**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# KİMYASAL TANKERLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPALAR ÜZERİNDE BİR OPTİMİZASYON ARAŞTIRMASI

**Onur YÜKSEL**

**Aralık, 2017**
**İZMİR**

# KİMYASAL TANKERLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPALAR ÜZERİNDE BİR OPTİMİZASYON ARAŞTIRMASI

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Yüksek Lisans Tezi**
**Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı,**
**Deniz Ulaştırma Sistemleri Programı**

**Onur YÜKSEL**

**Aralık, 2017**
**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**ONUR YÜKSEL**, tarafından **YRD. DOÇ. DR. BURAK KÖSEOĞLU** yönetiminde hazırlanan "**KİMYASAL TANKERLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPALAR ÜZERİNDE BİR OPTİMİZASYON ARAŞTIRMASI**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Yrd. Doç. Dr. Burak KÖSEOĞLU

Yönetici

Yrd.Doç.Dr.Mustafa Nuran

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Mehmet Cevik

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tezimin başlangıcından beri her konuda bana yardımcı olan ve tavsiyelerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Burak KÖSEOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez sürecim ve yüksek lisans eğitimim boyunca fikirleri ve önerileri ile bana destek olan değerli çalışma arkadaşlarım Kubilay BAYRAMOĞLU'na, Yiğit GÜLMEZ'e ve Süleyman Aykut KORKMAZ'a; ayrıca uygulamam için veri bulmama yardımcı olan Gemlik Gübre Sanayi A.Ş firmasına ve değerli çalışanı Makine Müh. Eyüp ÖSÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Gerek eğitim hayatımda gerekse özel hayatımda desteklerini, ilgilerini ve sevgilerini esirgemeyerek bu günlere gelmemi sağlayan sevgili annem Fatma YÜKSEL ve babam Bilal YÜKSEL'e; ayrıca desteği ile her zaman yanımda olan çok değerli eşim Sevil YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Onur YÜKSEL

# KİMYASAL TANKERLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPALAR ÜZERİNDE BİR OPTİMİZASYON ARAŞTIRMASI

## ÖZ

Akışkan transfer sistemleri olan pompalar, sanayide ve günlük hayatta yaygın bir kullanıma sahiptirler. Özellikle kara tesislerinde ve gemilerde pompa sistemlerinin önemi yadsınamaz. Bu sistemlerin içerisinde santrifüj pompalar en yaygın olarak kullanılan sistemlerden birisidir. Özellikle gemilerde sıvı yük transferi yapmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Gemi tiplerinden biri olan kimyasal tankerlerde ise çeşitli yükler taşınmakta ve uygun tesislere bu yükler tahliye edilmektedirler. Farklı sıvıları sorunsuz ve verimli basabilecek santrifüj pompalar, kimyasal tankerler için de ayrı bir önem arz etmektedirler. Santrifüj pompaların bu yaygın kullanımından dolayı bu sistemler üzerine birçok optimizasyon çalışması da yapılmıştır. Bu tezde giriş bölümünün ardından ikinci bölümde gemi tiplerinden kısaca bahsedilerek ardından kimyasal tankerlere ve kimyasal tankerlerde pompa kullanımına değinilmiştir. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde pompalar ile ilgili kavramlara, pompa çeşitlerine ve santrifüj pompaların çalışma prensibine değinilmiştir. Beşinci bölümde veri madenciliği ve optimizasyon tanımları yapılmış, yapay sinir ağları tanıtılmıştır. Ayrıca santrifüj pompalarda optimizasyon üzerine yazın taraması yapılmış ve aynı bölümde gösterilmiştir. Altıncı bölüm olan uygulama bölümünde, bir adet tek kademeli yatay santrifüj pompa MATLAB/Simulink programı kullanılarak modellenmiş ve model dört farklı akışkan ile çalıştırılarak veri setleri elde edilmiştir. Her bir akışkan için pompanın performans grafikleri çıkarılmıştır. Ardından elde edilen veri setleri ile MATLAB'da oluşturulan yapay sinir ağları modeli kullanılarak verim tahminlemesi yapılmıştır. Dört farklı veri seti için elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir. Sonuçlar bölümünde ise uygulama bölümünde çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak optimizasyon tekniklerinin kullanımı ile başarılı tahminlemeler yapılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal tanker, optimizasyon, santrifüj pompa, yapay sinir ağları

# AN OPTIMIZATION RESEARCH ON CENTRIFUGAL PUMPS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF CHEMICAL TANKERS

## ABSTRACT

Pumps which is used for fluid transfer systems have widespread use in industry and daily life. The importance of pumping systems cannot be denied especially in shore facilities and ships. Among these systems, centrifugal pumps are one of the most widely used systems. They are mainly used to transfer liquids on board. In chemical tankers, various cargoes are carried and these cargos are discharged to appropriate facilities. Centrifugal pumps that can handle different fluids smoothly and efficiently are also important for chemical tankers. Due to this widespread use of centrifugal pumps, many optimization studies have been carried out on these systems. In this thesis, after the introduction section, in the second part, the ship types are mentioned briefly, after that chemical tankers and pumping systems in chemical tankers are explained. In the third and fourth sections, definitions related to pumps, types of pumps and working principle of centrifugal pumps are mentioned. In the fifth chapter, definitions of data mining and optimization are made and artificial neural networks are introduced. In the sixth section, which is the application section, one single-stage horizontal centrifugal pump was modelled using MATLAB / Simulink program and the model was run with four different fluids to obtain data sets. Performance graphs of the pump for each fluid have been drawn. Then the obtained data sets are inserted into artificial neural networks model created in MATLAB and the efficiency estimates are made. The results obtained for the four different data sets are illustrated in tables and graphs. In the results section, the charts that were published. In the application section obtained results are evaluated. It is seen that the results could be successfully predicted with usage of optimization techniques.

**Keywords:** Chemical tanker, optimization, centrifugal pump, artificial neural networks

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ..... ii
TEŞEKKÜR ..... iii
ÖZ ..... iv
ABSTRACT ..... v
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... ix
TABLOLAR LİSTESİ ..... xi

**BÖLÜM BİR – GİRİŞ ..... 1**

**BÖLÜM İKİ – GEMİ TİPLERİ ..... 3**

2.1 Kimyasal Tanker ..... 4
2.1.1 Tarihsel Gelişim ..... 4
2.1.2 Sınıflandırma ..... 6
2.2 Kimyasal Tankerlerde Pompa Kullanımı ..... 7

**BÖLÜM ÜÇ – POMPA SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE HESAPLAMALAR ..... 9**

3.1 Akışın özellikleri ile ilgili kavramlar ..... 9
3.2 Akışkanın özellikleri ile ilgili kavramlar ..... 10
3.3 Basınç Kavramları ..... 11
3.4 Debi ..... 12
3.5 Net Pozitif Emme Yükü ..... 13
3.6 Kavitasyon ..... 14
3.7 Güç ve Verim ..... 16
3.8 Benzeşim Yasaları ..... 17
3.9 Performans Eğrileri ..... 20

3.10 Sistem Kayıpları ve Sistem Eğrisi .....23
3.10.1 Toplam Dinamik Basma Yüksekliği .....23
3.10.2 Boru, Valf ve Bağlantı Elemanlar Kayıplarının Hesaplanması .....24
3.10.3 Sistem Eğrisi .....26
3.11 Seri ve Paralel Operasyon .....27
3.11.1 Paralel Operasyon .....27
3.11.2 Seri Operasyon .....28

**BÖLÜM DÖRT – POMPA TİPLERİ VE ELEMANLARI .....30**

4.1 Dinamik pompalar .....31
4.2 Santrifüj pompalar .....32
4.2.1 Radyal Akışlı (Santrifüj) Pompaların Tarihsel Gelişimi .....33
4.2.2. Santrifüj Pompa Sınıflandırılması .....34
4.2.3 Santrifüj Pompaların Çalışma Prensibi .....37
4.2.4 Santrifüj Pompaların Elemanları .....39

**BÖLÜM BEŞ – VERİ MADENCİLİĞİ VE OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ .....41**

5.1 Veri Madenciliği .....41
5.2 Optimizasyon Kavramı .....43
5.2.1 Optimizasyon Bileşenleri .....45
5.2.2 Klasik Optimizasyon Teknikleri .....45
5.2.3 Modern Optimizasyon Teknikleri .....46
5.3 Yapay Sinir Ağları .....47
5.4 Santrifüj Pompalarda Optimizasyon Tekniklerinin Kullanımı .....50

**BÖLÜM ALTI – KİMYASAL TANKERLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPALAR ÜZERİNDE BİR OPTİMİZASYON ARAŞTIRMASI .....57**

6.1 Araştırma Amacı ve Kapsamı .....57
6.2 Araştırma Metodolojisi.....58
6.3 Araştırma Modeli .....58
6.4 Yapay Sinir Ağları Modeli .....66
6.5 Bulgular .....68

**BÖLÜM YEDİ – SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....81**

**KAYNAKLAR .....85**

## ŞEKİLLER LİSTESİ

**Sayfa**

Şekil 2.1 Gemilerin sınıflandırılması .....3
Şekil 2.2 Kimyasal tankerlerin sınıflandırılması .....7
Şekil 3.1 H-Q eğrisi .....21
Şekil 3.2 P-Q eğrisi .....21
Şekil 3.3 NPSHr-Q eğrisi .....22
Şekil 3.4 %η-Q eğrisi .....22
Şekil 3.5 Santrifüj pompanın karakteristik eğrileri .....23
Şekil 3.6 Sistem- pompa eğrileri, BEP, çalışma noktası .....26
Şekil 3.7 Pompaların paralel operasyonu .....27
Şekil 3.8 İki veya üç pompanın paralel işletilmesi durumunda H-Q eğrileri .....28
Şekil 3.9 Pompaların seri operasyonu .....29
Şekil 3.10 İki veya üç pompanın seri işletilmesi durumunda H-Q eğrileri .....29
Şekil 4.1 Pompaların sınıflandırılması .....30
Şekil 4.2 Dinamik pompaların sınıflandırılması .....31
Şekil 4.3 Santrifüj pompaların sınıflandırılması .....34
Şekil 4.4 Dinamik pompaların çalışma prensibi ve elemanları-1 .....38
Şekil 4.5 Dinamik pompaların çalışma prensibi ve elemanları-2 .....38
Şekil 4.6 Difüzör çalışma prensibi .....39
Şekil 4.7 Santrifüj pompa hidrolik elemanları .....40
Şekil 4.8 Çark tipleri .....40
Şekil 5.1 Veri tabanlarında bilgi keşfi süreci .....42
Şekil 5.2 Veri madenciliği teknikleri .....43
Şekil 5.3 İleri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı .....48
Şekil 6.1 Santrifüj pompa Simulink modeli .....59
Şekil 6.2 Su için debi – basma yüksekliği grafiği .....60
Şekil 6.3 Su için debi – verim grafiği .....60
Şekil 6.4 Su için debi – net pozitif emme yükü grafiği .....61
Şekil 6.5 %25 amonyak için debi-basma yüksekliği grafiği .....61
Şekil 6.6 %25 amonyak için debi-verim grafiği .....62
Şekil 6.7 %25 amonyak için debi- net pozitif emme yükü grafiği .....62

Şekil 6.8 Saf amonyak için debi-basma yüksekliği grafiği.....63
Şekil 6.9 Saf amonyak için debi-verim grafiği .....63
Şekil 6.10 Saf amonyak için debi- net pozitif emme yükü grafiği.....63
Şekil 6.11 %55 nitrik asit için debi-basma yüksekliği grafiği .....64
Şekil 6.12 %55 nitrik asit için debi-verim grafiği.....64
Şekil 6.13 %55 nitrik asit için debi- net pozitif emme yükü grafiği .....65
Şekil 6.14 Güç-verim grafiği.....65
Şekil 6.15 Güç-tork grafiği .....66
Şekil 6.16 YSA eğitim, doğrulama ve test oranları .....67
Şekil 6.17 Çalışmadaki YSA mimarisi .....68
Şekil 6.18 Su basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi .....70
Şekil 6.19 Su basıldığı durumda ağın regresyon analizi.....70
Şekil 6.20 Su basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması .....71
Şekil 6.21 %25 amonyak basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi.73
Şekil 6.22 %25 amonyak basıldığı durumda ağın regresyon analizi .....73
Şekil 6.23 %25 amonyak basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması .....74
Şekil 6.24 Saf amonyak basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi...76
Şekil 6.25 Saf amonyak basıldığı durumda ağın regresyon analizi .....76
Şekil 6.26 Saf amonyak basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması .....77
Şekil 6.27 Nitrik asit basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi.....79
Şekil 6.28 %55 nitrik asit basıldığı durumda ağın regresyon analizi.....79
Şekil 6.29 Nitrik asit basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması .....80

## TABLOLAR LİSTESİ

**Sayfa**

Tablo 5.1 Klasik optimizasyon teknikleri .....46
Tablo 5.2 Optimizasyon tekniklerinin santrifüj pompalarda kullanımı .....50
Tablo 6.1 Özgül hız, emme özgül hızı, pompa tipi .....66
Tablo 6.2 Su basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri .....69
Tablo 6.3 %25 amonyak basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri .....72
Tablo 6.4 Saf amonyak basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri .....75
Tablo 6.5 %55 nitrik asit basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri.....78
Tablo 6.6 YSA R, R2 ve MSE sonuçları .....80

# BÖLÜM BİR
# GİRİŞ

Santrifüj pompalar gerek kara tesislerinde gerekse gemilerde yaygın olarak kullanımı olan ekipmanlardır. Özellikle deniz taşımacılığında, sıvı yük taşıyıcılarında hem makine dairesinde soğutma suyu basmak için hem de kargo operasyonları için kullanılmaktadırlar. Kimyasal yük taşıyan gemilerde ise farklı birçok tipteki yükü sorunsuz ve gereksinimleri karşılayacak şekilde yükleme/tahliye edebilecek pompalar kullanılmaktadır. Santrifüj pompaların kimyasal tankerlerdeki bu geniş kullanım alanından dolayı verimlilikleri ayrıca bir önem kazanmaktadır. Verimli ve sorunsuz bir pompa hem maliyet açısından hem de pompanın kullanıldığı operasyonların etkin bir şekilde sürdürülebilmesi açısından önem arz etmektedir.

Verimliliği arttırmak veya ön görmek adına bu zamana kadar birçok optimizasyon çalışması yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektir. Santrifüj pompaların gerek tasarım parametreleri gerekse işletim parametreleri kullanılarak çeşitli yapay zekâ algoritmaları ve veri madenciliği teknikleri aracılığıyla verim iyileştirme veya mevcut verilerle verim tahmini uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Yapay zekâ algoritmalarından biri olan yapay sinir ağları da bu amaçlar doğrultusunda yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Değişik uygulamalarda başarılı sonuçlar elde etmiş olan yapay sinir ağlarının önemli bir artısı da mevcut verilerden faydalanarak ağın eğitilmesi ve soncunda da tutarlı tahminlerde bulunma becerisinde bulunmasıdır. Başka bir değişle bir sistem ile ilgili veriler mevcutsa yapay sinir ağları vasıtasıyla o sistemin elimizdeki verilerle alakalı bir parametresi ön görülebilir.

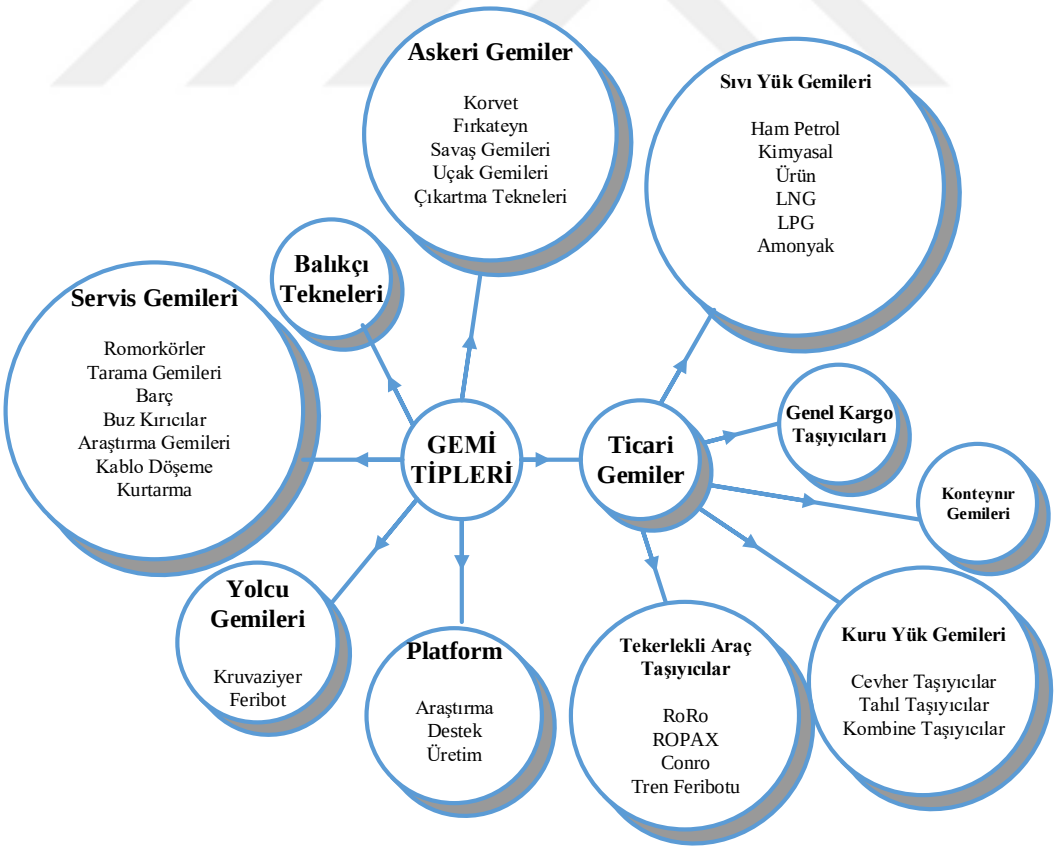
Bu çalışmada ilk olarak gemi tiplerine, kimyasal tankerlere ve kimyasal tankerlerde pompa kullanımına değinilmiştir. Daha sonra pompalar ile ilgili kavramlar ve formüller tanıtılmıştır. Sonraki bölümlerde pompa tipleri, santrifüj pompa çeşitleri ve çalışma prensibine değinilmiştir. Ayrıca veri madenciliği ve optimizasyon kavramları açıklanmış, yapay sinir ağlarının genel olarak tanıtımı yapılmıştır. Ayrıca santrifüj pompalarda uygulanan optimizasyon teknikleri ile ilgili yapılan çalışmaları inceleyen bir literatür taraması tablo şeklinde sunulmuştur. Uygulama bölümünde ise yatay tipte santrifüj bir pompa Gemlik Gübre Sanayi A.Ş fabrikasından alınan verilerle

MATLAB/Simulink programı kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan model farklı yoğunluktaki dört sıvıyla çalıştırılmış ve her durum için performans grafikleri çıkarılmıştır. Ayrıca modelden elde edilen veri setleri ile MATLAB programında yapay sinir ağları ile bir model oluşturulmuştur. Daha sonra ağ eğitilerek verim tahmini yapması sağlanmıştır. Performans grafikleri, yapay sinir ağlarının verim tahminleri ve hata oranları uygulama kısmında gösterilmiştir. Sonuçlar bölümünde de ise uygulama kısmında elde edilen çıktılar tartışılmıştır.

# BÖLÜM İKİ
# GEMİ TİPLERİ

Gemi, "tonajı ve adı ne olursa olsun denizlerde ve iç sularda su ürünleri araştırmasında, istihsalinde, naklinde, işlenmesinde kullanılan kayık, sandal, yelkenli, şat, sal, mavna gibi vasıtalarla buharlı veya motorlu bilumum yüzer araçlar" olarak tanımlanmıştır (TDK, 2017). Daha kısa tanımı ise "suda, özellikle de deniz kenarında gezinen büyük bir tekne" veya "İnsanları veya malları deniz yoluyla taşımak için büyük bir tekne" olarak geçmektedir (Oxford, 2017). ABD Deniz Kuvvetleri ise "tekne" kelimesini genellikle küçük gemileri tanımlarken "gemi" kelimesini ise derin deniz seyrüseferine yönelik önemli boyutta deniz taşıtları olarak tanımlamıştır (US DOT, 2008; Andersson, Brynolf ve Lindgren, 2016).

Gemi tipleri ve boyutları kullanım alanlarına göre oldukça çeşitlidir. Gemilerin sınıflandırılması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.




Şekil 2.1 Gemilerin sınıflandırılması (Köseoğlu, 2015; Mandal, 2016)

Genel kargo gemileri, genel olarak her tipteki ve boyuttaki yükü taşımak için tasarlanmış gemilerdir. Konteynır gemileri, imal edilmiş ürünlerin çoğunu aynı zamanda demiryolu ve kamyonla da taşınabilen standart konteynırlarda taşımaktadır. Kuru dökme yük gemileri, tahıl veya ham madde gibi büyük miktardaki paketlenmemiş yükleri taşımaktadırlar. Sıvı dökme yük gemileri ise kimyasal, ham petrol ve petrol ürünleri gibi sıvı yükleri taşımaktadırlar. Tekerlekli araç taşıyan gemiler genellikle çok uzun olmayan seferler gerçekleştirirler ve yolcu, araba ve ticari araçları taşırlar. Yolcu gemileri ise farklı boyutlara sahip olan ve insan taşıyan gemilerdir. Feribotlarda sadece taşıma amacı varken, kruvaziyer gemileri ise yüzen oteller olarak adlandırılmaktadır (Andersson ve diğer, 2016; Mandal, 2016).

Sıvı yük gemileri taşıdıkları yüklere göre sınıflara ayrılmaktadırlar. Bunlar ham petrol tankerleri, kimyasal tankerler, ürün tankerleri ve LNG/LPG tankerleri olarak sınıflandırılabilir. Önümüzdeki bölümde bu çalışmada yer alan sıvı yük gemisi tipi olan kimyasal tankerler incelenecektir.

## 2.1 Kimyasal Tankerler

Kimyasal tanker teknik olarak, değişik çeşitteki petrol temelli olan veya olmayan kimyasal yükleri taşıyabilen gelişmiş bir gemi çeşididir. Karmaşık ve pahalı bir gemi tipi olup, gelişmiş pompalama sistemlerine ve özel terminallere ihtiyaç duymaktadırlar (Wijnolst ve Wergeland, 2009; Stene, 2000).

### *2.1.1 Tarihsel Gelişim*

Kimyasal sanayi yirminci yüzyılda en hızlı gelişen alanlardan biridir ve hatta üretim sektöründen bütün olarak daha hızlı gelişmektedir. İkinci Dünya Savaşı yıllarında A.B.D Körfez bölgesinde özellikle Teksas bölgesindeki petrol yatakları ve Lousiana bölgesindeki sülfür madenleri yeni bir ham kimyasal stoku yaratmıştır. Başlangıçta üretim düşük olsa da zamanla Atlantik kıyılarındaki alıcıların ilgisini çeken bu stok taşınabilir tanklarla ve tren yolu tank araçları ile taşınmıştır. 1950'lerde ise talebin hızlı bir şekilde artması sonucu mevcut taşıma sistemleri yeterli gelmemeye başlamıştır. Bir süre kuru yük gemilerine ilave edilen taşınabilir tanklarla kimyasal ticareti

sürdürülmeye çalışılmıştır. Ancak mevcut gemilerin artan kimyasal çeşitlerine uygun olmaması ve yüklerin gittikçe daha tehlikeli hale gelmesi sonucu kimyasal madde taşımaya uygun yeni gemi tipleri inşaat edilmeye başlanmıştır (Wijnolst ve Wergeland, 2009; Murphy ve Tenold, 2008; Şakar ve Zorba, 2013).

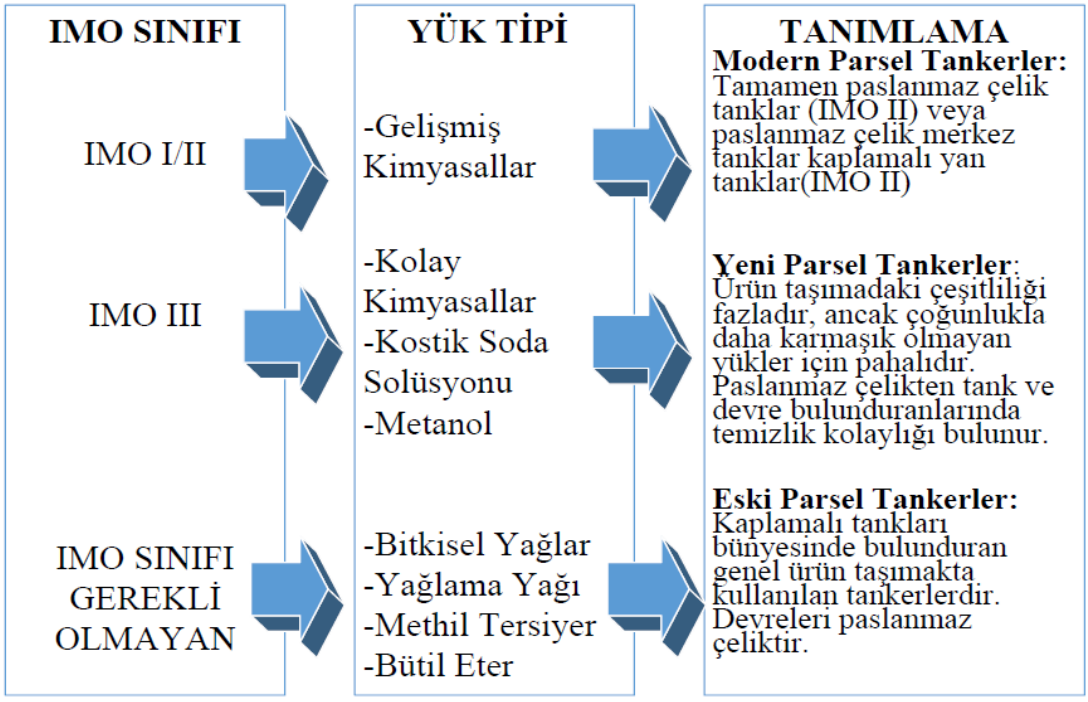
Kimyasalların deniz yolu ile taşımacılığı dört evreye ayrılabilir. Yukarıda bahsedilen dönem ilk büyüme periyodunun başlangıcıdır. İlk büyüme evresi 1959 yılı ile 1973 yılı arasında gerçekleşmiştir. Bu periyotta kimyasal sanayi hızla gelişmeye devam etmiş, kimyasal yük çeşitleri artmış ve bunlara bağlı olarak da kimyasal madde taşımacılığı da aynı hızda gelişmiştir. Bir sonraki evre 1973 ile 1982 yılları arasındadır. Bu zaman diliminde kimyasal taşımacılık marketi daha parçalı bir hale gelmiştir. Kimyasal tanker filosunda, önde gelen işletmeciler sayesinde büyük bir gelişme gözlemlenmiş ve filo da artan kimyasal yük tiplerini taşımak adına çeşitlilik artmıştır. Bu yıllarda, gelen yeni düzenlemelere ayak uydurmak, piyasanın boyutları daha büyük olan gemilere ihtiyacın karşılanması ve paslanmaz çelik tanklara sahip kimyasal tankerlere oluşan talebi karşılamak amacıyla filoda bir yenileme gereksinimi doğmuştur. 1980 yılında navlun fiyatlarının tavan yapmasıyla 30.000 ton kapasite üzeri ve paslanmaz çelik tanklı kimyasal tankerler hızla piyasada yerlerini almışlardır. Paslanmaz çelik maliyeti arttırsa da taşınabilecek yük çeşidinin ve navlun fiyatlarının artması bu maliyeti karşılamıştır. 1982 ve 1990 yılları arası üçüncü evre olarak belirtilir. Bu evre başında kimyasal taşımacılığında sürekli artış görülmüş ve büyük firmalar yerlerini sağlamlaştırmıştır. Periyodun devamında görülen navlun dalgalanmaları küçük firmaların etkilenmesine ve büyük firmalar tarafından satın alınmalarına yol açmıştır. Son evre 1991'den günümüze kadar uzanan zaman dilimidir. 1995 yıllarının ortalarında kimyasal tankerlere olan talepte belirgin bir azalma görülmüş olup, 1997 yılındaki Asya krizi ile bu azalmanın sonuçları açık şekilde görülmüştür. Bu yıllarda Tayvan, Singapur, Kore ve Hong- Kong gibi ülkelerin pazarda etkileri artarken BP-Amocco, Exxon-Mobil, Dow-UCC ve Oldfjell-Seachem gibi önemli şirket birleşmeleri yaşanmıştır. 2000'li yıllarda ise endüstri tarafından getirilen pek çok yaptırım ve kural sonucunda petrol ve kimyasal tanker piyasasına daha sıkı denetimler yapılmaya başlanmıştır. Bu yıllarda yaşanan krizin de sektör üzerine olumsuz etkileri olmuştur. Ancak 2007 yılında kimyasal madde olarak

tanımlanmamış birçok maddenin kimyasal kategoriye sokulmasıyla kimyasal tanker taşımacılarına geniş hacimde yeni yük imkânları sunmuştur (Şakar ve Zorba, 2013; Stene, 2000).

### *2.1.3 Sınıflandırma*

Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi (Safety of Life at Sea, SOLAS) 1974'ün bir uzantısı olan, Tehlikeli Kimyasalları Dökme Taşıyan Gemilerin Yapım ve Teçhizatına İlişkin Uluslararası Kod, (IBC Code, International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk) kimyasal tankerlerde dizayn ve işletme ile ilgili en önemli düzenlemeleri içermektedir. Bu kod kimyasal tankerleri IMO (International Maritime Organization, Uluslararası Denizcilik Örgütü) tip I, II ve III olmak üzere üç sınıfa ayırmaktadır. Bu sınıflandırmayı yaparken ayırıcı özellik, geminin bir hasar sonucu tanklarından yük sızıntısını minimum seviyede tutacak veya tamamen önleyecek biçimde batmadan kurtulma kabiliyetidir. Tip I gemiler en çok önleyici eylem gerektiren çok ciddi çevresel ve güvenlik tehlikelerine yol açan kimyasalları nakletmek üzere tasarlanmış gemilerdir. Tip II gemiler, tip I gemilerin taşıdığı yüke nazaran daha az tehlikeli ancak yine sızıntı durumunda önleyici eylemler gerektiren yükleri taşıyan kimyasal tankerlerdir. Tip III kimyasal tankerler ise bu kodun kapsamında en az tehlikeli yükleri taşıyan gemilerin sınıfıdır (IMO, 2017).

Kimyasal tankerlerin ticari açından kesin olarak sınıflandırılması ise özelliklerin farklılıkları nedeni ile zordur. Genel kimyasal tanker filosunda taşıdıkları yüklere göre modern, eski ve yeni parsel tankerler olarak gruplandırılabilir (CRS, 2004). Şekil 2.2'de kimyasal tankerlerin ticari olarak sınıflandırılması gösterilmektedir.




Şekil 2.2 Kimyasal tankerlerin sınıflandırılması (CRS, 2004; Şakar ve Zorba, 2013)

## 2.2 Kimyasal Tankerlerde Pompa Kullanımı

Kimyasal tankerlerde sahil tesisine yük tahliye edilirken belirli bir basınç ve basma oranı istenmektedir. Bundan dolayı yükü tahliye eden pompalarının kapasiteleri ve verimleri önem arz etmektedir. Ayrıca, tank temizliği yapıldığında tankların boşaltılması için, balast operasyonlarında tanklara deniz suyu alınması veya deniz suyunun tanklardan boşaltılması için ve her türlü su, yakıt ve yağ transferi için pompa sistemleri kullanılmaktadır (Şakar ve Zorba, 2013).

Tüm gemilerde olduğu gibi kimyasal tankerlerde de en yaygın olarak kullanılan pompa tipi santrifüj pompalardır. Bunun nedeni çoğunlukla tatlı su ve tuzlu su pompa sistemlerinde en çok tercih edilen pompa tipi olmasıdır. Bir kimyasal tankerde ana makine ve dizel jeneratör deniz suyu ve tatlı su pompaları, balast, yangın, sintine pompaları, kazan besleme suyu pompası, hava kompresörü ve buzluk sistemi su pompaları, tatlı su üreticisi (evaoparatör) pompaları, havalandırma sistemindeki su pompaları gibi pek çok pompa santrifüj tiptedir. Tüm bu sistemlerde yapılan operasyonlarda santrifüj pompaların çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Bunların

yanı sıra bazı kimyasal tankerlerde yük tahliye işlemleri için de santrifüj pompa kullanılmaktadır. Tahliye operasyonlarında yükün sıcaklığı, yoğunluğu, viskozitesi, sahil devre çapı, uzunluğu, tank yüksekliği ve tanktaki yük seviyesi gibi etmenler önem arz etmektedir. Bu değişkenlere en uygun tipteki pompa tipinin ve kapasitesinin seçimi tahliye operasyonlarının performansını direkt olarak etkilemektedir (Demirel ve Er, 2007; Şakar ve Zorba, 2013).

# BÖLÜM ÜÇ
# POMPA SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

Akışkanlar mekaniği hem hareketsiz halde bulunan akışkanların hem de hareketli akışkanların hareketini inceleyen bir bilim dalıdır. Buradaki akışkan kelimesi sıvı ve gazları kapsamaktadır. Birçok mühendislik uygulamasında akışkanlar mekaniğinden faydalanılmaktadır. Pompalar, fanlar, türbinler, uçaklar, gemiler, borular ve bunlara eklenebilecek pek çok sistem bu uygulamalara örnektir. Statik sıvıların denge şartlarını inceleyen bilim dalına 'hidrostatik', hareketli sıvıların hız, ivme, etki karakterleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim dalına 'hidrodinamik' adı verilmektedir. Akışkanlar mekaniği bakış açısına göre, tüm maddeler akışkan ve katı olarak iki halde bulunurlar. Bu iki hal arasındaki teknik fark ise uygulanan kesilme veya teğetsel gerilmeye gösterdikleri reaksiyonlardır. Katı bir madde statik bir sapma ile kayma gerilmesine dayanabilirken, akışkan dayanamaz. Akışkana uygulanan herhangi bir boyuttaki kayma gerilmesi sıvının hareketi ile sonuçlanacaktır (White, 2009; Demirel ve Er, 2007; Güven,2014).

Bu bölümde akış, akışkan ve basınç ile ilgili kavramlar açıklanacak, net pozitif emme yükü, debi, kavitasyon, güç ve verim tanımları yapılacaktır. Ayrıca pompaların performans eğrileri ve sistem kayıplarının hesabı incelenecektir.

