



# KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## Dergi Sahibi

Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ - (Kocaeli Üniversitesi)

## Baş Editör

Prof. Dr. K. Süleyman YİĞİT - (Kocaeli Üniversitesi)

## Yardımcı Editörler

Prof. Dr. Murat HOŞÖZ - (Kocaeli Üniversitesi)

Doç. Dr. H. Hakan GÜREL - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mihriban CİVAN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ- (Kocaeli Üniversitesi)

## Prodüksiyon Editörü

Öğr. Gör. Yusuf YAĞCI - (Kocaeli Üniversitesi)

## Editör Asistanları

Arş. Gör. Abdurrahman GÜN - (Kocaeli Üniversitesi)

Arş. Gör. Dr. Alp Eren ŞAHİN - (Kocaeli Üniversitesi)

## Dergi Sekreteri

Durmuş İMAT - (Kocaeli Üniversitesi)

## Danışma Kurulu

AYGÜN Halis, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERDEMLİ Yunus Emre, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERTUNÇ H. Metin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ORUÇ Bülent, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZDEMİR Engin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZTÜRK İlhan Tekin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PEKEY Beyhan, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SARAÇ Halil İbrahim, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SINMAZÇELİK Tamer, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

UÇAR Mehmet, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

VELİ Elşen, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜRAY R. Taygun, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Ufuk, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KÜÇÜK Serdar, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

MAKARACI Murat, (Doç. Dr.) - (TÜBİTAK)

ÖZKOÇ Güralp, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PINARBAŞI Seval, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SAYAR Ahmet, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİBAR Ali, (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

## Editörler Kurulu

AKIN Nilgün, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARIK Mehmet (Prof. Dr.) - (Özyeğin Üniversitesi)

ÇANAKCI Mustafa (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ENGİN Tahsin (Prof. Dr.) - (Sakarya Üniversitesi)

ERTUNÇ Hüseyin Metin (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GENÇ Nevim (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜNDOĞDU Özcan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KILIÇARSLAN Ali (Prof. Dr.) - (Hitit Üniversitesi, Makine Müh.)

KUZUCU Cihan (Prof. Dr.) - (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)

SAYIN Cenk (Prof. Dr.) - (Marmara Üniversitesi, Otomotiv Müh.)

SÖZEN Adnan (Prof. Dr.) - (Gazi Üniversitesi)

TANGEL Ali (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZER Nil Pembe (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

URHAN Oğuzhan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARICI Müslüm (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ATAPEK Ş. Hakan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

BAYNAL Kasım (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇEPNİ Murat Selim (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇETKİN Vildan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERGÜL Halim Aytekin (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜLTEKİN Fatma (Doç. Dr.) - (Karadeniz Teknik Üniv., Jeoloji Müh.)

KANDEMİR İlyas (Doç. Dr.) - (Gebze Teknik Üniversitesi)

KARAKAŞ Ahmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Rezzan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SERTÇELİK Fadime (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILDIZ Ali Bekir (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILMAZ Mehmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YİĞİT Halil (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

AKPINAR Erkan (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARI Ayşe Arzu (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇINAR Mehmet Aytaç (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇOBAN Onur (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

EREN Canan Dilek (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİSHALI Emre (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

## İletişim

Kocaeli Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü Umuttepe Yerleşkesi 41380, Kocaeli/TÜRKİYE  
Tel: +090 (262) 303 30 32 Fax: +090 (262) 303 30 33 E-mail: fbe@kocaeli.edu.tr



**YAYIN VE DANIŞMA KURULLARI ..... I**

**İÇİNDEKİLER ..... II**

**Cihan KARAKUZU**

İki Yeni Çok Katmanlı Aşırı Öğrenme Makinesi ve Rüzgar Hızı Tahmininde  
Kıyaslamalı Başarımı..... 147-153  
(*Araştırma Makalesi*)

**Hilal GÜNAY, Yalçın ENGİN, Ersin GÜVEN, Tamer SINMAZÇELİK**

1.2379 Soğuk İş Takım Çeliği Delme Zımbalarında AlTiN, TiSiN ve TiN,  
PVD Kaplamaların Takım Ömrüne Etkisi ..... 154-159  
(*Araştırma Makalesi*)

**Özlem AKSOY, Salih DİKİLİTAŞ, Sibel SÜTLÜOĞLU, Duygu AYDIN**

Sipermetrinin Begonia semperflorens'de Polen Tüpü Oluşumu Üzerindeki Etkisi..... 160-163  
(*Araştırma Makalesi*)

**Emre Ozan ÖZTÜRK, Adnan SONDAŞ**

Sanal Sağlık: Sağlıkta Sanal Gerçekliğe Genel Bakış ..... 164-169  
(*Derleme Makale*)

**Akin ER, Osman BOZDAĞ**

Petrol ve Petrol Ürünlerinin Güvenli Depolanması ..... 170-179  
(*Derleme Makale*)

**Muhammed Safa KAMER, Ahmet KAYA**

Su Tasarrufu Sağlayan Emniyet Valfinin Yerel Kayıp Katsayısının  
Belirlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğünün Akışa Olan Etkisinin İncelenmesi..... 180-195  
(*Araştırma Makalesi*)

**Burhan AKSOY, Ercüment KARAKAŞ**

Rüzgâr Enerjisi Güç Sistemi Maksimum Güç Noktası Takibinde  
Saptır ve Gözle (S & G) ve Bulanık Mantık Denetleyici (BMD)  
Yöntemlerinin Sistem Üzerindeki Çalışmalarının Karşılaştırılması ..... 196-208  
(*Araştırma Makalesi*)

**Hasan ÖZKAYA, Ersin KAYAHAN**

ZnSe/Grafen İnce Filmlerin Optik Özellikleri ..... 209-213  
(*Araştırma Makalesi*)

**Umut GÜNGÖR, Murat HOŞÖZ**

R134a'lı Bir Otomobil İklimlendirme Sisteminde Genleşme Elemanı Tipinin

Performansa Etkisinin Deneysel Analizi .....214-222

*(Araştırma Makalesi)*

**Ali SABIRLI, Alpaslan FIĞLALI**

Optimum Çekirdek Çapını Elde Etmek İçin Elektrik Direnç Kaynak

Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu .....223-229

*(Araştırma Makalesi)*





## İki Yeni Çok Katmanlı Aşırı Öğrenme Makinesi ve Rüzgar Hızı Tahmininde Kıyaslamalı Başarımı

## Two New Multilayer Extreme Learning Machines and Comparative Performance on Wind Speed Forecasting

Cihan KARAKUZU<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye, *Orcid*: 0000-0003-0569-098X

### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 23/03/2020

Kabul Tarihi : 02/08/2020

### Anahtar Kelimeler

Aşırı Öğrenme Makinesi  
Çok Katmanlı ELM  
Çok Katmanlı Kernel-ELM  
Başarım Kıyaslama  
Rüzgar Hızı Tahmini

### Research Paper

Received Date : 23/03/2020

Accepted Date : 02/08/2020

### Keywords

Extreme Learning Machine  
Multilayer ELM  
Multilayer Kernel-ELM  
Performance Comparison  
Wind Speed Forecasting

### Özet

Türev tabanlı öğrenme algoritmalar ile ele alınan problemin doğasına bağlı olarak eğitim uzun zaman almaktadır. Aşırı öğrenme makine-leri (AÖM) bu bağlamda önemli ölçüde bir açılım getirmiştir. AÖMler, girdi-çıkış eğitim verilerinin mevcut olduğu problemler için yine-lemeli algoritmalara kıyasla çok hızlı öğrenme sağlayabilmektedir. AÖMlerin en belirgin sakıncası, bazı ağ parametrelerinin rastgele atanmasıdır. Bu nedenle, bu sakıncanın önlenmesi için çalışmalar devam etmektedir. Bu bağlamda, 2016 ve 2018 yıllarında sırasıyla çok katmanlı aşırı öğrenme makinesi (ÇK-AÖM) ve çekirdek tabanlı çok katmanlı aşırı öğrenme makinesi (ÇK-ÇAÖM) yapıları geliştirilmiştir. Bu makalede, bu iki yeni çok katmanlı AÖM yapılarının başarımı rüzgar hızı tahmini problemi üzerinde incelenmiştir. Bahse konu ağların yapısal ve eğitim parametrelerinin farklı değerleri için ağ eğitim algoritmaları çok kez çalıştırılarak elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu istatistiksel verilere dayalı olarak, her bir ağın üstün ve sakıncalı tarafları belirlenmiştir.

### Abstract

Training takes a long time depending on the nature of the problem using derivative based learning algorithms. Extreme learning machines (ELMs) have made a significant expansion in this context. ELMs are able to provide very fast learning compared to iterative algorithms for problems where input-output training data are available. The most obvious drawback of ELMs is the random assignment of some network parameters. For this reason, works on preventing this is still going on. In this context, multilayer extreme learning machine (ML-ELM) and kernel-based multilayer extreme learning machine (ML-KELM) structures have recently been developed in 2016 and 2018 respectively. In this paper, the performance of these new multilayered ELM structures has been examined on the wind speed forecasting problem. Performance indicators for the different values of structural and training parameters of the networks have been statistically evaluated by running the training algorithms many times in each case. Based on these statistical data, the advantages and disadvantages of each network are presented.

## 1. Giriş

Günümüzde yapay öğrenme çoğu problemin çözümünde yaygın olarak kullanılan kavram olmuştur. Bu kavram yapay sinir ağları (YSA) ile birlikte ortaya çıkmıştır. YSA, yüksek eğriselliğe sahip problemlerin çözümünde klasik yöntemlere göre önemli bir kolaylık sağlamıştır. Fakat bu yapıların eğitim süreci geriye yayılım gibi türev tabanlı öğrenme algoritmalarının özelliği

sebebiyle oldukça uzun sürebilmektedir. Bu sakıncanın üstesinden gelmek için aşırı öğrenme makinesi (AÖM) [1] adı verilen yeni bir öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma başlangıçta tek katmanlı ileri beslemeli bir YSA için idi. Bu algortmada, YSA hücrelerine ait bağlantı ağırlıkları ve eşikler rasgele atanarak çıkış bağlantı ağırlıkları Moore-Penrose tersine dayalı bir formül ile belirlenmektedir.

AÖM ilk kez tanımlandığından beri zayıf taraflarını kuvvetlendirmek adına [2]'deki gibi birkaç geliştirme yapılmıştır. Bu geliştirmeler genellikle mevcut sinir ağları

\* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author*): [cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr](mailto:cihan.karakuzu@bilecik.edu.tr)



ve onların mimarileri üzerine olmuştur. Buna en tipik örnek AÖM öğrenmenin ANFIS ağına uyarlaması (AÖM-ANFIS) olan [3, 4] çalışmalarıdır. Diğer bir dikkate değer gelişme ise Meta-ELM [5] adı verilen ağ mimarisidir. AÖM-ANFIS ve Meta-AÖM başarımları sırasıyla yazarın [4] ve [6]'deki çalışmalarında incelenmiştir. AÖM algoritmaları üzerine çalışmalar devam etmekte olup gelişmeler bilimsel camiada duyurulmaktadır. Yakın geçmişte, önemli bir gelişme olarak AÖMnin çok katmanlı yapılar için de uygun olduğu bildirilmiştir. Bu bağlamda, 2016 ve 2018 yıllarında sırasıyla çok katmanlı aşırı öğrenme makinesi (ÇK-AÖM) [7] ve çekirdek tabanlı çok katmanlı aşırı öğrenme makinesi (ÇK-ÇAÖM) [8] yapıları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, ÇK-AÖM ve ÇK-ÇAÖM yapılarının başarımları kısa vadeli rüzgar hızı tahmini problemi üzerinde incelenmiştir. Anılan iki AÖM mimarisinin öğrenmesi için bu çalışmada kullanılmak üzere eğitim ve test veri setleri [10]'da kullanıldığı gibi hazırlanmıştır. Eğitim seti kullanılarak ilgili eğitim algoritması ile ÇK-AÖM ve ÇK-ÇAÖM tahmin modelleri elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen her bir modelin genelleme başarımları test veri setleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen rüzgar hızı tahmin modellerinin genel istatistiksel başarımlarını panoramasını elde etmek için ağların farklı parametreleriyle bahsedilen eğitim ve test işlemlerinin tekrarlanmasıyla birçok deney yapılmıştır.

## 2. Yöntem, Mimari ve Algoritmalar

Klasik AÖM [6] detaylıca tanımlandığından burada verilmeyecek olup bu bölümde sadece üzerinde çalışılan ÇK-AÖM ve ÇK-ÇAÖM'nin mimarisi ve eğitim algoritmaları tanımlanacaktır.

### 2.1. Çok katmanlı aşırı öğrenme makinesi (ÇK-AÖM)

ÇK-AÖM [7]'de hiyerarşik AÖM adıyla önerilmiş ve tanımlanmış bir çok katmanlı AÖM mimarisidir. Bu ağ yapısı birbirinden bağımsız iki (temsili ve final) öğrenme prosedüründen oluşan hiyerarşik bir öğrenme şemasını kullanır. Temsili öğrenme sadece giriş örnekleri ile katman katman ilerleyerek son katmana kadar icra edilir. Bu tür hiyerarşik öğrenme bir özellik çıkarımı olarak değerlendirilebilir. Final öğrenme ise son katmanda hiyerarşik olarak işlenmiş giriş ve çıkış örnekleri ile klasik AÖM yöntemi ile gerçekleşir.  $n$  harici giriş,  $m$  katmanlı ve  $\bar{o}$  harici çıkışlı bir ÇK-AÖMnin öğrenme aşamasındaki mimarisi Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde,  $i$  ve  $j$  indisleri sırasıyla katman numarası ve o katmandaki hücre numaralarını göstermektedir.

Ağı eğitmek amaçlı  $S$  adet giriş-çıkış örneğimiz olduğunu varsayalım  $\{(\mathbf{x}_s, \mathbf{t}_s), s=1, \dots, S\}$ .  $\mathbf{X}^{(i)} = [\mathbf{x}_1^{(i)}, \dots, \mathbf{x}_S^{(i)}]$ ,  $i$ nci katman çıkışındaki veri temsili matrisini gösterir. Bu veri temsili Eş.(1) ile elde edilir. Eşitliğin solundaki ilk terim ( $\mathbf{H}^{(i)}$ )  $i$ nci katmanın girişindeki giriş örnekleri matrisi ile elde edilen hücre çıkışlarının hesaplanıp toplu olarak tutulduğu matrisi, ikinci terim ( $\boldsymbol{\gamma}^{(i)}$ ) ise hücre çıkışlarından katman çıkış düğümlerine bağlantı ağırlıklarını göstermektedir.

$$\mathbf{H}^{(i)} \boldsymbol{\gamma}^{(i)} = \mathbf{X}^{(i)} \quad (1)$$

Mimarideki son katman hariç her bir katman oto-kodlayıcı olarak adlandırılır. Ağdaki her bir katman, ortogonal rasgele atanmış kendi giriş bağlantı ve eşik parametrelerine ( $\mathbf{W}^{(i)}, b^{(i)}$ ) sahiptir. Bu parametreler ile Eş. (1)'deki katman çıkış matrisi hesabı Eş.(2-4) ile yapılır. Eşitliklerdeki  $g$  hücre aktivasyonunu,  $L_i$  ise  $i$ nci katmandaki hücre/düğüm sayısını göstermektedir.

$$\mathbf{H}^{(i)} = [\mathbf{h}^{(i)}(\mathbf{x}_1), \dots, \mathbf{h}^{(i)}(\mathbf{x}_S)]' \quad (2)$$

$$\mathbf{h}^{(i)}(\mathbf{x}_s) = g(\mathbf{x}_s \mathbf{W}^{(i)} + b^{(i)}) \quad (3)$$

$$\mathbf{h}^{(i)}(\mathbf{x}_s) = [h_1^{(i)}(\mathbf{x}_s), \dots, h_{L_i}^{(i)}(\mathbf{x}_s)] \quad (4)$$

Bu hesap sonrası, oto-kodlayıcı katmanlar için Eş. (1)'den Moore-Penrose genelleştirilmiş ters ile kararlılığı arttırmak için  $\lambda$  düzenleme faktörü eklenmiş halde Eş. (5) [8] kullanılarak dönüşüm matrisi belirlenir. Son katman için bu hesaplama istenen çıkış örnek matrisi ( $\mathbf{T}$ ) ile Eş. (6) kullanılarak yapılır.

$$\boldsymbol{\gamma}^{(i)} = (\mathbf{H}^{(i)})' \left( \frac{1}{\lambda} + \mathbf{H}^{(i)} (\mathbf{H}^{(i)})' \right)^{-1} \mathbf{X}^{(i)} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\gamma}^{(m)} = (\mathbf{H}^{(m)})' \left( \frac{1}{\lambda} + \mathbf{H}^{(m)} (\mathbf{H}^{(m)})' \right)^{-1} \mathbf{T} \quad (6)$$

Böylece ÇK-AÖMnin öğrenme aşaması tamamlanır. Ağ eğitildikten sonra Şekil 2'de verilen mimari ile kullanılır. Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere eğitim aşamasında belirlenen oto-kodlayıcı katmanların dönüşüm matrisleri, doğrudan giriş matrisini kodlayarak dönüştürmek amacıyla kullanılırlar. Yukarıda hem grafiksel hem de matematiksel olarak tanımlanan ÇK-AÖMnin eğitim ve eğitim sonrası kullanımını gösteren yazar tarafından yazılan kaynak koda<sup>†</sup> verilen bağdan ulaşılabilir.

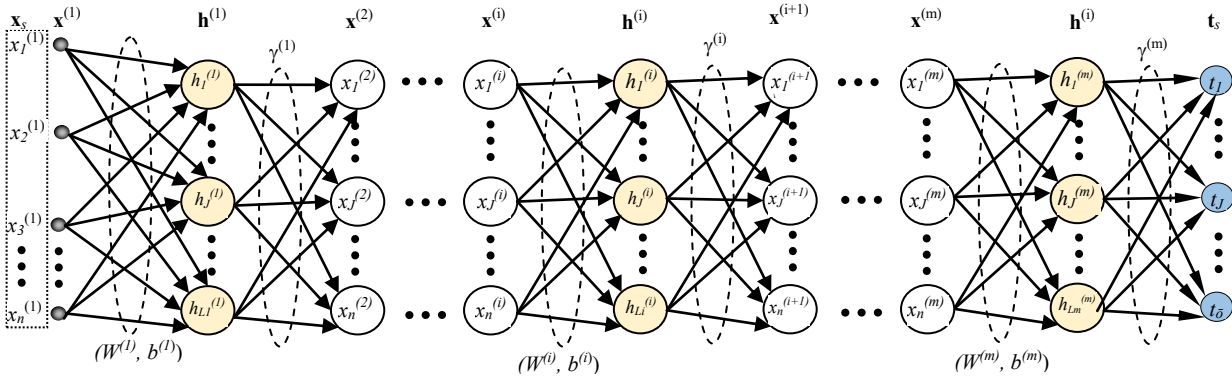
<sup>†</sup> <http://web.bilecik.edu.tr/cihan-karakuzu/kaynak-kodlar-source-codes/>

## 2.2. Çok katmanlı çekirdek aşırı öğrenme makinesi (ÇK-ÇAÖM)

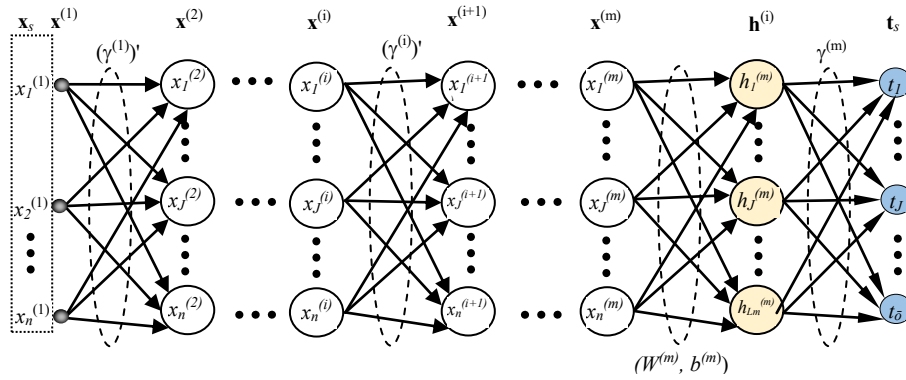
Önceki alt bölümden görüleceği üzere, ÇK-AÖM'de ağırlık başarımını etkileyen çok sayıda rasgele atanmış parametre ( $W^{(i)}$ ,  $b^{(i)}$ ) mevcuttur. Çekirdek öğrenme yöntemi  $W^{(i)}$  ve  $b^{(i)}$  gibi ağırlık parametrelerinin ayarlanmasına ihtiyaç duymaksızın optimal başarımları sağlayan öğrenme olarak bilinir. ÇK-ÇAÖM'nin kaşifine [8] göre, çok katmanlı AÖM'de hücrede çekirdek fonksiyonu kullanılırsa ağırlık genelleştirme yeteneği optimal olur. Çekirdek fonksiyonunun hücre aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılması her bir katmanda  $W^{(i)}$   $b^{(i)}$  rasgele atanmış ağırlık

parametrelerini gerektirmez. Çekirdek fonksiyon kullanımının diğer bir getirisi de genelleştirilmiş Moore-Penrose tersi yerine doğrudan tersi alınabilir kare katman çıkış matrisi elde etmeye imkan vermesidir. ÇK-ÇAÖM mimarisinde,  $X^{(i)}$  girişi bir çekirdek fonksiyonu aracılığı ile bir çekirdek  $\Omega^{(i)}$  matrisine dönüştürülür. Bu çalışmada çekirdek fonksiyonu olarak Eş. (7)'de tanımlanan radyal tabanlı fonksiyon kullanılmıştır.

$$K^{(i)}(x_k, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_k - x_j\|}{2\sigma_i^2}\right) \quad (7)$$

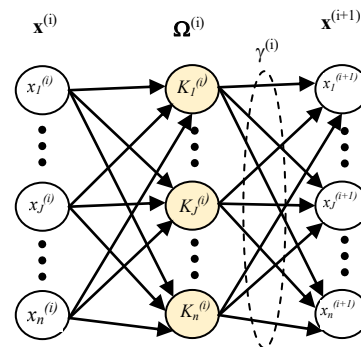


Şekil 1.  $n$  harici giriş ve  $o$  harici çıkışlı  $m$  katmanlı bir ÇK-AÖM'nin eğitim aşaması kullanım mimarisi.



Şekil 2.  $n$  harici giriş ve  $o$  harici çıkışlı  $m$  katmanlı bir ÇK-AÖM'nin eğitim sonrası kullanım mimarisi.

ÇK-ÇAÖM'nin mimarisi ÇK-AÖM ile benzerdir. İkisi arasındaki temel fark, katmanlarda hücelere ilişkin giriş bağlantı ağırlık eşiklerinin ( $W^{(i)}$ ,  $b^{(i)}$ ) olmayışıdır. ÇK-ÇAÖM'nin bir gizli katmanına ilişkin mimari Şekil 3'te gösterilmiştir. Ağırlık eğitim aşamasında her bir katman için  $\gamma^{(i)}$  dönüşüm matrisi Eş. (8)'de verildiği üzere katman girişi ve kare çekirdek matrisi kullanılarak hesaplanır. Dönüşüm matrisi bulunduğundan sonra ÇK-AÖM'deki gibi son katman hariç oto-kodlayıcı olarak adlandırılan ara katmanların çıkışı da Eş. (9) ile hesaplanır.  $m$  katmanlı bir ağda son katmana ilişkin dönüşüm matrisi ise Eş. (10) ile belirlenir. Ağ çıkışı ise ara katmanlardakine benzer bir şekilde Eş. (11) ile hesaplanır.



Şekil 3. ÇK-ÇAÖM'nin ara katman mimarisi.

$$\gamma^{(i)} = \left( \frac{1}{\lambda} + \Omega^{(i)} \right)^{-1} \mathbf{X}^{(i)} \quad (8)$$

$$\mathbf{X}^{(i+1)} = \mathbf{X}^{(i)} \gamma^{(i)}, \quad (9)$$

$$\gamma^{(m)} = \left( \frac{1}{\lambda} + \Omega^{(m)} \right)^{-1} \mathbf{T} \quad (10)$$

$$\hat{\mathbf{T}} = \Omega^{(m)} \gamma^{(m)} \quad (11)$$

Yukarıda kısaca tanımlanan ÇK-ÇAÖM'nin kaynak kodu<sup>‡</sup> [8]'de verilen bağdan indirilerek bu çalışmadaki amaca uyarlanmıştır.

### 3. Çok Katmanlı AÖM ile Rüzgar Hızı Tahmini Modellemesi

Bu bölümde yukarıda önceki bölümde tanımlanan çok katmanlı iki yeni AÖM ağ mimarisi ile kısa dönem rüzgar hızı tahmin modeli oluşturması ve bu modellerin başarımlarını analizinde odaklanılmıştır. Çalışmanın ana amacı, rüzgar hızı tahmini problemi üzerinde iki ağın başarımlarını analiz ederek ağların üstün ve zayıf taraflarının belirlenmesidir.

Çalışmada kullanılan rüzgar hızı verisi [9]'da da kullanılan veri olup Bilecik ili gözlem istasyonundan alınan saatlik bazda kaydedilmiş veridir. Bu veri Temmuz ayında alınmış toplamda 744 örnek içermektedir. Bu çalışmada da [9]'daki gibi ilk 518 örnek ağ eğitimi, kalan diğer örnekler de eğitilen ağın genelleme yeteneğini test etmek amaçlı seçilmiştir. Tüm veri [0,1] aralığına normalize edilerek kullanılmıştır. Model girişleri olarak mevcut rüzgar hızı ölçümü ve bu ölçümün 3 öncesi ölçümleri alınmış olup çıkış olarak da bir saat sonraki rüzgar hızı tahmini alınmıştır. Yani,  $k$  örnek indeksini,  $y(k)$  da  $k$  örneklemedeki rüzgar hızı olmak üzere yapılacak modelleme Eş. (12) ile tanımlanabilir. Eşitlikteki  $f$  giriş-çıkış eşleştirme işlevi ÇK-AÖM ve ÇK-ÇAÖM ağları yerine getirecektir.

$$y(k+1) = f(y(k), y(k-1), y(k-2), y(k-3)) \quad (12)$$

#### 3.1. Deneysel kurgu

Bu çalışmada, deneyler 2.5-GHz i5 CPU, 8 GB RAM temel özelliklere sahip bilgisayar üzerinde kurulu MATLAB 2014a ortamında yapılmıştır. Tüm deneylerde her iki ağın katman sayısı ilgili literatürde önerildiği üzere üç alınmıştır. Deneyler ağların kendine özgün yapısal ve

eğitimi ile ilgili farklı parametreler için yapılmıştır.

ÇK-AÖM için katmanlardaki hücre sayısı  $Li$  ( $i = 1, 2, 3$ )  $\{5, 10, 15, 30, 50\}$  kümesi dahilinde değerlendirilmiş olup hücre aktivasyon fonksiyonu olarak log-sigmoidal fonksiyonu kullanılmıştır. ÇK-ÇAÖM için katman hücre sayısı ( $Li$ ) gerekmemekte, çekirdek fonksiyonu olarak EŞ. (5)'de verilen radial tabanlı fonksiyon kullanılmıştır. Her iki ağ için, her bir katman için düzenleme parametresi  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )  $\{1, 5, 10, 50, 100\}$  kümesi dahilinde değerlendirmeye alınmıştır. ÇK-ÇAÖM için, çekirdek parametresi  $\sigma_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) her bir katman için  $\{0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$  kümesi dahilindeki değerlere kurulmuştur. ÇK-AÖM'nin MATLAB kodu yazar tarafından yazılmış olup ÇK-ÇAÖM için kaynak kod [8]'de verilen bağdan elde edilerek bu çalışmada ele alınan probleme uyarlanmıştır.

#### 3.2. Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada önceki alt bölümde bahsedilen olası farklı parametreler için her bir ağ ikinci bölümde tanımlanan eğitim süreci eğitim örnekleri kullanılarak 30'ar kez tekrarlanmış, her bir eğitim sonunda elde edilen ağın genelleme yeteneği de test örnekleri kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen ağların modelleme başarımlarının ölçümünde RMSE metriği kullanılmıştır.

Her bir ağ için hazırlanan programlar vasıtasıyla 30'ar kez tekrarlanan eğitim ve test sürecinin her birine ait hem işletim süresi hem de eğitim ve test veri setleri için ayrı ayrı olmak üzere modelleme başarımlarını metrikleri kaydedilmiştir. Tablo 1'de eğitim aşaması için farklı parametrelerle iki ağa ait eğitim süreleri verilmiştir. Ağların modelleme başarımlarına ilişkin RMSE cinsinden metrikler ise hem eğitim hem de test veri seti için Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 4'de ise elde edilen modelleme başarımlarını grafiksel olarak göstermesi açısından ÇK-ÇAÖM ile elde edilen başarımların gerçek değerler ile kıyaslamalı olarak verilmiştir.

