



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PNÖMATİK TÜP TAŞIMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ
VE İYİLEŞTİRİLMİŞ YÖNTEM ÖNERİLERİ**

BÜŞRA TAKGİL

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. RESUL KARA**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PNÖMATİK TÜP TAŞIMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ
VE İYİLEŞTİRİLMİŞ YÖNTEM ÖNERİLERİ

Büşra TAKGİL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Resul KARA

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Resul KARA

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf ALTUN

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Pakize ERDOĞMUŞ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Şafak KAYIKÇI

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAZAK

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/07/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Temmuz 2022

Büşra TAKGİL

TEŐEKKÖR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Resul KARA' ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kızıma...

Temmuz 2022

Büşra TAKGİL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
EXTENDED ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ.....	8
2.1. PNÖMATİK SİLİNDİRLER.....	14
2.2. VAKUMLU TAŞIMA SİSTEMLERİ.....	15
2.2.1. Hastane Pnömatik Sistemleri.....	16
3. PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN MODELLEME ÖNERİLERİ	18
3.1. KODLU ETİKETLEME SİSTEMLERİ İLE MODELLEME.....	18
3.1.1. Kodlu Etiketleme Teknolojileri	18
3.2. GRAF TABANLI MODELLEME	21
3.2.1. En Kısa Yol Bulma Algoritmaları	22
3.3. MATEMATİKSEL MODELLEME	22
3.3.1. Regresyon Analizi ve Matematiksel Model.....	24
3.4. YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE MODELLEME	24
3.4.1. Bulanık Modelleme	24
3.4.2. ANFIS ((Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inference System) ile Modelleme.....	28
3.4.3. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme	30
3.4.4. Genetik Algoritma ile Modelleme.....	31
4. İYİLEŞTİRİLMİŞ HASTANE PNÖMATİK SİSTEMİ TASARIMI	34
4.1. PNÖMATİK SİSTEM DİZAYNI.....	37
4.1.1. Veri seti	38
4.2. SİSTEM PARAMETRELERİ.....	40
4.2.1. Taşıma Tüpü Çapı/ Boru Çapı	42
4.2.2. Mesafe.....	43
4.2.3. Materyal Ağırlığı.....	43
4.2.4. Taşıma Yönü Katsayısı (Boru Hattı Geometrisi).....	44
4.2.5. Basınç / Blower	46
4.3. KODLU ETİKETLEME SİSTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ	48

4.4. GRAF TABANLI İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ	50
4.5. MATEMATİKSEL MODEL VE GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ	53
5. YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ	58
5.1. HASTANE PNÖMATİK SİSTEMLERİNE BULANIK MODEL ÖNERİSİ	58
5.2. HASTANE PNÖMATİK SİSTEMLERİNE BULANIK MANTIK, YSA VE ANFİS İLE KARŞILAŞTIRMALI MODEL ÖNERİSİ.....	62
5.3. YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ VE MATEMATİKSEL MODEL KARŞILAŞTIRILMASI.....	68
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
7. KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	80



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tipik Kompresörün Çalışma Prensipleri.	9
Şekil 2.2. Kompresör Tankı ve Bileşenleri [47].	10
Şekil 2.3. Basıncı Hava Üretim Tesisi [48].	11
Şekil 2.4. Pozitif Yer Değiştirmeli Blower [49].	11
Şekil 2.5. Boru Hat Uzunluğu ve Basınç Arasındaki İlişkiye ait Grafik [50].	13
Şekil 2.6. Pnömatik Silindir ve Temel Bileşenleri [52].	15
Şekil 2.7. Hastane Pnömatik Sistemlerine ait Diyagram.	17
Şekil 3.1. Barkod Özellikleri ve Bileşenleri [59].	19
Şekil 3.2. QR Kod Mimarisi [65].	20
Şekil 3.3. RF Alt Sistemi [67].	20
Şekil 3.4. Graf Örneği.	21
Şekil 3.5. Kara Kutu Modelleme.	23
Şekil 3.6. Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı.	25
Şekil 3.7. Mamdani Bulanık Modeli [67].	26
Şekil 3.8. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyon Tipleri [89].	26
Şekil 3.9. Üçgen Üyelik Fonksiyonu.	27
Şekil 3.10. Yamuk Üyelik Fonksiyonu.	27
Şekil 3.11. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu.	27
Şekil 3.12. Gauss Üyelik Fonksiyonu.	27
Şekil 3.13. Temel ANFIS Yapısı.	29
Şekil 4.1. Örnek Hastane Pnömatik Şeması.	34
Şekil 4.2. Pnömatik Sistem İstasyonu.	35
Şekil 4.3. Kontrol Edilebilir Pnömatik Sistem Elemanları-1.	36
Şekil 4.4. Kontrol Edilebilir Pnömatik Sistem Elemanları-2.	36
Şekil 4.5. Pnömatik Taşıma Sistemi Fonksiyonel Şeması.	37
Şekil 4.6. Temel Hastane Pnömatik Sistem Diyagramı.	37
Şekil 4.7. Hastane PTS için Önerilen Model Diyagramı.	38
Şekil 4.8. Pnömatik Taşıma Haznesi Üstten Görünüm.	42
Şekil 4.9. Deneysel Çalışmalar Yapılan Sisteme Ait Taşıma Tüplerine ait Örnekler. ...	43
Şekil 4.10. Taşıma Mesafesinin Basınç Düşümüne Etkisi [106].	43
Şekil 4.11. Pnömatik Taşıma Örnek Boru Dizaynları.	45
Şekil 4.12. Bükülmelerde Meydana Gelen Basınç Değişimi [106].	45
Şekil 4.13. Deneysel Çalışmaların Yapıldığı Kontrolü Sağlanan Blowera ait Görseller.	47
Şekil 4.14. Örnek Kolon-Kiriş Şeması.	50
Şekil 4.15. Kolon ve Kirişleri İfade Eden Düzgünlerin Gösterilmesi.	51
Şekil 4.16. Graf Modelinde En Kısa Yolun Gösterimi.	52
Şekil 4.17. Lineer Regresyon Sonucu Veri Setinin Bir Bölümüne ait Dağılım.	53
Şekil 5.1. Bulanık Modele ait Blok Görünümü.	58
Şekil 5.2. Gauss Üyelik Fonksiyonu Kullanılmış Örnek Uzaklık Parametresi.	59
Şekil 5.3. Mesafe Üyelik Fonksiyonları.	59
Şekil 5.4. Malzeme Ağırlığı Üyelik Fonksiyonları.	59
Şekil 5.5. Taşıma Yönü Üyelik Fonksiyonları.	60
Şekil 5.6. Basınç Üyelik Fonksiyonları.	60
Şekil 5.7. Kural Listesinin Bir Bölümü.	61
Şekil 5.8. Malzeme ağırlığı ve taşıma yönüne göre basıncın yüzey Görünümü.	61

Şekil 5.9. YSA Modeline Ait Mimari Yapı.....	64
Şekil 5.10. 5 Nöronlu YSA Modelinin Test Verilerinin Dağılım Diyagramı.....	66
Şekil 5.11. M3333 Modeline Ait Test ve Eğitim Verilerinin Performansı.....	67



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Çeşitli Basınç ve Çaplardaki Hava Kaçak Miktarları [51].	14
Çizelge 3.1. Bulanık Mantık, YSA, Genetik Algoritma Karşılaştırması[85].	33
Çizelge 4.1. Sistem Parametrelerinin Değer Aralıkları.	39
Çizelge 4.2. Veri Setinin Bir Bölümü.....	39
Çizelge 4.3. NormalizeVeri Setinin Bir Bölümü.....	40
Çizelge 4.4. Sistem Parametrelerine ait Korelasyon Matrisi.	42
Çizelge 4.5. Taşıma Yönü Katsayısına Ait Örnek Değerler.....	46
Çizelge 4.6. Önerilen Etiket Sistemine ait Veriler.....	49
Çizelge 4.7. Gönderici ve Olası Alıcı İstasyonlar ve Yol Maliyetlerine ait Örnek Gösterim.	51
Çizelge 4.8. Sistem Parametrelerinin Matematiksel Model Karşılıkları.	54
Çizelge 4.9. Performansı En Düşük Matematiksel Modele ait Veriler.	55
Çizelge 4.10. Genetik Algoritma Verileri.....	56
Çizelge 5.1. Bulanık Mantık Modeli ve Uzman Kişi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	62
Çizelge 5.2. YSA Modeline Ait Performans Değerleri.	65
Çizelge 5.3. Anfis Modeline Ait Performans Değerleri.	66
Çizelge 5.4. Yapay Zeka Modellerinin Performanslarının Karşılaştırılması.....	67
Çizelge 5.5. Yapay Zeka ve Matematiksel Model Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68

KISALTMALAR

ANFIS	Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inference System
GA	Genetik Algoritma
HPS	Hastane Pnömatik Sistemi
MATLAB	Matrix Laboratory
PID	Proportional Integral Derivative
PTS	Pnömatik Taşıma Sistemi
YSA	Yapay Sinir Ağı



SİMGELER

A	Boru Kesit Alanı
g	Yer Çekim İvmesi
K	Özgöl Isı
p	Hava Basıncı
P	Hava Yoğunluğu
R	Gaz Sabiti
T	Sıcaklık



ÖZET

PNÖMATİK TÜP TAŞIMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE İYİLEŞTİRİLMİŞ YÖNTEM ÖNERİLERİ

Büşra TAKGİL

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim
Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Resul KARA

Temmuz 2022, 79 sayfa

Basınçlı havanın enerji kaynağı olarak kullanıldığı Pnömatik Sistemler, endüstrinin neredeyse her alanında kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile bu sistemlere olan gereksinim giderek artmaktadır. Pnömatik taşıma sistemleri sağlık alanında ise, hastane birimleri arasında çeşitli numunelerinin pratik ve güvenli bir şekilde taşınması amacıyla kullanılmaktadır. Ancak iyi tasarlanmamış bir sistem verimsizliğe ve hemoliz gibi numune bozulmalarına sebep olabilmektedir. Bu kapsamda mevcut sistemlerde karşılaşılan problemler irdelenerek bu problemlerin çözümlerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sistemi daha verimli hale getirmek amacıyla yapay zekâ algoritmalarından yararlanılmıştır. Sistemin verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerinden olan taşıma mesafesini kısaltmak amacıyla sistem graf yapısı ile modellenmiş ve en kısa yol algoritmaları sisteme entegre edilerek, taşıma sisteminde enerji, zaman tasarrufu sağlamak amaçlanmıştır. Hastanelerde sağlık hizmetlerinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde sürdürülebilmesi için, insan gücü ve diğer kaynaklar etkili bir şekilde kullanılmalıdır. Sistemde insan kaynağının rolü azaltılarak hız, maliyet ve kullanım kolaylığı gibi avantajlar sağlanması amacıyla sistemin kodlu etiketleme sistemine taşınması önerilmiştir ve ilgili çalışmalar yapılmıştır. Ek olarak hastane pnömatik sistemi, bulanık mantık, ANFIS (Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inference System) ve yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Önerilen model için öncelikle sistemin performansına etki eden parametreler belirlenerek bu parametrelerle modelin veri seti oluşturulmuş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak sistemin matematiksel modeli elde edilmiştir. Önerilen tüm modeller hastane pnömatik sistemleri için basınç modellemesine bilimsel ve pratik bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca endüstriyel ve elektrik enerjisi kazancı bakımından hastane pnömatik sistemlerine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar sözcükler: Bulanık mantık, Hastane pnömatik sistemleri, Pnömatik kontrol, Pnömatik taşıma, Yapay zekâ.

ABSTRACT

MODELING OF PNEUMATIC TUBE CONVEYING SYSTEMS AND IMPROVED METHODS PROPOSALS

Büşra TAKGİL

Duzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Electrical-Electronics and Computer
Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Resul KARA

July 2022, 79 pages

Pneumatic Systems, in which compressed air is used as an energy source, are used in almost every field of industry. With the developing technology, the need for these systems is increasing. Pneumatic transport systems are used in the healthcare field for the practical and safe transport of various samples between hospital units. However, a poorly designed system can cause inefficiency and sample deterioration such as hemolysis. In this context, the problems encountered in the existing systems were examined and studies were carried out to solve these problems. Artificial intelligence algorithms were used to make the system more efficient. To shorten the transport distance, which is one of the most important parameters affecting the efficiency of the system, the system is modeled with a graph structure and integrating the shortest path algorithms into the system, it is aimed to save energy and time in the transport system. To maintain uninterrupted and high-quality health services in hospitals, human resources, and other resources should be used effectively. To reduce the role of human resources in the system and provide advantages such as speed, cost, and ease of use, it was proposed to move the system to the coded labeling system and related studies were carried out. In addition, the hospital pneumatic system is modeled using artificial intelligence techniques such as fuzzy logic, ANFIS, and artificial neural networks. For the proposed model, first of all, the parameters affecting the performance of the system were determined, the data set of the model was created with these parameters, and experimental studies were carried out. In addition, the mathematical model of the system was obtained by using the Multivariable nonlinear regression method. All proposed models are expected to provide a scientific and practical solution to pressure modeling for hospital Pneumatic systems. It is also expected to contribute to hospital pneumatic systems in terms of industrial and electrical energy gain.

Keywords: Artificial intelligence, Fuzzy logic, Hospital pneumatic systems, Pneumatic control, Pneumatic conveying.

EXTENDED ABSTRACT

MODELING OF PNEUMATIC TUBE CONVEYING SYSTEMS AND IMPROVED METHODS PROPOSALS

Büşra TAKGİL

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Electrical-Electronics and Computer
Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Resul KARA

July 2022, 79 pages

1. INTRODUCTION

Pneumatic systems include the features of machines, tools, and systems that work with the effect of air pressure or vacuum. The healthcare industry is one of the areas where pneumatic systems are frequently used. Pneumatic transport systems (PTS) are used in hospitals for the practical transport of analysis samples without manpower. In PTS, some human and system-based problems can be encountered. In this context, new solutions were presented by examining the problems encountered in existing systems, and studies were carried out to increase the efficiency of the system.

2. MATERIAL AND METHODS

Artificial intelligence methods are a good alternative for modeling hospital pneumatic systems. For this reason, the system is modeled using fuzzy logic, ANFIS (Adaptive Neural Network-Based Fuzzy Inference system), and artificial neural networks to improve the existing system. For the model proposed in the study, first of all, the parameters affecting the performance of the system were determined and experimental studies were carried out by creating the data set of the model with the data of these parameters. It has been tried to increase the performance of the system with the approaches that determine the gas flow according to the information obtained by these methods. To prevent human-induced errors in the system and to make the system more automatic, it has been suggested to move it to the coded labeling system. In addition, the efficiency of the system was evaluated by using the graph structure and the shortest path finding algorithms together while creating the pneumatic systems. In addition to these, a mathematical model has been proposed to be used in the control of hospital pneumatic systems with the multivariable nonlinear regression method. The output parameter of the

obtained mathematical model is the pressure value expected to be produced by the system. The primary purpose is to control the pressure value that the energy source of the system should produce.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

One of the most important reasons that make the pressure value that the system should produce important is its effect on the energy cost. The continuous increase in energy costs requires taking cost-reducing measures in pneumatic systems that play a role in material transport with compressed air, as in every branch of the industry. To use energy efficiently for hospital pneumatic systems, the compressor/blower with the lowest energy consumption should be selected, taking into account the needs of the system. Since different pneumatic conveying systems have different conveying parameters (eg conveying distance), unique values for each hospital system need to be considered. The best way to reduce costs in existing systems is to optimize power consumption. The results of the experimental data showed that the use of mathematical modeling in the control of a hospital pneumatic system can achieve successful results. For systems modeled with artificial intelligence methods, which learning method will be used, the size of the data set, and the type of membership function to be used are the factors determining the quality of the output values , and these values are determined by experimentation. To prevent this, the available datasets of hybrid models can be increased.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

In this study, performance evaluations were made by using different artificial intelligence techniques in modeling the pressure source of hospital pneumatic systems. It has been tried to decide on the most effective model for the control of hospital pneumatic conveying systems. For this purpose, estimation models were developed with experimental data obtained from Düzce University Hospital and the most appropriate pressure output for the system was trying to be obtained. When the performances of the created models were evaluated, the most successful results were obtained in the ANN model. The r-square value of the mathematical model obtained by using the multivariable nonlinear regression method was 0.877, and it was shown to be a statistically successful result. The proposed models are expected to provide a scientific and effective solution to pressure modeling for hospital pneumatic systems. In addition, it is expected that the

system will reduce the energy loss, preventing the corrosion of the system elements and sample deterioration. In addition, it is foreseen to make a positive contribution to hospital pneumatic system users.



1. GİRİŞ

Basıncı kontrol edilebilen, durumu değiştirilebilen hava ve gazlar ile çalışan sistemlere pnömatik sistemler denir [1]. Pnömatik sistemler, hava basıncı veya vakum etkisi ile çalışan makineler, aletler ve sistemlerin özelliklerini içerir. Endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan enerji kaynaklarından biridir. Pnömatik sistemlerin enerji kaynağı basınçlı havadır [2]. Katıların bir gaz akışında pnömatik taşınması; endüstriyel alanın yanı sıra bankalar, süpermarketler, hastaneler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Pnömatik olarak taşınabilen malzeme aralığı da oldukça geniştir. Kâğıt, madeni para, kan numuneleri ilaçlar, yedek parçalar gibi. PTS, güvenlik, düşük maliyet, otomasyon, yerleşim esnekliği ve benzeri avantajlarla endüstriyel süreçte önemli bir yere sahiptir [3]. Buna ek olarak bazı kısıtlamalar taşınan malzeme türüne göre yüksek güç gerektirebilir [4]. Basınçlı hava, bir kompresör aracılığıyla havanın sıkıştırılması ile elde edilir. Elektrik enerjisinin olduğu her yerde elde edilebilen ve depolanabilir olması nedeniyle endüstride en çok tercih edilen enerji kaynaklarından birisidir. Basınçlı hava kolay elde edilip yaygın bir kullanıma sahip olmasına karşın oldukça pahalı bir enerji türüdür. Basınçlı hava kullanımı ve kompresörlerin enerji tüketimi verimlilik çalışmalarında dikkat edilmesi gereken unsurlar arasındadır [5]. Tüm sistemlerde olduğu gibi enerjinin güvenilir, ekonomik ve optimum şekilde karşılanabilmesi verimlilik bakımından oldukça önemlidir. Enerji verimliliği, harcanan enerji miktarının, üretimdeki kapasite ve kaliteyi azaltmadan en aza indirilmesidir [6]. Pnömatik sistemlerin enerji verimliliği ise, havanın basınçlandırılması, şartlandırılması ve uygun şekilde tüketilmesi ile doğrudan ilişkilidir [2].

Sağlık sektörü, pnömatik sistemlerin sıkça kullanıldığı alanlardan biridir. Endüstriyel uygulamalara benzer şekilde sağlık tesislerinin yönetimi her geçen gün karmaşıklaşmakta ve maliyetlerinin azalması giderek daha önemli bir hale gelmektedir. Hastane pnömatik taşıma sistemleri ise hastane imkanlarının daha verimli ve etkili bir şekilde kullanılması için, güvenli ve pratik bir yol sağlar. Hastanelerde sağlık hizmetlerinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde sürdürülebilmesi için, insan gücü ve diğer kaynaklar etkili bir şekilde kullanılmalıdır. Bu sistemlerde hastane birimlerine özgü numuneler insan gücü olmadan otomatik bir şekilde taşınabilmektedir. Bu sistem sayesinde malzeme kaynaklı bulaşıcılık riski ortadan kalkar, maliyet azalır, enerji tasarrufu sağlanır, insan kaynakları daha verimli

olarak kullanılır.

Birçok alanda kullanımı olan pnömatik sistemler otomasyon, robotik gibi alanlarda giderek daha çok yer bulmaktadır. Bu sistemlerin hassas kontrolüne dayalı çalışmalar giderek artmaktadır. Pnömatik taşıma sistemleriyle ilgili çeşitli çalışmalar bulunmasına rağmen, hastane pnömatik taşıma sistemlerinin modellenmesine ilişkin çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca sistemin non-lineer bir yapıya sahip olması kontrolünü lineer sitemlere göre daha fazla zorlaştırmaktadır. Pnömatik sistemlerin iyileştirilmesi ve veriminin artırılmasına yönelik yapılan çalışmalarda; boru hattının çapı, sistemde taşınan malzeme türü, sürtünme etkisi gibi faktörler üzerinde durulmuş ya da yapay sinir ağları kullanılarak ortaya çıkan bilgiler ışığında sistemin performansı arttırılmaya çalışılmıştır.

Literatürde pnömatik sistemler ve bu sistemlerin gaz basıncı ile ilgili çalışmalar oldukça yaygındır. Puckett, pnömatik ileticileri akış tiplerine göre; yüksek debili-düşük basınçlı, düşük debili-orta basınçlı ve düşük debili-yüksek basınçlı olarak kategorize etmiştir [7]. Anonymous da benzer şekilde, pnömatik iletim sistemleri düşük, orta ve yüksek basınçlı olarak üçe ayrılmış ve ilgili basınç değerleri vermiştir. Pnömatik taşıma sistemlerindeki malzemeleri çok ince, ince, taneli ve parçalı-düzensiz kategorileriyle sınıflandırmıştır [8]. Petersen ise pnömatik taşımada boru çapı-hava ve hızı-basınç değerleri arasındaki ilişkileri inceleyerek iletim kapasitesini hesaplamıştır [9]. Kano, pnömatik taşıma sırasındaki güç gereksinimini ve bu değer diğer taşıma sistemleriyle karşılaştırılması konusunda çalışmalar yapmıştır [10]. Bir başka çalışmada pnömatik ileticilerle, iletim materyalleri ve hava akımı arasındaki ilişkiler belirlenmiştir ve basınç düşümüyle ilgili en etkili parametrelerin boru çapı ve hava hızı olduğu belirtilmiştir [11]. Güner ve Dursun pnömatik iletimde tarımsal ürünler için tasarım parametrelerini ve bu parametreler arasındaki ilişkileri bilgisayar destekli tasarımla karşılaştırmışlardır ve boru çapı arttıkça gerekli güç tüketiminin arttığını söylemişlerdir [12]. Azeloğlu çalışmasında pnömatik taşıma sistemleri için uygun boru çapının hesaplanması yapmış ve basınç düşümü ve güç tüketiminde en etkili parametrelerin hava hızı ve boru çapı olduğu sonucuna varmıştır [13]. Güner yaptığı çalışmada bir pnömatik taşıma sistemi tasarlamış ve basınç ve güç tüketimiyle ilgili parametreler üzerinde çalışmalar yapmıştır [14].

Literatürde hastane pnömatik sistemleriyle ilgili önemli odak noktalardan birisi pnömatik taşıma sistemlerinin kan numunelerine yönelik bozucu etkisi olup olmadığının araştırılmasıdır. Literatürde, PTS'nin (Pnömatik Tüp Sistemleri) hemoliz etkisine dair pek çok çalışma vardır. Kan örneklerinin PTS'ler aracılığıyla taşınması, taşınan kan

örneklerinde hava kabarcıkları oluşturur ve taşıma süresinin artmasıyla birlikte hemoliz görünümü oluşabilir. Bununla ilgili olarak PTS'ye bağlı hemolizde hava kabarcığı oluşumunun rolü araştırılmıştır ve kabacığın numune verilerini olumsuz etkilediği görülmüştür [15]. Bir başka çalışmada PTS'de nakil sırasında, kan numuneleri genellikle yüksek hızlara ve hızlı ivmeye tabi tutulur ve hemolize yol açabilen yavaşlama PTS taşıma hızlarının ve mesafelerinin rutin hematoloji ve pıhtılaşma analizi üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir. PTS ile taşınan numunelerde hemoliz oranı, PTS uzunluğuna ve hızına bağlı olarak numunelerin rutin testlerini ciddi şekilde etkileyebileceği görülmüştür [16]. Pnömatik taşıma sisteminin kandaki antikor seviyesini düşürdüğü ve hemolize sebep oluşunu belirten çalışma Greendyke ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [17]. Pragay yaptığı çalışmada pnömatik taşıma sisteminde belirli bir hızda taşınan numunelerde, hasar oluştuğunu ve bunun LDH değerini yükselttiğini bildirmişlerdir. Ayrıca taşıma sisteminin potasyum, kan gazı ve idrar değerlerinde bir değişikliğe sebep olmadığını bildirmişlerdir [18]. Hardin ve arkadaşları, eritrosit ünitelerinin PTS ile taşınmasının önemsiz derecede bir hemolize yol açtığını belirlemişlerdir [19]. Bir başka çalışmada bir hastaneye PTS kurulmadan önce ve sonraki hemoliz oranları karşılaştırılmış ve bu oranın taşıma sistemi kurulduktan sonra 3 katına kadar arttığı belirtilmiştir. PTS'nin hemolize etkisi konusunda uyarılarda bulunmuşlardır [20]. Aynı zamanda PTS'nin hemolize belirgin etkisi olmadığını belirten çalışmalar da mevcuttur. Tanley ve arkadaşları, PTS ve elle taşıma arasında plazma hemoglobin ve potasyum konsantrasyonları açısından herhangi bir fark bulamamışlardır [21]. Fernandes ve arkadaşları ise, 7,6 m/saniye hıza sahip, PTS ile ve elle taşınan örnekler arasında, hemoliz açısından bir farklılık tespit edememişlerdir [22]. Yapılan başka bir çalışmada ise Pnömatik tüp sistemi ile taşınan veya laboratuvara elle teslim edilen hemolizli örneklerin yüzdelerinde istatistiksel bir fark bulamamıştır. Her sistem, tasarım açısından benzersiz olduğundan, tıbbi tesisleri, acil serviste alınan numunelerde taşıma yöntemlerinin hemolize katkıda bulunup bulunmayacağının düşünülmesi gerektiği vurgulanmıştır. [23]. Çalışmalar sonucunda ortaya çıkan farklı sonuçlar hastanelerin kendine özgü yapısından kaynaklanmaktadır. Her hastanenin farklı özellikleri sahip PTS kullandığı göz önünde bulundurulduğunda, kendi sistemlerinin, hemolize etkisi diğer sistemlerden bağımsız olarak incelemelidir. Bir PTS aracılığıyla taşınan kan örneklerinde gözlemlenen hemoliz düzeyini değerlendiren birçok çalışma vardır, ancak bu hemolizi önlemek adına yapılan çalışmalar çok sınırlıdır. Bu çalışmalardan birinde yüksek hızda taşıma sırasında kan örneklerinin hemolizini önlemek için numune tüplerini tutan bir

sünger-kauçuk ek parça PTS ile birlikte kullanılması önerilmiştir [24]. Bu tez çalışması kapsamında yapılan önerilerin amaçlarından biri pnömatik taşıma sistemlerindeki hemolizi önlemeye yöneliktir.

Literatürde pnömatik sistem kontrolüyle ilgili olarak bulanık sistemler kullanılmıştır. Bu çalışmaların amacı sistemin kontrol zorluğunun üstesinden gelmektir. Pnömatik sistemleri konu alan çalışmalar ise pnömatik silindirlerin konum kontrolüne odaklanmaktadır. Bu sistemlerde hava sıkıştırılabilir olduğundan konum ve hız kontrolü sağlamak basınç kontrolü de gerekli olabilir. Hız ölçümüne göre daha basit ve ekonomik bileşenler kullanarak basınç ölçümü gerçekleştirilebildiği için, basınç ölçümü öncelikli olarak tercih edilmektedir [25].

