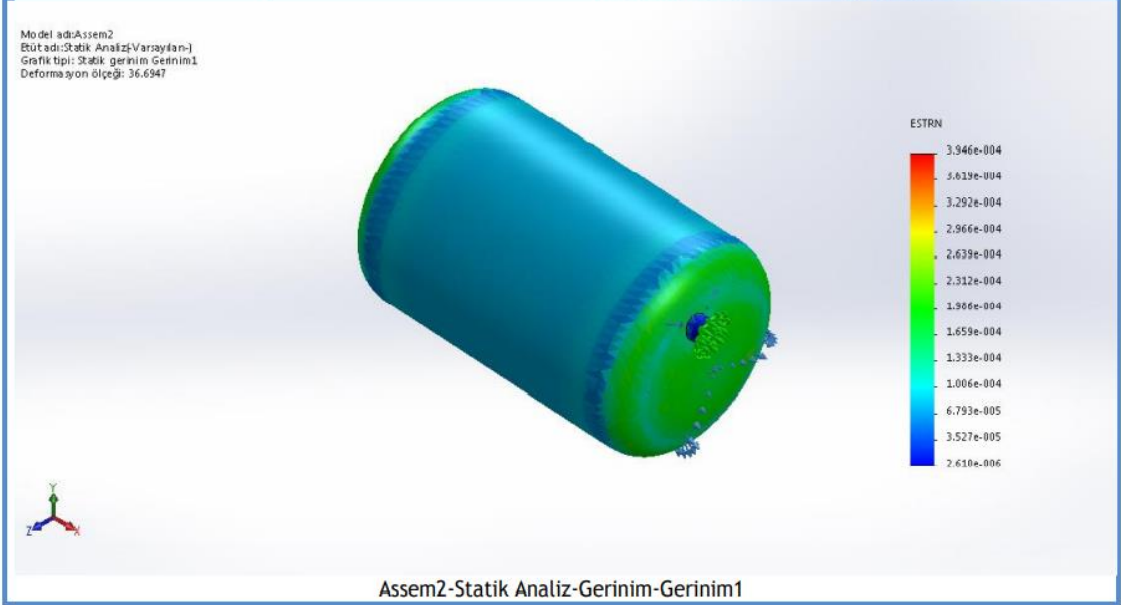
Yükler ve Fikstürler

Fikstür adı	Fikstür Resmi	Fikstür Detayları		
Sabitlenmiş-2		<p>Objeler: 1 yüzler Tip: Sabit Geometri</p>		
Sonuç Kuvvetleri				
Bileşenler	X	Y	Z	Sonuç
Tepki kuvveti(N)	-0.998574	-0.183063	-0.0455714	1.01624
Tepki Momenti(N.m)	0	0	0	0

Yük adı	Resim Yükle	Yük Detayları
Basınç-1		<p>Objeler: 15 yüzler Tip: Düzleme Dik Değer: 0.4 Birimler: N/mm² (MPa) Faz Açısı: 0 Birimler: deg</p>



Ad	Tip	Min	Maks.
Gerinim1	ESTRN: Eşdeğer Gerilme	2.61021e-006 Eleman: 10185	0.000394557 Eleman: 18921



ÖZGEÇMİŞ

İlkokul ve ortaokulu Malkara'da bulunan Atatürk İlköğretim Okulu'nda okudum. 2010 yılında Lüleburgaz Ramazan Yaman Fen Lisesi'ni kazandım. 2014 yılında liseden mezun olduktan sonra Sakarya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandım. Beş yıllık lisans eğitimimin sonunda 2019 yılında üniversiteden mezun oldum. Mezun olduktan kısa bir süre sonra özel bir şirkette Elektrik Otomasyon ve Yazılım Mühendisi olarak işe başladım. İş hayatım devam ederken 2020 yılında Trakya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı'nı yapma hakkı kazandım. 2022 yılı haziran ayı itibariyle iş ve eğitim hayatımdaki çalışmalarına devam etmekteyim.