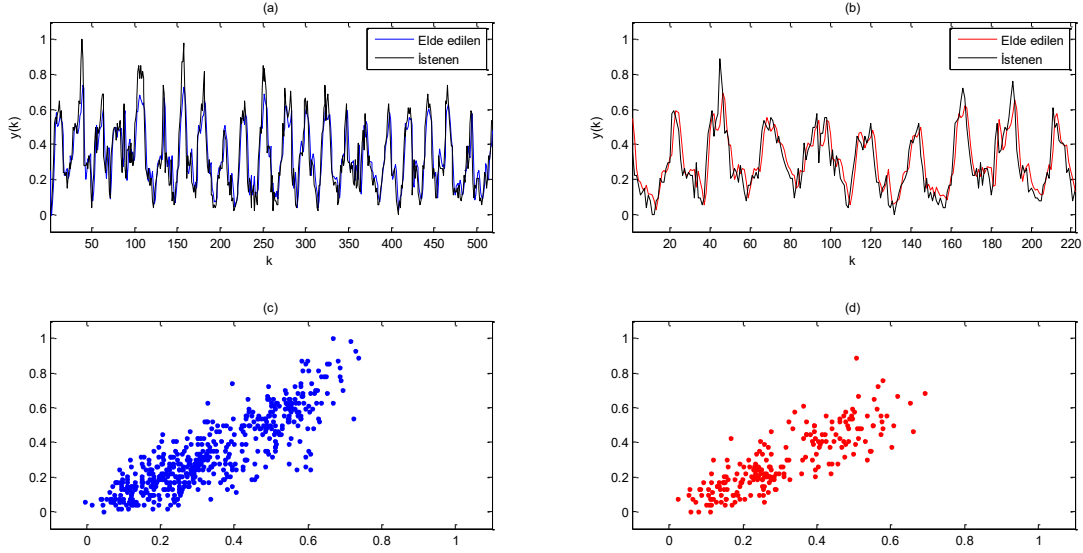
#### 4. Sonuç ve Yorumlar

Bu çalışmada iki yeni çok katmanlı aşırı öğrenme makinesi ağı tanıtılmış olup bu ağların farklı yapısal ( $\#Li$ ,  $\sigma_i$ ) ve eğitim ( $\lambda_i$ ) parametreleri ile başarımlarını kısa dönem rüzgar hızı tahmin modeli elde edilmesi problemi çerçevesinde incelenmiştir. Bu ağların bu alanda kullanımı ve bu farklı parametreler için başarımlarını incelemesi çalışmanın temel özgünlüğüdür. İnceleme sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 1'de eğitim süresi açısından, Tablo 2'de de hem eğitim hem de test veri seti için modelleme başarımlarını metrikleri RMSE cinsinden topluca verilmiştir.

<sup>‡</sup> <http://www.fst.umac.mo/en/staff/fstcmv.html#software>

**Tablo 1.** Eğitim süresi kıyaslama tablosu

$\lambda_i$	ÇK-AÖM					ÇK-ÇAÖM				
	#Li	Ort. [s]	En iyi [s]	En kötü [s]	Std. sapma.	Ort. [s]	En iyi [s]	En kötü [s]	Std. sapma.	$\sigma_i$
1	5	0.1047	0.0618	0.3202	0.0615	0.0905	0.0648	0.1161	0.0139	0.1
	10	0.1475	0.0474	0.5805	0.1453	0.0680	0.0618	<b>0.0778</b>	<b>0.0049</b>	0.25
	15	0.1064	0.0574	0.3259	0.0499	0.0693	0.0604	0.0940	0.0088	0.5
	30	0.2318	<b>0.0449</b>	4.9678	0.8947	0.0738	0.0605	0.1462	0.0166	0.75
	50	0.0708	0.0582	0.1219	0.0154	<b>0.0686</b>	0.0595	0.0782	0.0055	1
5	5	0.0681	0.0425	0.1226	0.0171	0.1110	0.0738	0.1684	0.0304	0.1
	10	<b>0.0478</b>	<b>0.0420</b>	0.0677	0.0062	0.0928	0.0673	0.1442	0.0197	0.25
	15	0.0503	0.0432	0.0677	0.0054	0.0930	0.0708	0.1295	0.0167	0.5
	30	0.0510	0.0444	<b>0.0634</b>	<b>0.0046</b>	0.1221	0.0673	0.1598	0.0277	0.75
	50	0.0539	0.0468	0.0641	0.0055	0.0884	0.0650	0.1256	0.0158	1
10	5	0.0475	<b>0.0418</b>	0.0597	0.0043	0.1127	0.0757	0.1772	0.0349	0.1
	10	0.0472	0.0424	0.0571	0.0051	0.1199	0.0751	0.1549	0.0266	0.25
	15	<b>0.0477</b>	0.0426	<b>0.0559</b>	<b>0.0042</b>	0.1038	0.0669	0.1543	0.0274	0.5
	30	0.0499	0.0438	0.0580	0.0048	0.0806	0.0657	0.1174	0.0153	0.75
	50	0.0567	0.0472	0.0825	0.0072	0.0857	0.0653	0.1116	0.0137	1
50	5	0.0508	<b>0.0411</b>	0.0779	0.0099	0.1205	0.0683	0.1766	0.0244	0.1
	10	<b>0.0477</b>	0.0420	<b>0.0573</b>	<b>0.0043</b>	0.1361	0.0665	0.6715	0.1088	0.25
	15	0.0497	0.0426	0.0632	0.0049	0.0735	0.0636	0.0870	0.0076	0.5
	30	0.0605	0.0440	0.1482	0.0231	0.0738	0.0654	0.0947	0.0072	0.75
	50	0.0536	0.0466	0.0619	0.0047	0.0750	0.0663	0.0942	0.0060	1
100	5	0.0490	<b>0.0412</b>	0.0687	0.0075	0.0695	0.0627	0.0783	0.0047	0.1
	10	0.0491	0.0419	0.0704	0.0068	0.0688	0.0613	0.0845	0.0064	0.25
	15	<b>0.0482</b>	0.0425	<b>0.0550</b>	<b>0.0039</b>	0.0703	0.0615	0.0831	0.0064	0.5
	30	0.0524	0.0441	0.0614	0.0046	0.0691	0.0615	0.0850	0.0065	0.75
	50	0.0560	0.0467	0.1111	0.0116	0.0738	0.0612	0.1607	0.0178	1

**Şekil 4.** ÇK\_AÖM ağına ait eğitim (sol) ve test (sağ) seti için başarımlar (a ve b örneksel, c ve d dağılım)

**Tablo 2.** RMSE cinsinden eğitim (1. satır) ve test (2. satır) veri seti için başarımların metrikleri

$\lambda_i$	#Li	ÇK-AÖM				ÇK-ÇAÖM				
		Ort.	En iyi	En kötü	Std. sapma	Ort.	En iyi	En kötü	Std. sapma	$\sigma_i$
1	5	0.1536 0.1305	0.1135 0.0978	0.1917 0.1609	0.0217 0.0181	<b>0.0985</b> <b>0.0951</b>	<b>0.0985</b> <b>0.0951</b>	<b>0.0985</b> <b>0.0951</b>	<b>0.0000</b> <b>0.0000</b>	0.1
	10	0.1215 0.1057	0.1047 0.0966	0.1478 0.1241	0.0126 0.0087	0.1265 0.1119	0.1265 0.1119	0.1265 0.1119	0.0000 0.0000	0.25
	15	0.1145 0.1008	0.1064 0.0965	0.1385 0.1170	0.0071 0.0045	0.1311 0.1155	0.1311 0.1155	0.1311 0.1155	0.0000 0.0000	0.5
	30	0.1080 0.0973	0.1058 0.0966	0.1151 0.1003	0.0019 0.0007	0.1320 0.1161	0.1320 0.1161	0.1320 0.1161	0.0000 0.0000	0.75
	50	0.1070 0.0968	0.1050 0.0966	0.1091 0.0973	0.0009 0.0002	0.1311 0.1153	0.1311 0.1153	0.1311 0.1153	0.0000 0.0000	1
5	5	0.1808 0.1526	0.1361 0.1170	0.2641 0.2131	0.0247 0.0208	<b>0.0650</b> 0.1130	<b>0.0650</b> 0.1130	<b>0.0650</b> 0.1130	<b>0.0000</b> <b>0.0000</b>	0.1
	10	0.1235 0.1073	0.0942 0.0909	0.1787 0.1459	0.0211 0.0136	0.0815 0.0987	0.0815 0.0987	0.0815 0.0987	0.0000 0.0000	0.25
	15	0.1056 0.0965	0.0939 0.0916	0.1337 0.1147	0.0092 0.0049	0.0864 0.0939	0.0864 0.0939	0.0864 0.0939	0.0000 0.0000	0.5
	30	0.0948 0.0924	0.0928 <b>0.0911</b>	0.0986 0.0934	0.0014 0.0006	0.0899 0.0931	0.0899 0.0931	0.0899 0.0931	0.0000 0.0000	0.75
	50	0.0942 <b>0.0921</b>	0.0928 0.0915	0.0956 <b>0.0927</b>	0.0007 0.0003	0.0916 0.0931	0.0916 0.0931	0.0916 0.0931	0.0000 0.0000	1
10	5	0.1743 0.1484	0.1168 0.1111	0.2048 0.1755	0.0222 0.0182	<b>0.0370</b> 0.2254	<b>0.0370</b> 0.2254	<b>0.0370</b> 0.2254	<b>0.0000</b> <b>0.0000</b>	0.1
	10	0.1302 0.1133	0.0935 0.0930	0.1779 0.1548	0.0199 0.0131	0.0465 0.1224	0.0465 0.1224	0.0465 0.1224	0.0000 0.0000	0.25
	15	0.1018 0.0955	0.0943 <b>0.0899</b>	0.1215 0.1055	0.0061 0.0036	0.0614 0.1053	0.0614 0.1053	0.0614 0.1053	0.0000 0.0000	0.5
	30	0.0924 0.0919	0.0906 0.0910	0.0950 0.0930	0.0011 0.0006	0.0682 0.1010	0.0682 0.1010	0.0682 0.1010	0.0000 0.0000	0.75
	50	0.0915 <b>0.0918</b>	0.0906 0.0913	0.0927 <b>0.0924</b>	0.0005 0.0003	0.0731 0.0976	0.0731 0.0976	0.0731 0.0976	0.0000 0.0000	1
50	5	0.1812 0.1583	0.1134 0.1077	0.2077 0.1849	0.0232 0.0191	0.0076 0.3365	0.0076 0.3365	0.0076 0.3365	0.0000 0.0000	0.1
	10	0.1510 0.1316	0.1167 0.1061	0.1894 0.1629	0.0192 0.0148	0.0075 0.3323	0.0075 0.3323	0.0075 0.3323	0.0000 0.0000	0.25
	15	0.1113 0.1036	0.0912 0.0914	0.1487 0.1293	0.0145 0.0083	0.0074 0.3309	0.0074 0.3309	0.0074 0.3309	0.0000 0.0000	0.5
	30	0.0913 0.0926	0.0894 <b>0.0907</b>	0.0969 0.0948	0.0015 0.0009	0.0074 0.3295	0.0074 0.3295	0.0074 0.3295	0.0000 0.0000	0.75
	50	0.0898 <b>0.0919</b>	0.0891 0.0909	0.0909 <b>0.0927</b>	0.0005 0.0005	<b>0.0074</b> 0.3278	<b>0.0074</b> 0.3278	<b>0.0074</b> 0.3278	<b>0.0000</b> <b>0.0000</b>	1
100	5	0.1842 0.1612	0.1369 0.2074	0.2074 0.1928	0.0205 0.0166	0.0039 0.3412	0.0039 0.3412	0.0039 0.3412	0.0000 0.0000	0.1
	10	0.1486 0.1310	0.1117 0.1988	0.1988 0.1713	0.0229 0.0182	<b>0.0039</b> 0.3402	<b>0.0039</b> 0.3402	<b>0.0039</b> 0.3402	<b>0.0000</b> <b>0.0000</b>	0.25
	15	0.1175 0.1080	0.0925 0.1447	0.1447 0.1341	0.0154 0.0096	0.0039 0.3405	0.0039 0.3405	0.0039 0.3405	0.0000 0.0000	0.5
	30	0.0913 0.0927	0.0889 0.0960	0.0960 0.0974	0.0019 0.0016	0.0039 0.3406	0.0039 0.3406	0.0039 0.3406	0.0000 0.0000	0.75
	50	0.0894 <b>0.0919</b>	0.0886 <b>0.0902</b>	0.0902 <b>0.0929</b>	0.0004 0.0005	0.0039 0.3404	0.0039 0.3404	0.0039 0.3404	0.0000 0.0000	1



Tablolarda elde edilen sonuçlar 30'ar koşturma sonucunda elde edilen ortalama, en iyi, en kötü ve standart sapma olmak üzere dört metrik ile verilmiştir. Tablolarda farklı arka plan renkleriyle gösterilmiş parametre kategorisi için elde edilmiş en iyi metrikler koyu punto ile işaretlenmiştir. Tablo 2'de altı çizgili olarak işaretlenen en iyi metrikler test seti içindir. İşaretlenen en iyi başarımlar metrikleri ve diğer gözlenen diğer hususlar çerçevesinde aşağıda listelenen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Eğitim süresi bakımından Tablo 1'de işaretlenen koyu puntolu saniye cinsinden metriklerden görüleceği üzere;  $\lambda_i=1$  durumu hariç diğer tüm parametre kategorilerinde açık bir şekilde ÇK-AÖM daha üstün bir başarımla sahiptir.
2. Kararlılık bakımından, Tablo 2'de verilen standart sapma metriklerinden açıkça görüleceği üzere, çekirdek fonksiyonu kullanan ÇK-ÇAÖM son derece başarılıdır. Her çalışma sonunda hem eğitim hem de test veri seti için aynı başarımları göstermiştir. Ancak ÇK-AÖM'nin hücre sayısı arttıkça kararlılık bakımından ÇK-ÇAÖM ağına yakınlığı gözlenmiştir.
3. Genelme kabiliyeti açısından ÇK-AÖM'nin daha başarılı olduğu gözlenmiştir.
  - a. Büyük  $\lambda_i$ 'nin 5'den büyük değerleri için ÇK-ÇAÖM'nin eğitim seti için çok iyi başarımlar göstermiş olması rağmen test seti için görece çok kötü başarımlar göstermesi bu ağı ezberleme moduna geçtiğinin göstergesidir. Bunun sebebinin test verisiyle çekirdek hesabı yapılırken eğitim aşamasında eğitim veri setine bağlı olarak hesaplanan bir dönüşüm matrisinin kullanılması olduğu değerlendirilmiştir.
  - b. Tüm parametre kategorilerinde ÇK-AÖM mimarisinde hücre sayısı arttıkça hem eğitim hem de test seti için giderek iyileşen başarımlar elde edilmiştir.

## Teşekkür

Yazar bu çalışmada kullanılan veri setinin temini ve kullanım konusunda izin ve destekleri için Prof. Dr. Mehmet Kurban ve Dr. Emrah Dokur'a teşekkür eder.

## Kaynaklar

[1] Huang G.-B., Zhu Q.-Y., Siew C.-K., 2004. Extreme Learning Machine: A New Learning Scheme of


Feedforward Neural Networks. IEEE International Conference on Neural Networks, Budapest, Hungary, 25-29 July, vol 2, pp.985-990.

- [2] Karakuzu C., Yüzgeç U., 2018. A Simple Heuristic Approach to Improve Performance of Extreme Learning Machine. International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18), 11-13 May, Safranbolu, Turkey, pp. 212-17.
- [3] Jagtap P., Raut P., Pillai G. N., Kazi F., Singh N. M., 2015. Extreme-ANFIS: A Novel Learning Approach for Inverse Model Control of Nonlinear Dynamical Systems. 2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC), College of Engineering Pune, India, 28-30 May, pp. 718-23.
- [4] Karakuzu C., Öztürk Ö., 2018. Fuzzy System Modeling with Extreme Learning Machines. International Conference on Data Science and Applications (ICONDATA 2018), Yalova, Turkey, 4-7 October, vol. 2, pp. 194-208.
- [5] Liao S., Feng C., 2014. Meta-ELM: ELM with ELM Hidden Nodes. Neurocomputing 128, 81-87.
- [6] Karakuzu C., 2019. Performance Comparison of a Neural Network and a Fuzzy Network Trained by ELM for Dynamic System Identification Problems. 2nd International Congress on Engineering and Architecture (ENAR), 22-24 April, Marmaris, Turkey, pp. 1465-1475.
- [7] Tang J., Deng C., Huang G.-B., 2016. Extreme Learning Machine for Multilayer Perceptron. IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems, 27(4), 809-821.
- [8] Wong C. M., Vong C. M., Wong P. K., Cao J., 2018. Kernel-Based Multilayer Extreme Learning Machines for Representation Learning. IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems, 29(3), 757-762.
- [9] Dokur E., Karakuzu C., Yüzgeç U., Kurban M., 2019. ELM Based Wind Speed Forecasting. International Symposium on Engineering Natural Sciences and Architecture (ISENSA), Kocaeli, Turkey, 2-4 May, pp. 104-108.



## 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliği Delme Zımbalarında AlTiN, TiSiN ve TiN, PVD Kaplamaların Takım Ömrüne Etkisi

### Effect of AlTiN, TiSiN and TiN, PVD Coatings on Tool Life in 1.2379 Cold Work Tool Steel Punching

Hilal GÜNAY<sup>1</sup>  Yalçın ENGİN<sup>2</sup>  E.Asım GÜVEN<sup>3</sup>  Tamer SINMAZÇELİK<sup>4,\*</sup> 

<sup>1</sup> Ensan Kalıp ve Makine San.Tic.Ltd.Şti., Dilovası, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-5750-9970

<sup>2</sup> Ensan Kalıp ve Makine San.Tic.Ltd.Şti., Dilovası, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6096-0324

<sup>3</sup> Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0153-6774

<sup>4</sup> Makine Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-3276-5820

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 17/08/2020

Kabul Tarihi : 12/09/2020

#### Anahtar Kelimeler

AlTiN  
TiSiN  
TiN  
PVD  
Zımba  
Delme

#### Özet

Zımbalama ve kesme, sac imalat sanayinde en yaygın seri üretim yapılan yöntemlerdir. Dünyada; otomotiv, ev eşyası ve diğer yapısal parçalar gibi milyonlarca parça, her gün delme veya kesme adımları ile seri olarak üretilmektedir. Takımlar, üretim sırasında tekrarlı bir şekilde ağır basma ve burkulma zorlanmaları ile, metal-metal çiftinin sürtünmesine ve temas eden yüzeylerde aşınmalar ile karşı karşıyadır. Bu zorlanma ve tribolojik etkiler nedeniyle takım servis süresince kırılma ve aşınmaya maruz kalabilmektedir. Özellikle bu etkilerin takip edilmemeleri, ya da standart ömür değerlerinin bilinmemesi ve kullanım sürelerinin belirsiz olması durumunda seri üretimde plansız duruşlar yaşanmaktadır. Son araştırmalar, en ucuz çözümün, yüksek kalite bir takım malzemesi kullanmak yerine nispeten ucuz ve ortalama kalite bir malzeme üzerine PVD (Fiziksel Buhar Difüzyonu) veya CVD (Kimyasal Buhar Difüzyonu) kaplaması kullanılması olduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmada 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliği Zımbalara AlTiN, TiSiN ve TiN PVD kaplamalar yapılmış ve endüstriyel imalat sürecinde pres altında delme işlemleri yapılmış ve zımbalama sayısının bir fonksiyonu olarak zımba aşınmaları ve boyut değişimleri ölçülmüştür.

#### Research Paper

Received Date : 17/08/2020

Accepted Date : 12/09/2020

#### Keywords

AlTiN  
TiSiN  
TiN  
PVD  
Punch  
Punching

#### Abstract

Punching and cutting are the most common mass production methods in the sheet metal manufacturing industry. In the world; Millions of parts, such as automotive, household appliances, and other structural parts, are mass-produced with punching or cutting steps every day. The tools are faced with repeated strains of heavy pressure and buckling during production, friction of the metal-metal pair and abrasion on the contact surfaces. Due to this stress and tribological effects, the tool may be exposed to breakage and wear during service. Unplanned shutdowns are experienced in mass production, especially if these effects are not followed, or the standard life values are unknown and the usage periods are uncertain. Recent research has shown that the cheapest solution is to use a PVD (Physical Vapor Diffusion) or CVD (Chemical Vapor Diffusion) coating on a relatively inexpensive and average quality material rather than using a high quality tool material. In this study, 1.2379 Cold Work Tool Steel punches were coated with AlTiN, TiSiN and TiN PVD coatings, and during the industrial manufacturing process, punching operations were performed under press, and punch wear and size changes were measured as a function of punching number.

## 1. Giriş

Zımbalama ve kesme, sac imalat sanayinde en yaygın seri üretim yapılan yöntemlerdir [0]. Ayrıca bu işlemler; derin çekme, bükme, kenar yuvarlama, damgalama ve hidroform gibi diğer sac şekillendirme işleminin ilk

adımıdır [0]. Zımbalama (delme) ve kesme işlemleri kelime olarak birbirine karıştırılan proseslerdir. Fakat, bu iki sac metal işleme tamamen farklıdır. İşlem, ürün veya hurda olan işlenmiş sac ile belirlenir. Eğer işlenmiş sac metal; ürün ise, bu işleme kesme denir. Öte yandan sac metal hurda ise delme olarak adlandırılır [0]. Kalıp boyutları ise kesme veya delme işlem türüne göre belirlenir.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): tamersec@kocaeli.edu.tr



Dünyada; otomotiv, ev eşyası ve diğer yapısal parçalar gibi milyonlarca parça, her gün delme veya kesme adımları ile seri olarak yüksek miktarlarda üretilmektedir. Bu nedenle, üretim planlanmamış duraksamalarla asla kesilmemelidir. Üretimin, işlemi (kesme veya delme) doğru bir şekilde yürütebilmek için aşağıdaki gibi parametreleri dikkate alması gerekir; malzeme özellikleri (kayma mukavemeti, sertlik, vb.), geometrik parametreler (yuvarlatmalar), kontur tanımı (keskin kenarlar), fiziksel parametreler (yağlama, kalıp malzemeleri, kaplama, pres özellikleri, vb.) ve çıkış parametreleri (boyutsal toleranslar, geri yaylanma), takım aşınması vb. [0]. Algılama ve çevrim içi izleme teknikleri [0-0] icat edilmiş olsa bile, en dramatik ve sık karşılaşılan plansız ya da istemsiz duruşlar takım arızalarından kaynaklanır. Bu planlanmamış duruşlar, takım kırılması, takım kenarı aşınmasından kaynaklanan çapak yüksekliği, takım duvarı aşınmasından kaynaklanan kabul edilemez tolerans veya şekillerden dolayı gerçekleştirilebilir.

Takımlar, üretim sırasında tekrarlanan ve ağır basma ve burkulma zorlanmaları, metal-metal çiftinde gerçekleşen (takım ve sac malzeme) sürtünme kuvvetleri ve kenar aşınmaları ile karşı karşıyadır. Bu nedenle maliyetli bir kalıp bakımını önlemek için takımlar periyodik olarak kontrol edilir, bilenir veya değiştirilir [0]. Tasarımcılar, plansız üretim duruşlarını önlemek için uzatılmış takım ömrü üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Son araştırmalar, en ucuz çözümün, yüksek kalitede bir takım malzemesi kullanmak yerine nispeten ucuz ve ortalama kalite bir malzeme üzerine PVD (Fiziksel Buhar Difüzyonu) veya CVD (Kimyasal Buhar Difüzyonu) kaplaması olduğunu ortaya koymuştur [0-0]. Çünkü, yüksek kalite malzemeden üretilen takımların işlenmesi zor ve pahalı olacaktır. Esas olarak ilk PVD uygulamaları Robert Grove'un 1852 ve Michael Faraday'ın 1857 yılında gerçekleştirdiği çalışmalar olarak kabul edilmektedir [0]. Günümüzde termal ve kinematik yöntemlerin hibrit olarak uygulandığı PVD teknikleri geliştirilmiştir. 1960'lı yıllardan sonra kesici takım yüzeylerine aşınmayı geciktirme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. CVD uygulamaları ise 19. yüzyılda ampul filamentleri üzerinde başlamasına rağmen, 1950'ler de ilk TiC kaplama gerçekleşmiş, 1990'lar da ise Krupp firması tarafından ticari uygulamalara dönüştürülmüştür [0]. Ticari uygulamalarda PVD-CVD kaplama kullanımı son 25 yıl içerisinde önemli derecede artarak %70 gibi önemli bir paya ulaşmıştır [0]. PVD ve CVD kaplamalar ile yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**] ve düşük aşınma ve yüksek korozyon direnci sağlar. Kaplama kalınlıkları ise PVD yönteminde yaklaşık 1-5 mikron, CVD yönteminde ise 5-20 mikrondur. Bu nedenle kaplama, nihai malzemeye boyut toleransı kaybı olmadan uygulanabilir. Bu çalışmada, 1.2379 baz malzeme üzerine

AlTiN, TiSiN ve TiN PVD kaplamaları kullanılarak elde edilen zımba ömür değerleri incelenmiştir.

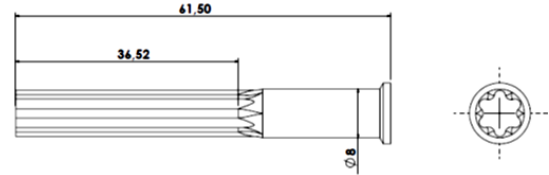
## 2. Malzeme ve Yöntem

Operasyonel delme işlemleri Ensan Kalıp ve Makina Sanayi Tic. Ltd. Şti.'nin Dilovası tesisinde endüstriyel imalat koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Zımba malzemesi olarak 1.2379 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Zımbalar nihai boyutlarına işlendikten sonra (Şekil 1) 750 °C sıcaklığa yavaş, 1030 °C sıcaklığa hızla ısıtılarak su verilmiş ve daha sonra sertlikleri 60 HRC olacak şekilde 250 °C'de menevişlenmiştir.

**Tablo 1:** 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (ağ.%)

C	Si	Mn	P
1,45-1,60	0,10-0,60	0,20-0,60	0,03
S	Cr	Mo	V
0,03	11,00-13,00	0,60-0,80	0,90-1,10

Zımbalar daha sonra kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilen üç farklı tür malzemeyle PVD yöntemi kullanılarak kaplanmıştır.



**Şekil 1:** Yıldız zımba ölçüleri

**Tablo 2:** Kaplama malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal İsim	Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HV)	Sürtünme Katsayısı	Kaplama Kalınlığı (µm)
TiSiN	1100	4200	0,50	1-4
AlTiN	900	3600	0,55	1-4
TiN	600	2600	0,40	2-5

Matris (dişi) malzemesi olarak 1.2080 soğuk iş takım çeliği kullanılmış ve malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 3'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Matris nihai boyutlarına işlendikten sonra çarpılma problemini önlemek amacıyla 800 °C sıcaklığa yavaş, 950 °C sıcaklığa ise hızla ısıtılarak su verilmiş ve daha sonra sertlikleri 58 HRC olacak şekilde 300 °C'de menevişlenmiştir. Kesme boşluğu tek taraftan 0,06 mm olarak şekilde işlenmiştir.

**Tablo 3:** 1.2080 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (ağ.%)

C	Si	Mn	P
2,00-2,30	0,10-0,60	0,10-0,60	0,03
S	Cr	T	V
0,03	11,00-13,50	0,00-1,00	0,00-1,10

Deneylerde sac malzeme olarak soğuk haddelenmiş 2,25 mm kalınlığında S275JR yapı çeliği kullanılmıştır.

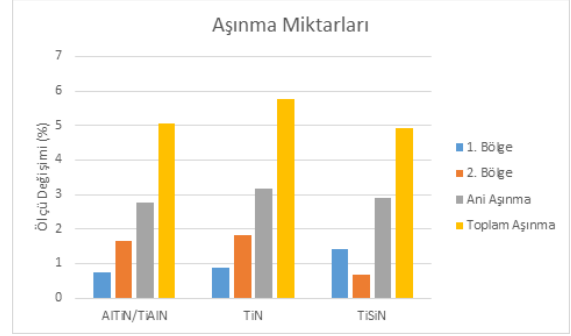
Yaklaşık 20.000 'lik partiler halinde delme işlemi sonrası ürünlerden numune alınmış ve boyut ölçümü yapılarak aşınma miktarları hesaplanmıştır. Kullanılan 3 farklı zımbaya da deneyler esnasında herhangi bir bileme işlemi yapılmamış, deneyler zımbalarda hasar meydana kadar devam etmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

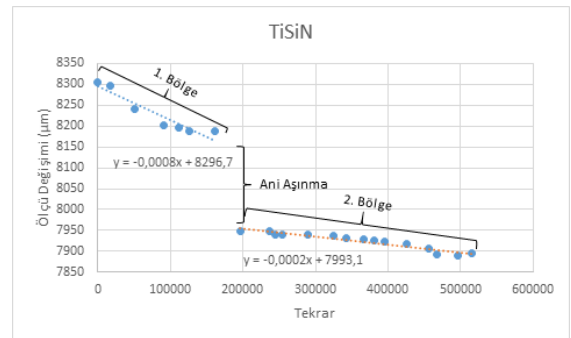
Kaplamasız olarak kullanılan 1.2379 soğuk iş takım çeliği zımbalarla yapılan delme-kesme işlemlerinde yaklaşık 10.000 delme işleminde zımba kopması yaşandığı aynı zımbanın tamir edilerek kullanılması halinde ise 20.000 delme işleminde bileme ihtiyacı duyulduğu işletme tarafından bilinmektedir. Her bir kopma veya bileme sebebiyle üretim duruşlarında yaklaşık olarak yarım vardiya üretim kaybı oluşmaktadır. Bununla birlikte zımba hasarların bazılarında kalıp (dişi) hasarı da oluşmaktadır. Bu durumlarda ise hem kalıp tamir ya da imalat masrafları hem de imalatın durması kaynaklı toplam maliyet daha da artmaktadır.

AlTiN, TiSiN ve TiN kaplanmış zımbalarla yapılan delme işlemlerinde bileme ihtiyacı duyulmadan 514.500 adete ulaşan delme işlemi yapılabilmektedir. AlTiN zımbanın kırılmasıyla deneyler durdurulmuştur.