Rinoshika ve Suzuki yaptıkları çalışmada pnömatik sistemlerin taşıma hızını ve güç tüketimini azaltmak amacıyla borunun altına bir kumul modelinin monte edildiği yeni bir PTS önerilmiştir. Deneysel çalışma, yatay PTS deki modelinin basınç düşüşü, güç tüketimi, taşıma hızı ve akış modeli açısından etkisine odaklanmaktadır. Modelin minimum hız ve güç tüketiminin maksimum azaltma oranları sırasıyla yaklaşık %19 ve %34'tür [26].

Literatürde kare kod ve QR kod etiketlerinin taşıma sistemlerinde kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Hong-Ying lojistik depolarda barkod kullanımının veri toplama ve yönetim açısından önemini göstermiş ve çalışmaları hızlandırdığını kanıtlamışlardır [27]. Lalam ve arkadaşları ise QR kod kullanımı vasıtasıyla havaalanlarında kargo bölümlerinde taşınan eşyaların kaybolmasını önlemek için mevcut sistemlere göre daha fazla güvenlik sağlayan bir QR kodlu sistem önerisinde bulunmuşlardır [28]. Neil ve arkadaşları biyolojik araştırma laboratuvarlarında kullanılan deney tüplerinde kare kod kullanarak birden fazla tüpün bir tarayıcı yardımıyla okunup, verilerinin algılanması üzerine çalışmışlardır [29]. Ayrıca iş ekipmanlarının güvenlik takibi sürecinde kare kod sisteminin uygulanabilirliğinin araştırıldığı çalışmalar da mevcuttur [30]. Bir başka çalışmada anestezi bilgi yönetim sisteminde veri aktarımı için QR kodlarının kullanımının başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [31].

Tez çalışması kapsamında numunelerin denetimini kolaylaştırmak, hastane personelinin iş yükünü azaltmak ve numunelerin yanlış adreslere gitmesini önlemek amacıyla pnömatik taşıma sistem kontrolünde karekod ve barkod kullanımı önerilmiştir.

Pnömatik taşıma sistemlerinin yapay zekâ uygulamalarıyla bir arada kullanıldığı

alışmalar ise şu şekilde sıralanabilir: Shi & Sepehri pnömatik aktüatörlerin arıza tespitinde kullanılmak üzere adaptif yapay sinir ağı tabanlı bulanık kontrolör tasarlamışlardır. Doğrusal olmayan sistemlerin ANFIS ile modellenmesinde başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir [32]. Azman ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada pnömatik sistemler için kontrolör ve tek etkili pnömatik silindir pozisyon kontrolü için bulanık mantık ve ANFIS ile iki kontrol yaklaşımı önerilmektedir. Kontrolör tasarımı için konum sistemi tanımlamasına dayanan bir model kullanılmıştır. Sonuç olarak ANFIS denetleyicisinin bulanık mantık yaklaşımına göre daha iyi performans gösterdiği görülmektedir [33]. Marumo & Tokhi pnömatik motor kontrolünde yapay sinir ağı kullanmışlardır [34]. Bulanık PID kontrol sistemi tasarlayan Yang ve arkadaşları pnömatik basınç kontrolü için iki farklı basınçla çalışabilen sistem tasarlamışlardır. Deneysel sonuçlar, önerilen denetleyicinin PID kontrole göre daha iyi dinamik performans ve daha tutarlı kontrol performansı elde edebileceğini göstermektedir [35].

Pnömatik sistemlerle ilgili yapılan çalışmaların bir başka ilgi alanı ise pnömatik sistem tasarımının optimum hale getirilmesidir. Akkaya ve arkadaşları simulink kullanarak pnömatik sistem simülasyonu yapmış, doğrusal bir pnömatik hareketlendirici sistemin parametre değişimlerine tepkisini incelenmişlerdir. İnceleme sonucunda sürtünme katsayısı ve piston çapının sisteme etki eden en önemli parametrelerden olduğu belirlenmiştir [36]. Pnömatik sistemlerin bulanık mantıkla modellenerek hassas konum kontrolü yapılan bir çalışmada deneysel bir sistem kurularak üzerinde matematiksel model kullanılarak benzetim yapılmıştır. Çalışma sonucunda bulanık mantığın konum kontrolünde başarılı bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir [25]. Chillari ve arkadaşları bir pnömatik aktator için arıza tespit sistemi geliştirip, PID, Bulanık mantık, basınç geri beslemeli PID gibi farklı kontrol yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır [37].

Pnömatik sistemlerin matematiksel modelleriyle ilgili çalışmalar ise şu şekildedir: Nouri ve arkadaşları pnömatik bir sistemin en önemli non-lineerlik sebeplerinden olan sürtünme ile ilgili çalışmalar yaparak, matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır [38]. Zhu ve Ursavas, modern ilaç endüstrisindeki şirketler için verimli bir dağıtım ağı oluşturmak ve sürdürmek amacıyla ilaç dağıtımının modellenmesiyle ilgili bir matematiksel model önerisinde bulunmuşlardır [39]. Campbell ve Jones ise, bir doğal afet durumunda matematiksel bir modelle ilaç teslimatının güvenliğini ve hızını dengelenmesi amacıyla

maliyet hesabı yapmışlardır [41]. Benzer şekilde; Erbeyoğlu ve Bilge, bir afet sırasında etkilenen bölgelere adil teslimat ve ilaç dağıtımının etkinliğini göz önünde bulundurarak daha iyi müdahale elde etmeyi amaçlayan karma bir tam sayılı doğrusal model geliştirmişlerdir [41]. Turkowski ve Szudarek hafif kapsülleri itmek için kullanılan bir boru hattı taşıma sisteminin davranışını modelleyip, teorik olarak optimum çözümler sunmuşlardır [42]. S. R. Pandian, F. Takemura pnömatik motorun elektrik motoruyla performans karşılaştırmasını yaparak, pnömatik motorun matematiksel modelini çıkarmışlardır [43]. Bir başka çalışmada robotik ve otomasyon uygulamaları için yüksek performanslı kuvvet kontrolü sağlaması amacıyla bir pnömatik aktuator için ayrıntılı matematiksel model geliştirilmiştir [44]. Bu çalışmalarda modelleme için kullanılan parametrelere viskoz kuvveti, mesafe, taşıma maliyeti, taşıma kapsülü boyutu örnek verilebilir.

Bu tez çalışmasının temel amacı hastane pnömatik sistemleri için iyileştirilmiş optimum yöntemler geliştirmektir. Sistem için birinci dereceden önemli kabul edilen ve sisteme enerji sağlayan blowerların verimli ve etkili bir şekilde kontrolü en önemli kriterlerdendir. Bu kapsamda mevcut sistemlerde karşılaşılan problemler irdelenerek bu problemlerin çözümlerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Pnömatik sistemlerde basınçlı hava hatları tasarlanırken basınç kaybı minimize edilmeye çalışılmaktadır. Numunelerin taşınması esnasında blowerların sabit ve belirli bir basınç değerinde çalışması yerine, sistemin ihtiyacına göre optimum basıncın sağlanması enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Çünkü yüksek basınç kullanımı, yüksek enerji tüketimi ve maliyet gerektirmektedir. Optimum sistem tasarımı için borulama gibi taşıma mesafesi gibi faktörler de göz önüne alınmalıdır. Taşınan malzemeye göre uygun basınç değerinde iletim sağlanması enerji verimliliğinin yanı sıra; taşıma esnasında meydana gelen bozulmaların önlenmesine de katkı sağlayacaktır. Örneğin kan numunelerinin belirli hız değerinin üstünde taşınması hemolize sebep olmakta bu da kan örneklerinin yeniden alınmasını gerektirmektedir. Ayrıca ayarlanabilir hızlarda taşıma yapmak, farklı türlerdeki numunelerin hassas olarak taşınmasına olanak sağlamaktadır. Yaptığımız tez çalışması kapsamında önerilen sistem deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlara göre hastane pnömatik sisteminin farklı yapay zekâ teknikleriyle modellenerek sistem için en uygun modelin bulunması amaçlanır. Yapılan çalışma literatürdeki çalışmaları destekleyici ve geliştirici niteliktedir. Pnömatik taşıma sistemlerinin en yaygın kullanıldığı alanlardan biri olan hastane pnömatik sistemlerinin optimizasyonu ile ilgili

önemli bir yenilik ve bakış açısı sağlamaktadır. Literatürde hastane pnömatik sistemlerinin kontrolüne yönelik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Hastane pnömatik sistemleriyle ilgili çalışmalar PTS'nin taşınan kan numulerindeki bozulmaya (hemolize) etkisi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışma daha önce üzerinde pek fazla çalışılmamış bir alan olan hastane pnömatik sistemlerinin daha verimli olarak kullanılmasına odaklanmaktadır. Önerilen model sayesinde sistemin enerji kaybı minimuma indirilecek, taşınan malzemenin türüne göre uygun hızda taşıma sağlanarak sistem elemanlarının yıpranmasının ve numune bozulmalarının önüne geçilebilecektir. Böylece kan numuneleri de uygun hızda taşınması sağlanarak hemolizin önlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca taşıma mesafesini kısaltmak ve sistemin daha verimli çalışmasını sağlamak amacıyla sistem graf yapısı ile modellenerek hastane pnömatik taşıma sistemlerinde enerji, zaman tasarrufu sağlamak amaçlanmıştır. Sistemde insan kaynağının rolü azaltılarak hız, maliyet ve kullanım kolaylığı gibi avantajlar sağlanması amacıyla sistemin kodlu etiketleme sistemine taşınması önerilmiştir ve ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak sistemin matematiksel modeli elde edilmiştir. Simulink ve benzer diğer benzetim programlarında hastane pnömatik sistemine ait elemanların ve modellediğimiz sisteme ait parametrelerin bir kısmının karşılığı bulunmadığı için sistem benzetim çalışması yapılamamıştır. Önerilen tüm modellerin hastane pnömatik sistemleri için basınç modellemesine bilimsel ve pratik bir çözüm sunması beklenmektedir.

Tez çalışmasının bundan sonraki kısımları şu şekilde organize edilmiştir: 2. bölümde pnömatik taşıma sistemleri ile ilgili bilgilere ve literatürdeki çalışmalara yer verilmiştir. 3. Bölümde pnömatik taşıma sistemleri için kullanılabilecek modelleme yöntemleri detaylandırılmıştır. 4. Bölümde veri seti ve pnömatik sistem dizaynı hakkında detaylı açıklamalar yapılmış, sistem modeli ve detaylarına değinilmiştir. 5. Bölümde yapay zeka yöntemleri kullanılarak iyileştirilmiş modeller hakkında bilgiler yer almaktadır. Son kısım olan 6. Bölümde sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ

Eski Yunancada nefes alma anlamına gelen pneuma kelimesinden türetilen pnömatik; önceden üretilen atmosfer basıncı üstünde bir hava basıncındaki mevcut potansiyel enerjiden yararlanarak iş yapmak anlamına gelir. Tarihçesi M.Ö. tarihlere kadar gitmektedir. O dönemlerde saf maden eritmede kullanılan ve hayvan dersinden imal edilen elle çalışan körükler ilk mekanik kompresörler olarak kabul edilebilir. 1835 yılında J.R. von Hohenbulum ilk defa pnömatik boru postasını yapmıştır [45]. 1857 de İsviçre alplerinde Cernis Dağı tünel inşaatında basınçlı hava kullanılmış ve pnömatik tramvay sistemleri geliştirilmiştir [46]. 1950li yıllardan sonra modern endüstriyel pnömatik elektronik sistemlerle birlikte kumanda tekniğine uygulanmış ve günümüzde bilgisayar sistemleri ile daha da gelişmiştir. Bir pnömatik taşıma sistemi gaz akışı sayesinde farklı türlerdeki materyallerin bir yerden başka bir yere transfer edilme sürecini ifade eder. Pnömatik sistemlerde sıkça kullanılan basıncın SI standart birimi Paskal (N/m²) dir. Fakat basınç değerleri çok büyük olduğunda Bar (10⁵Pa) olarak da ifade edilmektedir. Ayrıca 1 Bar=1,02 kg/cm² dir. Pnömatik kumanda sistemlerinde kullanılan işin gücüne uygun düzeydeki basınçlı hava Kompresörler tarafından üretilir. Kompresörün debisi gücünü belirleyen temel faktör olup lt/dk veya m³/dk cinsinden ifade edilmektedir. Kompresörler pistonlu ve akışlı olmak üzere iki farklı şekilde ayrılabilir. Ayrıca sessiz ve darbesiz hava üretme kabiliyetine sahip dönel kompresörlerde mevcuttur. Tipik bir hava soğutmalı kompresörün çalışma sistemi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu tip kompresörler ortam havasını sıkıştırarak basınçlı hava üretirler. Düşük basınçlar için tek kademeli, yüksek basınçlar için ise iki kademeli kompresörler kullanılır. Basınçlı hava silindirlerinde oluşturulan kuvvet, piston kuvveti olarak adlandırılır ve aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

Tek yönde etkili silindirler;

$$F = D^2 \Pi / 4 p \cdot f \quad (2.1)$$

Çift yönde etkili silindirler için;

Çıkış Stroku:

$$F = D^2 \Pi / 4 p \quad (2.2)$$

Giriş Strok:

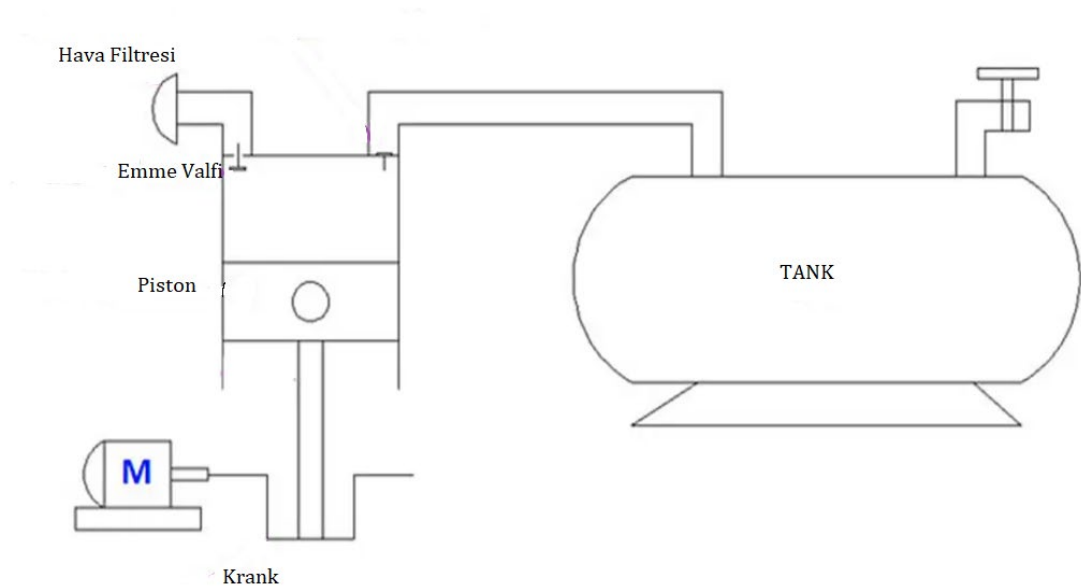
$$F = (D^2 - d^2) \Pi / 4 p \quad (2.3)$$

Burada; D= Piston çapı (cm), d= Piston kol çapı (cm), p= çalışma basıncı (bar), ve f=yay kuvveti (daN) dur.

Genel olarak silindir basınç kuvvetinin max %10'luk bölümü sürtünme dirençleri için tüketilir. Basıncılı hava silindirine iletilen basınçlı havadaki potansiyel enerji işe dönüştürülerek tüketilir. Tipik hava tüketimi=sıkıştırma oranı x piston alanı x strok formülü ile hesaplanabilir. Yani;

$$Q = s. n. q \text{ (lt/dk)} \quad (2.4)$$

Burada; s=strok (cm), n=dakikadaki çevirim sayısı ve q=cm strok başına hava tüketimi dir.



Şekil 2.1. Tipik Kompresörün Çalışma Prensibi.

Pnömatik sistemleri enerji kaynağı olarak kullanılan havanın atmosferden alınabilmesi için kompresörler kullanılmaktadır. Kompresörler atmosferden elde edilen havayı sıkıştırarak, basınçlı hale getirirler ve hava ile çalışan sistemler için zorunludurlar. Tipik bir kompresör ve bileşenleri Şekil 2.2’de görülmektedir. Kompresör emiş havasının dış ortamdan alınmasında esnasında tercih edilecek hava temiz, kuru ve soğuk olmalıdır ve güneş almayan bir ortama bakmalıdır. Ayrıca giriş hava sıcaklığı belirli bir değerin üstünde olmamalıdır. 5° C’ lik artış verimde %2’lik kayba sebep olur.

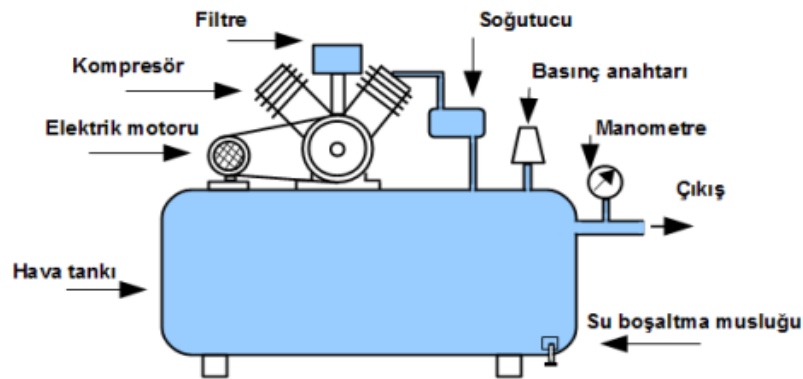
Sıcaklığın düşüşü yoğunluğu arttırmaktadır. Böylece daha az güç ile daha fazla hava sıkıştırılabilir. Her 3 °C düşüş, enerji tüketimi %1 azalmaya sebep olur. Kompresörler kapalı odalarda çalışır ve çalışma sıcaklıkları dış ortama göre daha fazladır. Üretilen hava miktarı aşağıdaki formül ile bulunabilir:

$$HM = V_2 \times p_2 \times T_1 / T_2 \times p_1 \quad (2.5)$$

Burada; p₁ = Giriş basıncı (bar), T₁ = Giriş sıcaklığı (°C), V₂ = Çıkış hacmi (m³),

p₂ = Çıkış basıncı (bar), T₂ = Çıkış sıcaklığı (°C)

Basınçlı hava sistemleri 1 bara kadar basınç düşümüne uygun olarak 7 bar basınçta çalıştırılırlar. Diğer sistem elemanlarının kompresör maksimum çıkış basıncından daha büyük basınç değerinde çalışmaları gerekir. İşletme basıncından daha küçük basınçta çalışan pnömatik aletler için ise basınç regülatörü kullanımı tercih edilmelidir.



Şekil 2.2. Kompresör Tankı ve Bileşenleri [47].

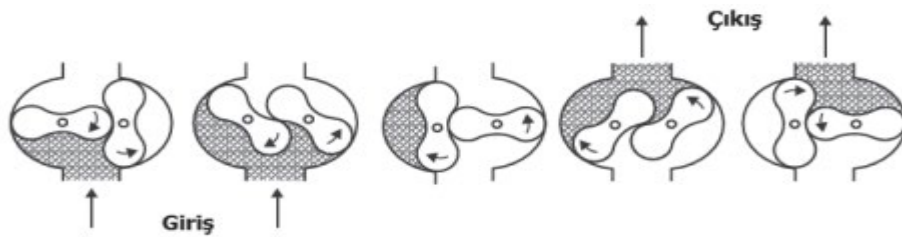
Fakat genelde kompresörlerin ürettiği basınçlı hava kirlidir. Bu yüzden basınçlı havanın kurutulup sistem için hazırlanması gerekir. Temiz ve kullanılabilir havanın tesise verilmeden önce hazırlanışı için tasarlanmış basit hava üretim ünitesi Şekil 2.3’ de

gösterilmiştir. Pnömatik boru basınçlı havayı sisteme taşır ve bağlantı elemanları, vanalar, dirsekler hava dağıtım sistemini oluşturur. Kaçak ve kayıpların azaltılması, uygun cihaz ve malzemelerin seçilmesi, tesisin uzmanca döşenmesi ve bakımının yapılması, tesisin uzun vadeli istenilen şartlarda kararlı ve ekonomik çalışması için hava dağıtımının önemi büyüktür. Ana dağıtım hattı mümkün olduğunca yerden yükseğe yerleştirilmelidir ve hava akış yönünde %1-2° eğime sahip olmalıdır. Hat üzerinde toplanan suların tahliyesi için boşaltma muslukları konulmalıdır. Genelde, tesisin hava deposundan son tüketiciye kadar uzanan iletim hatlarında basınç düşümü 1 barın üzerine çıkmaması istenir.



Şekil 2.3. Basınçlı Hava Üretim Tesisini [48].

Düşük basınç ve büyük debilerde taşıma yapabilmek için bloverlar Şekil 2.4'te roots tipi pozitif yer değiştirmeli bloverin çalışma prensibi gösterilmiştir. Diğer tip bloverler ise, düşük basınçlarda büyük debilerin aktarıldığı, genellikle fan blover veya turbo makine olarak adlandırılan rotorlu tiplerdir. Roots bloverinde iki benzer rotor (lob) aynı gövde içinde birbirlerine ters yönde dönerler.



Şekil 2.4. Pozitif Yer Değiştirmeli Blover [49].

Taşıma mesafesinin tasarlanan değerden daha büyük olduğu durumlarda, performans düşüklüğünü ve tıkanmaları önlemek için tank içinde hava oranının değiştirilmesi gerekir.

Basınç düşümü malzeme boşaltımı esnasında da meydana gelebilir. Hat uzadıkça kayıp artar. Bu sebeple hava kaynağı blower tanka yakın olmalıdır. Bu sistemlerin amacı taşınacak materyallerin daha az hasar görecektir şekilde taşınmasını sağlamaktır.

Pnömatik sistemlerin belli başlı avantajları;

1. Hava atmosferde sınırsız olarak bulunmaktadır.
2. Hava temiz bir kaynaktır ve çevreyi kirletmez
3. Hızı ve kuvveti kolaylıkla ayarlanabilir
4. Basınçlı hava uzak mesafelere taşınabilir.
5. Devre elemanları basit ve ucuzdur.
6. Yüksek hız elde edilebilir.
7. Aşırı yüklemelere karşı emniyetlidir.
8. Basınçlı havanın ateş alma tehlikesi yoktur.
9. Malzemelerin kapalı bir boru içinde taşınması temizlik ve atmosfere toz yayılımı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Fakat bazı dezavantajları da vardır;

1. Piston hızını istenilen değerlerde tutmak kolay olmayabilir.
2. Çalışma basıncı 6-7 bar olduğu için büyük kuvvetler elde edilemez.
3. Eksoz hattından dışarı atılan hava enerji kaybına sebep olur.
4. Sistemde susturucu kullanılmazsa gürültülü olabilir.
5. Uygun şekilde yağlayıcı ve filtre kullanılmadığı zaman sürtünme artar.

Belirli bir kesitten akan akışkanın debisi, kesitin büyüklüğü ve akış hızına bağlı olarak değişir. Q: akış debisini, A: kesit alanı ve V ise akış hızını göstermektedir.

$$Q=A.V \quad (2.6)$$

Hava hızı borunun kesiti değişmedikçe aynı kalır. Kesit alanı artarken akış hızı azalır. Kesit alanı küçülürken akış hızı artar. Hava küçük kesitlerde daha hızlı akar. Boru iç çaplarının belirlenmesinde havanın akış hızı dikkate alınmalıdır. Pnömatik sistemde sürtünme kayıplarını düşük tutabilmek için havanın akış hızı 9-10 m/s'yi geçmemelidir.

Boru ve hortumlar mümkün olduğunca kısa seçilmelidir. Boru çaplarının küçük olması akış hızını artırır. Akış hızı ve basınç düşüşü arasında doğrusal bir orantı vardır. Akış hızı arttıkça basınç düşüşü artar. Tesisatın değişik noktalarında (valf bağlantıları, dirsekler, kesitin daraldığı bölgeler vb.) akış hızı belirlenen sınırların üzerine çıkar. Hava tüketiminin de artmasıyla yüksek akış hızları elde edilir. Bu kısımlarda basınç düşüşünün yanı sıra sıcaklığın aşırı düşmesi sonucu buzlanmalar oluşabilir. Belli başlı basınç düşüşünün nedenleri;

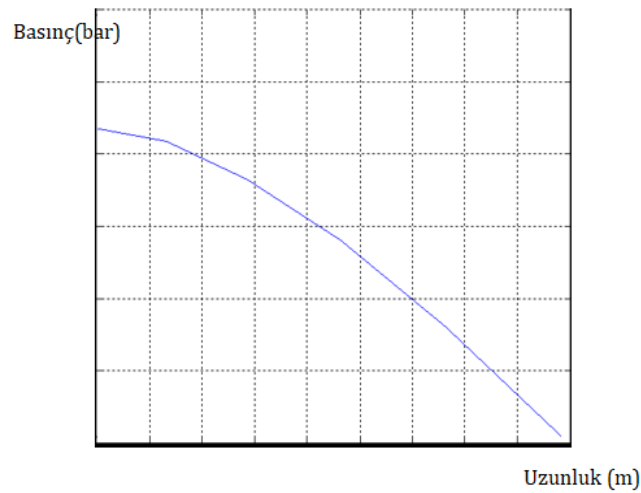
1.Hattın uzunluğu ve bağlantı elemanlarının sayısı

2.Türbülanslı akış

3.Moleküler iç sürtünme

4.Yüksek akış hızlarıdır.

Boru uzunluğu ve basınç arasındaki ilişkiyi ifade eden şematik gösterim Şekil 2.5'te verilmiştir. Ayrıca basınç düşüşlerine neden olan hava kaçaklarına ait tipik veriler Çizelge 2.1'de verilmiştir. Hava kaçakları çalışma basıncının düşmesine sebep olmakta buda ürünün istenilen mesafeye zamanında iletilmesine neden olarak sistemin kullanılabilirliğini ve ekonomikliğini etkilemektedir.