## 3.1 Akışın Özellikleri ile İlgili Kavramlar

Akış özelliklerini incelemede farklı bakış açıları ile analiz yöntemleri mevcuttur. Bunlardan en kabul görmüş olanı Eulerian yönteminde akışkanın basınç değişimi p(t) hesaplanmaz. Onun yerine bir parçacığın bir alandan geçerken tecrübe edindiği basınç alanı p(x, y, z, t) hesaplanır. Bir akışın özellikleri arasında en başta hız alanı gelmektedir. Bir akışın hızının belirlenmesi o akış probleminin çözümündeki en önemli aşamadır çünkü diğer özellikler doğrudan hız alanı ile ilişki halindedir. Genel olarak hız, konum ve zamanın vektör fonksiyonudur ve bundan dolayı u, v, w olarak üç adet skalar alan bileşenleri bulunur. İvme vektörü, a= dN/dt, Newton'un akışkanlar kanundan çıkmıştır ve önem arz etmektedir. Eulerian yöntemine göre, ivme için nihai sonuç doğrusal olmayan bir denklemdir ve oldukça karmaşık bir hesaptır. Hız

bileşenleri (u, v, w) formül 3.1'deki elemanlardır. Denklem 3.2'de son üç terim doğrusal olmayan ürünlerdir ve genel akışkan hareketlerinin, özellikle viskoz akışların analizini büyük ölçüde karmaşıklaştırmaktadır (White, 2009). Hız alanı ve ivme denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

$$V_{(x,y,z,t)}=iu(x, y, z,t)+jv(x, y, z, t)+kw(x, y, z, t) \quad (3.1)$$

$$a=dV/dt=\partial V/\partial t+u\ \partial V/\partial x+v\ \partial V/\partial y+w\ \partial V/\partial z \quad (3.2)$$

### 3.2 Akışkanın Özellikleri ile İlgili Kavramlar

Akışkanlar bilindiği üzere, gazlar ve sıvılar olarak ikiye ayrılır ve aralarında teknik farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklar kohezif kuvvetlerin etkileri olarak tanımlanabilir. Bir sıvı gaza göre daha güçlü kohezif kuvvete, daha yakın molekül düzenine sahiptir ve hacmi koruma eğilimindedir. Bundan dolayı bulundukları kabın şeklini alırlar ve sıkıştırılma işleminde hacimleri gazlara nazaran daha az değişir (sıkıştırılamaz olarak kabul edilirler). Bir gazın ise belirli bir hacmi yoktur ve kendi haline bırakıldığı zaman hidrostatik bir atmosfer oluşturur. Böylece sıvılara göre daha sıkıştırılabilir maddelerdir. Gazlar serbest bir yüzey oluşturamaz bu nedenle gaz akışı yerçekimi etkisi ile ilgilidir (White, 2009). Aşağıda akışkanın özellikleri ile ilgili kavramlar ve açıklamaları maddeler halinde sıralanmıştır (Volk, 2013; Spurk ve Aksel, 2008; Schobeiri, 2010; White, 2009; Demirel ve Er, 2007).

- Yoğunluk, birim hacim başına düşen kütle olarak tanımlanabilir ve 'ρ' simgesi ile gösterilir.
- Özgül Ağırlık, bir akışkanın birim hacmi başına düşen ağırlığı olarak tanımlanır 'γ' simgesi ile gösterilir ve yoğunluğun yer çekimi ivmesi ile çapımı sonucunda elde edilir.
- Bağıl yoğunluk, bir akışkanın yoğunluğunun standart referans kabul edilen başka bir akışkanın yoğunluğuna oranıdır. Bağıl yoğunluk boyutsuz bir değerdir. Standart referans sıvı ise su kabul edilir. Gazlar için ise referans hava kabul edilmektedir. Formül 3.3'te bağıl yoğunluk denklemi gösterilmiştir.

$$\text{Bağıl Yoğunluk}=\rho_B=\frac{\rho_{akışkan}}{\rho_{referans}} \quad (3.3)$$

- Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği direncin sayısal olarak ölçümüdür. Başka bir deyişle viskozite, belirli ve uygulanan kayma gerilmesi karşısında akışkanın dayanım oranını belirler. Sıvıların kendi aralarındaki iç sürtünmesi dinamik veya mutlak viskozite (μ) olarak tanımlanır. Mutlak viskozitenin akışkanın yoğunluğuna bölünmesi sonucunda kinematik viskozite değeri elde edilir ve bu değer υ ile gösterilir. Viskozite değeri sıcaklıkla azalmaktadır yani sıvının sıcaklığı arttıkça daha akışkan bir hale gelmektedir.
- Reynolds sayısı, tüm Newtonian akışkanların viskoz davranışını ilişkilendiren birincil parametredir ve boyutsuz sayıdır. Formülü denklem 3.4'te gösterilmiştir.

$$Re=\frac{\rho VL}{\mu} \quad (3.4)$$

### 3.3 Basınç Kavramları

Basınç, kuvvetin alana bölümü ile elde edilir. Eğer bir sıvının yüzeyine basınç uygulanırsa, bu basınç düzgün bir şekilde tüm yönlere doğru dağılacaktır. Bu dağılan basınç sıvının tutulduğu kabın duvarlarına ve dip kısmına da iletilecektir. Bu durum 'Pascal Kanunu' olarak adlandırılmıştır. Basıncın birimi SI birim sisteminde 'Pascal' olarak geçer ve bir pascal bir $N/m^2$' ye eşittir (Bachus ve Custodio, 2003).

- Atmosfer basıncı, atmosferin ağırlığının bir alan birimi üzerinde uyguladığı kuvvet olarak tanımlanır.
- Mutlak basınç, basınç göstergesinde ölçülen değer ile atmosfer basıncının toplamına eşittir. Efektif basınç ise basınç ölçerde gösterilen değerdir ve pratikte bu değer kullanılır.

- Vakum terimi atmosferik basınçtan daha az olan basınçları ifade etmek için kullanılır. Basınç göstergelerinde negatif basınç olarak gösterilir.
- Pompanın basma yüksekliği sıvıya pompa tarafından uygulanan net iş olarak tanımlanabilir ve pompalarda değişen sıvı yoğunluğundan dolayı bu değer kullanılır. Basma yüksekliği terimi sabit bir terimdir ve basılan sıvı değiştiği zaman da sabit kalır. Bunun nedeni de basınçtaki değişimdir. Yani yoğunluk değiştiği zaman basınç ona oranla değişir ve basma yüksekliği sabit kalır. Basma yüksekliği (H), statik, basınç, sürtünme ve hız basma yüksekliği olarak dört farklı parçaya sahiptir. Bu parçaların birleşimi bize pompanın toplam basma yüksekliğini vermektedir. Bu kavramlar bir sonraki bölümde daha detaylı bir şekilde işlenecektir. Basma yüksekliği, sıvı basıncının (P) yoğunluğuna (ρ) oranı ile bulunur.
- Emme basıncı pompanın emme kısmında ölçülen basınçtır. Pompa operasyonu, emme basıncı üzerine kurulmaktadır ve pompa emme basıncını basma basıncına dönüştürür. Emme basıncı yeterli değilse bu durum kavitasyona neden olur. Basma basıncı ise pompanın sıvının basma tarafına iletildiği basınçtır. (Gülich, 2014; Bachus ve Custodio, 2003; Volk, 2013).

### 3.4 Debi

Akışkanlar mekaniğinde debi kavramı iki farklı şekilde ifade edilir. Bunlardan ilki hacimsel debidir ve Q sembolü ile gösterilir. Sürtünmesiz kabul edilen bir borunun S alanından birim zamanda geçen sıvının hacmine hacimsel debi denir. Birimi $m^3/h$ veya $m^3/s$'dir Denklem 3.5'te hacimsel debinin formülü gösterilmiştir. Q ($m^3/s$) debiyi, v(m/s) akışkanın hızını, A($m^2$) borunun alanını, D(m) boru çapını sembolize etmektedir. Diğer debi kavramı ise kütlesel debidir ve bir sürtünmesiz kabul edilen bir borunun S alanından birim zamanda geçen sıvının kütlesine denmektedir (White, 2009).

$$Q=vA=\frac{\pi D2}{4} \tag{3.5}$$

### 3.5 Net Pozitif Emme Yükü

Net pozitif emme yükü (NPEY veya NPSH) pompanın sıvı transferini gerçekleştirebilmesi için minimum gerekliliktir. Bundan dolayı NPSH kavramını, emme tarafındaki değişkenler, çark gözü, akışkanın hızı ve sıcaklığı gibi faktörler etkilemektedir. NPSH kavramı, pompaların emme tarafının, basma tarafından geniş olmasının sebeplerinden biridir. Eğer pompadan daha hızlı sıvı tahliye edilirse, pompa sıvı emişini daha rahat bir şekilde yapabilir. Buharlaşmaya neden olmadan pompanın emme ağzından çarkın gözüne sürtünme kayıplarının üstesinden gelmek için gereken sıvıdaki enerjiye gerekli net pozitif emme yükü adı verilir. NPSHr sembolü ile gösterilir. Pompaların karakteristik özelliğidir ve tasarımına, boyutlarına, işletme koşullarına göre farklılık gösterir. NPSHr ileriki bölümlerde gösterilecek pompa eğrilerinden okunarak bulunabilir. Ayrıca aşağıdaki denklem 3.6 ile de hesaplanabilir. ATM atmosferik basınç, Pgs emme gösterge basıncı, Hv hız basma yüksekliği $v^2/2g$'ye eşit, v akışkanın hızıdır. Hvp sıvı buhar basıncının basma yüksekliği cinsinden ifade edilmiş halidir ve akışkan sıcaklığına bağlıdır (Bachus ve Custodio, 2003; Volk, 2013).

$$NPSHr = ATM + Pgs + Hv - Hvp \tag{3.6}$$

Bir başka emme yükü kavramı ise kullanılabilir net pozitif emme yüküdür ve NPSHa kısaltması ile gösterilir. NPSHa, pompanın emme bağlantısındaki sıvı enerjisinin, sıvının buhar basıncının üzerine veya üstünde olduğu yüktür. NPSHa, genelde NPSHr'nin en az %10 üzerinde olmalıdır. Ancak, verimli işletme için uzmanlar %50 yukarısında değerleri önermektedirler. NPSHa formülü denklem 3.6'da gösterilmiştir. Formüldeki Ha, atmosferik basma yüksekliği, Hs statik basma yüksekliği, Hf sürtünme basma yüksekliği, Hi giriş basma yüksekliği veya başka bir değiş ile ifade edilirse, çark gözü kısmını da içine alan giriş kısmı tarafındaki kayıplardır. Atmosferik basma yüksekliğini tanımlamak için emme yapılan kaynağın atmosfere açık mı yoksa kapalı mı olduğu belirlenmelidir. Atmosfere açık ise atmosferik basınç emilen sıvıya enerji katkısında bulunur. Eğer emilen sıvı kapalı, basınçsız bir kapta ise Ha değeri Hvp değerine eşit olmaktadır. Ancak kap basınçlı ise bu basınç değeri de sıvıya enerji katkısında bulunmaktadır. Hs, statik basma

yüksekliği, emme kaynağının, pompa merkezine göre bulunduğu yükseklikliktir. Hvp, buhar basma yüksekliği, sıvı sıcaklığına göre hesaplanır. Bu değer basılan sıvının termodinamik özellik tablolarına bakılarak elde edilebilir. Hf, sürtünme basma yüksekliği, boruların ve bağlantı elemanlarının sürtünme tablolarına bakılarak elde edilebilir. Ayrıca, ileriki bölümlerde bahsedilecek olan "Hazen Willams" veya "Darcy Weisbach" formülleri ile de hesaplanabilir. Hi, giriş basma yüksekliği ise 0,6096m'lik (2 feet) bir güvence faktörüdür (Volk, 2013; Gülich, 2014; Bachus ve Custodio, 2003).

### 3.6 Kavitasyon

Kavitasyon kavramını açıklanabilmesi için öncelikle buhar basıncı kavramının açıklanması gerekmektedir. Buhar basıncı, bir sıvının kaynamaya başladığı ve kendi buharı ile denge halinde bulunduğu basınçtır. Sıvı basıncı buhar basıncından büyükse, sıvı ile buhar arasındaki tek değişim, ara yüzde buharlaşma olur. Bununla birlikte, sıvı basıncı buhar basıncının altına düşerse, sıvıda buhar kabarcıkları görülmeye başlar. Pompanın çark gözünde, hız artışından dolayı basınç düşüşleri olmaktadır ve bundan dolayı akışkan daha düşük basınçlarda kaynayabilir. Sıvının basıncı, buhar basıncının altına düşerse kavitasyon denilen olay meydana gelebilir. Kavitasyon, yukarıda bahsedilen basınç düşümünden dolayı, pompadaki buhar kabarcıklarının oluşması ve bundan sonra çökmesi veya patlamasıdır. Kavitasyonu, pompa üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bunlardan ilki ve en belirgin olanı, patlayan kabarcıkların çıkardığı belirgin sestir. Ayrıca kavitasyon, pompanın hidrolik performansını ve mekanik bütünlüğünü olumsuz yönde etkiler. Kavitasyonun hidrolik etkisinin bir sonucu olarak pompa verimi düşer ve bu durum performas eğrisinde ani bir düşüş olarak yansır. Bunun yanı sıra pompa üzerinde bırakacağı mekanik hasarlar aşırı titreşime neden olabilir ve çark üzerinde kalıcı hasarlar bırakabilir. Pompada kavitasyon olma durumu "Thoma Kavitasyon Katsayısı" ile saptanır. Gerekli net pozitif emme yükünün, basma yüksekliğine oranı ile bulunur. Bu katsayının temel olduğu grafiklerden pompanın kavitasyon bölgesinde çalışıp çalışmayacağı anlaşılır. (Volk, 2013; Bachus ve Custodio, 2003; White, 2009; Kitteredge, Copper, 1986).

Kavitasyonun pompa üzerindeki diğer etkileri şu şekilde daha detaylı sıralanabilir (Gülich, 2014; Bachus ve Custodio, 2003);

- Çark kanatlarında ve iç volüt duvarlarında pitting (karıncalanma) izleri görülür.
- Yatakların zamanlarından önce aşınması ve şaft hasarları görülür.
- Mekanik salmastranın erken aşınması sorunu ile karşılaşılabilir.
- Pompa elemanlarının genelinde arızalar oluşabilir.

Bu problemlerin oluşma nedenleri ise aşağıda sıralanmıştır.

- Emme tarafında basınç düşmesi,
- Basılan sıvıda sıcaklık artışı,
- Akışkanın hızında veya debisinde artış,
- Viskozite değişimine bağlı olarak akışta ayrışma veya azalma,
- Çeşitli engeller veya emme tarafındaki keskin dirsekler sonucu istenmeyen akış koşulları,
- Pompanın sisteme uygun olmamasıdır.

Yukarıda belirtilen sorunların çözümü için, odaklanması gereken iki ana çözüm vardır. Bunlardan ilki, akışkan üzerindeki dış basıncı arttırmak, ikincisi ise akışkanın buhar basıncını düşürmektir. Dış basıncı arttırmak için çözümler (Gülich, 2014; Bachus ve Custodio, 2003);

- Pompa emme tarafındaki basıncı arttırmak,
- Pompa girişindeki enerji kayıplarını azaltmak,
- Daha büyük bir pompa kullanmaktır.

Buhar basıncını düşürmek için çözümler ise:

- Sıvının sıcaklığını düşürmek,
- Daha düşük buhar basıncına sahip bir sıvı ile basılan sıvıyı değiştirmektir.

### 3.7 Güç ve Verim

Bir pompanın gücü, belirli bir zaman diliminde gerçekleştirdiği iş olarak tanımlanabilir. Elektrik motorları, dizel motorlar, hidrolik motorlar, buhar veya gaz

türbinleri, pompalara hareket sağlayan sistemler olarak kullanılabilirler. Birçok güç kavramı bulunmaktadır ve bunlardan ilki, "efektif güç" ($P_e$) olarak adlandırılır. Efektif güç pompanın şaftına motor tarafından aktarılan güçtür. Bu güçten aktarma elemanlarından kaynaklı kayıplar çıkarıldığı zaman "hidrolik güç" ($P_h$) ve hidrolik güç ile efektif gücün oranı ile" mekanik verim" ($\eta_m$) elde edilir. Akışkan pompa içinden geçerken sürtünme kaynaklı güç kayıpları olacaktır. Bu kayıpları hidrolik güçten çıkarılınca "gerçek hidrolik güç" ($P_s$) elde edilir ve bu gücün hidrolik güce oranına ise "hidrolik verim" ($\eta_h$) adı verilmektedir. Çark içinden geçen debi $Q_s$ ve pompa çıkışındaki debi $Q_d$ aynı değildir ve çıkıştaki debi ile çark içindeki debinin oranı ile "hacimsel verim" veya "volümetrik verim" ($\eta_v$) elde edilmektedir. Aynı zamanda sıvının çark çıkışında kazandığı güç ile pompa çıkışındaki gücünün ($P_d$) oranı ile de volümetrik verim elde edilebilir. Pompa çıkışındaki güç ile efektif güç oranı ise pompanın genel verimini ($\eta_g$) verir. Ayrıca hidrolik, mekanik ve hacimsel verimlerin çarpımı ile de elde edilir. Mekanik, hidrolik, volümetrik ve genel verimin formülü sırası ile aşağıda denklem 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir. Pompa şaft gücü, genellikle, pompa hesaplarında daha çok kullanılmaktadır ve kısaca" P" sembolü ile gösterilmektedir. Formülü denklem 3.11'de gösterilmiştir. P, pompa şaft gücü (kW), $\rho$ akışkanın yoğunluğu ($kg/m^3$), $\eta$ pompa verimi, Q debi ($m^3/s$), H, toplam diferansiyel yükseklikliktir (m). Pompa şaft gücünün verime oranının 9549 ile çarpımı SI birim sisteminde pompa torkunu verir (Kitteredge ve Copper, 1986; Demirel ve Er, 2007; Bachus ve Custodio, 2003; Gülich 2014).

$$\eta_m = \frac{P_h}{P_e} \tag{3.7}$$

$$\eta_h = \frac{P_s}{P_h} \tag{3.8}$$

$$\eta_h = \frac{Q_d}{Q_s} = \frac{P_d}{P_s} \tag{3.9}$$

$$\eta_g = \eta_h \eta_v \eta_m = \frac{P_d}{P_e} \tag{3.10}$$

$$P = \frac{\rho g H}{1000} \tag{3.11}$$

Pompa verimini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Fakat bunlardan en önemlisi pompanın çarkıdır. Çarkın hızı, çapı, kanat sayısı, kalınlığı, çark gözünün çapı ve kanat açıları pompa verimini direk olarak etkilerler. Özellikle, çark çapındaki düşüşler direkt olarak verim düşüşlerine neden olacaktır. Bundan dolayı çark triminin %20'den fazla düşürülmesi önerilmez. Verimliliği etkileyen diğer önemli faktörler ise aşağıda sıralanmıştır (Gülich 2014; Bachus, Custodio, 2003).

- İç yüzey kaplaması,
- Aşınma ringi toleransı,
- Mekanik kayıplar (yataklar, sızdırmazlık elemanları, aktarma elemanları vb.),
- Viskozite, sıvının viskozitesi arttıkça genellikle pompa verimi düşmektedir. Fakat bu konuda bazı istisnalar bulunabilir.
- Katı parçaların büyüklüğü,
- Pompa tipinin kullanıldığı işleme uygunluğu.

### 3.8 Benzeşim Yasaları

Pompa benzeşim yasaları, pompanın hızı veya çarkının çapı değiştiği zaman, pompa performansının nasıl etkileneceğini belirleyen yasalardır. Eğer hız ve çark çapı biliniyorsa, bu değerler değiştiği zaman yeni performansı tahmin etmek benzeşim yasaları sayesinde mümkündür. Benzeşim yasalarının temelinde özgül hız yatar ve bu değer sabittir. Pompa çarkının geometrik şeklinin tanımlanması için kullanılır ve boyutsuz bir kavramdır. Özgül hız kavramı, pompa performans eğrisinin şeklinin seçilmesinde, pompa veriminin belirlenmesinde, motorda aşırı yüklenme problemleri oluşumunun tahmininde, NPSH gerekliliklerinin tahmininde ve en düşük maliyetli pompanın seçiminde kullanılmaktadır. Formülü denklem 3.12'de gösterilmiştir (Mcallyinstitute, 2017; Demirel ve Er, 2007; Bachus ve Custodio, 2003).

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q_{opt}}}{H_{opt}^{3/4}} \tag{3.12}$$

$n_q$=Özgül hız

$Q_{opt}$=Optimum debi, $m^3/s$

$H_{opt}$=Optimum basma yüksekliği, m

Özgül hıza göre çarkın şekli ve boyutları ortaya çıkar. Özgül hız arttıkça çark iç çap ve dış çap oranı azalmaktadır. Eksenel akışlı pompalarda bu oran birdir. Özgül hızları daha düşük olan tam santrifüj pompalar ise, düşük debi, yüksek basma yüksekliği sağlayacak şekilde tasarlanır. Daha yüksek özgül hız değeri ile tasarlanan heliko santrifüj pompalar da ise basma yüksekliği çoğunlukla merkezkaç kuvvetleri ile oluşturulurken bir miktar eksenel kuvvet de yardımcı olmaktadır. Karışık akışlı pompalarda ise daha çok eksenel kuvvet daha az merkezkaç kuvveti ile basma yüksekliği oluşturulur. Özgül hız değeri oldukça fazla olan eksenel akışlı pompalarda ise eksenel kuvvetler ile basma yüksekliği sağlanmaktadır ve bundan dolayı yüksek debi düşük basma yüksekliği istenen yerler için tasarlanırlar (Volk, 2013; Demirel ve Er, 2007).

Benzeşim yasaları iki grupta incelenebilir. İlk grupta impeller dış çapı (D) sabit tutulup, devir sayısı (N) değişikliğine göre, basma yüksekliği (H) ve fren gücü (BHP) değişimleri incelenmiştir. İkinci grupta, devir sayısı (N) sabit tutulmuş ve impeller dış çapı (D) değişiminin, debi (Q), basma yüksekliği (H) ve fren gücü (BHP) değişimi incelenmiştir. İki grup için de denklem seti aşağıda sırasıyla gösterilmiştir (Volk, 2013; Bachus ve Custodio, 2003).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{3.13}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{3.14}$$

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{3.15}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \tag{3.16}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \tag{3.17}$$

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \tag{3.18}$$

Özgül hız kavramına ek olarak pompa performansının ve NPSHr'nin belirlenmesinde kullanılan emme özgül hızı kavramı geliştirilmiştir. Emme özgül hızının formülü denklem 3.19'da gösterilmiştir.

$$S_q = \frac{n\sqrt{Q_{opt}}}{NPSHr^{3/4}} \tag{3.19}$$

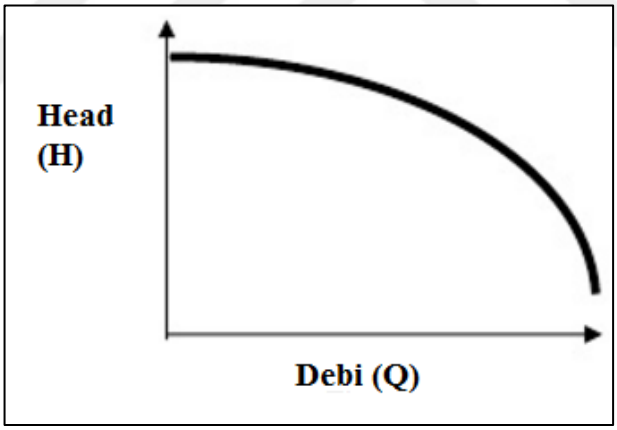
### 3.9 Performans Eğrileri

Performans eğrileri, pompanın belirli basınç veya basma yüksekliğinde, belirtilmiş hızda ve güçte ne kadar debide akışkan basacağını belirlemek için kullanılırlar. Pompa üreticileri, alıcılar tarafından belirlenmiş operasyon koşullarına (basma yüksekliği ve kapasite) uygun çark seçimi yaparlar. Yapılan hesaplara göre de performans eğrileri oluşturulur. Performans eğrileri dört farklı kavramın eğrisinin ortak bir grafikte gösterilmesi ile ortaya çıkar. Bu dört eğri (Bachus ve Custodio, 2003):

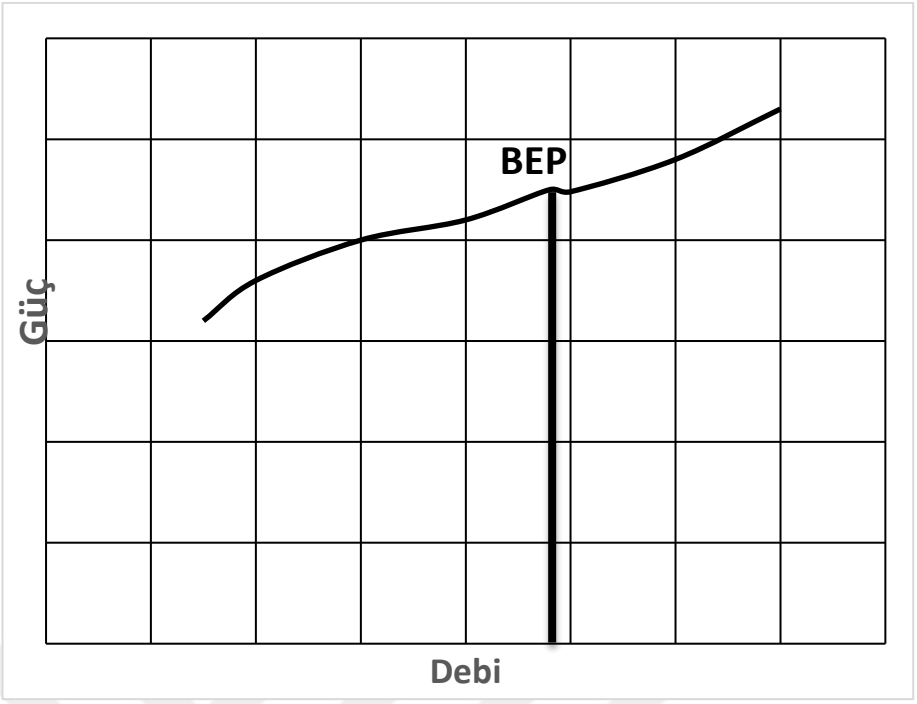
- Basma yüksekliği-debi eğrisi (H-Q),

- Verim eğrisi,
- Enerji eğrisi,
- Pompa minimum gereklilik (NPSHr) eğrisidir.

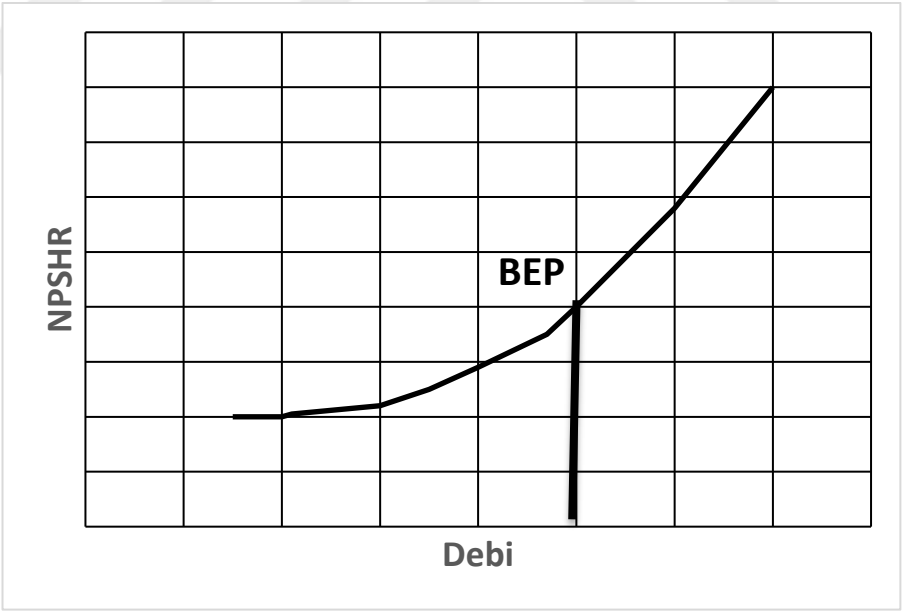
H-Q grafiğinin x ekseninde debi(Q), y ekseninde ise basma yüksekliği (H) bulunmaktadır. Eğri kesme basma yüksekliği noktasından başlar. Kesme, sıfır akışta maksimum yükseklik noktasıdır. Şekil 3.1'de H=f(Q) eğrisi gösterilmiştir. Bu fonksiyon özgül hızla bağımlı olarak değişiklik gösterir. Özgül hızdaki artışlar H-Q eğrisini daha dik hale getirirler. Güç-Debi, NPSHr-Debi ve Verim-Debi eğrileri de sırasıyla şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir. Gösterilen bu eğriler yaklaşık değerler ile çizdirildiği için eksenlere karşılık gelen değerler gösterilmemiştir. Grafiklerde işaretli olan BEP noktası pompa için optimum debide elde edilen en iyi güç, verim, basma yüksekliği veya NPSHr'yi ifade etmek için kullanılır. Açılımı ise en verimli noktadır. Şekil 3.5'te ise santrifüj bir pompanın karakteristik eğrileri toplu olarak gösterilmiştir (Gülich, 2014; Demirel ve Er, 2007).



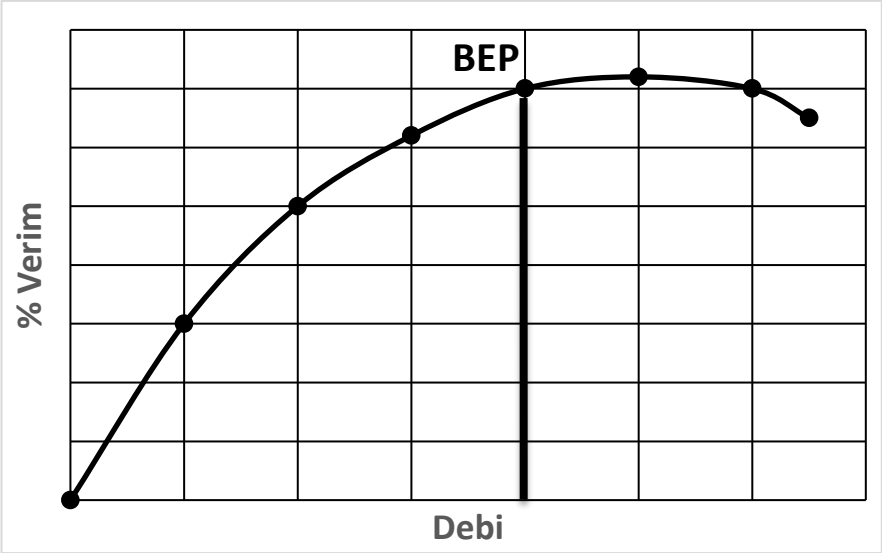

Şekil 3.1 H-Q eğrisi (Bachus ve Custodio, 2003)



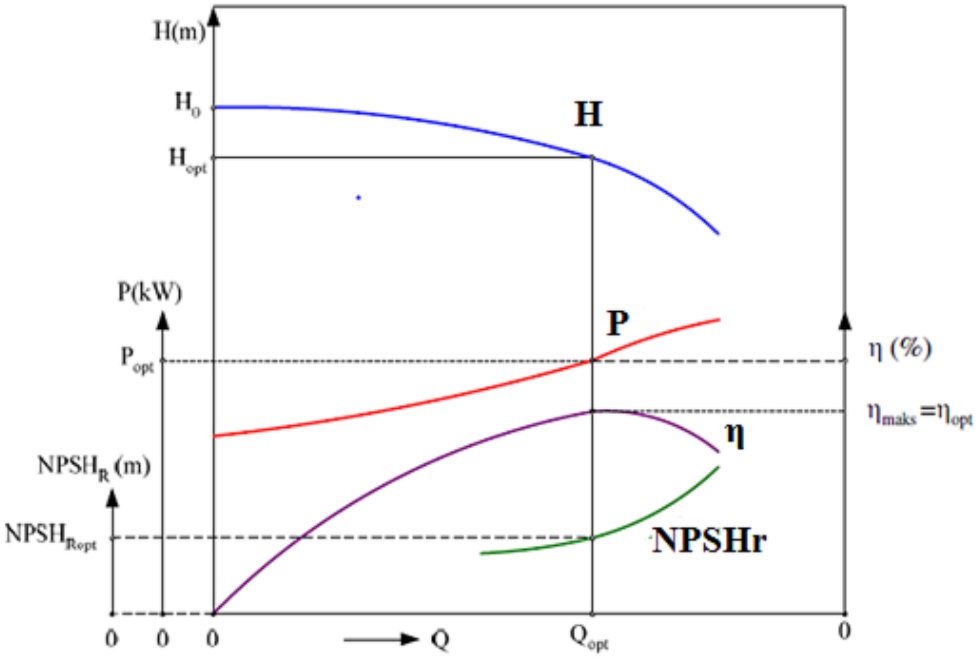

Şekil 3.2 P-Q eğrisi (Demirel ve Er, 2007)




Şekil 3.3 NPSHr-Q eğrisi (Demirel ve Er, 2007)




Şekil 3.4 %η-Q eğrisi (Demirel ve Er, 2007)




Şekil 3.5 Santrifüj pompanın karakteristik eğrileri (Demirel ve Er, 2007)

### 3.10 Sistem Kayıplarının Hesaplanması ve Sistem Eğrisi

Sistem kayıplarının hesaplanabilmesi için toplam dinamik yükseklik (TDH), boru kayıplarının ve valf-bağlantı elemanları kayıplarının hesaplanması gerekmektedir. Bu bölümde hesaplamalar anlatılacaktır.

### *3.10.1 Toplam Dinamik Basma Yüksekliği*

Toplam dinamik basma yüksekliği (TDH), pompa vasıtasıyla transfer edilen sıvının, pompa girişi ile çıkışı arasında ağırlık başına elde edilen enerji olarak tanımlanabilir. Birimi metredir ve hesaplanabilmesi için yukarıda bahsi geçen basma yüksekliklerinin hesaplanması gerekmektedir. Bunlardan ilki statik basma yüksekliği (Hs) ve akışkanın sistem boyunca yükseklik değişimi olarak tanımlanabilir. Basma tarafının yerden yüksekliği ($z_d$) ile emme tarafının yüksekliğinin ($z_s$) farkı alınarak hesaplanır. Hp basınç basma yüksekliği ise sistemdeki basınç değişimi olarak tanımlanır. Basma tarafındaki statik basınçtan($p_d$) emme tarafındaki statik basınç çıkarılıp($p_s$), akışkanın yoğunluğu ($\rho$) ve yer çekimi ivmesinin (g) çarpımına bölünerek hesaplanır. Hv hız basma yüksekliği ise akışkanın borulardan geçiş hızından dolayı enerji kaybı olarak tanımlanabilir. Hv formülü aşağıda gösterilmiştir. Hf sürtünme basma yüksekliğidir ve sistemdeki metre başına düşen sürtünme kayıplarıdır. Sürtünme katsayısı (f) ile Hv'nin çarpımı ile elde edilir. Borulardan kaynaklı kayıplar ($h_f$) çeşitli yöntemlerle de hesaplanır ardından valf, bağlantı elemanı, dirsek kayıpları ($h_m$) hesapları yapılır ve bu değerlerin toplamı ile de sürtünme kayıplarının hesaplanması mümkündür. TDH, Hs, Hp ve Hv formülleri sırasıyla denklem 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23' te gösterilmiştir (Gülich 2014; Demirel ve Er, 2007; Bachus ve Custodio, 2003).

$$TDH=Hs+Hp+Hf+Hv \tag{3.20}$$

$$Hs=z_d-z_s \tag{3.21}$$

$$Hp=\frac{p_d-p_s}{\rho g} \tag{3.22}$$

$$Hv=\frac{V^2}{2g} \tag{3.23}$$

### *3.10.2 Boru, Valf ve Bağlantı Elemanları Kayıplarının Hesaplanması*

Boru devresindeki bir akışı, akışkan yoğunluğu, viskozitesi, sıcaklığı, boru çapı, uzunluğu, iç pürüzlülüğü, malzemesi, emme, basma tanklarının pozisyonları, devredeki yükselme veya çap değişimleri, devredeki dirsek, valf, bağlantı elemanı sayısı ve debi miktarı gibi değişkenler etkiler. Bunlara bağlı olarak da borularda kayıpların hesabı yapılır (Demirel ve Er 2007). Bu bölümde boru kayıplarında kullanılabilecek üç adet hesaplama yöntemi gösterilecektir.