Yapılan delme işlemleri neticesince zımbalar herhangi bir bileme işlemine tabi tutulmamasına rağmen 196.500 delme işlemi sonrası zımba boyutunda belirgin bir şekilde değişim gözlemlenmiştir. Saç parça üzerinde yapılan çap ölçümlerinde de benzer durumlar gözlenmiş olup tüm zımba çeşitleri için yaklaşık 200.000 tekrar sayısından sonra kaplama özelliğini kaybetmeye başladığı görülmüştür. Fakat imalat boyut ve toleransları kabul edilebilir seviyede olması nedeniyle deneyler devam etmiştir. Yaklaşık 200.000 tekrar sınırına kadar olan aşınma **1. Bölge**, 200.000-500.000 tekrar arası **2. Bölge** ve 196.500 tekrarda oluşan aşınma ise **Ani Aşınma** olarak isimlendirilmiştir.

**Şekil 2:** Kaplamaların aşınma miktarları

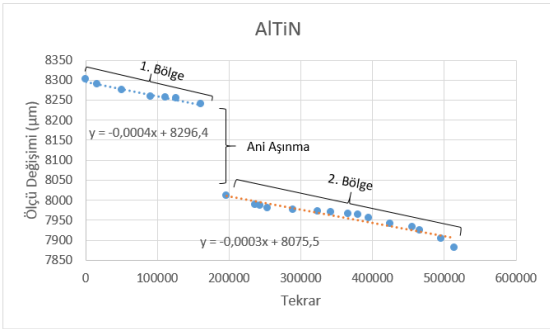
Geleneksel kaplamalarda tane boyutu 30-80 nm civarındadır. Fakat TiSiN nano kompozitlerinin tane boyutları amorf bir SiN<sub>x</sub> matrisine gömülü ve 5 nm ila 20 nm arasındadır. Çatlak oluşumunu ve yayılmasını azaltmak için, bu amorf matris mümkün olduğunca ince olmalıdır. Küçük tane büyüklüğü nedeniyle deformasyon dislokasyon hareketi yerine tane sınırı kayması ile yönetilir [0]. TiSiN kaplamalarda kolonsal tane yapısı görülmez. Bu özellikle birlikte aşınma dayanımı arttırmaktadır. 4200 HV gibi yüksek sertlik değeri de aşınma dayanımına yardımcı olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda da benzer şekilde aşınma miktarı en az olan kaplama türü TiSiN olmuştur. Her ne kadar Şekil 2'de görüldüğü gibi yaklaşık 200.000 delme işlemine kadar hızlı bir şekilde aşınmaya uğramasına rağmen 200.000'den sonra aşınma miktarı yavaşlamıştır. Ball on disc deneylerinde de benzer şekilde aşınmanın belirli bir süre sonunda kararlı hale geçtiği gözlemlenmiştir [0]. Kaplama yüzeyinde bulunan kararsız tabakanın hızlı bir şekilde aşınmasından sonra kaplamanın kararlı hale geldiği ve yüksek sertlikle birlikte aşınmaya karşı dayanım gösterdiği anlaşılmıştır. Şekil 3 ve 4'te TiSiN kaplı zımbanın aşınma hızı ve zımba ucundaki aşınma miktarı gösterilmektedir.

**Şekil 3:** TiSiN kaplamanın aşınma davranışı



**Şekil 4:** TiSiN kaplı zımbanın ilk ve 514.500 delme işleminden sonraki görüntüsü.

AlTiN kaplamalardan genel olarak kaplamalardaki metalik oran %65-75 Titanyum, %25-35 Alüminyum şeklindedir. AlTiN kaplamalarda ise genel olarak %60-70 Alüminyum, %30-40 Titanyum şeklinde olmaktadır. Alüminyum atomik oranı %70'i geçtiğinde kafes yapısı bozulmakta ve kübik kafes yapısı ortadan kalktığı için filmin mekanik özellikleri bozulmaktadır. Bu sebeple ticari uygulamalarda %70'den daha fazla atomik alüminyum oranına sahip AlTiN filmler üretilmemektedir. Performans deneylerinde yüksek kesme hızlarına sahip olan takımlarda kaldırılan talaş hacmi ve ekonomik uygunluk performansının daha yüksek olduğu gözlemlenmiş ve aşınmalar ilk andaki hızlı büyümeden sonra ve doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir [0]. Deneysel çalışmalar neticesinde Şekil 2'de de görüldüğü gibi birinci ve ikinci aşınma bölgesinde AlTiN aynı aşınma karakterine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5 ve 6'te AlTiN kaplı zımbanın aşınma hızı ve zımba ucundaki aşınma miktarı gösterilmektedir.



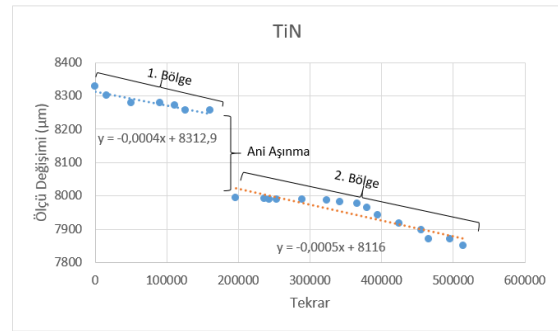
**Şekil 5:** AlTiN kaplamanın aşınma davranışı



**Şekil 6:** AlTiN kaplı zımbanın ilk ve 514.500 delme işleminden sonraki hasar ile aşınma görüntüsü.

TiN kaplamalar, yüksek sertlikleri, düşük aşınma oranları ve görünüşlerinden dolayı yıllardır, aşınma önleme ve dekoratif amaç ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Zira

TiN kaplamaların altın renginde olması özellikle dekoratif amaçlı uygulamalarda avantajlıdır. Fakat 600 °C gibi sınırlı bir oksidasyon direncine sahiptirler [0]. Bununla birlikte kolonsal tane yapıları nedeniyle kaplama özellikleri anizotropdur. Uygulanan yüklemenin yönüne bağlı olmakla birlikte kolonlar da kırılma şeklinde hasar oluştururlar [0]. Tablo 2'de görüldüğü gibi TiN kaplama deneylerde kullanılan diğer iki kaplamaya göre sertlik değeri daha düşük olup 2600HV seviyesindedir. Şekil 2'ye göre TiN kaplanan zımbalarda aşınma miktarı diğer iki tür kaplamaya göre ikinci bölge aşınması ile ani aşınma miktarları da fazladır. Şekil 7 ve 8'de TiN kaplı zımbanın aşınma hızı ve zımba ucundaki aşınma miktarı gösterilmektedir. Bu zımbanın kırılarak hasara uğradığını göstermektedir.



**Şekil 7:** TiN kaplamanın aşınma davranışı



**Şekil 8:** TiN kaplı zımbanın ilk ve 514.500 delme işleminden sonraki görüntüsü.

#### 4. Sonuçlar

1.2379 Soğuk İş Takım malzemesi üzerine yapılan PVD kaplamalar ile takım ömrü geleneksel yöntemle göre % 5000 arttırılmıştır. Geleneksel yöntemle göre planlanmamış duruşlar ciddi bir derecede azaltılmış ve zımba bileme ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır.

Tüm kaplamalarda yaklaşık 200.000 delme işleminde zımba boyutlarında belirgin bir azalma görülse bile zımbaların işlevlerini yerine getirmeye devam ettiği anlaşılmıştır.

Aşınma dayanımı en iyi olan TiSiN kaplama olmasına rağmen birinci aşınma bölgesinde diğerlerine kıyasla daha hızlı bir aşınma durumu gözlemlenmiş fakat daha sonra diğer kaplamalara benzer şekilde kararlı hale geçmiştir.

AlTiN kaplı zımbadaki aşınma davranışında birinci ve ikinci bölgede bir fark olmayıp aşınma aynı oranda devam etmiştir.

TiN kaplı zımbada ise aşınma miktarı diğer iki tür kaplamaya göre daha fazla olmuştur. TiN kaplamada zımba hasarı oluşmasa bile boyut farklılığı nedeniyle zımbanın daha erken değiştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Öncelikle her üç kaplamanın da endüstriyel ölçekte son derece iyi performans gösterdikleri söylenebilir. Diğer yandan kaplamaların sertlik değerleri ve sürtünme katsayılarındaki küçük farklılıklara rağmen performanslarında kayda değer bir farklılık olmadığı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda TiN kaplamanın daha düşük sertliğe sahip olmasına karşın sürtünme katsayısının düşük olmasının diğer kaplamalar ile eşdeğer bir performans ortaya koyabildiği söylenebilir. Diğer yandan AlTiN kaplamaların daha yüksek sertliğe sahip olmakla birlikte daha yüksek sürtünme katsayılarına sahip olduklarının altı çizilmelidir. Dolayısı ile kaplamanın sertliği ve sürtünme katsayısının (zımba/sac malzeme çiftine ait) iki önemli parametre olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısı kombinasyonunun en iyi kombinasyon olduğu söylenebilir.

Zımba performansında ayrıca kaplamanın ana malzemeye yapışma direnci, kendi içerisinde mikroyapısal düzgünlüğü, kırılabilirliği (tokluk), kalınlığı gibi diğer parametrelerin de önemli olduğu gözden geçirilmemelidir.

## Kaynaklar

- [1] Pan M., Raob Y., 2009. An integrated knowledge based system for sheet metal cutting–punching combination processing. *Knowledge-Based Systems*, 22, 368-375.
- [2] Tang Z., Du H., Lang L., Jiang S., Chen J., Zhang J., 2018. Experimental investigation into the electropulsing assisted punching process of 2024T4 aluminum alloy sheet. *Journal of Materials Processing Technology*, 253, 86-98.
- [3] Capan L., 2015. *Metallere Plastik Şekil Verme, Caglayan Kitapevi*.
- [4] Hattallia V. L., Srivatsaa S. R., 2018. Sheet Metal Forming Processes – Recent Technological Advances. *Materials Today: Proceedings*, 5, 2564-2574.
- [5] Du R., Xu Y.S., 2002. A review on the sensing and on-line monitoring of sheet metal stamping operations. *Proceedings of the 5th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing (ICFDM'02)*. pp. 412-420.
- [6] Aronson R., 1998. *Intelligent Presses, Manuf. Eng.*
- [7] Beard T., 1989. New force in stamping process control *Mod. Mach. Shop.*, 61, 66-75.
- [8] Brueninghaus G., 1988. Process monitoring in the sheet metal processing industry, *VDI-Z.*, 130, 99-101.
- [9] Straffelini G., Bizzotto G., Zanon V., 2010. Improving the wear resistance of tools for stamping *Wear*, 269, 693-697.
- [10] Fernandes L., Silva F. J. G., Andrade M. F., Alexandre R., 2017. Increasing the stamping tools lifespan by using Mo and B4C PVD coatings. *Surface and Coatings Technology*, 325, 107-119.
- [11] Eriksson J., Olsson M., 2011. Tribological testing of commercial CrN, (Ti,Al)N and CrC/C PVD coatings - Evaluation of galling and wear characteristics against different high strength steels. *Surface and Coatings Technology*, 205, 4045-4051.
- [12] Fernandes L., Silva F. J. G., Andrade M. F., Alexandre R., 2017. Improving the punch and die wear behavior in tin coated steel stamping process. *Surface and Coatings Technology*, 332, 174-189.
- [13] Wang L., Nie X., Housden J., Spain E., 2008. Material transfer phenomena and failure mechanisms of a nanostructured Cr–Al–N coating in laboratory wear tests and an industrial punch tool application. *Surface and Coatings Technology*, 203, 816-821.
- [14] Holmberg K., Matthew A., 2009. *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*, Elsevier.
- [15] Haubner R., 2013. The history of hard CVD coatings for tool applications at the University of Technology Vienna, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41, 22-34.
- [16] Fukui H., 2016. Evolutional History of Coating Technologies for Cemented Carbide Inserts - Chemical Vapor Deposition and Physical Vapor Deposition, *SEI Technical Review*, 82, 39-45.
- [17] Mariano J.P., Lau K.H., Sanjurjo A., Caro, D., Casellas, Colominas C., 2006. TiSiN nanocomposite coatings by chemical vapor deposition in a fluidized bed reactor at atmospheric pressure (AP/FBR-CVD), *Surface & Coatings Technology*, 201, 2217–2225.
- [18] Chang C., Chen W.C., Tsai P.C., Ho W.Y., Wang D.Y., 2007. Characteristics and performance of TiSiN/ multilayers coating synthesized by cathodic arc plasma evaporation, *Surface & Coatings Technology*, 202, 987–992.
- [19] Kalss W., Reiter A., Derflinger V., Gey C., Endrino J.L., 2006. Modern coatings in high performance



- cutting applications. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 24, 399–404.
- [20] Zhang S.Y., Zhu W.G., 1993. TiN coating of tool steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 39. 1993, 165-177.
- [21] Tilbrook M.T., Paton D.J., Xie Z., Hoffman M., 2007. Microstructural effects on indentation failure mechanisms in TiN coatings: Finite element simulations, *Acta Materialia*, 55, 2489–2501



## Sipermetrinin *Begonia semperflorens*'de Polen Tüpü Oluşumu Üzerindeki Etkisi

### *The Effect of Cypermethrin on Pollen Tube Development of Begonia semperflorens*

Özlem AKSOY<sup>1,\*</sup> Salih DİKİLİTAŞ<sup>2</sup> Sibel SÜTLÜOĞLU<sup>3</sup> Duygu AYDIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Biyoloji, Fen Edebiyat Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0969-5171

<sup>2</sup> Biyoloji, Fen Edebiyat Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-4516-3407

<sup>3</sup> Biyoloji, Fen Edebiyat Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0381-1613

<sup>4</sup> Biyoloji, Fen Edebiyat Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4909-3562

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 25/02/2020

Kabul Tarihi : 29/09/2020

#### Anahtar Kelimeler

*Begonia semperflorens*  
Polen Tüpü Anormalliği  
Polen Çimlenmesi  
Polen Tüpü Uzunluğu  
Sipermetrin

#### Özet

Parazit öldürücü insektisit olan sipermetrin, düşük sulu çözünürlük ve ucucu özelliğe sahiptir. Evde ve açık havada kullanılan böcek öldürücü kimyasalların içerisinde bulunan sentetik bir kimyasaldır. Bu çalışmanın amacı, sipermetrinin ev ve bahçe dekorasyonlarında yaygın olarak kullanılan *Begonia semperflorens*'in polen tüpü gelişimi üzerinde etkisinin tespit edilmesidir. *B. semperflorens*'den alınan olgun anterler polen çimlendirme besiyerine (%10 süzkroz, %0.01 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, %0.01 CaCl<sub>2</sub>, %0.02 MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, %0.01 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) alındıktan sonra lam üzerine 50µl 0.12 M ve 0.24 M konsantrasyonlarında sipermetrin ile 50 µl polen çimlenme besiyeri konuldu. Kontrol grubunda ise distile su uygulanan örnekler 2., 4. ve 6. saatler sonunda polen çimlenmesi, polen tüpü uzunluğu ve polen tüpü anormalliklerini belirlemek için incelendi. 0.24 M sipermetrin uygulamasında, 4 saat sonunda polen çimlenmesinin %65 olduğu gözlenirken, kontrol grubunda bu değer %39.5 olarak saptandı. Polen tüpü uzunluğunun ise kontrol grubuna göre 0.12 M ve 0.24 M sipermetrin uygulamasında arttığı gözlemlendi. En fazla polen tüpü anormalliğinin 0.24 M sipermetrin uygulamasında 6. saatin sonunda olduğu tespit edilirken, anormallikteki artışın uygulanan sipermetrin konsantrasyonuna paralel olduğu görüldü. Elde edilen verilere göre, yüksek dozda sipermetrinin polen çimlenmesini artırdığı ancak polen tüpü uzunluklarını inhibe ettiği ve polen tüpü anormalliklerinin artmasına neden olduğu tespit edildi.

#### Research Paper

Received Date : 25/02/2020

Accepted Date : 29/09/2020

#### Keywords

*Begonia semperflorens*  
pollen tube abnormality  
pollen germination  
pollen tube length  
cypermethrin

#### Abstract

Cypermethrin is a parasitic insecticide which has low aqueous solubility and volatile properties. It is a synthetic chemical found in insecticides used at home and outdoors. The aim of this study is to determine the effect of cypermethrin on the pollen development of *Begonia semperflorens*, which is widely used in home and garden decorations. The dried anthers collected from *B. semperflorens* placed to the pollen germination medium (10% sucrose, 0.01% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0.01% CaCl<sub>2</sub>, 0.02% MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 0.01% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) and were pipetted on the slide that treated with 50 µl 0.12M and 0.24M cypermethrin and 50 µl pollen germination medium. Distilled water was used for the control group. Pollen germination, pollen tube length and pollen tube abnormalities were investigated at the end of 2nd, 4th and 6th hours. Pollen germination was observed at the end of the 4th hour with a maximum of 65% at 0.24M, while this value was 39.5% in the control group. Pollen tube length increased at both 0.12M and 0.24M. The highest rate of pollen tube abnormality was found at the end of the 6th hour at 0.24M and it was seen that the increasing of abnormality was parallel to the applied cypermethrine concentration. According to the results, it was determined that high doses of cypermethrin increased pollen germination but inhibited pollen tube lengths and caused the increasing of pollen tube abnormalities.

## 1. Giriş

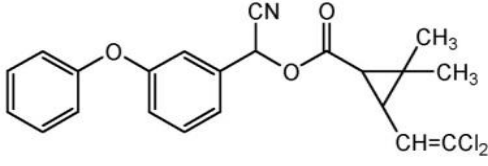
Düşük sulu çözünürlüğe ve uçucu bir özelliğe sahip olan sipermetrin [1] (Şekil. 1), pamuk güvesi ile meyve ve sebzelerdeki çeşitli güvelerin kontrolünü sağlayan [2], kentsel ve tarımsal ortamlarda yaygın olarak kullanılan bir

pestisitir [3]. Memeliler üzerinde toksik etkiye sahip olduğu tespit edilen [4, 5] sipermetrin, ağız yolu ile yüksek dozlarda alındığında kas titremesi, ataksi, uzuvlarda zayıflık, solunum yollarında konvülsiyonlar, koma ve ölüm gibi etkilere neden olduğu gözlenmiştir [6]. Sipermetrin gibi sentetik piretrin türevlerinin uygulanması, çok düşük konsantrasyonlarda bile arılar, tatlı su balıkları ve suda yaşayan hedef olmayan diğer organizmalar [7, 8, 9] ile

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ozlem.aksoy@kocaeli.edu.tr



karides gibi canlıları da etkileyebilmektedir [10].



**Şekil 1.** Sipermetrinin moleküler formülü

*B. semperflorens*, gölgeli ve güneşli alanlarda yetişebilen [11], sürekli çiçek açabilen bir süs bitkisidir. Model organizma olarak kullanılan *B. semperflorens* [12, 13, 14] anterlerine, polen çimlendirme besiyerinde, bazı pestisitler uygulandığında polen tüpü gelişiminin engellendiği ve kontrole göre çeşitli anormallikler olduğu tespit edilmiştir [15].

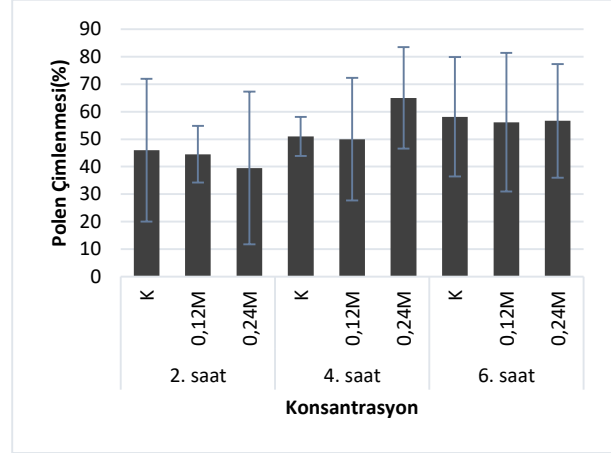
Bu çalışmanın amacı, ev ve bahçe dekorasyonlarında yaygın olarak kullanılan *B. semperflorens*'de normal polen tüpü oluşumunun in vitro koşullarda incelenmesi ve farklı konsantrasyonlarda sipermetrin uygulamasının polen tüpü oluşumundaki etkilerinin karşılaştırmalı olarak tespit edilmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

*B. semperflorens* fideleri ticari olarak temin edildi ve olgun çiçeklerden anterler toplandı. % 10 sükröz, % 0,01 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, % 0,01 CaCl<sub>2</sub>, % 0,02 MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, % 0,01 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> içeren polen çimlendirme besiyeri hazırlanarak 5 cm x 5 cm petri kaplarına aktarıldı. Lam üzerine alınıp, ezilen anter üzerine 50 µl besiyeri ile 0,12 M ve 0,24 M konsantrasyonlarında 50 µl sipermetrin uygulandı. Kullanılan sipermetrin konsantrasyonları, evlerimizde yaygın olarak kullanılan böcek öldürücü kimyasallardaki sipermetrin konsantrasyonu baz alınarak belirlendi. Kontrol grubu için distile su kullanıldı. Daha sonra her gruptan alınan örnekler ile hazırlanan preparatlar 2., 4., ve 6. saat sonunda polen tüpü çimlenmesi, polen tüpü uzunluğu ve polen tüpü oluşumundaki anormallikleri gözlemlemek için ışık mikroskobu altında incelendi. Polen tüpünün doğal büyüme ve gelişmesinden farklı gerçekleşen durumlar polen tüpü anormalliği olarak kabul edilmiş ve bu anormalliklerin belirlenmesinde literatürdeki benzer çalışmalardan faydalanıldı. Tüm uygulamalar için her bir preparattan rastgele 200 polen sayıldı ve üç tekrarlı olacak şekilde preparasyon yapıldı. Verilerin istatistiksel analizi SPSS V22.0 istatistik yazılımı (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak yapıldı. Gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklar Tukey testi kullanılarak karşılaştırıldı. Veriler ortalama ± standart sapma (SS) olarak gösterildi ve P < 0,05 olarak alındı.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı konsantrasyonlarda ve farklı sürelerde sipermetrin uygulamasının *B. semperflorens* polenlerinin çimlenmesi üzerinde önemli bir etki göstermediği ve istatistiki olarak anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edildi (Şekil 2).



**Şekil 2.** Sipermetrin uygulamasının *B. semperflorens*'de polen çimlenmesi üzerine etkisi

İnsektisit, herbisit ve fungusit gruplarından toplamda 15 pestisit in arpa bitkisinde mayoz bölünme üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, kullanılan bütün pestisitlerin polen oluşumu sırasında kromozom anormalliklerini arttırdığı tespit edilmiştir [16]. Polen gelişiminin incelendiği başka bir çalışmada, *Allium cepa* çiçeklerine uygulanan beş insektisit ve iki pestisit, polen çimlenmesi ve polen tüpü uzunluğu üzerinde önemli ölçüde inhibisyona neden olduğu tespit edilmiştir [17]. Zambon ve ark. (2018) yaptığı çalışmada, iki farklı çeşit zeytin ağacı çiçeği üzerinde dört farklı insektisit uygulanmış ve 10. gün sonunda polenler incelendiğinde, polen canlılığında azalma ve mayoz bölünme anormalliklerinde artış olduğu tespit edilmiştir. En fazla toksik etkiye sahip olan insektisit, sentetik bir piretrin türevi olan deltametrin olduğu gözlenmiştir [18]. Yapılan çalışmada, kontrol grubuna göre polen tüpü uzunluğunun ise 0,12 M sipermetrin uygulamasında artış gösterirken 0,24 M sipermetrin uygulamasında azalma gösterdiği gözlemlendi (Tablo 1). Benzer sonuçlar önceki çalışmalarda da elde edilmiştir. Ağır metaller düşük dozlarda uygulandığında polen çimlenmesi ve polen tüpü uzunluğu üzerinde uyarıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir [19, 20, 21]. Hormesis etkisi olarak adlandırılan bu durum toksik etkiye sahip bir maddenin düşük dozlarda uyarıcı etkiye sahip olmasıdır [22, 23, 21].

**Tablo 1.** Sipermetrin uygulanan *B. semperflorens*'te polen tüpü uzunluğunun zamana bağlı değişimi.

Süre/Konsantrasyon	Polen tüpü uzunluğu(µm)±SS*		
	Kontrol	0,12 M	0,24 M
2. Saat	59,60±15,29 <sup>a</sup>	66,70±20,86 <sup>a</sup>	82,44±13,43 <sup>a</sup>
4. Saat	188,93±28,42 <sup>ab</sup>	261,32±53,75 <sup>a</sup>	150,93±21,86 <sup>b</sup>
6. Saat	344,98±40,53 <sup>a</sup>	349,98±60,11 <sup>a</sup>	202,51±42,10 <sup>a</sup>

\*Aynı satırda aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P < 0,05).

En fazla polen tüpü anormalliğinin ise 6. saat sonunda 0.24 M sipermetrin uygulamasında olduğu görüldü (Tablo 2). Polen tüplerinde, dirsek oluşumu, tüp ucu şişmesi, tüp kıvrılması gibi anormallikler gözlemlendi (Şekil 3).

**Tablo 1.** Sipermetrin uygulaması ile *B. semperflorens*'te polen tüpü anormalliğinin (%) zamana bağlı değişimi

Süre /Konsantrasyon	Polen tüpü anormalliği (%) ±SS*		
	Kontrol	0,12 M	0,24 M
2.saat	4,73±2,78 <sup>a</sup>	7,25±2,2 <sup>a</sup>	13,19±1,51 <sup>b</sup>
4.saat	7,14±4,33 <sup>a</sup>	7,59±2,35 <sup>a</sup>	21,77±1,45 <sup>b</sup>
6.saat	3,96±2,39 <sup>a</sup>	12,39±4,77 <sup>b</sup>	23,53±1,02 <sup>c</sup>

\*Aynı satırda aynı harfi taşıyan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (P < 0,05).



Şekil 3. *B.semperflorens*'de polen tüpü anormallikleri örnekleri (A) normal polen tüpü(Kontrol grubu); (B) polen tüpü ucunda şişme(0,12 M); (C) dirsek oluşumu (0,12 M); (D) heliks oluşumu (0,24M); (E) dirsek oluşumu (0,24 M); (F) polen tüpünde kıvrılma (0,24 M).