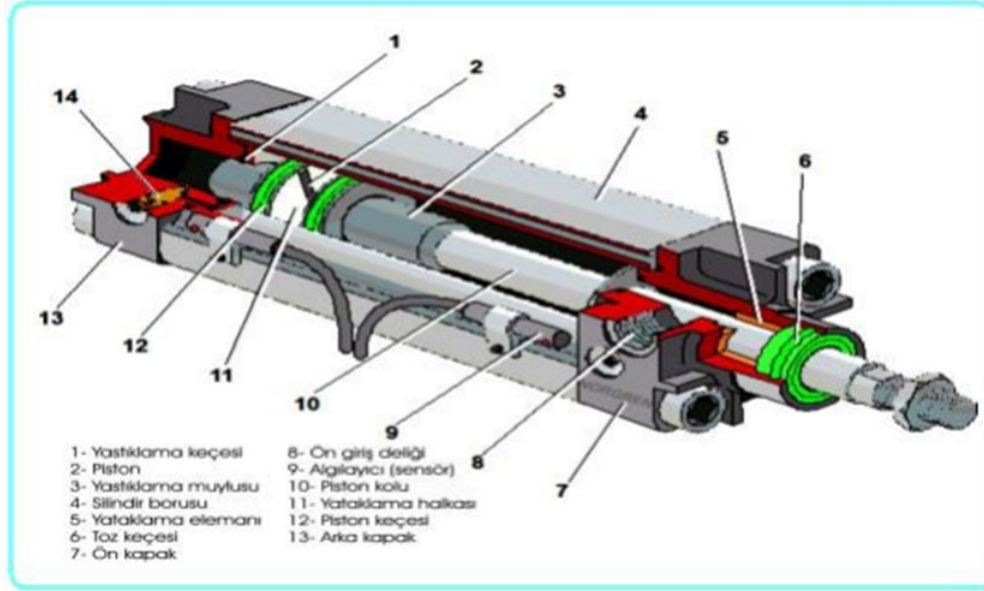
Şekil 2.5. Boru Hat Uzunluğu ve Basınç Arasındaki İlişkiye ait Grafik [50].

Çizelge 2.1. Çeşitli Basınç ve Çaplardaki Hava Kaçak Miktarları [51].

Basınç (bar)	0.5mm	1 mm	2 mm	3 mm	5 mm	10 mm	12.5 mm
0.5	0.06	0.22	0.92	2.1	5.7	22.8	35.5
1.0	0.08	0.33	1.33	3.0	8.4	33.6	52.5
2.5	0.14	0.58	2.33	5.5	14.6	58.6	91.4
5.0	0.25	0.97	3.92	8.8	24.4	97.5	152.0
7.0	0.33	1.31	5.19	11.6	32.5	129.0	202.0

2.1. PNÖMATİK SİLİNDİRLER

Pnömatik silindirler doğrusal ve açısal hareketlerin elde edilmesinde kullanılır. Pnömatik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürür. Genel uygulamalar için üretilen silindirler 10 bar'lık çalışma basınçlarına kadar dayanabilir. Daha yüksek basınçlar için özel üretilmiş pnömatik silindirler kullanılmalıdır. Bir silindirin çalışabilmesi için iki şart gereklidir. 1. Pistonu ileri ya da geri iten bir kuvvet (Yükün etkisiyle ya da akışkan basıncıyla oluşur). 2. Hava tahliyesi. Bu iki şarttan birisi gerçekleşmezse silindir hareket etmez. Silindire giren ya da silindirden çıkıp egzozu kadar giden hatta kısıtlama varsa, yani akışkan debisi düşükse (örneğin: Hortumlarda ezilme, tıkanma vb. nedenlerden dolayı), silindir hızının azaldığı görülür. Şekil 2.6'da temel pnömatik devre elemanı olan silindir ve kısımları gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Pnömatik Silindir ve Temel Bileşenleri [52].

Ayrıca pnömatik devrelerde, akış kontrol valfleri (Çek valf), Yön Kontrol valfleri, pnömatik motorlar, borular, bağlantı elemanları, filtre, basınç regülatörü, gibi çok farklı devre elemanları mevcut olup, kullanım amaçları ve yerine göre sistem tasarımında kullanılmaktadırlar.

2.2. VAKUMLU TAŞIMA SİSTEMLERİ

Vakumlu taşıma sistemlerinde dikkat edilecek hususlar; kısa taşıma mesafesi sistem ve işletme maliyetlerini az olmalı, sistem ve işletme maliyetlerini azaltmak için boru bükülmelerini minimumda tutulmalı, taşıyıcı boru hattını eğimli bir düzlemde çalıştırmaktan kaçınılmalı, Mümkün olduğunca sert borular tercih edilmelidir. Malzemeyi bir taşıyıcı boru hattına emebilmek ve daha sonra da taşımak için, taşıma havasının belirli bir minimum hızda olması gerekir. Çoğu malzemenin harekete geçirilebilmesi için ek havaya ihtiyacı vardır. Eğer bir sistem tatmin edici bir şekilde çalışacak ise, besleme, yani emme noktası doğru bir şekilde tasarlanmalıdır. Emme kapasitesi mesafenin karesi kadar azaldığından, malzemenin taşıma boru hattı üzerindeki emme bölgesine yakın olması önemlidir. Emme noktası bir besleme istasyonu olarak tasarlandığında, boru hattında doğru oranlarda malzeme ve hava vermek üzere kontrol edilebilen, genellikle biri hava için olan ve biri malzeme için olan iki vana bulunur. Havayı beslemenin diğer bir yolu, özellikle taşınması zor olan malzeme ile besleme

hunisini akışkanlaştırma ile uydurmaktır. Emme ağzı kullanılıyorsa, ilave hava tedarik etmenin en basit yolu, giriş havasının çatal boru üzerindeki bir vana yardımıyla düzenlendiği çift taraflı bir besleme memesi kullanmaktır. İç tüp, dış tüp ile ilişkili olarak yukarıya ve aşağıya düzenlenebilir ve bu ayar da taşıma üzerinde bir etkiye sahiptir. Taşıyıcıların tüp içinde gidip gelmesi pozitif veya negatif hava basıncı ile gerçekleşmektedir. Basınçlandırma ünitesi tipinin seçiminde sistemin uzunluğu, tüp çapı, dirsek tüplerin sayısı, kullanım sıklığı ve gönderilenlerin ağırlığı faktörleri esas alınmaktadır. Yatay durumdaki bir taşıyıcıyı harekete geçirmek için gereken basınç yalnız 4 mbar dır. Yatay pozisyonadaki transferlerde basınçtan çok hava akışının (airflow) önemi vardır. Dikey transferlerde durum farklıdır. Bu pozisyonda içinde 800 gram ağırlık olan bir taşıyıcıyı harekete geçirmek için gereken basınç en az 11 mbar dır. Sisteme fazla basınç gerektiğinde birden fazla ünite seri olarak, fazla hava miktarına ihtiyaç olduğunda ise paralel olarak bağlanabilmektedir [51].

Pnömatik tüp sistemlerinin geçmişte olduğu gibi gelecekte de vazgeçilmez bir taşıma biçimi olacağı açıktır. Birçok farklı türdeki materyalin hızlı ve güvenilir bir biçimde taşınmasına olanak sağlar ve insan gücünün taşımada zaman kaybetmesi önlenmiş olur [53]. Pnömatik tüp sisteminin diğer kullanım alanları şunlardır: Yüklü miktarda paranın tek yönde taşınmasını sağlayan para taşıma pnömatik tüp sistemleri, eczanelerde depolardaki ilaçların taşınması için kullanılan eczane pnömatik tüp sistemleri, endüstriyel pnömatik tüp sistemleri, veznelere nakit akışı sağlayan banka pnömatik tüp sistemleri, harita, evrak veya büro malzemesi yönetimi için kullanılan yönetim-idare pnömatik tüp sistemleri ve son olarak çalışmamızın asıl konusu olan hastane pnömatik sistemleridir.

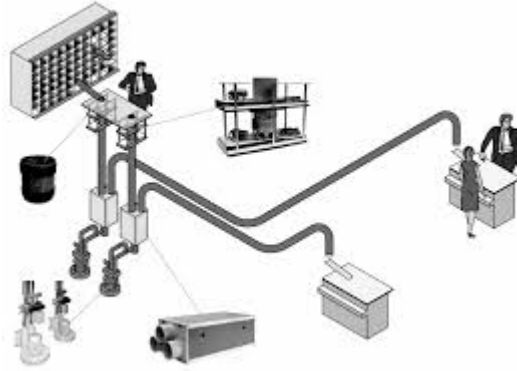
2.2.1. Hastane Pnömatik Sistemleri

Hastane pnömatik tüp sistemleri, bir hastanenin malzeme taşıma sistemlerinin hayati bir bileşenidir ve laboratuvar numunelerinin bir yerden başka bir yere zamanında taşımak için verimli bir yol sağlar [54]. İnsan hayatı ve sağlığı söz konusu olduğunda kullanılan sistemlerin hızlı ve verimli bir şekilde yönetilmesi daha da önemli hale gelmektedir. Hastane pnömatik sistemleri de bu bakımdan oldukça önem taşımaktadır. Hastane pnömatik tüp sistemleri ile laboratuvar örnekleri, numuneler vb birçok materyal hastane birimleri arasında güvenli bir şekilde taşınır. Bu sistemler zaman ve alan tasarrufunu bir arada sağlamaktadır. Ayrıca hastane personelinin diğer işlere daha fazla zaman ayırabilmesine olanak sağlamaktadır.

Hastane pnömatik sistemlerinin faydaları şu şekilde özetlenebilir:

- Hızlı ve güvenli ve pratik numune gönderimi sağlar.
- Hastane personeli için iş gücü verimliliği sağlar.
- Sessiz bir şekilde çalışır ve sterilizasyonu kolaydır.
- Sistemin hava geçirmez özelliği sayesinde malzeme kaynaklı bulaşıcılık riski azalır.
- Bilgisayarlı kontrol sistemi sayesinde kontrol edilebilir bir yapısı vardır [55].

Bu sistemler boyutları ve işleyişleri açısından oldukça karmaşık hale gelmiş olsalar da sistem performansını değerlendiren veya sistem tasarımını kolaylaştıran analiz araçları konusunda çok az şey mevcuttur. Kritik bir hizmet sağlayan sistemler için bu kadar büyük sermaye harcamaları yapılırken, bu sistemleri analiz etmek için tekniklerin geliştirilmesi önemlidir. Neyse ki, çoğu pnömatik tüp sistemi bilgisayar kontrollüdür ve trafik ve işlem analizleri için kullanılabilecek çok ayrıntılı işlem verileri üretir [54]. Şekil 2.7’ de hastane pnömatik sistemleri ve işleyişine ait diyagram gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Hastane Pnömatik Sistemlerine ait Diyagram.

3. PNÖMATİK TAŞIMA SİSTEMLERİ İÇİN MODELLEME ÖNERİLERİ

Modelleme, bir sistemin girişleri ve çıkışları arasındaki ilişkiyi matematiksel denklemlerle ifade edilmesidir [56]. Modelleme sistemlerin analiz edilmesinde ve performanslarının incelenmesinde önemli rol oynar.

Hastane pnömatik sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik tez kapsamında önerilen modelleme yöntemleri bu bölümde detaylandırılmıştır. Burada kullanılan modelleme yöntemlerinin amacı hastane personelinin iş yükünü azaltıp, taşıma sisteminin yönetimini ve kontrolünü kolaylaştırarak, sistemin verimliliğini arttırmaya yöneliktir.

3.1. KODLU ETİKETLEME SİSTEMLERİ İLE MODELLEME

Kodlama bir bilginin belirli bir mantık ve teknoloji kullanarak belirli format ve simgelere dönüştürülmesidir. Kodlama verinin doğru, güvenilir ve hızlı bir biçimde hedefe ulaşmasında önemlidir. Verilerin bir kaynağı vardır ve kodlama ve işleme aşamalarından geçer. Kodlanmış veri ise ya başka bir kanala iletilir ya da depolanır [57].

Deneyisel çalışmaların yürütüldüğü Düzce Üniversite Araştırma ve Uygulama Hastanesi Pnömatik Taşıma Sisteminde numunelerin taşınma esnasında herhangi bir kodlu etiketleme sistemi kullanılmamaktadır. Bu durum numunelerin gönderimi esnasında gönderilecek birim kodunun bilinmemesi ya da yanlış girilmesi durumunda karışıklıklara ve aksamalara sebep olabilmektedir. Bu problemleri gidermek amacı ile mevcut sisteme kodlanmış etiketlerin kullanılması önerilmektedir. Bu sayede, numunelerin yanlış adreslere gönderilmesi gibi problemlere çözüme kavuşup, hastanenin farklı birimleri arasında doğru ve etkin bir numune taşınması hedeflenmektedir. Bu amaçla barkod, kare kod ve rfid teknolojileri ve hastane pnömatik taşıma sistemleri için uygunlukları incelenmiştir.

3.1.1. Kodlu Etiketleme Teknolojileri

Otomatik tanımlama ve veri iletimi ve toplanması amacıyla hastane pnömatik sistemlerinde taşıma haznelerini etiketlemek için kullanılabilecek teknolojiler şu şekilde sıralanabilir:

Barkodlar bir ürüne ait özellikleri belirlemek amacıyla belirli kurallara göre oluşturulmuş bir dizi dikey çizgiden oluşan bir işaretleme yöntemidir [58]. Bu alandaki ilk çalışma 1932 yılında delikli kart kullanımıyla yapılmış olsa da modern kapsamda ilk uygulama 1948 de kasadan geçen ürünler hakkında bilgilerin elde edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu teknoloji farklı türdeki numuneleri birbirinden ayırt etmek için matematiksel sistemler kullanır. Hareket, takip ve sayma ile ilgili işlemlerin olduğu sistemler için uygundur. Hastane birimleri arasında hızlı, güvenilir taşımaya olanak sağlamaktadırlar. Taşıma, sayım ve takip içeren sistemler için uygundur.

Barkod teknolojisi kullanmak sistemler için risk oluşturmaz ve malzeme kontrolü, taşıma işlemlerinin hızlanması ve takibi için avantajlı çözümler sunar [59]. Şekil 3.1’de barkodların özellikleri ve barkodlarda bulunan temel bileşenler görülmektedir.

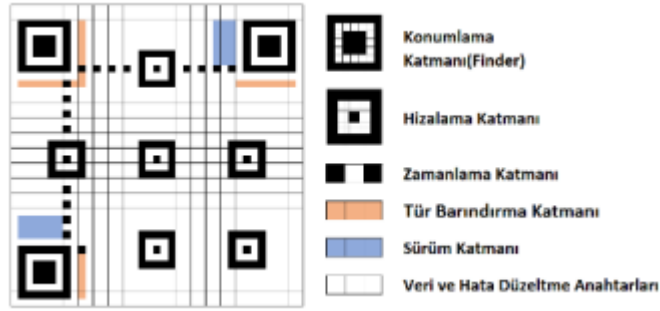


Şekil 3.1. Barkod Özellikleri ve Bileşenleri [59].

Kare kodlar beyaz ve siyah dikdörtgen veya kare şeklindeki matrislerinden oluşan bir barkod türüdür [60]. QR (Quick Response Code) kodlar 2 boyutlu bir matristen oluşur ve kolaylıkla çözümlenebilirler [61]. Barkodlara göre daha gelişmiş teknolojiye sahiptirler ve kapasiteleri daha fazladır. Bu sistemler veri kaybını önleyen güvenilir bir yöntem sağlamakla beraber çift yönlü (dikey ve yatay) olarak okunabilmektedirler [62].

QR kodları, diğer kodlama teknolojilerinden ayıran temel özellikleri 360 derece yüksek hızla okunabilirlikleri ve yüksek kapasitede veri depolayabilme yetenekleridir [63]. QR kodlar karesel bir desene benzer. Kodlama ve fonksiyon desenlerini içeren iki bölgeden oluşur. QR kod sembolünün üç köşesindeki üç ortak yapıya bulucu desenler denir. Bulucu desen, sembolün doğru yönüne karar vermek için kullanılır. Zamanlama desenleri, desenin tarafını bulmak için kod çözücü yazılımı tarafından kullanılır. Hizalama

desenleri, dekoder yazılımı tarafından sembolün doğru bir şekilde kodunun çözülmesi için görüntü bozulması durumunda kullanılır. Bölgenin geri kalanı, yani fonksiyon kalıbı dışında, veri kodu kelimelerinin ve hata düzeltme kod kelimelerinin depolandığı kodlanmış bölgedir [64]. QR kod teknolojisini kullanabilmek için kamera özelliğine sahip iletişim araçlarına ve QR kod okuyucu uygulamalar gereklidir. Bu teknoloji neredeyse her alanda veri iletimini hatasız ve güvenilir bir şekilde sağlayabilmektedir. Sağlık alanında da aktif olarak kullanılabilir. Şekil 3.2 QR kod mimarisini göstermektedir.



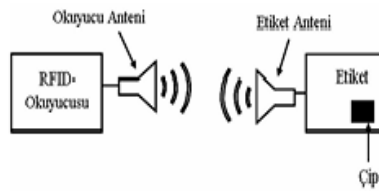
Şekil 3.2. QR Kod Mimarisi [65].

Rfid teknolojisi ise radyo frekansları kullanan elektronik devre sistemlerinden oluşmaktadırlar. Rfid etiketlerinden anten aracılığıyla alınan radyo dalgaları sayısal verilere dönüştürülür [66].

Bir RFID sistemi üç alt sistemden oluşabilir

- RF (radio frequency) alt sistemi (RF subsystem)
- Kurumsal alt sistem (enterprise subsystem)
- Kurumlar arası alt sistem (inter-enterprise subsystem)

Şekil 3.3 RF alt sistemini göstermektedir.



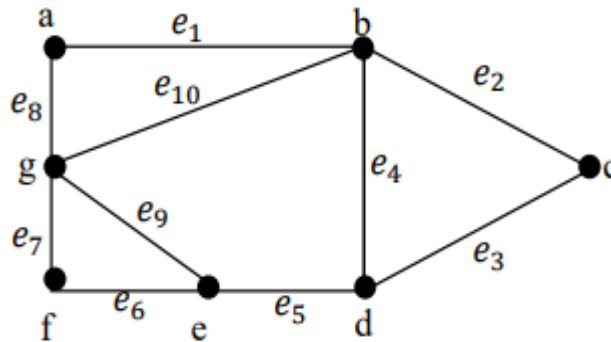
Şekil 3.3. RF Alt Sistemi [67].

Rfid fiziksel bağlantı gerektirmeden veri aktarımı sağlar [68]. Bu sistemler anten ve okuyucu ya da anten ve yazıcı/okuyucudan oluşabilir. Etiketler ile radyo dalgaları vasıtasıyla iletişim kurulur, alınan komut ve veriler kodlanarak elektromanyetik dalgalara dönüştürülür ve etiketlere gönderilir ve daha sonra dijital bilgilere dönüştürülür [69].

Bu teknoloji lojistik, kütüphane, hastane gibi birçok sektörde aktif olarak kullanılmaktadır. Ancak pahalı bir teknoloji olması ve firmalar arasında farklı standartların var olması sebebiyle endüstride kullanımı yaygınlaşamamıştır [70]. RFID sistemlerini Ethernet, Wifi, GPRS gibi teknolojilerle bir ağa bağlanması kullanım alanlarını geliştirilebilir [71].

3.2. GRAF TABANLI MODELLEME

Graf teorisi 1736 yılında Leonhard Euler'in Königsberg köprü problemi ile ortaya çıkar. Bu teoriye göre nesneler noktalar ile nesnelerin arasındaki ilişkiler ise çizgilerle ifade edilerek bir diyagram oluşturulur. Böylece köprü problemi şekiller çizilerek çözülmeye çalışılır [72]. Günümüzde en kısa yol bulma ile ilgili birçok problemde bu teori kullanılmaktadır. Noktalar kümesi ve şemalarla ifade edebildiğimiz günlük hayattaki birçok probleme bu yaklaşım sayesinde çözüm bulunabilmektedir. Grafların kullanım alanlarına elektronik devreler, ulaşım ağları, bilgisayar ağları ve veri tabanları örnek gösterilebilir. Bizde çalışmamızda hastanelerde kullanılmak üzere taşıma hattının graf teorisi ile modellenmesini önermekteyiz. Bir graf nokta kümeleri(V) ile bu nokta kümelerini birbirine bağlayan kenarlardan oluşur (E) ve $G = (V, E)$ ile gösterilir [73]. Şekil 3.4' de 10 kenar ve 7 köşeye sahip bir graf örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Graf Örneği.

Tez çalışması kapsamında graf tabanlı kontrol yöntemi kullanılarak sistemde numunelerin taşındığı boru hattı modellenmiş, en kısa yol bulma algoritmalarının entegre edildiği bir modelleme önerisinde bulunulmuştur.

3.2.1. En Kısa Yol Bulma Algoritmaları

Endüstriyel birçok uygulamada kullanılan en kısa yol problemi temel bir optimizasyon konusudur [74]. En kısa yol problemi kaynaktan hedefe ulaşmaya kadar en uygun rotayı bulmaya odaklanır. En kısa mesafe, en az zaman ve en uygun maliyeti hedefler. En kısa yol problemiyle ilgili olarak 1958 yılında Bellman, 1959 yılında Dijkstra, 1962 yılında Floyd ve 1969 yılında Dreyfus gibi algoritmalar ortaya çıkmıştır [75]. Dijkstra algoritması ağırlıklı ve yönlü graflar için kullanırken, Bellman ve Ford algoritması negatif ağırlıklı graflar için uygundur.

Dijkstra algoritmasının kısa yolun belirlenmesinde, en iyi yerel çözümü göz önüne alan Greedy yaklaşımı kullanılır [76]. Dijkstra Algoritmasının diğer algoritmalara göre daha doğru ve kesin sonuçlar vermektedir. Dijkstra algoritmasının çalışması şu şekilde özetlenebilir:

1. Başlangıç düğümü ve bu düğümden gidilebilecek olası düğümler belirlenir.
2. Düğümler arasındaki en az maliyetli kenarlar hesaplanır. Diğer düğümler üzerinde güncelleme yapılmaz ve seçilmemiş düğümlerin değeri sonsuz olarak tanımlanır.
3. Bir önceki aşamada maliyeti en az olan düğümden başlanarak bu düğümden gidilebilecek tüm düğümler için aynı işlem uygulanır. Graftaki düğümlerin tümü bir değere sahip oluncaya kadar maliyet ataması yapılır.

Bellman-Ford algoritması, Dijkstra algoritmasına ek olarak negatif maliyetli kenar olup olmadığını belirler.

3.3. MATEMATİKSEL MODELLEME

Matematiksel modelleme, gerçek hayat bileşenlerinin matematiksel temsillerle ifade edilme süreci olarak tanımlanmaktadır [77].

Matematiksel modeller 3 genel kategoriye ayrılabilir.

1. White box (Beyaz kutu)
2. Black box (Kara kutu)

3.Gray box (Gri kutu) [78].

Beyaz Kutu Modelleme: Geleneksel olarak modelleme, sistemin doğasını ve davranışını anlamak ve bunları matematiksel olarak ifade etmektir. Bu yaklaşıma beyaz kutu modelleme denir. Beyaz kutu modellemede fiziksel ve kimyasal yasalar kullanılır. Örnek olarak elektromekanik bir sistemin modellenmesi verilebilir. Doğrusal olmayan ve karmaşık sistemler için beyaz kutu modelleme zordur [79].

Gri Kutu Modelleme: Beyaz kutu ve kara kutu modellemenin bir arada kullanılmasını içeren modelleme türüdür. Fiziksel olarak iyi bilinen veya yarı bilinen parçalar beyaz kutu, bilinmeyen parçalar ise kara kutu gibi modellenir. Gri kutu modelleme için yaygın yöntemler sistem tanımlama yöntemleridir [79].

Kara Kutu Modelleme: Bu modelleme yaklaşımında sistemin girdi ve çıktıları kullanılır ve sistem modelinin karmaşık olduğu durumlarda tercih edilir [80]. Sistemle ilgili detaylı bilgi edinmek amacıyla bu modeller kullanılır [81]. Şekil 3.5 Kara kutu modellemeye ait diyagramı göstermektedir. Bu modelde yalnızca giriş ve çıkışlar bilinmektedir.



Şekil 3.5. Kara Kutu Modelleme.

Matematiksel model geliştirmek için problemin formüle edilmesi gerekmektedir. Bu süreç aşağıdaki adımları içerir:

- 1- Modelleme çalışmasının amacının belirlenmesi.
- 2- Sistemi karakterize etmek
- 3- Sistemin sadeleştirilmesi ve idealleştirilmesi [82].

Hastane pnömatik sistemlerini enerji verimli ve efektif hale getirmek amacıyla tez çalışması kapsamındaki bir diğer çalışma ise bu sistemler için kullanılabilecek bir matematiksel model önerisidir. Bu model sistem performansını değerlendirebilmek için ve parametre etkilerinin gözlemlenebilmesi için oldukça önemlidir.

3.3.1. Regresyon Analizi ve Matematiksel Model

Regresyon analizi farklı değişkenler arasındaki ilişkiyi tahmin etmek ve modellemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir [83]. Havanın sıkıştırılabilirliği, ve sürtünme kuvveti etkisi bu sistemlerin lineer olmamasına sebep olur [44]. Bu sebeple pnömatik sistem değişkenleri arasında doğrusal olmayan ilişkiler mevcuttur. Bu ilişkiyi ifade edebilmek için çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılabilir.

Doğrusal olmayan regresyon modellerinin basit formda gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$y=f(x, \beta)+\varepsilon \quad (3.1)$$

3.4. YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE MODELLEME

3.4.1. Bulanık Modelleme

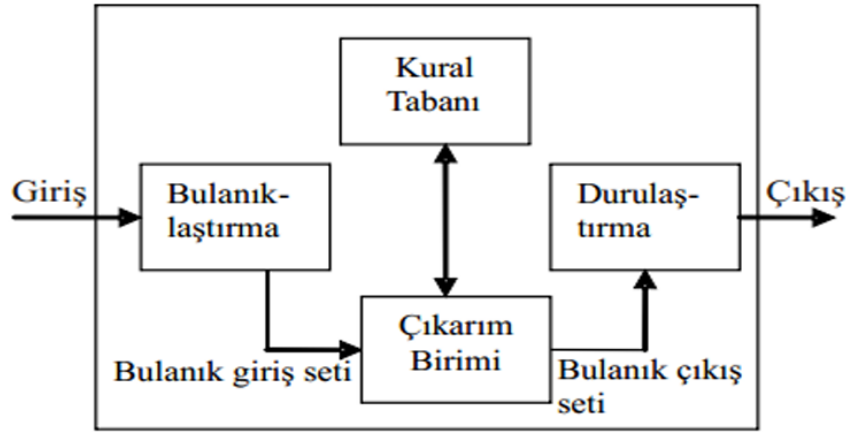
Bulanık mantık kavramı L.A Zadeh ile 1965 yılında ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık, matematiksel tanımlamalar yerine bulanık kümeleri kullanarak insan düşünme biçimine uygun ifadeler kullanır ve kural tabanlı bir yöntem sağlamaktadır.

Geleneksel kontrol uygulamalarına göre bozulmalara karşı daha dayanıklıdır. Doğal dile benzer ifadeler kullanır ve bu durum anlaşılmasını diğer yöntemlere göre daha kolay hale getirir [84]. Bulanık mantığın dezavantajları ise bu sistemlerde kullanılan kuralların deneyime bağımlı olması, üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntemin olmaması ve başka sistemlere uyarlanması zor olmasıdır. Bu dezavantajlar sistemin uzman bir kişi tarafından tasarlanmasıyla rahatlıkla aşılabılır. Sağlık alanında bulanık mantık yöntemi, sağlık hizmetlerinin verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak üzere kullanılabilecek geniş bir alana sahiptir. Sağladığı en büyük fayda ise, “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanımasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur.