- **Darcy-Weisbach Yöntemi**; bu yöntemlerden ilkidir ve temeli benzeşim yasalarına dayanmaktadır. Hem sıvı hem de gazlara uygulanabilen bu yöntem, boru kayıplarının hesaplanmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Darcy-Weisbach formülü denklem 3.24'te gösterilmiştir. Denklemde $h_f$ boru içi sürtünme kaybıdır ve birimi metredir. Boru boyu (L) ve çapının (D) da birimi metredir. Borudaki akış hızı (v)'nin birimi m/s ve yerçekimi ivmesi (g) 9,81 $m/s^2$'dir. Sürtünme katsayısı (f) birimsizdir ve Moody diyagramından okunabilir Bunun için de Reynolds sayısı ve bağıl pürüzlülüğün hesaplanması gerekmektedir. Reynolds sayısı önceki kısımlarda gösterilmiştir. Bağıl pürüzlülük (ε) ise boru içi yüzey pürüzlülüğünün boru iç çapına oranıdır. Yüzey pürüzlülüğü malzeme tipine göre tablolardan seçilebilir. Sürtünme katsayısı Colebrook eşitliği ile de bulunabilir. Bu eşitlik de denklem 3.25'te gösterilmiştir (Bachus ve Custodio, 2003; Karassik, Messina,1986; Demirel ve Er, 2007).

$$h_f = \frac{fLV^2}{D2g} \tag{3.24}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]} \tag{3.25}$$

- **Hazen-Willams Yöntemi**; ise benzeşim yasalarından türemiş olup ampirik ve uygulaması kolay bir formül içerir. 4°C ile 24°C sıcaklıkları arasında, akışkan olarak su kullanılan sistemler için kullanılabilir. Darcy-Weisbach metoduna

kıyasla daha kolaydır fakat kesin sonuçlar vermez. Hazen-Willams formülü denklem 3.26'da gösterilmiştir. Denklemdeki "C" sürtünme katsayısı olup tablolardan seçilmektedir (Messina, 1986; Bachus ve Custodio, 2003; Wilson, Addie, Sellgren ve Clift, 2006).

$$h_f = L\left[\frac{v}{0{,}85C}\left(\frac{4}{D}\right)^{0{,}63}\right]^{1/0{,}54} \tag{3.26}$$

- Ampirik formül ile daha pratik hesaplama yapılabilir ancak hata payı yüksektir. Ampirik formül aşağıda denklem 3.27'de gösterilmiştir.

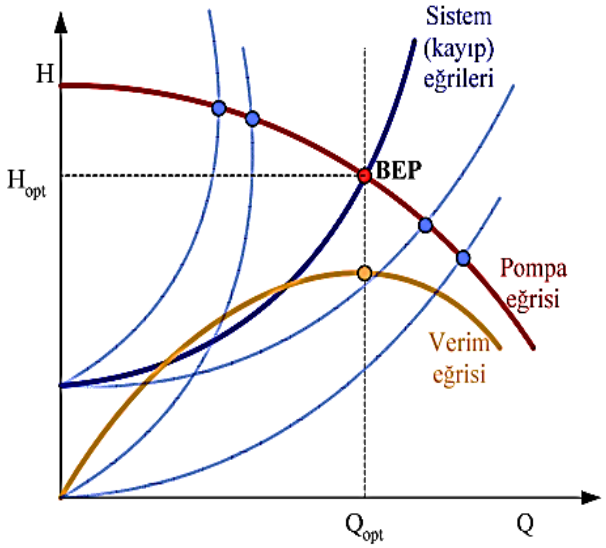
$$h_f = \frac{0{,}244Q^2}{D^4} \tag{3.27}$$

- Valf ve bağlantı elemanlarının kayıplarının hesaplanmasında denklem 3.28 kullanılır. Denklemdeki "K" kayıp katsayısı olup üretici firmalar tarafından açıklanır. Aynı denklemdeki $h_m$ ise valf veya bağlantı elemanlarından kaynaklı kayıplar olup birimi metredir. Formülün yanı sıra hesaplanmış değerlerden oluşan tablolar da bulunmaktadır (Wilson ve diğer, 2006, Demirel ve Er, 2007).

$$h_m = K\frac{v^2}{2g} \tag{3.28}$$

### *3.10.3 Sistem Eğrisi*

Kayıpların belirlenmesi ve toplam dinamik basma yüksekliği hesaplarının yapılmasıyla sistem eğrisi çizdirilir. Bu eğrinin pompa performans eğrisini kestiği noktaya çalışma noktası adı verilir ve bu noktanın en verimli noktadan geçmesi veya en verimli noktaya mümkün oldukça yakın olması istenir. Pompayı verimli çalıştırmak veya tasarımını yapmak için sistem eğrisinin çizilmesi önem arz etmektedir (Bachus ve Custodio, 2003). Şekil 3.6'da bir pompanın sistem eğrisi, performans eğrisi, en verimli nokta ve çalışma noktası gösterilmiştir.



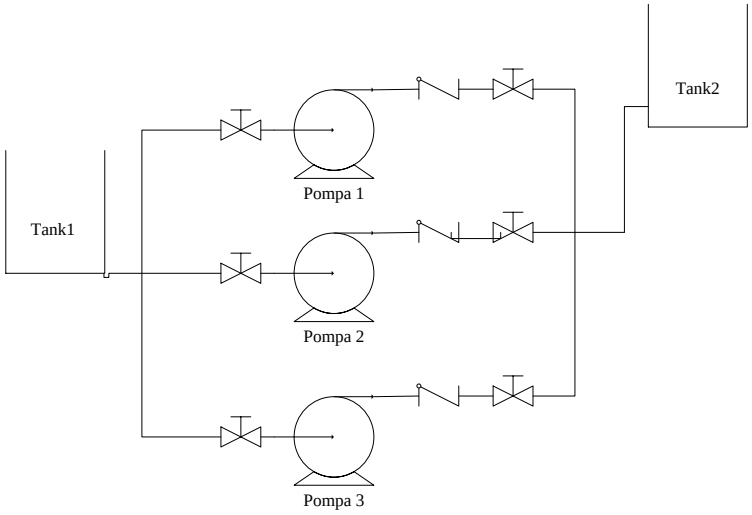

Şekil 3.6 Sistem- pompa eğrileri, BEP, çalışma noktası (Demirel ve Er, 2007)

## 3.11 Seri ve Paralel Operasyon

Daha geniş gereksinimleri karşılamak amacıyla iki veya daha fazla pompa seri veya paralel şekilde bağlanarak çalıştırılabilir. Bu gereksinimler genellikle operasyonu daha ekonomik hale getirecek yönde olmaktadır (Kittredge ve Cooper, 1986).

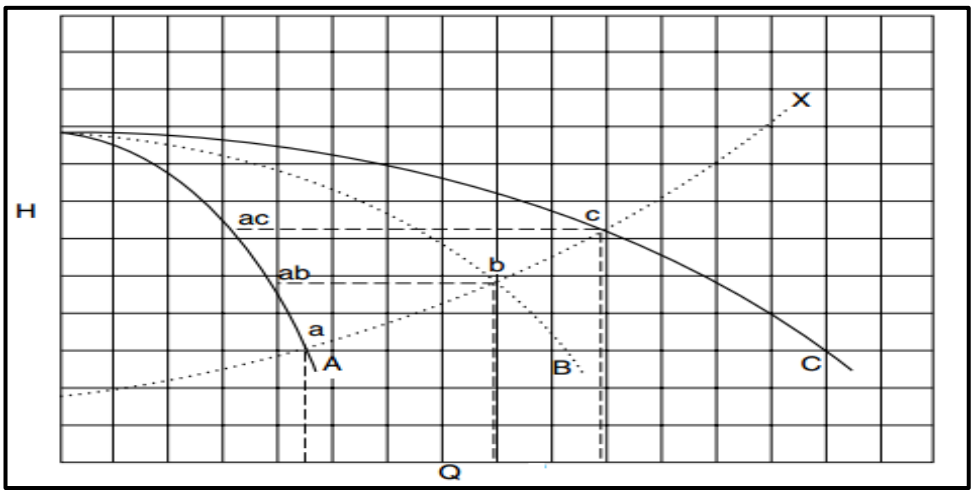
### *3.11.1 Paralel Operasyon*

Paralel operasyonda iki veya daha fazla pompa aynı anda işletilmektedir ve ihtiyaca göre pompalar devreye girip çıkmaktadırlar. Pompaların basma yüksekliği ve akış karakteristikleri aynı olmak zorunda değil ancak uyumsuz karakteristikteki pompaların paralel operasyonları verimsiz sonuçlar verebilmektedir. Bundan dolayı pompaların H-Q grafiklerinin incelenip verimli bir şekilde paralel bağlanabileceğinden emin olmak gerekmektedir. Paralel operasyondaki amaç geniş debi aralıklarında akışkan transfer edebilmektir. Kullanıldıkları yerlere örnek olarak atık su pompaları, HVAC sistemi pompaları, buharlı güç tesislerinin pompaları verilebilir (Kittredge ve Cooper, 1986; Bachus ve Custodio, 2003; Volk, 2013). Şekil 3.7’ de pompaların paralel operasyonu gösterilmiştir.




Şekil 3.7 Pompaların paralel operasyonu (Volk, 2013)

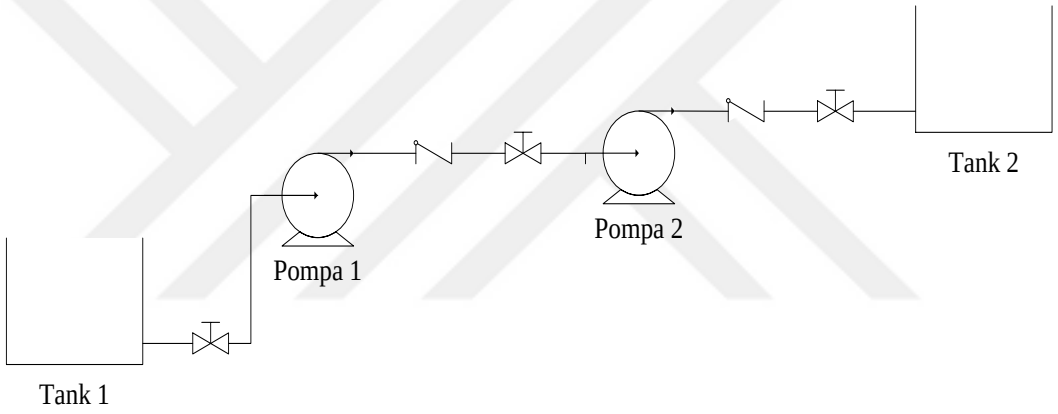
Şekil 3.8' de tek pompanın, iki ve üç eş pompanın paralel çalıştırıldığı durumdaki H-Q eğrileri gösterilmiştir. A eğrisi tek pompanın eğrisi olurken, B iki pompa paralel çalıştırıldığında ortaya çıkan kombine eğri, C eğrisi ise üç pompanın kombine eğrisidir. X sistem eğrisinin kestiği noktalar (a, b, c) ise sistem debileridir. Görüldüğü üzere, paralel çalışan pompalarda debi artış göstermektedir (Volk, 2013).




Şekil 3.8 İki veya üç pompanın paralel işletilmesi durumunda H-Q eğrileri (Volk, 2013)

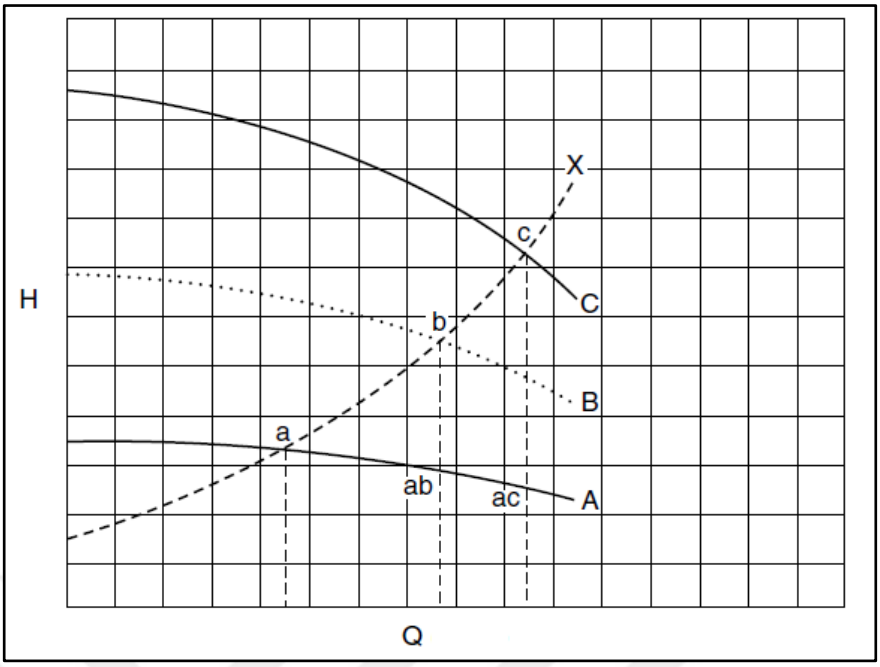
### *3.11.2 Seri Operasyon*

Pompaların seri olarak çalıştırılmasının temel amacı, tek pompanın sağladığından daha fazla basma yüksekliği elde etmektir. Buna ek olarak bazı sistemlerde boru maliyetlerini düşürmek amacıyla da seri olarak pompalar bağlanabilir. Çok uzun boru hatları hem maliyetlidir hem de sistemde çok fazla kayba yol açarlar. Ayrıca, sistem içinde sistem gereklerini karşılamakta zorlanan pompa varsa onun NPSHa'sını arttırmak adına da pompalar seri çalıştırılabilir. Seri operasyonda bir pompanın basma tarafı diğer pompanın emme tarafını besler. İki veya daha fazla pompa seri bağlandığı zaman debi tek pompalı sistemdeki debiden çok farklı olmaz (Volk, 2013; Kittredge ve Cooper, 1986). Şekil 3.9'da seri pompa operasyonu gösterilmiştir.




Şekil 3.9 Pompaların seri operasyonu (Volk, 2013)

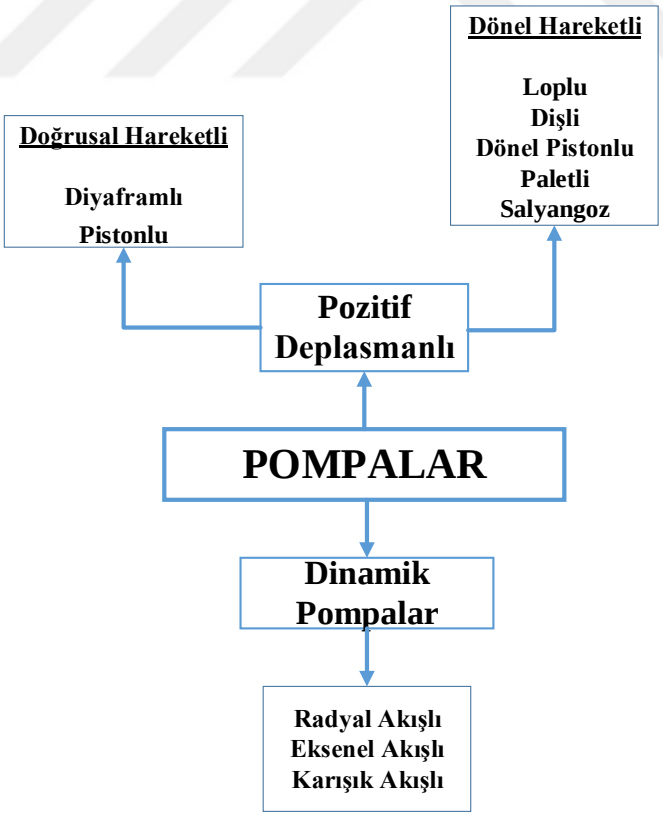
Şekil 3.10'da tek pompanın, iki ve üç eş pompanın seri çalıştırıldığı durumdaki H-Q eğrileri gösterilmiştir. A eğrisi tek pompanın eğrisi, B iki pompanın seri bağlanması ile elde edilen eğri, C ise üç pompanın seri bağlanmasıyla elde edilen performans eğrisidir. X sistem eğrisinin kestiği noktalar (a, b, c) çalışma noktalarıdır. Şekil 3.10'da görüleceği üzere seri operasyonda pompa sayısı arttıkça sistem basma yüksekliği artmaktadır (Volk, 2013).




Şekil 3.10 İki veya üç pompanın seri işletilmesi durumunda H-Q eğrileri (Volk, 2013)

# BÖLÜM DÖRT
# POMPA TİPLERİ VE ELEMANLARI

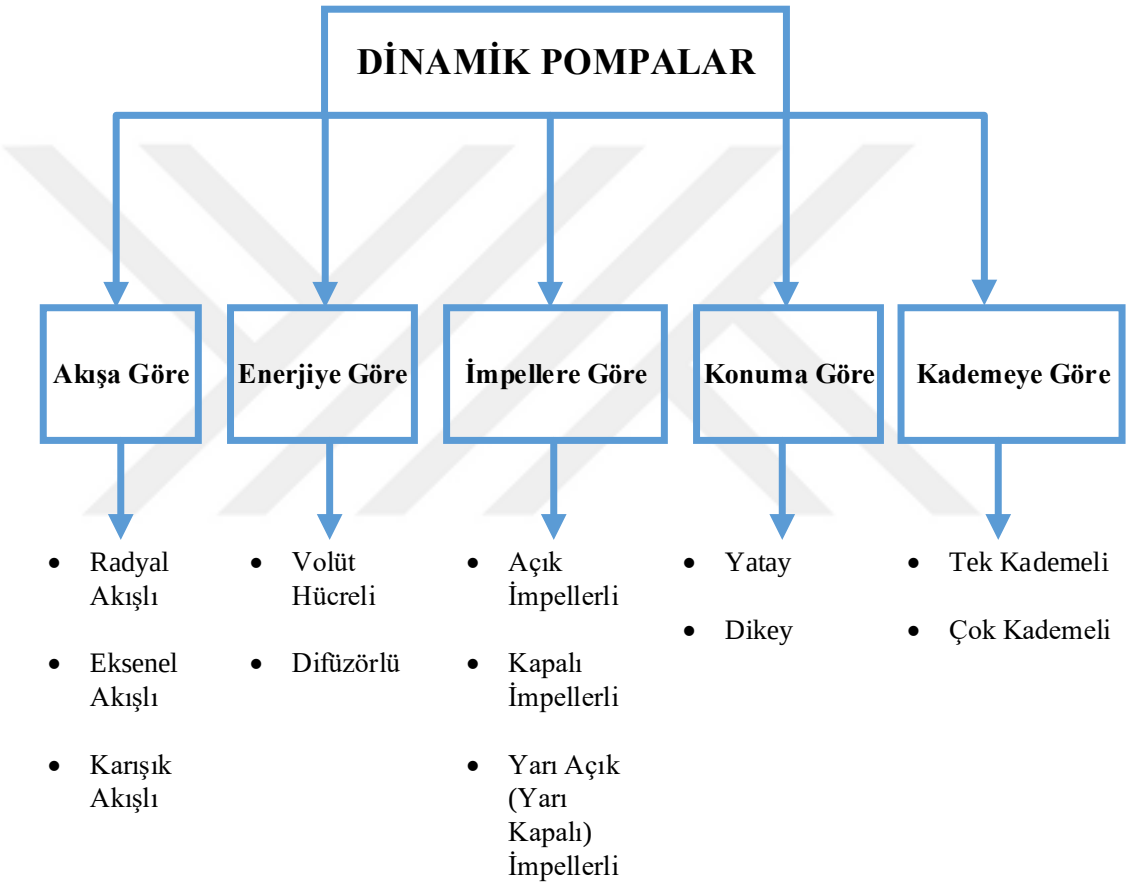
Pompalar genel olarak pozitif deplasmanlı (hacimsel) ve dinamik (kinetik enerjili) olarak iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Pozitif deplasmanlı pompalarda akışkan belirli bir hazneyi doldurup boşaltılarak transfer edilmektedir. Doğrusal ve dönel hareketli olarak iki ana gruba ayrılırlar. Daha çok düşük ve orta basma oranlarında kullanılıp geniş viskozite aralığındaki sıvıları basabilirler. Gerekirse yüksek basınç aralıkları oluşturabilirler. Dinamik pompalarda ise sıvıya teğetsel bir ivmelenme sağlanır ve gövde yapısı sayesinde bu ivmelenme basınca dönüştürülür. Radyal (santrifüj), eksenel ve karışık akışlı olarak üç grupta incelenirler. Orta ve yüksek basma oranlarında kullanılır fakat düşük viskoziteli sıvıları basmada daha başarılıdırlar. Ortalama basınç farkları oluştururlar, yüksek basınç farkı istenirse çok kademeli pompalar kullanılabilir (Russel, Jackson ve Morton, 2013). Şekil 4.1'de pompaların genel olarak sınıflandırılması gösterilmiştir.




Şekil 4.1 Pompaların sınıflandırılması (Russel ve diğer,2013)

## 4.1 Dinamik Pompalar

Bu tezde dinamik pompa çeşitlerinden biri olan radyal akışlı (santrifüj) pompalarla ilgili çalışma yapılacağı için dinamik pompaların sınıflandırılmasına değinilecektir. Şekil 4.1'deki gibi dinamik pompaların sınıflandırılması yukarıda akışa göre yapılmıştır. Ancak daha farklı parametrelere dayanan bir sınıflandırma yapılması da mümkündür. Şekil 4.2'de dinamik pompaların sınıflandırılması gösterilmiştir.




Şekil 4.2 Dinamik pompaların sınıflandırılması (Demirel ve Er, 2007)

- **Akışa göre sınıflandırma** (Demirel ve Er, 2007; Gül, 2011);
  - Radyal akışlı (santrifüj) pompa, pompalanan akışkanın, pompanın şaft eksenine dikey yönde basıldığı dinamik pompalardır.
  - Eksenel pompa, ise çark tarafından hareketi sağlanan akışkanın pompa şaft eksenine paralel basıldığı pompalardır.

- Karışık akışlı pompalarda ise basılan sıvı pompa şaft eksenine hem dik hem yatay olabilmektedir.

- **Enerjiye göre sınıflandırma;**

- Volüt (salyangoz) pompalarda volüt artan kesit alanı vasıtasıyla hareket enerjisinin basınç enerjisine dönüşmesini sağlar. Salyangoz gövdenin amaçlarından biri de pompa şaftı üzerindeki hidrolik dengenin korunumuna yardımcı olmaktır.
- Difüzörlü pompalarda çarktan basılan akışkan difüzör kanatlarına gelir. Kanatlara çarpan akışkanın hareket enerjisi basınç enerjisine dönüştürülür. Sıvı akışı volüt tipi pompalara nazaran daha kontrollüdür.

- **Emişe göre sınıflandırma;**

- Tek emişli pompa: Akışkan çarka tek taraftan girer. Hidrolik denge problemleri mevcuttur
- Çift emişli pompa: Akışkan çarka çift taraftan giriş yapar.
- Emiş yaptıkları tarafa göre, üstten, yandan ve uçtan emişli olarak da sınıflandırılırlar.

- **Çarka göre sınıflandırma;**

- Çarkın kanatlarının iki tarafının da kapatıldığı tipteki pompalara, kapalı çarklı, tek tarafının kapatıldıklarına yarı açık veya yarı kapalı çarklı ve çarkın kanatlarının iki tarafının da açık olduğu tipteki pompalara da açık çarklı pompalar denir.

- **Konuma göre sınıflandırma;**

- Pompa milinin dönme ekseninin yere göre konumuna göre yapılan sınıflandırmadır. Yatay pompalarda bu konum paralelken, dikey pompalarda ise diktir.

- **Kademeye göre sınıflandırma;**

- Tek çark ile basınç ihtiyacının karşılandığı pompalar tek kademeli, birden fazla çark ile akışkan transferi yapan pompalara çok kademeli pompalar adı verilir.

## 4.2 Santrifüj Pompalar

Bu bölümde pompaların ise çalışmanın odak noktası olan, radyal akışlı (santrifüj) tarihi gelişimi, pompaların kullanım alanlarına göre çeşitlendirilmesi ve çalışma prensibi detaylı olarak anlatılacaktır.

### *4.2.1 Radyal Akışlı (Santrifüj) Pompaların Tarihsel Gelişimi*

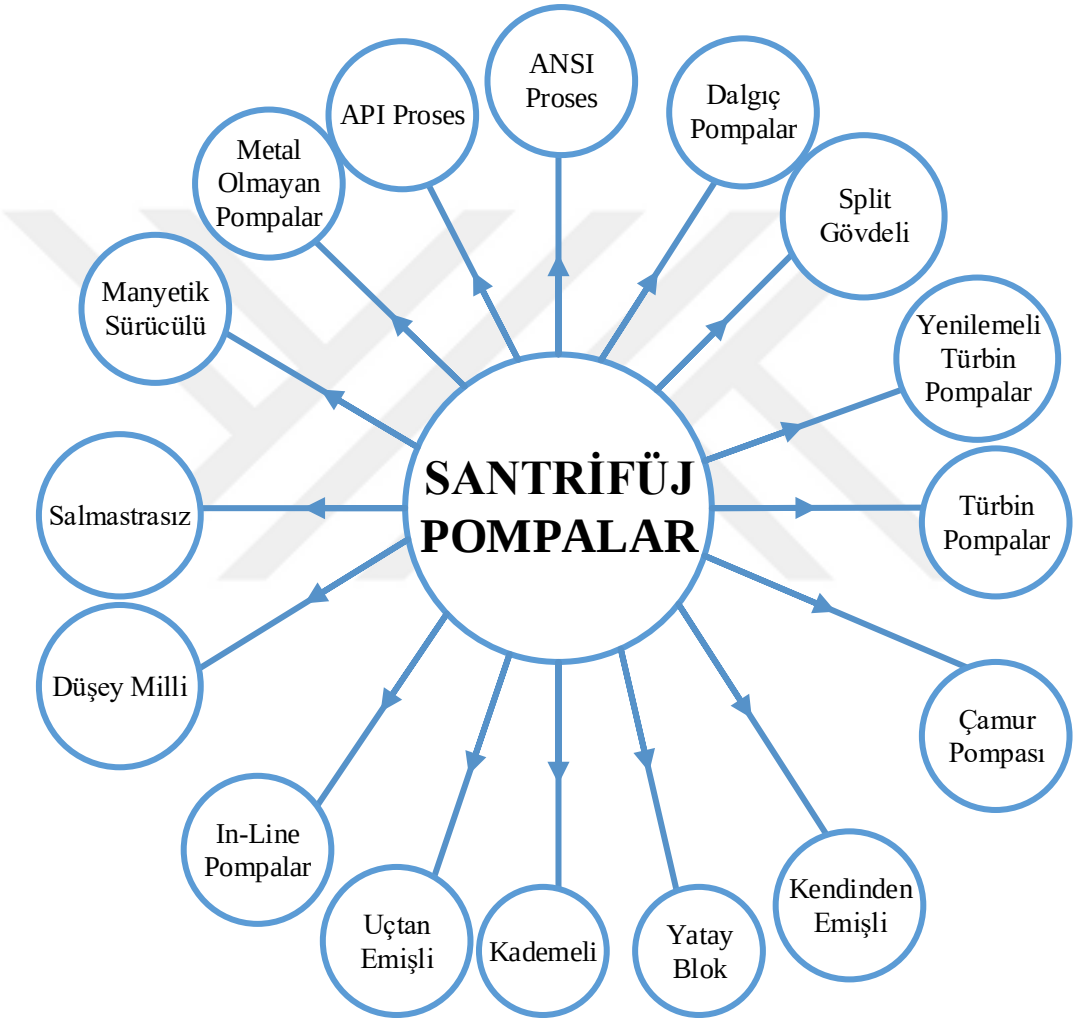
İlk olarak pompa sistemi kullanımını Mısırlılar M.Ö 2000'li yıllarda sulama sistemlerinde kullanmışlardır. Ktesibios M.Ö 200'lü yıllarda eksenel (pistonlu) pompayı bulmuştur. Vida tipi pompa ise yine aynı yıllarda Arşimet tarafından tarif edilmiştir. Bundan uzunca bir süre sonra 1580 yılında dişli pompa bulunmuştur. Otto van Guericke 1650 yılında pistonlu vakum pompasını, Sir Samuel Morland is 1738 yılında dalgıç pompayı icat etmiştir. Bu yıllardan sonra hızla yeni pompa tipleri ve teknolojileri bulunmuştur (World Pumps, 2009).

Brezilyalı tarihçi ve asker Reti (1963), santrifüj pompa olarak adlandırılabilecek ilk makinenin 1475'de yapıldığını ve bu makinenin bir çamur kaldırma aracı olduğunu belirtmektedir. 1738 yılında matematikçi Daniel Bernoulli "Hydrodynamica" adlı kitabında sürtünmesiz bir akış boyunca hızda gerçekleşen bir artışın aynı anda ya akışkanın potansiyel enerjisinde ya da basınçta azalmaya yol açtığını ifade ederek Bernoulli prensibini dünyaya tanıtmıştır. Gerçek manada santrifüj pompa diyebileceğimiz cihazlar 17. Yüzyılın sonunda Dennis Pappin tarafından düz kanatlı olarak yapılmıştır. Eğrisel kanatlı santrifüj pompa ise İngiliz mucit John Appold tarafından bulunmuştur. 1851 yılında John Gwyne ilk santrifüj pompa patentini almıştır. Pompalar, başlıca toprak drenajında kullanılmış ve hala günümüzde bu tip pompaların kullanımı görülmektedir. Gweyne'nin pompaları genel olarak buhar makinelerinden güç alıyordu. 1905 yılında çok aşamalı santrifüj pompalar icat edilmiştir. 1923 yılında Byron Jackson, santrifüj pompaların yağ-yakıt devrelerinde kullanımını ilk kez gerçekleştirmiş ve otomatik itici ünitesini keşfetmiştir. 1962 yılında Sunstand ilk kez Sundyne yüksek hızlı santrifüj pompasını üretmiş ve bunu Shell Chemical firmasına satmıştır. 1980'lerde kendinden emişli pompa bulunmuştur.

2006 yılında ise dünyanın en büyük komposit santrifüj çarkları kurulmuştur (Kanute, 2004; Pumps&Systems, 2017).

### *4.2.2 Santrifüj Pompaların Sınıflandırılması*

Santrifüj pompaların detaylı sınıflandırılması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.




Şekil 4.3 Santrifüj pompaların sınıflandırılması (Volk, 2013; Bachus ve Custodio, 2003; Aydoğan 2015)

- **Uçtan Emişli Pompalar:** Emme tarafı uçta basma tarafı ise yukarıda olan santrifüj pompa tipidir. Sulama, drenaj sistemlerinde, gemilerde, petrokimya tesislerinde, ısıtma-soğutma sistemlerinde, su tedarik merkezlerinde yaygın olarak kullanılırlar.

- **Kademeli Pompalar:** Santrifüj pompalar içinde en yüksek basma yüksekliği değerine sahip pompalardır. Akışkan birden fazla çark ve difüzörden geçer. Çok kademeli pompalar, kazan beslemesi, yüksek basınçlı proses uygulamaları, püskürtme sistemleri, kireç çözme, yüksek binalar için basınç arttırıcılar, ters ozmoz ve boru hatlarında kullanılmakt.
- **Yatay Blok Pompalar:** Karterden yağ sirkülasyonu için en çok tercih edilen pompa tipidir. Bu pompa tipi aslında, dikey olarak yönlendirilmiş tek aşamalı bir son emme pompasıdır ve uzun sütun borusunun ilaveten şaft ve deşarj borusunun içine eklenmesinden meydana gelmiştir.
- **Kendinden Emişli Pompalar:** Pompaların emiş yaptığı kaynağın, pompa orta kesitinin üstünde olması tercih edilir. Sıvı kaynağının yaptığı basınç sayesinde pompa rahat emiş yapabilir ve hava yapmaz. Kendinden emişli pompalarda ise bu sorunu yenmek için pompa ağzında vakum oluşturma yöntemi tercih edilmiştr. Kendinden emişli bir pompa vakum oluşturmak için bir sıvı (genelde su) kullanarak çark girişinde vakum oluşturur ve giriş hattındaki hava atılır. Oluşturulan vakum ile de sıvı emilir.
- **Çamur Pompası:** Çamur pompaları, aşındırıcı parçacıklar içeren sıvıların pompalanması gereken birçok endüstriyel uygulamada kullanılır. Basılan sıvıların aşındırıcı etkisini önlemek amacıyla yüksek dayanımlı malzemelerle donatılır ve genellikle bu tip pompalarda değiştirilebilir aşınma plakaları bulunur.
- **Türbin Pompalar:** Bu grupta, pompalanan sıvı ile yağlanan rulmanlar bulunur ve genellikle çok kademeli olarak tasarlanırlar. Düşey bir mile sahip, genellikle sondaj kuyularında kullanılan santrifüj pompalardır. Tank içinde veya göl, dere gibi su kaynaklarından sıvı transferi yapabilirler.
- **Yenilemeli Türbin Pompalar:** Klasik santrifüj pompa impllerinden farklı impeller yapısına sahip olan bu pompalar tek kademeli uygulamalarda bile tatminkâr basma yüksekliği değerleri sağlarlar. Geleneksel geri kavisli kanatlara sahip olmak yerine, yenilemeli bir türbin çarkı, artan çaplı artan bir derinliğe sahip radyal olarak yönlendirilmiş dişler veya kepçelere sahiptir.
- **Split Gövdeli Pompalar:** Yüksek debi ihtiyacının bulunduğu uygulamalarda tercih edilen bir pompa türüdür. Bu santrifüj pompa tipinde çift taraftan emme

yapabilen bir çark bulunur. Emme ve basma ters yönde bulunan ağızlardan yapılır. Rulmanların mil üzerine simetrik pozisyonda yerleştirilmesi sonucunda dengeleme sağlanır. Bakımları kolaydır ve dengeli bir çalışma yapısına sahiptirler. Su arıtma sistemlerindeki enerji santrallerinde, rafineri işlemlerinde ve yangın söndürme istasyonlarında kullanılabilirler.

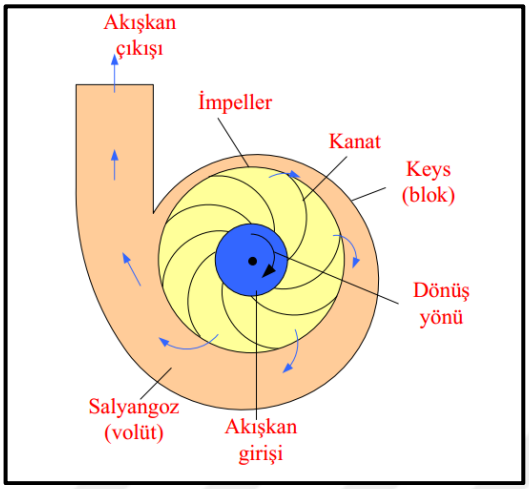
- **Dalgıç Pompalar:** Suyun içinde çalışan, motor ve pompanın tek parça halinde üretildiği pompalardır. Bu pompalar genellikle atıksu ve endüstriyel atık suyun bir çukurdan veya bir tanktan pompalanması için tasarlanır; pompalanan sıvı genellikle katıları içerir.
- **ANSI Proses Pompaları:** Amerika Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI), Amerika Birleşik Devletleri'nde sanayi ile ilgili standartları hazırlayan ve yayınlayan özel bir kuruluştur. Amerikan Federal Standartlar Enstitüsü'nün (NIST) bir üyesidir. Bu kuruluşun yayınladığı standartlara göre tasarlanmış bir pompadır. Bu tip uçtan emişli dikey olarak bölünmüş pompadır ve kimyasal proses endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Muhtemelen tüm pompa tasarımlarının en popüleridir.
- **API Proses Pompaları:** Amerika Petrol Enstitüsü (API), Amerika Birleşik Devletleri'nin ulusal petrol ve doğal gaz endüstrisini tüm yönleriyle temsil eden bir kuruluştur. Bu kuruluş rafineler ve hidrokarbon işlem uygulamalarında kullanılacak olan pompaların özelliklerini belirlemek amacıyla API 610 standartlarını yayınlamıştır (API, 2017). Standartta belirtilen santrifüj pompalar genel olarak, uçtan emişli, yatay split gövdeli, kademeli, hat tipi veya dikey türbin tiptedirler ve motorları kıvılcım önleyici (ex-proof) olmalıdır.
- **Metal Olmayan Pompalar:** Bu tür pompalar, alışılmış pompaların egzotik alaşımlara ihtiyaç duyacağı aşındırıcı, kimyasal olarak aşındırıcı ve oksitleyici sıvıları basmak için kullanılır.
- **Manyetik Sürücülü Pompalar:** Bu tip pompa, pompa şaftına sabitlenmiş mıknatısları çalıştırarak diğer bir mıknatıs setini tahrik eden geleneksel bir elektrik motorunu kullanır. Pompalanan sıvıyı çevreden izole eden manyetik olmayan bir gövde, dönen mıknatıs setlerini ayırır.