#### 4. Sonuçlar

Elde edilen verilere göre yüksek dozda sipermetrinin, polen çimlenmesi, polen tüpü uzunluğunu inhibe ettiği ve

polen tüpü anormalliklerinde artışa neden olduğu tespit edildi. 0,12 M ve 0,24 M sipermetrin konsantrasyonları kullanılan çalışmamızda, yüksek dozda sipermetrinin yalnızca 4.saat sonunda polen çimlenmesinde kısmi bir artış sağladığı, diğer uygulamalarda ise çimlenmeyi inhibe ettiği, düşük dozda sipermetrinin ise polen tüpü uzunluğunu arttırdığı gözlemlendi. Memeliler üzerinde yapılan çalışmalarda, sipermetrinin Swiss albino fareleri üzerinde karsinogenik etkiye sahip olduğu [24], alfametrinin ise fare kemik iliği hücrelerinde mikronükleer polikromatik eritrositlerin sıklığını arttırdığı tespit edilmiştir [25, 26]. Ayrıca alfa-sipermetrin bileşiğinin, insan periferik lenfositleri üzerinde genotoksik ve sitotoksik etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir [27]. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan sipermetrinin miktarına bağlı olarak organizmalar üzerinde toksik etki gösterebileceği [28] ve özellikle sucul ortama karıştığında hedef olmayan organizmalara da zarar verebileceği için [29, 30] bu bileşiğin daha dikkatli şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarının ileriki çalışmalara referans olacağı ve sipermetrinin dünya çapında kullanılan ilk beş pestisitlerden biri olması [29] nedeni ile sitotoksik ve genotoksik etkilerinin yanı sıra moleküler ve fizyolojik düzeydeki etkilerinin de incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] N. E. Programme, "Cypermethrin," 1989.
- [2] Farm chemicals handbook. Meister Pub. Co, 2001.
- [3] Casida J.E., 1980. Pyrethrum flowers and pyrethroid insecticides, Environmental Health and Perspectives, 34, 189–202.
- [4] Barlow S., Sullivan F., Lines J., 2001. Risk assessment of the use of deltamethrin on bednets for the prevention of malaria, Food Chemistry and Toxicology, 39(5), 407–422.
- [5] He F., 2000. Neurotoxic effects of insecticides--current and future research: a review., Neurotoxicology, 21(5), 829–835,
- [6] Sandhu H.S., Brar R.S., 2014. Textbook of veterinary toxicology, 1.th ed. Kalyani Publishers, New Delhi, Hindistan
- [7] Oudou H.C., Alonso R.M, Jiménez R.M., 2001. Voltammetric Study of the Synthetic Pyrethroid Insecticides Cypermethrin and Deltamethrin and Their Determination in Environmental Samples, Electroanalysis, 13(1), 72–77
- [8] Begum G., 2005. In vivo biochemical changes in

- liver and gill of *Clarias batrachus* during cypermethrin exposure and following cessation of exposure, *Pestic. Biochem. Physiol.*, 82(3), 185–196
- [9] Suvetha L., Ramesh M., Saravanan M., 2010. Influence of cypermethrin toxicity on ionic regulation and gill Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase activity of a freshwater teleost fish *Cyprinus carpio*, *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 29(1), 44–49
- [10] Adhikari S., Sarkar B., Chatterjee A., Mahapatra C.T., Ayyappan S., 2004. Effects of cypermethrin and carbofuran on certain hematological parameters and prediction of their recovery in a freshwater teleost, *Labeo rohita* (Hamilton), *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 58(2), 220–226
- [11] Kessler J.R., Armitage A.M., 1993. Effects of carbon dioxide, light and temperature on seedling growth of *Begonia x semperflorens-cultorum*, *J. Hortic. Sci.*, 68(682), 281–287
- [12] Bi H., Guo M., Wang J., Qu Y., Du W., Zhang K., 2018. Transcriptome analysis reveals anthocyanin acts as a protectant in *Begonia semperflorens* under low temperature, *Acta Physiol. Plant.*, 40(1), 1–12
- [13] Zhang K.M., Yu H.J., Shi K., Zhou Y.H., Yu J.Q., Xia X.J., 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*, *Plant Sci.*, 179(3), 202–208
- [14] Jin H.J., Zhou Y.G., Liu H.C., Chen S.F., 2011. *Paenibacillus jilunlii* sp. nov., a nitrogen-fixing species isolated from the rhizosphere of *Begonia semperflorens*, *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 61(6), 1350–1355
- [15] Aksoy Ö., Deveci A., Gonca A., 2013. The Effects of Some Pesticides on Pollen Germination of *Begonia semperflorens*, *J. Funct. Environ. Bot.*, 3(2), 114–119
- [16] Wu K.D., Grant W.F., 1967. Chromosomal Aberrations Induced by Pesticides in Meiotic Cells of Barley, *Cytologia*, 32(1), 31–41
- [17] Gillespie S., Long R., Seitz N., Williams N., 2014. Insecticide Use in Hybrid Onion Seed Production Affects Pre- and Postpollination Processes Insecticide Use in Hybrid Onion Seed Production Affects Pre- and Postpollination Processes, 107(1), 29–37.
- [18] Zambon C.R., Techio V.H., Fernando L., Oliveira D., De Oliveira A.F., Pio R., 2018. Abnormalities induced by agricultural pesticides in the microsporogenesis of olive tree (*Olea europaea* L.) cultivars, *Plant Biosyst.*, 153(1), 1–9
- [19] Searcy K.B., Mulcahy D.L., 1985. The parallel expression of metal tolerance in pollen and sporophytes of *Silene dioica* (L.) Clairv., *S. alba* (mill.) krause and *Mimulus guttatus* DC, *Theor. Appl. Genet.*, 69(5–6), 597–602
- [20] Sawidis T., Reiss H.D., 1995. Effects of heavy metals on pollen tube growth and ultrastructure, *Protoplasma*, 185(3–4), 113–122
- [21] Sawidis T., 2008. Effect of cadmium on pollen germination and tube growth in *Lilium longiflorum* and *Nicotiana tabacum*, *Protoplasma*, 233(1–2), 95–106
- [22] Stebbing A.R.D., 1998. A theory for growth hormesis, *Mutat. Res. Mol. Mech. Mutagen.*, 403(1–2), 249–258
- [23] Turner A.P., Dickinson N.M., Lepp N.W., *Water, air, and soil pollution.*, 57–58, 1.th ed. Kluwer Academic Publishers
- [24] Shukla Y., Yadav A., Arora A., 2002. Carcinogenic and cocarcinogenic potential of cypermethrin on mouse skin, 182, 33–41, 2002.
- [25] Benova D.K., Rupova I.M., Iagova A.K., Bineva M.V., 1989. Mutagenic effect of pesticides fastac 10 EK and durs ban 4E studied in a micronucleus test in mouse bone marrow cells, *Genetika*, 25(12), 2266–2268,
- [26] Rudek Z., Rozek M., 1992. Induction of micronuclei in tadpoles of *Rana temporaria* and *Xenopus laevis* by the pyrethroid Fastac 10 EC., *Mutat. Res.*, 298(1), 25–29
- [27] Lymphocytes B., 2009. The In Vitro Genotoxic Effects of a Commercial Formulation of a - Cypermethrin in Human Peripheral, 36
- [28] A. A. Alkahtane *et al.*, 2018. Cytotoxicity and Genotoxicity of Cypermethrin in Hepatocarcinoma Cells : A Dose- and Time-Dependent Study, 1–9
- [29] Nema S., Bhargava Y., 2018. Quantitative assessment of cypermethrin induced behavioural and biochemical anomalies in adult zebrafish, *Neurotoxicol. Teratol.*, 68, 57–65
- [30] Korkmaz V., Güngördü A., Ozmen M., 2018. Comparative evaluation of toxicological effects and recovery patterns in zebrafish (*Danio rerio*) after exposure to phosalone-based and cypermethrin-based pesticides, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 160, 265–272, 2018.



## Sanal Sağlık: Sağlıkta Sanal Gerçekliğe Genel Bakış

### Virtual Health: General Overview of Virtual Reality in Health

Emre Ozan ÖZTÜRK<sup>1,\*</sup> Adnan SONDAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2297-0967

<sup>2</sup> Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4559-3463

#### Derleme Makale

Gönderilme Tarihi : 26/07/2020

Kabul Tarihi : 29/09/2020

#### Anahtar Kelimeler

Sanal Gerçeklik  
Sanal Sağlık Uygulamaları  
Sanal Gerçeklik Uygulamaları  
Sağlık Hizmetleri

#### Özet

Sanal gerçeklik günümüzdeki en popüler teknolojilerden birisidir. Sanal gerçeklik uygulamaları birçok farklı alanda farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Sanal gerçeklik uygulamalarının kullanıldığı alanlardan birisi de sağlık hizmetleridir. Sağlık sektörü her zaman son teknolojileri kullanan ve geliştirilmelerine katkı sağlayan bir alan olmuştur. Yakın bir gelecekte sağlık sektöründe kullanılan teknolojilerin arasında sanal gerçekliğin büyük bir pazar payına sahip olacağı ön görülmektedir. Bu çalışmada sanal gerçeklik teknolojisinin sağlık alanında kullanımına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Son yıllarda sanal gerçeklikle ilgili sağlık alanındaki 7 çalışma amaç, yöntem ve kullanılan araçlar bakımından incelenmiştir. Sanal gerçeklik çalışmalarında Unity3D, Kinect ve sanal gerçeklik gözlüklerinin sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Yapılan araştırmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda sanal gerçekliğin pediatrik (çocuk) fizik tedavisinde kullanımına yönelik bir uygulama geliştirilmesi planlanmaktadır.

#### Research Paper

Received Date : 26/07/2020

Accepted Date : 29/09/2020

#### Keywords

Virtual Reality  
Virtual Health Application  
Virtual Reality Application  
Health Services

#### Abstract

Nowadays, Virtual reality is one of the most popular technologies. Virtual reality applications are used for different purposes in the several different areas. Health sector is one of the areas which virtual reality applications are used. The health sector has always been a field that uses the latest technologies and contributes to their development. It is predicted that virtual reality will have a big market share among the technologies used in the health sector in the near future. In this study, studies on the use of virtual reality technology and health are examined. 7 studies that on health related to virtual reality in recent years, have been examined in terms of purpose, method and tools. Unity, Kinect and virtual reality glasses were used frequently in virtual reality studies. It was observed that Unity, Kinect and virtual reality glasses are frequently used in virtual reality studies. In line with the information obtained from the researches it is planned to develop an application for the use of virtual reality in pediatric (child) physiotherapy.

## 1. Giriş

Gelişen teknoloji daima insan yaşamının önemli bir parçası olmuştur. Teknolojide yaşanan gelişmeler daima insan yaşamını kolaylaştırmaya yönelik çözümler sunmuştur. Özellikle insan ve insan sağlığı ile ilgili ihtiyaçlar, geçmişten günümüze kadar birçok teknolojinin doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Sağlık ve teknoloji arasındaki etkileşim ise daima iki yönlü olmuştur. Sağlık ihtiyaçları bir teknolojinin geliştirilmesine veya bir teknolojinin etkili ve verimli bir biçimde kullanılmasını

sağlamıştır. Sağlık ve tıp alanları da daima teknolojik ürünler ile yakından ilgilenmiş ve son teknolojileri kullanmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü, sağlık hizmetlerindeki teknolojiyi; yaşam kalitesini artırmaya yönelik ve bir sağlık sorununu çözmek için geliştirilmiş olan sistemler, aşılar, ilaçlar, cihazlar aracılığıyla geliştirilen yetenekler ve organize bilgilerin uygulanması şeklinde tanımlamıştır [1]. Sağlık teknolojilerinin temel hedefleri; bireylerin sağlıklı hallerinin devam ettirilmesi, sağlık sorunlarının başlangıcının geciktirilmesi veya engellenmesi ve hastalıkların iyileştirilmesine yönelik çözüm üretilmesi olarak belirlenmiştir [2]. Sağlık teknolojilerinin sağlık

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): eozanozturk@gmail.com





çalışanlarının daha az hata yapmasına, hastaların iyileşme sürecinin hızlanmasına, sağlık hizmetlerinin kalitesinin ve veriminin artmasına katkı sağlayacağı belirtilmiştir [3, 4]. Araştırmalarda 2025 yılına kadar sağlık alanını etkileyecek olan önemli teknolojiler ve trendler arasında sanal gerçeklik teknolojisinin önemli bir yere sahip olacağı belirtilmiştir [5].

Sanal gerçeklik ile ilgili ilk çıkışından günümüze kadar geçen süreçte farklı tanımlamalar yapılmıştır. Zhang, sanal gerçekliği; bilgisayar yazılımının ve donanımlarının birleştirilmesiyle farklı duyuusal uyarılardan oluşan sanal çevre olarak tanımlamıştır [6]. Sağlık hizmetlerinde kullanılan sanal gerçeklik; interaktif, eğlenceli ve üç boyutlu görsel geri bildirim olan tedavi ve eğitim aracı olarak tanımlanmıştır [7]. Sağlık hizmetlerinde sanal gerçeklik ile çalışmanın, hastaların moralini ve motivasyonunu artıracığı, bununla birlikte tedavi sürecinin kısalabileceği belirtilmiştir [8]. Sanal gerçeklik çalışmalarının sağlık alanında kullanılmasına yönelik farklı amaçları ve hedefleri olmuştur. Geliştirilen uygulamalar ve çalışmalar incelendiğinde sağlık personelinin eğitimi, cerrahi simülasyonlar, tedavi yöntemlerine yardımcı araçlar, fizik tedavi simülasyonları gibi farklı amaçlar için sanal gerçeklik kullanılmıştır.

Sanal gerçekliğin sağlık alanında kullanılmasına yönelik çalışmalarla birlikte sanal gerçeklik teknolojisinin sağlık sektöründe daha önemli bir yere sahip olacağı ön görülmüştür. Yapılan araştırmalar, sanal gerçekliğin sağlık alanında daha fazla kullanılacağını göstermiştir. ABI araştırma şirketi tarafından yapılan bir araştırmaya göre 2022 yılına kadar sanal gerçeklik teknolojisinin sağlık sektöründe yaklaşık 285 milyon dolarlık bir pazar payına sahip olacağı ön görülmüştür [9].

Sanal gerçeklik teknolojisinin gün geçtikçe daha ulaşılabilir olması ve geliştirme masraflarının azalması bu teknolojiye olan ilgiyi artırmıştır. Ek olarak sağlık sektöründe gelecekte önemli bir yere sahip olacağını gösteren araştırmalar ile birlikte sanal gerçeklikle ilgili yapılan sağlık çalışmalarına verilen önem ve çalışma sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada sanal gerçekliğin sağlık alanında kullanımına yönelik araştırma yapılması ve son yıllarda yapılmış olan sağlık alanındaki sanal gerçeklik çalışmalarının amaç, yöntem ve kullanılan araçlar bakımından incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Sanal Gerçeklik ve Kullanım Alanları

Sanal gerçeklik, bilgisayar ortamında hazırlanmış üç boyutlu ve etkileşimli grafiklerin çeşitli ekran teknolojileri ile birleştirilerek kullanıcıları doğrudan modeller dünyasına çeken ve etkileyen, kullanıcıların gerçek bir

dünya içerisindeymiş gibi hissetmesini sağlayan teknoloji olarak tanımlanmıştır [10]. Sanal gerçeklik teknolojisi her zaman insan makine etkileşimini üst seviyeye çıkarmış, kullanıcı motivasyonunu artırarak öğrenme, uyum ve uygulama süreçlerinde maksimum verimin elde edilmesini sağlamıştır [11].

Sanal gerçeklik teknolojisinin ortaya çıkmasını ve gelişmesini sağlayan birçok tarihsel süreç yaşanmıştır. İlk çoklu duyu simülatörü olan Sensorama 1962 yılında Mortan Heilig tarafından tasarlanmıştır [12-15]. 1965 yılında Ivan Sutherland, farklı duyuusal özellikleri olan etkileşimli grafikler içeren yapay dünya konsepti tasarlamıştır. Sanal gerçeklik terimi ilk kez Ivan Sutherland tarafından "gerçekçi hissedilen sanal dünya" fikri olarak 1965 yılında kullanılmıştır [16]. Sanal gerçekliğin kullanıcılara aktarılmasını sağlayan araçlar olan HMD (Head Mounted Display) ilk kez 1968 yılında Ivan Sutherland tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen yapay simülatörler ve HMD çalışmaları geliştikçe sanal gerçeklik askeri amaçlı çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır. İlk askeri amaçlı ileri düzey uçuş simülatörü Thomas Furnes tarafından 1982 yılında tasarlanmıştır [12-15]. NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) 1984 yılından itibaren sanal gerçeklik ile ilgili çalışmalara ve deneylere başlamıştır. 1988 yılında ilk ticari sanal gerçeklik donanımları VPL araştırma şirketi tarafından üretilerek piyasaya sürülmüştür [12-15]. Sanal gerçeklik 1990'lı yıllardan itibaren popüler olmaya başlamıştır ve sürekli gelişerek günümüze kadar ulaşmıştır.

Teknolojinin gelişim süreci incelendiğinde birçok teknolojik gelişme ilk olarak askeri amaçlı savunma endüstrisinde kullanılmak amacıyla geliştirilmeye başlanmıştır. Diğer teknolojilerde olduğu gibi sanal gerçekliğin de ilk kullanım ve geliştirme amacı savunma endüstrisinde kullanılmak için olmuştur. Zamanlı gelişen özellikleri ve donanımları ile birlikte diğer sektörlerde sanal gerçekliği kullanmaya başlamıştır.

Sanal gerçeklik uygulamaları günümüzde eğitim, havacılık, sağlık, savunma sanayi, oyun ve eğlence alanlarında farklı amaçları karşılayabilmek amacıyla geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Sanal gerçekliğin sunmuş olduğu sınırsız geliştirme imkanları sayesinde farklı alanlarda bir çok amaç için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Havacılık sektöründeki çalışmalar incelendiğinde özellikle pilotluk eğitimi için sanal gerçeklik simülasyonları geliştirmeye yönelik araştırmaların gün geçtikçe arttığı görülmüştür. Pilotluk eğitiminde kullanılan sanal gerçeklik simülasyonları eğitim maliyetlerini düşürmekle beraber farklı koşullara ve zorluk seviyelerine göre kolayca simule edilebildiği için yetiştirilen bireylerin daha donanımlı olmasını sağlamaktadır. Sanal gerçekliğin personel eğitimi için yoğun olarak kullanıldığı bir diğer

alan ise savunma sanayidir. Özellikle askeri personel yetiştirmek amacıyla askeri ekipman ve araçların kullanımını, tatbikat ve operasyon eğitimleri için sanal gerçeklik simülasyonları tercih edilmektedir. Geliştirilen simülasyonlar askeri personele farklı koşullar altında birçok kez deneme ve eğitim şansı sunmaktadır. Böylece daha donanımlı askeri personel yetiştirmek mümkün olmaktadır.

Sanal gerçeklik ile birlikte eğitim süreçleri interaktif ve ilgi çekici olmaya başlamıştır. Bununla birlikte öğrenme daha kolay ve kalıcı olmaktadır. Sanal gerçeklik uygulamaları farklı branştaki eğitimler için kullanılmaktadır. Sanal gerçeklik sayesinde zor, karmaşık ve soyut konular görsel olarak desteklenerek ve deneyimlenmesi sağlanarak öğrenimi kolaylaştırılır ve bilgilerin daha kalıcı olması sağlanmaktadır. Sanal gerçeklik görsel deneyimleme ile birlikte öğrenimde kalıcılığı sağladığı için yabancı dil eğitiminde kullanılmasını sağlayan çalışmalar yapılmıştır [17]. Özel eğitim ihtiyacı bulunan bireylerin eğitim süreçlerinde kullanılması amacıyla geliştirilen uygulamalara yönelik çalışmalarda yapılmıştır [18, 19].

Sanal gerçekliğin ticari olarak en yoğun şekilde kullanıldığı sektör oyun ve eğlence sektörü olmuştur. Özellikle son yıllarda büyük teknoloji şirketlerinin ve oyun geliştiricilerinin sanal gerçekliğe yaptıkları yatırımlar ile birlikte sanal gerçeklik teknolojisine sahip uygulamalar daha fazla kullanıcı kitlesine ulaşmıştır.

Sanal gerçekliğin sunmuş olduğu imkanlardan daha fazla faydalanmak isteyen ve gelecekteki sanal gerçeklik pazarından daha fazla pay almak isteyen firmaların ve ülkelerin sanal gerçeklik ile ilgili yatırımları son yıllarda artmıştır. Facebook, Apple, Microsoft, IBM gibi önde gelen teknoloji şirketleri sanal gerçeklik çalışmalarına hız vererek son kullanıcılara ulaştırmak amacıyla çeşitli ürünler geliştirmeye başlamışlardır. IDC (International Data Corporation) şirketinin yaptığı araştırmalarda sanal gerçeklik teknolojisine yapılan yatırım harcamalarında yaklaşık 4 milyar dolar ile Amerika Birleşik Devletleri'nin başı çekeceği, onu sırasıyla 2.6 milyar dolarla Asya ve Pasifik ülkelerinin ve 2.5 milyar dolarla Batı Avrupa ülkelerinin takip edeceği belirtilmiştir [20].

### 3. Sanal Gerçeklik ve Sağlık

Sanal gerçeklik teknolojisi ile geliştirilen ürün ve hizmetlerin sunmuş oldukları yeni ve farklı deneyim imkanları sanal gerçekliğe olan ilgiyi artırmaktadır. Bu ilginin ve pazar payının artması ile birlikte sanal gerçekliğin birçok farklı alanda kullanımına ilişkin örnekler görülmeye başlanmıştır. Birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da sanal gerçekliğe olan ilgi gün

geçtikçe artmaktadır. Sanal gerçeklik sağlık alanında eğitim, tedavi, rehabilitasyon, analiz ve test amaçları için kullanılabilir. Sanal gerçeklik sağlık alanında eğitim, tedavi, rehabilitasyon, analiz ve test amaçları için kullanılabilir.

Sağlık personeli, tıp, diş hekimliği, hemşirelik öğrencilerinin eğitim süreçlerinde ve cerrahi operasyon eğitim simülasyonlarında sanal gerçeklik kullanılabilir. Eğitim amacıyla kullanılan sanal gerçeklik uygulamaları ile birlikte bireylere fazla sayıda deneme yapma, doğru ve hatalı durumları anlık olarak takip edebilme imkanları sağlanabilir. Böylece daha donanımlı sağlık personelinin yetişmesi sağlanabilir. Kritik cerrahi operasyonlar öncesi farklı senaryolar ile birçok kez deneme yapma şansı sağlanarak operasyon riskinin en aza indirilmesi ve oluşabilecek olumsuz sonuçların önceden tahmin edilmesi sağlanabilir. Hastalıkların tanı ve teşhisi için üç boyutlu görüntüleme imkanını sanal gerçeklik uygulamaları sunabilir. Tahlil, röntgen ve MR (Manyetik Rezonans) sonuçlarının üç boyutlu görselleştirilmesi ile birlikte tanı ve teşhis sürecinin verimi artırılabilir.

Sanal gerçekliği farklı amaçlarla tedavi ve rehabilitasyon amacıyla kullanmak mümkündür. Tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinde sanal gerçeklik uygulamaları ile birlikte hasta motivasyonunun artacağı, hastanın korku ve endişesinin azalacağı belirtilmiştir [21, 22]. Bireye özgü tedavi süreçlerinin oluşturulması ile birlikte iyileşme sürecinin hızlanabileceği düşünülmüştür [23].

Sağlık ve tıp hizmetlerinde gelecekte önemli bir pazar payına sahip olacağını tahmin edilmesi ve keşfedilmeyi bekleyen yenilikçi bir alan olması nedeniyle sağlık alanında yapılan araştırma ve çalışmaların sayısında son zamanlarda artış görülmektedir.

"Diş Hekimliği Preklinik Eğitimi için Sanal Gerçeklik Ortamında Diş Modellerinin Oluşturulması: Pilot Çalışma", isimli bu çalışmada sanal gerçeklik ortamında 3 boyutlu diş modeli oluşturmak ve diş hekimliği eğitiminde kullanımının uygunluğunu incelemek amaçlanmıştır. Gerçek ortamda hazırlanmış diş modellerinin bilgisayar ortamına aktarılması için 3Shape D700 tarayıcı kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında Rhinoceros yazılımı ile hazırlanan sanal modeller, Unity uygulamasına aktarılarak sanal gerçeklik sahnesi oluşturulmuştur. Sanal gerçeklik uygulamasının kullanıcılara aktarılması için Oculus Rift sanal gerçeklik gözlüğü ve kolları kullanılmıştır. Geliştirilen uygulama 2 uzman tarafından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler SPSS 2.0 istatistik programı kullanılarak Mann Whitney-U ve Bağımsız T testleri ile analiz edilmiştir [24].

"Çocuklarda Damar Yolu Açma İşlemi Sırasında Oluşan Ağrıyı Azaltmada Sanal Gerçeklik Gözlüğünün Etkisi", isimli çalışmada sanal gerçeklik içeriklerinin çocuklarda damar yolu açma işlemi sırasındaki etkilerinin

incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmaya randomizasyon yöntemi ile belirlenen 70 çocuk dahil edilmiştir. Çalışmada mobil cihazlar ile uyumlu olarak çalışabilen Samsung Gear VR Box kullanılmıştır. Damar yolu açma işlemi sırasında çocuklara sanal gerçeklik videoları izlettirilmiştir. Çocukların ağrı durumlarını belirlemek için VAS (Visual Analog Scale) ve FPS-R puanlama sistemleri kullanılmıştır. Çalışmada toplanan tüm veriler Mann Whitney-U, Two-Related-Samples ve Shapiro Wilk testleri ile incelenmiştir. Verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilmesi için GPower 3.1 programı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kısa süreli ağırlı işlemlerde sanal gerçeklik içerikleri ile birlikte sanal gerçeklik gözlüğünün kullanımı önerilmiştir [25].

"Ankilozan Spondilit Hastalarında uygulanan Sanal Gerçeklik Rehabilitasyon Yaklaşımının Düşme Riski, Yürüme ve Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi", isimli çalışmada ankilozan spondilit tanısı olan hastaların yürüme, denge ve düşme riski sorunlarına karşı sanal gerçeklik rehabilitasyonunun etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma randomizasyon yöntemi ile belirlenen 40 hasta ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, katılımcılara ev egzersizlerine ek olarak sanal gerçeklik oyunları oynatılmıştır. Çalışma için belirlenen Balance Bubble, Soccer Heading ve Table Tilt isimli 3 oyun kullanılmıştır. Sanal gerçeklik oyunlarının katılımcılar tarafından kullanılabilmesi için Nintendo Wii Fit Plus oyun seti kullanılmış ve elde edilen verilerin analizi SPSS programında yapılmıştır. Veriler Kolmogorow-Sumirnow, Mann Whitney-U ve Independent Sample-T testleri ile analiz edilmiştir. Çalışmada sanal gerçeklik tedavilerinin verimli ve eğlenceli olabileceği belirtilmiştir [26].

"Kayıp Uzun Sendromu için Artırılmış Gerçeklik Destekli Rehabilitasyon Sistemi", isimli çalışmada hayalet (kayıp) uzun sendromu tedavisi için sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik oyunları geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bacak uzun kaybı tedavisinde kullanılabilmesi için bir sanal gerçeklik futbol oyunu tasarlanmıştır. Oyunun tasarımı için Unity programı kullanılmış ve içerik HTC Vive sanal gerçeklik seti kullanılarak katılımcılara aktarılmıştır. Geliştirme ve uygulama testleri sırasında Kinect ve EMG (Elektromiyografi) sensörleri kullanılmıştır. Sanal gerçeklik uygulamasına ek olarak artırılmış gerçeklik uygulaması da tasarlanmıştır [27].

"Diz Osteoartritli Hastalarda Sanal Gerçeklik Tabanlı Rehabilitasyon Programının Etkinliği", isimli çalışmada sanal gerçeklik rehabilitasyon programının diz osteoartritli hastaların tedavisindeki etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma randomize olarak seçilen 60 katılımcı ile iki grup halinde gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubuna standart egzersiz programı, çalışma grubuna ise egzersiz programına ek olarak sanal gerçeklik programı uygulanmıştır. Çalışmada 3 farklı sanal gerçeklik oyunu

kullanılmış ve katılımcılar ile oyunlar arasındaki bağlantı MarJAVED sistemi ile sağlanmıştır. Çalışma sırasında toplanan veriler One Kolmogorov Smirnov, Wilcoxon ve Mann Whitney-U testleri ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Verilerin analizi için SPSS 22.0 istatistik programı kullanılmıştır. Çalışmada sanal gerçekliğin dahil edildiği rehabilitasyon programlarının başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir [28].

"Sanal Gerçeklik Kullanarak Hareket Temelli Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Uygulaması Geliştirilmesi", isimli çalışmada derinlik sensörlerinden alınan hareket verilerinin sınıflandırılması ve sanal gerçeklik ile katılımcılara sunulması amaçlanmıştır. Çalışmada derinlik sensörü olarak Kinect kullanılmıştır. Çoklu derinlik sensörlerinin oluşturulacak sahnede uygun konumlara yerleştirilmesini sağlamak için Yapay Arı Kolonisi algoritması kullanılmıştır. Sanal gerçeklik ortamı Unity ile tasarlanmıştır. Kullanıcıya sunulan egzersiz seti ile sensörlerden elde edilen kullanıcı hareketleri karşılaştırılarak hareketler arasındaki doğruluk ve hata oranları gerçek zamanlı olarak tespit edilmiştir [11].

"Ameliyathanede Kullanılan Cerrahi Setlerin Öğretimine Yönelik Bir Sanal Gerçeklik Simülasyonunun Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi", isimli çalışmada hemşirelerin cerrahi setleri ve ilgili prosedürleri öğrenmesini sağlayacak bir sanal gerçeklik simülasyonu geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ameliyat ortamı ve cerrahi setlerin modellenmesi için Maya ve Solidworks programları kullanılmıştır. Sanal gerçeklik ortamı Unity ile tasarlanmıştır. Kullanıcıların sanal gerçeklik ortamı ile iletişim kurabilmeleri için MetaVision sanal gerçeklik gözlüğü kullanılmıştır. Çalışmada 14 katılımcı ile gerçekleştirilen simülasyon testleri yapılmıştır. Testler sonrasında anket çalışması yapılarak simülasyonun başarılı ve başarısız olduğu durumlar tespit edilmiştir [29].

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında sanal gerçekliğin sağlık alanında uygulanmasına yönelik çalışmalar ve araştırmalar incelenmiştir. Sanal gerçekliğin sağlık alanında eğitim, simülasyon, üç boyutlu görüntüleme gibi bir çok farklı amaç için kullanıldığı görülmektedir. Sanal gerçeklik ile ilgili çalışmaların ağırlıklı olarak sanal gerçekliğin sağlık alanında kullanımının etkilerini araştırmaya yöneliktir. Uygulama ve simülasyona yönelik çalışmalar olsa da sayılarının çok fazla değildir. Yapılan araştırmalar sanal gerçekliğin sağlık alanında kullanımının faydalı olacağını göstermektedir. Sanal gerçeklik uygulamalarının kullanılmasıyla daha donanımlı sağlık personelinin yetiştirilebileceği, tedavi süresince hasta motivasyonunun artacağı, tedavi süresinin ve maliyetlerinin azalacağı

belirtilmektedir. Yakın bir gelecekte sağlık ve tıp sektöründe sanal gerçeklik uygulamalarının daha da fazla kullanılacağı ve önemli bir pazar payına sahip olacağı ön görülmektedir.

Literatürde sanal gerçeklik başlığı ile gerçekleştirilmiş birçok çalışmanın olduğu görülmektedir. Çalışma sayısı fazla olmasına rağmen içerik olarak incelenen çalışmaların aslında sanal gerçeklik kavramına tam olarak uygun olmadığı görülmektedir. Çalışmaların birçoğunda sanal gerçeklik yazılım ve araçlarının kullanılmamaktadır. Örneğin bir mobil cihaz üzerinden mobil uygulama ile yapılan çalışmanın ve herhangi bir sanal gerçeklik donanım veya aracının kullanılmadığı düşünüldüğünde, ilgili uygulama sanal gerçeklik kavramına uygun olamayacaktır.

Sanal gerçeklik çalışmaları incelendiğinde birçok geliştirici uygulaması ve araçlarının kullanıldığı görülmektedir. Geliştirici uygulamaları içerisinde sıklıkla kullanılan ve en popüler olanının Unity olduğu görülmüştür. Donanım seviyesinde ise sanal gerçeklik gözlükleri en popüler araçlardır. Uygulamaların geliştirme sürecinde kullanılan bir diğer önemli donanım ise derinlik sensörleridir. Derinlik sensörleri içerisinde en sık kullanılan sensör ise Kinect'tir.