Bulanık mantık kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu uygulamaların ortak yanı sistemlerin lineer olmayan yapıya sahip olması ve matematiksel modellerinin elde edilmesinin zor olmasıdır [85]. Bir elemanın bir kümeye aitlik derecesi (μ), 0 ile 1 arasında bir değeri ifade etmektedir. [86]. Klasik küme mantığının aksine her bir eleman belirli bir kümeye tam olarak dahil olmadan kısmi üyeliğe sahip olabilir. Kümeye aitlik

derecesi ile o kümeye aitliği belirtilir. Aitlik derecesi 1 olduğunda, bu eleman bulunduğu kümeye tam üyedir, aitlik derecesi 0 olduğunda ise, o kümeye üye değildir ve aitlik derecesi bu iki değer arasında ise oransal bir üyelikten bahsedilebilir [85].

Bir bulanık mantık sisteminin yapısı Şekil 3.6'da gösterilmektedir ve bulanıklaştırma ve durulaştırma gibi çeşitli aşamalarından meydana gelmektedir [87].

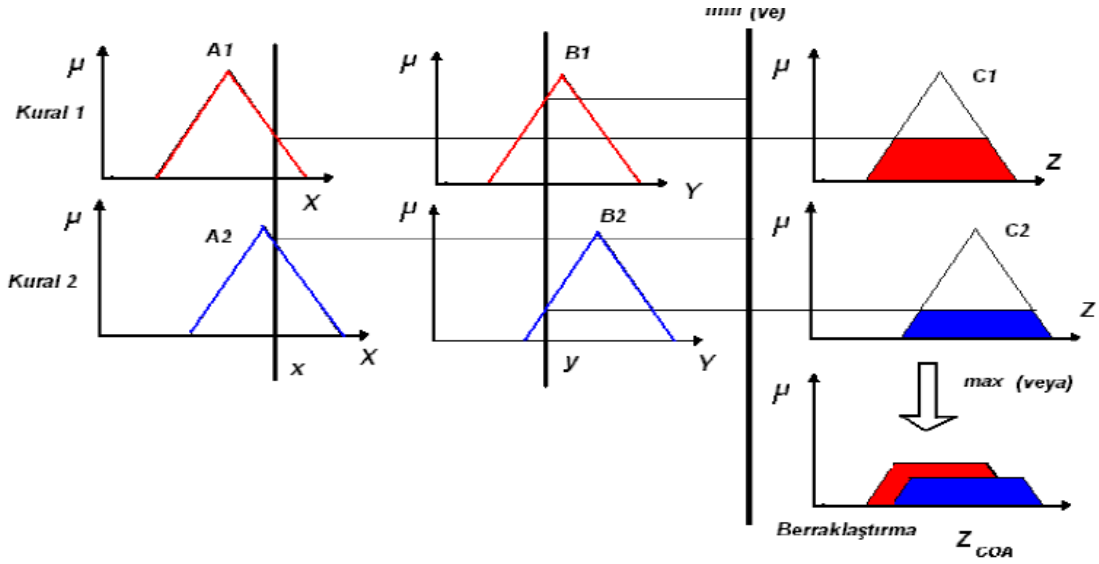


Şekil 3.6. Bulanık Mantık Sisteminin Yapısı.

Bulanık mantık sisteminin ilk aşaması verilerin toplanıp giriş olarak sunulmasıdır. Bir sonraki aşamada bulanıklaştırma yapılarak girişler bulanık ifadelerle dönüştürülür. Tüm girişler için 0 1 aralığında bir üyelik derecesine sahip olduğu aşamadır. Bu aşamadan sonra uzman bilgisi kullanılarak bulanık kurallar oluşturulur.

Durulaştırma aşamasında ise bulanık çıkışlar mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek sayısal değerlere dönüştürülür [88].

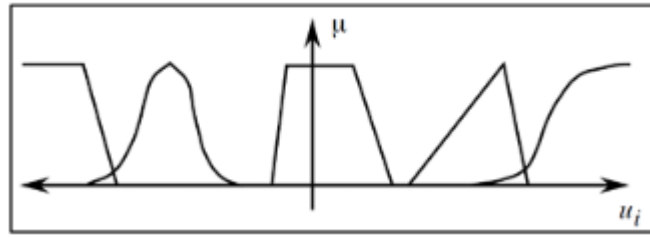
En yaygın olarak kullanılan çıkarım modelleri Mamdani Bulanık Modeli ve Sugeno Bulanık modeli olarak gösterilebilir. Mamdani bulanık modeli ilk oluşturulan çıkarım modelidir ve min (ve) max (veya) operatörlerini kullanmaktadır [85]. Şekil 3.7 Mamdani bulanık mantık modelini göstermektedir.



Şekil 3.7. Mamdani Bulanık Modeli [67].

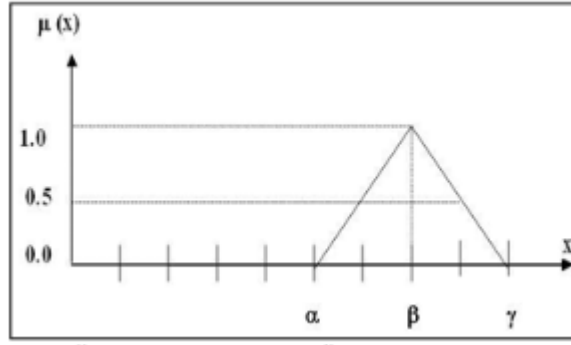
Sugeno bulanık modelinde ise çıkarım işlemi A ve B üyelik değerleri arasında $f()$ x,y arasındaki bir fonksiyon olarak tanımlanır ve “Eğer $x=A1$ ve $y=B1$ ise $z=f(x,y)$ ” şeklinde tanımlanabilir.

Bulanık mantık denetleyicilerde bulanık kümeleri ifade edebilmek için üçgen, yamuk, gaussian ve çan biçimli üyelik fonksiyonları kullanılabilir. Şekil 3.8’de bulanık mantıkta kullanılan üyelik fonksiyon tipleri bir arada gösterilmiştir.

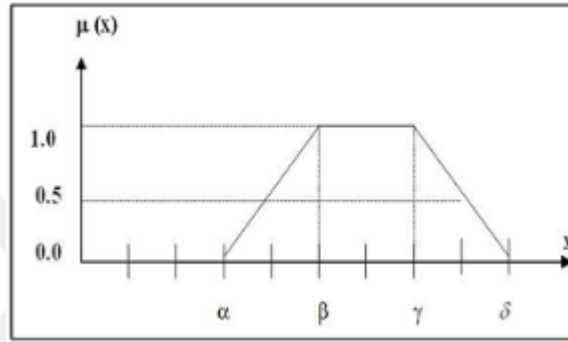


Şekil 3.8. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyon Tipleri [89].

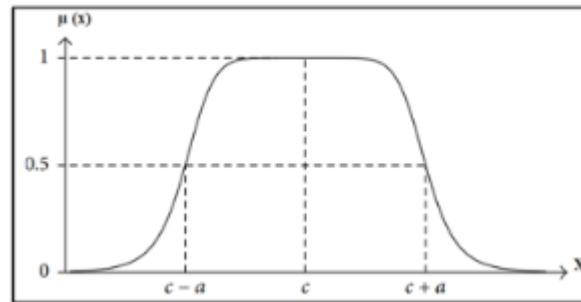
Bu üyelik fonksiyonlarına ait görseller Şekil 3.9, Şekil 3.10 , Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir [90].



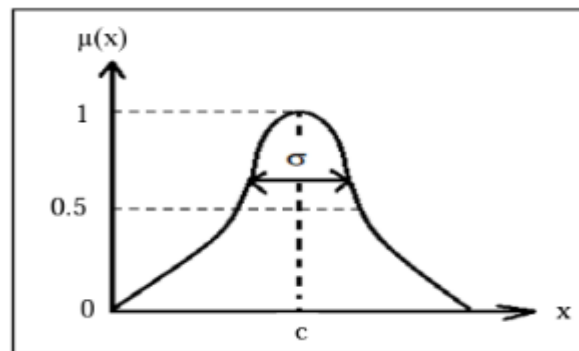
Şekil 3.9. Üçgen Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 3.10. Yamuk Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 3.11. Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 3.12. Gauss Üyelik Fonksiyonu.

Modellemede yaptığımız denemeler sonucunda en uygun sonuçlar aldığımız üçgen üyelik fonksiyonuna ait matematiksel denklemler Denklem 3.6’ da gösterilmiştir.

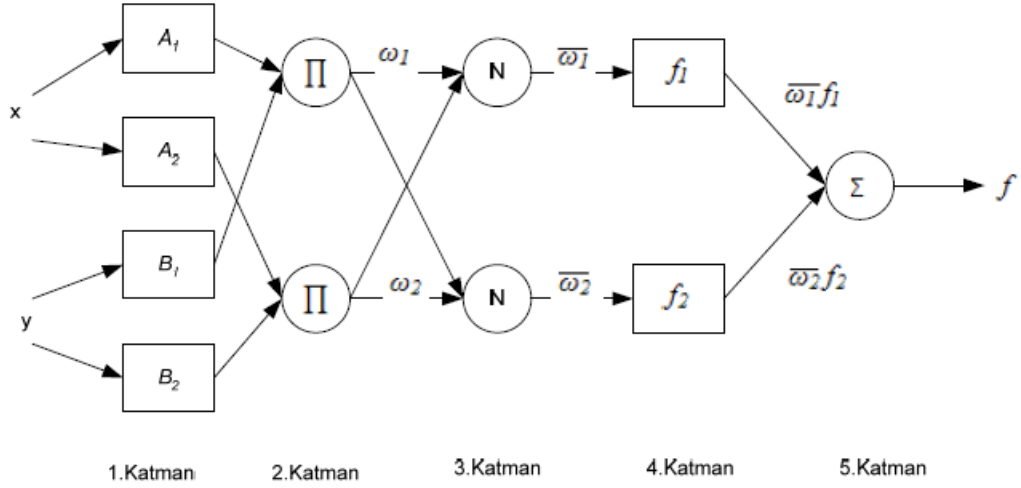
Fonksiyon $\Lambda: x \rightarrow [0,1]$ $x: X$ evreninde herhangi bir eleman:

$$\Lambda(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0, x < \alpha \\ \frac{(x - \alpha)}{(\beta - \alpha)}, \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{(\gamma - x)}{(\gamma - \beta)}, \beta \leq x \leq \gamma \\ 0, x > \gamma \end{cases} \quad (3.2)$$

Doğrusal olarak modellenemeyen sistemlerin yapay zekâ yöntemleri kullanılarak modellenmesi iyi bir alternatif olarak ortaya çıkar. Bu sayede lineer olmayan sistemlerin kontrolü kolaylaşmış olur. Hastane pnömatik sistemleri lineer olmayan bileşenlerden oluşmaktadır. Sisteme bulanık mantıkla modelleme yapılmasının amacı sistemin daha etkin kontrolüdür.

3.4.2. ANFIS ((Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inference System) ile Modelleme

ANFIS, Jang tarafından 1993 yılında geliştirilmiştir ve yapay sinir ağlarının ve bulanık çıkarımın özelliklerini bir arada kullanan bir yapay zekâ yöntemidir. ANFIS Sugeno tipi bulanık çıkarım ve en küçük kareler yöntemi ile geri yayımlı öğrenme algoritmasının bir arada kullanılan melez bir algoritmadır [91]. ANFIS bu iki yöntemin bir arada kullanılmasına olanak sağlaması sebebiyle bu çalışmada karşılaştırma yöntemlerinden biri olarak kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının en önemli dezavantajlarından biri, elde edilen ağırlık değerlerinin açıklanamamasıdır. Bu durum, ANFIS' in yapısında yer alan bulanık çıkarım sistemi ile ortadan kaldırılmıştır. Bu sebeple gerçek dünya probleminin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır [92]. Şekil 3.13 iki girişli bir çıkışlı Sugeno tipi bir ANFIS yapısını göstermektedir ve 5 adet katmana sahiptir.



Şekil 3.13. Temel ANFIS Yapısı.

Anfis yapısının 1. katmanı bulanıklaştırma katmanı olarak ifade edilir. Bu katmanda gauss aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. 2. katman kural katmanıdır. Sugeno çıkarımına göre oluşturulan kurallar bu katmanda yer almaktadır. 3. Katman normalizasyon katmanıdır. 4. Katmanda berraklaştırma yapılarak sonuç değeri hesaplanmaktadır. 5. Katman toplam katmanı olarak görev yapmaktadır. Anfis sistemine ait gerçek değer bu katmanda elde edilir.

ANFIS'in eğitimi, yapısındaki parametrelerin bir optimizasyon algoritması kullanılarak belirlenmesi anlamına gelir. ANFIS ile etkili sonuçlar elde etmek için başarılı bir eğitim şarttır. Bu eğitim yaklaşımları türev tabanlı, sezgisel tabanlı ve hibrit olmak üzere üçe ayrılmaktadır. İlk durumda, ANFIS' in tüm parametrelerinin eğitiminde sadece bir optimizasyon algoritması kullanılır. İkinci durumda, performansı artırmak için yeni bir yöntem olarak hibrit öğrenme yaklaşımları önerilmektedir. Türev tabanlı ve sezgisel algoritmalarından oluşan hibrit öğrenme yaklaşımlarının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca sadece türev tabanlı yöntemleri kullanan hibrit eğitim algoritmaları da vardır [93].

3.4.3. Yapay Sinir Ağları ile Modelleme

Yapay Sinir Ağları, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni bir sistem oluşturan yaklaşımlardır. İlk yapay sinir ağı modeli Madaline olarak gösterilmektedir [94]. Genelleme özelliği yapay sinir ağlarına elde edilen olgulardan hiç görmediği örnekler üzerinde karar verebilme yeteneği sağlar. Değişkenler arasındaki belirsizliğin giderilmesindeki üstünlüğü, herhangi bir varsayıma gereksinim duymadan, modelin ilişkileri öğrenmesine imkân verir. Bunun yanı sıra, tahmin öngörüsü gerektiren modellerde karar vericinin önyargılı veya hatalı bir yaklaşımı varsa elde edilen sonuçlar hatalı olabilmektedir. Yapay sinir ağları ise böyle bir durumdan etkilenmez [95]. Yapay sinir ağları endüstriyel uygulamaların yanı sıra; tıp ve biyomedikal alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları bir sisteme bir veya birden fazla giriş verileri ile bir veya bir den fazla çıkış verisi arasında ilişki kurabilme yeteneğini sahiptir. Nöronların lineer olmaması yapay sinir ağlarının birçok probleme uygulanabilmesini sağlar. Yapay sinir ağları doğrusal olmayan ilişkiler içinde başarılı sonuçlar vermektedir [96]. Yapay sinir ağları adaptasyon özelliğine sahiptir ve tanıma veya parametresi değişen problemlere için yeniden eğitilebilir. Hata toleransları vardır eksik veriyle çalışabilirler.

Yapay sinir ağlarının kullanımında ortaya çıkabilecek dezavantajlar ise şu şekilde sıralanabilir: Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi zordur ve genellikle deneme yanılma yöntemi kullanılır. Ağın parametre değerlerinin (örneğin öğrenme katsayısı, hücre sayısı vb.) belirlenmesinde bir kural yoktur. Bu değerler kullanıcının tecrübesine bağlıdır ve her problem için farklı etkenlere dikkat etmek gerekir. Ağın eğitiminin ne zaman bitirileceğine dair kesin kurallar yoktur. Eğitimde hata toleransının belli bir değerin altına inmesi eğitimin tamamlanması için yeterli görülmektedir. Fakat sonucun en iyi sonuç olup olmadığı bilinmemektedir [97]. Bu çalışmada ise geliştirilen modelde yapay sinir ağlarının tahmin özelliği kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının kullanılma gerekçesi ise karmaşık ve formülle ifade edilmesi zor olan problemleri çözebilme yeteneğidir.

Yapay sinir ağlarında kullanılan 2 temel öğrenme yöntemi vardır. Bunlar danışmanlı öğrenme ve danışmansız öğrenme olarak sıralanabilir. Danışmansız öğrenme algoritmaları genellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadır. Danışmanlı öğrenme yönteminde ise YSA' nın ürettiği sonuç ile istenen sonuç karşılaştırılarak hata değeri üretilir ve bu yöntemde eğitim setleri kullanılarak ağın eğitilmesi gerekir. Eğitim hata düzeyi istenen noktaya gelinceye kadar devam eder [98].

3.4.4. Genetik Algoritma ile Modelleme

Genetik algoritma, popülasyon genetiğine dayalı uyarlanabilir bir arama yöntemidir. Bu kavram 1970'lerin başında John Holland tarafından tanıtılmıştır [99]. Genetik Algoritmalar, evrimden ilham alarak hesaplamalar yapar. Bu algoritmalar, basit bir kromozom benzeri veri yapısı üzerinde belirli bir soruna olası bir çözümü kodlar ve kritik bilgileri korumak için bu yapılara rekombinasyon operatörleri uygular. Genetik algoritmaların uygulandığı problemlerin aralığı oldukça geniş olmasına rağmen, genetik algoritmalar genellikle fonksiyon optimize edici olarak görülür. Genetik algoritmanın bir uygulaması (tipik olarak rastgele) bir kromozom popülasyonu ile başlar. Daha sonra bu yapılar değerlendirilir ve hedef probleme daha iyi bir çözüm sunan bu kromozomlara, daha zayıf çözümler olan kromozomlardan daha fazla “üreme” şansı verilecek şekilde üreme fırsatları belirlenir. Bir çözümün 'iyiliği' tipik olarak mevcut nüfusa göre tanımlanır [100].

Genetik algoritma, optimizasyon ve arama problemlerine kesin veya yaklaşık çözümler bulmak için hesaplamada kullanılan bir arama tekniğidir. Genetik algoritmalar biyoloji, mühendislik, bilgisayar bilimi ve sosyal bilimler gibi çeşitli alanlardaki karmaşık problemlere optimal çözümler bulmak için kullanılmıştır. Yerel arama yöntemlerinin aksine, genetik algoritmalar, bir olasılık stratejisi tarafından kontrol edilen bir dizi bağımsız hesaplamaya dayanır. Bu, birbirini izleyen nesiller içinde en iyi bireylerin doğal seçilimin bir simülasyonudur [101].

Klasik terminolojiye göre, ele alınan bir problemin çözümüne birey denir. Ele alınan bireylerin oluşturduğu kümeye popülasyon denir. Her bireyin veri özelliklerini kodlayan bir kromozom dizisi vardır. Daha sonra, bir kromozom bit, rakam ve harf vb. gibi bir kuantum bilgiyi temsil eden alternatif veri gösterimi ile çözüm alışverişi yapmak için kodlama ve kod çözme gerektirir [102].

Genetik algoritma adımları şu şekilde sıralanabilir:

1. Başlangıçta birçok bireysel çözüm, bir başlangıç popülasyonu oluşturmak için rastgele oluşturulur. Popülasyon büyüklüğü probleme göre birkaç yüz veya binlerce olası çözüm içerebilir. Geleneksel olarak, popülasyon, tüm olası çözümleri (arama alanı) kapsayacak şekilde rastgele oluşturulur.
2. Seleksiyon Birbirini izleyen her nesil sırasında, yeni bir neslin üremesi için mevcut popülasyonun bir oranı seçilir. Bireysel çözümler, uygun çözümlerin (bir

uygunluk fonksiyonu tarafından ölçüldüğü gibi) tipik olarak seçilme olasılığının daha yüksek olduğu, uygunluk temelli bir süreç aracılığıyla seçilir. Belirli seçim yöntemleri, her bir çözümün uygunluğunu değerlendirir ve tercihen en iyi çözümleri seçer. Diğer yöntemler, bu işlem çok zaman alıcı olabileceğinden, popülasyonun yalnızca rastgele bir örneğini değerlendirir.

3. Üreme Bir sonraki adım, genetik operatörler aracılığıyla seçilenlerden ikinci nesil bir çözüm popülasyonu oluşturmaktır: çaprazlama (rekombinasyon olarak da adlandırılır) ve/veya mutasyon. Üretilecek her yeni çözüm için, daha önce seçilen havuzdan üreme için bir çift “ebeveyn” çözüm seçilir.
4. Sonlandırma: Bir sonlandırma koşuluna ulaşılan kadar tekrarlanır. (Minimum kriterleri karşılayan bir çözüm bulunması, tahsis edilen bütçeye ulaşılması, en yüksek dereceli çözümün uygunluğu, art arda yinelemelerin artık daha iyi sonuçlar üretmeyeceğinin görülmesi gibi)

Temel bir genetik algoritma sözde kodları şu şekildedir:

1. Bireylerin başlangıç popülasyonunu seçilir.
2. O popülasyondaki her bireyin uygunluğu değerlendirilir.
3. Sonlanana kadar tekrarlama yapılır. (Zaman sınırı, yeterli uygunluk sağlandı, vb.)
 - a. Üreme için en uygun bireyleri seçilir.
 - b. Yavruları doğurmak için çaprazlama ve mutasyon operasyonlarıyla yeni bireyler yetiştirilir.
 - c. Yeni bireylerin bireysel uygunluğunu değerlendirilir
 - d. En uygun olmayan popülasyonu yeni bireylerle değiştirilir [101].

Optimizasyon problemlerine genetik algoritma eklemenin üç önemli avantajı vardır. Genetik algoritma optimizasyon problemlerinde matematiksel gereksinimlere pek fazla ihtiyaç duyulmaz. Genetik algoritma operatörlerin arama performansı oldukça etkilidir. Genetik algoritma, bir problemi sezgisellik ve esneklikle çok rahat çözebilmektedir [103].

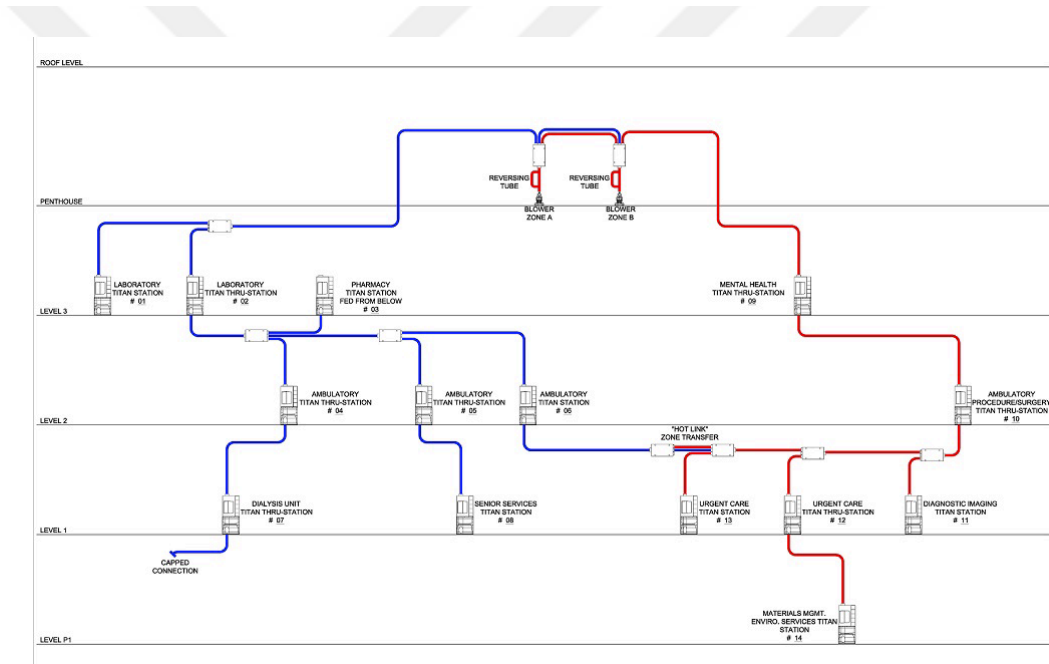
Bulanık mantık, genetik algoritma ve yapay sinir ağlarına ait genel özelliklerinin karşılaştırması Çizelge 3.1 ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Bulanık Mantık, YSA, Genetik Algoritma Karşılaştırması[85].

Özellik	Bulanık Mantık	Yapay Sinir Ağları	Genetik Algoritma
Matematik Model	Ortalama	Zor	Zor
Öğrenme Kabiliyeti	Kötü	İyi	Ortalama
Uzman Bilgisi Kullanımı	İyi	Kötü	Kötü
Doğrusal Olmama	İyi	İyi	İyi
Optimizasyon Kabiliyeti	Kötü	Ortalama	İyi
Hata Toleransı	İyi	İyi	İyi
Belirsizlik Toleransı	İyi	İyi	İyi
Gerçek Zamanda İşlem	İyi	Ortalama	Kötü

4. İYİLEŞTİRİLMİŞ HASTANE PNÖMATİK SİSTEMİ TASARIMI

Tez kapsamındaki deneysel çalışmalar, Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi pnömatik taşıma sisteminde yapılarak veri seti oluşturulmuştur. Ayrıca sistem modellenirken Matlab yazılımından yararlanılmıştır. Deneysel çalışmada esas alınan hastane pnömatik sisteminde basınçlı hava aktif tek bir blower (üfleyici) tarafından üretilmektedir. Düzce Üniversitesi hastane pnömatik sisteminde “mgc/artel aerocom pneumatic tube systems” kullanılmaktadır. Bu taşıma sistemi bilgisayar kontrollü bir yapıya sahiptir. Tek veya daha fazla bölge konfigürasyonu sağlar. Şekil 4.1 deneysel çalışmalarda kullanılan AC3000 pnömatik tüp sistemi örnek şemasını göstermektedir.



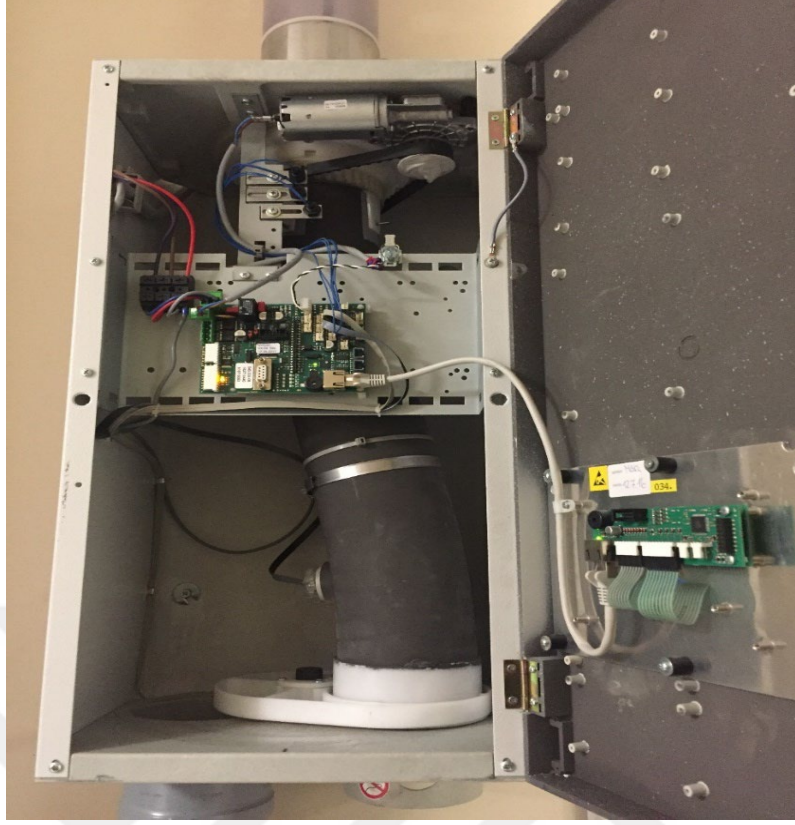
Şekil 4.1. Örnek Hastane Pnömatik Şeması.