- **Salmastrasız Pompalar:** Sızıntının büyük bir tehlike yaratacağı veya transfer edilen sıvının çok kıymetli olduğu işlemlerde kullanılan pompa çeşididir. Mekanik salmastra yerine, çark ile şaft arasına statik transfer kabuğu konulur. Bunun sonucunda da önemli bir maliyet unsuru olan mekanik salmastra masrafı ortadan kalkmış olur.
- **Düşey Milli Pompalar:** Düşey (dik) milli pompalarda, sıvıyı basınçlandıran pompa elemanları, kolon grubu, çıkış başlığı ve tahrik grubu bulunmaktadır. Tahrik mekanizmasından sağlanan güç ara miller ile pompaya iletilir ve böylece akışkan yer üstüne pompalanmış olur.
- **In-line Pompalar:** Pompanın emme ve basma çıkışları aynı devre üzerindedir. Yani emme ve basma flençleri aynı hizada pompanın zıt yönlerinde konumlandırılmıştır (Volk, 2013; Bachus ve Custodio, 2003; Aydoğan 2015; API,2017; ANSI 2017; HMD, 2017).

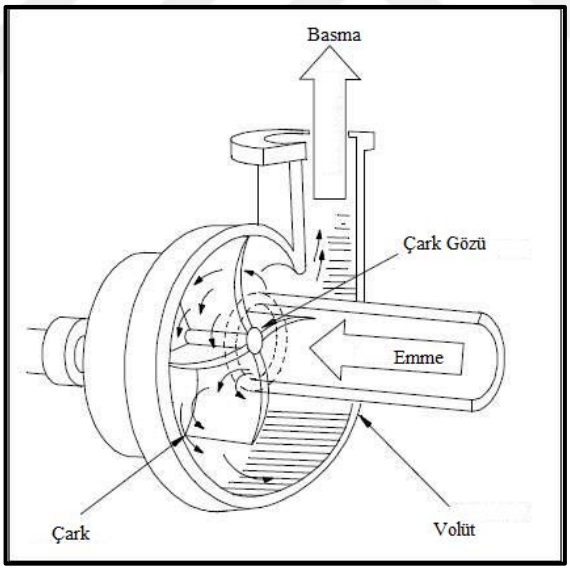
### *4.2.3 Santrifüj Pompaların Çalışma Prensibi*

Santrifüj pompalar, belirtilen hacim akışını belirli bir basınç seviyesine yükseltmek suretiyle sıvıları nakletmek için kullanılan turbo makinelerdir. Türbinli makinelerde enerji transferi her zaman hidrodinamik işlemlere dayanmaktadır ki bu sistem için karakteristik olarak tüm basınç ve enerji farklılıkları çevresel rotor hızının karesiyle orantılıdır. Pozitif deplasmanlı pompaların aksine (örneğin pistonlu pompalar) her hacimde akış hızından veya rotor hızından bağımsız olarak aynı hacmi sağlarlar. Santrifüj pompalarda aynı zamanda akışkanın pompanın emme ağzına yeterli enerjiyle ulaşmasını gerektirir çünkü santrifüj pompalar, sıvıyı pompa mahfazasına ememezler. Motorun çalışması sonucunda dönen şaft, kama vasıtasıyla bağlandığı çarkı hareket ettirir. Dönen çark volüt salyangoz şeklini andıran bir gövde içinde bulunmaktadır. Çarkın kanat yapısı içerinde dışarıya doğru genişleyen bir yapıya sahiptir. Çarkın dönmesiyle, çarkın ortasındaki gözde vakum oluşur ve akışkanın emişi gerçekleştirilir. Ardından dönme hareketiyle akışkanın hızı arttırılır. Akışkan çark kanatları vasıtasıyla hızlandırılır ve volüt ile istenilen basınçta ve debide istenilen yere sevk edilir. Sonuç olarak kinetik enerji basınç enerjisine çevrilmiş olur (Gülich, 2014; Jacobsen, 2009;

Demirel ve Er, 2007; Myodesie, 2017; Bachus ve Custodio, 2003). Şekil 4.4 ve 4.5'te dinamik pompaların çalışma prensipleri ve elemanları gösterilmiştir.



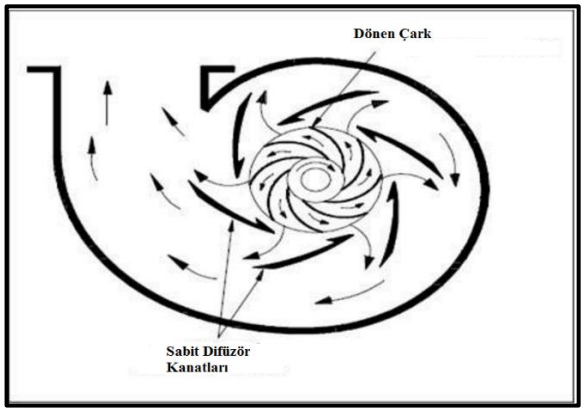

Şekil 4.4 Dinamik pompaların çalışma prensibi ve elemanları-1 (Demirel ve Er, 2007)




Şekil 4.5 Dinamik pompaların çalışma prensibi ve elemanları-2 (Myodesie, 2017)

Hızı düşürüp basıncı arttırmak amacıyla gövde içerisinde sabit kanatlar da kullanılabilir ve bu kanatlara difüzör adı verilir. Bu kanatlar daha az türbülansla kademeli olarak genişlemeyi sağlarlar. Akış alanındaki kademeli artış, hızda kontrollü bir azalmaya neden olur ve kinetik enerji basınca dönüştürülmüş olur (Gülich, 2014;

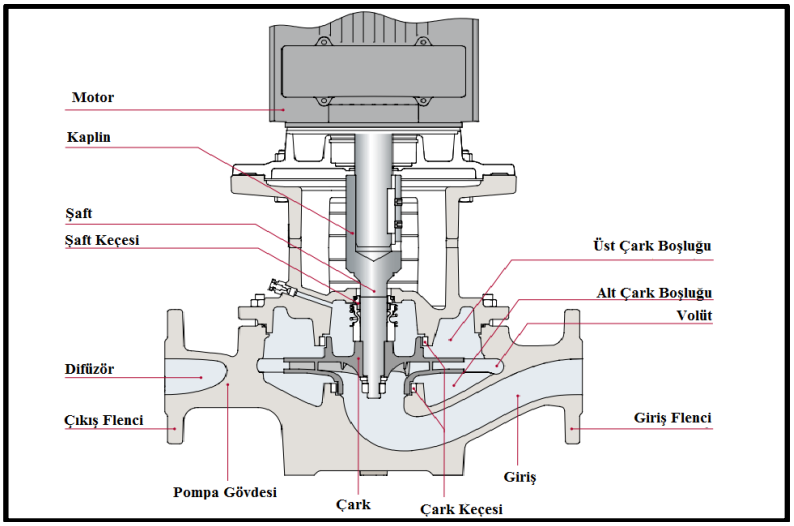
Myodesie, 2017; Demirel ve Er, 2007). Şekil 4.6'da difüzörün çalışma prensibi gösterilmiştir.




Şekil 4.6 Difüzör çalışma prensibi (Myodesie, 2017)

### *4.2.4 Santrifüj Pompaların Elemanları*

Santrifüj pompalarda, motorda elde edilen hareketi, kaplinlere veya manyetik olarak direk çarka ileten aktarım elemanına şaft denir. Kaplin, sızdırmazlık elemanı, çark veya rulman gibi elemanları üzerinde taşımaktadır. Şaft keçesi veya mekanik salmastra ise sıvının çevreye veya rulman yuvasına kaçmasını önler. Çark veya impeller sıvıyı taşımak için gerekli olan enerjiyi aktarır ve onu çevresel yönde hızlandırır. Bu, statik basıncın kinetik uyarınca yükselmesine neden olur, çünkü akışkan akışı kavisli bir yolu takip eder. İmpellerden çıkan sıvı, statik basıncı arttırmak için çark çıkışında kinetik enerjinin mümkün olan en büyük kısmını kullanmak için santrifüj ve aşağıdaki difüzörde yavaşlar. Difüzör ise basma ağzını oluşturur. İmpeller tasarımında iki ana sınıf vardır: açık ve kapalı. Bunlara ilave olarak yarı kapalı (yarı açık) tasarım da mevcuttur. Açık impeller daha çok içerisinde katı maddeler içeren sıvıların basılması için uygundur (Gülich, 2014; Volk 2013; Demirel ve Er, 2007). Şekil 4.7'de santrifüj pompaların hidrolik elemanları ve Şekil 4.8'de santrifüj pompalarda kullanılan üç tip çark gösterilmiştir.




Şekil 4.7 Santrifüj pompa hidrolik elemanları (Jacobsen, 2009)




Şekil 4.8 Çark tipleri (Chinainvestment, 2017)

Kaplinler şaft ile motor bağlantısını sağlayan ve motorun gücünü şafta ileten elemanlardır. Ayrıca titreşim veya termal etki nedeniyle oluşabilecek küçük çaplı hizalama ve şaft hareketlerini telafi eder. Yatak ve rulmanlar da şaftı hizada tutan parçalardır. Çarkı içinde bulunduran volüt, çarktan gelen sıvıyı toparlar ve çıkış flencine yönlendirir. Volüt keysi çarktaki dinamik basıncı, statik basınca dönüştürme işlevini gerçekleştirir. Dönüş kanalı seri bağlı çarklar arasında sıvıyı ileten bölümdür. Aynı zamanda volüt keysi işlevi de görürler. Yani dinamik enerjiyi statik enerjiye dönüştürürler. Aşınma halkaları ise, çark ile gövde arasında kolayca ve ekonomik olarak yenilenebilir bir sızdırmazlık bağlantısı sağlarlar. Kaplin dışında kalan elemanların hepsi pompa gövdesinin içinde yer alır (Volk, 2013; Karasisk ve Messina, 1986; Jacobsen, 2009).

# BÖLÜM BEŞ
# VERİ MADENCİLİĞİ VE OPTİMİZASYON

Bu bölümde veri madenciliği, optimizasyon kavramı ve teknikleri incelenecektir. Bölümün sonunda ise santrifüj pompalarda optimizasyon teknikleri kullanılarak yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve sonuçlar tablo şeklinde sunulmuştur.

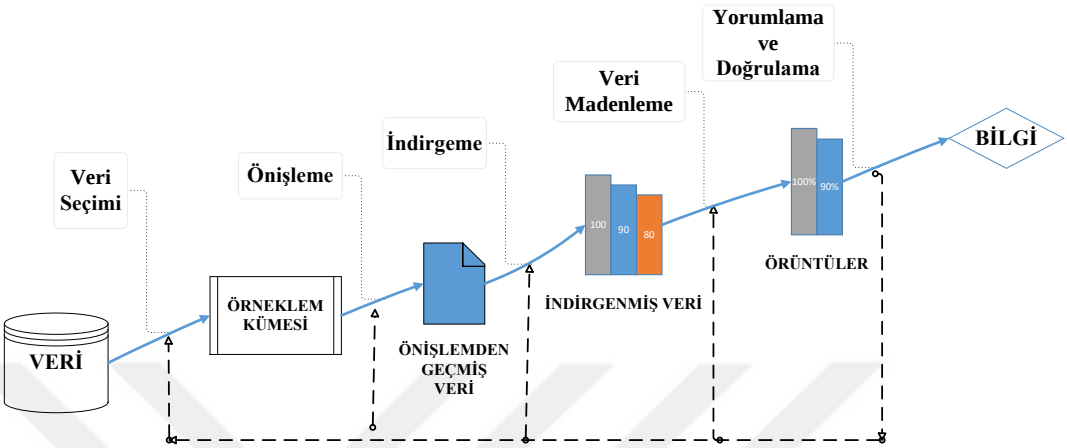
## 5.1 Veri Madenciliği

Veri madenciliği verilerden yararlı bilgiler elde etme, temizleme, işleme, analiz etme ve kazandırma çalışmasıdır. Amacı, bazı alanlarda çoğunlukla denetlenmemiş verilerin büyük kısmını anlamaya çalışmaktır. Küçük miktardaki veriler arası ilişkiler güvenilmezdir ancak büyük miktardaki veriler arasındaki ilişkiler çeşitli alanlarda karar alma konusunda yol gösterici bir rol oynarlar. Örneğin, beş müşteri süt ile birlikte kahvaltılık gevrek aldıysa bu veri pek anlam ifade etmez fakat binlerce müşterinin büyük bir çoğunluğu bu eylemi yaptıysa sütün yanına kahvaltılık gevrek koymak akıllıca bir strateji olmaktadır (Aggarwal, 2015; Janus, 2008; Cios, Pedrycz ve Swiniarski, 2010).

Veriyi daha iyi analiz edebilmek için "Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi (VTBK)" süreci izlenmektedir. Bu süreç şekil 5.1'de adım adım görülmektedir. Bu sürecin aşamaları şu şekildedir (Chen, Han ve Yu, 1996; Köseoğlu, 2015);

- **Veri Temizleme**: Tutarsız verilerin ayıklanması sürecidir.
- **Veri Birleştirme**: Birden çok veri tabanındaki verinin birleştirilmesidir.
- **Veri Seçimi**: Konu ile alakalı verinin veri tabanından seçilmesidir.
- **Veri Madenciliği**: Bağlantıları saptamak için çeşitli yöntemler kullanılan aşamadır.
- **Örüntü/Model Değerlendirme:** Doğru verilerin tanımlanma sürecidir.
- **Bilgi Sunumu:** Keşfedilen bilgilerin değerlendirilip sunulmasıdır.

Farklı boyutta ve çeşitte veri tabanlarının birleşiminden veri ambarları meydana gelmektedir. Veri madenciliğinde kaynak olarak veri ambarları sıkça kullanılmaktadır (Cios ve diğer, 2010).

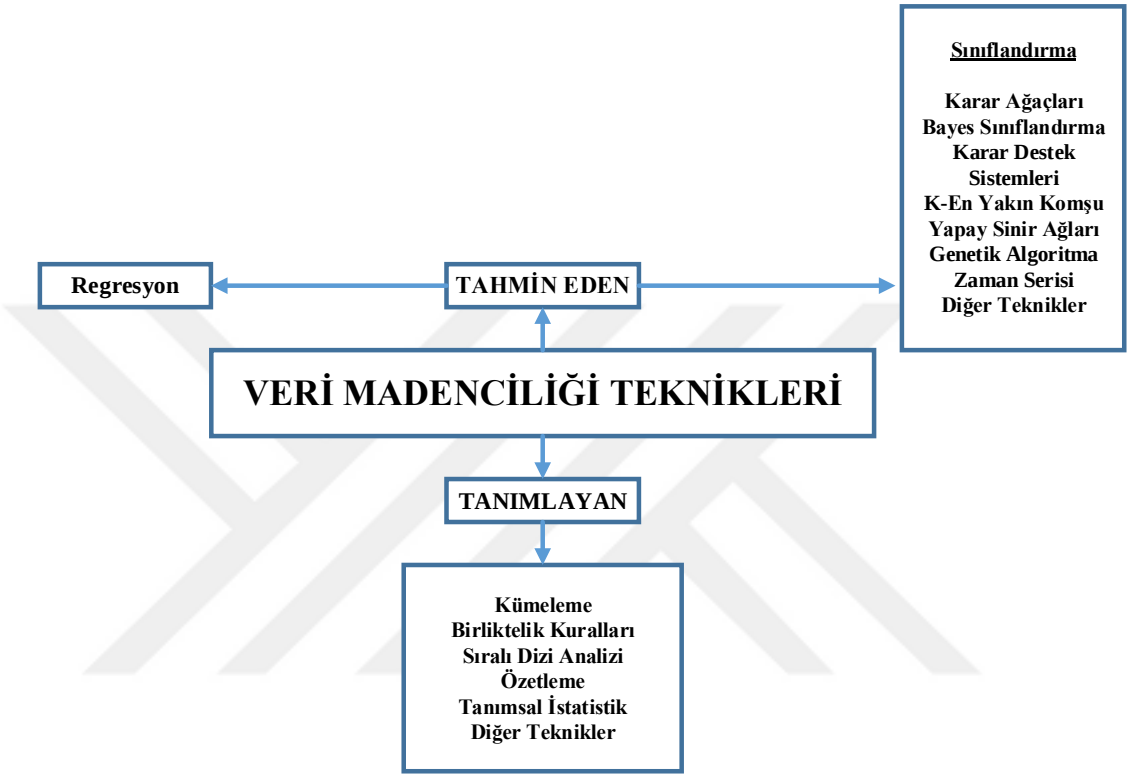



Şekil 5.1 Veri tabanlarında bilgi keşfi süreci (Köseoğlu, 2015; Agrawal ve Shafer, 1996)

Veri madenciliğinin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Veri madenciliğinin belli başlı kullanım alanları aşağıda görülmektedir (Bramer, 2007).

- Uydu görüntülerini analiz etme,
- Organik bileşiklerin analizi,
- Kredi kartı dolandırıcılığı algılama,
- Elektrik yükü tahmini,
- Finansal tahmin,
- Tıbbi teşhis,
- Televizyon izleyicilerinin payını öngörme,
- Ürün tasarımı,
- Gayrimenkullere değer biçme,
- Hedefli pazarlama,
- Metin özetleme,
- Termal güç santrali optimizasyonu,
- Zehirli madde analizi,
- Hava tahmini.

Veri madenciliğinde sonuçları belli olmayan verilerin tahmini için kullanılan yöntemler ve eldeki veriyi çeşitli karar alma süreçlerinde kullanmak üzere tanımlayan modeller olarak iki ayrı sınıf bulunmaktadır (Han ve Kamber, 2001). Şekil 5.2 'de veri madenciliği tekniklerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.




Şekil 5.2 Veri madenciliği teknikleri (Han ve Kamer, 2001; Han, Pei ve Kamber, 2011; Köseoğlu, 2015)

## 5.2 Optimizasyon Kavramı

Optimizasyon kelime anlamı olarak, "en uygun duruma getirme" olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik sistemlerinin tasarımı, inşaatı ve bakımında mühendisler, yönetim ve teknoloji ile ilgili birçok karar almak zorunda kalırlar. Bu tarz kararların ana amacı ise gereken çabayı minimum seviyeye getirip, istenen faydayı maksimum seviyeye çıkarmaktır. Gerekli çaba veya herhangi bir pratik durumda istenen fayda, bazı karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiğinden, optimizasyon, bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren koşulları bulma süreci olarak tanımlanabilir. Optimizasyon problemlerini etkili bir şekilde

çözmek için zaman içerisinde pek çok teknik geliştirilmiştir. Bu uygun değer arama yöntemleri matematiksel programlama teknikleri olarak da isimlendirilirler ve yöneylem araştırmasının bir parçasını oluştururlar. Yöneylem araştırması, bilimsel yöntem ve teknikleri karar verme problemlerine uygulayan ve en iyi veya en uygun çözümleri oluşturan matematiğin bir dalıdır ve geçmişi İkinci Dünya Savaşı'na dayanmaktadır. Optimizasyon tekniklerinin mühendislikte uygulamaları oldukça geniştir. Bu uygulamalara çeşitli örnekler aşağıda görülmektedir (TDK 2017; Rao, 2009).

- Hava ve uzay araçlarının minimum ağırlıkta tasarımı,
- Uzay araçları için en uygun yörüngeyi saptama,
- İnşaat mühendisliği kapsamındaki yapıların en uygun tasarımı ve fiyatlandırılması,
- Deprem, rüzgâr veya diğer tipteki yüklemeler için tasarlanan binaların en az ağırlıkta tasarımı,
- Su kaynaklarından en çok verimi sağlamak için tasarım optimizasyonu,
- Yapıların en uygun plastik tasarımı,
- Makine araçlarının mekanik bileşenlerinin en uygun tasarımı,
- Metal kesme işlemi için en uygun fiyatlı ve doğru makine kondisyonunun seçimi,
- Malzeme elleçleme ekipmanlarının tasarımı,
- Pompa, türbin ve ısı transferi ekipmanlarının maksimum verimle tasarımı,
- Elektrik makineleri ve bağlantıları için en uygun tasarım,
- Bir satış elmanı için rota optimizasyonu,
- En uygun üretim planlaması, kontrolü ve zamanlanması,
- İstatistiksel verilerin analizi,
- Kimyasal süreç sanayi için donanım ve boru ağının en uygun tasarımı,
- Bir fabrika için yer seçimi,
- Envanter kontrolü,
- Planlı bakım ve donanım yenilmeleri planlaması,
- Yararı en fazla seviyeye çıkarmak için çeşitli aktivitelerde kaynak ve servislerin tahsisi,

- Maliyeti azaltmak için üretim bantlarında bekleme sürelerinin ve sıralanmanın kontrolü,
- Kontrol sistemlerinin en uygun tasarımı,

### *5.2.1 Optimizasyon Bileşenleri*

Bir optimizasyon problemi veya matematik programlama probleminin basit yapısı "X= {$x_1$, $x_2$, ….$x_n$} f (X)'i en az değerine indiren X vektörünü bulunuz" şeklindedir. Burada X tasarım vektörü, f (X) ise amaç fonksiyonudur. Denklem 5.1'de gösterilen eşitsizlikler halinde gösterilen $d_i$ (x) ve $e_i$ (x) ise kısıtlar, $a_i$ ve $b_i$ ise sabitlerdir. Aynı zamanda kısıtlamasız optimizasyon problemleri de bulunmaktadır. Optimizasyon problemleri f(X)'in şekline göre sınıflara ayrılabilir. Eğer amaç fonksiyonu ve kısıtlar doğrusal ise, doğrusal programlama, eğer amaç fonksiyonu ikinci derece, kısıtlar doğrusalsa ikinci derece programlama, eğer amaç fonksiyonu doğrusal veya ikinci derece değil kısıtlar da doğrusal değilse doğrusal olmayan programlama söz konusudur (Chapra ve Canale, 1998; Rao, 2009).

$$d_i(x) \leq a_i \quad i=1, 2, 3, \ldots, m$$
$$e_i(x) = b_i \quad i=1, 2, 3, \ldots, p \tag{5.1}$$

### *5.2.2 Klasik Optimizasyon Teknikleri*

Klasik optimizasyon yöntemleri, sürekli ve türevlenebilir fonksiyonların optimum çözümünün bulunmasında yararlıdır. Bu yöntemler analitiktir ve diferansiyel denklemin optimum noktaların yerini belirleme tekniklerini kullanırlar. Bazı pratik problemler, sürekli veya türevlenemeyen objektif fonksiyonları içerdiğinden, klasik optimizasyon teknikleri, pratik uygulamalarda sınırlı kapsamlara sahiptir. Bununla birlikte, hesaplama optimizasyon yöntemleri üzerine yapılan bir çalışma, sayısal optimizasyon tekniklerinden çoğunun geliştirilmesi için bir temel oluşturur (Rao, 2009). Tablo 5.1'de klasik optimizasyon teknikleri gösterilmiştir

Tablo 5.1 Klasik optimizasyon teknikleri (Köseoğlu, 2015; Kahraman, 2010, Kiranyaz ve diğerleri)

| Kısıtlı Optimizasyon Teknikleri | Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri |
|---|---|
| Doğrusal Optimizasyon | Altın Oran Yöntemi |
| Şebeke Optimizasyon | Newton Yöntemi |
| Tamsayılı Optimizasyon | Sabit Kesen Yöntemi |
| Dinamik Optimizasyon | Gradient Arama |
| Stolastik Optimizasyon | Lagrange Çarpanı |
| Karesel Optimizasyon | Newton Benzeri Algoritması |

### *5.2.3 Modern Optimizasyon Teknikleri*

Matematiksel algoritmalar genellikle optimal bir çözüme ulaşmayı garanti etse de küresel manada optimum sonuca ulaşma amacını her zaman gerçekleştiremezler. Bu amaç basit davalar için ulaşılabilir bir sonuç olarak görülmektedir. Öte yandan, birçok pratik optimizasyon problemi, matematiksel algoritmaların sıkı varsayımlarına ve formlarına uygun olmayabilir. Dahası problem matematiksel algoritmalarla çözülemeyecek kadar karmaşık da olabilir. Bu sebeplerden dolayı, son yıllarda, konsept olarak klasik matematiksel programlama tekniklerinden farklı optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bunlar "zeki optimizasyon teknikleri", "modern optimizasyon teknikleri" veya "sezgisel optimizasyon teknikleri" olarak adlandırılmışlardır. Bu teknikler karmaşık problemlere, kabul edilir zaman dilimlerinde, iyi çözümler bularak optimal noktanın saptanmasını sağlarlar. Bu yöntemlerin çoğu biyolojik, moleküler, böcek sürüleri ve nörobiyolojik sistemlerin belirli özelliklerine ve davranışlarına dayanmaktadır. Günümüzde bu tekniklerin çok farklı kombinasyonları ve değişik çeşitleri bulunsa da bu bölümde bahsedilecek olanlar öne çıkan temel teknikler olup aşağıda sıralanmışlardır (Seifi ve Sepasian, 2011; Jang, Sun ve Mizutani, 1997, s.25, Rao, 2009).

- Genetik Algoritmalar,
- Tavlama Benzetimi,
- Tabu Araması,
- Sürü Optimizasyonu (Arı, kuş, ateş böceği, karınca, kurt vb.),

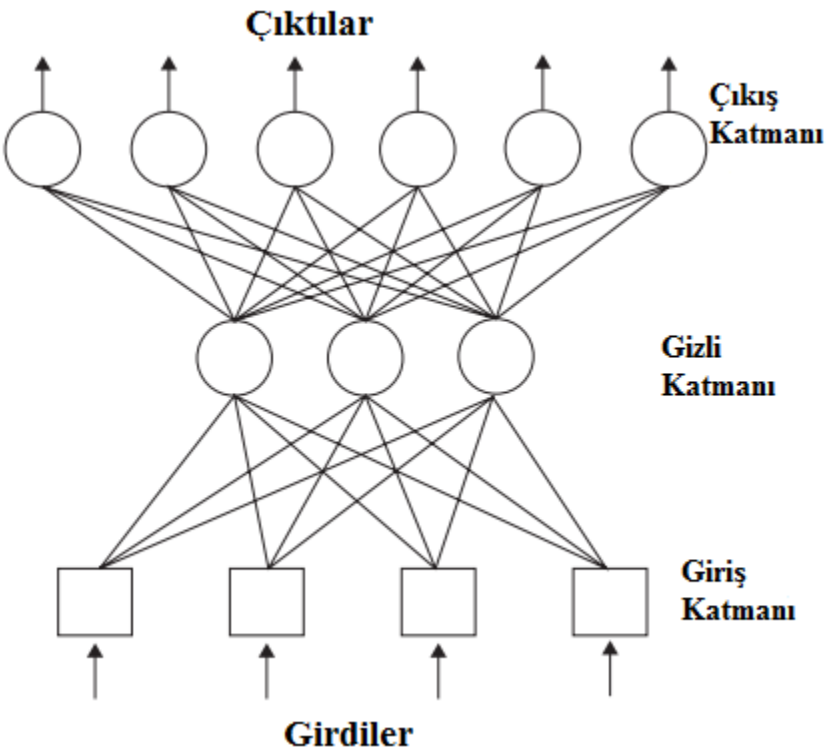
- Karınca Kolonisi Optimizasyonu,
- Bulanık Mantık,
- Sinir Ağları Tabanlı Teknikler,
- Oyun Teorisi,
- Kuyruk Teorisi.

## 5.3 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi çalışmada kullanılacağı için bu bölümde anlatılacaktır. Sinir ağları tabanlı programlama stratejileri son yıllarda optimizasyon problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sinir ağları, hayvan ve insanların beyinlerinde sinir hücreleri tarafından oluşturulmuş iletişim ağlarıdır. Bir sinir ağı, her bir nöronun diğer nöronlardan bir dizi girdi kabul ettiği ve çıkış düğümlerine iletilen bir çıktıyı hesapladığı birbirine bağlı basit işlemcilerden (sinir ağı) oluşan geniş bir paralel ağdır. Ayrıca, bir sinir ağı bireysel nöronlar, ağ bağlantısı, nöronlar arasındaki bağlantılarla ilişkili ağırlıklar ve her bir nöronun aktivasyon fonksiyonu açısından tanımlanabilir. Ağ, bir girdi vektörünü bir alandan diğerine taşır ve haritalama belirtilmemiştir, ancak öğrenilmiştir. Yapay sinir ağları ile ilgili ilk büyük adım 1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından yazılan makaledir. Bu çalışma sinir ağlarını matematiksel bir modelini sunan ilk çalışmadır ve yapay sinir ağlarının inşası için temel oluşturmuştur (McCulloch ve Pitts, 1943; Ertel, 2011; Rao, 2009).

Yapay sinir ağları modelinden nöron, parametrelerle ifade edilmiş, genellikle doğrusal olmayan sınırlı bir fonksiyondur. Kolaylık olması için doğrusal olmayan parametrelerle ifade edilen olan nöronlar olduğu zaman onlara doğrusal nöron denmektedir. Nöronun değişkenleri girdiler ve onun değerleri olan çıktılardır. Her nöron hücre gövdesi, akson, sinaps ve dendrtiler olarak dört ana bileşene sahiptirler. Dendrtiler nöron ucundaki saçaklardır ve diğer nöronların sinapsları vasıtasıyla giriş kanalları olarak görev yaparlar. Hücre gövdesinde bilgiler işlenir çıktılar akson ve sinaps aracılığı ile diğer sinir hücresine aktarılır. Çeşitli sinir ağı mimarileri bulunmaktadır ve bunlar nöron sayısı, eşik fonksiyonlarının doğası, nöronların iletkenlikleri gibi değişkenlere göre bu mimariler farklılık göstermektedir. Şekil 5.3'te

tipik bir mimari olan ve çokça kullanılan “ileri beslemeli çok katmanlı ağ” gösterilmektedir. Şekildeki oklar nöronlar arasındaki ileri beslemeyi yani bağlantıyı sembolize eder. Bu bağlantıların her biriyle bağlantılı bir ağırlık veya kazanç, bir bağlantı üzerinden geçen çıktıyı kontrol eder. Ağırlık belirli nöronun uyarıcı veya durdurucu edici özelliğine bağlı olarak pozitif veya negatif olabilir. Çeşitli bağlantıların (ağırlıkları) güçlü yönleri, ağda bulunan bilgi gösterimi için depolar olarak işlev görür. Ağ, tüm giriş yolları için çıktı katmanının gerçek çıktısı ve hedef çıkış arasındaki kareli ortalama hatayı en aza indirgeyerek eğitilmiştir. Çeşitli bağlantılarla ilişkili ağırlıkları ayarlayarak hata minimuma indirilir (Dreyfus, 2005; Ertel, 2005; Rao, 2009; Köseoğlu, 2015; Kecman, 2005).




Şekil 5.3 İleri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı (Rao, 2009)

Şekil 5.3’te gösterilen ağda görülen giriş katmanı, dış kaynaktan girdilerin alındığı ve gizli (ara) katmanlara aktarıldığı katmandır. Gizli (ara) katmanlarda gelen bilgiler işlemlerden geçirilerek çıktı katmanına aktarılırlar ve çıktı katmanında çıktılar üretilerek dışarıya gönderilirler. Yapay sinir ağında verilere yapay sinir hücreleri

tarafından işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemlerin de beş temel aşaması (Öztemel, 2016):

- **Girdiler:** Başka hücrelerden, harici bir kaynaktan veya başka bir kaynaktan sinir hücresine gelen bilgilerdir
- **Ağırlıklar:** Bilginin öneminin ölçütüdür.
- **Toplama Fonksiyonu:** Hücreye gelen ağırlıkları ile çarpılmış girdileri toplayarak net girdiye ulaşılmasını sağlayan fonksiyondur. Daha değişik şekilde net girdiyi hesaplayan toplama fonksiyonları bulunmaktadır ama en yaygın olarak kullanılanı ağırlıklı toplamı bulandır ve çalışmada da bu fonksiyon kullanılmıştır. Fonksiyon denklem 5.1'de gösterilmiştir. Denklemdeki 'G' girdi, 'A' ağrılığı, 'n' ise girdi sayısını sembolize etmektedir.

$$NET = \sum_{i}^{n} G_i A_i \tag{5.1}$$

- **Aktivasyon Fonksiyonu:** Hesaplanan net girdi bu fonksiyonla işlenip çıktısı üretilir. İleri beslemeli çok katmanlı modellerde Sigmoid fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Sigmoid fonksiyonundan türetilmiş hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon denklem 5.2'de gösterilmiştir.

$$F(NET)=\frac{(e^{NET}+e^{-NET})}{(e^{NET}-e^{-NET})} \tag{5.2}$$

- **Çıktılar:** Aktivasyon fonksiyonu vasıtasıyla ulaşılmış dışarıya aktarılan verilerdir.

Yapay sinir ağları yönteminin yaygın olarak veri setlerini öğrenerek tahminde bulunma çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Ağ kendine gösterilen örneklerden yola çıkarak daha önce görmediği veriler hakkında bilgi üretebilmektedir. Ayrıca hatalı veya eksik verilerle de çalışarak bu işlemi gerçekleştirebilirler (Öztemel, 2016). Bu çalışmadaki veri setinin de yapay sinir ağları yöntemine uygun olması, yöntemin

tahmin yapmada başarılı olması ve benzer çalışmalarda yaygın olarak kullanılması nedenlerinden dolayı, çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir.

Çalışmada kullanılan eğitim algoritması Levenberg-Marguardt algoritmasıdır. Oldukça yaygın kullanımı olan bir optimizasyon algoritmasıdır. Doğrusal olmayan fonksiyonların karelerinin toplamı olarak ifade edilen bir fonksiyonun minimumunu bulan tekrarlı bir tekniktir. Doğrusal olmayan en küçük kareler problemleri için standart bir teknik haline gelmiştir ve en dik inişin ve Gauss-Newton yönteminin bir kombinasyonu olarak düşünülebilir (Lourakis, 2005, Ranganathan, 2004). MATLAB programının yapay sinir ağları eklentisinde hazır olarak gelen bu algoritma yaygın kullanımı ve başarılı sonuçlar verdiği için tercih edilmiştir.