Sanal gerçekliğin sağlık alanında kullanılmasına katkı vermek ve literatürdeki uygulama bazlı çalışmalarda bulunmayan bir örnek çalışma yapmak amacıyla pediatrik (çocuk) fizik tedavisinde kullanılacak yeni bir sanal gerçeklik uygulamasının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu uygulamaya, sanal gerçeklik donanımlarının yanı sıra Arduino, ultrasonik mesafe sensörü ve kızılötesi hareket sensörleri de dahil edilecektir. Böylece literatüre sağlık alanında yeni bir etkileşimli sanal gerçeklik uygulamasının eklenmesi planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] WHO, 2011. Health Technology Assessment of Medical Devices, World Health Organization Press, Geneva.
- [2] NCHS, 2010. Health, United States, 2009: With Special Feature on Medical Technology, National Center for Health Statistics (US), Hyattsville (MD).
- [3] Seçim H., Pekelman T., 1990. Hastanelerde Verimliliği Yükseltici Uygulamalar: Biyomedikal Mühendislik Hizmetleri, Eskişehir Anadolu Üniversitesi İİBF Dergisi, 8, 1-2.
- [4] Demirci Ş., 2018. Sağlık Hizmetlerinde Sanal Gerçeklik Teknolojileri, İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, 6(1), 35-46, ISSN: 2147-7892.
- [5] Ammatuna G., Changcoco R., 2017. Which Trends Will Most Affect Talent Developers in The Healthcare Industry? Who Is doing The Training and How It's Delivered Is Changing, TD Magazine, 71(4), 60.
- [6] Zhang Z., 2012. Microsoft kinect sensor and its effect, MultiMedia IEEE, 19(2), 4-10.
- [7] Aran O.T., Köse B., Akel S., Öksüz, Ç., 2014. Ataksili Bir Bireyde Sanal Gerçeklik Temelli Rehabilitasyon Uygulamasının Etkinliği-Olgü Raporu, Ergoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi, 2(3), 159-164.
- [8] Lányi C.S., 2006. Virtual Reality in Healthcare. Studies in Computational Intelligence, 19, 87-116.
- [9] Bay O., Virtual Reality in Medicine and Healthcare to Generate US \$285 Million in 2022, <https://www.abiresearch.com/press/virtual-reality-medicine-and-healthcare-generate-u/>, (Ziyaret Tarihi:28.07.2019).
- [10] Fuchs H., 1992. Bishop G., Research Directions in Virtual Environments, NFS Invitational Workshop, University of North Carolina.
- [11] Durgut R., 2018. Sanal Gerçeklik Kullanarak Hareket Temelli Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Uygulamasının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [12] Balaguer J., Mangili A., 1993. Virtual Environments, Swiss Federal Institute of Technology, TR of Computer Graphic Laboratory, Lausanne.
- [13] Cruz-Neira C., 1993. Virtual Reality Overview, SIGGRAPH'93 Course, 23, 1.1-1.18.
- [14] Gigante M., 1993. Virtual Reality: Definitions, History and Applications "Virtual Reality Systems", Academic Press, ISBN 0-12-22-77-48-1, 3-14.
- [15] Holloway R., Lastra A., 1995. Virtual Environments: A Survey of The Technology, SIGGRAPH'95 Course, 8, A1-40.
- [16] Sutherland I., 1965. The Ultimate Display, Proceedings of IFIP Congress 2, 506-509.
- [17] Albayrak M.Ş., 2015. Kinect Kullanılan 3 Boyutlu (3D) Sanal Gerçeklik Uygulamalarının İlkokul Öğrencilerinin Yabancı Dilde Kelime Öğrenimine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Komşul M.Z., 2007. Zihinsel Engelli Çocukların Eğitiminde Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Kullanılması ve Örnek Bir Uygulama Geliştirilmesi,

- Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [19] Üstünel H., 2014. Üstün Yetenekli Öğrencilerin Kullanımı için Sanal Gerçeklik Ortamında Kuvvet Geribeslemeli Haptik Uygulamaların Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [20] URL:<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45123819>, (Ziyaret Tarihi: 29.08.2019).
- [21] Holden M.K., 2005. Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review, *Cyberpsychology & Behavior*, 8(3), 187-211.
- [22] Riener R., Harders M., 2012. Virtual Reality for Rehabilitation, *Virtual Reality in Medicine*, Springer, Zurich, 161-180.
- [23] Wiederhold B.K., The Potential for Virtual Reality to Improve Health Care, VRMC: The Virtual Reality Medical Center, <https://vrphobia.eu/wp-content/uploads/2018/01/WP-The-Potential-for-VR-to-Improve-Healthcare.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 28.07.2019).
- [24] Bulut A.C., 2020. Sönmez O., Diş Hekimliği Preklinik Eğitimi için Sanal Gerçeklik Ortamında Diş Modellerinin Oluşturulması: Pilot Çalışma, *Turkish Journal of Clinics Laboratory*, 2, 42-49.
- [25] Kaplan B., 2020. Çocuklarda Damar Yolu Açama İşlemi Sırasında Oluşan Ağrıyı Azaltmada Sanal Gerçeklik Gözlüğünün Etkisi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [26] Gökgöz E.R., 2020. Ankilozan Spondilit Hastalarında Uygulanan Sanal Gerçeklik Rehabilitasyon Yaklaşımının Düşme Riski, Denge, Yürüme ve Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Çabuk A., 2019. Kayıp Uzuv Sendromu için Artırılmış Gerçeklik Destekli Rehabilitasyon Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Mete E., 2018. Diz Osteoartritli Hastalarda Sanal Gerçeklik Tabanlı Rehabilitasyon Programının Etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Taçgın Z., 2017. Ameliyathanede Kullanılan Cerrahi Setlerin Öğretimine Yönelik Bir Sanal Gerçeklik Simülasyonunun Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



## Petrol ve Petrol Ürünlerinin Güvenli Depolanması

### Safe Storage Of Crude Oil And Crude Oil Products

Akın ER<sup>1</sup> Osman BOZDAĞ<sup>2,\*</sup> <sup>1</sup> TÜPRAŞ Genel Müdürlüğü, Körfez, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6039-9821<sup>2</sup> Kimya Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9734-6555

#### Derleme Makale

Gönderilme Tarihi : 05/05/2020

Kabul Tarihi : 26/10/2020

#### Anahtar Kelimeler

Ham Petrol  
Akaryakıt  
Depo Tankı  
Yangın  
Patlama  
Yangın Üçgeni  
Yangınla Mücadele

#### Özet

Ham petrol ve petrol ürünleri, petrokimya ürünleri, sıvılaştırılmış petrol gazları farklı form ve özelliğe sahiptir. Bu hidrokarbonların, üretilmesi, nakliyesi, depolanması sırasında yangın, patlama içerik kaybı, enerji salınımı nedeniyle cana, mal varlığına, çevreye ve itibara zarar verebilecek çeşitli tehlikeler ortaya çıkabilir. Bu çalışmada tanklarda yangın, patlama, içerik kaybı ve benzeri tehlikelerini önlemek, etkilerini azaltmak için farkındalık yaratılması amaçlandı. Hidrokarbon depolama tanklarının işletilmesi sırasında aşırı dolumu nedeniyle tank taşıma, vakum etkisi nedeniyle tankın burulması gibi çeşitli riskler incelendi. Ayrıca tankların tasarım ve imalat hataları, doğal olaylar, tank malzemesine ve borulamaya bağlı hatalar nedeniyle yangın ve patlama tehlikesi incelendi. Yangın ve patlamaların mekanizmaları ve çeşitli yangın tipleriyle mücadele ilkeleri açıklandı. Alevlenme özellikleri bir eşkenar üçgen diyagramında temsil edilerek alevlenme bölgesine inert madde etkisi incelendi.

#### Research Paper

Received Date : 05/05/2020

Accepted Date : 26/10/2020

#### Keywords

Crude Oil  
Transport Fuel  
Storage Tanks  
Fire  
Explosion  
Fire Triangle  
Fire Fighting

#### Abstract

Crude and crude oil products, petrochemicals, liquefied petrol products have various form and different properties. There are various risk and hazards harming lives, properties, environment and trade name due to fire, explosion and loss of containment during the production, transfer and storage of these hydrocarbons. The purpose of this work to create awareness to diminish the impact of fire, explosion and loss of containments. We have examined the potential risks and hazards depending on the mode of operating such as overfilling tank or deformation of hydrocarbon storage tanks due to vacuum impact. In addition, various other risks and hazards are examined due to faulty design and construction or use of improper materials of tank and piping or from natural disasters. The mechanism of fire and explosion, and various form of firefighting principle are explained. By representing the flammability properties in an equilateral triangle diagram, the inert substance effect on the flammability region is examined.

### 1. Giriş

Petrol, petrokimya ürünleri ve doğal gaz gibi hidrokarbonlar günümüzde başlıca enerji ve malzeme kaynağıdır. Bu hidrokarbonların fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Ortak özellikleriyse hepsinin yanıcı ve parlayıcı olmasıdır. Bu nedenle hidrokarbon depo tankları tank tipine bağlı olarak çok çeşitli yangın ve patlama tehlikesi taşımaktadır. Sıvı hidrokarbonlar atmosferik tanklarda depolanırken, gaz

halindeki hidrokarbonlar ise sıvılaştırılmış veya sıkıştırılmış olarak basınçlı tanklarda depolanırlar.

Hidrokarbon depo tanklarında işletmeye bağlı ya da işletmeden bağımsız çeşitli riskler olduğunun bilinmesi ve gerekli önlemlerin alınması son derece önemlidir. İşletmeye bağlı başlıca riskler tankların aşırı dolumu, tanklara vakum etkisi, tankın tasarım amacından farklı ürünlerin depolanması nedeniyle aşırı yüklenmesi olarak sıralanabilir. İşletmeden bağımsız risklere ise imalat hataları, yangın, patlama, doğal olaylar, tank malzemesine ve borulamaya bağlı durumlar (sünme, gerilme, çatlak oluşumu, ani kırılma, metal yorgunluğu) örnek verilebilir.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): obozdag@kocaeli.edu.tr





Aşırı dolum nedeniyle tank taşırma, basınç ve vakumun etkisiyle tank tavanının ve tank yan yüzeyinin hasar görmesi, sabit tavanlı tanklarda nefeslik yangını, yüzer tavanlı tanklarda rim-seal yangınları yaygın olarak görülen olaylardır. Yangınları önlemek için tank tipine ve yangının çıkış nedenine bağlı olarak geliştirilmiş farklı kontrol mekanizmaları bulunmaktadır. Tüm önlemlere rağmen meydana gelen yangın ve patlamalarla mücadele etme yöntemleri ise ayrıca önem taşıyan bir husustur [1,2].

Depolanan hidrokarbonların miktarları ve mali değerleri oldukça yüksektir. Bu ürünlerin sızması, dökülmesi, yanması ve benzeri nedenlerle olası kayıplar oldukça yüklü mali külfetler getirir. Ayrıca dökülme ve yangınlar çevreye oldukça büyük zararlar verirler. Bunların temizlenmesi ve çevreye verdikleri hasarların tazmin edilmesinin maliyeti oldukça yüksektir [3-5] Bu nedenle bu çalışmada petrol ve petrol ürünleri için güvenli depolamanın önemi vurgulanarak bu konuda farkındalık yaratmak için olası tehlikeler üzerinde durulacaktır.

## 2. Depo tankları

Atmosferik şartlarda kaynama noktasının altında bulunan petrol ve petrol ürünlerinin rafinerilerde depolanmasında kullanılan depo tankları, maliyet, tamir ve bakım kolaylığı nedeniyle yer üstünde yapılır ve atmosferik basınç altında çalışır. Depo tanklarının tiplerinin belirlenmesi, genel olarak tank buharlaşma kayıplarını önleyerek ekonomik ve emniyetli bir tank operasyonu sağlamak için, belirli ölçütlere göre belirlenir. Genel bir kural olarak kaynama noktaları atmosferik basınçta 0°C üzerinde bulunan petrol ürünleri, silindirik veya küre şeklinde basınçlı tanklarda depolanır. Parlama noktası 55°C'den küçük olan benzin, nafta, ham petrol vb. ürünler yüzer tavanlı tanklarda, parlama noktası 55°C'nin üzerinde olan ürünler sabit tavanlı tanklarda depolanır. Tank tiplerinin belirlenmesinde bir başka genel kural ise normal atmosferik sıcaklık ve basınç şartlarında alevlenebilir buhar hava karışımı meydana getiren petrol ürünlerinin yüzer tavanlı tanklarda saklanmasıdır [6,7,8].

Depo tankları, yüzeyinin hacmine göre küçük olması, mekanik mukavemetinin görece yüksek olması ve imalatının kolay olması nedenleri ile silindirik olarak yapılır. Tankların silindirik gövdesi genellikle dikdörtgen şeklinde sac plakaların imal edilecek tankın çapına göre bükülmesi ve bükülen sacların üst üste kaynatılması şeklinde imal edilir. Kaynak yerlerinin üst üste gelmemesine ve şaşırtmalı olmasına özen gösterilir. Tank dibinden yükseldikçe sac plakaların kalınlığı azaltılır. Yapılan tankın yüksekliğine bağlı olarak yan sacların kalınlığı 25-35 mm arasında değişir. Tank tabanları tek cidarlı veya çift cidarlı olarak yapılırlar. Çift cidarlı tanklar

özellikle çevre kirliliğini önleme bakımından büyük bir öneme sahiptirler.

Depolama tanklarının yerleşimi planlanırken normal işletme operasyonlarının, acil durum operasyonlarının ve yangın durumunda söndürme çalışmalarının gereklilikleri dikkate alınır. Tankların birbirlerine olan mesafeleri en az tank çapının yarısı kadar olacak şekilde yerleştirilir. Tanklar tutuşturucu kaynaklardan mümkün oldukça uzağa yerleştirilir. Sızıntı ya da taşma durumunda ürünün yayılmaması için tankların etrafı set yapıları (sedde veya duvar) ile çevrelenir. Set yapısının drenaj sistemi tahliyenin dışarıdan kontrol edilebilmesini sağlamalıdır.

### 2.1. Depo tanklarının tipleri

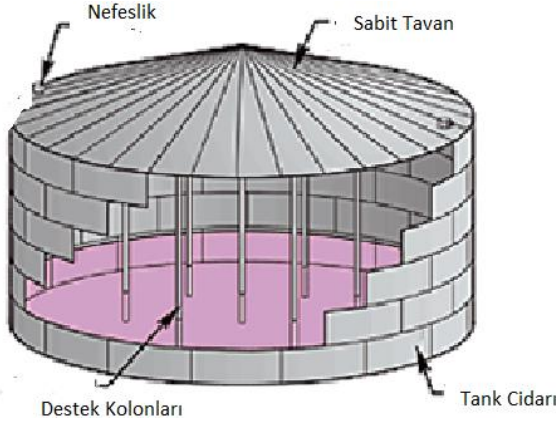
#### 2.1.1. Tavansız tanklar

Su, tuzlu su, tank çamuru vb. ağır ürünlerin depolanmasında tavansız tanklar kullanılır. Ancak tavansız tankların kullanılmasına çevre kanunları ile önemli sınırlamalar getirilmektedir.

#### 2.1.2. Sabit tavanlı tanklar

Bu tanklar fuel oil ve bitüm gibi parlama noktası yüksek olan ürünleri depolamak için kullanılır (Şekil 1). Tank hidrostatik basınca ve çevreden yayılabilecek radyan ısıya dayanıklı olarak yapılır. Sabit tavanlı tanklarda silindirik çelik gövdenin en üst kısmına taşıyıcı çelik kirişler kaynatılır. Kirişlerin üzerlerine sac kaynatılarak tank tavanı düz, konik veya kubbe şeklinde kapatılabilir. Tank tavanı çelik kirişler veya çelik kolonlar üzerine yerleştirilerek desteklenebilir. Tank tavan sacları tank yan saclarına kaynatılması bilinçli olarak zayıf yapılır. Tank herhangi bir nedenle yanlış olarak tam doldurulur ve basınç altında kalırsa açılmanın bu noktalardan olması istenir.

Sabit tavanlı tankların dezavantajlarından biri, bu tankların boşaltılması sırasında emiş borusunun ağzı civarında girdap oluşmasıdır. Tankın boşaltılması sırasında girdap oluşmasını önlemek için emiş borusunun önüne girdap kırıcı denen bir plaka konur. Ayrıca tank dibinde her zaman belirli bir seviyede sıvı tutulur. Sabit tavanlı tanklarda depolanan ürün buharlaşma neticesinde tavadaki nefeslikler vasıtasıyla hava ile temas halinde olur. Bu sebeple hava ile karıştığında düşük parlama sıcaklığı gösteren ürünler için yüzer tavanlı tanklar tercih edilmelidir.

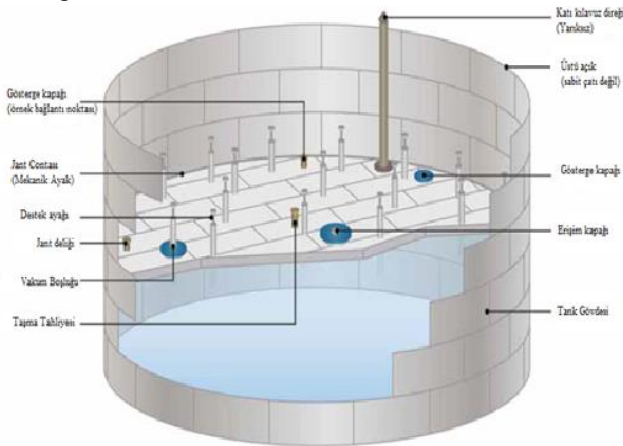


Şekil 1. Sabit tavanlı depo tankları

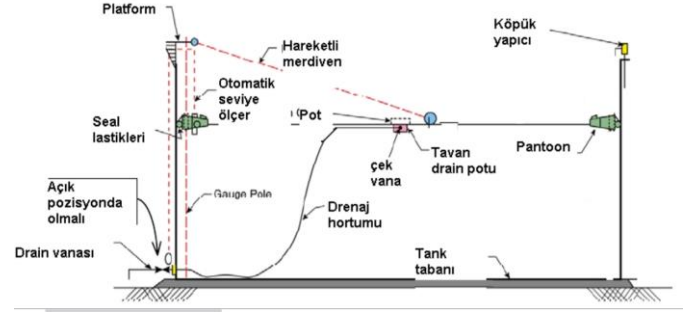
### 2.1.3. Yüzer tavanlı tanklar

Yüzer tavanlı tanklarda buharlaşma kayıplarını önlemek için silindirik tank içinde bulunan sıvının yüzeyinde serbest olarak yüzen bir tavan yerleştirilir (Şekil 2a, 2b). Yüzer tavan çift cidarlı tavan veya içinde pantoon adı verilen hava gözleri sayesinde tavan, tank içindeki hidrokarbon üzerinde yüzer. Burada temel düşünce sıvı ile havanın temasını minimuma indirmektir. Yüzer tavanın ayakları tank boş olduğu zaman tabana tavanın oturmasını önler. Genel olarak iki tip yüzer tavanlı tank vardır.

**Dıştan yüzer tavanlı tanklar:** Yüzer tavan üstü atmosfere açıktır. Yüzer tavan ile tank iç cidarı arasındaki boşluktan buharlaşmayı önlemek için rim-seal adı verilen kenar lastikleri yerleştirilir. Bu tanklar büyük miktarda nafta, kerosen ve gasoil gibi parlama noktası çok yüksek veya çok yüksek olmayan ürünlerin depolanmasında kullanılır. Bu tür tanklar buhar basıncı yüksek olan ürünlerin buhar kayıplarını azaltır. Bu ürünlerin ekonomik olarak depolanmasını sağlar. Dezavantajları yağmur suyu ve karın yüzer tavan üzerinde birikmesi nedeniyle yüzer tavanın tank dibine batma riski taşımasıdır. Dıştan yüzer tavanlı tankların en önemli dezavantajlarından biri de yıldırım nedeniyle rim-seal civarında yangın çıkma olasılığıdır.



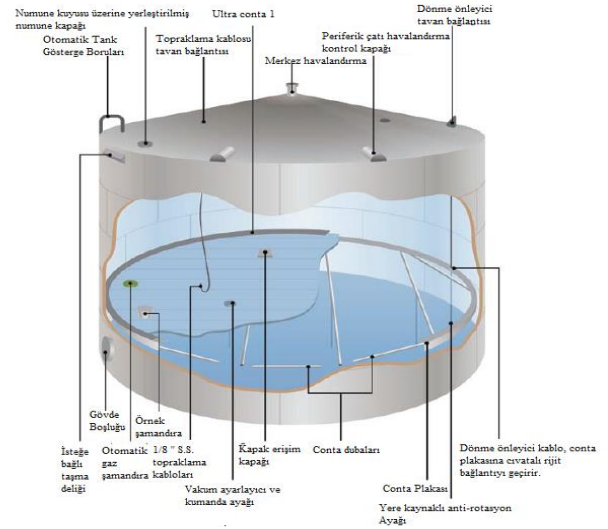
Şekil 2.a. Yüzer tavanlı depo tankının tavanı



Şekil 2.b. Yüzer tavanlı depo tankının genel donanımı

**İçten yüzer tavanlı tanklar:** Yüzer tavanlı tanklarda tank yan saclarına sabit ikinci bir tavan monte edilerek buharlaşma kayıpları asgariye indirilmektedir (Şekil 3). Bu tür tanklara içten yüzer tavanlı tanklar denir. Bu tip tanklar özellikle etanol, benzen gibi buhar basıncı nispeten yüksek ve çevreye zararlı ürünlerin depolanmasında kullanılır. Bu tanklar yağmur kar gibi atmosferik etkilerin risklerini ortadan kaldırır. Ayrıca yıldırım nedeniyle rim-seal yangını önler. Sabit tavanlı tanklara göre nispeten daha pahalıdır.

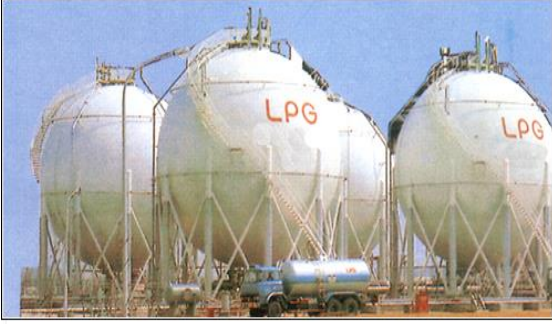
**Yüzer tavanın avantajları:** Ürünün buharlaşıp parlayabilir bir atmosfer oluşturacağı hacim kalmaz. Buharlaşma kayıpları en aza iner. Hava kirleticiler azalır. Tank ateşe maruz kalındığında koruyucu etki sağlar.



Şekil 3. İçten yüzer tavanlı depo tankları

### 2.1.4. Basınçlı depo tankları

Atmosferik basınçta kaynama noktasının üzerinde bulunan ürünlerin depolanmasında kullanılır (Şekil 4,5). LPG ve benzeri ürünlerin depolanmasında basınca dayanıklı ya fişek ya da küre şeklinde tanklar yapılır.



Şekil 4. Küre Tanklar



Şekil 5. Fişek Tanklar

## 2.2 Tank ekipmanları

Depo tanklarında tankların dolumu, boşaltılması ve çeşitli tank operasyonları için çeşitli bağlantı ve fitting elemanları bulunur. Başlıca tank elemanları; ürün giriş, ürün çıkış ve su tahliye nozulları, menholler, nefeslikler (ventler), topraklama elemanları, numune alma boruları ve yangın mücadele sistemleridir. Tanklar döküntü ve kaçakların yayılmasını önlemek için beton duvarla veya sıkıştırılmış toprakla çevrilir. Sedde duvarları içinde bir veya birden fazla tank bulunabilir. Genel bir kural olarak sedde hacmi, sedde içindeki en büyük tankın hacminin %110 fazlası olmalıdır. Sedde tank içindeki maddeye geçirgen olmamalı ve hidrostatik basınca dayanıklı olmalıdır. Sedde yüksekliği zeminden 1,5-2 metre yükseklikte olmalıdır.

## 3. Depo Tanklarının İşletme Riskleri

Hidrokarbonlarla çalışanların can güvenliği bakımından tank operasyonlarında her türlü emniyet kurallarını bilmesi ve uygulaması yaşamsal önem taşımaktadır. Hidrokarbon depo tanklarının dolumu ve tahliyesi sırasında sık karşılaşılan başlıca tehlikeler tank taşırma, nefeslik yangını, rimseal yangınları, tank tavan çökmesi ve tankın yarılmasıdır. Statik elektrik birikmesi de başlı başına ayrı bir hayati risk oluşturur.

## 3.1. Tank taşırma

Tank taşırma genellikle aşağıdaki nedenlerden dolayı olmaktadır:

1. Manuel dolumda yapılan operatör hataları (Örneğin yanlışlıkla boş bir tank yerine dolu bir tankın giriş vanasının açılması)
2. Tank dolumu yapan pompanın durdurma vanasının arızalı olması
3. Tank bloke sistemi yeterli nefeslik, vent veya tahliye sistemlerinin olmaması
4. Kayıtlarının düzenli tutulmaması veya birbirine karışması
5. Uzaktan seviye ölçüm yapan sistemlerin (RTG), yüksek seviye alarmlarına fazla güvenilmesi ve bunların bozulması veya yanlış sinyal vermelerinin sebep olduğu yanlış kararlar

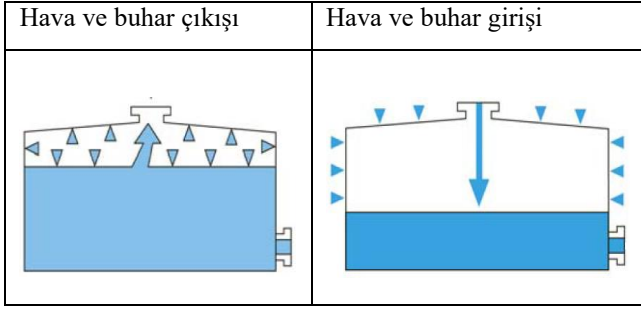
Tank seddelerin tahliye vanaları daima kapalı olmalıdır. Aksi takdirde seddelerden herhangi bir nedenle yayılan ürün denize veya dere, nehir vb. yere gider. Çok büyük çevre kirliliğine ve mali külfete neden olur (Şekil 6).



Şekil 6. Tankları taşırma

## 3.2. Basınç veya vakum etkisi

Sabit tavanlı tanklar sanıldığından çok daha dayanıksızdır. Pek çoğu tank tavanı, tank nefesliklerinin uygun çalışmaması, nefesliklerin içine kuşların yuva yapması, nefeslik meşlerinin çok ince olması vb. nedenlerle tankın içinde aşırı basınç veya vakum meydana gelmesinden dolayı yarılmış veya tavanı çökmüştür. İç basıncı yüksek tanklarda tank set değerinin aşılması halinde devreye girmesi için basınç tahliye vanaları bulunur. Vakum altında çalışan tanklarda ise set değerine göre ayarlanmış vakum kırıcı vanalar bulunur (Şekil 7).



Şekil 7. Tanka hava giriş ve çıkışı

Tanka sıvı girişi olurken hava ve buhar dışarı çıkabilmeli ve tanktan sıvı çıkarken hava tanka girebilmelidir. Pek çok sabit tavanlı tank, tankın içindeki basınç atmosferik basıncın arasındaki yaklaşık 7,5 mbar basınç farkına dayanacak şekilde tasarlanır ve yapılır.

Normal olarak tank dolarken içindeki havanın dışarıya atılması gerekir. Eğer dolum sırasında içerdeki hava dışarıya atılamazsa tankın basıncı yükselir ve tank tavanı yarılabilir. Tank boşaltılırken de tankın içine havanın girmesi gerekir. Aksi takdirde tank tavanı içe çökebilir. Büyük bir yüzey üzerine etki eden küçük bir basınç farkı oldukça büyük bir kuvvet meydana getirir. Örneğin; 46 metre çapında sabit tavanlı bir tankın iç basıncında 1 gr/cm<sup>2</sup> fark olsun. Bu tankın içindeki basınçla atmosferik basınç arasında 1 cm su sütunu yüksekliğinde basınç farkı anlamına gelir. Bu durumda tankın sadece tavanına 16.500 kg kuvvet uygulanır. Bu tankın yan yüzeylerine de 46.200 kg kuvvet uygulanır. Rafineri tankları içindeki basınçla dışındaki basınç farkı 6,5 cm su sütununu geçerse tankının tavanı kaynak yerlerinden yarılacak şekilde imal edilirler.

### 3.3. Tank yan cidarlarının arızalanması

Tank cidarları, doğal kuvvetler ve rüzgarın uyguladığı basınç veya deprem gibi nedenlerle hasara uğrayabilir (Şekil 8). Korozyon tank cidar kalınlığını ve ilgili metal donanımın kalınlığını azaltabilir. Tank zemini ve temelini uygun olmaması, hatalı montaj, standartlara uygun olmayan sac ve kaynak işlemleri kullanılması tank cidarı arızalarının başlıca kaynağıdır. Tankın içi boş ve yanıcı veya patlayıcı buharla dolu olduğu zaman risk çok daha yüksektir. Kaynak yapılması, çıplak ateş gibi nedenlerle tutuşup patlayabilir. Korozyon özellikle taban sacını etkiler. Tabanda genellikle az da olsa su bulunması elektrokimyasal pil oluşumunu tetikler. Elektrokimyasal korozyon taban sacını hızlı bir şekilde aşındırır.



Şekil 8. Tanklara vakum etkisi

### 3.4. Yüzer tavanlı tanklarda tavanın batması

Yüzer tavan üzerinde aşırı yağmur suyu birikmesi veya yüzer tavan hava odacıklarına (ponton) ürün dolması veya yüzer tavan desteklerinde operasyon sırasında dengesizlik olması nedeniyle tavan tankın dibine batabilir ve ürün tankın üstüne çıkar (Şekil 9). Benzer durum yüzer tavanlı tank yangınlarıyla mücadele ederken de oluşabilir ve tavan üzerinde biriken su nedeniyle tavan batabilir.