Bu çalışmada, hastane pnömatik sisteminde taşınan malzemeye uygun taşıma hızının ayarlanması ve güç tüketimini efektif hale getirmek için bir model önerilmiştir. Önerilen sistem 4 giriş parametresi ve 1 çıkış parametresinden oluşur. Bu parametreler seçilirken literatürdeki çalışmalar ve Düzce Üniversitesi hastanesinde yapılan deneysel çalışma sonuçları göz önüne alınmıştır. Sistemin amacı çıkış parametresi olan blowerın üretmesi gereken basınç değerinin kontrolüdür. Basınç ölçümü hız ölçümüne göre daha kolay gerçekleşir ve daha düşük maliyetli malzemelerin kullanımına olanak sağlar. Bu sebeple çıkış parametresi olarak hız yerine basınç değeri seçilmiştir. Deneysel çalışmaların

yapıldığı mevcut t p sisteminde numuneler yaklaşık 6-7 m/sn hızla hareket etmektedirler. Ancak bu hız taşınan her numune için uygun değildir. Gerektiğinde hızın 2-3 m/sn olarak azaltılması gerekebilir. Önerilen kontrol sistemi sayesinde numuneler hasar görmeden sorunsuz bir şekilde taşınabilecektir. Bu amaçla sisteme hız/basınç kontrolü eklenmiştir. Şekil 4.2’ de deneysel çalışmaların yapıldığı hastane pnömatik sistemi istasyonlarından birine ait görsel yer almaktadır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te hastane pnömatik sistemine ait kontrol edilebilir birimler gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Pnömatik Sistem İstasyonu.



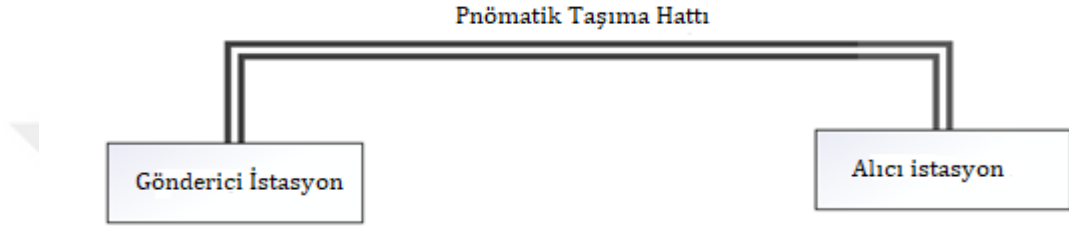
Şekil 4.3.Kontrol Edilebilir Pnömatik Sistem Elemanları-1.



Şekil 4.4. Kontrol Edilebilir Pnömatik Sistem Elemanları-2.

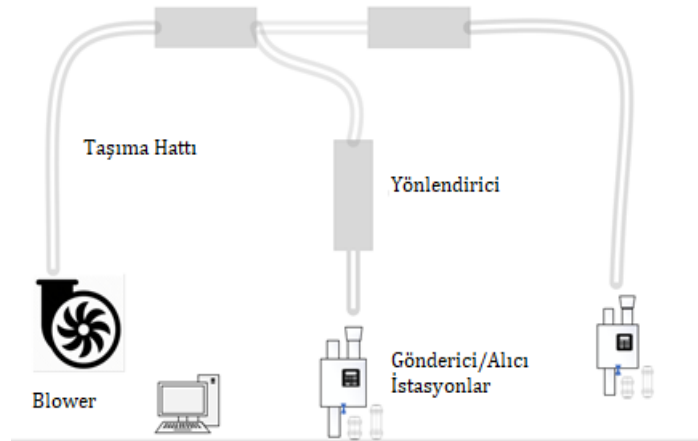
4.1. PNÖMATİK SİSTEM DİZAYNI

Düzce Üniversitesi Hastanesinde kurulu olan PTS, farklı çaplarda taşıma tüpleri içeren ve sabit basınç değerinde çalışan bilgisayar kontrollü bir PTS dir. Sistem, iki farklı bölgeye ayrılmış 20’den fazla alıcı ve gönderici istasyona sahiptir. Sistem belirli hız (6m/s) ve sabit basınç (320 mBar) değerinde çalışır. Şekil 4.5 hastane PTS’ nin temel fonksiyonel şemasını göstermektedir. Bu şemaya göre bir PTS gönderici ve alıcı istasyonlar arasında taşıma hattı aracılığıyla transfer sağlamaktadır.



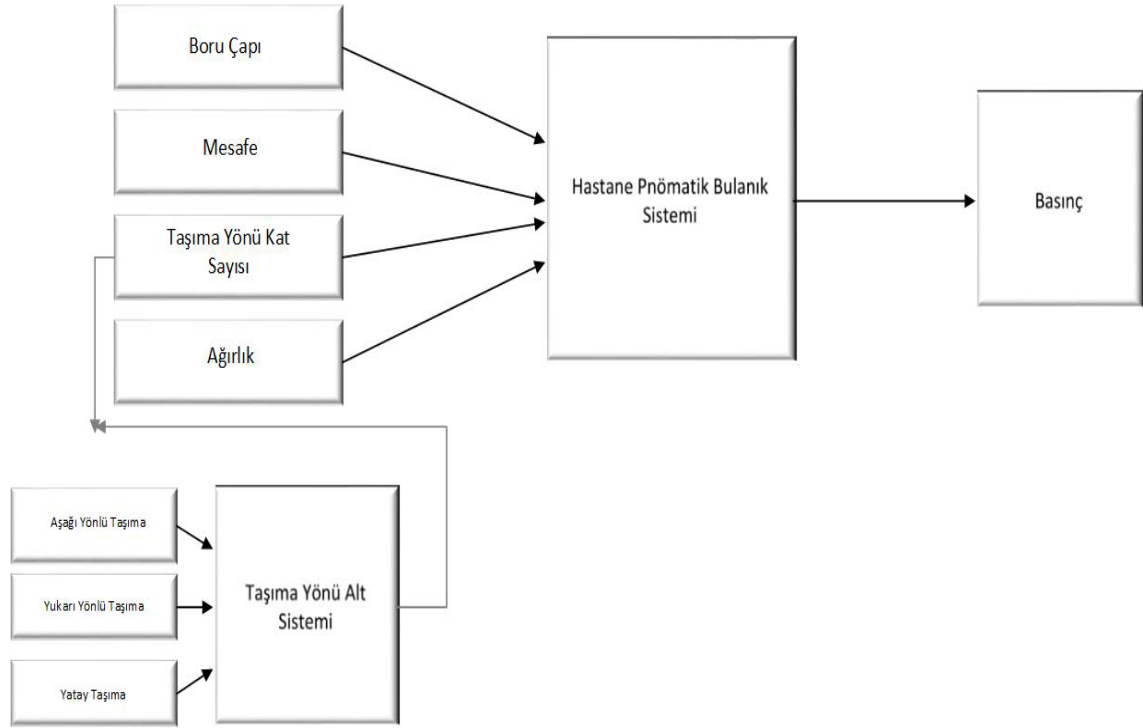
Şekil 4.5. Pnömatik Taşıma Sistemi Fonksiyonel Şeması.

Hastane PTS ile ilgili daha detaylı bir diyagram ise Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Blowerın sistemin enerji kaynağı olduğu bu sisteme göre farklı birimler arasında kan, idrar gibi çeşitli materyaller taşınabilmektedir. Sistem temel olarak hastane içinde dolaşan tüpler, gönderici, alıcı istasyonlar ile kontrol merkezinden oluşur. Numuneler sistemde farklı taşıma yönlerinde ve farklı bölümler arasında yaklaşık 6-7 m/sn lik bir hızla hareket ederler. Sistemin enerji kaynağı blower olarak adlandırılır.



Şekil 4.6. Temel Hastane Pnömatik Sistem Diyagramı.

Şekil 4.7’de Hastane pnömatik taşıma sistemlerinde basınç kontrolü için önerilen bulanık modelin diyagramı gösterilmektedir. Bu diyagram PTS de taşınacak olan malzemeye göre optimum basınç değerinin üretilmesi için kullanılan parametreleri göstermektedir. Sistem 4 giriş ve 1 çıkış parametresinden oluşmaktadır ve ayrıca taşıma yönü katsayısının hesaplanabilmesi için bir alt sistemden oluşmaktadır.



Şekil 4.7. Hastane PTS için Önerilen Model Diyagramı.

4.1.1. Veri seti

Bu çalışmada Düzce Üniversitesi Hastanesi pnömatik taşıma sistemine ait deneysel veriler kullanılmış ve basınç tahmin modelleri geliştirilmiştir. Veri seti 150 satır veriden ve tez çalışmasında modellenen sisteme ait parametrelerinden oluşmaktadır. Basınç modellemesi için kullanılan parametreler sırasıyla: Boru çapı, mesafe, taşıma yönü katsayısı ve malzeme ağırlığıdır. Bu verilere ait min ve max değer aralıkları Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Sistem Parametrelerinin Değer Aralıkları.

Giriş / Çıkış Parametreleri	Parametre Min Değer	Parametre Max Değer
Boru Çapı (mm)	20	100
Mesafe (m)	1	100
Taşıma Yönü Katsayısı	1	23
Malzeme Ağırlığı (g)	1	2.000
Basınç (MBar)	1	800

Çizelge 4.2 sistem modellemesinde oluşturulan veri setinin bir bölümüne ait verileri göstermektedir.

Çizelge 4.2. Veri Setinin Bir Bölümü.

Boru Çapı (mm)	Mesafe (m)	Taşıma Yönü Katsayısı	Malzeme Ağırlığı (g)
22	12	14	1100
30	24	1	750
90	16	19	1310
50	59	14	342
22	11	21	510
40	2	9	1888
90	2	23	1461
30	38	10	505
30	36	4	857

Deneyisel çalışmalar yapılarak elde edilen ve normalize edilen veri setinin bir bölümü Çizelge 4.3’ de gösterilmektedir. Veri seti oluşturulurken sistemde farklı türde (farklı ağırlık, farklı uzaklıkta mesafede vb.) numuneler taşınarak veri seti oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3. Normalized Veri Setinin Bir Bölümü.

Boru Çapı (mm)	Mesafe (m)	Taşıma Yönü Katsayısı	Malzeme Ağırlığı (g)
1	0,484076	0,008689	0
0,297719	0,796178	0,004624	0,839814
0,297719	0,42293	0,004624	0,839814
0,591837	0,834395	0,010986	0,286129
0,183673	0,217197	0,00035	0,286129
0,183673	0,217197	0,00035	0,964016
0,363745	0	0,002857	0,143355
0,52581	0,872611	1	0,589089
0,861945	0,052229	0,01487	0,214161
0	0,011465	0,009913	0,910621

4.2. SİSTEM PARAMETRELERİ

Bir PTS; taşınan malzeme, taşıma koşulları ve sistemle ilgili çok sayıda parametre göz önüne alınarak oluşturulur. Pnömatik sistemlerin temel özelliği bir malzemenin belirli bir mesafe boyunca belirli hızda taşınmasıdır. Ancak bir pnömatik sistemin taşıma potansiyelini ve performansını değerlendirmek her zaman kolay değildir. Bunun sebebi sistem parametrelerinin birbiriyle olan ilişkisinin karmaşık olmasıdır. Sistem gereksinimlerini karşılayacak parametreler güç tüketimi ve dolayısıyla maliyet gerektirmektedir. Sistemi tasarlarırken kullanılan parametrelerin tamamı bu maliyeti azaltmakla ilgili olarak en kritik parametrelerdir. PTS nin performansını etkileyen parametrelerden biri olan sıcaklık etkisi ise hastane odaları arasında önemli düzeyde değişim göstermeyeceği için göz önüne alınmamıştır. Maksimum verimlilik sağlamak amacıyla bir PTS tasarlanırken, taşınacak malzemenin taşıma özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Taşıma özellikleri, tasarlanan sistemin minimum taşıma hızının ne olduğunu, malzemenin taşınabileceği optimum hızın olup olmadığını ve belirli bir malzeme akış hızı ve taşıma için hangi boru çapı ve hava taşıyıcı oranının gerekli olacağını bilmesi gerekir. Ayrıca, mevcut bir PTS için, uygun taşıma özellikleri, farklı bir malzemenin taşınması gerektiğinde hangi akış hızında taşınması gerektiğinin belirlenmesi gerekir.

Pnömatik sistemlerde basınç ölçümlerine dayalı kontrol uygulamalarının hız ölçümüne dayalı uygulamalara göre daha kolay ve düşük maliyetli bileşenlerle gerçekleştirildiği daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [25]. Bu sebeple bu çalışmada pnömatik sistem kontrolü için hız yerine basınç değerinin kontrolü tercih edilmiştir.

Sistem modellenirken giriş ve çıkış parametrelerinin değerleri mevcut sistemde kullanılan malzemelerin katalog bilgilerine göre oluşturulmuştur. Giriş parametresi olarak kullanılması önerilen taşıma yönü katsayısı ise bir alt sistem aracılığıyla hesaplanmaktadır. Taşıma yönü katsayısı ile ilgili detaylı açıklamalara bir sonraki kısımda yer verilmektedir.

Sistem parametreleri arasındaki ilişkilerin durumunu belirlemek amacıyla korelasyon matrisleri kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı, iki parametre arasındaki benzerlik ölçüsüdür. Genellikle veri analizinde, sinyal işlemede, örüntü tanımada, görüntü işlemede ve biyoinformatikte kullanılır [104]. Pearson katsayısı (r) -1 ile +1 arasında değerler alır. Literatür çalışmalarındaki sınıflandırmaya göre korelasyon katsayısı gücü şu şekilde yorumlanmıştır:

$|r| \geq 0,8$ çok güçlü ilişki;

$0.6 \leq |r| < 0.8$ güçlü ilişki;

$0.4 \leq |r| < 0.6$ orta düzeyde ilişki;

$0.2 \leq |r| < 0.4$ zayıf ilişki;

$|r| < 0.2$ çok zayıf ilişki [105].

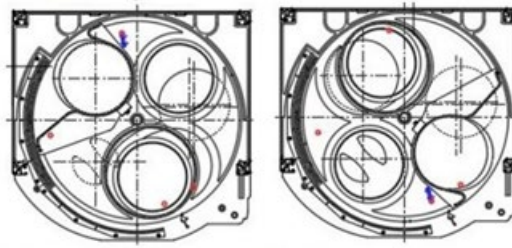
r-değeri 0,8'den büyük olduğu durumlarda parametreler birbiriyle yüksek oranda ilişkilidir denilebilir. İncelenen parametrelerin birbirleriyle olan korelasyon katsayıları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Basınç ve boru çapı parametreleri arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu ve bu değer oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Diğer parametrelerin korelasyon katsayıları arasında daha zayıf ilişkiler bulunmaktadır. Değişkenlerin birbiriyle doğrusal ve güçlü bir ilişki içinde olmadıkları söylenebilir. Basınç ve taşıma yönü parametreleri birbiriyle negatif etkili bir ilişkiye sahiptir.

Çizelge 4.4. Sistem Parametrelerine ait Korelasyon Matrisi.

	Boru Çapı	Mesafe	Taşıma Yönü	Malzeme Ağırlığı	Basınç
Boru Çapı	1				
Mesafe	-0,01911	1			
Taşıma Yönü	-0,09559	0,052842	1		
Malzeme Ağırlığı	0,118139	0,037434	0,092037	1	
Basınç	0,914985	0,285	-0,03275	0,099406	1

4.2.1. Taşıma Tüpü Çapı/ Boru Çapı

Pnömatik bir sistemin sorunsuz ve kayıpsız olarak çalışabilmesinde taşıma tüplerinin boru çapı seçimi oldukça önemlidir. Boru çapı iletim için gerekli güç miktarını doğrudan etkilemektedir. Küçük boru çapı seçimi akış hızının artmasına ve basınç düşümüne sebep olurken, büyük boru çapı seçimi enerji israfına sebep olabilmektedir. Pnömatik sistem elemanlarının doğru seçilmesi önemlidir. Yüksek düzeyde kuvvet uygulamayı gerektiren malzemeler, enerji tüketimine sebep olur. Örneğin ISO 15552 standardına sahip pnömatik silindirlerde bir alt çapta silindir seçimi %30 oranında hava tüketimini azaltmaktadır [2]. Şekil 4.8 pnömatik taşıma haznesinin üstten görünümünü göstermektedir. Şekil 4.9’da Düzce Üniversite hastanesinde PTS de kullanılan farklı çaplardaki örnek taşıma tüpleri gösterilmektedir.



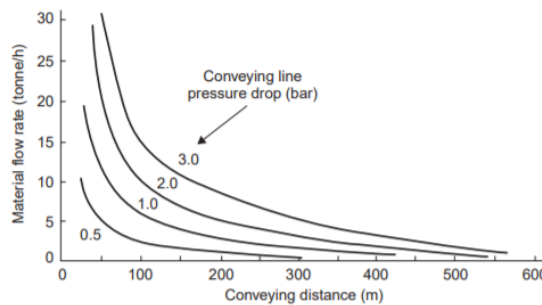
Şekil 4.8. Pnömatik Taşıma Haznesi Üstten Görünüm.



Şekil 4.9. Deneysel Çalışmalar Yapılan Sisteme Ait Taşıma Tüplerine ait Örnekler.

4.2.2. Mesafe

Basınç değerini ve güç tüketimini etkileyen önemli unsurlardan biri de taşıma mesafesidir. Basınç kaybını en aza indirebilmek için taşıma hatları doğru şekilde tasarlanmalıdır. Hastanelerde pnömatik sistem boru hatları genellikle kolon-kiriş şemasına uygun olarak yerleştirilir. Boru hattının uzunluğu hastane büyüklüğüne göre değişmektedir. Basınç kaynağı ile istasyonlar (pnömatik numunelerin gönderildiği veya alındığı uç noktalar) arasındaki mesafenin artışı üretilmesi gereken güç miktarını da arttırmaktadır. Şekil 4.10 sabit çaplı bir boru hattında malzemelerin taşınması esnasında, mesafe artışına bağlı olarak meydana gelen basınç düşüşünü göstermektedir [106]. Bu sebeple mesafe arttıkça basınç kaybını dengelemek için sistemin üretmesi gereken basınç değerinin artması gerekmektedir.



Şekil 4.10. Taşıma Mesafesinin Basınç Düşümüne Etkisi [106].

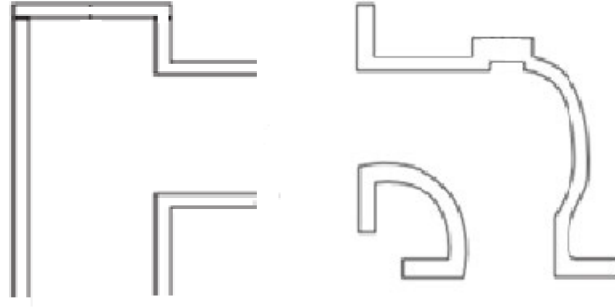
4.2.3. Materyal Ağırlığı

Hastane pnömatik sistemlerinde farklı ağırlıklara sahip çeşitli numuneler

taşınabilmektedir. Belge, röntgen gibi hafif ağırlıklı ya da patoloji numunesi gidi daha yüksek ağırlıklı numuneler bu sistemlerde taşınmaktadır. Taşınan malzeme ağırlaştıkça sistemin üretmesi gereken basınç da artmaktadır. Modellenen sistemde 1 ile 2000 gr arasında değişen ağırlıklarda malzeme taşınması yapılmaktadır.

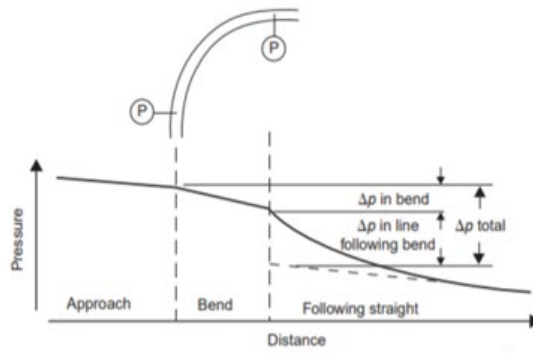
4.2.4. Taşıma Yönü Katsayısı (Boru Hattı Geometrisi)

Bu parametre pnömatik sistem kontrolüyle ilgili literatürdeki çalışmalarda yer almamaktadır. Daha hassas ve doğru basınç kontrolü yapabilmek amacıyla kullanılması önerilmektedir. Taşıma yönü katsayısı pnömatik taşıma esnasında maksimum güç gerektiren durumları, daha az güç gerektiren taşıma şekillerinden ayırt etmek için kullanılmaktadır. Ayırt edicilik ise boru hattı geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Temel olarak boru hattının uzunluğu, yatay, dikey yönlendirme sayısı ve boru hattındaki bükülme sayısı boru hattı geometrisini oluşturur. Pnömatik taşıma esnasında her bir taşıma yönüne uygulanması gereken basınç değeri farklıdır. Dikey durumdaki taşımada gerekli basınç miktarı yatay taşımaya göre daha az olmaktadır. Dönüş yönlerinde dirseklerde ise bu durum daha farklıdır. Taşıma yönüne etki eden en önemli unsurlardan biri dirseklerde (dönemeç) meydana gelen geçişlerdir. Bozulmaların çoğu bu kısımlarda meydana gelir. Bu parametreye ait değerler oluşturulurken taşınan nesneye etkiyen sürtünme kuvveti göz önüne alınmıştır. Malzeme taşınması esnasında en fazla güç gerektiren kısımlar dikey yöndeki taşımalarlardır. Boru hattı kıvrımları, bir pnömatik sistemin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bükümler, yönlendirmede önemli ölçüde esnekliğe sahip pnömatik bir taşıma boru hattı sağlar, ancak birçok probleme sebep olur. Her bir dirsek, boru hattının genel direncini ve gerekli taşıma hava basıncını arttıracaktır [106]. Bu durumlar göz önüne alınarak 3 farklı taşıma yönü belirlenmiştir. Dirsekler farklı taşıma yönleri için geçiş noktası rolündedir ve taşıma yönleri yatay, dikey ve aşağı yönlü taşıma olarak adlandırılmaktadır. Taşıma yönü kat sayısı, malzemenin taşınması esnasında 3 farklı taşıma yönünün hangi sıklıkta kullanıldığıyla ilgilidir. Bu katsayı bir alt sistemle ifade edilmiştir ve 1 ile 23 arasında değer almaktadır. Bu değer artmasında gerekli basınç değerini en çok arttıran yukarı yönlü taşımanın etkisinin en fazla olduğu kabul edilmektedir. Taşıma esnasında ne kadar fazla yukarı yönlü taşıma varsa bu değer o kadar yükselmektedir. Düzce Üniversitesi Hastanesinde kullanılan örnek boru dizaynları Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Farklı PTS sistemlerinde yer alan boru hatları geometrik olarak benzerlik gösterdiği için, taşıma yönlerindeki değişikliklerin etkisini görebilmek için bu şemalar yeterli görülmüştür.



Şekil 4.11. Pnömatik Taşıma Örnek Boru Dizaynları.

Taşıma esnasında meydana gelen yön değişiklikleri sebebiyle, boru hattındaki her virajda bir basınç düşüşü olacaktır. Bükülme kısımlarında meydana gelen basınç düşümü ‘Şekil 4.12’de gösterilmiştir [106].



Şekil 4.12. Bükülmelerde Meydana Gelen Basınç Değişimi [106].

Taşıma yönü katsayısının hesaplanırken taşıma yönüne ait her parametre 5 (çok fazla, fazla, orta, az, çok az) farklı alt değere sahip olacak şekilde derecelendirilmiştir. 3 farklı taşıma yönüne ait tüm değerler kartezyen çarpımı şeklinde oluşturulmuştur. En fazla basınç gerektiren durum için 23 en az basınç gerektiren durum için 1 olmak üzere 1 ile 23 arasında katsayılandırılmıştır. Çizelge 4.5’te bu derecelendirmeye ilişkin örnekler gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Taşıma Yönü Katsayısına Ait Örnek Değerler.

Aşağı Yön	Yukarı Yön	Yatay Yön	Çıktı
Çok Fazla	Çok Fazla	Çok Fazla	23
Çok Fazla	Çok Fazla	Az	21
Çok Fazla	Orta	Orta	11
Orta	Çok Fazla	Çok Az	22
Çok Az	Fazla	Çok Az	20
Çok Fazla	Çok Az	Çok Az	1
Orta	Az	Orta	8
Az	Az	Çok Az	9

4.2.5. Basınç / Blower

Blowerlar, taşıyıcıları sistem içinde hareket ettirmek için gereken vakum ve basınç hareketlerini sağlamak için kullanılan cihazlardır. Tüp sisteminin hizmet vereceği hastanenin her coğrafi bölgesi, taşıyıcı gönderme ve alma mekanizmasını sağlayan bir veya daha fazla istasyon içerir. İstasyonlar, her bölgeye bir üfleyici tarafından hizmet verilen bölgelere ayrılmıştır. İstasyonlar ve bölgeler, taşıyıcıların içinden geçtiği bir tüp ağı ile birbirine bağlanır. Standart pnömatik tüp sistemlerinde, her bölgedeki üfleyici, herhangi bir zamanda yalnızca tek bir taşıyıcı üzerinde hareket edebilir. Yönlendiriciler, tüp ağının kesişme noktası olarak hareket ederek, üfleyicinin taşıyıcıyı hedef istasyonuna hareket ettirebileceği istasyonlar arasında bir yolun oluşturulmasına izin verir [107].

Pnömatik taşıma sistemleri birden fazla türde malzemenin farklı uzaklıktaki mesafelere taşınması için kullanılmaktadır. Pnömatik iletim sürecinde tek bir boru hattı, çok farklı çeşitte malzemeyi taşımak için kullanılabilir. Tüm durumlarda, her bir malzemenin başarılı bir şekilde taşınması esastır, ancak her malzeme farklı taşıma özelliklerine ve sonuç olarak hava gereksinimlerine sahip olabilir. Farklı malzemelerin taşınması için malzeme akış hızları önemli ölçüde değişebilir. Farklı malzemelerin en uygun basınç değerinde taşınabilmesi için kontrolü gerçekleştirilen blower, Şekil 4.13’de gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Deneysel Çalışmaların Yapıldığı Kontrolü Sağlanan Blowera ait Görseller.

Pnömatik taşıma sistemleri, düşük basınçlı, orta basınçlı veya yüksek basınçlı, negatif ve pozitif basınçlı sistemlerin birlikte kullanıldığı bileşik sistemlerden oluşmaktadır [108].

Modellenen sisteme göre, kompresör için gerekli basınç değeri, boru çapı, mesafe, taşınan malzeme ağırlığı ve taşıma yönü katsayısı değerine bağlı olarak hesaplanır. Sistemin üretmesi gereken basınç değeri harcanan güç ile doğrudan ilişkilidir. Taşınan numunelerin hızını belirlemektedir. Sistem basıncı yüksekse materyal iletimi daha hızlı gerçekleşir. Bu sebeple sistemlerde genellikle küçük çaplı borular tercih edilir. Düşük basınçlı sistemler küçük çaplı organizasyonlar ve hafif malzemeleri taşımak için uygundur [109].