### 5.4 Santrifüj Pompalarda Optimizasyon Tekniklerinin Kullanılması

Santrifüj pompaların optimizasyonu eskiden de çalışan bir konu olmasına karşın özellikle son yıllarda modern optimizasyon teknikleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile santrifüj pompaların optimizasyonu çalışmaları sıkça görülmektedir. Son yıllardaki çalışmalarda çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılarak, çark kanatları, volüt, difüzör gibi parçaların geometrisinin tasarımı ve bu bölgelerdeki akışın karakteristiğini en iyi duruma getirmek için optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bunların yanı sıra paralel pompa operasyonlarında yük dağılımı, güneş enerjili sistemlerde elektrik motoru veya sürücüsü verimini arttırma, santrifüj pompalarda hata ve performans tahmini üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Optimizasyon tekniklerinin santrifüj pompalar üzerinde kullanımı ile ilgili bilimsel çalışmalar incelenmiştir. Tablo 5.2'de yazın taramasının sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5.2 Optimizasyon tekniklerinin santrifüj pompalarda kullanımı

| Çalışma | Yöntem | Katkı | Yayın Yeri |
|---|---|---|---|
| Visser, Dijkers ve op de Woerd (1999) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpeller üzerindeki kavitasyonu gidermek amacıyla tasarım ve analiz çalışması. | Computing and Visualization in Science |
| Yuhki ve diğerleri (1999) | Spektral Güç Yoğunluğu Analizi | Santirfüj bir pompanın akış analizi ve optimizasyonu | Artificial Organs |
| Bevilacqua, Braglia ve Montanari (2003) | Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı<br>Karar Ağacı | Hata tahmini ve hata oranı analizi. | Reliability Engineering & System Safety |
| Benlarbi, Mokrani ve Nait-Said (2004) | Bulanık Mantık | Güneş enerjisi ile çalışan su pompasının PV sistem kontrol mekanizmasının optimizasyonu. | Solar Energy |
| Chan, Wong ve Ding (2004) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Santirfüj bir kan pompası impelleri üzerindeki kayma gerilmesi analizi | Journal of Mechanics in Medicine and Biology |
| Ghoneim (2006) | Matematik Modelleme | Güneş enerjili su pompala sisteminin tasarım optimizasyonu yapılmıştır. | Energy conversion and management |
| Kido ve diğerleri (2006) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Matematiksel Modelleme | Santrifüj kan pompasının hidrolik analizi | Artificial Organs |
| Taner (2007) | Yapay Sinir Ağları | Santrifüj pompaların yapay sinir ağlarıyla tasarımı yapılmıştır. | Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü |
| Da Costa Bortoni, Almeida ve Viana (2008) | Dinamik Sistemler | Paralel santrifüj pompaların optimizasyonu | Energy Efficiency |
| Derakhshan ve Nourbakhsh (2008) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Türbin olarak çalışan bir pompanın ters operasyonda hidrolik analizi yapılmıştır. | Experimental Thermal and Fluid Science |
| Goel, Dorney, Haftka ve Shayy (2008) | Polinom tepki yüzeyi yaklaşımı<br>Krging Model<br>Küresel Duyarlılık Analizi | Difüzörün şekik optimizasyonu yapılmıştır. | Computers & Fluids |
| Zhang, Yang ve Li (2008) | Matematik Modelleme<br>Gradyan Yöntemi<br>Kısmi Diferansiyel Denklemler | Kanat atasarımı kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilmiş, kanat açıları ve geometisi optimizasyonu yapılmıştır. | Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering |
| Anagnostopoulos (2009) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpeller geometrisi optimizasyonu<br>Hidrolik verimde %3'e varan artış sağlanmıştır. | Computers & Fluids |
| Benini ve Cenzon(2009) | Evrim Algoritması | Santrifüj pompa kalibrasyonu ve performans optimizasyonu %1,26 verim artışı sağlanmıştır. | Journal of Power and Energy |
| Kim, Choi, Lee ve Yon (2009) | Tepki Yüzeyi Metodu<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Deney Tasarımı | İmpeller kanat açısı optimizasyonu ile basma yüksekliği %10,46 ve verim %0,26 arttırılmıştır. | International Journal of Fluid Machinery And Systems |
| Betka ve Attali (2010) | Optimal Kontrol Teorisi | Güneş enerjisi ile çalışan su pompasının PV sistem elektrik motorunun optimizasyonu. | Solar Energy |
| Derakhshan, Mohammadi ve Nourbakhsh (2010) | Genetik Algoritma<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Yapay Sinir Ağları<br>Tamamlanmamış Duyarlılık | İmpeller kanatları tasarım optimizasyonu ve yöntemlerin karşılaştırılması. | Computers & Fluids |

Tablo 5.2 devamı

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sakthivel, Sugumaran ve Babudevasenapati (2010) | Bulanık Mantık<br>Yapay Sinir Ağları<br>Karar Ağacı | Pompada titreşim tabanlı arıza tespiti yapılmıştır. | Expert Systems with Applications |
| Schiffmann ve Favrat (2010) | Evrim Algoritması | Isı pompası uygulamasındaki radyal kompressörün impellerinin verimlilik ve menzil optimizasyonu. | Energy |
| Yang ve Børsting (2010) | Karışık-Tamsayılı Doğrusal Olmayan Optimizasyon | Paralel değişken hızdaki pompaların enerji verimliliği sağlayacak şekilde kontrolü. | 49th IEEE Conference |
| Azadeh, Ebrahimipour ve Bavar (2010) | Bulanık Mantık | Pompanın hata tahmini yapılmış ve bakım süreci geliştirilmiştir. | Expert Systems with Applications |
| Ayna (2010) | Genetik Algoritma | Santrifüj pompaların genetik algoritma ile tasarımı. | İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü |
| Jafarzadeh, Hajari, Alishahi ve Akbari (2011) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Matematiksel Modelleme | Pompada türblans modellemesi | Applied Mathematical Modelling |
| Kraeva (2011) | Matematik Modelleme | İmpeller kanatları ve akış yolunun optimizasyonu | Russian Aeronautics |
| Checcucci ve diğerleri (2011) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Yapay Sinir Ağları | Üç ve beş kanatlı iki farklı impeller tasarımı ve bunların sistem verimine etkileri incelenmiştir. | International Journal of Rotating Machinery |
| Mazouz ve Midoun (2011) | Bulanık Mantık | Güneş enerjili bir sistemde DC/DC dönüştürücü optimizasyonu. | International Journal of Electrical Power & Energy Systems |
| Nourbakhsh, Safikhani ve Derakhshan (2011) | Sürü Optimizasyonu<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Yapay Sinir Ağları | Bilgisayar analizi ile elde edilen verim ve NPSHr tasarım optimizasyonu ile arttırılmıştır. | Engineering Optimization |
| Singh ve Nestmann (2011) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpellller geometrisi ve performans tahmini. | Experimental Thermal and Fluid Science |
| Singh ve Nestmann (2011) | Cordier Diagramı | Türbin olarak çalışan pompalarda en uygun operasyon modunu tahmin eden bir optimizasyon rutini çalışılmıştır. | Experimental Thermal and Fluid Science |
| Sun-Sheng, Yu, Hui ve Ling (2011) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Bölücü kanatların türbin olarak kullanılan santirfüj pompanın performansına etkisinin incelenmesi. | International Journal of Rotating Machinery |
| Corrêa, Seleme ve Silva (2012) | Artımlı İletkenlik Algoritması | Güneş enerjisi ile çalışan su pompasının PV sistem elektrik motorunun optimizasyonu. | Renewable Energy |
| Han, Maa, Li ve Li (2012) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Radyal ve eksenel santrifüj pompa yatakların nümerik analizi. | Procedia Engineering |
| Jin, Fan, Han ve Hu (2012) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Matematiksel Modelleme | Hidrolik model tasarım ve analizi | Procedia Engineering |
| Lu, Qi, Wang, Zhou ve Zhou (2012) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Santrifüj bir fanın volütünde sesi azaltmak amacıyla analiz | Journal of Sound and Vibration |
| Sakthivel, Nair ve Sugumaran (2012) | Genetik Algoritma<br>Destekçi Vektör Makinesi<br>Wavelet Genetik Programlama | Santrifüj pompa hata analizinde tekniklerin doğruluk oranları karşılaştırılması | Applied Soft Computing |

Tablo 5.2 devamı

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sakthivel, Sugumaran ve Nair (2012) | Bulanık Mantık<br>Yapay Sinir Ağları<br>Karar Ağacı | Pompada titreşim tabanlı sinyallerden kurallar üreterek arıza tespiti ve tahmini | Applied Soft Computing |
| Cheng ve Li (2012) | Matematik Modelleme<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Vidalı santrifüj pompalarda sayısal simülasyon | Procedia Engineering |
| Rajendran ve Purushothaman (2012) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpellerdeki akışın analizi. | International Journal of Engineering Research & Technology |
| Zhang, Yuan, Yuan, Lu ve Yuan (2012) | Yapay Sinir Ağları<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpeller kanat açıları, volüt boğazı ve bölücü giriş çapları tasarlanmıştır. | Joint Fluids Engineering Conference |
| Amaral ve diğerleri (2013) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Deney Tasarımı | İmpeller ve spiral yiv yatağı geometrisi optimizasyonu. | Artificial Organs |
| Azadeh ve diğerleri (2013) | Yapay Sinir Ağları<br>Sürü Optimizasyonu<br>Genetik Algoritma | Performans tahmini için yöntem karşılaştırılması. | Applied Soft Computing |
| Cellek ve Engin (2013) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Samtrifüj bir çamur pompasının kanatlarının analizi ve optimizasyonu. | Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi |
| Derakhshan, Pourmahdavi, Abdolahnejad, Reihani ve Ojaghi (2013) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Yapay Sinir Ağları<br>Yapay arı Kolonisi | İmpeller geometrisi ve performansı optimizasyonu. Toplam verimde %3,59'luk bir artış elde edilmiştir. | Computers & Fluids |
| Shah, Jain, Patel ve Lakhera (2013) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Santrifüj pompalarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin kullanılması ile ilgili bir inceleme | Procedia Engineering |
| Shi, Zhou, Lui Pei ve Lang (2013) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Farklı impeller çıkış genişliklerinde teorik, nümerik ve deneysel bir çalışma yapılmıştır. | Chinese Journal of Mechanical Engineering |
| Si, Yuan, Yuan ve Wang (2013) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Matris Analizi | Çok kademeli bir pompanın analizi yapılıp, verim optimizasyonu sağlanmıştır. | Journal of Applied Mathematics |
| Ait moussa ve Yunhao (2014) | Küreselleşmiş ve sınırlanmış Nelder-Mead Algoritmaası<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpeller geometrisi optimizasyonu<br>Hidrolik verimde %7,51'e varan artış sağlanmıştır. | Int. Journal of Engineering Research and Applications |
| Bellary, Husain ve Samad (2014) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Tepki Yüzeyi Modeli<br>Kriging Meta-model<br>Genetik Algortima | İmpeller tasarım optimizasyonu. İki farklı model karşılaştırılmış ve Kriging modeli uygun bulunmuş. Basma yüksekliğinde 9,52 m, hidrolik verimde %2,37'llik artış elde edilmiştir. | Journal of Mechanical Science and Technology |
| Kim, Lee, Kim ve Choi (2014) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Deney Tasarımı | Emme performansı ve hidrolik verimi arttırmak için karışık akışlı bir pompanın impellerine optimizasyon çalışması | Mathematical Problems in Engineering |
| Kruyt ve Westra (2014) | İterativ Nümerik Analiz | İmpeller kanat dizaynı ve optimizasyonu | Inverse problems |
| Singh, Zinzuvadia ve Sheth (2014) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Deney Tasarımı | Santrifüj pompa impellerinde uygulanan hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve deney tasarımı tekniklerinin bir incelemesi | International. Journal of Engineering Research and Applications |
| Tan, Zhu, Cao, Bing ve Wang (2014) | Nümerik Simulasyon<br>Hesaplamalı Akışkanlar | Kanat sargı açısının santrifüj pompa performansına etkisinin incelenmesi. | Chinese Journal of Mechanical Engineering. |

Tablo 5.2 devamı

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wu, Lai, Wu ve Wang (2014) | Genetik Algoritma<br>Lagrange Çarpanları Yötemi | Paralel pompa sistemlerinin enerji verimliliğini arttırmak için optimizasyon çalışması yapılmıştır. | Journal of Water Resources Planning and Management |
| Yin ve Wang (2014) | 3 Boyutlu Ters Tasarım Yöntemi | Pompalarda kullanılan "3 Boyutlu Ters Tasarım Yöntemi" ile ilgili bir inceleme. | Chinese Journal of Mechanical Engineering |
| Zhang, Hu, Wu, Zhang ve Chen (2014) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Gemetik Algoritma<br>Evrim Algortiması<br>Kriging Model<br>Monte Carlo Simülasyonu | NPSHr'yi minimuma indirmek ve verimi maksimuma çıkarmak için çok amaçlı optimizasyon uygulaması yapılmış ve simülasyon yazılmıştır. | Advances in Engineering Software |
| Albusaidi ve Pilidis (2015) | Yeni bir iterativ metot | Santrifüj bir kompressörün farklı işletme koşullarında performans tahmini. | Energies |
| Amirante, De Bellis, Distaso ve Tamburrano (2015) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Tek Boyutlu Matematik Model | Difüzörde akış optimizasyonu. | Journal of Mechanics |
| Baloni, Pathak ve Channiwala (2015) | Taguchi Yöntemi<br>Varyans Analizi<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Volüt optimizasyonu | Computers & Fluids |
| Grishin ve Bakunin (2015) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpeller ve volutte akış analizi | Journal of Engineering Physics and Thermophysics |
| Guo, Song, Zhou, Li ve Feng (2015) | Evrim Algoritması<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | İmpeller kanat profili tasarımı. | Journal of Engineering for Gas Turbines and Power |
| Kim ve diğerleri (2015) | Tepki Yüzeyi Metodu<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Volüt ve impeller tasarım optimizasyonu ile %2,67'lik verim artışı | Journal of Mechanical Science and Technology |
| Kim ve diğerleri (2015) | Tepki Yüzeyi Metodu<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Volüt ve impeller tasarım optimizasyonu ile basma yüksekliği 4,1m verim ise %1,2 artmıştır. | Journal of Mechanical Science and Technology |
| Koor, Vassiljiev ve Koppel (2015) | Levenberg–Marquardt Algoritması | Paralel santrifüj pompaların optimizasyonu. | Advances in Engineering Software |
| Miao, Park, Kim ve Ahn (2015) | Sürü Optimizasyonu<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Eksenel akışlı bir pompanın impeller geometrisi optimizasyonu. | Journal of Mechanical Science and Technology |
| Miao, Yang, Shi ve Wang(2015) | Genetik Algoritma<br>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Yapay Sinir Ağları<br>Latin Hiperküp Deneysel Tasarımı | Türbin olarak çalışan bir pompanın kanat profili optimizasyonu | Advances in Mechanical Engineering |
| Su, Tang, Liu ve Qin (2015) | Sürü Optimizasyonu | Dönen ekipmanlar için hata tespiti. | Neurocomputing |
| Xenos ve diğerleri (2015) | Gerçek Zamanlı Optimizasyon | Kimyasal bir tesisteki santrifüj kompresörlerin paralel çalıştırılması ve optimizasyonu | Applied Energy |
| Ardıç (2015) | Yapay Sinir Ağları | Santrifüj pompaların yapay sinir ağları ile performans tahmini. | Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü |
| An ve diğerleri (2016) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği<br>Genetik Algoritma<br>Yapay Sinir Ağları | İmpeller tasarım optimizasyonu. Hidrolik verimde %0,4'lik artış. | Engineering Optimization |

Tablo 5.2 devamı

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cellek ve Engin (2016) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Samtrifüj bir çamur pompasının performansının kanat açılarının optimizasyonu ile arttırılması. | Journal of Thermal Science & Technology |
| Cortinovis ve diğerleri (2016) | Karışık-Tamsayılı Doğrusal Olmayan Optimizasyon | Santrifüj kompresörlerin online performans takibi ve paralel operasyonlarda yük dağılım optimizasyonu. | Computers & Chemical Engineering |
| Heo; Ma, Shim ve Kim (2016) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Matematiksel Modelleme | İmpeller kanat geometrisi optimizasyonu. | Journal of Mechanical Science and Technology |
| Li (2016) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Matematiksel Modelleme | Farklı viskozitede sıvıların kavitasyona, NPSHa ve NPSHr'ye olan etkisinin analizi | Journal of Fluids Engineering |
| Olszewski (2016) | Genetik Algoritma | Dört pompalı bir sistemin paralel operasyonda yük optimizasyonu | Applied Energy |
| Pei, Wang, Yuan ve Zhang (2016) | Latin Hiperküp Örnekleme Sürü Optimizasyonu Deney Tasarımı Kriging Model | Farklı debilerde, kanat açılarının en uygun seçimi için model oluşturulmuş ve optimizasyon yapılmıştır. | Chınese Journal Of Mechanıcal Engıneerıng |
| Wang ve diğerleri (2016) | Latin Hiperküp Örnekleme Genetik Algortima Yüzey Tepki Modeli Radyal Temelli Sinir Ağı | Verimi arttırmak için impeller analizi ve tasarımı yapılarak performans tahmini için yöntemlerin karşılaştırılması. | Journal of Mechanical Science and Technology |
| Wange ve diğerleri (2017) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Santrifüj bir pompanın enerji kayıpları modeli çıkarılmıştır. | Applied Energy |
| Wang, Kong, Xia, Bai ve Wang (2017) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği | Türbin olarak kullanılan pompada kanat giriş açısının en uygun seçimi ile verim artışı sağlanması. | Renewable Energy |
| Lomakin, Chaburko ve Kuleshova (2017) | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği LP-tau Yöntemi | Santrifüj pompada akış optimizasyonu ile verim artışı sağlanması. | Procedia Engineering |

Santrifüj pompalarda optimizasyon tekniklerinin kullanılması konusunda yapılan çalışmalarla son yirmi yıl içerisinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Yapılan yazın taramasında santrifüj pompalarda pek çok değişik tekniğin uygulandığı gözlemlenmiştir. Özellikle son yıllarda önemi artan enerji verimliliği kavramının da etkisi ile verimliliği ve etkinliği arttırmak üzere yapılan yakın tarihli çalışmaların sayısı dikkat çekicidir.

1990'ların sonu ve 2000'li yılların başlarında hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile kavitasyon ve kayma gerilmesi analizleri yapan çalışmalar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Bevilacqua ve diğerleri (2003), sınıflandırma ve karar ağaçları ile hata tahmini ve hata oranı analizi yapmıştır. Yuhki ve diğerleri (1999) yılında spektral güç yoğunluğu analizi ile akış analizi ve optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Benlarbi ve diğerleri (2004), bulanık mantık kullanarak güneş enerjili bir su pompasının kontrol mekanizmasının optimizasyonunu yapmışlardır.

2000'lerin ikinci yarısında hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile birlikte evrim algoritması, yapay sinir ağları gibi teknikler de kullanılmaya başlanmıştır. Yine bu yıllarda birden çok optimizasyon yöntemi kullanan çalışmaların sayısında artış gözlemlenmektedir. Santrifüj pompaların genel tasarım optimizasyonu, hidrolik analizi, paralel yük optimizasyonu ve çark kanat geometrisi düzeltilmesi konularında çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan taramada 2010 yılı ve sonrasında yayınlanan çalışmalar büyük bir çoğunluğa sahiptirler. Bu yıllarda modern optimizasyon tekniklerinin kullanımı sıkça gözlemlenirken, birden çok teknik kullanan ve bu teknikler sonucunda elde edilen bulguları karşılaştıran yayınlar bulunmaktadır. Sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, genetik algoritma, yapay sinir ağlar, evrim algoritması, bulanık mantık ve bu sayılan tekniklere benzer pek çok algoritma çalışmalarda kullanılmıştır. Birçok çalışmada bu algoritmaların yanı sıra matematik modelleme, simülasyon, analiz teknikleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulanarak santrifüj pompalarda çeşitli konularda incelemeler yapılmıştır. 2000'li yılların ikinci yarısında yapılan çalışmaların konuları bu yıllarda da çalışılmıştır. Bu konulara ilaveten güneş enerjisi ile çalışan santrifüj pompa elektrik motoru ve sürücüsü üzerinde iyileştirme çalışmaları, titreşim tabanlı arıza tespiti ve bakım sürecinin iyileştirilmesi, türbülans modellenmesi, performans tahmini, volüt tasarımı ve optimizasyonu, farklı viskozitedeki sıvıların kavitasyon üzerindeki etkisinin analizi gibi konularda çalışmalar yapıldığı saptanmıştır. Tarama sonucunda, santrifüj pompalar üzerinde yapılan çalışmaların kara tesislerine yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Santrifüj pompaların gemilerdeki kullanımı ve optimizasyonuna dair bir literatür boşluğu olduğu görülmektedir. Özellikle kimyasal tankerlerde, farklı yüklerle çalışan santifüj tipte bir pompanın, bu yüklere göre değişen performansının incelendiği ve optimizasyonunun yapıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

# BÖLÜM ALTI
# KİMYASAL TANKERLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN SANTRİFÜJ POMPALAR ÜZERİNDE BİR OPTİMİZASYON ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, kimyasal tankerde yükleme/tahliye operasyonlarında kullanılabilecek yatay tipte, tek kademeli santrifüj tipteki bir pompa için optimizasyon araştırması hedeflenmiştir. Bu kapsamda araştırmanın amacı ve kapsamı, araştırma metodolojisi, araştırma modeli, oluşturulan model, kullanılan optimizasyon yöntemi ve bulgular sırasıyla anlatılacaktır.

## 6.1 Araştırma Amacı ve Kapsamı

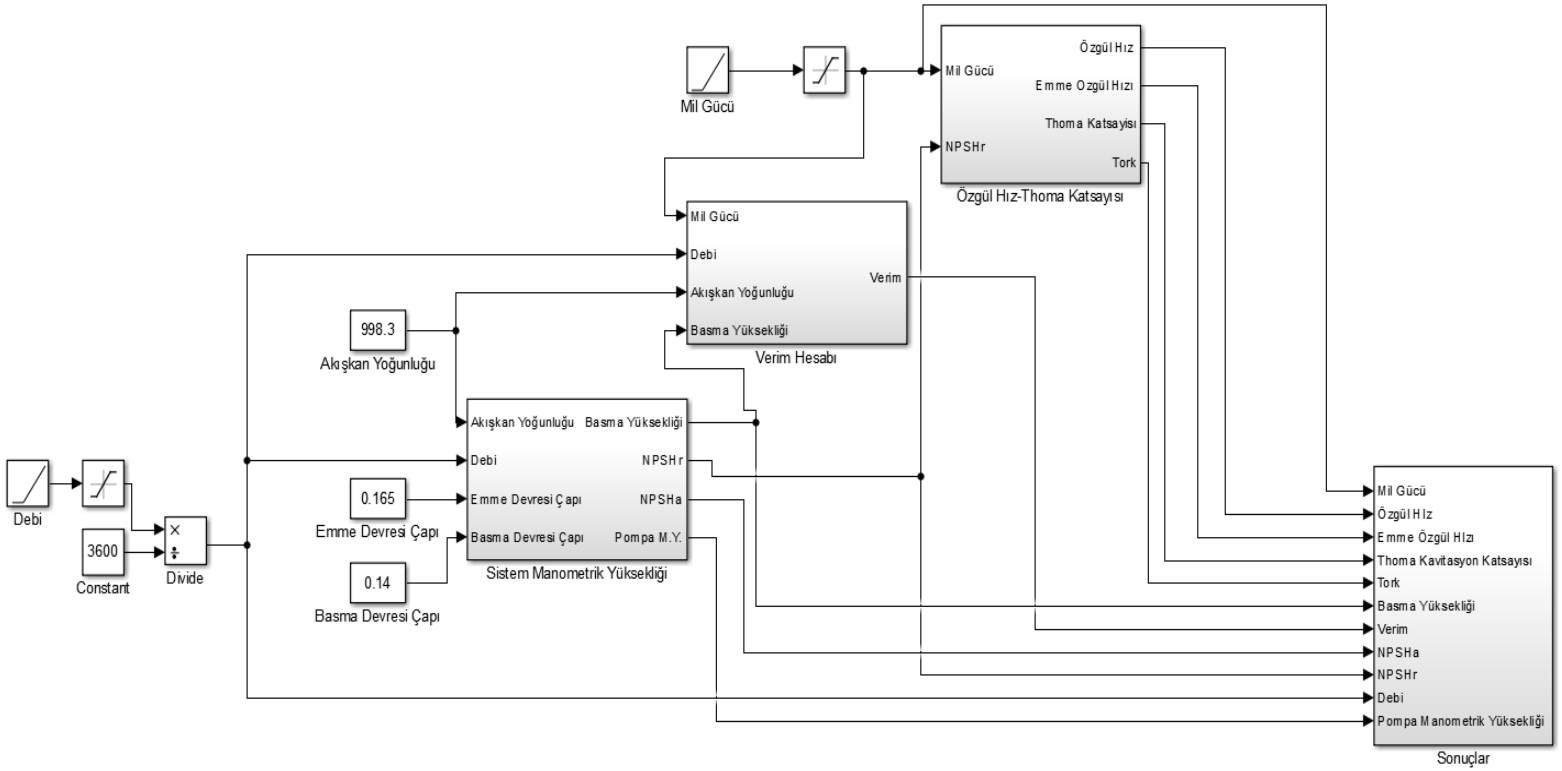
Yapılan yazın taraması sonucunda santrifüj pompalar üzerine çeşitli optimizasyon çalışmaları yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunu pompanın elemanlarının tasarımı üzerine yapılan iyileştirme çalışmaları oluşturmaktadır. Diğer bir yaygın alansa paralel santrifüj pompa operasyonlarında yük optimizasyonudur. Pompaların devre çaplarını, impeller kanat açılarını, volüt veya difüzör tasarımını değiştirerek iyileştirme veya performans tahmini yapan çalışmalar incelenmiştir. Ancak yapılan birçok çalışmanın kara tesisleri baz alınarak ve tek bir akışkan baz alınarak yapıldığı görülmüştür. Günümüzde birçok alanda olduğu gibi deniz taşımacılığında da enerji verimliliğinin önemi artmıştır. Kimyasal tankerler de deniz taşımacılığında önemli yere sahiptirler ve bu gemilerde santrifüj pompalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yükleme/tahliye operasyonlarında farklı tiplerdeki sıvıların işlem görmesinden dolayı, bu çalışmada da kimyasal tankerlerde kullanabilecek santrifüj bir pompa modellenmiştir. Model farklı yoğunluktaki akışkanlarla çalıştırılarak veri setleri elde edilmiştir. Böylelikle farklı yoğunluktaki akışkanlarda pompanın parametreleri gözlemlenmiştir. Kimyasal tankerlere yerleştirilecek pompanın sınırlarının belirlenmesi ve gelecekte inşaa edilecek gemilerin pompalarının daha verimli ve etkin kullanımına fayda sağlaması amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Elde edilen veri setleri, oluşturulan yapay sinir ağında verim tahmini yapmak için kullanılmıştır. Bu çalışmayla da kimyasal tankerlerde seçilecek pompaların testlerinden elde edilecek verilerle, operasyon sırasındaki performansının tahmin edilebileceğini göstermek amaçlanmıştır.

## 6.2 Araştırma Metodolojisi

Yazın taraması ve pompa çalışma prensibinden yola çıkılarak değişkenler belirlenmiştir. Ayrıca modelin matematik alt yapısı için de aynı kaynaklardan faydalanılmıştır. Alınan veriler doğrultusunda MATLAB/Simulink programı vasıtasıyla bir santrifüj pompa modeli oluşturulmuştur. Modelde yapılacak değişiklikler literatürden ve fabrikadan alınan veriler ışığında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra modelden alınan verilerle de yine MATLAB programı yardımıyla yapay sinir ağları uygulaması gerçekleştirilmiştir.

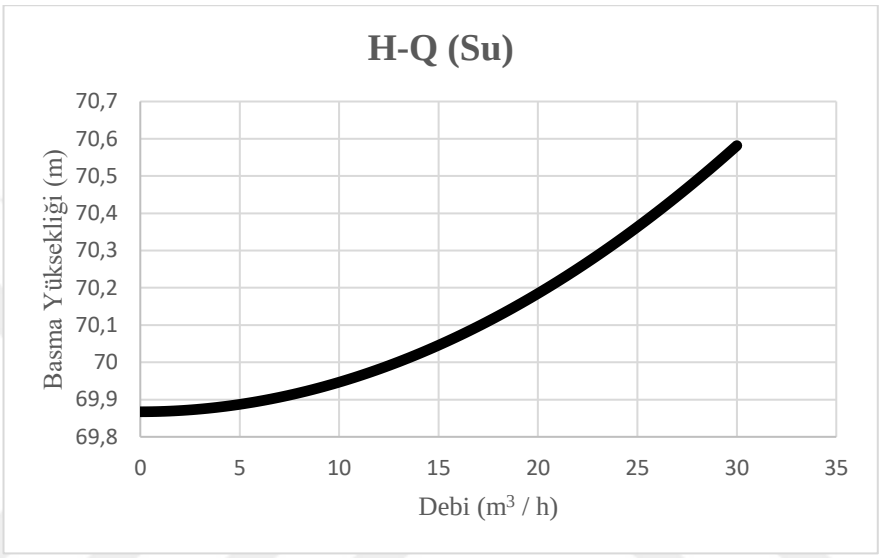
## 6.3 Araştırma Modeli

Gemlik Gübre Sanayi A.Ş.'den Standart SNT 32-250 pompa H-Q, η-Q, P-Q, NPSHr-Q grafiklerinden ve operasyon kayıtlarından alınan verilerle MATLAB/Simulink programı kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Alınan bu veriler basma yüksekliği, debi, güç, devrelerinin konumları, tank boyutları, boru çapları, boru malzemeleri, gösterge basınçları ve basılan sıvıların tahliye sıcaklıklarındaki yoğunluklarıdır. Oluşturulan modelde farklı yoğunluktaki sıvılar kullanılarak elde edilen basma yükseklikleri, verim, NPSHr değişiklikleri ve güç tork eğrisi grafikler halinde sunulmuştur. Kullanılan pompa kimyasal tankerlerde kullanılabilecek boyutta bir santrifüj pompa olup, basılan sıvılar ise gerek kimyasal tankerlerde gerekse fabrikada santrifüj pompalarla tahliye edilen maddelerdir. Bunlar su, %25 amonyak %75 su karışımı, saf sıvılaştırılmış amonyak, %55'lik sulandırılmış nitrik asittir. Değişen basma yüksekliklerine göre optimum debide her sıvı için özgül hız değeri ve emme özgül hızı hesaplanmıştır ve pompanın hangi tipte çalıştığı saptanmıştır. Ayrıca modelden çıktı olarak veriler excel dosyasına yazdırılmış ve her bir sıvı için debiye göre değişim gösteren güç, basma yüksekliği, gerekli net pozitif emme yükü, verim değişimleri ve güce göre tork değişimi grafikler halinde gösterilmiştir. Şekil 6.1'de oluşturulan Simulink modeli görülmektedir.

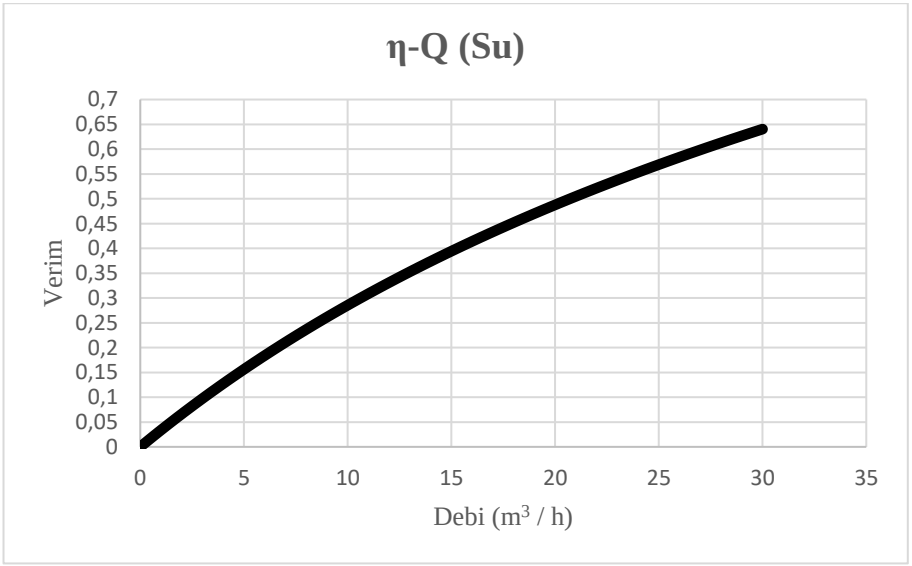



Şekil 6.1 Santrifüj pompa Simulink modeli

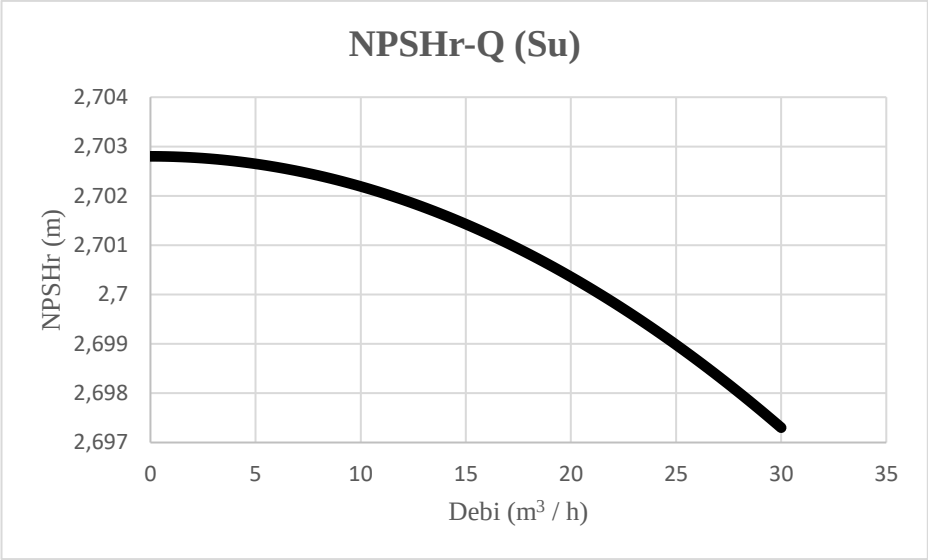
998,3 kg/m$^3$ yoğunluktaki 20 ºC su basıldığı durumda ortaya çıkan pompa karakteristik eğrileri aşağıda gösterilmiştir. Şekil 6.2'de pompanın basma yüksekliği ve debi grafiği, Şekil 6.3'te verim-debi grafiği, Şekil 6.4'te gerekli net pozitif emme yükü ile debi grafiği gösterilmiştir. Optimum debide (15 m$^3$/h) basma yüksekliği 70,045 m, verim değeri 0,394, gerekli net pozitif emme yükü 2,701 m olarak model tarafından hesaplanmıştır.