### 3.5. Yüzer tavanlı tanklarda tavanın oturması

Yüzer tavanlı tanklarda yüzer tavan tank dibine oturursa, bu tavanı hidrokarbonlarla yüzdürmek mümkün olmaz (Şekil 9). Bu nedenle yüzer tavana yaklaşık 1,2 metrelik ayaklar yapılır. Tank tabana oturursa bu ayaklar üzerinde oturur. Bu durumda tankı tekrar yüzdürmek mümkün olur. İşletme pratiği bakımından tank tavanının ayakları üzerine de oturtulmaz. Tank içinde her zaman 1,2 metre yüksekliğindeki sıvı ölü hacim olarak tutulur.



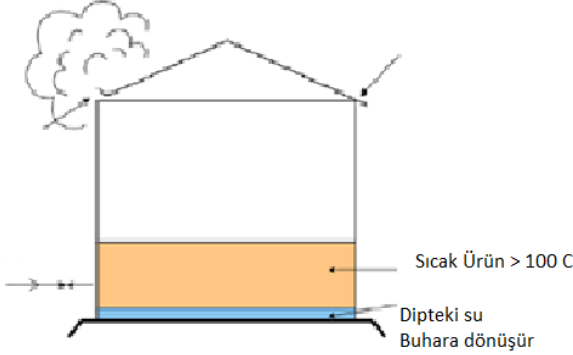
Şekil 9. Yüzer tavan batması



### 3.6. Tanklarda su patlaması ve köpürme riski

Tank diplerinde çeşitli nedenlerle su bulunur (Şekil 10). Bu nedenlerin bazıları şunlardır:

1. Proses ünitesinden sıcak gelen ürün içinde çözünmüş halde bulunan suyun ürün soğuyunca çözünürlüğün azalması nedeniyle tank dibine çökmesi
2. Tanka dışardan yağmur ve kar suyunun girmesi
3. Hava içindeki nemin gece ve gündüz sıcaklık farkından dolayı yoğunlaşması
4. Tank içindeki buharla ısıtma sisteminde delik veya kaçak olması

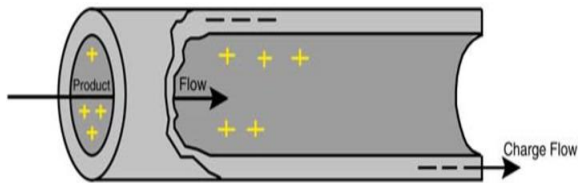


Şekil 10. Tankta köpürme

Tank dibinde bulunan su (Şekil 10) buhar fazına geçtiği zaman hacmi yaklaşık 1.600 kat artar. Bu da tankta patlamaya veya köpürmeye neden olur. Buna su patlaması ve dipten kaynama (boilover) denir. İçinde su bulunan bir tanka sıcak fuel-oil veya ağır bir petrol ürünü doldurulması sırasında sıcaklık suyun kaynama noktası olan 100°C'ye ulaşırsa dipten kaynama meydana gelir. Ham petrol veya fuel oil gibi ürün tanklarında yangının söndürülmesi sırasında da boilover meydana gelebilir. Bu durum yangınla mücadele edenlere zarar verir ve yangının yayılmasına sebep olabilir. Bu nedenle tank sıcaklığı hiçbir zaman 93°C'nin üzerine çıkartılmamalıdır. Tank diplerinde bulunması muhtemel su periyodik olarak kontrol edilmeli, varsa tahliye edilmelidir. Tank tahliyesi mutlaka operatör kontrolünde ve gözetiminde yapılmalıdır.

### 3.7. Tank işletmelerinde statik elektrik riskleri

Statik elektrik farklı iki maddenin sürtünmesi sırasında maddelerden birinin diğerine elektron vermesi ve diğerinin elektron alması sonunda farklı elektrik yüklenmesi nedeniyle meydana gelir (Şekil 11).



Şekil 11. Hidrokarbon akışı esnasında statik elektrik oluşumu

Hidrokarbonların tank dolumu veya tahliyesi sırasında statik elektrik meydana gelir. Statik elektriğin en önemli riski kıvılcım meydana getirebilmesi ve alevlenebilir bir hava hidrokarbon karışımını tutuşturması ve patlamalara neden olmasıdır. Bir halı üzerinde yürüdükten sonra, bir metale dokunduğumuz zaman küçük bir kıvılcım atlaması ya da bir irkilme duygusunu pek çoğumuz hissetmiştir. Şimşek çakması veya yıldırım düşmesi statik elektriğin neden olduğu en belirgin olaylardır.

Geçmişte statik elektriğin neden olduğu olayların pek çoğu tanker dolumu sırasında olmuştur. Tanker yangınlarının pek çoğunda farklı ürün yükleme sırasında yani bir tankerle hafif bir ürün taşındıktan sonra ağır ürün dolumu yapılırken olmaktadır. Rafinerilerin ürettiği benzin, kerosen, jet yakıtı, fuel oil vb. ürünler aşağıdaki durumlarda statik elektrikle yüklenir:

1. Ürünün bir yerden başka bir yere pompalanması
2. Ürünün bir boru içinden akması
3. Ürünün dökme dolum yapılması
4. Ürünün bir filtreden geçerek süzülmesi
5. Ürün içinde bulunan su zerreciklerinin çökmesi

Rafineri ekipmanlarının buharla temizlenmesi (stim out) sırasında, plastik numune kapları kullanıldığı durumlarda ve dramların doldurulması sırasında statik elektrikten dolayı pek çok patlama ve yangın olur. Örneğin, son 20 yıl içinde uluslararası bir rafineri şirketinin rafinerilerinde statik elektrikten dolayı 33, yıldırım düşmesinden dolayı ise 10 patlama ve yangın olayı olmuştur.

### 4. Yanma, yangın ve patlama

Petrol ve petrokimya tesislerinde yangın ve patlama olaylarına sık karşılaşılmaması nedeniyle yangınla mücadele ilkeleri ve bağlamda kullanılan terimlerin açıklanması terim birliği sağlama bakımından yararlı olacaktır.

**Yanma:** Bir yakıtın oksijenle kimyasal tepkimeye girerek yanma ürünleri (is, duman ve muhtelif gazlar) meydana getirmesidir. Yanma sırasında açığa çıkan enerjinin bir kısmı yanmayı sürdürmek için kullanılır. Yanma sırasında ortama ısı ve ışık yayılır. Yanma reaksiyonları her zaman gaz fazında olan hızlı reaksiyonlardır. Gaz ve sıvı yakıtları tutuşturmak genellikle kolaydır. Yanmadan önce sıvı buharlaşarak gaz fazına geçer. Katı fazda ise, katı molekülleri parçalanarak gaz fazına geçer.

**Gaz ve buhar:** Gaz hali genel bir terim olarak maddenin üç halinden birini ifade eder. Bir kap içine konan gaz halindeki bir madde, madde miktarı, ne olursa olsun, kabın tamamını doldurur. Bir maddenin atmosferik basıçta, kritik sıcaklığının altında bulunan gaz haline, buhar denir. Buhar üzerine basınç uygulanırsa sıvılaşır.

Kritik sıcaklık üzerindeki maddenin gaz haline basınç uygulanırsa sıvılaşmaz. Bu ayrımı yapmak için yaygın olarak kritik sıcaklık üzerindeki durumdaki hale gaz denir. Örneğin azot gazı, argon gazı gibi madde adı sonuna gaz sözcüğü eklenir. Azot buharı dendiği zaman ortam sıcaklığının kritik sıcaklıktan daha düşük olduğu ifade edilir. Buhar sıcaklığının nispeten küçük bir miktarda düşmesi halinde kap içinde sıvılaşma nedeniyle vakum oluşur. Kaplarda vakum oluşması tehlikeli bir durum meydana getirebilir. Normal şartlarda gaz olan maddeler, kendi buhar basıncı altında sıvı olarak depolanması halinde, basınçla sıvılaştırıldıkları ifade edilir. Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) buna tipik bir örnektir. Kaptan madde sızması olduğu zaman, ortama buhar olarak yayılacağı ve risk oluşturacağı vurgulanır.

**Yangın:** Kontrol edilemeyen istem dışı yanma reaksiyonlarına yangın denir. Yangın reaksiyonları çok hızlı gerçekleşirse buna kimyasal patlama denir. Yangın ve kimyasal patlama arasındaki temel fark ortaya çıkan enerjinin yayılma hızıdır. Yangında ısı enerjisi yavaş yayılır. Patlamada ise enerji hızlı bir şekilde tipik olarak birkaç milisaniye içinde gerçekleşir. Yangın patlamaya, patlama yangına neden olabilir.

**Patlama:** Basınç şok dalgası oluşturan ani ve şiddetli enerjinin çevreye yayılmasıdır. Patlama sonucunda hızlı hareket eden bir basınç dalgası veya şok dalgası oluşur ve gaz hızlı bir şekilde genişir. Patlama yangın olmadan da fiziksel değişim veya mekanik değişim veya bir kimyasal reaksiyon sonucu olabilir.

**Fiziksel patlama:** Bu patlama türü ani bir mekanik değişim sonunda veya ani bir hal değişimi sonunda meydana gelir. Bir buhar kazanının veya hava tankının aşırı basınçtan patlaması mekanik patlamaya tipik bir örnektir. Enerjinin yayılma hızının sonucunu nasıl etkilediğine tipik bir örnek olarak araba lastiği içindeki basınçlı havayı göz önüne alalım. Sıkıştırılmış hava enerji içerir. Eğer sıkıştırılmış hava bir nozuldan yavaş bir şekilde boşaltılırsa sonuç zararsızdır. Eğer lastik ani bir şekilde patlarsa sonuç tehlikeli olur. Faz değişimi sonucu patlamaya örnek olarak buhar kazanlarında yüksek basınç altında ve normal kaynama noktasının üzerindeki sıcaklıkta bulunan suyun üzerindeki basınç aniden düşerse, ani buharlaşma nedeniyle patlama olur. Benzer şekilde atmosferik tanklarda depolanan rezid veya fuel-oil gibi ağır petrol ürünlerinin, sıcaklığı 100°C üzerinde olması ve içine her hangi bir nedenle su girmesi halinde faz değişimi patlaması olur.

**Kimyasal Patlama:** Hızlı basınç yayılması veya şok dalgası, hızlı bir kimyasal reaksiyon nedeniyle ortaya çıkan ısının neden olduğu ani genişlemenin şok dalgası meydana getirmesidir. Örneğin Hidrojenin oksijenle tepkimesi buna tipik bir örnektir. Bazı kimyasal maddeler örneğin asetilen ortamda oksijen olmadan da patlama şeklinde bozunması,

çevresinde tehlike oluşturabilir. Kimyasallar yangın ve patlama formunda çok büyük tehlike oluşturur. Örneğin 5 litrelik bir tolüen bir laboratuvarı bir dakika içinde tahrip edebilir ve içindekilerinin ölümüne neden olabilir. Kimyasal reaksiyon cephesi, reaksiyon olmayan ortamda ses hızından daha düşük bir hızla ilerlerse deflagrasyon, daha yüksek bir hızla ilerlerse buna detonasyon denir.

#### 4.1. Yangın üçgeni ve yangınla mücadele ilkeleri

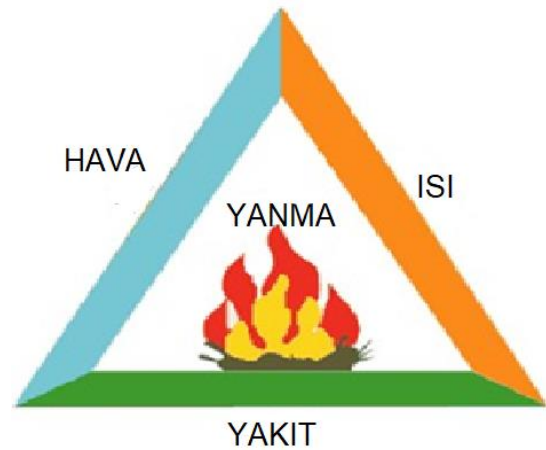
Proses endüstrisinde kullanılan pek çok madde alevlenebilir olması nedeniyle can ve mal kaybı tehlikesi taşır. Bir yangının başlayabilmesi için üç şartın bir arada bulunması gerekir (Şekil 12). Bunlar yeterli ısı (tutuşturma kaynağı), yakıt ve oksijendir. Bu şartlar arasındaki ilişki genellikle yangın üçgeni olarak bilinir. Bu üç şartın bir arada olması önlenirse yangın başlamaz. Bu bilgi yangın söndürme sırasında uyulması gereken ilkeleri oluşturur.

1) Benzin dizel gibi damıtık bir ürün içeren tank yangınlarında buharlaşma tankı soğutur. Yangını söndürmek için buharla havanın teması köpük ve su şemsiyesiyle kesilmeye çalışılır.

2) Ham petrol ve fuel-oil gibi damıtık olmayan ürünlerin tank yangınlarında, sıcaklığın yükselmesini önlemek için tankın gövdesi soğutulur buharlaşma önlenmeye çalışılır.

3) Kendi buhar basıncı altında sıvı olan ürünlerin örneğin propan, bütan veya LPG tankı yangınlarında tankın buhar içeren kısmı soğutulur tank içindeki basınç düşürülmeye çalışılır.

Pratik deneyimler patlamayı önlemenin en iyi yolunun alevlenebilir karışımın oluşmasını önlemek olduğunu göstermektedir. Çünkü pek çok yakıtın tutuşma enerjisi çok küçük ve tutuşturucu kaynağı çok fazladır. Yaygın olarak görülen tutuşturma kaynakları; kıvılcım, alev, statik elektrik ve ısıdır.



Şekil 12. Yangın Üçgeni

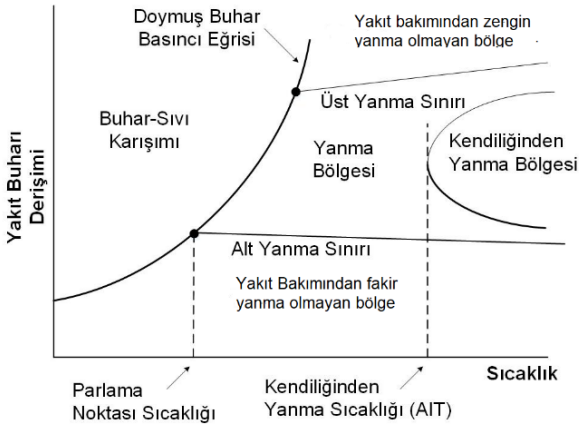


## 4.2. Yakıt buharı ve hava karışımının alevlenme diyagramı

Alevlenebilir bir yakıtın buhar hava karışımı içindeki derişimi ve sıcaklık arasında çizilen diyagram (Şekil 13) yanma karakteristiklerini tanımlayan çeşitli bölgeleri göstermektedir. Yakıt buharı ve oksijenin (veya hava karışımının) ancak belirli bileşimleri, belirli sınırlar arasında alevlenerek yanabilir. Yanmanın gerçekleştiği en düşük yakıt hava karışımı içindeki yakıt yüzdesi alt alevlenme sınırı ve yanmanın gerçekleştiği en yüksek yakıt yüzdesi üst alevlenme sınırı olarak adlandırılır.

**Parlama sıcaklığı:** Sıvı bir yakıtın belirli şartlarda yanmaya başlamaya yetecek kadar buharlaştığı en düşük sıcaklıktır. Ortamda yanmayı sürdürebilecek kadar buhar üretimi olmadığı için mevcut buhar bitince yanma durur. Yakıt karışımı parlar ve söner. Örneğin TSE standartlarına göre üretilen ürünlerin parlama noktalarının minimum değeri benzin için  $-45^{\circ}\text{C}$ , dizel için  $55^{\circ}\text{C}$ , fuel-oil için  $66^{\circ}\text{C}$  olmak zorundadır.

**Tutuşma sıcaklığı:** Sıvı ya da katı bir yakıtın üzerinde yanmayı sürdürebilecek kadar buharın olduğu en düşük sıcaklığa tutuşma sıcaklığı denir. Tutuşma sıcaklığı, parlama sıcaklığından genel olarak birkaç derece daha yüksektir.



Şekil 13. Yanma Bölgeleri

**Alevlenme (yanma) noktası :** Bir gaz yakıtın veya sıvı yakıt buharının, atmosferik basınçtaki hava ile karışımının alevlenerek yanabildiği en düşük yakıt derişimine alt alevlenme noktası, en yüksek yakıt derişimine üst alevlenme noktası denir.

**Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı:** Alt ve üst alevlenme sınırları arasında bulunan bir gaz yakıt veya yakıt buharı karışımının yeterli bir sıcaklığa ulaştığında alevlendiği sıcaklıktır. Bir başka deyimle yanma reaksiyonunun kendiliğinden başlaması için gerekli en düşük sıcaklıktır. Örneğin yanma limitleri arasında bulunan bir yakıt hava karışımı ısıtılırsa veya adyabatik olarak sıkıştırılarak

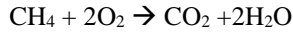
sıcaklığı arttırılırsa kendiliğinden tutuşur. Dizel motorları bu prensibe göre çalışmaktadır.

**Tablo 1.** Bazı gaz yakıtların ve yakıt buharlarının hava ile karışımının alt ve üst alevlenme sınırları

Yakıt	Alt alevlenme yakıt derişimi %	Üst alevlenme yakıt derişimi %
Hidrojen	4	74
Metan	5	15
Propan	2,5	9,5
Bütan	2	8,5
Etilen	3	32
Asetilen	2,5	80
Benzin	1,4	7,6

## 4.3 Alevlenme diyagramı

Bir gaz veya buharın alevlenmesini genel olarak gösterebilmek için Şekil 14'deki gibi bir eşkenar üçgen diyagram kullanılır. Üçgenin köşeleri yakıt, oksijen ve inert maddeyi gösterir. Üçgenin kenarları bu maddelerin ikili karışımını temsil eder. Üçgen içindeki her hangi bir nokta üçlü karışımın bileşimini temsil eder. Örneğin, A noktası %60 metan, %20 oksijen ve %20 azotu temsil eder. A noktası alevlenme bölgesinin dışında kaldığı için bu karışım alevlenmez. Koyu çizgi stokiometrik reaksiyon oranını gösterir:  $1/3$  (%33,33) metan,  $2/3$  oksijen (%66,66).

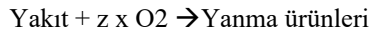


Hava çizgisi ise hava ile yakıtın olabilecek tüm karışımını gösterir. Bu hat yakıtın sıfır olduğu saf hava noktasından (%21  $\text{O}_2$  ve %79  $\text{N}_2$ ) başlar, yakıtın %100 (%0  $\text{O}_2$  ve %0  $\text{N}_2$ ) noktasında biter.

Hava çizgisinin denklemi:

$$\% \text{Yakıt} = 100 - \% \text{Azot} \times (1 / 0,79)$$

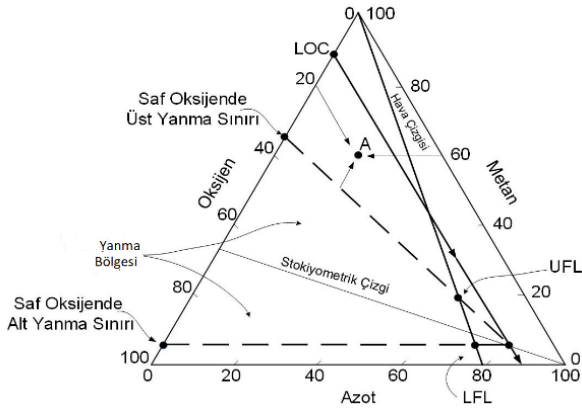
Stokiometrik çizgisi yakıt oksijen karışım oranlarının tümünü temsil eder. Bir yanma reaksiyonu genel olarak şu şekilde gösterilebilir.



Burada z stokiometrik katsayıdır. Stokiometrik hat ile oksijen eksenin (%100  $\text{O}_2$ ) kesişme noktası arasındaki bağıntı, oksijen ekseninde azot olmadığı göz önüne alınarak  $100 \times (z / (z+1))$  şeklinde yazılabilir.

Stokiometrik hat çizgisinin denklemi:

$$\% \text{yakıt} = (100 - \% \text{N}_2) / (1+z)$$



Şekil 14. Alevlenme diyagramı

Herhangi bir yakıt oksijen derişim limiti değerden daha düşük oksijen içerirse yanmaz. Bu derişime limit oksijen derişimi denir. Limit Oksijen derişim altında reaksiyon gaz karışımının tamamını ısıtmak için yeterli ısı enerjisi meydana getiremez. Bu nedenle alev kendiliğinden yayılamaz. Alevlenme bölgesinin formu ve büyüklüğü sıcaklık, basınç, yakıtın cinsi ve ortamda bulunan inert gazın cinsine ve miktarına göre değişir. Yangın ve patlamalar yakıt derişimi ne olursa olsun oksijen derişimi düşürerek önlenir. Bu uygulamaya inerting denir.

**Inerting:** Gaz halindeki bir yakıt ile hava karışımı veya yakıt buharı ile hava karışımına inert gaz ilave ederek karışım içindeki oksijen derişimini, oksijen limit yüzdesi altına düşürmeye inerting denir. Inert gaz olarak azot veya karbon dioksit kullanılır. Bazı durumlarda buhar da inert gaz olarak kullanılmaktadır. Inerting yakıtın içinde bulunduğu kabı inert gaz ile süpürerek (purging) oksijen yüzdesini emniyetli bileşime getirmeye başlar. Genel bir kontrol noktası oksijen limit yüzdesinin %4 daha düşük değeridir. Yani oksijen limit yüzdesi %10 oksijen ise, %6 oksijen seviyesi emniyetli kabul edilir. Bir inerting sistemi hava ve buhar karışımının bulunduğu bölgedeki oksijen yüzdesi limiti altında oksijen bulunmasını sağlayarak yanmayı önler. Inert gaz kullanılan sistemlerde görülen önemli sakıncalarından biri havasızlıktan boğulma olaylarıdır.

## 5. Yangın Tipleri ve Patlama Tehlikesi

Hidrokarbon depo tankları genelde göründüklerinden ve sanıldıklarından çok daha düşük bir mukavemete (dayanaklığa) sahiptirler. Ayrıca tank operasyonları da görüldüğü kadar basit değildir. Yapılan basit hataların sonuçları son derece pahalı olarak ödenir.

Hidrokarbon depo tanklarındaki başlıca potansiyel tehlikeler şunlardır:

1. İçerik kayıpları (tanklardan sıvı taşması, sedde duvarının yıkılması ya da gaz kaçakları)

2. Yangın (havuz yangını, tank yüzey yangınları, jet yangınları (boilover))

3. Patlama (buhar bulutu patlaması), zehirli duman ve gaz

4. Doğal afet (Deprem, yıldırım, fırtına ya da kasırga) tahribatları

Bu tehlikeler ayrı ayrı yaşanabileceği gibi birinin meydana gelmesinin bir diğerini tetikleme riski de olabilir. Buna domino etkisi denir [7]. Riskler değerlendirilirken domino etkisi göz ardı edilememelidir. Riskler süreç güvenliği, yapısal analizler ve işletme güvenliği konuları dikkate alınarak bütünsel bir bakış ile değerlendirilmelidir.

Kimya endüstrisinde karşılaşılabilecek yangın tipleri aşağıda açıklandığı gibi birbirlerinden oldukça farklıdır.

### 5.1. Jet yangını

Basınç altında gerçekleşen bir proses ekipmanından veya hattından dışarı sprej şeklinde yakıtın sürekli sızması ve hemen alev alması sonucunda oluşur. Bu sızıntı bir veya birkaç yerden olabilir. Jet yangınları oldukça tehlikeli olabilir. Yangın sırasında oluşan yüksek sıcaklıktaki alevin yaladığı malzeme mukavemeti zayıflar, kırılmasına veya yarılmasına neden olarak problemi büyütebilir.

### 5.2. Havuz yangını

Yatay bir havuz içerisine yayılmış durgun bir yakıtın alev almasıyla oluşan yangın türüdür. Havuz yangınlarında yanma hızı, havuz yangını yakıtı su veya çelik üzerinde de olsa aynıdır. Açık havada olan havuz yangınları rüzgar aldığı için yanmayı yakıt kontrol eder. Büyük miktarda alevler oluşturur. Tesisi ve çevreyi tehdit eder. Kapalı alanda ise yanmayı havalandırma kontrol eder. Ağır hidrokarbonlar isli yanarken, LNG temiz bir alevle yanar.

### 5.3. Buhar bulutu patlaması

Kimya endüstrisinde en tehlikeli ve tahrip gücü yüksek patlama türüdür. Bu tür patlamalar sıralı birkaç adımda oluşur. Ani olarak çok büyük bir miktarda alevlenebilir sıvı maddenin çevreye yayılması ilk aşamayı oluşturur. Bu tipik olarak bir kap içinde aşırı ısıtılmış ve basınç altındaki sıvının bir patlaması sonucu çevredeki atmosfere yayılmasıyla olabilir. İkinci aşamada ise bu buhar bulutu herhangi bir kaynaktan tutuşarak alev alır.

**Kapalı alanda buhar bulutu patlaması:** Kapalı bir kap, tank veya bir binanın içinde olan patlamadır. Cana, varlıklara ve çevreye önemli ölçüde zarar veren ve çok yaygın görülen bir patlama türüdür.

**Açık alanda buhar bulutu patlaması:** Bu açık alanda olan bir patlamadır. Bu tür patlamalar genellikle alevlenme

noktası düşük bir sıvının dökülmesi ve buharlaşması veya gaz bir yakıt kaçağının atmosfere yayılması ve tutuşturucu kaynağından alev alması şeklinde olur.

#### 5.4. Kaynayan sıvı buhar yangını (BLEVE)

Buhar basıncı atmosferik basınçtan yüksek olan sıvıların basıncın düşmesi nedeniyle hızlı bir şekilde buharlaşması ve yanması sırasında açığa çıkan ısının, tankın buhar kısmındaki sıcaklığının hızla yükselmesi ve mekanik mukavemetinin azalması ve patlaması sonunda büyük bir alev topunun oluşmasıdır (Şekil 15). BLEVE sırasında tankın şarapnel parçaları oldukça uzaklara fırlatabilir.



Şekil 15. BLEVE

#### 5.5. Zehirli duman ve gaz yayılması



Şekil 16. Zehirli Duman ve Gaz Yayılması

Zehirli duman ve gazın etkisini duman dağılım oranı, duman yüksekliği, zehirli kirleticinin kaynağındaki derişimi, hava şartları belirler. Tipik bir yangın dumanı Şekil 16'da görülmektedir.

## 6. Sonuç

Ham petrol, petrol ürünü akaryakıtlar ve normal şartlarda gaz olan ve kendi buhar basıncı altında sıvı olarak kullanılan propan, bütan veya bunların karışımı olan LPG'nin depolandığı tank sahaları, büyük bir risk taşımaktadır. Ayrıca boya üretiminde kullanılan çeşitli solventler, plastik ve polimer üretiminde kullanılan etilen, propilen, bütilen, etilen oksit gibi çok çeşitli kimyasallar çok büyük miktarlarda kullanılmaktadır.

Bu ürünlerin tümü yanıcı, parlayıcı ve patlayıcıdır. Özellikle Kocaeli, Körfez bölgesinde depolanan ham petrol, akaryakıt ürünleri, LPG ve petrokimyasal ürünlerin taşıdığı riskler hakkında ilgili iş yerlerinde, kamu görevlilerinde ve bölge halkında mevcut potansiyel tehlikenin önemi ve büyüklüğü konularında farkındalık yaratmak büyük bir önem taşımaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Daniel A. Croal and and JF Loovar, Chemical Process Safety Fundamentals with Application, 3rd Ed., 2011, Printice Hall.
- [2] Sam Mannan, Lees' Process Safety Essentials, Hazard identification, Assessment and Control, Elsevier, 2014
- [3] James G. Speight, The Chemistry and Technology of Petroleum, Fifth Edition, 2012 Heinz Heinemann, Berkeley, California
- [4] James H. Gary, Petroleum Refining Technology and Economics, Fourth Edition Colorado School of Mines Golden, Colorado Glenn E. Handwerk
- [5] Mohamed Fahim Taher Al-Sahhaf Amal Elkilan, Fundamentals of Petroleum Refining, Elsevier, 2010
- [6] Osman Bozdağ, ATAŞ Rafinerisi, Depo Tankları Eğitim Notları, 2003
- [7] Philip Myers, Above Ground Storage Tanks, McGraw-Hill, Chemical Engineering book, series, 2016
- [8] Ali Sarı, "Depolama Tankı Terminallerinin Risk Analizi", Kontrol Medya, <http://kontrolmedya.com/depolama-tanki-terminallerinin-risk-analizi-iv/>, (Erişim tarihi: 21.01.2020)



## Su Tasarrufu Sağlayan Emniyet Valfinin Yerel Kayıp Katsayısının Belirlenmesi ve YüzeY Pürüzlülüğünün Akışa Olan Etkisinin İncelenmesi

### *Determination of Local Loss Coefficient of Water Saving Safety Valves and Investigation of The Effect of Surface Roughness on Flow*

Muhammed Safa KAMER<sup>1,\*</sup> Ahmet KAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Onikişubat, Kahramanmaraş, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-3852-1031

<sup>2</sup> Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Onikişubat, Kahramanmaraş, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-9197-3542

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 15/01/2020

Kabul Tarihi : 17/11/2020

#### Anahtar Kelimeler

Ansys-Fluent  
Basınç Düşüşü  
Emniyet Valfi  
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)  
Yerel Kayıp Katsayısı  
YüzeY Pürüzlülüğü

#### Research Paper

Received Date : 15/01/2020

Accepted Date : 17/11/2020

#### Keywords

Ansys-Fluent  
Pressure Drop  
Safety Valve  
Computational Fluid Dynamics (CFD)  
Local Loss Coefficient  
Surface Roughness

#### Özet

Bu çalışmada, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin farklı yüzeY pürüzlülüklerinde sayısal analizleri yapılmış, yüzeY pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal bulgular kullanılarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı ( $K_K = 9.864$ ) belirlenmiştir. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi için yapılan sayısal analizlerde yüzeY pürüzlülüğünün akış ve basınç düşüşü üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir.