4.3. KODLU ETİKETLEME SİSTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ

Pnömatik sistemlerde enerji ve maliyet tasarrufu için alınması gereken önlemler sisteme özgü verilerden yola çıkılarak değerlendirilmektedir. Kötü tasarlanmış bir sistem, verimsizlik meydana getirebilir. Hastanelerde çeşitli numunelerin taşınması için PTS sistemi kullanmak insan gücüne olan ihtiyacı azaltmak, zaman tasarrufu, numunelerin güvenli bir şekilde taşınması ve maliyetin azaltılması gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Hastane pnömatik sistem taşıma sürecindeki birden fazla adım, verimliliği etkiler ve kontaminasyon riskini artırır. Bu yüzden performans önemlidir. Uygun biçimde tasarlanmış bir hastane pnömatik sistemi, mümkün olan en düşük basınçta en az havayı kullanmak üzere optimize edilmelidir. Enerji verimliliğini en üst düzeyde tutmak temel amaçtır. Ancak mevcut sistemlerde geleneksel olarak basınçlı hava sisteminde talep, maliyeti kontrol etme kaygısı ve taşınan numuneye bağımlı olmaksızın belirli bir değerde karşılanmaktadır. Bu durum verimsizliğe ve enerji israfına sebep olur. Ayrıca fazladan güç verilmiş hava sistemi, sadece verimsiz olmakla kalmaz, aynı zamanda taşınan numunelerde bozulmaya yol açar. Hastane pnömatik sistemleri için tez kapsamında yapılan tüm iyileştirme çalışmaları sistemi optimum ve daha verimli hale getirmeyi amaçlamaktadır.

Önerilen model pnömatik taşıma haznelerinin etiketlenerek hastanenin farklı birimleri arasında hızlı, güvenli ve hatasız numune transferini amaçlamaktadır. Bu sayede veri bütünlüğü ve uygulama kolaylığı da sağlanacaktır.

Mevcut şartlar, kurum alt yapısı ve maliyet göz önüne alınarak uygun etiketleme teknolojisi hastane pnömatik sistemlerine entegre edilebilir. Sistemin kurulması için öncelikle kullanılacak kodlama teknolojisine karar verilmelidir. Bunlar barkod, karekod vb. teknolojiler olabilir.

Seçilen teknolojiye göre taşıma haznelerinin kodlanmış etiketlerinde kullanılması önerilen bilgiler Çizelge 4.6' da sıralanmıştır. Bu verilerin etiket sistemine eklenmesi mevcut sistem sorunlarına çözüm sağlayacaktır.

Çizelge 4.6. Önerilen Etiket Sistemine ait Veriler.

	Etikette Olması Önerilen Veriler	Özellik
	Numune Türü	0: Kan, 1: İdrar, 2: Evrak...
	Gönderici Birim	0: Acil Servis, 1: Doğumhane...
	Hedef Birim	0: Laboratuvar, 2: Teknik Birim...
	Önem Derecesi	1: Çok Önemli, 2: Önemli ...
	Gönderilen Saat ve Zaman	gg/aa/yy

Barkod okuyucu cihazların kullanımı ve sisteme adaptasyonu oldukça kolaydır. Okuyucu bir cihaz vasıtasıyla önerilen bilgiler eklenerek etiketlenen numunelere ait tüm detaylar görüntülenebilmektedir. Bu sayede sistemde taşınan numune hakkında detaylı, hızlı ve güvenilir bilgilere ulaşmak mümkün olmaktadır.

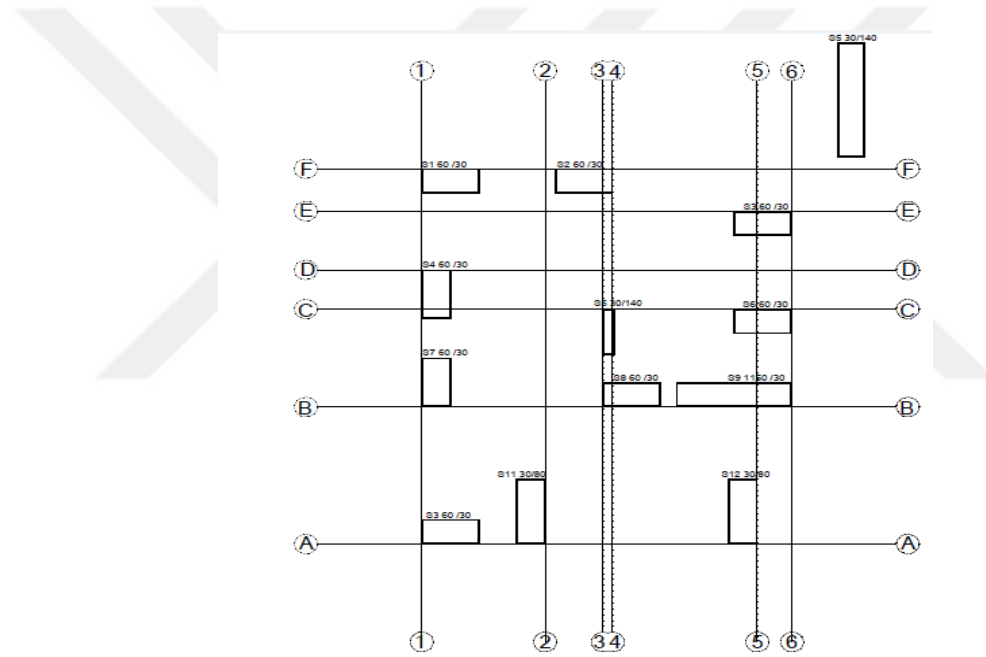
Hastane pnömatik sistemlerinin haznelerine eklenecek etiketleme sayesinde pnömatik sistem kullanıcılarına düşen iş yükü azalacaktır. Benzer özelliklere sahip ürünlerin karışmasının önüne geçilerek, yanlış adrese numunenin gönderilmesi gibi durumların önüne geçilebilecektir. Manuel olarak veri girişine gerek kalmaksızın numunelerin iletimi etiketler aracılığıyla gerçekleşecektir. Sistemin otomatikleşmesine katkıda bulunarak zaman tasarrufu da sağlayacaktır.

Kodlu etiketleme sistemi kullanılarak önerilen model vasıtasıyla pnömatik taşıma esnasında numune haznesi herhangi bir okuyucu aletten geçirildiğinde numuneye ait bilgiler görüntülenebilecektir. Böylece sistemde taşınan numune hakkında gerekli bilgilere hızlı ve doğru bir biçimde erişilebilecektir. Barkod okuyucu cihazlar, tarayıcılar ve benzeri ürünlerin kullanımı, sanal ortama bağlanması ve işlenmesi oldukça kolaydır. Böylece veriler kesin, detaylı ve hızlı bir şekilde toplanabilecektir. Kodlu etiketleme sayesinde kullanıcı hatalarının da önüne geçilmesi planlanmaktadır. Birbirine çok benzeyen ürünler ya da birbirine benzer kodlara sahip ürünlerin karışması ve ürünün yanlış yere gitmesi ve zaman kaybı önlenmiş olacaktır.

4.4. GRAF TABANLI İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ

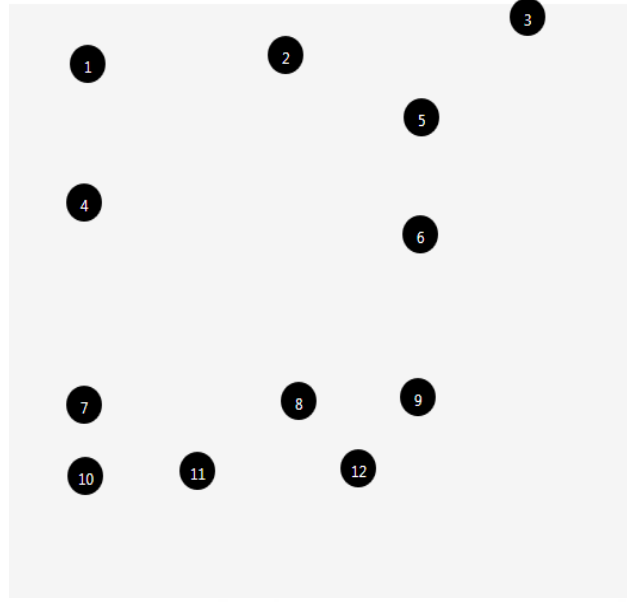
Graf tabanlı kontrol yöntemi ile basıncına doğrudan etki eden taşıma mesafesi parametresi graf yapısı kullanılarak modellenerek ve sisteme en kısa yol bulma algoritmaları entegre edilmiştir. Bu model oluşturulurken kolon-kiriş şemalarından yararlanılmıştır. İyileştirilmiş modelin hastane pnömatik sistemlerindeki verim artışına etkisi değerlendirilmiştir.

Hastane pnömatik sistemleri için graf yapısı kolon- kiriş şemalarına göre oluşturulabilir. Çünkü pnömatik taşıma hatları kolon ve kirişlerin bulunduğu noktaları belirten bu şemalara göre tasarlanmaktadır. Şekil 4.14 graf yapısı oluşturmada kullanılan kolon-kiriş şemasının belirli bir bölümünü göstermektedir.



Şekil 4.14. Örnek Kolon-Kiriş Şeması.

Kolon ve kirişler düğümleri temsil edecek biçimde graf yapısı oluşturulmuştur. Örnek kolon-kiriş şemasının belirli bir bölümüne ait düğümleri gösteren yapı Şekil 4.15 ' de gösterilmektedir.



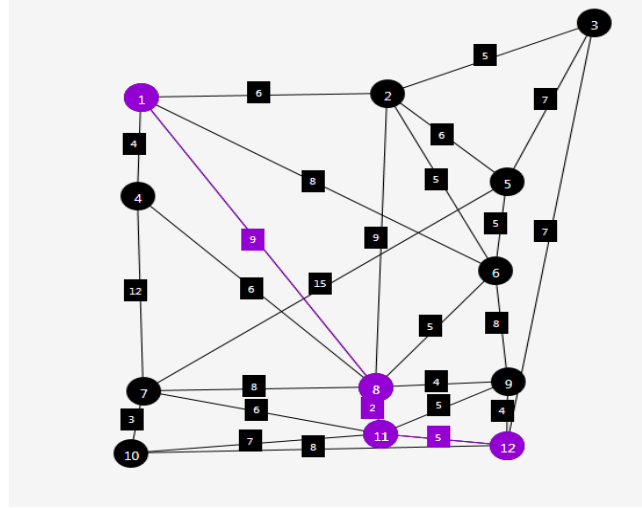
Şekil 4.15. Kolon ve Kirişleri İfade Eden Düğümlerin Gösterilmesi.

1 numaralı düğüm gönderici istasyon olarak kabul ediliop bu istasyondan numunelerin gönderilebileceği hedef istasyonlar ve yol maliyetleri Çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Gönderici ve Olası Alıcı İstasyonlar ve Yol Maliyetlerine ait Örnek Gösterim.

1	Hedef Düğüm (İstasyon)										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gönderici Düğüm (İstasyon)	✓ Maliyet=6		✓ Maliyet=4		✓ Maliyet=8		✓ Maliyet=9				

Grafa ait kenar uzunluklarını belirlemek için ise pnömatik taşıma sisteminde kullanılan boruların uzunluk değeri dikkate alınmıştır. Böylece sistem ağırlıklı-yönsüz graflar kullanılarak modellenmiş olur. Daha sonraki aşamada sistem için uygun en kısa yol algoritması belirlenir. Şekil 4.16’da Dijkstra en kısa yol algoritması kullanarak modellenen sistem için bulunan en kısa yol gösterilmiştir (mor renkte).



Şekil 4.16. Graf Modelinde En Kısa Yolun Gösterimi.

Dijkstra algoritması kullanılan modelde örnek giriş düğümü 1 numara ile, çıkış düğümü ise 12 numaralı düğüm olarak gösterilmiştir. Giriş-çıkış düğümleri arasındaki en kısa yol mor renk kullanılarak renklendirilmiştir. Bellman-Ford Algoritması içinde bu işlemler benzer şekilde yapılmıştır. Bu taşıma çift yönlü de gerçekleştirilebilmektedir. Giriş düğümü numunenin gönderildiği gönderici birimi, çıkış düğümü ise numunenin alınacağı alıcı birimi ifade etmektedir. Modelleme öncesi ve sonrası sistemde taşınan örnek bir numunenin geçtiği düğümler şu şekildedir:

Graf modelleme kullanılmadan önce numunenin geçtiği düğümler:

1 -> 4 -> 7 -> 10 -> 12

Graf modelleme kullanılması durumunda numunenin geçtiği düğümler:

1 -> 8 -> 11 -> 12

Sonuç olarak taşıma mesafesi maliyeti:

Normal koşullar altında = 27 metre olarak hesaplanırken,

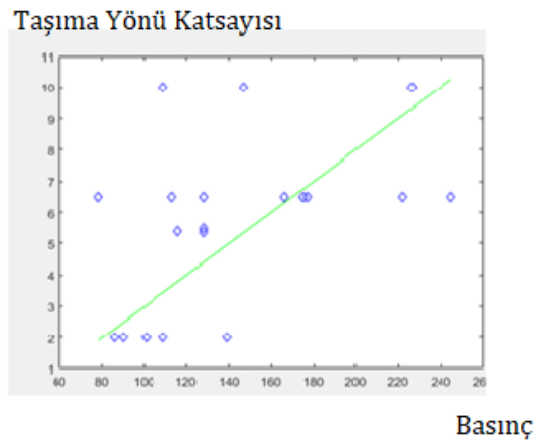
Dijkstra kullanılarak oluşturulan modelde = 16 metre

Bellman-Ford kullanılarak oluşturulan modelde = 16 metre olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre her iki algorithmada aynı performansı göstererek bağıl değerlendirme kapsamında %68 performans artışı sağlamışlardır. Graf yapısı ve beraberinde en kısa yol algoritması kullanarak sistemin modellenmesinin önermemizin amacı taşıma mesafesine ait maliyetini azaltmak ve sistemin verimliliği arttırmaktır. Elde edilen sonuçlar bu durumu desteklemektedir.

Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde; Dijkstra ve Bellman-Ford Algoritmalarının karşılaştırdığımız bir diğer kolon-kiriş şemasına göre de her iki algoritma yaklaşık olarak aynı performansı göstermiştir. Ancak başka bir kullanım alanı olan bilgisayar ağlarındaki performansları göz önüne alındığında; Dijkstra algoritmasının daha yüksek performans göstermektedir [110]. Düğüm sayısı arttıkça Bellman-Ford algoritmasının daha yavaş bir şekilde sonuca ulaştığını gösteren çalışmalar da mevcuttur ve bir network ağı için Dijkstra Algoritmasının çok daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [111]. Bu iki algoritma arasında seçim yapılması gerektiğinde geliştirilecek sisteme göre ya da deneme yanılma yöntemi ile karar verilebilir.

4.5. MATEMATİKSEL MODEL VE GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ

Deneyssel çalışmalarla elde edilen sonuçlara göre sistem parametreleri belirlenip, çok değişkenli doğrusal olmayan regresyon yöntemi ve kara kutu modelleme kullanılarak sistemin matematiksel modeli elde edilmiştir. 4 giriş, 1 çıkış parametresi kullanılarak elde edilen deneyssel veriler incelendiğinde verilerin arasında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmüştür. Örneğin taşıma yönü katsayısı ve basınç parametresi arasındaki ilişki Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Elde edilen lineer regresyon sonucunun kötü olmasının sebebi sistem parametrelerinin birbiriyle lineer olmayan bir ilişkiye sahip olmasından kaynaklanır. Bu şekil aynı zamanda sistemin non-lineerliğinin bir gösterimini sunmaktadır.



Şekil 4.17. Lineer Regresyon Sonucu Veri Setinin Bir Bölümüne ait Dağılım.

Denklemlerin her biri incelendiğinde pnömatik taşıma sistemlerinde kütle ve sürtünme kuvvetinin etkisi ve önemi açıktır. Tez çalışmamız kapsamında, Matlab yazılımı kullanılarak çok değişkenli lineer olmayan regresyon yöntemi ile hastane pnömatik sistemlerinin kontrolünde kullanılmak üzere bir matematiksel model önerisinde bulunulmuştur. Elde edilen matematiksel modelin çıkış parametresi sistemden üretmesi beklenen basınç değeridir. Sistemin amacı çıkış parametresi olan blowerın üretmesi gereken basınç değerinin kontrolüdür. Hız kontrollü hastane pnömatik sistemleri için numunelerin hasarsız ve doğru bir şekilde iletilmesini sağlar. Bunu sağlamak için hız/basınç kontrolü yapılmıştır. Matematiksel model oluşturulurken parametrelerin İngilizce karşılığının kısaltmaları kullanılmıştır. Elde edilen basınç modeli ve sistem parametrelerinin matematiksel model karşılıkları Çizelge 4.8’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Sistem Parametrelerinin Matematiksel Model Karşılıkları.

Giriş /Çıkış Parametreleri	Matematiksel Model Karşılığı
Boru Çapı	Pd (Pipe Diameter)
Mesafe	D (Distance)
Taşıma Yönü Katsayısı	Tdc (Transport Direction Coefficient)
Malzeme Ağırlığı	Mw (Material Weight)
Basınç	P (Pressure)

Hastane pnömatik sisteminin enerji kaynağı olan blowerın üretmesi gereken basıncın modellenmesi amacıyla oluşturulan matematiksel modelde kullanılan kabuller şu şekilde sıralanabilir:

- Hava gazı idealdir.
- Sıcaklığın hastane birimleri arasında önemli derecede değişmediği kabul edilerek bu parametre etkisi göz önüne alınmamıştır.

$$P = 0.20607 + (0.68846 * Pd)^2 + (0.28 * D)^2 + (0.28 * Tdc)^2 - 0.017623 * (Mw)^2 \quad (4.1)$$

Önerilen matematiksel modelin R-Kare ve p değeri sırasıyla **0.851** ve **3.71 e⁻⁶⁰** olarak elde edilmiştir. Bu değerler önerilen modelin istatistiksel olarak anlamlı ve başarılı olduğunu göstermektedir.

Matematiksel model çalışmaları esnasında elde edilen en başarısız modelin R-Kare ve p değeri sırasıyla 0.212 ve 5.16e-09 olarak hesaplanmıştır ve bu modele ait denklem ve katsayılarla ilgili veriler şu şekildedir:

$$P = b_1 + (b_2 * Pd)^{b_3} + (b_4 * D)^{b_5} + (b_5 * Tdc)^{b_6} + (b_7 * Mw)^{b_8} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.9. Performansı En Düşük Matematiksel Modele ait Veriler.

	Katsayı Tahmini	SE	tStat	p Değeri
b1	43.674	6.499e-25	6.7202e+25	0
b2	5	2.8484e-28	1.7554e+28	0
b3	-2	6.0281e-28	-3.3178e+27	0
b4	42.09	6.499e-25	6.4764e+25	0
b5	6.3922e-14	1.2828e-12	0.04983	0.96081
b6	5.5	4.2218e-25	1.3028e+25	0
b7	-82.122	6.2829e-25	-1.3071e+26	0
b8	-0.019923	8.7582e-23	-2.2747e+20	0

Elde edilen matematiksel modelin geçerliliğini sınamak ve matematiksel modelin giriş parametre katsayılarının optimizasyonu için genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma ile hastane pnömatik sistemine ait deneysel veriler kullanılarak sistemin giriş parametrelerinin (boru çapı, mesafe, taşıma yönü katsayısı, metaryal ağırlığı) optimizasyonu yapılmıştır. Pnömatik sistemlerin ihtiyaçları doğrultusunda kısıt

fonksiyonu belirlenmiştir. Optimizasyonu sağlanması hedeflenen değerler gen olarak tanımlanmış ve bu genler bir araya gelerek kromozom yapısını oluşturmuştur. Genetik algoritma yapısına ilişkin veriler Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Genetik Algoritma Verileri.

Kromozom Sayısı	50
Başlangıç popülasyonu	Rastgele
Kullanılan Operatörler	Çaprazlama ve Mutasyon operatörleri
Çaprazlama operatörü	Ayrık Çaprazlama (Discrete Crossover)
Mutasyon operatörü	Non-Uniform
Algoritma Tekrar Sayısı	50
Seçim Mekanizması	Uygunluk Değeri Orantılı Seçim (Fitness Proportionate Selection)
Algoritma Durdurma Kriteri	İterasyon Sayısı (1000)

Genetik algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlara göre pnömatik sistemlerin çıkış basınç değerlerini belirlemede genetik algoritmanın çözüme uygun olduğu gözlenmiştir. Bu yöntem kullanılarak elde edilen değerler, matematiksel modele ait katsayılar ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu da oluşturulan matematiksel modelin doğruluğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmamızın amaçlarından biri hız kontrolünü sağlamak ve hassas numunelerin hastane pnömatik sistemlerinde taşınmasına olanak sağlamaktır. Ancak pnömatik sistemler lineer olmayan bir yapıya sahip oldukları için bu sistemlerin modellenmesinde ve kontrol algoritmalarının uygulanmasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu amaçla hastane pnömatik sistemlerinin kontrolünde kullanılmak üzere matematiksel bir model önerisi sunulmaktadır. Hastanelerde kullanılan mevcut sistemlerde her numune, özelliğinden bağımsız olarak aynı basınç ve hızda taşınırken, önerilen model malzemeyi en uygun değerde taşımayı amaçlamaktadır. Matematiksel model, çok değişkenli doğrusal olmayan

regresyon yöntemi ile elde edilmiştir. Modelin istatistiksel performansı R-Kare= 0.851 ve $p= 3.71 \times 10^{-60}$ 'tır. Modelin doğrusal olmayan ilişkileri tespit ettiği düşünüldüğünde bu değer onu daha da anlamlı kılmaktadır. Veri kümesini artırmak, bu modelin performansını iyileştirebilir. Sonuçlar, doğrusal olmayan regresyon yönteminin basınç modellemede kullanılabilecek başarılı bir yöntem olduğunu ve önerilen modelin hastane pnömatik sistemlerinin kullanımına etkin ve verimli bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu model, maliyette önemli bir azalmaya neden olabilir. Ayrıca sistemin enerji kaybının en aza indirilmesi, taşımanın taşınan malzemenin cinsine göre uygun hızda yapılması, sistem elemanlarının aşınması ve hemoliz gibi numune bozulmalarının olması beklenmektedir.

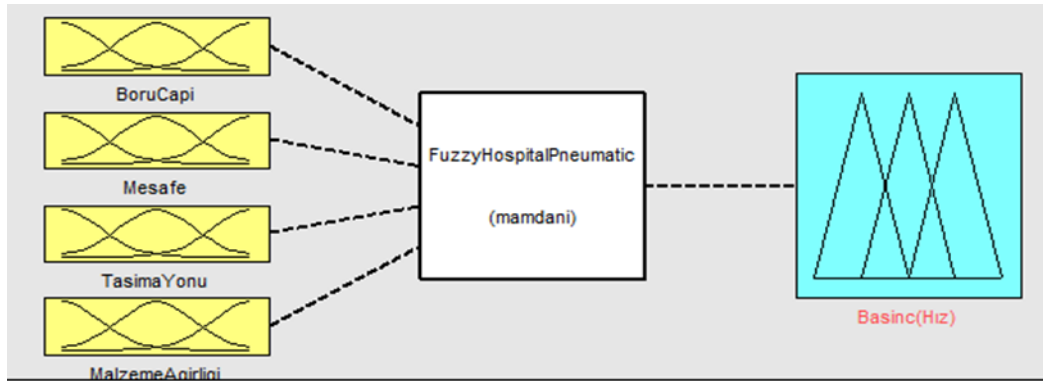


5. YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMİŞ MODEL ÖNERİSİ

Doğrusal olarak modellenemeyen sistemlerin yapay zeka yöntemleri kullanılarak modellenmesi iyi bir alternatif olarak ortaya çıkar. Bu sayede lineer olmayan sistemlerin kontrolü kolaylaşmış olur. Hastane pnömatik sistemleri lineer olmayan bileşenlerden oluşmaktadır.

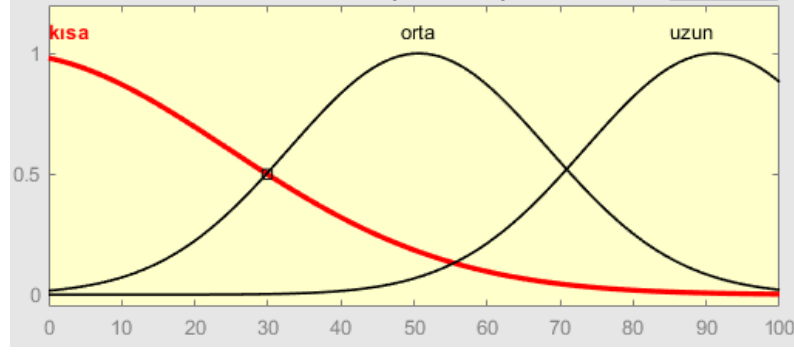
5.1. HASTANE PNÖMATİK SİSTEMLERİNE BULANIK MODEL ÖNERİSİ

Sisteme bulanık mantıkla modelleme yapılmasının amacı sistemin daha etkin kontrolüdür. Sistem modellenirken Matlab Fuzzy Logic Toolbox kullanılmıştır. Bu toolbox uygulamaya özgü ve uygun bulanık çıkarım metodunu sunmaktadır. Sistem modelinde giriş ve çıkış parametrelerinin değer aralıkları hastane pnömatik sistemlerinde kullanılan malzemelerin katalog bilgileri göz önüne alınarak seçilmiştir. Şekil 5.1’de bulanık mantıkla modellenen sistemin model blok görünümü verilmiştir. Giriş ve çıkış parametreleri daha önceki bölümlerde belirtildiği gibidir ve 4 adet girişe karşılık çıkış değeri basıncı göstermektedir.



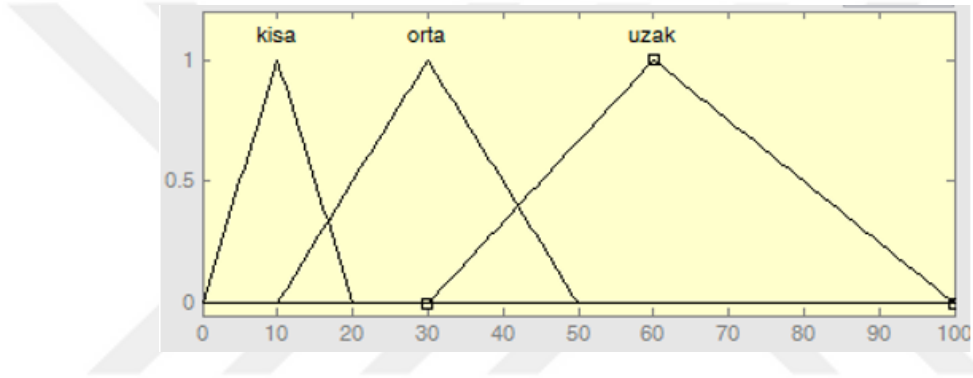
Şekil 5.1. Bulanık Modele ait Blok Görünümü.