Şekil 6.2 Su için debi – basma yüksekliği grafiği

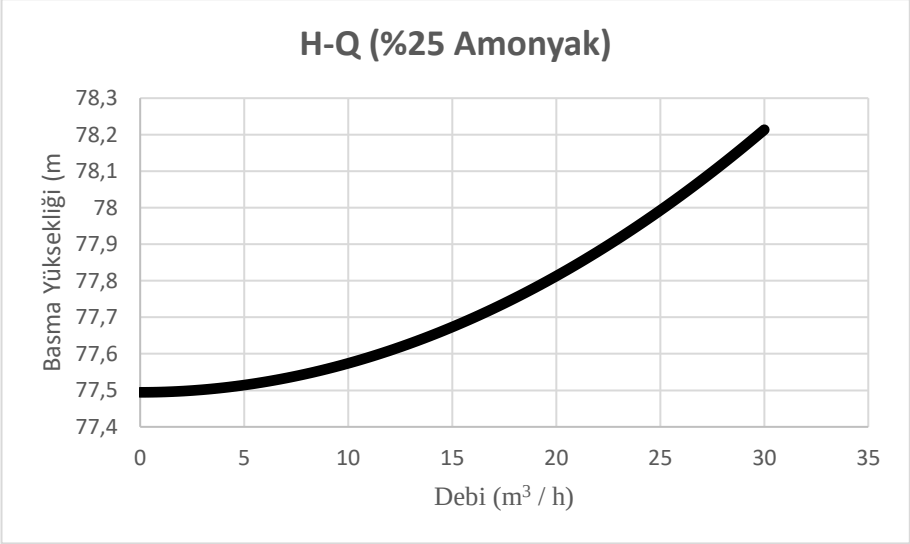



Şekil 6.3 Su için debi – verim grafiği

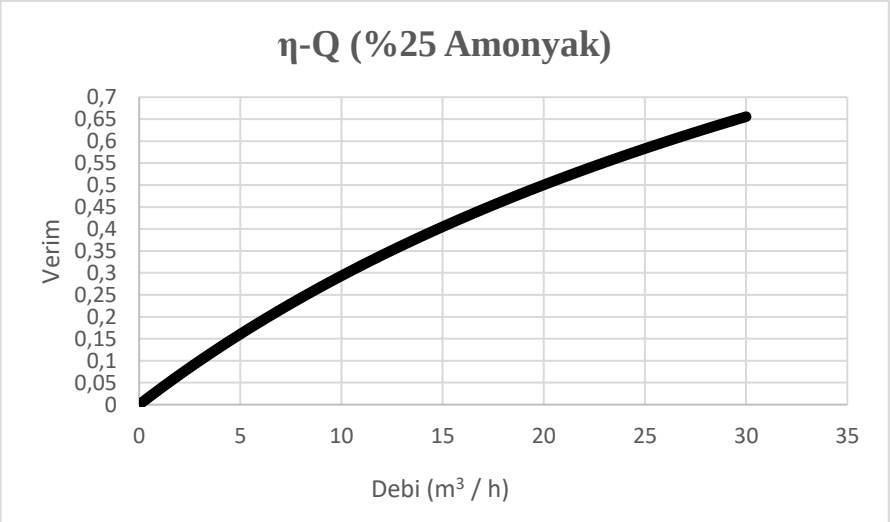



Şekil 6.4 Su için debi – net pozitif emme yükü grafiği

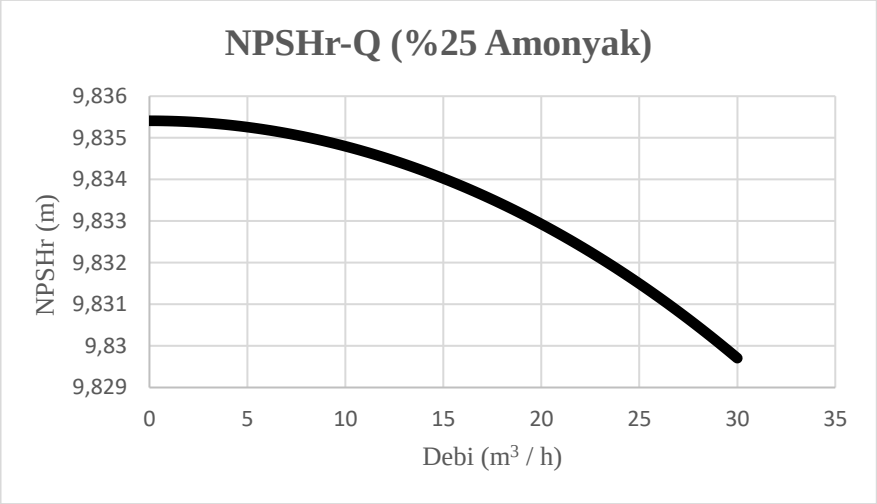
906 kg/m$^3$ yoğunluktaki 20 ºC %25 amonyak %75 su karışımı basıldığı durumda ortaya çıkan pompa karakteristik eğrileri aşağıda gösterilmiştir. Şekil 6.5'te pompanın basma yüksekliği ve debi grafiği, Şekil 6.6'da verim-debi grafiği, Şekil 6.7'de gerekli net pozitif emme yükü ile debi grafiği gösterilmiştir. Optimum debide (15 m$^3$/h) basma yüksekliği 77,673 m, verim değeri 0,396, gerekli net pozitif emme yükü 9,834 m olarak model tarafından hesaplanmıştır.




Şekil 6.5 %25 amonyak için debi-basma yüksekliği grafiği

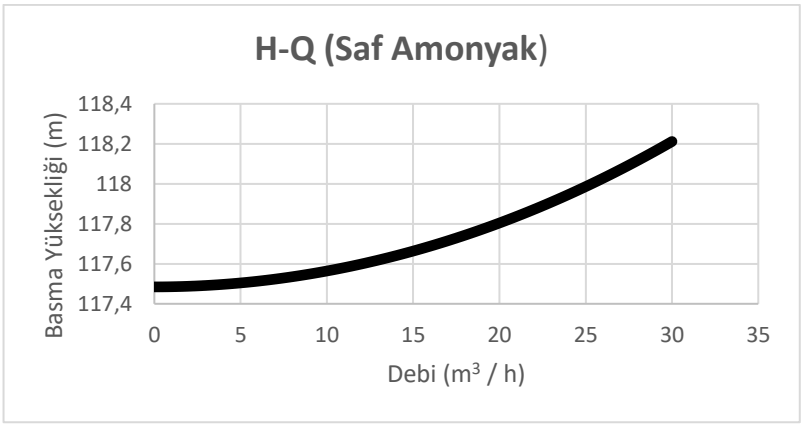



Şekil 6.6 %25 amonyak için debi-verim grafiği

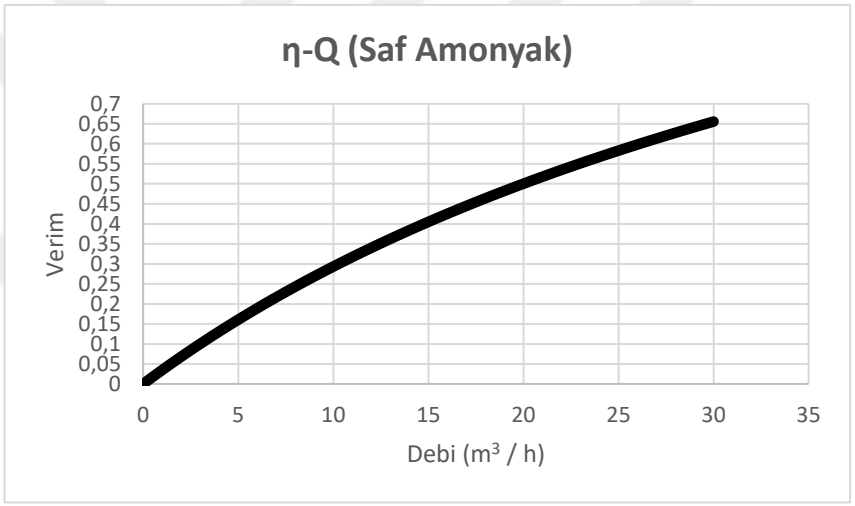



Şekil 6.7 %25 amonyak için debi- net pozitif emme yükü grafiği

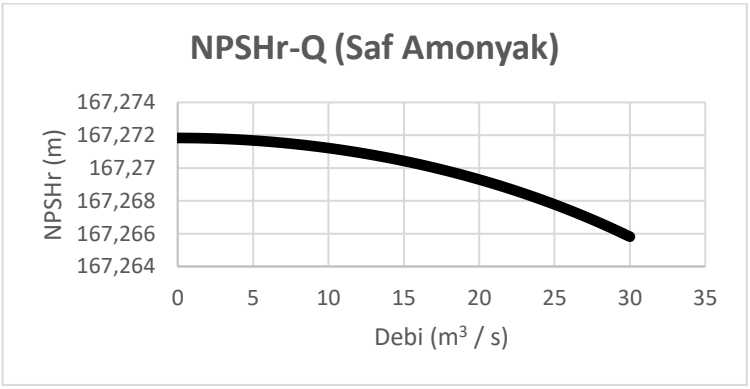
610,2 kg/m$^3$ yoğunluktaki 20 ºC saf sıvı amonyak basıldığı durumda ortaya çıkan pompa karakteristik eğrileri aşağıda gösterilmiştir. Şekil 6.8'de pompanın basma yüksekliği ve debi grafiği, Şekil 6.9'da verim-debi grafiği, Şekil 6.10'da gerekli net pozitif emme yükü ile debi grafiği gösterilmiştir. Optimum debide (15 m$^3$/h) basma yüksekliği 117,663 m, verim değeri 0,404, gerekli net pozitif emme yükü 167,27 m olarak model tarafından hesaplanmıştır.




Şekil 6.8 Saf amonyak için debi-basma yüksekliği grafiği

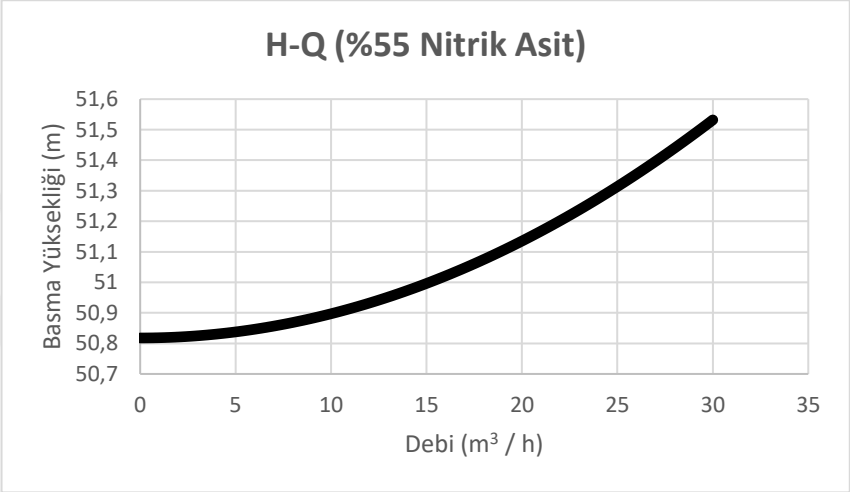



Şekil 6.9 Saf amonyak için debi-verim grafiği

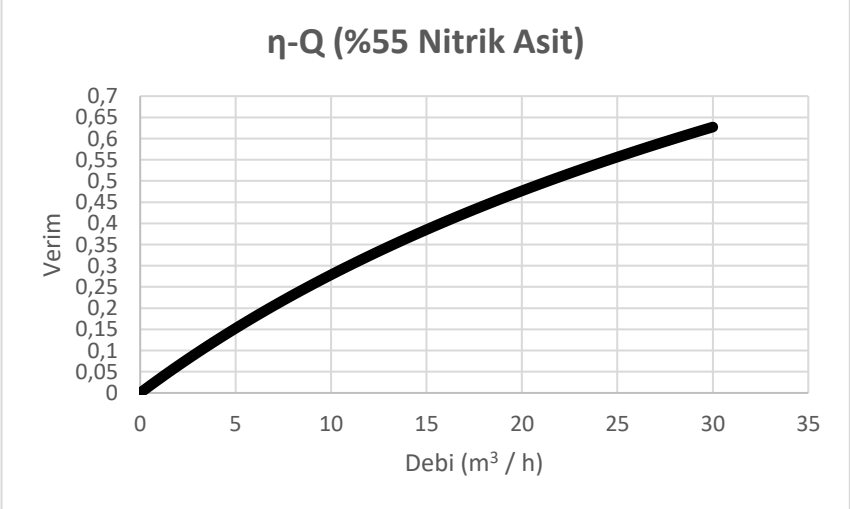



Şekil 6.10 Saf amonyak için debi- net pozitif emme yükü grafiği

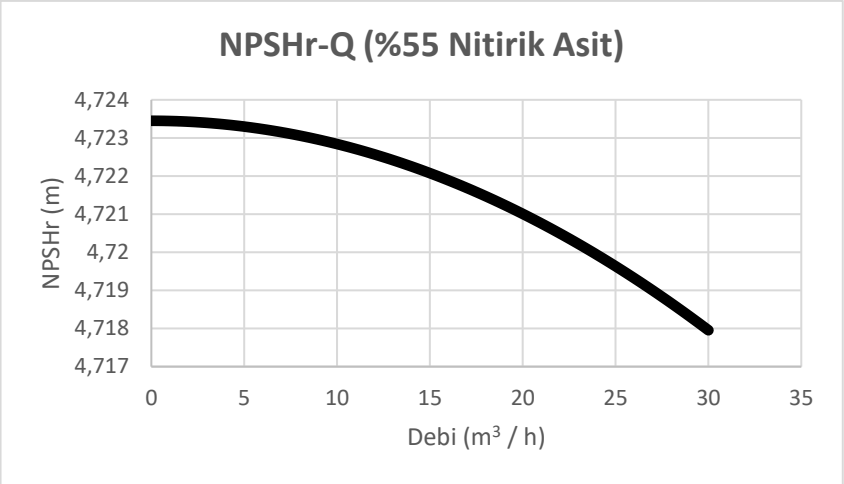
1339 kg/$m^3$ yoğunluktaki 20 $^oC$ %55 nitrik asit %45 su karışımı basıldığı durumda ortaya çıkan pompa karakteristik eğrileri aşağıda gösterilmiştir. Şekil 6.11'de pompanın basma yüksekliği ve debi grafiği, Şekil 6.12'de verim-debi grafiği, Şekil 6.13'te gerekli net pozitif emme yükü ile debi grafiği gösterilmiştir. Optimum debide (15 $m^3$/h) basma yüksekliği 50,996 m, verim değeri 0,385, gerekli net pozitif emme yükü 4,722 m olarak model tarafından hesaplanmıştır.




Şekil 6.11 %55 nitrik asit için debi-basma yüksekliği grafiği

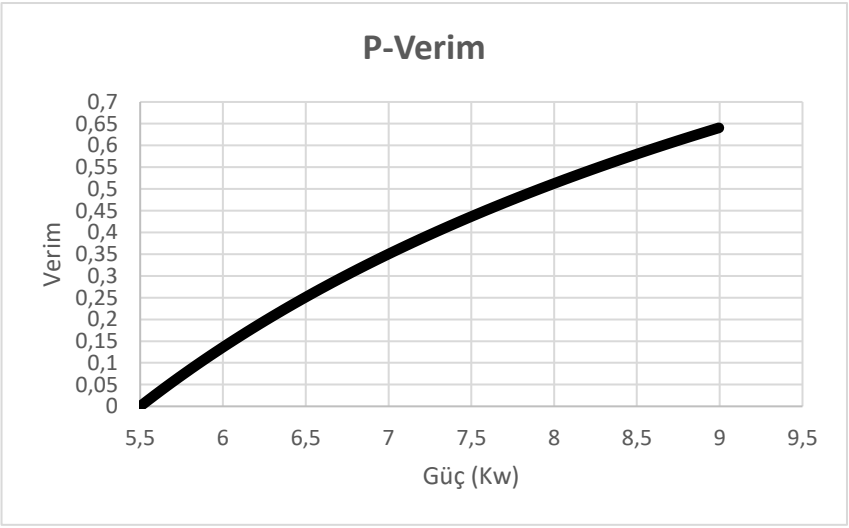



Şekil 6.12 %55 nitrik asit için debi-verim grafiği

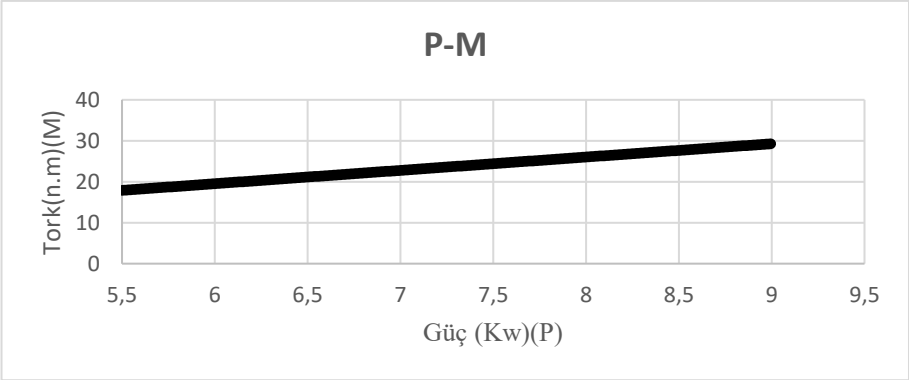



Şekil 6.13 %55 nitrik asit için debi- net pozitif emme yükü grafiği

Pompanın güç-verim, güç-tork grafikleri, pompa su basmak için tasarlandığı için suya göre çıkarılmıştır. Şekil 6.14'te güç-verim, Şekil 6.15'te güç-tork grafiği gösterilmiştir. Ayrıca yine seçilen dört farklı sıvı için modelde özgül hızlar hesaplanmıştır. Tablo 6.1'de de basılan sıvıya göre hesaplanan özgül hız ve emme özgül hızı değerleri gösterilmiştir. Dört sıvı için de özgül hız değeri 10-40 arasında çıktığı için pompa her durum için tam santrifüj olarak çalışmaktadır (Demirel ve Er, 2007).




Şekil 6.14 Güç-verim grafiği




Şekil 6.15 Güç-tork grafiği

Tablo 6.1 Özgül hız, emme özgül hızı, pompa tipi

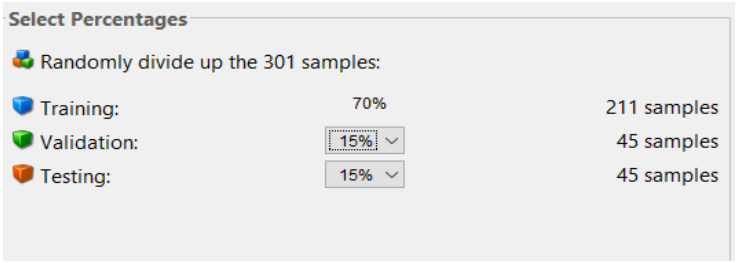
| **Sıvı Tipi** | **Yoğunluk (kg/m3)** | **Özgül Hız** | **Emme Özgül Hızı** | **Çalışma Şekli** |
|---|---|---|---|---|
| Su | 998,3 | 24,8547 | 285,5682 | Tam Santrifüj |
| %25 Amonyak + %75 Su | 906 | 22,9835 | 108.3472 | Tam Santrifüj |
| Saf Amonyak (Sıvı) | 610,2 | 16,8325 | 12,9321 | Tam Santrifüj |
| %55 Nitrik Asit + %45 Su | 1339 | 31,4714 | 187,7752 | Tam Santrifüj |

Oluşturulan Simulink modelinde Tablo 6.1'de görülen farklı yoğunluklardaki akışkanlar kullanılarak model çalıştırılmıştır. Dört akışkan için de pompa tam santrifüj şekilde çalışmaktadır. Beklenildiği gibi basma yüksekliği değerleri yoğunluklarla ters orantı göstermiştir. Gerekli net pozitif emme yükü değerleri ise saf amonyak haricinde, gemi koşullarına uygun değerler çıkmıştır. Saf amonyak basılması durumunda gerekli net pozitif emme yükü fazlaca artacağı için pompada kavitasyon oluşma olasılığı yüksektir. Bu sebeplerden dolayı da fabrikada da saf amonyak basılamayıp %25'lik amonyak su karışımı tercih edilmektedir.

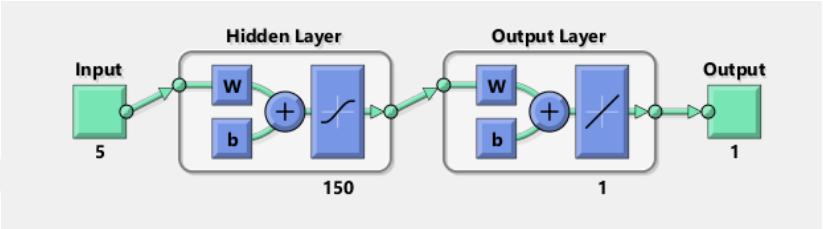
## 6.4 Yapay Sinir Ağları Modeli

MATLAB/ Simulink programı vasıtasıyla oluşturulan model yukarıda daha önce belirtilen ve eğrileri çizdirilen dört sıvı ile çalıştırılmış ve dört farklı veri seti elde edilmiştir. Bu veri setleri ile yapay sinir ağları uygulaması yapılmıştır. Yapay sinir ağlarında; ağın en önemli bileşenleri katman ve nöron sayılarıdır. İdeal sayıları bulmak için farklı katman ve nöron sayıları ile denemeler yapılmalıdır (Öztemel, 2016; Köseoğlu, 2015). Benzer çalışmalar tarandığı zaman, nöron sayısının değişkenlik

gösterdiği, katman sayısının çoğunlukla tek katman olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da en iyi öğrenme ve yüksek tahmin oranlarına ulaşmak adına farklı nöron sayıları ve katman sayıları denenmiştir. Denemeler sonucunda nöron sayısı 150, olan tek katmanlı ağın en iyi doğruluk değerine ulaştığı görülmüştür. Ağa girdi olarak debi (Q), basma yüksekliği (H), mil gücü (Pm), gerekli net pozitif emme yükü (NPSHr) ve tork (M) gösterilmiştir. Girdiler literatürdeki benzer çalışmalardan ve matematik modeldeki ilişkilerden faydalanarak belirlenmiştir. Çıktı olarak da ağdan verim (η) tahmini yapması istenmiştir. Veri setleri 0 ile 1 arasındaki değerlere çevrilerek, veri normalizasyonu yapılmıştır. Böylelikle veri seti YSA uygulamasına hazır hale gelmiştir. YSA oluşturmak için MATLAB R2016b 'de Neural Networks Fitting Tool 9.0 (nftool) paket programı kullanılmıştır. Modelde birer tane giriş, gizli ve çıkış katmanı vardır. Giriş katmanında 5, gizli katmanda 150, çıkış katmanında ise bir nöron bulunmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağı kullanılmış olup danışmalı öğrenme gerçekleştirilmiştir. Bu ağlarda, bir katmandaki hücrenin çıkışı diğer katmana giriş olarak verilir. Giriş katmanında, dışarıdan gelen bilgilere herhangi bir değişiklik uygulanmaz. Veri ara ve çıkış katmanında işlenir (Alataş, 2003; Köseoğlu, 2015). Eğitim algoritması olarak önceki bölümde bahsedilen Levenberg-Marguardt algoritması (trainlm) bu tarz çalışmalardaki yaygın kullanımında dolayı seçilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) kullanılmıştır. Sigmoid fonksiyonu yapay sinir ağlarında sıkça kullanılan bir fonksiyondur. Hiperbolik tanjant ise MATLAB programında hazır olarak sunulmuş olup sık kullanımından dolayı seçilmiştir. Çıkış katmanında ise yine nftool yazılımının içerisinde hazır gelen doğrusal transfer fonksiyonu (purelin) kullanılmıştır. Bu fonksiyon benzer çalışmalarda verimli sonuçlar verdiği için seçilmiştir. Performans fonksiyonu olarak ortalama hata kareleri (MSE) seçilmiştir. MSE değerinin küçük olması demek hatanın az olduğunu göstermektedir (Allen, 1971). Şekil 6.16'da MATLAB 2016Rb 'de seçilen eğitim, doğrulama ve test işlemleri için oranlar gösterilmiştir. Seçilen oranlar denemeler sonucu bulunmuş olup, yüksek tahmin oranı, test ve doğrulama verilerinin fazlalığı göz önünde bulundurularak karar verilmiştir. Şekil 6.17'de ise aynı yazılımda oluşturulan ağın mimarisi gösterilmiştir.




Şekil 6.16 YSA eğitim, doğrulama ve test oranları




Şekil 6.17 Çalışmadaki YSA mimarisi

## 6.5 Bulgular

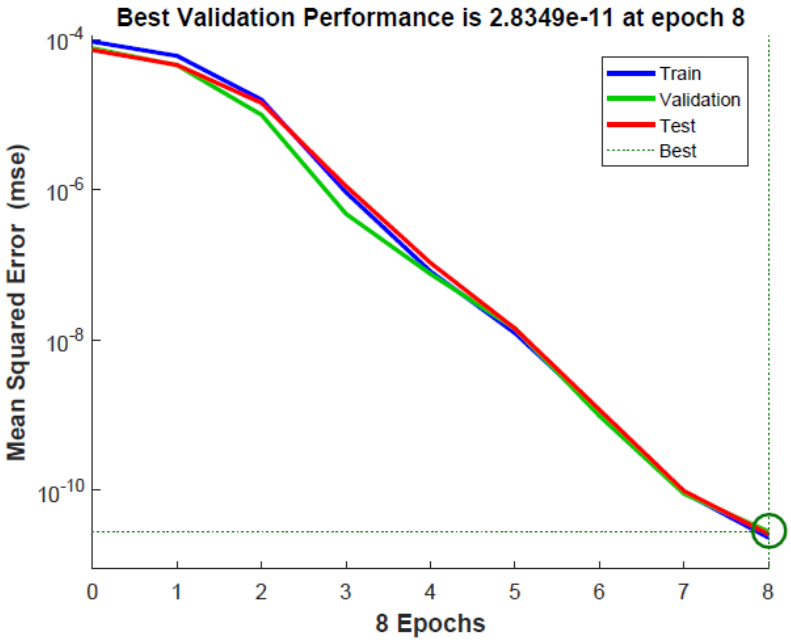
Dört veri seti için Şekil 6.17'de gösterilen ağ eğitilmiştir ve ağdan verim tahminleri yapması istenmiştir. Bu bölümde dört durum için yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı grafikleri, hata oranları ve yapay sinir ağlarının verim tahminleri ve regresyon analizleri gösterilmiştir.

Pompada 998,3 kg/m$^3$ yoğunluktaki su basıldığı zaman modelden elde edilen girdiler (debi, basma yüksekliği, gerekli net pozitif emme yükü, güç, tork) ve çıktı (verim) değerleri oluşturulan ağda çalıştırıldığında ağın yaptığı tahminler ve hatalar Tablo 6.2'de gösterilmiştir. Hataların ortalama standart sapması 0,004153'tür. Bu değer de ortalama %0,4153'lük bir verim sapmasına denk gelmektedir. İki değişken arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için kullanılan korelasyon katsayısı (R) da 0,99957 olarak hesaplanmıştır. $R^2$ değeri de 0,99914 bulunmuştur. Korelasyon katsayısının karesi ($R^2$) bire ne kadar yakınsa ilişki o kadar kuvvetlidir. (Bluman, 2000). Şekil 6.18'de yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata değişim grafiği gösterilmiştir. Şekilde değerlerin doğrulama değerlerine (validation) paralel olduğu ve sekiz yaklaşımda (epoch) doğruluk eğrisinin en yüksek olduğu görülmektedir. Ayrı

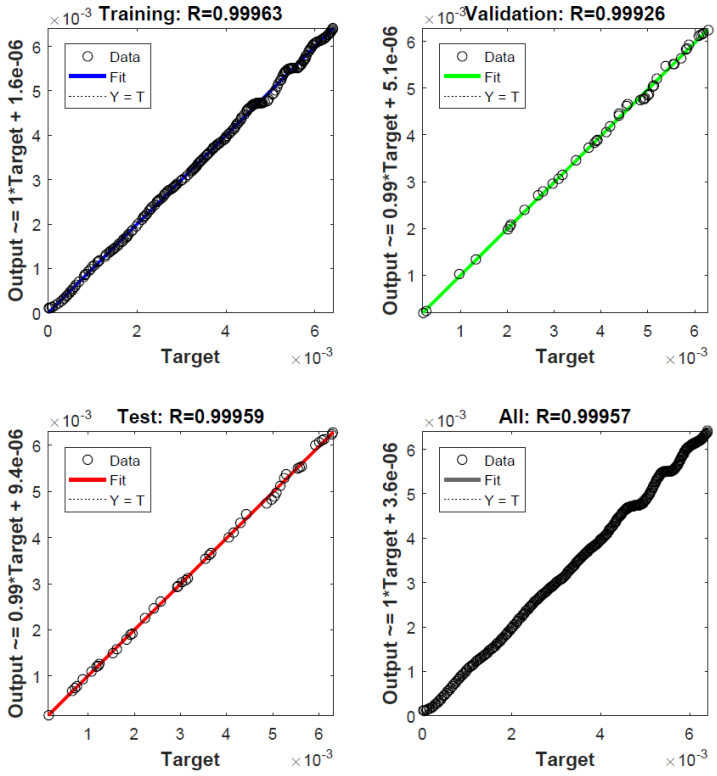
ayrı eğitim (training) , doğrulama (validation) , test verilerinin ve tüm veri setinin regresyon analizi grafikleri de Şekil 6.19'da gösterilmiştir. Şekil 6.20'de ise YSA'nın tahmin ettiği verimler ile gerçek verim değerlerinin karşılaştırıldığı grafik gösterilmiştir.

Tablo 6.2 Su basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri

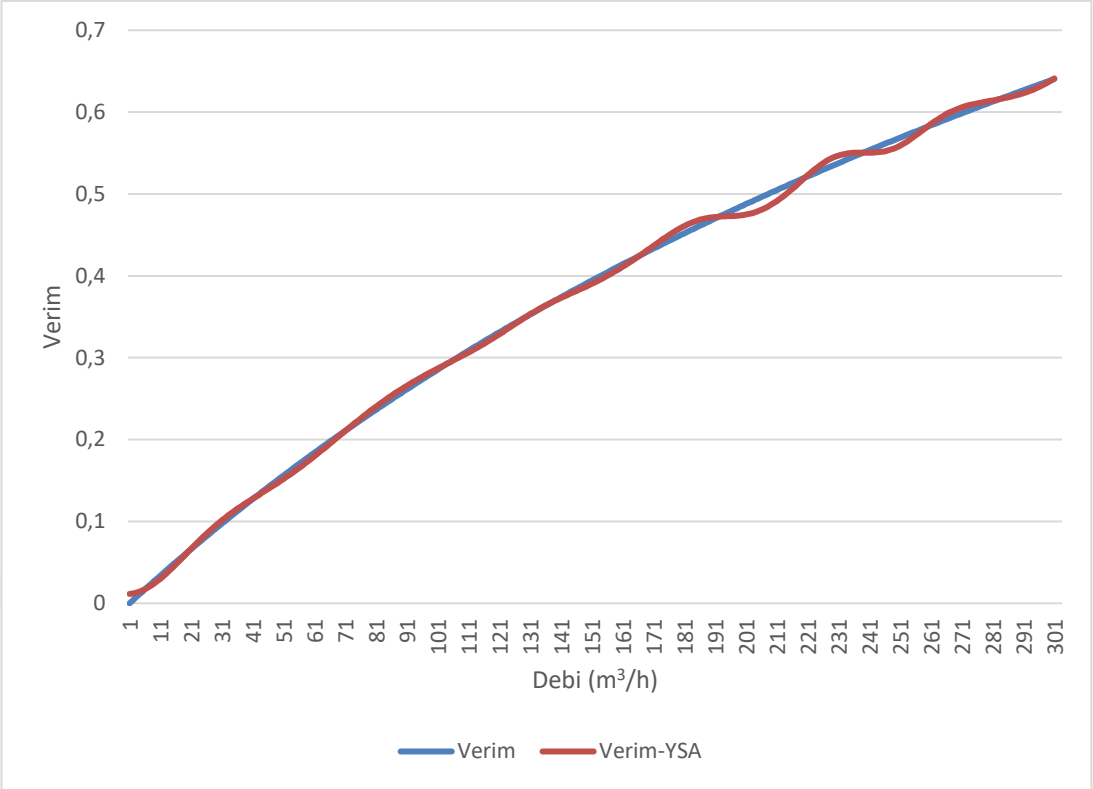
| Q (m3 / h) | Hm (m) | NPSHr (m) | Pm (Kw) | Tork (N.m) | Verim | Verim-YSA | Hata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 69,8673 | 2,7028 | 5,5000 | 17,8942 | 0,0000 | 0,0115 | -0,0115 |
| 1 | 69,8681 | 2,7028 | 5,6165 | 18,2732 | 0,0338 | 0,0300 | 0,0038 |
| 2 | 69,8705 | 2,7028 | 5,7330 | 18,6523 | 0,0663 | 0,0666 | -0,0003 |
| 3 | 69,8745 | 2,7027 | 5,8495 | 19,0313 | 0,0975 | 0,1014 | -0,0039 |
| 4 | 69,8800 | 2,7027 | 5,9660 | 19,4103 | 0,1275 | 0,1279 | -0,0004 |
| 5 | 69,8872 | 2,7026 | 6,0825 | 19,7894 | 0,1563 | 0,1520 | 0,0043 |
| 6 | 69,8959 | 2,7026 | 6,1990 | 20,1684 | 0,1840 | 0,1798 | 0,0043 |
| 7 | 69,9062 | 2,7025 | 6,3155 | 20,5474 | 0,2108 | 0,2106 | 0,0001 |
| 8 | 69,9181 | 2,7024 | 6,4320 | 20,9265 | 0,2366 | 0,2404 | -0,0038 |
| 9 | 69,9316 | 2,7023 | 6,5485 | 21,3055 | 0,2615 | 0,2659 | -0,0044 |
| 10 | 69,9467 | 2,7022 | 6,6650 | 21,6845 | 0,2855 | 0,2869 | -0,0014 |
| 11 | 69,9634 | 2,7021 | 6,7815 | 22,0636 | 0,3087 | 0,3064 | 0,0023 |
| 12 | 69,9816 | 2,7019 | 6,8980 | 22,4426 | 0,3312 | 0,3288 | 0,0024 |
| 13 | 70,0014 | 2,7018 | 7,0145 | 22,8216 | 0,3529 | 0,3532 | -0,0003 |
| 14 | 70,0229 | 2,7016 | 7,1310 | 23,2007 | 0,3740 | 0,3732 | 0,0008 |
| 15 | 70,0459 | 2,7014 | 7,2475 | 23,5797 | 0,3944 | 0,3903 | 0,0040 |
| 16 | 70,0705 | 2,7012 | 7,3640 | 23,9587 | 0,4142 | 0,4112 | 0,0030 |
| 17 | 70,0967 | 2,7010 | 7,4805 | 24,3377 | 0,4334 | 0,4368 | -0,0034 |
| 18 | 70,1245 | 2,7008 | 7,5970 | 24,7168 | 0,4520 | 0,4609 | -0,0089 |
| 19 | 70,1538 | 2,7006 | 7,7135 | 25,0958 | 0,4701 | 0,4720 | -0,0019 |
| 20 | 70,1848 | 2,7004 | 7,8300 | 25,4748 | 0,4877 | 0,4748 | 0,0129 |
| 21 | 70,2173 | 2,7001 | 7,9465 | 25,8539 | 0,5048 | 0,4915 | 0,0133 |
| 22 | 70,2514 | 2,6998 | 8,0630 | 26,2329 | 0,5214 | 0,5229 | -0,0014 |
| 23 | 70,2872 | 2,6996 | 8,1795 | 26,6119 | 0,5377 | 0,5471 | -0,0094 |
| 24 | 70,3245 | 2,6993 | 8,2960 | 26,9910 | 0,5534 | 0,5505 | 0,0029 |
| 25 | 70,3633 | 2,6990 | 8,4125 | 27,3700 | 0,5688 | 0,5591 | 0,0097 |
| 26 | 70,4038 | 2,6987 | 8,5290 | 27,7490 | 0,5838 | 0,5855 | -0,0016 |
| 27 | 70,4459 | 2,6983 | 8,6455 | 28,1281 | 0,5985 | 0,6058 | -0,0073 |
| 28 | 70,4895 | 2,6980 | 8,7620 | 28,5071 | 0,6128 | 0,6143 | -0,0015 |
| 29 | 70,5348 | 2,6977 | 8,8785 | 28,8861 | 0,6267 | 0,6231 | 0,0037 |
| 30 | 70,5816 | 2,6973 | 8,9950 | 29,2652 | 0,6404 | 0,6411 | -0,0007 |




Şekil 6.18 Su basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi




Şekil 6.19 Su basıldığı durumda ağın regresyon analizi

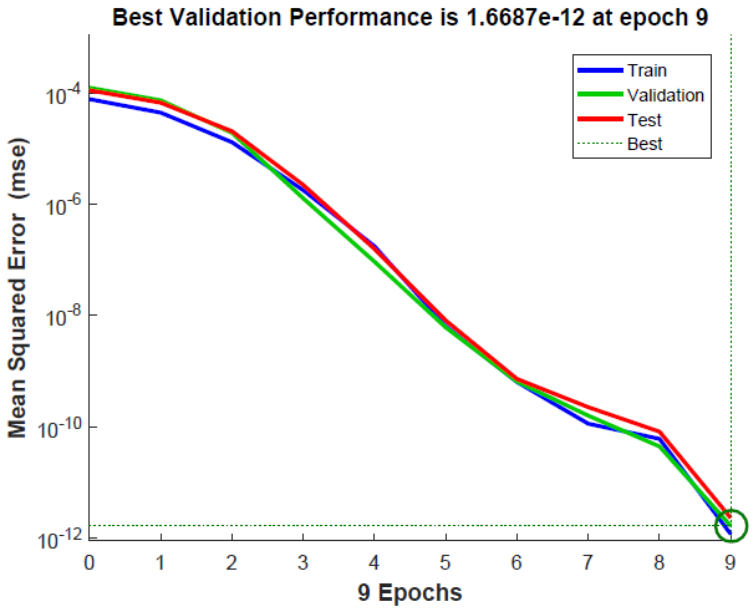



Şekil 6.20 Su basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

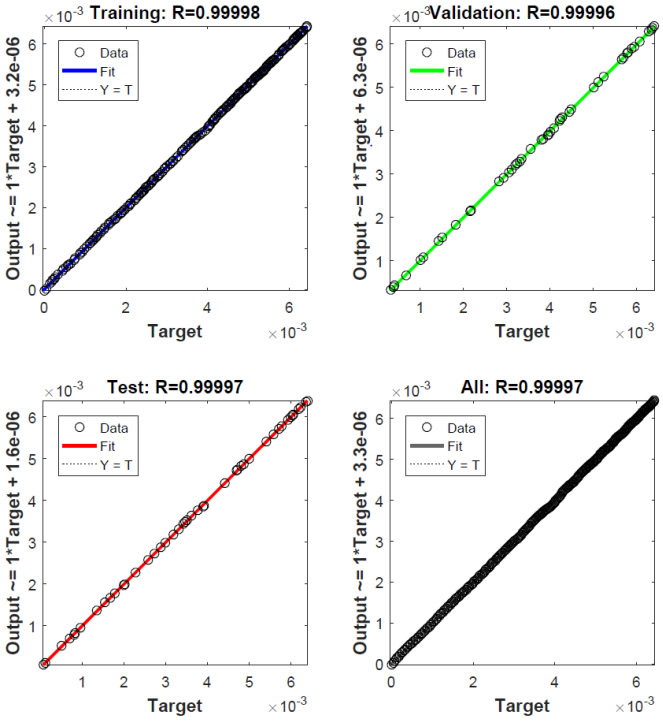
Pompada 906 kg/m$^3$ yoğunluktaki %25 amonyak %75 su karışımı basıldığı zaman ağın yaptığı tahminler ve hatalar Tablo 6.3'te gösterilmiştir. Hataların ortalama standart sapması 0,000993'tür. Bu da verimde ortalama %0,0993'lük bir sapma demektir. R katsayısı da 0,99997 olarak ve $R^2$ değeri de 0,99994 bulunmuştur. Şekil 6.21'de yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata grafiği gösterilmiştir. Şekilde değerlerin doğrulamaya (validation) paralel ilerlediği ve dokuz yaklaşımda (epoch) doğruluğu sağladığı görülmektedir. Eğitim, doğrulama ve test değerlerinin regresyon analizi grafikleri de Şekil 6.22'de gösterilmiştir. Şekil 6.23'te ise YSA'nın tahmin ettiği verimler ile gerçek verim değerlerinin karşılaştırıldığı grafik gösterilmiştir.