#### Abstract

In this study, numerical analysis at different surface roughnesses of water saving safety valve were made and the effect of surface roughness on the flow was investigated. In addition, the local loss coefficient of the water saving safety valve ( $K_K = 9.864$ ) was determined using the experimental and numerical findings. In the numerical analysis for the water-saving safety valve, it was determined that the effect of surface roughness on the flow and pressure drop was negligibly small.

## 1. Giriş

Boru içi akışlarda akış tipi, boru çapı, akış hızı gibi parametrelerin yanında, boru iç yüzeY pürüzlülüğü de akışı etkileyebilecek önemli bir parametredir. Tesisatta kullanılan borular, bağlantı elemanları ve valfler farklı imalat yöntemlerine göre üretilmekte olup, bu elemanların iç yüzeY pürüzlülükleri de birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedenle tesisat üzerindeki her elemanın

iç yüzeY pürüzlülüğü, imalat yöntemlerine göre hazırlanmış olan çeşitli yüzeY pürüzlülük tabloları yardımıyla ortalama olarak ya da yüzeY pürüzlülüğü ölçüm cihazlarıyla ölçülerek belirlenebilir. Boru içi akış deneylerinde akışkan tesisatın iç yüzeY pürüzlülüğüne maruz kaldığından, bu deneylerle ilgili yapılacak sayısal analiz çalışmalarına tesisatın iç yüzeY pürüzlülüğünü de dahil etmek gerekmektedir.

Yaygın olarak kullanılan bir borulama sisteminde akışkan; borulara ek olarak, birçok bağlantı elemanı, vana, dönüş, dirsek, T, giriş, çıkış, genişleme ve daralmalardan

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): msafakamer@ksu.edu.tr



geçer. Bu elemanlar akışkanın düzgün akışını kesintiye uğratar ve akışı ayırdıkları ve akışın karışmasına yol açtıkları için ilave kayıplara neden olurlar. Uzun borulardan oluşan bir sistemde bu kayıplar, borulardaki toplam yük kaybı (sürekli yük kayıpları) ile karşılaştırıldığında küçük kalır ve bunlara yerel kayıplar denir. Bu durumun genel olarak doğru olmasına rağmen, bazen bunun tersi olarak yerel kayıplar sürekli kayıplardan daha büyük olabilir. Kısa mesafe açık bir vananın yol açacağı yük kaybı ihmal edilebilir. Fakat kısmen kapalı bir vana sistemde en büyük yük kaybına yol açabilir ve bu durum kendisini debideki düşüş ile gösterir. Vana ve bağlantı elemanlarındaki akış çok karmaşıktır ve bu nedenle yerel kayıplar parçaların imalatçıları tarafından deneysel olarak bulunur. Yerel kayıplar çoğunlukla kayıp katsayısı (direnc katsayısı olarak da bilinir) cinsinden ifade edilir [1].

Boru içi akışlarda meydana gelen enerji kayıplarını belirlemek amacıyla literatürde birçok çalışma yapılmış olup, bunlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Parlak vd., pürüzlü ve pürüzsüz mikroborularda laminer su akışındaki akış kayıplarını termodinamiğin ikinci yasası yardımıyla analiz etmişlerdir. Akış kayıplarının Re sayısına, mikroboru iç yüzey özelliklerine, boru çapı ve boyuna bağlı olduğunu tespit etmişlerdir [2].

Düz, daimi ve borulu su akışlarında giriş uzunluğunu, farklı boru çapı, farklı pürüzlülük değerlerinde ve 2000-25000 aralığındaki Reynolds sayılarında sayısal çözümleme araştırılmıştır. Analizler sonucunda boyutsuz giriş uzunluğu için sayısal verilerle uyumlu sayısal bir bağıntı önermiştir [3].

Parlak vd., tek fazlı laminer akışta viskoz ısınma etkisinin ortaya çıkarılması için pürüzsüz ergimiş silika mikroborularla deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Deneyleri adyabatik koşullarda gerçekleştirmişler ve viskoz ısınma nedeniyle oluşan sıcaklık artışları belirlemişlerdir. Sayısal analizlerle belirlenen basınç kayıpları ve sıcaklık artışlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir [4].

Çelikağ, küresel vana basınç kayıp katsayısını deneysel ve sayısal olarak belirlemiş olup, sayısal yöntemde Fluent programını kullanmıştır [5].

Chern vd., küresel valfin akış özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Valfin performansını belirlemek

için farklı hacimsel debilerde ve farklı basınçlarda gerekli katsayıları belirlemişlerdir [6].

Duymaz, kelebek vana lokal kayıp katsayısını, deneysel ve sayısal olarak hesaplamıştır. Sayısal çözümlemeye Fluent programını kullanmıştır [7].

Yüksel, sürgülü vanalarda basınç kayıp katsayısını deneysel ve sayısal olarak vana açıklığına göre hesaplamıştır [8].

Kamer, su tasarrufu sağlamak amacıyla bir mekanik valf tasarlamıştır. Tasarlanan valfte farklı debilerde oluşan basınç düşüşünü deneysel ve sayısal olarak belirlemiştir [9].

Araştırmacılar, daha önceki çalışmalarında; su kullanımının yaygın olduğu mahallerde, su kullanımı sırasında ani su kesilmelerinden sonraki olası su israf ve baskınlarını önlemek amacıyla bir mekanik-otomatik emniyet valfi tasarlayarak imal etmişler, emniyet valfinin tasarımı üzerinde değişiklikler yapmışlar, tasarımdaki değişikliklerin basınç düşüşüne etkisini sayısal olarak araştırmışlar ve bu tasarımlar arasında basınç düşüşünün en az olduğu geometriyi tespit etmişlerdir [10-11]. Bu çalışmada ise, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin farklı yüzey pürüzlülüklerinde sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizlerde yüzey pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal bulgular kullanılarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal olarak belirlenen yerel kayıp katsayıları arasındaki farka hata analizi uygulanmıştır.

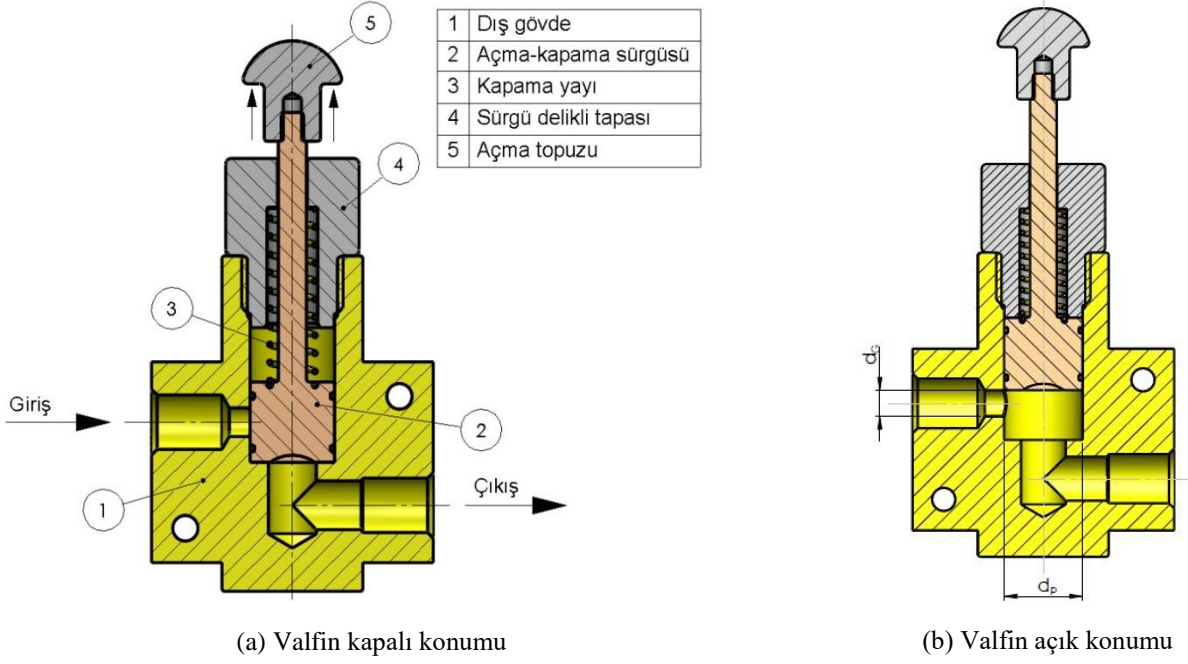
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel Çalışma

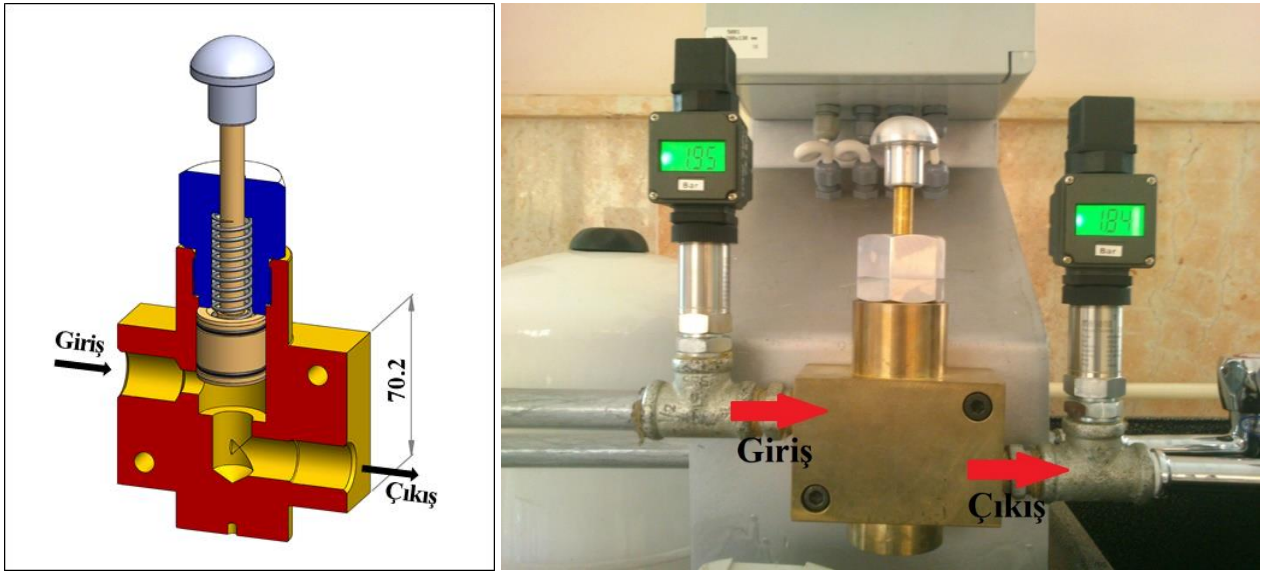
Şebeke suyu kesilmesi sırasında açık bırakılan vanalardan, suyun tekrar gelmesi halinde oluşacak olan su kayıp ve baskınlarının mekanik otomatik çalışan mekanizmalarla engellenmesi amacıyla yeni bir valf tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır.

Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi; dış gövde, açma-kapama sürgüsü, kapama yayı, sürgü delikli tapası ve açma topuzundan oluşmaktadır (Şekil 1). Tasarımı yapılarak imal edilen valf Şekil 2’de gösterilmiştir.





Şekil 1. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi kesit görüntüleri



Şekil 2. Tasarlanarak imal edilen su tasarrufu sağlayan emniyet valfi

Geliştirilen su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin test edilmesi ve farklı debilerdeki basınç düşüşü değerlerinin belirlenmesi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır (Şekil 3). Tasarlanan deney düzeneği; 100 litrelik depo (1), sirkülasyon pompası (2), kapalı genişleme tankı (3), basınç regülatörü (4), küresel vana (5), elektromanyetik debimetre (6), dijital basınç göstergeleri (7), emniyet ventili (8), su tasarrufu sağlayan emniyet valfi (9), uzun musluk (10) ve elektrik panosu (11) elemanlarından oluşmaktadır.

Depoya doldurulan kullanım suyu, sirkülasyon pompası ile sisteme gönderilmektedir. Tesisat elemanlarından dolaşarak uzun musluğa ulaşan su, muslukta tekrar depoya aktarılmaktadır. Sistemin çalışması bu şekilde kapalı devre olarak devam etmektedir.

Depodan sirkülasyon pompası ile emilen su, pompanın çıkışında iki yola ayrılmaktadır. Bu yollardan birincisinde, çeşitli tesisat elemanlarından dolaştıktan sonra uzun musluğa ulaşmaktadır. İkincisinde ise, emniyet ventili ve çeşitli tesisat elemanlarından dolaştıktan sonra depoya aktarılmaktadır. Birinci yolu izleyen su, burada ilk olarak basınç regülatörüne girmektedir. Basınç regülatöründen çıkan su, debi ayarının yapılabilmesi için yerleştirilen küresel vanaya girmektedir. Küresel vanadan çıkan suyun debi ölçümü elektromanyetik debimetreyle yapılmaktadır. Elektromanyetik debimetreden geçtikten sonra, su Su tasarrufu sağlayan emniyet valfine (Şekil 2) girmektedir. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinden çıktuktan sonra, ilk olarak uzun musluğa girmekte ve buradan çıkan su,



tekrar depoya akmaktadır. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi giriş ve çıkışına bu bölgelerdeki basınçların ölçülmesi için birer dijital basınçölçer yerleştirilmiştir. Sistem üzerindeki uzun musluğun kapalı olması durumunda veya birinci yol üzerinde bulunan küresel vana yardımıyla birinci yola aktarılan debinin azaltılması durumunda pompanın zarar görmemesi için temiz su, ikinci yola yönlendirilmekte ve buradaki emniyet ventilini açarak depoya ulaşmaktadır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deney düzeneğinde, debi ölçümünün hassas yapılabilmesi için Bass Instruments marka EMD.CM0015.16.03.02.DC.NN.01.NN.CS model elektromanyetik debimetre (Şekil 3) kullanılmıştır. Elektromanyetik debimetre hacimsel debi ölçümü yapmaktadır. Ölçüm aralığı 1~105L/dk olan bu debimetre -40~150°C aralığındaki sıcaklıklarda ölçüm yapabilmektedir. Bu debimetrenin ölçüm hassasiyeti  $\pm\%0.5$ 'dir ve  $m^3/h$ , L/dk, L/s gibi farklı birimlerde ölçüm seçenekleri bulunmaktadır. Akışın tam gelişmiş ve üniform (düzgün) olabilmesi için elektromanyetik debimetrenin girişinde elektromanyetik debimetre anma boru çapının en az 5 katı, elektromanyetik debimetrenin çıkışında da elektromanyetik debimetre anma boru çapının en az 2 katı uzunluğunda düz boru kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle deney düzeneğinde kullanılan anma boru çapı 15 mm olan elektromanyetik debimetrenin girişinde 150 mm, çıkışında ise 100 mm uzunluğunda düz boru kullanılmıştır.

Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin giriş ve çıkışına yerleştirilen Mesens marka MPS500.420 model dijital basınç ölçerler (Şekil 2) yardımıyla valfin giriş ve çıkışındaki basınç değerleri okunabilmektedir. Deney sırasında basınç değerlerinin daha hassas okunabilmesi için dijital basınç ölçerler tercih edilmiştir. Ölçüm aralığı 0~10bar olan bu basınç ölçerler -20~90°C aralığındaki sıcaklıklarda ölçüm yapabilmektedir. Bu basınç ölçerlerin ölçüm hassasiyeti  $\pm\%0.5$ 'dir ve sadece bar biriminde ölçüm yapabilmektedir. Akışın tam gelişmiş ve üniform (düzgün) olabilmesi için su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin girişindeki dijital basınç ölçerden önce 150 mm, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin çıkışındaki dijital basınç ölçerden sonra ise 80 mm düz boru (uzun musluk) kullanılmıştır.

## 2.2. Sayısal Çalışma

Sayısal çalışma kapsamında; deney seti üzerinden ölçüler alınarak bilgisayar ortamında analiz bölgesinin 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi açık konumdayken çizimler gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ortamında 3 boyutlu modelleme işlemlerinde SolidWorks programı, akış analizlerinde ise Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

• Sayısal hesaplamalar; akışın türbülanslı, üç boyutlu, sürekli rejimde ve zorlanmış taşınım koşullarında olduğu kabul edilerek Ansys-Fluent programı ile gerçekleştirilmiştir. Çözümlerde, segregated çözücü ve SIMPLE algoritması kullanılmıştır [12]. Süreklilik ve momentumun korunumu eşitlikleri [13];

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) \quad (2)$$

Burada  $p$  statik basınç,  $\vec{\tau}$  gerilme tensörüdür.

$$\vec{\tau} = \mu \left[ \left( \nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T \right) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{u} I \right] \quad (3)$$

Burada  $\mu$  moleküler viskozitedir ve türbülanslı akışta efektif viskozite olarak kullanılır ( $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ , burada  $\mu_t$  türbülans viskozitesidir).

3-boyutlu sayısal analiz için aşağıdaki sınır koşulları tanımlanmıştır;

i. Giriş sınır koşulu: “mass-flow-inlet” tanımı yapılarak kütleli debiler 0.2149 kg/s ile 0.2915 kg/s aralığında girilmiştir.

ii. Çıkış sınır koşulu: “pressure-outlet” olarak tanımlanmıştır. Deneysel olarak belirlenen valf çıkış basıncı değerleri girilmiştir.

iii. Boru, fittings ve valf cidarlarına “wall-boru”, “wall-fittings” ve “wall-valf” olacak şekilde 3 farklı “wall” sınır koşulu tanımlanmıştır.

iv. Duvar fonksiyonu: Her iki türbülans modelinde de (Standart k-ε ve Realizable k-ε) “Standart Wall Functions” seçilmiştir.

Sayısal analizlerde benzer çalışmalarda olduğu gibi Standart k-ε ve Realizable k-ε türbülans modelleri kullanılmıştır [7; 8; 9; 10; 11; 13; 14; 15]. k-ε modellerinde, türbülans kinetik enerjisi (k) ve kayıp oranı “disipasyonu” (ε) için iki adet transport eşitliği, Navier-Stokes eşitliklerine ek olarak çözülmektedir. Standart k-ε türbülans modelinde; türbülans kinetik enerjisi (k) ve kayıp oranı (ε) aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak çözülmektedir [13; 14; 16].

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \rightarrow + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Bu eşitliklerde,  $G_k$  ortalama hız gradyanından kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretimidir.  $\mu_t$

türbülans viskozitesidir ve  $\mu_t = \left( \rho C_\mu k^2 \right) / \varepsilon$  eşitliği ile belirlenir. Türbülans modellerindeki sabitler aşağıda verilmiştir [13; 14; 17].

$$C_{1\varepsilon} = 1.44 \quad , \quad C_{2\varepsilon} = 1.92 \quad , \quad C_\mu = 0.09 \quad , \quad \sigma_k = 1.0 \quad , \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Realizable k-ε türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisini (k) ve kayıp oranını (ε) belirlemek için aşağıda verilen eşitlikler kullanılır.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

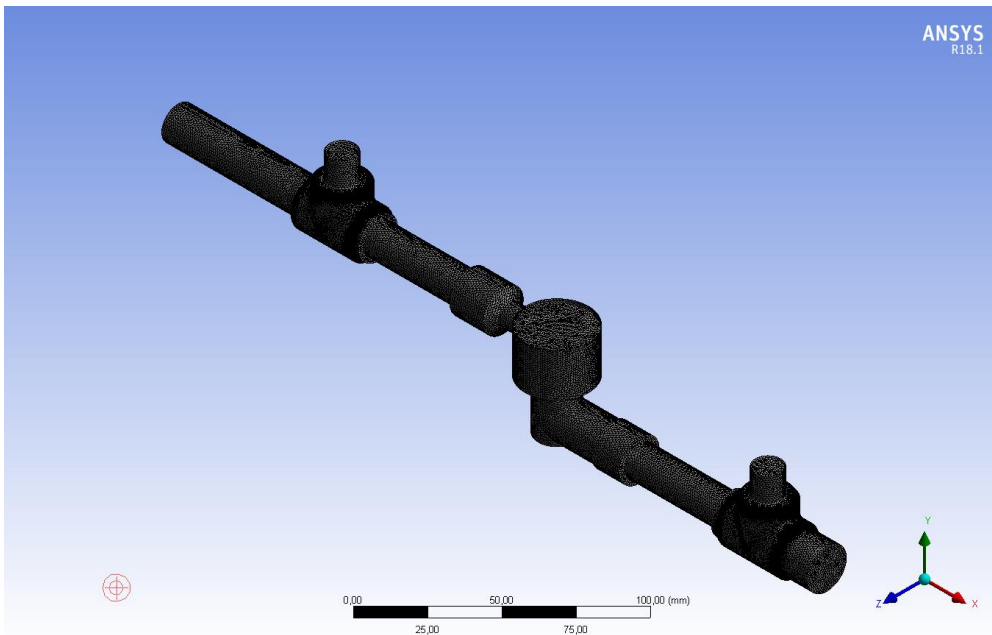
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \rightarrow + \rho C_{1\varepsilon} S_\varepsilon - \rho C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} \quad (6)$$

“Realizable k-ε” türbülans modeli sabitleri aşağıdaki değerlere sahiptir [16].

$$C_{2\varepsilon} = 1.9 \quad , \quad \sigma_k = 1.0 \quad , \quad \sigma_\varepsilon = 1.2$$

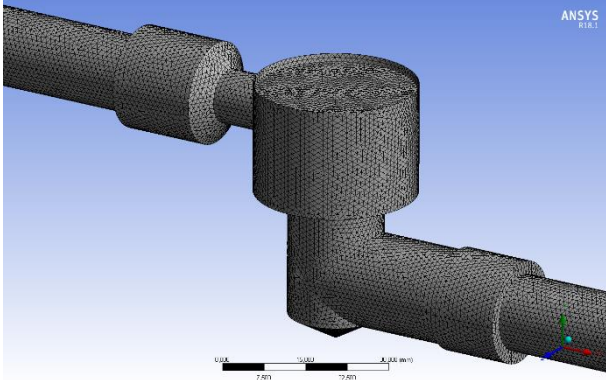
Her iki türbülans modelinde de (Standart k-ε ve Realizable k-ε) “Standart Wall Functions” seçilerek analizler yapılmıştır.

Tasarlanıp imal edilen su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin sayısal analizlerinde Şekil 4’te verilen ağ yapısı kullanılmıştır. Vana çözüm bölgesi için 1,250,000 eleman sayılı ağ yapısı kullanılmıştır.

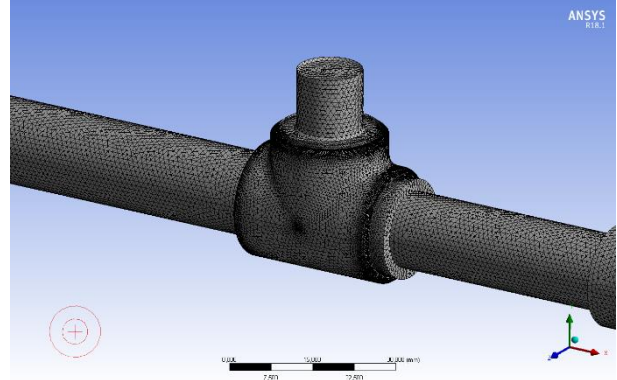


(a) Genel ağ yapısı

Şekil 4. Sayısal çözümlemede kullanılan ağ yapısı görüntüleri



(b) Valf bölgesi ağ yapısı



(c) T bağlantı ağ yapısı

Şekil 4. (Devam) Sayısal çözümlemelerde kullanılan ağ yapısı görüntüleri

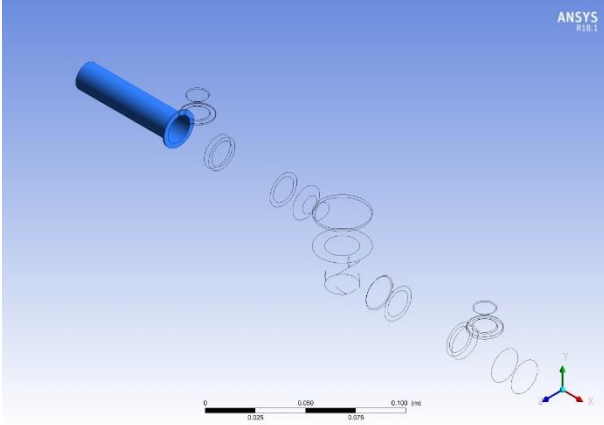
### 2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Sayısal çalışmada analiz edilen bölgede 3 farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler boru malzemesi, bağlantı elemanları (fittings) malzemesi ve valf malzemesi olarak adlandırılabilir. Bu malzemelere ait yoğunluk ( $\rho$ ), özgül ısı ( $C_p$ ), ısı iletim katsayısı ( $K$ ) ve yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $Ra$ ) belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler yine sayısal analizlerde “wall” olarak tanımlanan yüzeylere veri olarak tanımlanacaktır. Bu 3 malzemeye ait özellikler Tablo 1’de belirtilmiştir. Sayısal analizlerde farklı yüzey pürüzlülük değerleri girilerek analizler yapılmıştır. Öncelikle analiz bölgesinde kullanılan malzemeler için pürüzlülük tablolarından

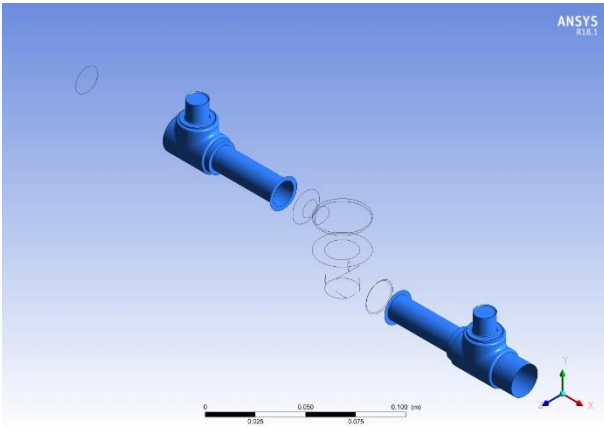
ortalama yüzey pürüzlülük değerleri alınarak analizler yapılmıştır [18]. Ansys-Fluent programında “wall” olarak tanımlanan yüzeylere 3 farklı malzeme ismi tanımlanmıştır. Bu yüzeylere “wall-boru”, “wall-fittings” ve “wall-valf” olacak şekilde 3 farklı “wall” sınır koşulu tanımlanmıştır (Şekil 5). Ayrıca, “demir”, “karbonlu-çelik” ve “alüminyum-bronz” isimlerinde 3 farklı malzeme eklenerek bu malzemelere ayrı ayrı yoğunluk ( $\rho$ ), özgül ısı ( $C_p$ ) ve ısı iletim katsayısı ( $K$ ) değerleri Ansys-Fluent programına tanımlanmıştır. Daha sonra “wall-boru”, “wall-fittings” ve “wall-valf” olarak tanımlanan yüzeyler için yüzey pürüzlülük değerleri ( $Ra$ ) girilmiştir.

Tablo 1. Sayısal analiz bölgesinde kullanılan malzeme özellikleri [19]

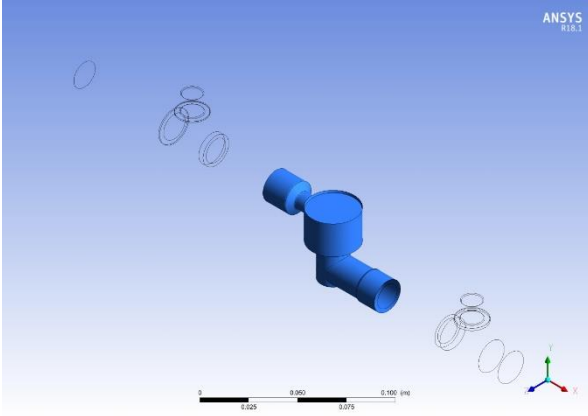
Malzeme Cinsi	Malzeme Adı	Üretim Yöntemi	Yoğunluk	Özgül Isı	Isı İletim Katsayısı
			$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [J/kg.K]	$K$ [W/m.K]
Bağlantı Elemanları	Demir	Kum döküm yoluyla imal edilmiş	7870	447	80.2
Boru	Karbonlu çelik	Haddeme yoluyla imal edilmiş	8131	434	41
Valf	Alüminyum bronz	Tornalama yoluyla imal edilmiş	8800	420	52



(a) “wall-boru”



(b) “wall-fittings”



(c) “wall-valf”

Şekil 5. Farklı malzemeler için tanımlanan duvar yüzeyleri

Sonrasında analiz bölgesinde kullanılan malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçülen pürüzlülük değerleri kullanılarak sayısal analizler tekrarlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri JENOPTIK Hommel-Etamic W5 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla (Şekil 6) Tablo 2’de verilen parametrelerde yapılmıştır. Her malzeme için 3 farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalama değerler belirlenmiştir.