Üyelik fonksiyonlarının seçiminde üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları kullanılarak denemler yapılmış ve en uygun sonuçlar üçgen üyelik fonksiyonunda elde edildiği için bu üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Gauss üyelik fonksiyonu kullanılarak modellenen örnek uzaklık parametresi Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



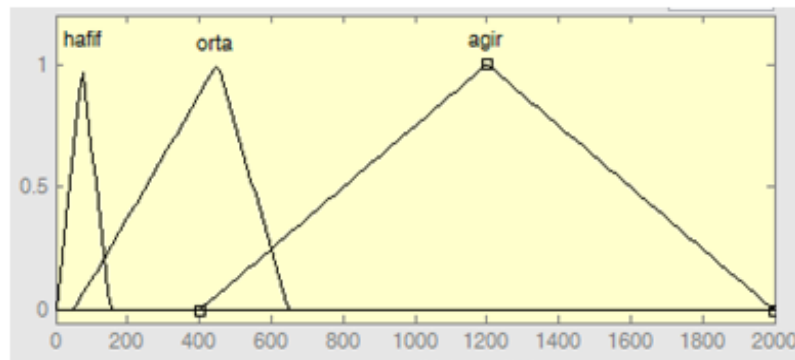
Şekil 5.2. Gauss Üyelik Fonksiyonu Kullanılmış Örnek Uzaklık Parametresi.

Şekil 5.3'te mesafe üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Modellenen sistemde 0-100 m aralığında pnömatik taşıma gerçekleşmektedir.



Şekil 5.3. Mesafe Üyelik Fonksiyonları.

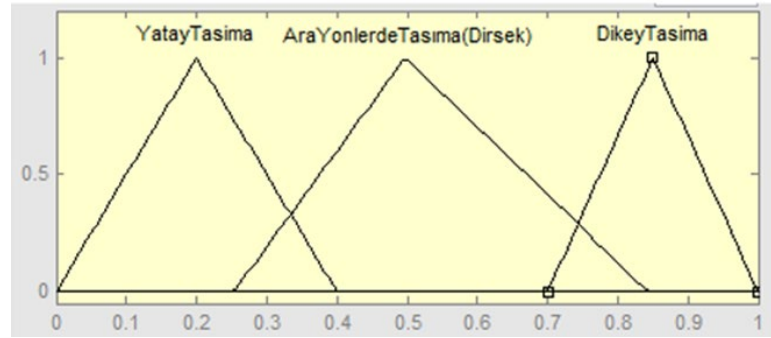
Şekil 5.4'de malzeme ağırlığı parametresinin üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Malzeme ağırlığının artması üretilmesi gereken basınç değerini arttırmaktadır.



Şekil 5.4. Malzeme Ağırlığı Üyelik Fonksiyonları.

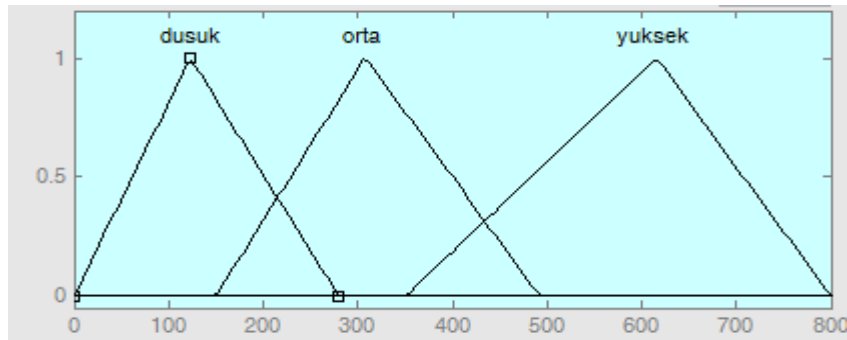
Şekil 5.5'de taşıma yönü parametresinin üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Taşıma yönü parametresi bir taşıyıcıyı hareket ettirebilmek için uygulanması gereken basıncın yatay dikey yönde ve dirsek kısımlarında farklı olmasından kaynaklanan bir giriş

parametresidir. Bu parametre farklı taşıma yönlerinde nesneye etkiyen sürtünme kuvvetini esas alır.



Şekil 5.5. Taşıma Yönü Üyelik Fonksiyonları.

Bulanık mantık kullanarak modellediğimiz kompresörün kapasitesi debi ve çıkış basıncı türünden ifade edilir. Sistemin çıkış parametresi olan bu değer sistemin harcadığı güçle doğrudan ilişkili olarak üretilmesi gereken basıncı ifade eder. Tüm pnömatik sistemler için en uygun çalışma basıncı değerinden bahsedilebilir. Gereksiz enerji uygulanması sistemde enerji kaybına ve aşınmalara sebep olabilirken, enerji ihtiyacının karşılanmaması taşıma işleminin yerine getirilmemesine veya verimin düşmesine sebep olabilmektedir. Şekil 5.6'da basınç parametresinin üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



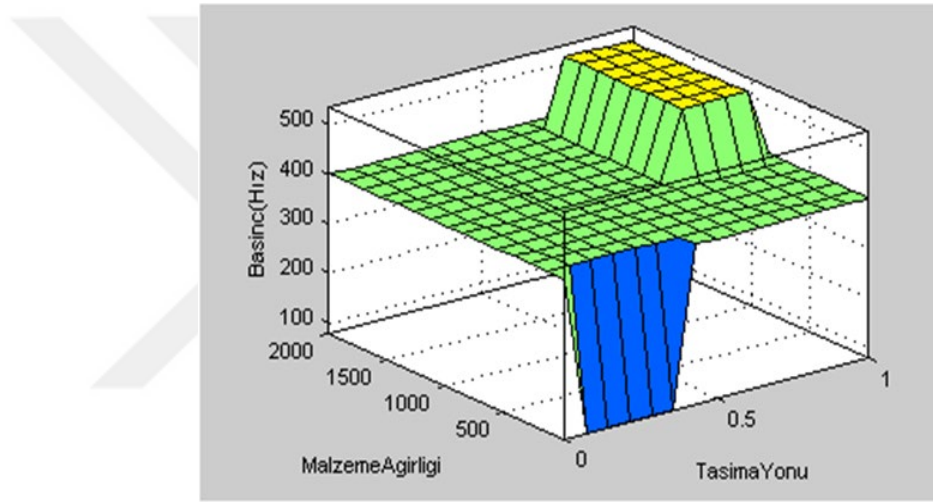
Şekil 5.6. Basınç Üyelik Fonksiyonları.

4 giriş ve 1 çıkış parametresi kullanılarak sistemin üretmesi gereken basıncın hesaplandığı sistemde giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonlarının çarpımı kadar; $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ kural tanımlanmıştır. Şekil 5.7'de oluşturulan kural listesine ait bir bölümünün görüntüsü yer almaktadır.

1. If (BoruCapi is Dar) and (Mesafe is Kısa) and (TasimaYonu is YatayTasima) and (MalzemeAğırlığı is Hafif) then (Basınc(Hız) is DüşükBasınc) (1)
2. If (BoruCapi is Geniş) and (Mesafe is Uzak) and (TasimaYonu is DikeyTasima) and (MalzemeAğırlığı is Ağır) then (Basınc(Hız) is YüksekBasınc) (1)
3. If (BoruCapi is Dar) and (Mesafe is Uzak) and (TasimaYonu is AraYönlerdeTasima(Dirsek)) and (MalzemeAğırlığı is Ağır) then (Basınc(Hız) is YüksekBasınc) (1)
4. If (BoruCapi is Geniş) and (Mesafe is Uzak) and (TasimaYonu is YatayTasima) and (MalzemeAğırlığı is Hafif) then (Basınc(Hız) is DüşükBasınc) (1)
5. If (BoruCapi is Orta) and (Mesafe is Kısa) and (TasimaYonu is YatayTasima) and (MalzemeAğırlığı is Ağır) then (Basınc(Hız) is OrtalamaBasınc) (1)
6. If (BoruCapi is Dar) and (Mesafe is Kısa) and (TasimaYonu is AraYönlerdeTasima(Dirsek)) and (MalzemeAğırlığı is Orta) then (Basınc(Hız) is OrtalamaBasınc) (1)
7. If (BoruCapi is Orta) and (Mesafe is Uzak) and (TasimaYonu is DikeyTasima) and (MalzemeAğırlığı is Hafif) then (Basınc(Hız) is OrtalamaBasınc) (1)
8. If (BoruCapi is Dar) and (Mesafe is Uzak) and (TasimaYonu is AraYönlerdeTasima(Dirsek)) and (MalzemeAğırlığı is Ağır) then (Basınc(Hız) is YüksekBasınc) (1)

Şekil 5.7. Kural Listesinin Bir Bölümü.

Durulaştırma işlemi sonrasında elde edilen yüzey eğrisi Şekil 5.8’ de gösterilmiştir. Şekil malzeme ağırlığı ve taşıma yönü parametrelerinin basınca etkisini göstermektedir. Buna göre malzeme ağırlığı ve sürtünme kuvveti artışının basınç değerini de arttırdığı görülmektedir.



Şekil 5.8. Malzeme ağırlığı ve taşıma yönüne göre basıncın yüzey Görünümü.

Bulanık mantıkla modellenen sistem sonuçları uzman kişilerin önerdiği sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Görüşlerine başvurulmuş uzman kişiler pnömatik sistemler konusunda deneyimli 3 mühendisten oluşmaktadır. Bu 3 uzman kişinin öngördüğü basınç değerlerinin ortalaması alınarak uzman kişi basınç değeri elde edilmiştir. Literatürde hastane pnömatik sistemlerinin modellenmesine ilişkin başka bir çalışma yer almadığı için literatürel ve performans karşılaştırılması yapılamamaktadır. Çizelge 5.1’de uzman kişi ve bulanık modele ait sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 5.1. Bulanık Mantık Modeli ve Uzman Kişi Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Boru Çapı(mm)	Mesafe(m)	Taşıma Yönü Katsayısı	Ağırlık(g)	Gerekli Basınç Değeri (mBar)	Uzman Kişi Basınç Değeri (mBar)	Mevcut Sistem Basınç (mBar)
22	12	14	1100	149	200	800
52	18	7	705	101	80	800
95	38	10	505	667	650	800
71	23	14	1987	436	400	800
86	42	20	650	600	550	800
22	55	9	1750	234	300	800

Bulanık mantıkla modellenen hastane pnömatik sistemi, uzman kişilerin öngördüğü sonuçlara yakın değerler üretmeyi başarmıştır. Önerilen sistemin başarısı %91 olarak hesaplanmıştır. Modellenen sistemde giriş parametrelerinin ara değerler aldığı durumlarda daha başarılı, sınır değerlerde ise önerilen modelin başarısının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Gelecekteki çalışmalarda daha iyi sonuçlar elde edebilmek için; veri seti arttırılabilir, giriş parametrelerinin üyelik fonksiyon türleri ve sayıları değiştirilebilir.

5.2. HASTANE PNÖMATİK SİSTEMLERİNE BULANIK MANTIK, YSA VE ANFİS İLE KARŞILAŞTIRMALI MODEL ÖNERİSİ

Tez kapsamındaki bu çalışmada, hastane pnömatik sistemi, bulanık mantık, ANFİS (Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inference system) ve yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada önerilen modelde tez boyunca kullandığımız 4 giriş ve 1 çıkış parametresi bulunmaktadır. Boru çapı, numune ağırlığı, taşıma mesafesi ve taşıma yönü katsayısı parametreleri giriş, sistemin enerji kaynağı olan blowerın sağlaması gereken basınç değeri ise çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Bulanık mantık, ANFİS ve yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan modeller regresyon katsayısı (R^2), Ortalama Mutlak Sapma (MAD) ve Ortalama Kare Hata (RMSE) metrikleri bakımından performansları karşılaştırılmış, sistem için en uygun modelleme şekli belirlenmiştir.

Veri setinin oluşturulması sürecinde; veriler [0,1] aralığına lineer transformasyon yöntemi ile normalize edilmiş [112], eğitim ve test verileri birbirinden ayrılmıştır.

Denklem (5.1)'de bu yönteme ait formül yer almaktadır.

$$x_n = \frac{x_0 - x_{min}}{x_{maks} - x_{min}} \quad (5.1)$$

Veri setinin eğitim ve test olmak üzere iki parçaya ayrılması için basit rastsal ayırım yöntemi kullanılmıştır [113]. Bu yönteme göre veri setinin yaklaşık 2/3 'lük kısmı eğitim kümesi için 1/3 'lük kısmı test için ayrılmıştır.

Üç farklı yapay zekâ tekniği ile modellenen sistemin performansını değerlendirmek için regresyon katsayısı (R^2), ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak sapma (MAD) metrikleri kriter olarak kullanılmıştır. Bu metrikler, analizlerin güvenilirliğini artırmak ve hangi yöntemin daha düşük hata oranı verdiğini belirlemek için kullanılmıştır. Regresyon katsayısı, bilimsel çalışmalarda en sık kullanılan metriklerden biridir. Bir modelin gerçek veri aralığını ne kadar iyi tahmin edebileceği hakkında bir fikir verir. R^2 değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa tahmin sonuçlarını o kadar iyi yansıtır [114]. Regresyon analizi, bağımlı değişkendeki (Y) değişimi bağımsız değişkenlerle ($X_1, X_2 \dots X_n$); y- gözlem değerlerinin ortalamasını gösterir. Regresyon katsayısı şu şekilde hesaplanır [115]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5.2)$$

RMSE ve MAD metrikleri hata ölçütünü gösterdiğinden, sonuçlar performansla ters orantılıdır. Elde edilen değerlerin düşük olması performansın yüksek olduğunu gösterir [111]. Bu değerler 0'a ne kadar yakınsa performans o kadar yüksek ve hata değeri ne kadar düşükse doğruluk o kadar yüksek olur.

Bu metrikleri hesaplamak için kullanılan denklemler aşağıdaki gibidir:

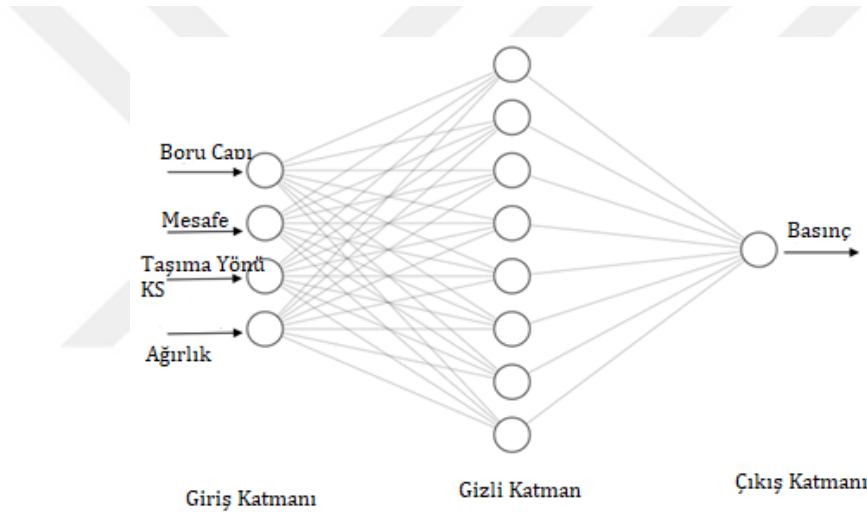
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (5.3)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (5.4)$$

Daha sonra hastane pnömatik sistemlerinin kontrolü için optimum modelin belirlenmesi amacıyla, dört giriş ve bir çıkış parametre olarak kullanılarak bulanık mantık, YSA ve

ANFIS teknikleri ile modellenen sistemde eğitim ve test verilerinin performansları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her bir model için elde edilen sonuçlar incelenip birbirleriyle karşılaştırılmıştır ve en uygun yapay zeka modeli belirlenmiştir.

YSA kullanılarak oluşturulan modelde sistem parametreleri tek bir gizli katman ve 1 ile 10 arasında değişen sayıda nöron ile modellenmiş ve oluşturulan modellerin performansları regresyon katsayısı, MAD ve RMSE kriterleri bakımından karşılaştırılmıştır. Literatürde birçok problem için tek bir gizli katmanın yeterli olabileceği öne sürülmüştür. Bu nedenle çalışmada tek bir gizli katman tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra nöron sayısı, performansın belirlenmesinde kritik öneme sahiptir elde edilen sonuçlar bu durumu doğrulamaktadır. Şekil 5.9, 4 girdi ve 1 çıktıdan oluşan sistemin ANN mimarisini göstermektedir.



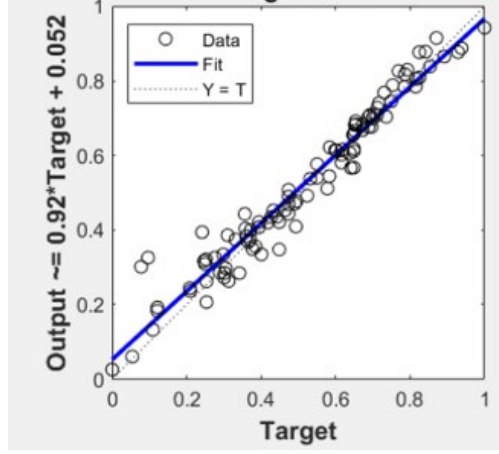
Şekil 5.9. YSA Modeline Ait Mimari Yapı.

YSA kullanılarak modellenen sistemde, 1 ile 10 arasında değişen farklı sayıda nörona sahip ileri beslemeli geri yayılım ağ tipi kullanılmıştır. Çizelge 5.2, 4 giriş, 1 çıkış, 1 gizli katmana sahip YSA modeli için eğitim ve test verilerinin performanslarını göstermektedir.

Çizelge 5.2. YSA Modeline Ait Performans Değerleri.

Nöron Sayısı	Eğitim Performansı R^2	Test Performansı R^2	Test Performansı MAD	Test Performansı RMSE
1	0.9210	0.9501	0.042569	0.060469
2	0.9214	0.9448	0.040064	0.0575762
3	0.9321	0.9514	0.035535	0.054191
4	0.9401	0.9582	0.032973	0.053437
5	0.9513	0.9714	0.031816	0.047583
6	0.9564	0.8989	0.036688	0.051818
7	0.9578	0.8498	0.032953	0.048779
8	0.9291	0.9676	0.031824	0.051777
9	0.9488	0.9587	0.038172	0.054287
10	0.9452	0.9556	0.037099	0.052513

Sonuçlara göre R^2 , MAD, RMSE değerleri açısından en yüksek performans beş nöronlu YSA yapısında elde edilmiştir. Grafik test verilerinden elde edilen en yüksek R^2 değerine sahip model olarak beş nöronlu YSA yapısının dağılım diyagramı Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Sonuçlar, YSA modelinin bu sistem için başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.



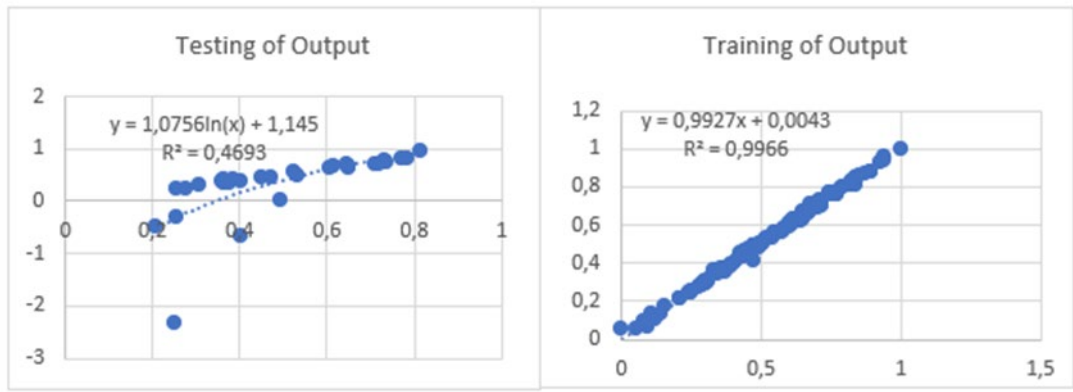
Şekil 5.10. 5 Nöronlu YSA Modelinin Test Verilerinin Dağılım Diyagramı.

ANFIS modellemesi, bulanık bir çıkarım sisteminde üyelik parametresi tanımlamasının üstesinden gelmek için uyarlanabilir ağ kavramını uygulamaktadır. Yapay sinir ağlarının öğrenme kabiliyeti ve bulanık mantığın çıkarım yapma özelliğini beraber kullanabilen bu hibrid yapay zekâ yöntemidir. Bu modele ait sonuçlar Çizelge 5.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Anfis Modeline Ait Performans Değerleri.

ANFIS Model	Eğitim Performansı R^2	Test Performansı R^2	Test Performansı MAD	Test Performansı RMSE
3-3-3-3	0.9996	0.4693	0.143371	0.446278
4-4-4-4	0.9435	0.7520	0.108127	0.147666
3-5-5-3	0.9339	0.6887	0.101299	0.139126
5-5-5-5	0.7903	0.4871	0.2404038	0.291004

Çizelge 5.4’ e göre en iyi performans her bir giriş modelinin 4 farklı küme değeriyle (üyelik değeriyle) oluşturulduğu modelde elde edilmiştir. Şekil 5.11 M3333 modeline ait eğitim ve test verilerinin başarısını göstermektedir. Bu model eğitim verilerinde yüksek bir performans gösterirken, test verilerinde yeterli başarıyı gösteremediği görülmüştür.



Şekil 5.11. M3333 Modeline Ait Test ve Eğitim Verilerinin Performansı.

Yapay zekâ yöntemleri kullanılarak modellenen sistemlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Yapay Zeka Modellerinin Performanslarının Karşılaştırılması.

	ANN Modeli	ANFIS Modeli	Bulanık Mantık Modeli
R ² Performans Değeri	0.9714	0.7520	0.9554

Günümüzde yapay zekâ yöntemleri kontrol uygulamaları ve sağlık alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Bulanık mantık, ANFIS ve yapay sinir ağları bunların en önemlilerindendir ve doğrusal olmayan sistemlerin kontrolünde iyi birer alternatif olarak karşımıza çıkarlar. Böylece uygulamalar basitleşir, maliyet azalır. Sistemin olumsuz olarak düşünülebilecek bir yanı bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının ve kural tabanının belirlenmesinde kesin, belirli kuralların olmaması görülebilir. Deneme yanılma yöntemi ise zaman almaktadır. Sistem parametreleri belirlenirken çok sayıda deneme gereklidir ve bu zaman alan ve kısıtlayıcı bir durumdur.

Benzer şekilde ANFIS ile oluşturulan modeller içinde deneme yanılma yöntemi ile en uygun modelin bulunması söz konusu olabilmektedir. Kullanılacak öğrenme metodu, veri kümesinin büyüklüğü, üyelik fonksiyonlarının tipi modelin başarısını belirlemede oldukça önemlidir. Bunu önlemek için hibrid modeller kullanılabilir veri setleri artırılabilir.

5.3. YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ VE MATEMATİKSEL MODEL KARŞILAŞTIRILMASI

Yapay zeka yöntemleri kullanılarak modellenen sistemde en yüksek performans değeri yapay sinir ağı ile modellenen sistemde görülmektedir. Ancak yapay sinir ağları ile modellenen sistemler için bazı donanımsal gereksinimlerin (yüksek performanslı işlemci, ekran kartı vb.) karşılanması gerekmektedir. Bu durumun üstesinden gelebilmek ve hızlı sonuç alabilmek adına matematiksel modeller tercih edilebilir. Matematiksel model ve yapay zekâ modellerinden en yüksek performansa sahip model olan yapay sinir ağlarına ait modelin R^2 metriği bakımından karşılaştırması Çizelge 5.5'te yapılmıştır. Bu veriler yapay sinir ağı modelinin hastane pnömatik sistemi için daha yüksek performans sağladığını göstermektedir. Ancak donanımsal kısıtların olduğu durumlarda ya da hızlı sonuç alınması gereken durumlarda hastane pnömatik sistemleri için oluşturulan matematiksel modelin de kullanılabileceği görülmektedir.

Çizelge 5.5. Yapay Zeka ve Matematiksel Model Sonuçlarının Karşılaştırılması.

	Yapay Sinir Ağı Modeli	Matematiksel Model
R^2 Performans Değeri	0.9714	0,851

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında hastane pnömatik sistemlerinde kullanılmak üzere Düzce Üniversitesi Hastanesi'nden elde edilen deneysel veriler kullanılarak birçok iyileştirilmiş yöntem geliştirilmiştir. Hastanelerde kullanılan mevcut pnömatik sistemlerde taşınan her numune için aynı basınç ve hız değeri uygulanırken önerilen model ile taşınan numunenin özelliklerine göre taşıma hızı ve basıncı belirlenebilmektedir. Tahmin modelleri oluşturulurken sisteme en uygun basınç çıkışını belirlemek amacıyla sistem giriş parametreleri boru çapı, taşıma mesafesi, taşıma yönü katsayısı ve malzeme ağırlığı olarak belirlenmiştir. Daha önce pnömatik sistemlerde basınç kontrolü ile ilgili çalışmalarda kullanılmayan taşıma yönü katsayısı, daha etkin ve verimli basınç kontrolü elde etmek için yeni bir parametre düzeni olarak önerilmiştir. Yapılan tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Önerilen matematiksel model aracılığıyla mevcut sistemin güncellenmesi, %43'e kadar daha verimli taşıma sağlar.
2. Hastane pnömatik sistemlerinin modellenmesinde kullanılan yapay zeka teknikleri karşılaştırıldığında bulanık mantık, YSA ve ANFIS yöntemlerinin performansları, regresyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak sapma (MAD) ve ortalama karekök hata (RMSE) metriklerine göre değerlendirildiğinde en başarılı sonuçlar 0,9714 değeri ile YSA modeli için elde edilmiştir.
3. Diğer performans ölçütleri değerlendirildiğinde, MAD 0.03181624 ve RMSE 0.04758351777 olan ANN modeli önerilen sistem için en uygun model olarak bulunmuştur.
4. Dağılım grafikleri, YSA ve bulanık mantık modelleri tarafından elde edilen basınç tahminlerinin ölçülen değerlere makul ölçüde yakın olduğunu göstermiştir.
5. YSA ile oluşturulan modelin performansı büyük ölçüde nöron sayısına bağlıdır. En iyi sonuç beş nöronlu YSA modeli ile elde edilmiştir.
6. ANFIS modeli ile elde edilen $R^2 = 0.7520$ değeri diğer modellere göre nispeten düşük olarak değerlendirilmiştir. Ancak sistemin üretmek zorunda olduğu basınç değerini ve bunun sonucunda artan enerji tüketimini birçok faktör etkilemiştir. Modelin doğrusal

olmayan ilişkiler tespit ettiği göz önüne alındığında, bu istatistik nispeten düşüktür. Ayrıca, bu modelin performansı, farklı üyelik fonksiyonları seçilerek ve test için ayrılan veri seti artırılarak artırılabilir.

7. Genetik algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlara pnömatik sistemlerin çıkış basınç değerlerini belirlemede genetik algoritmanın oluşturulan matematiksel modelle uyumlu olduğunu ve pnömatik sistemler için uygun olduğunu göstermektedir. Bu da oluşturulan matematiksel modelin geçerliliğini arttırmaktadır.

9. Donanımsal gereksinimlerin yeterli olmadığı sistemlerde yapay sinir ağı yerine iyileştirilmiş matematiksel model kullanılarak daha hızlı sonuç veren sistem modelleri elde edilebilir.

9. Sistemin enerji ihtiyacı kontrol edilebilir, ihtiyaca göre özel çözümler ve iş yükü optimizasyonu sağlanır.

10. Numunenin özelliğine bağlı olarak daha hızlı/yavaş taşımanın numune bozulması ve hemoliz gibi durumları önleyebildiği gözlemlenmiştir.