Tablo 6.3 %25 amonyak basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri

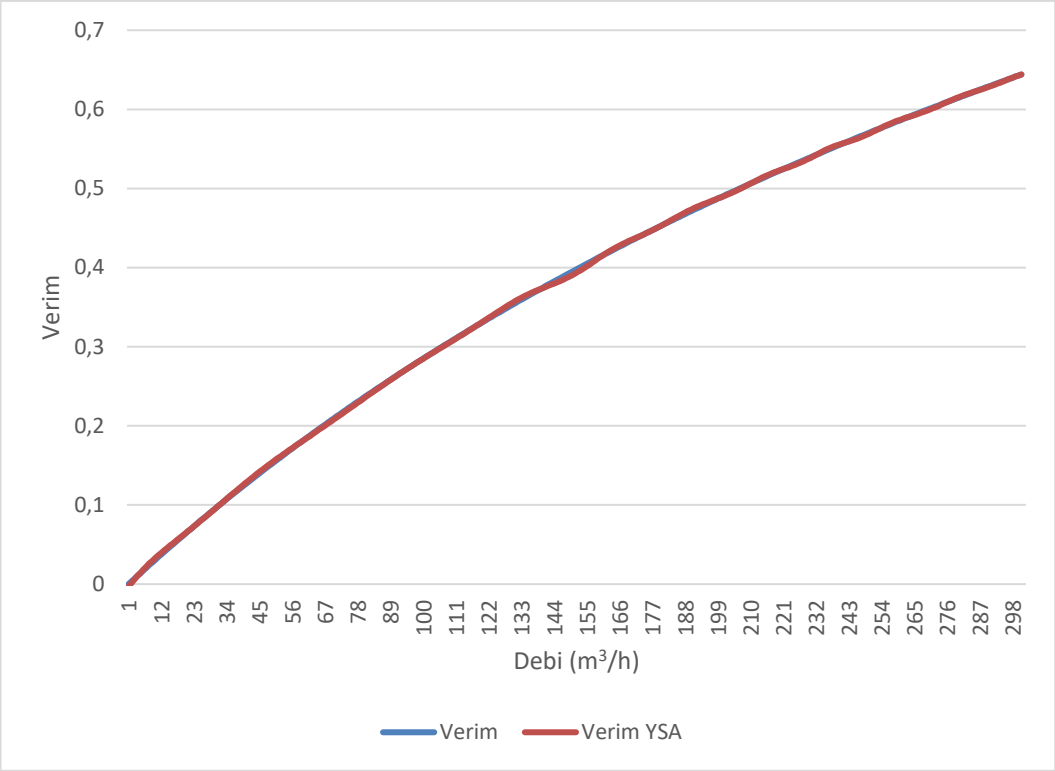
| Q ($m^3$/sa) | H (m) | NPSHr (m) | Pm (Kw) | Tork (N.m) | Verim | YSA Verim Tahmini | Hata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 77,4945 | 9,8354 | 5,5000 | 17,8942 | 0,0000 | -0,0032 | 0,0032 |
| 1 | 77,4953 | 9,8354 | 5,6165 | 18,2732 | 0,0341 | 0,0362 | -0,0022 |
| 2 | 77,4977 | 9,8354 | 5,7330 | 18,6523 | 0,0667 | 0,0668 | -0,0001 |
| 3 | 77,5017 | 9,8354 | 5,8495 | 19,0313 | 0,0981 | 0,0981 | 0,0000 |
| 4 | 77,5072 | 9,8353 | 5,9660 | 19,4103 | 0,1283 | 0,1299 | -0,0016 |
| 5 | 77,5144 | 9,8353 | 6,0825 | 19,7894 | 0,1573 | 0,1587 | -0,0014 |
| 6 | 77,5231 | 9,8352 | 6,1990 | 20,1684 | 0,1852 | 0,1848 | 0,0004 |
| 7 | 77,5334 | 9,8351 | 6,3155 | 20,5474 | 0,2122 | 0,2107 | 0,0015 |
| 8 | 77,5454 | 9,8350 | 6,4320 | 20,9265 | 0,2381 | 0,2371 | 0,0010 |
| 9 | 77,5589 | 9,8349 | 6,5485 | 21,3055 | 0,2632 | 0,2630 | 0,0002 |
| 10 | 77,5740 | 9,8348 | 6,6650 | 21,6845 | 0,2873 | 0,2872 | 0,0002 |
| 11 | 77,5906 | 9,8347 | 6,7815 | 22,0636 | 0,3107 | 0,3101 | 0,0006 |
| 12 | 77,6089 | 9,8345 | 6,8980 | 22,4426 | 0,3333 | 0,3340 | -0,0007 |
| 13 | 77,6288 | 9,8344 | 7,0145 | 22,8216 | 0,3552 | 0,3578 | -0,0026 |
| 14 | 77,6503 | 9,8342 | 7,1310 | 23,2007 | 0,3764 | 0,3754 | 0,0010 |
| 15 | 77,6734 | 9,8340 | 7,2475 | 23,5797 | 0,3969 | 0,3923 | 0,0045 |
| 16 | 77,6980 | 9,8338 | 7,3640 | 23,9587 | 0,4168 | 0,4170 | -0,0002 |
| 17 | 77,7243 | 9,8336 | 7,4805 | 24,3377 | 0,4361 | 0,4368 | -0,0007 |
| 18 | 77,7522 | 9,8334 | 7,5970 | 24,7168 | 0,4548 | 0,4551 | -0,0003 |
| 19 | 77,7817 | 9,8332 | 7,7135 | 25,0958 | 0,4730 | 0,4751 | -0,0021 |
| 20 | 77,8128 | 9,8329 | 7,8300 | 25,4748 | 0,4907 | 0,4902 | 0,0005 |
| 21 | 77,8456 | 9,8327 | 7,9465 | 25,8539 | 0,5079 | 0,5082 | -0,0003 |
| 22 | 77,8799 | 9,8324 | 8,0630 | 26,2329 | 0,5246 | 0,5246 | 0,0000 |
| 23 | 77,9159 | 9,8321 | 8,1795 | 26,6119 | 0,5409 | 0,5404 | 0,0005 |
| 24 | 77,9535 | 9,8318 | 8,2960 | 26,9910 | 0,5568 | 0,5571 | -0,0003 |
| 25 | 77,9927 | 9,8315 | 8,4125 | 27,3700 | 0,5722 | 0,5714 | 0,0009 |
| 26 | 78,0336 | 9,8312 | 8,5290 | 27,7490 | 0,5873 | 0,5879 | -0,0006 |
| 27 | 78,0761 | 9,8308 | 8,6455 | 28,1281 | 0,6020 | 0,6009 | 0,0011 |
| 28 | 78,1203 | 9,8305 | 8,7620 | 28,5071 | 0,6163 | 0,6169 | -0,0006 |
| 29 | 78,1661 | 9,8301 | 8,8785 | 28,8861 | 0,6303 | 0,6297 | 0,0006 |
| 30 | 78,2136 | 9,8297 | 8,9950 | 29,2652 | 0,6440 | 0,6441 | -0,0001 |




Şekil 6.21 %25 amonyak basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi




Şekil 6.22 %25 amonyak basıldığı durumda ağın regresyon analizi

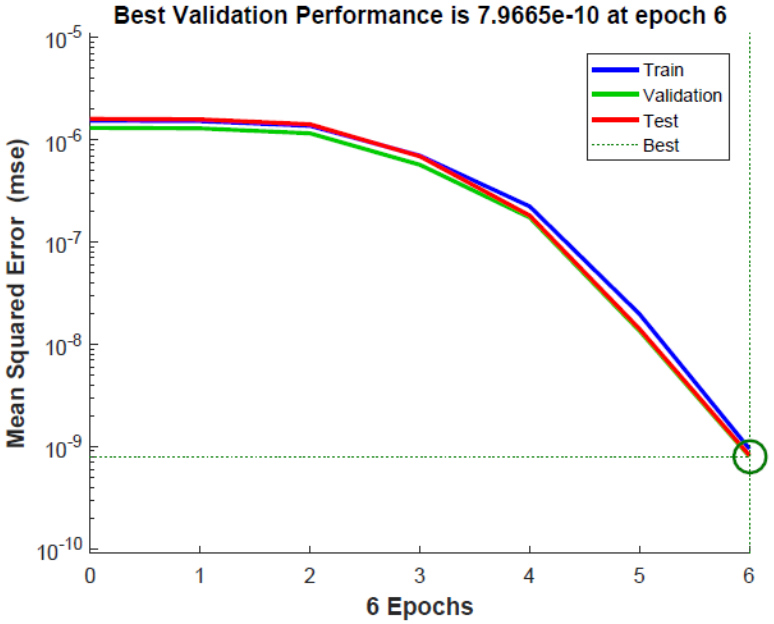



Şekil 6.23 %25 amonyak basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

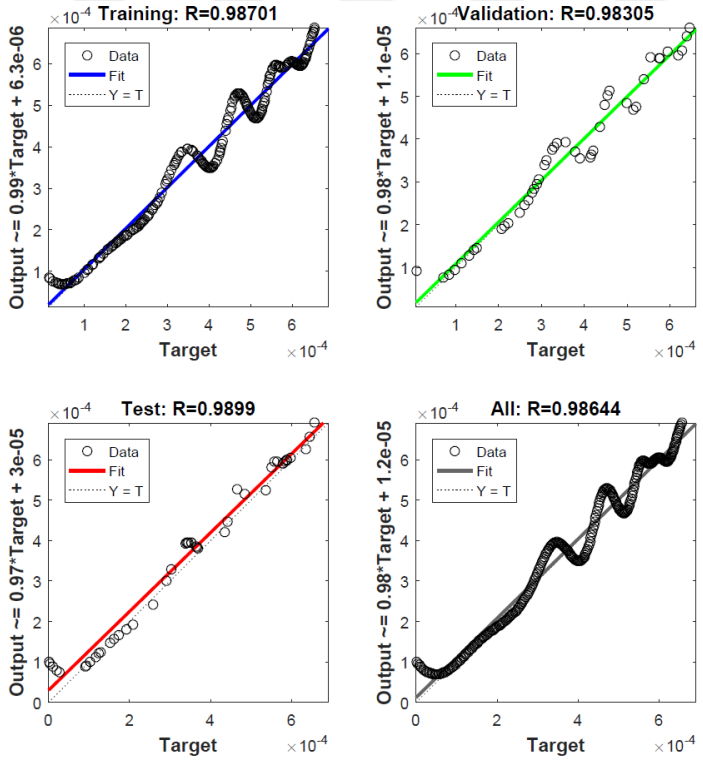
Pompada 610 kg/m$^3$ yoğunluktaki saf amonyak basıldığı zaman modelden elde edilen girdi ve çıktı değerleri oluşturulan ağda çalıştırıldığında ağın yaptığı tahminler ve hatalar Tablo 6.4'te gösterilmiştir. Hataların ortalama standart sapması 0,024766'dır. Bu değer ortalama %2,4766'lık bir hata ile tahmin yapılmış olduğunu göstermektedir. İki değişken arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için kullanılan korelasyon katsayısı (R) da 0,98644 olarak hesaplanmıştır. $R^2$ değeri de 0,97306 bulunmuştur. Şekil 6.24'te yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata grafiği gösterilmiştir. Şekilde değerlerin doğrulamaya (validation) önceki veri setlerine göre biraz daha az paralel ilerlediği ve altı yaklaşımda (epoch) doğruluğu sağladığı görülmektedir. Eğitim, doğrulama ve test değerlerinin regresyon analizi grafikleri de Şekil 6.25'te gösterilmiştir. Şekil 6.26'da ise YSA'nın tahmin ettiği verimler ile gerçek verim değerlerinin karşılaştırıldığı grafik gösterilmiştir. Diğer veri setlerine göre YSA'nın tahmin ettiği değerlerde daha fazla dalgalanma gözlemlenmektedir.

Tablo 6.4 Saf amonyak basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri

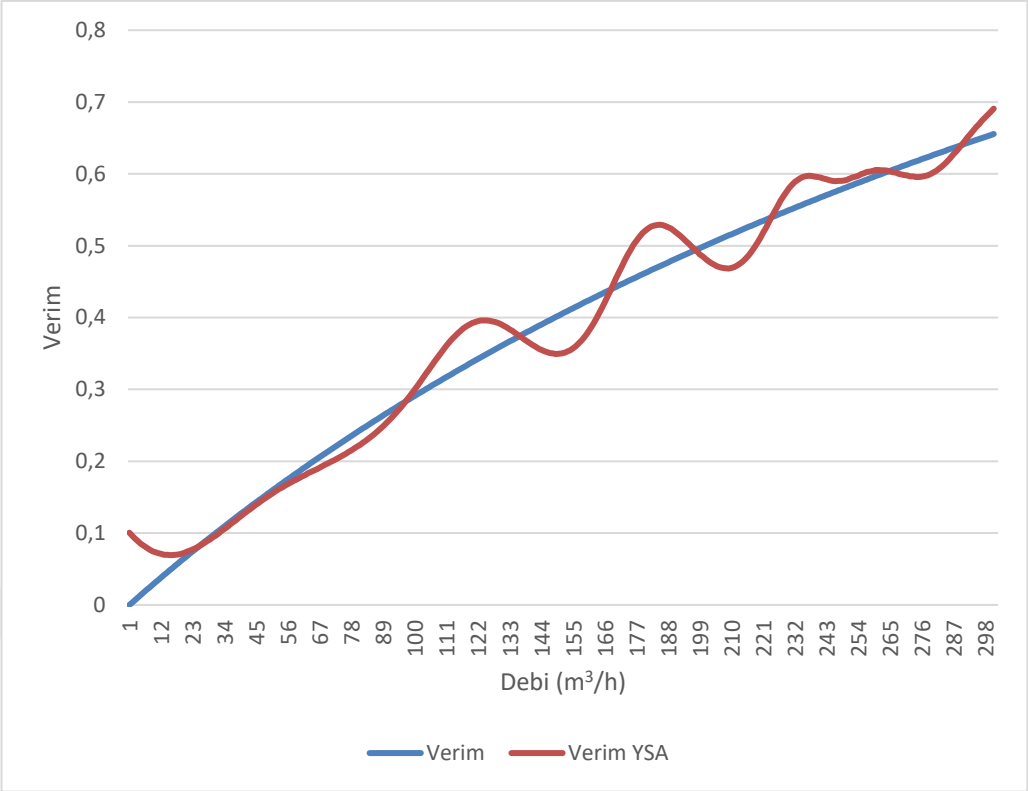
| Q ($m^3$/sa) | H (m) | NPSHr (m) | Pm (Kw) | Tork (N.m) | Verim | YSA Verim Tahmini | Hata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 117,4845 | 167,2718 | 5,5000 | 17,8942 | 0,0000 | 0,1006 | -0,1006 |
| 1 | 117,4853 | 167,2718 | 5,6165 | 18,2732 | 0,0348 | 0,0720 | -0,0372 |
| 2 | 117,4877 | 167,2718 | 5,7330 | 18,6523 | 0,0682 | 0,0741 | -0,0060 |
| 3 | 117,4917 | 167,2718 | 5,8495 | 19,0313 | 0,1002 | 0,0968 | 0,0034 |
| 4 | 117,4972 | 167,2717 | 5,9660 | 19,4103 | 0,1310 | 0,1276 | 0,0034 |
| 5 | 117,5044 | 167,2717 | 6,0825 | 19,7894 | 0,1606 | 0,1562 | 0,0044 |
| 6 | 117,5131 | 167,2716 | 6,1990 | 20,1684 | 0,1891 | 0,1792 | 0,0099 |
| 7 | 117,5234 | 167,2715 | 6,3155 | 20,5474 | 0,2166 | 0,1994 | 0,0172 |
| 8 | 117,5354 | 167,2714 | 6,4320 | 20,9265 | 0,2431 | 0,2228 | 0,0203 |
| 9 | 117,5489 | 167,2713 | 6,5485 | 21,3055 | 0,2686 | 0,2564 | 0,0122 |
| 10 | 117,5640 | 167,2712 | 6,6650 | 21,6845 | 0,2933 | 0,3053 | -0,0120 |
| 11 | 117,5807 | 167,2711 | 6,7815 | 22,0636 | 0,3171 | 0,3606 | -0,0435 |
| 12 | 117,5990 | 167,2709 | 6,8980 | 22,4426 | 0,3402 | 0,3940 | -0,0538 |
| 13 | 117,6190 | 167,2708 | 7,0145 | 22,8216 | 0,3625 | 0,3884 | -0,0259 |
| 14 | 117,6405 | 167,2706 | 7,1310 | 23,2007 | 0,3840 | 0,3617 | 0,0224 |
| 15 | 117,6637 | 167,2704 | 7,2475 | 23,5797 | 0,4049 | 0,3500 | 0,0550 |
| 16 | 117,6885 | 167,2702 | 7,3640 | 23,9587 | 0,4252 | 0,3849 | 0,0403 |
| 17 | 117,7149 | 167,2700 | 7,4805 | 24,3377 | 0,4448 | 0,4636 | -0,0188 |
| 18 | 117,7430 | 167,2698 | 7,5970 | 24,7168 | 0,4639 | 0,5240 | -0,0601 |
| 19 | 117,7727 | 167,2696 | 7,7135 | 25,0958 | 0,4824 | 0,5178 | -0,0354 |
| 20 | 117,8041 | 167,2693 | 7,8300 | 25,4748 | 0,5003 | 0,4816 | 0,0188 |
| 21 | 117,8371 | 167,2690 | 7,9465 | 25,8539 | 0,5178 | 0,4706 | 0,0472 |
| 22 | 117,8718 | 167,2687 | 8,0630 | 26,2329 | 0,5348 | 0,5184 | 0,0164 |
| 23 | 117,9082 | 167,2684 | 8,1795 | 26,6119 | 0,5513 | 0,5849 | -0,0336 |
| 24 | 117,9463 | 167,2681 | 8,2960 | 26,9910 | 0,5674 | 0,5946 | -0,0272 |
| 25 | 117,9861 | 167,2678 | 8,4125 | 27,3700 | 0,5830 | 0,5933 | -0,0103 |
| 26 | 118,0277 | 167,2674 | 8,5290 | 27,7490 | 0,5983 | 0,6054 | -0,0071 |
| 27 | 118,0710 | 167,2671 | 8,6455 | 28,1281 | 0,6131 | 0,5977 | 0,0155 |
| 28 | 118,1161 | 167,2667 | 8,7620 | 28,5071 | 0,6276 | 0,6041 | 0,0235 |
| 29 | 118,1630 | 167,2662 | 8,8785 | 28,8861 | 0,6418 | 0,6461 | -0,0043 |
| 30 | 118,2117 | 167,2658 | 8,9950 | 29,2652 | 0,6556 | 0,6909 | -0,0353 |




Şekil 6.24 Saf amonyak basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi




Şekil 6.25 Saf amonyak basıldığı durumda ağın regresyon analizi

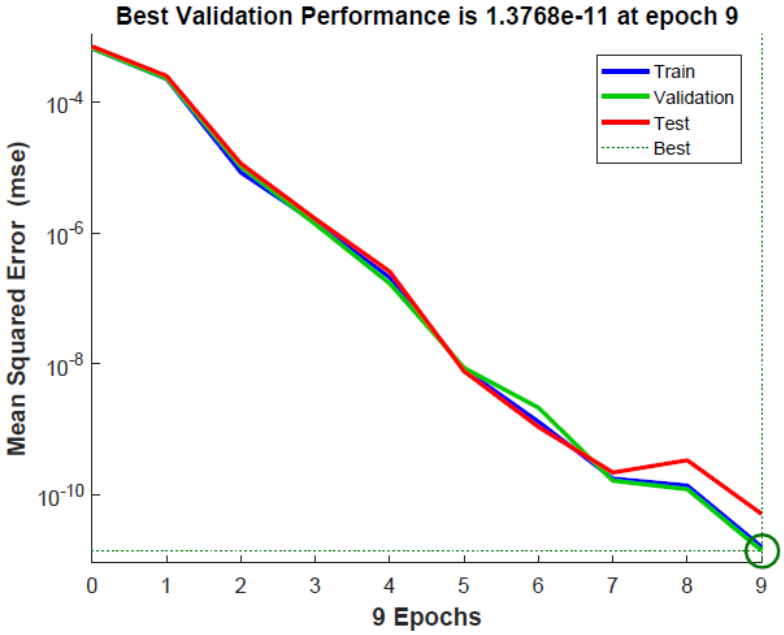



Şekil 6.26 Saf amonyak basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

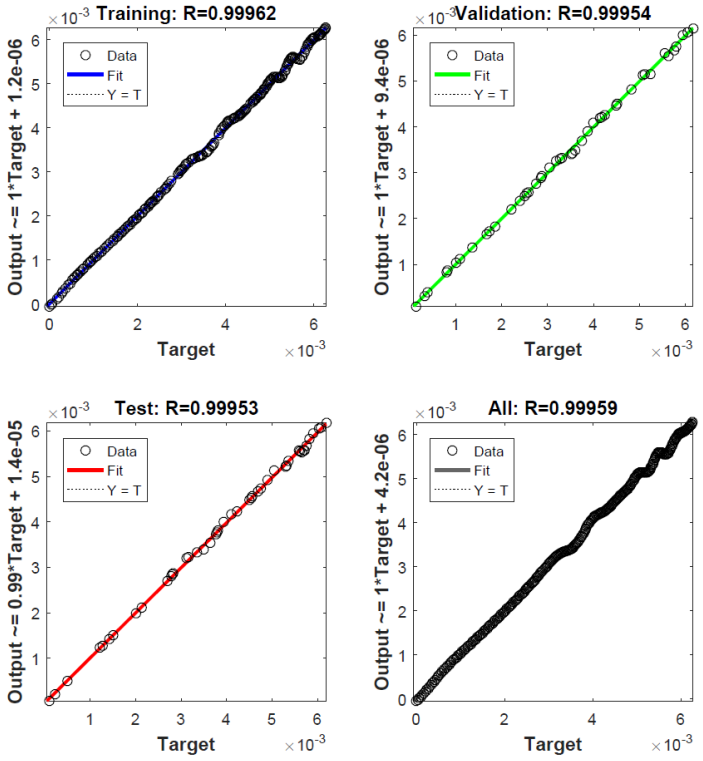
Pompada 1339 kg/m$^3$ yoğunluktaki %55 nitrik asit %45 su karışımı basıldığı zaman modelden elde edilen girdi ve çıktı değerleri oluşturulan ağda çalıştırıldığında ağın yaptığı tahminler ve hatalar Tablo 6.5'te gösterilmiştir. Hataların ortalama standart sapması 0,003899'dur. Bu değer ortalama %0,3899'luk bir hataya tekabül etmektedir. İki değişken arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için kullanılan korelasyon katsayısı (R) da 0,99959 olarak hesaplanmıştır. $R^2$ değeri de 0,99918 bulunmuştur Şekil 6.27'de yapay sinir ağlarının iterasyona bağlı hata grafiği gösterilmiştir. Şekilde değerlerin doğrulamaya (validation) önceki veri setlerine göre son yaklaşımlarda daha az paralel ilerlediği ve dokuz yaklaşımda (epoch) doğruluğu sağladığı görülmektedir. Eğitim, doğrulama ve test değerlerinin regresyon analizi grafikleri de Şekil 6.28'dee gösterilmiştir. Şekil 6.29'da ise YSA'nın tahmin ettiği verimler ile gerçek verim değerlerinin karşılaştırıldığı grafik gösterilmiştir.

Tablo 6.5 %55 nitrik asit basıldığı durumda yapay sinir ağları verileri

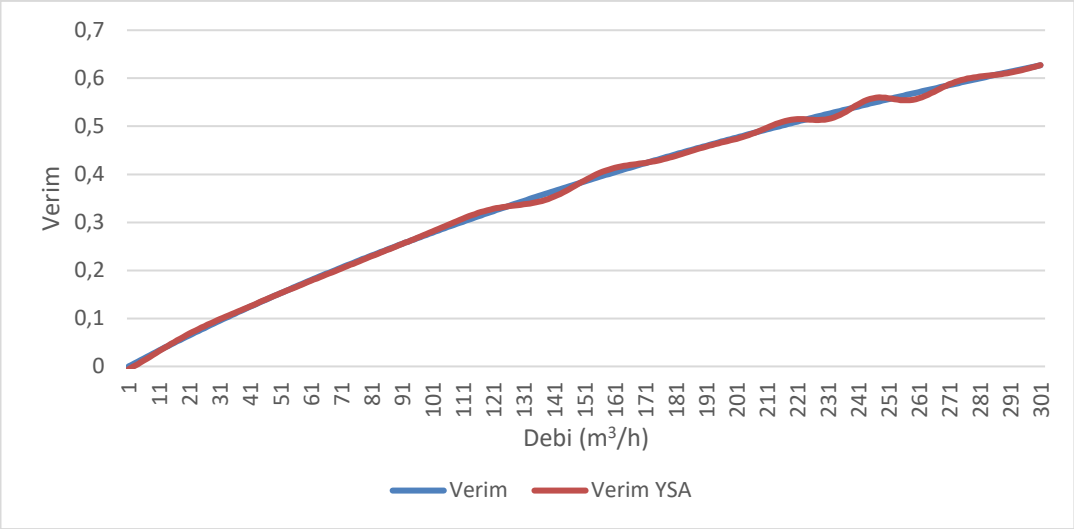
| Q ($m^3$/sa) | H (m) | NPSHr (m) | Pm (Kw) | Tork (N.m) | Verim | YSA Verim Tahmini | Hata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 50,8178 | 4,7235 | 5,5000 | 17,8942 | 0,0000 | -0,0061 | 0,0061 |
| 1 | 50,8186 | 4,7234 | 5,6165 | 18,2732 | 0,0330 | 0,0315 | 0,0015 |
| 2 | 50,8210 | 4,7234 | 5,7330 | 18,6523 | 0,0647 | 0,0681 | -0,0035 |
| 3 | 50,8250 | 4,7234 | 5,8495 | 19,0313 | 0,0951 | 0,0983 | -0,0032 |
| 4 | 50,8305 | 4,7234 | 5,9660 | 19,4103 | 0,1244 | 0,1253 | -0,0010 |
| 5 | 50,8377 | 4,7233 | 6,0825 | 19,7894 | 0,1525 | 0,1521 | 0,0003 |
| 6 | 50,8464 | 4,7232 | 6,1990 | 20,1684 | 0,1796 | 0,1782 | 0,0014 |
| 7 | 50,8567 | 4,7232 | 6,3155 | 20,5474 | 0,2057 | 0,2037 | 0,0020 |
| 8 | 50,8686 | 4,7231 | 6,4320 | 20,9265 | 0,2309 | 0,2294 | 0,0015 |
| 9 | 50,8821 | 4,7230 | 6,5485 | 21,3055 | 0,2552 | 0,2548 | 0,0004 |
| 10 | 50,8972 | 4,7228 | 6,6650 | 21,6845 | 0,2786 | 0,2810 | -0,0024 |
| 11 | 50,9138 | 4,7227 | 6,7815 | 22,0636 | 0,3013 | 0,3078 | -0,0065 |
| 12 | 50,9321 | 4,7226 | 6,8980 | 22,4426 | 0,3233 | 0,3281 | -0,0048 |
| 13 | 50,9519 | 4,7224 | 7,0145 | 22,8216 | 0,3446 | 0,3374 | 0,0072 |
| 14 | 50,9734 | 4,7223 | 7,1310 | 23,2007 | 0,3651 | 0,3535 | 0,0117 |
| 15 | 50,9964 | 4,7221 | 7,2475 | 23,5797 | 0,3851 | 0,3873 | -0,0022 |
| 16 | 51,0210 | 4,7219 | 7,3640 | 23,9587 | 0,4045 | 0,4135 | -0,0090 |
| 17 | 51,0472 | 4,7217 | 7,4805 | 24,3377 | 0,4233 | 0,4239 | -0,0006 |
| 18 | 51,0749 | 4,7215 | 7,5970 | 24,7168 | 0,4416 | 0,4383 | 0,0032 |
| 19 | 51,1043 | 4,7212 | 7,7135 | 25,0958 | 0,4593 | 0,4577 | 0,0016 |
| 20 | 51,1352 | 4,7210 | 7,8300 | 25,4748 | 0,4766 | 0,4740 | 0,0026 |
| 21 | 51,1678 | 4,7208 | 7,9465 | 25,8539 | 0,4934 | 0,4970 | -0,0036 |
| 22 | 51,2019 | 4,7205 | 8,0630 | 26,2329 | 0,5098 | 0,5147 | -0,0049 |
| 23 | 51,2376 | 4,7202 | 8,1795 | 26,6119 | 0,5257 | 0,5149 | 0,0108 |
| 24 | 51,2749 | 4,7199 | 8,2960 | 26,9910 | 0,5412 | 0,5457 | -0,0045 |
| 25 | 51,3138 | 4,7196 | 8,4125 | 27,3700 | 0,5564 | 0,5585 | -0,0021 |
| 26 | 51,3543 | 4,7193 | 8,5290 | 27,7490 | 0,5712 | 0,5581 | 0,0131 |
| 27 | 51,3963 | 4,7190 | 8,6455 | 28,1281 | 0,5857 | 0,5874 | -0,0017 |
| 28 | 51,4400 | 4,7187 | 8,7620 | 28,5071 | 0,5998 | 0,6033 | -0,0036 |
| 29 | 51,4852 | 4,7183 | 8,8785 | 28,8861 | 0,6136 | 0,6116 | 0,0020 |
| 30 | 51,5320 | 4,7180 | 8,9950 | 29,2652 | 0,6271 | 0,6273 | -0,0002 |




Şekil 6.27 Nitrik asit basıldığı durumda ağın iterasyona bağlı hata değişimi




Şekil 6.28 %55 nitrik asit basıldığı durumda ağın regresyon analizi




Şekil 6.29 Nitrik asit basıldığı durumda YSA değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

Tablo 6.6'da yapay sinir ağlarında yapılan dört tahmininin doğruluk oranlarının daha iyi gözlemlenebilmesi amacıyla, eğitim, doğrulama ve test setlerinde R, $R^2$ ve MSE değerleri gösterilmektedir. MSE değeri %25 amonyak için elde edilmiş veri seti kullanılarak yapılan tahminde en küçükken, saf amonyak için elde edilen veri setiyle yapılan tahminde en büyük değerleri almıştır.

Tablo 6.6 YSA R, $R^2$ ve MSE sonuçları

| **Su için yapılan tahmin** | R | $R^2$ | MSE |
|---|---|---|---|
| Eğitim | 0,99963 | 0,999260137 | 2,33746E-11 |
| Doğrulama | 0,99926 | 0,998520548 | 2,83489E-11 |
| Test | 0,99959 | 0,999180168 | 2,60624E-11 |
| **%25 Amonyak için yapılan tahmin** | | | |
| Eğitim | 0,99998 | 0,99996 | 1,18333E-12 |
| Doğrulama | 0,99996 | 0,999920002 | 1,66869E-12 |
| Test | 0,99997 | 0,999940001 | 2,039E-12 |
| **Saf amonyak için yapılan tahmin** | | | |
| Eğitim | 0,98701 | 0,97418874 | 1,47412E-09 |
| Doğrulama | 0,98305 | 0,966387303 | 1,23206E-09 |
| Test | 0,9899 | 0,97990201 | 1,32756E-09 |
| **Nitrik asit için yapılan tahmin** | | | |
| Eğitim | 0,99962 | 0,999240144 | 1,37490E-11 |
| Doğrulama | 0,99954 | 0,999080212 | 1,37684E-11 |
| Test | 0,99953 | 0,999060221 | 5,03442E-11 |

# BÖLÜM YEDİ
# SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gemlik Gübre Sanayi A.Ş fabrikasından Standart SNT 32-250 yatay tipte, tek kademeli santrifüj pompanın H-Q, η-Q, P-Q, NPSHr-Q grafiklerinden, operasyon kayıtlarından ve fabrikada gerçekleştirilen ölçümler sonucunda alınan verilerle MATLAB R2016b paket programının Simulink uzantısı kullanılarak modellenmiş ve pompanın bir simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyon, kimyasal tankerlerde ve fabrikada basılan dört farklı yoğunluktaki akışkan ile çalıştırılmıştır. Bu sıvılar su, sulu amonyak karşımı, saf sıvılaştırılmış amonyak ve sulu nitrik asit karışımıdır. Simülasyondan alınan veriler yazdırılmış ve pompanın güç-debi, güç-tork grafikleri ile bahsedilen akışkanların basılması durumunda her akışkan için basma yüksekliği-debi, verim-debi, gerekli net pozitif emme yükü-debi grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklere göre pompanın çalışma debisindeki verim, basma yüksekliği ve gerekli net pozitif emme yükünün değerleri her bir akışkan için elde edilmiş ve bir önceki bölümde gösterilmiştir. Elde edilen bu verilere göre sıvı yoğunluğundaki artış verime olumsuz etki yapmaktadır. Aynı şekilde azalmalar da verimi olumlu etkilemektedir.

En düşük yoğunluktaki akışkan ile en yoğun akışkan arasındaki verim farkı da %1,98'lik bir verim farkı oluşmuştur. Basma yüksekliği de akışkan yoğunluğu ile ters orantı gösterdiği bilinmektedir. Ancak akışkan yoğunundaki dramatik bir düşüş, pompa basma yüksekliğini arttırdığı gibi gerekli net pozitif emme yükünü de arttırmaktadır. Bu da elde edilen net pozitif emme yükü gerekli net pozitif emme yükü arasındaki farkın açılmasına başka bir deyişle kavitasyona yol açmaktadır. Pompalarda kavitasyon uzun vadede pompaya zarar verecek ve arızalar çıkmasına neden olacaktır. Eğer akışkan yoğunluğunda referans değere göre fazla bir artış olursa da belirgin bir şekilde pompa basma yüksekliğinin düştüğü gözlemlenmiştir. Gerekli net pozitif emme yükü belli bir miktar artmış olsa da bu artış önceki duruma kıyasla daha düşük bir artıştır.

Simulink modelinden elde edilen dört farklı veri setinin normalizasyonu yapılarak MATLAB R2016b programının "Neural Network Fitting Tool 9.0" paketinde oluşturulan ağa girilmiştir. Ağa girdi olarak debi, basma yüksekliği, gerekli net pozitif

emme yükü, güç ve tork girilmiş çıktı olarak da verim tahmini yapılması istenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda üç yüz satırlık veri setleri %70'i eğitim %15'i değerlendirme ve %15 'i test olarak gruplanmıştır. Ağda bir tane ara katman bulunmaktadır ve aktivasyon fonksiyonu olarak uzantıda direk gelen hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Çıkış katmanında için yine uzantıda sabit gelen doğrusal transfer fonksiyonu kullanılmıştır 150 nöron sayısı ile en iyi tahminler yapıldığı gözlenmiştir. Danışmalı öğrenme metodu kullanılmıştır ve ağ ileri beslemelidir. Eğitim algoritması olarak önceki bölümlerde bahsedilen Levenberg-Marguardt algoritması bu tarz çalışmalardaki yaygın kullanımından dolayı seçilmiştir. Bu algoritmanın etkili ve çabuk sonuçlar verdiği çalışmada gözlemlenmiştir. Uygulama bölümünde verilen tablolar ve regresyon grafiklerindeki dalgalanmalarda görüleceği üzere en iyi tahmin ortalama %0,0992'lik hata oranı ile %25 amonyak %75 su karışımı basılması durumunda elde edilen veri setinde gerçekleşmiştir. Verilerin alındığı fabrikada modellenen pompa bu sıvıyı basmak için kullanılmaktadır. Su ve %55 nitrik asit için de hata oranları sırasıyla %0,4153 ve %0,3899'dur. Bu üç sıvı için daha yakın basma yüksekliği ve net pozitif emme yükü elde edildiği için daha düşük hata oranlarına erişilmiştir. %2,4766'lık ortalama hata oranı ile regresyon grafiğindeki en fazla dalgalanma saf sıvılaştırılmış amonyak için olmuştur. MSE değerleri ve YSA'nın yaptığı tahminler ile modelden elde edilen verim değerlerinin karşılaştırıldığı grafikler incelendiği zaman da yukarıdaki bahsi geçen hata oranlarını destekler nitelikte sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Saf amonyağın düşük yoğunluğu ve viskozitesinden dolayı fazlasıyla yükselen net pozitif emme yükü ve basma yüksekliğinden dolayı nispeten daha yüksek bir hata oranı ortaya çıktığı düşünülmektedir. Yine de bu hata oranı da kabul edilebilir çerçevededir ve dört akışkanın basıldığı durumlar için de yapay sinir ağları ile başarılı bir şekilde verim tahmini yapabildiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kimyasal tankerde yaygın kullanımı olan santrifüj tipte bir pompanın modellemesini yapmak ve modelin üzerinde bir optimizasyon çalışması gerçekleştirmektir. Kimyasal tankerlerde, yükleme/tahliye operasyonlarında farklı akışkanlar basıldığı için, modelde de basılan akışkan değiştirilmiştir. Böylelikle bir pompanın farklı sıvılarda performansının nasıl değiştiğini gözlemlemek ve değişen

performans değerlerinin gemideki şartlara uygunluğunu değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu modelin, kimyasal tankerlerin kargo pompa seçimi yapılırken veya işletimdeki bir kimyasal tankerin kargo pompasının yükleme/tahliyedeki sınırlarını belirlemek için kullanılması bir başka amaçtır. Modelden elde edilen verilerle yapılan yapay sinir ağları uygulaması ile verim tahmini yapılmıştır. Bu uygulamadaki amaç ise gemilerde düzenli olarak kaydı tutulan mevcut operasyon verilerinden yola çıkarak farklı durumlar için performansın tahmin ve değerlendirmesinin yapılabileceğini göstermektir. Enerji verimliliğinin denizcilik sektöründe kazandığı önem düşünüldüğü zaman, denizcilik firmalarının gemideki ekipmanların optimizasyon çalışmalarına ağırlık vereceği aşikardır. Yapay sinir ağları, denizcilik firmaları teknik departmanlarının gemilerden alacağı bilgilerle, herhangi bir ekipman veya durumun tahminini yapmak amacıyla kullanılabilir.

Çalışmanın uygulama kısmı ile ilgili birtakım kısıtlar bulunmaktadır. Bu kısıtlar aşağıda sıralanmıştır

- Çalışmada direkt olarak kimyasal bir tanker üzerinde yük pompası görevi yapan bir santrifüj pompa modellenmek istenmiş ancak istenilen şekilde veri elde edilememiştir. Bunun yerine Gemlik Gübre Sanayi A.Ş'den boyut ve kapasite olarak gemiye uygun ve farklı kimyasallar basan bir pompanın verileri alınarak model oluşturulmuştur.
- Simulink modelinde yer alan ve operasyon verilerinden alınan gösterge basınçları her sıvı için ortalama gösterge basınçları hesaplanarak modelleme yapılmıştır.
- Optimizasyon uygulamasında yer alan yapay sinir ağlarında uygun ağ yapısının belirlenmesi için kesin bir yol yoktur. Bundan dolayı ağın genel yapısı deneme yanılmalar ile bulunmuştur. MATLAB Neural Network Fitting Tool'da değiştirilemeyen fonksiyon ve değerler de paket yazılımda olduğu gibi kullanılmıştır.

Gelecek çalışmalar için kısıtlar da göz önünde bulundurularak değerlendirme yapıldığında aşağıdaki öneriler sunulabilir.

- Yapay sinir ağları tahmin konusunda başarılı olsa da kesin doğru sonuç olarak kabul edilmez. Daha başarılı tahminler için bu yöntem ile birlikte tahmine yönelik başka yöntemler de kullanılabilir.
- Araştırmada kullanılan santrifüj pompa verileri direkt olarak bir gemiden alınarak modellenebilir ve gemi tipinin koşullarına göre hangi kriterler önemliyse o kriterler üzerine yoğunlaşabilir.
- Model oluşturmak yerine deney setleri veya çalışan sistemlerden bizzat ölçüm yapılarak alınan işletim verileriyle optimizasyon çalışmaları yapılabilir.
- Santrifüj pompanın yanı sıra çalışmada gemilerde kullanılan başka tip pompalar veya başka sistemler üzerine benzer bir araştırma yapılabilir.
- Araştırmalarda gemilerdeki ekipmanların sadece verim tahminleri değil, hata tahminleri, bir ekipmanın ne zaman bozulacağı veya bir ekipmanın verimini arttırmaya yönelik tasarımsal optimizasyon çalışmaları yapılabilir.
- Gelecek çalışmalarda MATLAB programının yapay sinir ağları ile ilgili başka uzantıları kullanılarak tahmin yapmak yerine farklı hedefler seçilebilir. Bunun yanı sıra farklı yöntemlerle ve algoritmalarla da optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir. Ayrıca MATLAB yerine literatürde kabul görmüş başka yazılımlar kullanılabilir. Hatta araştırmacı çeşitli programlama dilleri kullanarak kendi yazılımını oluşturarak optimizasyon çalışmasında bulunabilir.

## KAYNAKLAR


Aggarwal, C. C. (2015). *Data mining: the textbook*. London: Springer Science & Business Media.

Agrawal, R. ve Shafer, J. C. (1996). Parallel mining of association rules. *IEEE Transactions on knowledge and Data Engineering*, *8*(6), 962-969.

Agrawal, R. ve Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules. *Proc. 20th int. conf. very large data bases*, VLDB. 1215, 487-499.

Ait Moussa, A. ve Yunhao L. (2014). Improving the hydraulic efficiency of centrifugal pumps through computational fluid dynamics based design optimization, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4, Sayı 8( Versiyon 1), 158-165.

Alataş, B. (2003). *Sinirsel Ağlar*, 23 Kasım 2016, www.firat.edu.tr/akademik /fakulteler/muhendislik/bilgisayar/ balatas/Sinirselaglar.pdf

Albusaidi, W. ve Pilidis, P. (2015). An iterative method to derive the equivalent centrifugal compressor performance at various operating conditions: Part I: Modelling of suction parameters impact. *Energies*, *8*(8): 8497-8515.

Allen, D. M. (1971). Mean square error of prediction as a criterion for selecting variables. *Technometrics, 13*(3), 469-475.

Amaral, F., Groß-Hardt, S., Timms, D., Egger, C., Steinseifer, U. ve Schmitz-Rode, T. (2013). The spiral groove bearing as a mechanism for enhancing the secondary flow in a centrifugal rotary blood pump. *Artificial Organs, 37*(10), 866-874.

Amirante, R., De Bellis, F., Distaso, E. ve Tamburrano, P. (2015). An explicit, non-iterative, single equation formulation for an accurate one dimensional estimation of vaneless radial diffusers in turbomachines. *Journal of Mechanics, 31*(02), 113-122.

An, Z., Zhounian, L., Peng, W., Linlin, C. ve Dazhuan, W. (2016). Multi-objective optimization of a low specific speed centrifugal pump using an evolutionary algorithm. *Engineering Optimization*, *48*(7), 1251-1274.

Anagnostopoulos, J. S. (2009). A fast numerical method for flow analysis and blade design in centrifugal pump impellers. *Computers & Fluids*, *38*(2), 284-289.

Andersson, K., Brynolf, S., Lindgren, J. F. ve Wilewska-Bien, M. (2016). *Shipping and the environment: Improving environmental performance in marine transportation*. Berlin: Springer Science & Business Media.

ANSI. (b.t). *About ANSI.* 4 Ocak 2017, https://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview?menuid=1.

API. (b.t). *About API , overview and mission*. 4 Ocak, 2017, http://www.api.org/about.

Ardıç, S. (2015). *Yapay sinir ağları kullanılarak santrifüj pompalarda performans tayini*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Aydoğan, O. (2015). *Pompa seçimi ve santrifüj pompa tipleri*, 24 Kasım 2016, İnternet sitesi, www.masgrup.com/eskisite/docs/Ayin_Makalesi_1305.pdf.

Ayna, T. (2010). *Santrifüj pompaların genetik algoritma kullanılarak tasarımı*. Doktora Tezi, İstanbul teknik Üniversitesi, İstanbul.

Azadeh, A., Ebrahimipour, V. ve Bavar, P. (2010). A fuzzy inference system for pump failure diagnosis to improve maintenance process: The case of a petrochemical industry. *Expert Systems with Applications*, *37*(1), 627-639.

Azadeh, A., Saberi, M., Kazem, A., Ebrahimipour, V., Nourmohammadzadeh, A. ve Saberi, Z. (2013). A flexible algorithm for fault diagnosis in a centrifugal pump with corrupted data and noise based on ANN and support vector machine with hyper-parameters optimization. *Applied Soft Computing*, *13*(3), 1478-1485.

Bachus, L. ve Custodio, A. (Eds.). (2003). *Know and understand centrifugal pumps*. Oxford: Elsevier.

Baloni, B. D., Pathak, Y. ve Channiwala, S. A. (2015). Centrifugal blower volute optimization based on Taguchi method. *Computers & Fluids*, *112*, 72-78.

Bellary, S. A. I., Husain, A. ve Samad, A. (2014). Effectiveness of meta-models for multi-objective optimization of centrifugal impeller. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *28*(12), 4947-4957.

Benini, E. ve Cenzon, M. (2009). Calibration of a meanline centrifugal pump model using evolutionary algorithms. *Journal of Power and Energy*, *223*.7: 835-847

Benlarbi, K., Mokrani, L. ve Nait-Said, M. S. (2004). A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system. Solar energy, *77*(2), 203-216.

Betka, A. ve Attali, A. (2010). Optimization of a photovoltaic pumping system based on the optimal control theory. *Solar Energy*, *84*(7), 1273-1283.

Bevilacqua, M., Braglia, M. ve Montanari, R. (2003). The classification and regression tree approach to pump failure rate analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, *79*(1), 59-67.

Bluman, A. G. (2000). *Elementary statistics*. New York: McGraw Hill Publishers.

Bramer, M. (2007). *Principles of data mining* (3.Baskı). London.: Springer Science & Business Media.

Cellek, M. S. ve Engin, T. (2013). 2 kanatlı radyal tipteki bir çamur pompası çarkının optimizasyonu ve analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, *17*(2).

Cellek, M. S. ve Engin, T. (2016). 3-D numerıcal ınvestıgatıon and optımızatıon of centrıfugal slurry pump usıng computatıonal fluıd dynamıcs. Isi Bilimi ve Teknigi Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology, *36*(1).

Chan, W. K., Wong, Y. W. ve Ding, Y. (2004). Numerical investigations of a centrifugal blood pump. Journal of Mechanics in Medicine and Biology, *4*(03), 237-255.

Chapra, S. C. ve Canale, R. P. (1998). Numerical methods for engineers (2.Baskı). New York: McGraw-Hill.

Checcucci, M., Sazzini, F., Marconcini, M., Arnone, A., Coneri, M., De Franco, L. ve Toselli, M. (2011). Assessment of a neural-network-based optimization tool: a low specific-speed impeller application. *International Journal of Rotating Machinery*.

Chen, M. S., Han, J. ve Yu, P. S. (1996). Data mining: an overview from a database perspective. *IEEE Transactions on Knowledge and data Engineering*, *8*(6), 866-883.

Cheng, X. ve Li, R. (2012). Parameter equation study for screw centrifugal pump. *Procedia Engineering, 31*, 914-921.

Chinainvestment. (b.t). *Investment casting impeller*. 24 Ocak 2017, http://www.china-investmentcastings.com/investment-casting-impeller.html.

Cios, K. J., Pedrycz, W. ve Swiniarski, R. W. (2010). Data mining methods for knowledge discovery (1-26) *Data mining and knowledge discovery*. New York: Springer Science & Business Media.

Cooper P. (1986). Centrifugal Pump Theory (1-96). Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper P. ve Head C. C. (Eds), *Pump Handbook* (3.Baskı) New York: McGraw-Hill.

Corrêa, T. P., Seleme, S. I. ve Silva, S. R. (2012). Efficiency optimization in stand-alone photovoltaic pumping system. *Renewable Energy, 41*, 220-226.

Cortinovis, A., Mercangöz, M., Zovadelli, M., Pareschi, D., De Marco, A. ve Bittanti, S. (2016). Online performance tracking and load sharing optimization for parallel operation of gas compressors. *Computers & Chemical Engineering, 88,* 145-156.

CRS (Clarkson Research Services). (2004). *The Tramp Shippng Market*. 21 Şubat 2017,http://www.clarksons.net/archive/research/freestuff/tramp_shipping_market_April_2004.pdf.

Çengel, Y. A., Boles, M. A. ve Derbentli, T. (1999). *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Da Costa Bortoni, E., de Almeida, R. A. ve Viana, A. N. C. (2008). Optimization of parallel variable-speed-driven centrifugal pumps operation. *Energy Efficiency, 1*(3), 167-173.

Demirel, K. ve Er, İ.D. (2007). *Gemi mühendisleri için pompa uygulamaları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Demirkol. (b.t). *Mekanik salmastralar*. 17 Şubat 2017, http://www.demirkol.gen.tr/Urun_Detay.aspx?PID=9&PCode=DE%20300-320-330-350&PName=Mekanik%20Salmastra.

Derakhshan, S. ve Nourbakhsh, A. (2008). Theoretical, numerical and experimental investigation of centrifugal pumps in reverse operation. *Experimental Thermal and Fluid Science*, *32*(8), 1620-1627.

Derakhshan, S., Mohammadi, B. ve Nourbakhsh, A. (2010). The comparison of incomplete sensitivities and Genetic algorithms applications in 3D radial turbomachinery blade optimization. *Computers & Fluids*, *39*(10), 2022-2029.

Derakhshan, S., Pourmahdavi, M., Abdolahnejad, E., Reihani, A. ve Ojaghi, A. (2013). Numerical shape optimization of a centrifugal pump impeller using artificial bee colony algorithm. *Computers & Fluids*, 81, 145-151.

Dreyfus, G. (2005). *Neural networks: methodology and applications*. Berlin: Springer Science & Business Media.

Ertel, W. (2011). *Introduction to artificial intelligence*. London: Springer Science & Business Media.

Ghoneim, A. A. (2006). Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. *Energy Conversion and Management*, *47*(11), 1449-1463.

Goel, T., Dorney, D. J., Haftka, R. T. ve Shyy, W. (2008). Improving the hydrodynamic performance of diffuser vanes via shape optimization. *Computers & Fluids*, *37*(6), 705-723.

Grishin, Y. A. ve Bakulin, V. N. (2015). Numerical investigation of flow in a centrifugal compressor. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, *88*(5), 1274-1279.

Guo, Z., Song, L., Zhou, Z., Li, J. ve Feng, Z. (2015). Multi-Objective aerodynamic optimization design and data mining of a high pressure ratio centrifugal impeller. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, *137*(9).

Gül, A. M. (2011). *Pompa çeşitleri*. 19 Aralık 2016, http://pompaakademisi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=105:pa51&catid=49:pacesitkonstruksiyon&Itemid=1 .

Gülich, J. F. (2014). *Centrifugal pumps*. (3.Baskı) Berlin: Springer Science Bussiness Media.

Güven , M. (2014). *Sıvıların mekaniği, hidrostatik, hidrodinamik nedir?* 24 Ocak 2017, http://www.teknolojivetasarim.org/sivilarin-mekanigi-hidrostatikhidrodinamik-nedir/.

Han, J. ve Kamber, M. (2001). *Data mining: concepts and techniques*. San Francisco: Elsevier

Han, J., Pei, J. ve Kamber, M. (2011). *Data mining: concepts and techniques* (3.Baskı) S Waltham, Massachusetts: Elsevier.

Han, W., Maa, W., Li, R. ve Li, Q. (2012). The numerical analysis of radial thrust and axial thrust in the screw centrifugal pump. *Procedia Engineering*, *31*, 176-181.

Heo, M. W., Ma, S. B., Shim, H. S. ve Kim, K. Y. (2016). High-efficiency design optimization of a centrifugal pump. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *30*(9), 3917-3927.

HMD. (b.t). HMDkontro sealless magnetic drive pumps. 4 Ocak 2017, http://www.hmdkontro.com/Products/Pumps/Legacy-Brands/HMD Kontro?SNDN_Content_Main_Region_2-page=2.

IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü-International Maritime Organization). (b.t). 22 Şubat 2017, http://www.imo.org/en/ourwork/safety/cargoes/ cargoesinbulk/pages/ibc-code.aspx .

IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü-International Maritime Organization). (2007). *International Maritime Organziation, International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk*. London: IMO Publication

Jacobsen, C.B. (2009). *The centrifugal pump*, 23 Kasım 2016, http://machining.grundfos.com/media/16620/the_centrifugal_pump.pdf.

Jafarzadeh, B., Hajari, A., Alishahi, M. M. ve Akbari, M. H. (2011). The flow simulation of a low-specific-speed high-speed centrifugal pump. *Applied Mathematical Modelling*, *35*(1), 242-249.

Jang, J. S. R., Sun, C. T. ve Mizutani, E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing, a computational approach to learning and machine intelligence.* Cambridge: Pearson.

Janus, P. (2008). *Pro PerformancePoint server 2007: Building business intelligence Solutions*. New York: Apress.

Jin, J., Fan, Y., Han, W. ve Hu, J. (2012). Design and analysis on hydraulic model of the ultra-low specific-speed centrifugal pump. *Procedia Engineering, 31*, 110-114.

Kahraman, Ü.A. (2010). *Klasik ve zeki optimizasyon teknikleri ile problemlerin çözülmesi ve kararlaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Kanute, J. (2004) Self-priming centrifugal pumps: a primer. *World Pumps .456*: 30-32.

Kecman, V. (2001). *Learning and soft computing: support vector machines, neural networks, and fuzzy logic models*. Cambridge, Massachusetts: MIT press.

KIittredge, C.P ve Cooper, P. (1986). Centrifugal Pumps: General Performance Characteristics (328-436)Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper P. ve Head C. C. (Eds), *Pump Handbook* (3.Baskı) New York: McGraw-Hill.

Kıranyaz, S., İnce, T. ve Gabbouj, M. (2014). *Multidimensional particle swarm optimization for machine learning and pattern recognition.* NewYork: Springer.

Kido, K., Hoshi, H., Watanabe, N., Kataoka, H., Ohuchi, K., Asama, J. ve Takatani, S. (2006). Computational fluid dynamics analysis of the pediatric tiny centrifugal blood pump (TinyPump). *Artificial Organs*, *30*(5), 392-399.

Kim, J. H., Lee, H. C., Kim, J. H., Kim, S., Yoon, J. Y. ve Choi, Y. S. (2015). Design techniques to improve the performance of a centrifugal pump using CFD. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *29*(1), 215-225.

Kim, S., Choi, Y. S., Lee, K. Y. ve Yoon, J. Y. (2009). Design optimization of centrifugal pump impellers in a fixed meridional geometry using DOE. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, *2*(2), 172-178.

Kim, S., Lee, K. Y., Kim, J. H. ve Choi, Y. S. (2014). A numerical study on the improvement of suction performance and hydraulic efficiency for a mixed-flow pump impeller. *Mathematical Problems in Engineering,*.

Kim, S., Lee, K. Y., Kim, J. H., Kim, J. H., Jung, U. H. ve Choi, Y. S. (2015). High performance hydraulic design techniques of mixed-flow pump impeller and diffuser. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *29*(1), 227-240.

Koor, M., Vassiljev, A. ve Koppel, T. (2016). Optimization of pump efficiencies with different pumps characteristics working in parallel mode. *Advances in Engineering Software*, *101*, 69-76.

Köseoğlu B. (2015). *Liman modelleme ve seyir: Optimizasyon tekniklerinin uygulanması*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

Kraeva, E. M. (2011). Optimization of the centrifugal impeller flow passage in high-speed pumps. *Russian Aeronautics* (Iz VUZ), *54*(2), 154-158.

Kruyt, N. P. ve Westra, R. W. (2014). On the inverse problem of blade design for centrifugal pumps and fans. *Inverse Problems*, *30*(6), 065003.

Li, W. G. (2016). Modeling Viscous Oil Cavitating Flow in a Centrifugal Pump. *Journal of Fluids Engineering*, *138*(1), 011303.

Lomakin, V. O., Chaburko, P. S. ve Kuleshova, M. S. (2017). Multi-criteria Optimization of the Flow of a Centrifugal Pump on Energy and Vibroacoustic Characteristics. *Procedia Engineering*, *176*, 476-482.

Lourakis, M. I. (2005). A brief description of the Levenberg-Marquardt algorithm implemented by levmar. *Foundation of Research and Technology*, 4(1).

Lu, F. A., Qi, D. T., Wang, X. J., Zhou, Z. ve Zhou, H. H. (2012). A numerical optimization on the vibroacoustics of a centrifugal fan volute. *Journal of Sound and Vibration*, *331*(10), 2365-2385.

Mandal, N. R. (2016). *Ship construction and welding. Springer series on naval architecture, marine engineering, shipbuilding and shipping*. Singapore: Springer Science & Business Media.

Mcnallyinstitute. (b.t). *All about specific speed*. 13 Şubat 2017, http://www.mcnallyinstitute.com/07-html/7-03.html .

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, *5*(4), 115-133.

Mazouz, N. ve Midoun, A. (2011). Control of a DC/DC converter by fuzzy controller for a solar pumping system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *33*(10), 1623-1630.

Miao, F., Park, H. S., Kim, C. ve Ahn, S. (2015). Swarm intelligence based on modified PSO algorithm for the optimization of axial-flow pump impeller. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(11), 4867-4876.

Miao, S. C., Yang, J. H., Shi, G. T. ve Wang, T. T. (2015). Blade profile optimization of pump as turbine. *Advances in Mechanical Engineering*, *7*(9), 1687814015605748.

Murphy, H. ve Tenold, S. (2008). Strategies, market concentration and hegemony in chemical parcel tanker shipping, 1960–1985. *Business History*, *50*(3), 291-309.

Myodesie. (b.t). *Centrifugal pump operation*. 9 Ocak 2017, https://www.myodesie.com/wiki /index/returnEntry/id/2960.

Nourbakhsh, A., Safikhani, H. ve Derakhshan, S. (2011). The comparison of multi-objective particle swarm optimization and NSGA II algorithm: applications in centrifugal pumps. *Engineering Optimization*, *43*(10), 1095-1113.

Olszewski, P. (2016). Genetic optimization and experimental verification of complex parallel pumping station with centrifugal pumps. *Applied Energy*, *178*, 527-539.

Öztemel E. (2016). *Yapay sinir ağları (4.Baskı)*. İstanbul: Özkaracan Matbaacılık, Papatya Bilim.

Pei, J., Wang, W., Yuan, S. ve Zhang, J. (2016). Optimization on the impeller of a low-specific-speed centrifugal pump for hydraulic performance improvement. *Chinese Journal of Mechanical Engineering, 29*(5), 992-1002.

Pumpandsystems. (b.t). *The history of pumps: Through the years*. 23 Kasım 2016, http://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/pumps/history-pumps-through-years.

Rajendran, S. ve Purushothaman, D. K. (2012). Analysis of a centrifugal pump impeller using ANSYS-CFX. *International Journal of Engineering Research and Technology, 1*(3).

Ranganathan, A. (2004). The levenberg-marquardt algorithm. *Tutoral on LM algorithm, 11*(1), 101-110.

Rao, S. S. (2009). *Engineering optimization: theory and practice*.(4.Baskı) New Jersey: John Wiley & Sons.

Reti L. (1963). Francesco di Giorgio (Armani) Martini's treatise on engineering and its plagiarists, *Technology and Culture*, , 287-298 (290).

Russel A.P. ,Jackson L. ve Morton T.D., (2013) *General engineering knowledge for marine engineers* (5.Baskı) London: Adlard Coles Nautical.

Sakthivel, N. R., Nair, B. B. ve Sugumaran, V. (2012). Soft computing approach to fault diagnosis of centrifugal pump. *Applied Soft Computing*, *12*(5), 1574-1581.

Sakthivel, N. R., Sugumaran, V. ve Babudevasenapati, S. (2010). Vibration based fault diagnosis of monoblock centrifugal pump using decision tree. *Expert Systems with Applications*, *37*(6), 4040-4049.

Sakthivel, N. R., Sugumaran, V. ve Nair, B. B. (2010). Comparison of decision tree-fuzzy and rough set-fuzzy methods for fault categorization of mono-block centrifugal pump. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *24*(6), 1887-1906.

Sakthivel, N. R., Sugumaran, V. ve Nair, B. B. (2012). Automatic rule learning using roughset for fuzzy classifier in fault categorization of mono-block centrifugal pump. *Applied soft computing*, *12*(1), 196-203.

Saylor. (b.t). Centrifugal pump. 11 Kasım 2016, http://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2011/04/Centrifugal_pump.pdf .

Schiffmann, J. ve Favrat, D. (2010). Design, experimental investigation and multi-objective optimization of a small-scale radial compressor for heat pump applications. *Energy*, *35*(1), 436-450.

Schobeiri, M. T. (2010). *Fluid mechanics for engineers: a graduate textbook*. Berlin: Springer Science & Business Media.

Seifi, H. ve Sepasian, M. S. (2011). *Electric power system planning: issues, algorithms and solutions.* Springer Science & Business Media.

Shah, S. R., Jain, S. V., Patel, R. N. ve Lakhera, V. J. (2013). CFD for centrifugal pumps: a review of the state-of-the-art. *Procedia Engineering*, *51*, 715-720.

Shi, W., Zhou, L., Lu, W., Pei, B. ve Lang, T. (2013). Numerical prediction and performance experiment in a deep-well centrifugal pump with different impeller outlet width. *Chinese Journal of Mechanical Engineering, 26*(1), 46-52.

Si, Q., Yuan, S., Yuan, J., Wang, C. ve Lu, W. (2013). Multiobjective optimization of low-specific-speed multistage pumps by using matrix analysis and CFD method. *Journal of Applied Mathematics*.

Singh, P. ve Nestmann, F. (2010). An optimization routine on a prediction and selection model for the turbine operation of centrifugal pumps. *Experimental Thermal and Fluid Science, 34*(2), 152-164.

Singh, P. ve Nestmann, F. (2011). Internal hydraulic analysis of impeller rounding in centrifugal pumps as turbines. *Experimental Thermal and Fluid Science*, *35*(1), 121-134.

Singh, V. R., Zinzuvadia, M. J. ve Sheth, S. M. (2014). Parametric study and design optimization of centrifugal pump impeller: A review. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*.

Spurk, H. J. ve Aksel, N. (2008). *Fluid Mechanics* (2.Baskı) Berlin: Springer Science & Business Media.

Steel M. (2000). *Oxford dictionary of english*, London: Oxford University Press.

Stene, T. (2000). *Entry barriers and concentration in chemicals shipping*. Oslo: SIØS - Centre for International Economics and Shipping.

Su, Z., Tang, B., Liu, Z. ve Qin, Y. (2015). Multi-fault diagnosis for rotating machinery based on orthogonal supervised linear local tangent space alignment and least square support vector machine. *Neurocomputing, 157*, 208-222.

Sun-Sheng, Y., Fan-Yu, K., Jian-Hui, F. ve Ling, X. (2012). Numerical research on effects of splitter blades to the influence of pump as turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2012.

Şakar, C. ve Zorba, Y. (2013). *Kimyasal Tankerlerde Operasyonel Etkinlik*. İstanbul: Beta Yayınevi.

Tan, L., Zhu, B., Cao, S., Bing, H. ve Wang, Y. (2014). Influence of blade wrap angle on centrifugal pump performance by numerical and experimental study. *Chinese journal of mechanical engineering*, *27*(1), 171-177.

Taner, A. (2007). *Radyal santrifüj pompaların yapay sinir ağları ile tasarımı*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

TDK (Türk Dil Kurumu). (2017). *Bilim ve sanat terimleri sözlüğü*. 7 Mart 2017, http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_bilimsanat&view=bilimsanat&kategoriget=terim&kelimeget=gemi&hngget=md.

US Department of Transportation. (2008). *Glossary of shipping terms*., Washington: U S Department of Transportation.

Visser, F. C., Dijkers, R. J. H. ve Op de Woerd, J. G. H. (2000). Numerical flow-field analysis and design optimization of a high-energy first-stage centrifugal pump impeller. *Computing and Visualization in Sscience, 3*(1-2), 103-108.

Volk, M. (2013). *Pump characteristics and applications*. (3.Baskı). Palm Beach: CRC Press.

Wang, C., Shi, W., Wang, X., Jiang, X., Yang, Y., Li, W. ve Zhou, L. (2017). Optimal design of multistage centrifugal pump based on the combined energy loss model and computational fluid dynamics. *Applied Energy*, *187,* 10-26.

Wang, T., Kong, F., Xia, B., Bai, Y. ve Wang, C. (2017). The method for determining blade inlet angle of special impeller using in turbine mode of centrifugal pump as turbine. *Renewable Energy*,*109* ,518-528.

Wang, W., Pei, J., Yuan, S., Zhang, J., Yuan, J. ve Xu, C. (2016). Application of different surrogate models on the optimization of centrifugal pump. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *30*(2), 567-574.

White, Frank M. (2009). *Fluid mechanics.* (7. Baskı) Boston: McGraw-Hill Book Company.

Whitehead, D. (1968). *The Dow Story: The History of the Dow Chemical Company*. New York: Mcgrawhill.

Wijnolst, N. ve Wergeland, T. (2009). *Shipping innovation*. Amsterdam: IOS Press.

Wilson, K. C., Addie, G. R., Sellgren, A.ve Clift, R. (2006). *Slurry transport using centrifugal pumps*. (3.Baskı) New York: Springer Science & Business Media.

Worldpumps. (2009). *A brief history of pumps*. 23 Kasım 2016, http://www.worldpumps.com/view/813/a-brief-history-of-pumps/.

Wu, P., Lai, Z., Wu, D. ve Wang, L. (2014). Optimization research of parallel pump system for improving energy efficiency. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *141*(8).

Xenos, D. P., Cicciotti, M., Kopanos, G. M., Bouaswaig, A. E., Kahrs, O., Martinez-Botas, R., ve Thornhill, N. F. (2015). Optimization of a network of compressors in parallel: Real time optimization (RTO) of compressors in chemical plants–An industrial case study. *Applied Energy*, *144*, 51-63.

Yang, Z. ve Børsting, H. (2010). Energy efficient control of a boosting system with multiple variable-speed pumps in parallel. In Decision and Control (CDC), *49th IEEE Conference* (2198-2203).

Yin, J. ve Wang, D. (2014). Review on applications of 3D inverse design method for pump. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, *27*(3), 520-527.

Yuhki, A., Hatoh, E., Nogawa, M., Miura, M., Shimazaki, Y. ve Takatani, S. (1999). Detection of suction and regurgitation of the implantable centrifugal pump based on the motor current waveform analysis and its application to optimization of pump flow. *Artıfıcıal Organs*, *23*, 532-537.

Zhang, J., Yuan, Y., Yuan, S., Lu, W. ve Yuan, J. (2011). Experimental studies on the optimization design of a low specific speed centrifugal pump. *ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference* (561-569).

Zhang, R., Yang, J. ve Li, R. (2009). New Inverse Method of Centrifugal Pump Blade and its Optimization. *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*.

Zhang, Y., Hu, S., Wu, J., Zhang, Y. ve Chen, L. (2014). Multi-objective optimization of double suction centrifugal pump using Kriging metamodels. *Advances in Engineering Software*, *74*, 16-26.