11. Numune özelliğine göre hız ayarı daha hassas numunelerin sistemde taşınmasına olanak sağlayacaktır.

12. Sistemde farklı tipte numunelerin taşınabilmesi, bu numunelerin sistem içinde güvenli bir şekilde taşınmasını ve malzeme kaynaklı bulaşma riskinin ortadan kaldırılmasını sağlayacaktır.

13. Sistemde gereksiz güç tüketiminin önüne geçilmesi malzeme aşınmasının azalmasına katkı sağlayacaktır. Böylece sistem daha uzun süre kullanılabilir.

14. Önerilen modelin uygulanması kolaydır ve farklı ölçeklerdeki sistemler için kullanılabilir.

15. Önerilen kodlu etiketleme sistemi sayesinde: Pnömatik taşıma sisteminde taşınacak numunelerin hastane birimleri arasında dolaşımı ve nakli esnasında bilgi girişlerinin hızlı ve hatasız biçimde yapılması sağlanabilecektir.

16. Sistem taşıyıcıları üzerindeki her bir taşıma haznesinde kullanılması önerilen etiketler sayesinde, numunelerin hareketi raporlanabilir.

17. Önerilen tüm modeller sistemin denetimini kolaylaştırıp, hastane personelinin iş yükünü hafifleterek, sistemin kontrol altında tutulmasını sağlar ve yapılan işin niteliği

arttıracaktır.

18. Graf yapısı ile elde edilen modelin sonuçlarına göre pnömatik taşıma sistemlerinin en kısa yol algoritmaları kullanarak modellenmesi verimlilik açısından önemli avantajlar sağlayacağını göstermektedir.

19. Numunelerin taşıma mesafesinin azalması ve numunelerin bozulmadan daha kısa sürede taşınabilmesine olanak sağlamaktadır.

20. Graf yapısında kullanılan en kısa yol algoritmalarından Bellman-Ford algoritması ve Dijkstra algoritması bizim uygulamamızda yaklaşık olarak aynı performansı göstermektedir. Ancak uygulama büyüklüğü ve hastane yapısına ait kolon-kiriş şemasına göre bu sonuçlar farklılık gösterebilmektedir. Sistemde kullanılacak en kısa yol algoritmasına hastane binasının yapısına göre karar verilebilir.

21. Hastane pnömatik taşıma sistemleri için önerilen modelin sistemin enerji kaybını en aza indirmesi, sistem elemanlarındaki aşınmayı azaltması ve taşınan numunelerde hemoliz ve hava kabarcığı gibi bozulmaları önlemesi beklenmektedir.

22. Önerilen iyileştirilmiş modeller sayesinde endüstriyel ve elektrik enerjisi bakımından hastane pnömatik sistemlerine kazanç sağlayacağı ön görülmektedir. Ancak bu modeller sisteme donanımsal olarak dahil edilemediğinden enerji tüketimine olan etkisi tam olarak hesaplanamamıştır.

23. Geliştirilen model sadece Düzce Üniversite Hastanesi için değil PTS kullanan tüm kurumlar için uygundur ve kontrol devresi değiştirilerek uygulanabilir.

24. Tez çalışması kapsamında yürütülen tüm çalışmalar işletme enerji maliyetlerini düşürmeye yardımcı ve uzun ömürlü hizmet sağlayıcı özelliktedir.

Bu tez çalışması göz önünde bulundurularak yapılacak sonraki çalışmalarda YSA modelinde eğitim ve test için kullanılan veri miktarı artırılarak modellerin başarımları artırılabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] A. Bulgan, “Pnömatik devrelerde optimum tasarım ve yapay sinir ağları ile titreşim analizi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2013.
- [2] A. Zaim ve H. Aras, “Pnömatik sistemlerde enerji verimliliği,” *Mühendis ve Makina*, c. 61, sayı 698, ss. 31-45, 2020.
- [3] A. Rinoshika ve M. Suzuki, “An experimental study of energy-saving pneumatic conveying system in a horizontal pipeline with dune model,” *Powder Technology*, c. 198, sayı 1, ss. 49-55, 2010.
- [4] P. R. Barbosa ve Jr. P. Selegim, “On the application of fuzzy logic control in pneumatic conveying systems,” *Journal of the Brazilian Neural Network Society*, c. 9, sayı 4, ss. 256-265, 2011.
- [5] R. Saidur, N. A. Rahim ve M. Hasanuzzaman, “A review on compressed-air energy use and energy savings,” *Renewable and sustainable energy reviews*, c. 14, sayı 4, ss. 1135-1153, 2010.
- [6] N. Frigerio, ve A. Matta, “Energy-efficient control strategies for machine tools with stochastic arrivals,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, c. 12, sayı 1, ss. 50-61, 2014.
- [7] H. B. Puckett, H., “Performance of a pneumatic feed-conveying system,” *Agricultural Engineering*, c. 41, sayı 12, ss. 808-812, 1960.
- [8] *Design criteria for pneumatic conveying systems*, New Delhi Indian Standard IS:8647, 1977.
- [9] H. Petersen, “Wahl des rohrdurchmessers für pneumatischen flugförderanlagen im druckbetrieb,” *Grundlagen Landtechnik*, c. 25, ss. 11-15, 1975.
- [10] T. Kano, “Reduction of power consumption in pneumatic conveying of granular materials through a pipeline,” *KONA Powder and Particle Journal*, c. 2, ss. 24-34, 1984.
- [11] M. Polat, “Pnömatik konveyör,” *Mühendis ve Makina*, c. 31, sayı 381, ss. 28–35, 1991.
- [12] M. Güner, “Bantlı götürücülerin bilgisayar destekli tasarımıyla karşılaştırılması,” Doktora tezi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1994.
- [13] G. Duman, “Bazı tarımsal ürünlerin pnömatik iletiminde basınç düşümünün saptanması,” Doktora tezi, Tarım Makineleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [14] M. Güner, “Bazı tarımsal ürünlerin pnömatik iletim karakteristiklerinin Belirlenmesi,” Türkiye, TOGTAG 3258, 2006.
- [15] G. R. Mullins ve D. E. Bruns, “Air bubbles and hemolysis of blood samples during transport by pneumatic tube systems,” *Clinica Chimica Acta*, c. 473, ss. 9-13, 2017.

- [16] O. Evliyaoğlu, G. Toprak, A. Tekin, M. K. Başarali, C. Kiliç, ve L. Çolpan, "Effect of pneumatic tube delivery system rate and distance on hemolysis of blood specimens," *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, c. 26, sayı 2, ss. 66-69, 2012.
- [17] R. M. Greendyk, J. C. Banzhaf, S. Pelysko ve B. Bauman, "Immunologic studies of blood samples transported by a pneumatic tube system," *American Journal of Clinical Pathology*, c. 68, sayı 4, ss. 508-510, 1977.
- [18] D. A. Pragay, P. Fan, S. Brinkley ve M. E. Chilcote, "A computer directed pneumatic tube system: its effects on specimens," *Clinical biochemistry*, c. 13, sayı 6, ss. 259-261, 1980.
- [19] G. Hardin, G. A. R. Y. Quick ve D. J. Ladd, "Emergency transport of as-1 red cell units by pneumatic tube system," *The Journal of trauma*, c. 30, sayı 3, ss. 346-348, 1990.
- [20] G. Ellis, "An episode of increased hemolysis due to a defective pneumatic air tube delivery system," *Clinical biochemistry*, c. 42, sayı 12, ss. 1265-1269, 2009.
- [21] P. C. Tanley, C. H. Wallas, M. C. Abram ve L. D. Richardson, "Use of a pneumatic tube system for delivery of blood bank products and specimens," *Transfusion*, c. 27, sayı 2, ss. 196-198, 1987.
- [22] C. M. Fernandes, A. Worster, K. Eva, S. Hill ve C. McCallum, "Pneumatic tube delivery system for blood samples reduces turnaround times without affecting sample quality," *Journal of Emergency Nursing*, c. 32, ss.139-143, 2006.
- [23] M. P. Phelan, E. Z. Reineks, F. M. Hustey, J. P. Berriochoa, S. R. Podolsky, S. Meldon ve G. W. Procop, "Does pneumatic tube system transport contribute to hemolysis in ed blood samples?" *Western Journal of Emergency Medicine*, c. 17, sayı 5, ss. 557, 2016.
- [24] G. Cakirca ve H. Erdal, "The effect of pneumatic tube systems on the hemolysis of biochemistry blood samples," *Journal of Emergency Nursing*, c. 43, sayı 3, ss. 255-258, 2017.
- [25] A. Kuzucu, B. Karaca, H. B. Benligirayoglu, T. O. Goksel, "Pnömatik silindirlerde basınç geri beslemesi ile hassas konum kontrolü," *Muhendis ve Makine*, sayı 46, ss.423-435, 2011.
- [26] A. Rinoshika ve M. Suzuki, "An experimental study of energy-saving pneumatic conveying system in a horizontal pipeline with dune model," *Powder Technology*, c. 198, sayı 1, ss. 49-55, 2010.
- [27] S. Hong-Ying, "The application of barcode technology in logistics and warehouse management," in *2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science IEEE*, Wuhan, Çin, 2009, ss. 732-735.
- [28] S. K. Lalam, M. Pragada ve S. Palempati, "Egis 1. 0: qr code screening mechanism to prevent airline luggage loss," *International Journal of Computer Applications*, c. 52, sayı 1, 2012.
- [29] W. Neil, S. Michalczyk ve M. Russo, "Construction of a low cost custom 2-d bar code reader for tube racks," *JALA: Journal of the Association for Laboratory Automation*, c. 7, sayı 6, ss. 96-102, 2002.
- [30] A. Elçi, "İş ekipmanlarında güvenlik takibi için bir sistem önerisi: karekod barkod

uygulama,” Yüksek lisans tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.

- [31] A. Avidan, C. Weissman ve P. D. Levin, “Integration of qr codes into an anesthesia information management system for resident case log management,” *International journal of medical informatics*, c. 84, sayı 4, ss. 271-276, 2015.
- [32] L. Shi ve N. Sepehri, “Adaptive fuzzy-neural-based multiple models for fault diagnosis of a pneumatic actuator,” in *Proceedings of the 2004 American Control Conference IEEE*, Boston, USA, 2004, ss. 3753-3758.
- [33] M. A. Azman, M. O. Elnimair, O. F. Hikmat, K. Osman ve C. C. Kai, “P-adaptive neuro-fuzzy and PD-fuzzy controller design for position control of a modified single acting pneumatic cylinder,” in *2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Wollongong, Australia, 2013, ss. 176-181.
- [34] R. Marumo ve O. M. Tokhi, “Intelligent modeling and control of a pneumatic motor,” in *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004*, (IEEE Cat. No. 04CH37513), Niagara Falls, Canada, 2004, c. 2, ss. 1163-1166.
- [35] G. Yang, J. M. Du, X. Y. Fu ve B. R. Li, “Asymmetric Fuzzy Control Of A Positive And Negative Pneumatic Pressure Servo System,” *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, c. 30, sayı 6, ss. 1438-1446, 2017.
- [36] A. V. Akkaya, S. H. Sevilgen, H.H. Erdem ve B. Çetin, “Simulink kullanarak bir pnömatik sistemin simülasyonu,” *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, c. 6, sayı 2, ss. 155-162, 2005.
- [37] S. Chillari, S. Guccione, G. Muscato, “An experimental comparison between several pneumatic position control methods,” *Proceedings of the 40 IEEE Conference on Decision and Control*, Orlando, USA, 2001, ss. 1168-1173.
- [38] B.M.Y. Nouri, F. Al-Bender, J. Swevers, P. Vanherck, H. Van Brussel, “Modelling a pneumatic servo positioning system with friction,” *Proceedings of American Control Conference (ACC2000)*, Chicago, USA, 2000, ss. 1064-1071.
- [39] S. X. Zhu ve E. Ursavas, “Design and analysis of a satellite network with direct delivery in the pharmaceutical industry,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, c. 116, ss. 190-207, 2018.
- [40] A. M. Campbell ve P. C. Jones, “Prepositioning supplies in preparation for disasters,” *European Journal of Operational Research*, c. 209, sayı 2, ss. 156-165, 2011.
- [41] G. Erbeyoğlu ve Ü. Bilge, “A robust disaster preparedness model for effective and fair disaster response,” *European Journal of Operational Research*, c. 280, sayı 2, ss. 479-494, 2020.
- [42] M. Turkowski ve M. Szudarek, “Pipeline system for transporting consumer goods, parcels and mail in capsules,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, c. 93, sayı 103057, 2019.
- [43] S. R. Pandian, F. Takemura, Y. Hayakawa ve S. Kawamura, “Control performance of an air motor-can air motors replace electric motors,” in *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, IEEE, Detroit, USA, 1999, ss. 518-524.

- [44] E. Richer ve Y. Hurmuzlu, "A high performance pneumatic force actuator system: part I—nonlinear mathematical model," *The Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, c.122, sayı 3, ss. 416-425, 2000.
- [45] W. Deppert ve K. Stoll, *Pnömatik Kumandalar*, İstanbul: Vogel, Türkiye, 1997.
- [46] Anonim, (2021,12, Ocak), *The pneumatics installation guide*, [Online]. Erişim: https://www.festo.com/net/r-uk_ua/SupportPortal/Downloads/644546/703070/Installation_Guide_2020-EN-135139-Online.pdf.
- [47] K. Üçüncü (2022,12 Nisan), *Hidrolik ve pnömatik sistemler*, [Online]. Erişim: <https://avesis.ktu.edu.tr/resume/downloadfile/kucuncu?key=ac5bff0e-1ff3-4f4b-a805-420301ff2dbc>.
- [48] Anonim, (2021,03 Şubat), Vidalı kompresör nedir ve nasıl çalışır, [Online]. Erişim: <https://www.tesisat.org/basincli-hava-tesisati-baglantilarinin-cizimi.html>.
- [49] H. S. Ergür ve Y. Pancar, "Pnömatik taşımada sistem bileşenlerinin önemi," 7. *Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2014, ss 77-92.
- [50] N. B. Stephen, N. K. Gaddi ve M. N. Julius, "Modeling flow regime transition in intermittent water supply networks using the interface tracking method," *International Journal of Physical Sciences*, c. 7, sayı 2, ss. 327-337, 2012.
- [51] H. Fleischer, *Manual of pneumatic systems optimization*, 1. Baskı, New York, USA: McGraw-Hill Companies, 1995, böl. 1-10, ss. 1-353.
- [52] Anonim, (2022,03 Şubat), *Pnematik Sistemler*, [Online]. Erişim: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Pn%C3%B6matik%20Sistemler.pdf.
- [53] S. Maasz, "Specimen transport systems-design issues in creating efficient pneumatic tube transport networks," *JALA: Journal of the Association for Laboratory Automation*, c. 5, sayı 1, ss. 68-71, 2000.
- [54] M. W. Isken ve S. J. Littig, "Simulation analysis of pneumatic tube systems," *Journal of medical systems*, c. 26, sayı 1, ss. 9-19, 2002.
- [55] Anonim, (2021, 3 Şubat), *Pneumatic tube systems intelligent solutions for hospitals*, [Online] Erişim: https://www.simeks.com.tr/en/wp-content/uploads/Intelligent_Solutions_for_Hospitals_Pneumatic_Tube_Systems.pdf.
- [56] C. A. Kluever, *Dynamic Systems: Modeling, Simulation, and Control*, 1. baskı, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2015, ss. 1-496.
- [57] R. B. Wells, *Applied Coding and Information Theory for Engineers*, 2. baskı, New Jersey, USA: Prentice Halls, 1999, s. 12-200.
- [58] R. S. Kaplan, "Materials management with a bar code reader," *Journal of Clinical Engineering*, c. 15, sayı 3, ss. 219-225, 1990.
- [59] JR. Grieco, P.L. Gozzo ve C. J. Long, "Behind Bars," *Bar Coding Principals and Applications*, s.13, 1989.
- [60] C. L. Sproates, "Cost-Benefit Analysis of Data Matrix Codes in a Project-based Business; a Business Case," Ph.D. dissertation, Twente University, Holland, 2014.
- [61] C. Law ve S. So, "Qr codes in education," *Journal of Educational Technology*

Development and Exchange, c. 3, sayı 1, ss. 85-100, 2010.

- [62] S. Ghiron, C. M. Medaglia ve A. Perrone, "Art-sonomy: social bookmarking of real artworks via mobile applications with visual tags," *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*, Berlin, Germany, 2009, ss. 375–384.
- [63] V. Yfantis, P. Kalagiakos, C. Kouloumperi, P. Karampelas, "Quick response codes in E-learning," *In Education and Learning Innovations*, Sousse, Tunisia, 2012, ss. 1-5.
- [64] S. Singh, "Qr code analysis," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, c. 6, sayı 5, ss. 89-92, 2016.
- [65] B. Şahan ve A. Savran, "Improving quick response code detection performance in fare collection tools and an embedded system implementation," *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Izmir, Turkey, 2018, ss. 1-4.
- [66] K. Finkenzeller, *RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*, 3. baskı, New York, USA: John Wiley & Sons, 2010, bölüm 1-14, ss. 1-480.
- [67] T. Karygiannis, (2021, 7 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-98.pdf>.
- [68] M. Karkkainen ve J. Holmstrom, "Wireless product identification: enabler for handling efficiency, customization and information sharing," *Supply Chain Management: An International Journal*, c. 7, sayı 4, ss. 242–252, 2002.
- [69] D. Schmidt, *RFID im mobile supply chain event management- Anwendungsszenarien, Verbreitung und Wirtschaftlichkeit*, 1. baskı, Wiesbaden, Germany: Gabler Verlag, 2006, ss. 1-188.
- [70] S. B. Miles, S. E. Sarma ve J. R. Williams, *RFID technology and applications*, 1. baskı, Cambridge, England: Cambridge University Press, 2008, ss. 1-50.
- [71] M.V. Lieshout, L. Grossi, G. Spinelli. (2021, 14 Mayıs). *RFID technologies: emerging issues, challenges and policy options*. [Online]. Erişim: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC36957>.
- [72] F. Özkan, "Bazı özel sayı dizilerinin graflar yardımıyla temsili," Doktora tezi, Matematik, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2012.
- [73] R. Diestel, "Graph theory," *Graduate Text in Mathematics*, 173. baskı, Berlin, Almanya: Springer, New York, USA, 2005, ss. 1-3.
- [74] J. Cheng ve A. Lisser, "Maximum probability shortest path problem," *Discrete Applied Mathematics*, c. 192, ss. 40-48, 2015.
- [75] Y. Sheng ve Y. Gao, "Shortest path problem of uncertain random network," *Computers & Industrial Engineering*, c. 99, ss. 97-105, 2016.
- [76] E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs," *Numerische Mathematik*, c. 1, sayı 1, ss. 269-271, 1959.
- [77] W. Blum ve R. B. Ferri, "Mathematical modelling: can it be taught and learnt?" *Journal of mathematical modelling and application*, c. 1, sayı 1, ss. 45-58, 2009.
- [78] B. Zeidan, "Mathematical modeling of environmental problems", Lisans tezi,

Departamento de Ci4ncia da Computa77o e Estatística, Instituto de Bioci4ncias, Universidade Estadual Paulista, Brezilya, 2022.

- [79] E. Yeşil, KOM 504 bulanık modelleme ve control, *Ders notları*, İstanbul, 2006.
- [80] M.J. V. D. Hof, X. Bombois, System Identification for Control, *Ders Notları*, Delft, 2004.
- [81] R. D’Andrea, Black box system identification: time domain, *Ders Notları*, Zürih, 2012.
- [82] N. Nirmalakahandan, *Modeling tools for environmental engineers and scientists*, 1. baskı, Florida, Amerika Birleşik Devletleri: CRC Press LLC, 2002 ss. 1-328.
- [83] M. Çakıcı, A. Oğuzhan ve T. Özdil, *İstatistik*, 1. Baskı, Bursa, Türkiye: Ekin Basım Yayın Dağıtım, 2015, ss. 1-164.
- [84] Kumbla, Kishan Kumar, and Mo Jamshidi, “Control of robotic manipulator using fuzzy logic,” *In Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference*, IEEE, Orlando, Amerika Birleşik Devletleri, 1994, ss. 518-523.
- [85] V. Topuz, *Bulanık genetik proses kontrolü*, 1. baskı, Chisinau, Moldova: Lap Lambert Academic Publishing, 2016, ss. 1-164.
- [86] T. J. Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*, 3. baskı, New Jersey, USA: John Wiley and Sons, 2010, ss.1-607.
- [87] A. E. Tiryaki ve R. Kazan, “Bulaşık makinesinin bulanık mantık ile modellenmesi,” *Mühendis ve Makine*, c. 48, sayı 565, ss. 3-8, 2007.
- [88] M. Özger, “Comparison of fuzzy inference systems for streamflow prediction,” *Hydrological Sciences Journal*, c. 54, sayı 2, ss. 261-273, 2009.
- [89] Ç. Elmas, *Bulanık mantık denetleyiciler*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2003, ss.1-230.
- [90] F. Karataş, İ. Koyuncu, T. Murat ve M. ALÇIN, “Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının fpga üzerinde gerçekleşmesi,” *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, c. 1, sayı 1, ss. 1-9, 2020.
- [91] J.-S.R. Jang, “Anfis: adaptive network based fuzzy inference system,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, c. 23, sayı 3, ss. 665-685, 1993.
- [92] S. Kar, S. Das, PK Ghosh, “Applications of neuro fuzzy systems: a brief review and future outline,” *Applied Soft Computing*, c. 15, ss. 243-259, 2014.
- [93] D. Karaboga ve E. Kaya, “Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey,” *Artificial Intelligence Review*, c. 52, sayı 4, ss. 2263-2293, 2019.
- [94] A. K. Jain, J. Mao, “Artificial neural networks: a tutorial,” *Computer*, c. 29, sayı 3, ss. 31-44, 1996.
- [95] J. W. Denton, “How good are neural networks for causal forecasting?” *The Journal of Business Forecasting*, c. 14, sayı 2, ss. 17-20, 1995.
- [96] S. A. Kalogirou, “Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review,” *Progress in Energy And Combustion Science*, c. 29, sayı 6, ss. 515-566, 2003.
- [97] Ş. Sağiroğlu, M. Erler ve E. Beşdok, *Mühendislikte yapay zekâ uygulamaları-I:*

- yapay sinir ağıları, 1. baskı, Kayseri, Türkiye: Ufuk Kitabevi, 2003, ss. 1-426.
- [98] M. T., Hagan, H. B. Demuth ve M. Beale, *Neural network design*, 2. baskı, Boston, USA: PWS, 1996, ss. 1-1012.
- [99] L. Tsoukalas ve R. Uhrig, *Fuzzy and neural approaches in engineering*, 1. baskı, New Jersey, USA: Wiley, 1997, ss. 1-600.
- [100] S. Mirjalili, *Evolutionary algorithms and neural networks*, 78. baskı, Berlin, Germany: Springer, 2019, ss. 43-55.
- [101] M. Kumar, D. Husain, N. Upreti ve D. Gupta, "Genetic algorithm: Review and application," *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, c. 2, sayı 2, ss. 451-454, 2010.
- [102] L. Lemarchand, A. Plantec, B. Pottier ve S. Zanati, "An object-oriented environment for specification and concurrent execution of genetic algorithms," *In Addendum To The Proceedings On Object-Oriented Programming Systems, languages, and applications (Addendum)*, Vancouver, Canada, 1992, ss. 163-165.
- [103] J. Xiao, "System identification for transit buses using a hybrid genetic algorithms," Ph.D. dissertation, Mechanical Engineering, The Pennsylvania State University, Pensilvanya, USA, 2002.
- [104] D. J. Chang, A. H. Desoky, M. Ouyang ve E. C. Rouchka, "Compute pairwise manhattan distance and pearson correlation coefficient of data points with gpu," *In 2009 10th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligences, Networking and Parallel/Distributed Computing IEEE*, Daegu, Korea, 2009, ss. 501-506.
- [105] T. D. V. Swinscow ve M. J. Campbell, *Statistics at square one*, 9. Baskı, London, England: BMJ Publishing Group, 1997, ss. 111-125.
- [106] D. Mills, *Pneumatic Conveying Design Guide*, 2. baskı, Amsterdam, Holland: Elsevier, 2003, ss.73-76.
- [107] M. W. Isken ve S. J. Littig, "Simulation analysis of pneumatic tube systems," *Journal Of Medical Systems*, c. 26, sayı 1, ss. 9-19, 2002.
- [108] J. K. Onley, J. Firstbrook, "The practical application of pneumatic transport techniques to the raising of mineral from deep shafts," *In Proceeding of Pneumotransport 4. BHRA Conference*, London, England, 1980 ss. 47-74.
- [109] A. Kılıçkan ve M. Güner, "Pneumatic conveying characteristics of cotton seeds," *Biosystems Engineering*, c. 95, sayı 4, ss. 537-546, 2006.
- [110] Ö. Demirkol ve A. Demirkol, "Dijkstra ve bellman-ford en kısa yol algoritmalarının karşılaştırılması," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 7, sayı 3, ss. 55-62, 2003.
- [111] C. Atay ve S. Seçgin, "Kablosuz algılayıcı ağlarda, yönlendirme algoritmalarının performans analizi," *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, Aydın, Türkiye, 2016, ss. 1-7.
- [112] G. Q. Zang, B. E Patuwo ve M. Y. Hu, "Forecasting with artificial neural network: the state of the art," *International journal of Forecasting*, c. 14, sayı 1, ss. 35-52, 1998.
- [113] T. M Mitchell, *Machine Learning*, 1. baskı, New York, USA: McGraw-Hill, 1997,

ss.1-432.

- [114] S. G Gouda, Z. Hussein, S. Luo ve Q. Yuan, “Model selection for accurate daily global solar radiation prediction in china,” *Journal of Cleaner Production*, c. 221, ss. 132-144, 2019.
- [115] A. G. Asuero, A. Sayago ve A. G. Gonzalez, “The correlation coefficient: an overview,” *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, c. 36, sayı 1, ss. 41-59, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Büşra TAKGİL

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2015
Lisans	Bilgisayar Müh.	Selçuk Üniversitesi	2012
Lise		İbrahim Hakkı Fen Lisesi	2006

YAYINLAR

- 1) Takgil, B., & Kara, R. (2022). A novel comparative model proposal for hospital pneumatic systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 09544089221110432.
- 2) Takgil, B. & Kara, R. (2022). Mathematical Model Proposal for the Control of Hospital Pneumatic Systems (değerlendirmede).
- 3) TAKGİL, B., & Resul, K. A. R. A. (2020). HASTANE PNÖMATİK SİSTEMLERİNİN BULANIK MANTIKLA MODELLENMESİ. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 25-34.
- 4) ÖZGÜR BÜŞRA, KARA RESUL (2017). Coded Labeling System for Pneumatic Transport Tubes. IV. International Multidisciplinary Congress of Eurasia, 321-321. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3975817)

- 5) ÖZGÜR BÜŞRA, KARA RESUL (2017). Graph-Based Evaluation of Biomedical Tube Transport System Lines. Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Konferansı (UBMK 2017) (Tam Metin Bildiri/Poster)(Yayın No:3976730)
- 6) ÖZGÜR BÜŞRA, KARA RESUL (2017). OPTIMUM TRANSPORT LINE FOR PNEUMATIC TRANSPORT SYSTEM. 3rd International Conference on Engineering and Natural Science, 357-357. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3975364)