Şekil 6. JENOPTIK Hommel-Etamic W5 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Tablo 2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm parametreleri

Ölçüm uzunluğu (lt)	1.5 mm
Ölçüm hızı (vt)	0.15 mm/s
Dalga boyu (lc)	0.25 mm

#### 2.4. Yerel Kayıp Katsayısı

Analizi yapılan tesisat elemanının giriş çapı çıkış çapına eşit olduğunda yerel kayıp katsayısı, o eleman boyunca meydana gelen basınç kaybının ölçülmesi ve dinamik basınca bölünmesi ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$K_K = \frac{\Delta P_K}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ort}^2} \quad (7)$$

$$\Delta P_K = \Delta P_{vana} - \Delta P_{boru} \quad (8)$$

Burada  $\Delta P_{vana}$  vana olduğu durumdaki basınç düşüşü,  $\Delta P_{boru}$  ise vana yokken düzgün boruda aynı debide oluşabilecek basınç düşüşüdür [1].

Tasarlanmış olan emniyet valfinin giriş ve çıkış hatları aynı eksen üzerinde olmadığından, vana yokken buraya düzgün boru takılamamıştır. Bu nedenle  $\Delta P_{boru}$  yerel kayıp katsayısı hesaplamalarına katılamamış, ihmal edilmiştir. Bu durumda yerel kayıp katsayısı hesaplamalarında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$K_K = \frac{2 \cdot \Delta P_{vana}}{\rho \cdot V_{ort}^2} \quad (9)$$

## 2.5. Hata Analizi

Literatürde belirtilen standartlara uygun olarak kurulan bir deney düzeneğinde yapılan deneylerde, elde edilen veriler değerlendirildiğinde, hatalar iki farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar; deney düzeneğindeki ölçüm araçlarından kaynaklanan hatalar ve deney yapan kişinin ölçüm okuma hatalarıdır. Bu hataların değerlendirilmesi için yapılan hata analizi sonuçların yorumlanması açısından oldukça önemlidir [20].

Belirli sayıda deney yapıldıktan sonra bu deneylere ait hata oranlarının tespit edilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan “akılcı yaklaşım” yöntemidir. Bu tip hata analizinde ölçme sisteminde bulunan bütün aletlerin aynı anda maksimum hatayı yaptığı kabul edilir [21]. Bu yöntem kullanılarak deneysel ve sayısal olarak hesaplanan yerel kayıp katsayısı ( $K_K$ ) sonuçları arasındaki hatanın analizi yapılabilir.

Deneysel çalışma kapsamında her deney için ayrı ayrı su tasarrufu sağlayan emniyet valfi giriş hattında ölçülen basınç değerinden ( $P_G$ ) çıkış hattında ölçülen basınç değerinin ( $P_C$ ) farkı alınarak basınç düşüşü değerleri ( $\Delta P_{vana}$ ) hesaplanmıştır. Basınç ölçümlerinde kullanılan dijital basınç ölçerlerin ölçüm hassasiyetleri ( $w_B$ )  $\pm 0.5\%$ ’tir ve bu basınç ölçerler sadece bar biriminde ölçüm yapabilmektedir. Giriş ve çıkış hattındaki basınç ölçerlerin aynı anda maksimum ve minimum hatayı yaptığı kabul edilerek her deney için maksimum basınç düşüşü ( $\Delta P_{vana.maks}$ ) ve minimum basınç düşüşü ( $\Delta P_{vana.min}$ ) değerleri ölçüm cihazlarının hassasiyetleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda (11) ve (12) numaralı eşitlikler kullanılmıştır. Bu deneysel maksimum ve minimum basınç düşüşü değerleri kullanılarak her deney için Eş. (9) yardımıyla yerel kayıp katsayılarının deneysel değerleri için maksimum ve minimum sınırlar belirlenmiştir. Sayısal analizler sonucunda hesaplanan yerel kayıp katsayılarının bu aralıklar içerisinde olup olmadığı tespit edilmiştir.

$$\Delta P_{vana} = P_G - P_C \quad (10)$$

$$\Delta P_{vana.mks} = [P_G + (P_G \cdot w_B)] - [P_C - (P_C \cdot w_B)] \quad (11)$$

$$\Delta P_{vana.min} = [P_G - (P_G \cdot w_B)] - [P_C + (P_C \cdot w_B)] \quad (12)$$

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada ilk olarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfi, kurulan deney düzeneği yardımıyla farklı debilerde test edilmiştir. Daha sonra valfin sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizlerde deneylerden elde edilen ve hesaplamalarla belirlenen veriler kullanılmıştır.

### 3.1. Deneysel Bulguların Analizi

Deneysel çalışma kapsamında; deneysel veriler alınmadan önce sistemin dengeye ulaşması için elektromanyetik debimetre, dijital basınç ölçerler ve sirkülasyon pompası çalıştırılmış, su tasarrufu sağlayan emniyet valfi ve uzun musluk açık hale getirilmiştir. Tüm deneyler bu durumda yapılmıştır. Debi ayarı yapıldıktan sonra, her deney için 20 dakika beklenerek sistemin rejime ulaşması sağlanmıştır. Her deney 3 kez tekrarlanmış olup, ortalama değerler alınmıştır. Deneysel çalışmada, 6 farklı debide basınç düşüşü değişimi belirlenmiştir.

Deneysel sonuçlar kullanılarak valfin basınç düşüşü ( $\Delta P_{vana}$ ) ve basınç düşüşünün ( $\Delta P_{vana}$ ) giriş basıncına ( $P_G$ ) oranı ( $\% \Delta P_0$ ) 6 farklı debi için hesaplanmış olup, elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

$$\% \Delta P_0 = \left( \Delta P_{vana} / P_G \right) \cdot 100 \quad (13)$$

Valften geçen akışkanın kütleli debisi arttıkça, giriş-çıkış arasında oluşan basınç düşüşü de artmıştır. Bu artışa boru yüzey pürüzlülükleri, sürtünme ve ani daralma-genişleme gibi olguların sebep olduğu bilinmektedir.

Farklı kütleli debilerde ölçülen giriş ve çıkış basınçları ile basınç düşüşü değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Yapılan tüm deneylerde basınç düşüşü oranlarının ( $\% \Delta P_0$ ) birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Basınç düşüşü oranların birbirine yakın olması, kütleli debi ( $\dot{m}$ ) değişimiyle basınç düşüşü ( $\Delta P$ ) değişiminin hemen hemen lineer olduğunu göstermektedir.

**Tablo 3.** Kütleli debiye göre valf giriş-çıkışında oluşan basınç düşüşünün değişimi

Deney No	Sıcaklık	Kütleli Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşüşü	
	$T$ [K]	$\dot{m}$ [kg/s]	$P_G$ [Pa]	$P_C$ [Pa]	$\Delta P_{vana}$ [Pa]	$\% \Delta P_0$
1	301.15	0.2915	185000	174000	11000	5.946
2	303.15	0.2816	173000	163000	10000	5.780
3	304.15	0.2663	156000	147000	9000	5.769
4	305.15	0.2483	136000	128000	8000	5.882
5	306.15	0.2315	118000	111000	7000	5.932
6	307.15	0.2149	102000	96000	6000	5.882

Deneyisel sonuçlara hata analizi uygulanarak, ölçülen değerlerin hangi aralıkta değişebileceği belirlenmiş ve Tablo 4'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Hata analizi uygulanan deney sonuçları

Deney No	Kütleli Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Maksimum Basınç Düşüşü	Ölçülen Basınç Düşüşü	Minimum Basınç Düşüşü
	$\dot{m}$ [kg/s]	$P_G$ [Pa]	$P_C$ [Pa]	$\Delta P_{vana.maks}$ [Pa]	$\Delta P_{vana}$ [Pa]	$\Delta P_{vana.min}$ [Pa]
1	0.2915	185000	174000	<b>12795</b>	11000	<b>9205</b>
2	0.2816	173000	163000	<b>11680</b>	10000	<b>8320</b>
3	0.2663	156000	147000	<b>10515</b>	9000	<b>7485</b>
4	0.2483	136000	128000	<b>9320</b>	8000	<b>6680</b>
5	0.2315	118000	111000	<b>8145</b>	7000	<b>5855</b>
6	0.2149	102000	96000	<b>6990</b>	6000	<b>5010</b>

Deneyisel veriler kullanılarak Eş. (14) yardımıyla ortalama hızlar hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir. Girişteki akış yönüne dik yöndeki dairesel kesitin çapı 15.5 mm'dir. Yine Eş. (9) yardımıyla yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir. Ayrıca deney sonuçlarına hata analizi uygulanarak hesaplanan maksimum ve

minimum basınç düşüşü değerleri kullanılarak yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5'de verilmiştir.

$$V_{ort} = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_C} \quad (14)$$

**Tablo 5.** Deney sonuçları ve hata analizi sonuçları kullanılarak hesaplanan yerel kayıp katsayıları

Deney No	Yoğunluk	Ortalama Hız	Maksimum Basınç Düşüşü	Ölçülen Basınç Düşüşü	Minimum Basınç Düşüşü	Yerel Kayıp Katsayısı $K_K$		
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{ort}$ [m/s]	$\Delta P_{vana.maks}$ [Pa]	$\Delta P_{vana}$ [Pa]	$\Delta P_{vana.min}$ [Pa]	Maks. Hata	Deneyisel	Min. Hata
1	996.400	1.545	<b>12795</b>	11000	<b>9205</b>	<b>10.761</b>	9.252	<b>7.742</b>
2	996.000	1.492	<b>11680</b>	10000	<b>8320</b>	<b>10.531</b>	9.016	<b>7.501</b>
3	995.600	1.411	<b>10515</b>	9000	<b>7485</b>	<b>10.605</b>	9.077	<b>7.549</b>
4	995.200	1.316	<b>9320</b>	8000	<b>6680</b>	<b>10.817</b>	9.285	<b>7.753</b>
5	994.800	1.227	<b>8145</b>	7000	<b>5855</b>	<b>10.879</b>	9.350	<b>7.820</b>
6	994.400	1.139	<b>6990</b>	6000	<b>5010</b>	<b>10.839</b>	9.304	<b>7.769</b>

### 3.2. Sayısal Bulguların Analizi

Sayısal çalışma kapsamında 3 boyutlu olarak bilgisayarda modellenen valfin akış analizi Ansys-Fluent programında yapılmıştır. Sayısal çözümlemede

kullanılmak üzere akışkanın bazı özellikleri belirlenmiştir. Deney düzeneğinde dolaşan suyun, deneyler sırasında ölçülen sıcaklık değerlerine karşılık gelen termodinamik özellikleri Tablo 6'da verilmiş olup, sayısal çalışmada bu özellikler kullanılmıştır.



**Tablo 6.** Doymuş suyun özellikleri [1]

Deney No	Sıcaklık	Yoğunluk	Özgül Isı	Isı İletim Katsayısı	Dinamik Viskozite	Kinematik Viskozite	Reynolds sayısı	Reynolds sayısı
	$T$ [K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [J/kg.K]	$K$ [W/m.K]	$\mu$ [kg/m.s]	$\nu \times 10^7$ [m <sup>2</sup> /s]	Minimum Kesit, $d_G$	Maksimum Kesit, $d_p$
1	301.15	996.400	4178.800	0.612	0.000835	8.38218	44460.917	14820.306
2	303.15	996.000	4178.000	0.615	0.000798	8.01205	44953.147	14984.382
3	304.15	995.600	4178.000	0.617	0.000782	7.85858	43358.342	14452.781
4	305.15	995.200	4178.000	0.618	0.000767	7.70498	41250.096	13750.032
5	306.15	994.800	4178.000	0.620	0.000751	7.55127	39257.782	13085.927
6	307.15	994.400	4178.000	0.621	0.000736	7.39743	37215.601	12405.200

Reynolds sayısı analiz bölgesindeki maksimum kesit (Şekil 1.b’de verilen  $d_p$ ) ve minimum kesitlere (Şekil 1.b’de verilen  $d_G$ ) göre ayrı ayrı hesaplanmış ve akışın her koşulda türbülanslı olduğu belirlenmiştir.

Yapılan sayısal analizlerde kullanılan eleman boyutlarının sonuçlar üzerinde etkisi oldukça fazladır. Bu nedenle öncelikle sayısal analizler için ağdan bağımsızlaştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan her iki türbülans modeli için de ağ yapısındaki

eleman sayısının deneysel sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiş ve Tablo 7’de verilmiştir. Yapılan incelemeye göre ağ yapısı eleman sayısının 1,250,000 olması durumunda elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu ve Realizable k-ε türbülans modelinde hata oranının çok daha az olduğu (% 0.603) görülmüş ve bundan sonraki sayısal analizlerde bu türbülans modeli kullanılmıştır.

**Tablo 7.** Hücre eleman sayısının çözüm üzerindeki etkisi

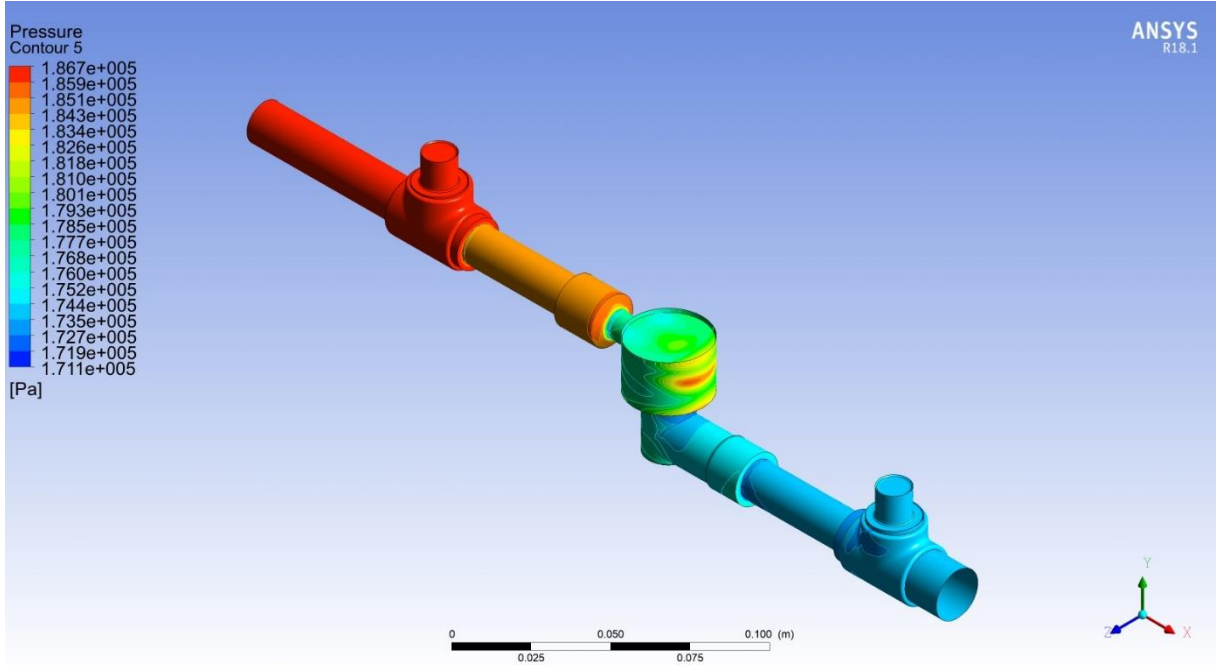
Analiz No	Eleman Sayısı	Kütleli Debi $\dot{m}$ kg/s	Giriş Basıncı, $P_G$			Hata Oranı	
			Deneysel	Sayısal		Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$
				Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$		
			Pa	Pa	Pa	%	%
1	600,000	0.2915	185000	190227	190084	2.825	2.748
2	700,000			186681	186398	0.909	0.756
3	800,000			186878	186425	1.015	0.770
4	1,000,000			187054	186518	1.110	0.821
5	<b>1,250,000</b>			<b>186702</b>	<b>186116</b>	<b>0.920</b>	<b>0.603</b>

6 farklı deneysel veri kullanılarak sayısal analizler yapılmış olup, iki farklı türbülans modelinden elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmış ve Tablo 8’de gösterilmiştir. Realizable k-ε türbülans modeli kullanılarak elde edilen sonuçların deneysel verilerle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle Realizable k-ε türbülans

modeliyle yapılan sayısal analiz sonuçları kullanılarak basınç düşüşleri ( $\Delta P_{vana}$ ) ve basınç düşüşü oranları ( $\% \Delta P_0$ ) hesaplanmış ve Tablo 9’da verilmiştir. Sayısal analiz sonucunda duvar yüzeylerinde oluşan basınç dağılımı Şekil 7’de verilmiştir.

**Tablo 8.** Farklı türbülans modelleriyle yapılan sayısal analiz sonuçları

Deney-Analiz No	Giriş Basıncı, $P_G$			Hata Oranı			
	Deneysel	Sayısal		Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$		
		Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$			Standart $k-\epsilon$	Realizable $k-\epsilon$
			Pa	Pa	Pa	%	%
1	185000	186702	186116	0.920	0.603		
2	173000	175081	174155	1.203	0.668		
3	156000	157803	156779	1.156	0.499		
4	136000	137262	136600	0.928	0.441		
5	118000	118699	118448	0.592	0.380		
6	102000	102714	102472	0.700	0.463		



Şekil 7. Sayısal analiz sonucunda duvar yüzeylerinde oluşan basınç dağılımı

Tablo 9. Realizable k-ε türbülans modeliyle yapılan sayısal analizlerde elde edilen veriler

Analiz No	Kütlesel Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşüşü	Basınç Düşüşü Oranı
	$\dot{m}$ [kg/s]	$P_G$ [Pa]	$P_C$ [Pa]	$\Delta P_{vana}$ [Pa]	$\Delta P_o$ [%]
1	0.2915	186116	174000	12116	6.510
2	0.2816	174155	163000	11155	6.405
3	0.2663	156779	147000	9779	6.237
4	0.2483	136600	128000	8600	6.296
5	0.2315	118448	111000	7448	6.288
6	0.2149	102472	96000	6472	6.316

Kütlesel debinin artmasıyla emniyet valfi giriş-çıkışı arasında oluşan basınç düşüşünün arttığı, bu artışın hemen hemen lineer olduğu belirlenmiştir. Literatürde benzer çalışmalar incelendiğinde, kütlesel debi ile basınç düşüşünün bu çalışmadaki gibi birbiri ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği görülmüştür [7; 14; 15; 22; 23].

Realizable k-ε türbülans modeliyle yapılan sayısal analiz sonuçları kullanılarak valfin yerel kayıp katsayısı hesaplanmış ve Tablo 10'da verilmiştir. Buradaki ortalama hız değerleri sayısal analizlerden valfin giriş kesitindeki alan ağırlıklı ortalama değerleri olarak alınmış, yerel kayıp katsayıları da Eş. (9) yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 10. Realizable k-ε türbülans modeliyle yapılan sayısal analiz verileri kullanılarak hesaplanan yerel kayıp katsayıları

Analiz No	Kütlesel Debi	Giriş Basıncı	Çıkış Basıncı	Basınç Düşüşü	Yoğunluk	Ortalama Hız	Yerel Kayıp Katsayısı
	$\dot{m}$ [kg/s]	$P_G$ [Pa]	$P_C$ [Pa]	$\Delta P_{vana}$ [Pa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_{ort}$ [m/s]	$K_K$
1	0.2915	186116	174000	12116	996.4	1.555	10.059
2	0.2816	174155	163000	11155	996.0	1.503	9.920
3	0.2663	156779	147000	9779	995.6	1.422	9.721
4	0.2483	136600	128000	8600	995.2	1.326	9.829
5	0.2315	118448	111000	7448	994.8	1.237	9.789
6	0.2149	102472	96000	6472	994.4	1.149	9.867

DeneySEL ve sayısal veriler kullanılarak yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 11’de verilmiştir. Ayrıca deneySEL olarak hesaplanan yerel kayıp katsayılarına hata analizi uygulanmış ve Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11.** DeneySEL veriler ve sayısal analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan yerel kayıp katsayıları

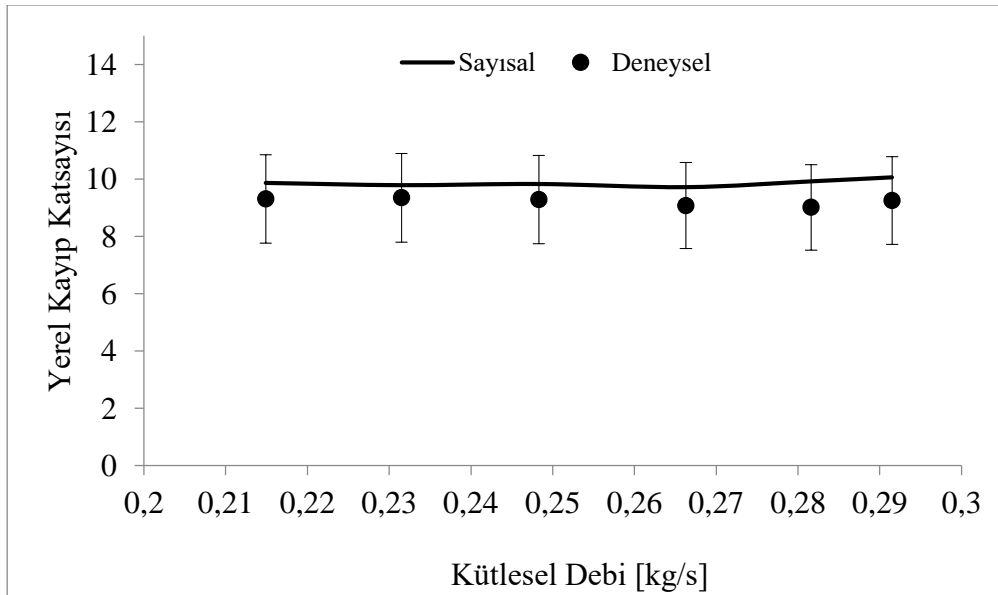
Deney- Analiz No	Kütlesel Debi $\dot{m}$ [kg/s]	Yerel Kayıp Katsayısı, $K_K$			
		Maks. Hata	DeneySEL	Min. Hata	Sayısal
1	0.2915	<b>10.761</b>	9.252	<b>7.742</b>	10.059
2	0.2816	<b>10.531</b>	9.016	<b>7.501</b>	9.920
3	0.2663	<b>10.605</b>	9.077	<b>7.549</b>	9.721
4	0.2483	<b>10.817</b>	9.285	<b>7.753</b>	9.829
5	0.2315	<b>10.879</b>	9.350	<b>7.820</b>	9.789
6	0.2149	<b>10.839</b>	9.304	<b>7.769</b>	9.867

Şekil 8’de yerel kayıp katsayısının kütlesel debiye göre değişimini gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde deneySEL çalışmalara hata analizi uygulanmasıyla elde edilen verilerin, sayısal çalışmayı kapsadığı görülmektedir. Ayrıca deneySEL ve sayısal olarak hesaplanan yerel kayıp katsayılarının kütlesel debiye göre değişimi incelendiğinde yerel kayıp katsayılarının neredeyse hiç değişmeyip sabit kaldığı söylenebilir. DeneySEL çalışma ile sayısal çalışma arasındaki farkın nedeni, basınç ölçümü hataları olarak değerlendirilebilir. Basınç ölçümü hataları ölçüm yapan kişiden kaynaklanacağı gibi ölçüm cihazının hassasiyetinden de kaynaklanabilir. Bu çalışmada deneylerde kullanılan basınç ölçerlerden kaynaklanabilecek maksimum ve minimum hata değerleri her deney için Eş. (11) ve Eş. (12) yardımıyla hesaplanmış olup, elde edilen değerler Tablo 4’de verilmiştir. Her deney için Tablo 4’de verilen değerler Eş. (9)’da yerlerine yazılarak yerel kayıp katsayıları hesaplanmış ve Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5’de

verilen deneySEL sonuçlara ait yerel kayıp katsayıları ile sayısal sonuçlara ait yerel kayıp katsayıları da Tablo 11’de verilmiştir. Tablo 11 ve Şekil 8 incelendiğinde sayısal analizlerden elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan yerel kayıp katsayısı değerlerinin her deney için hata analizi uygulanarak hesaplanan yerel kayıp katsayısı maksimum ve minimum değerleri arasında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle Tablo 11 ve Şekil 8’de deneySEL ve sayısal sonuçlar arasındaki farkın tamamen basınç ölçüm cihazlarının ölçüm hassasiyetlerinden kaynaklanmış olabileceği söylenebilir.

Sayısal çalışma sonuçlarına göre hesaplanan yerel kayıp katsayılarının ortalaması alınmış ve bulunan değer Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı olarak belirlenmiş olup, belirlenen katsayı aşağıda verilmiştir.

$$K_K = 9.864$$



**Şekil 8.** DeneySEL ve sayısal yerel kayıp katsayısının kütlesel debiye göre değişimi

DeneySEL ve sayısal sonuçların uyumlu olması; bu tip karmaşık problemlerin tasarım iyileştirme çalışmalarının büyük bir kısmının, deney yapmaya gerek kalmadan, daha kısa bir sürede ve çok az bir maliyetle Ansys-Fluent gibi programlarla çözülebileceğini göstermiştir.

Sayısal analizlerde analiz bölgesinde 3 farklı türden malzeme kullanılmıştır. Bunlar bağlantı elemanları, boru ve valf malzemeleridir. Sayısal analizlerde analiz bölgesindeki tüm elemanların duvar yüzeyleri ayrı ayrı yüzey ismi verilerek tanımlanmıştır. Bu duvar yüzeylerine deneylerde kullanılan malzemelere ait yüzey pürüzlülük değerleri girilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerini belirlemede 2 farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisinde pürüzlülük tablolarından malzemelerin imalat yöntemlerine göre verilmiş olan pürüzlülük

değerleri aralığından ortalama bir değer alınarak analizlerde kullanılmıştır [18]. İkinci yöntemde ise deneylerde kullanılan malzemelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüş ve ölçümlerden elde edilen değerler analizlerde kullanılmıştır. Her malzeme için 3 farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalama değerler belirlenmiştir. Bağlantı Elemanları malzemelerinin farklı bölgelerinden ölçülen pürüzlülük değerleri birbirinden çok farklılık gösterdiğinden, bu malzeme için 4 farklı ölçülen pürüzlülük değeri belirlenmiş, sayısal analizler her farklı pürüzlülük değeri için tekrarlanmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelere ait her 2 yöntemle belirlenen aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

**Tablo 12.** Pürüzlülük tablolarından alınan ve ölçülen aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri

Malzeme Cinsi	Üretim Yöntemi	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra (µm)	
		Tablo Ortalama Değerleri	Ölçülen Değerler
Bağlantı Elemanları	Kum döküm yoluyla imal edilmiş	12.5	2.454
			4.690
			7.960
			10.318
Boru	Haddeleme yoluyla imal edilmiş	1.6	2.390
Valf	Tornalama yoluyla imal edilmiş	3.2	0.261

Yüzey pürüzlülüğü etkisini belirlemek amacıyla 8 farklı durumda, her durum için 6 farklı deney verisi kullanılarak toplamda 48 farklı sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. 8 farklı durumdaki sayısal analizlerde girilen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 13’de verilmiştir. Birinci durumda Standart  $k-\epsilon$  türbülans modeli ve tablodan belirlenen pürüzlülük değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Birinci durumdan sonraki tüm analizlerde Realizable  $k-\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. İkinci durumda tablodan belirlenen

pürüzlülük değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Üçüncü durumda ikinci durumdan farklı olarak valf malzemesine ölçülen pürüzlülük değeri girilerek analizler yapılmıştır. Dördüncü durumda üçüncü durumdan farklı olarak boru malzemesine ölçülen pürüzlülük değeri girilerek analizler yapılmıştır. Beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci durumlarda da dördüncü durumdan farklı olarak bağlantı elemanları malzemelerine ölçülen 4 farklı pürüzlülük değerleri girilerek analizler yapılmıştır.

**Tablo 13.** Sayısal analizlerde kullanılan aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri

	Türbülans Modeli	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra [µm]		
		Bağlantı Elemanları	Boru	Valf
1. Durum	Standart $k-\epsilon$	12.5	1.6	3.2
2. Durum	Realizable $k-\epsilon$	12.5	1.6	3.2
3. Durum	Realizable $k-\epsilon$	12.5	1.6	0.261
4. Durum	Realizable $k-\epsilon$	12.5	2.39	0.261
5. Durum	Realizable $k-\epsilon$	2.454	2.39	0.261
6. Durum	Realizable $k-\epsilon$	4.69	2.39	0.261
7. Durum	Realizable $k-\epsilon$	7.96	2.39	0.261
8. Durum	Realizable $k-\epsilon$	10.318	2.39	0.261

Her 6 deney verileri kullanılarak Tablo 13’de belirtilen 8 farklı durum için toplamda 48 sayısal analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde yüzey pürüzlülüğünün

valfin neden olduğu basınç düşüşü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizlerde kullanılan çıkış basınçları 8 farklı durumda da aynı girildiğinden, analizlerden elde

edilen giriş basıncı değerleri kıyaslanmıştır. Deneylelerden ve sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerleri Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14 incelendiğinde, farklı yüzey pürüzlülük değerleriyle yapılan sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerlerinin birbirlerine ve deneysel giriş basıncı değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi için yapılan sayısal analizlerde yüzey

pürüzlülüğünün akış ve basınç düşüşü üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir. Benzer çalışmalar incelendiğinde; yüksek Reynolds sayılarına sahip türbülanslı akışlarda pürüzlü ve pürüzsüz duvar akışlarında duvara yakın bölge dışında benzer sonuçlar görüldüğü ve büyük ölçüde yapısal benzerlik olduğu sonuçlarına rastlanılmıştır [24; 25].

**Tablo 14.** Farklı durumlardaki sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerleri

Deneysel Analiz No	Giriş Basıncı, $P_G$ [Pa]								
	Deneysel	Sayısal							
		1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum	6. Durum	7. Durum	8. Durum
1	185000	186702	186116	185270	186077	186205	186553	186062	185891
2	173000	175081	174155	174487	174710	174359	174666	174389	174079
3	156000	157803	156779	157771	156818	157371	156643	157400	157577
4	136000	137262	136600	136520	136887	136859	136560	136350	136730
5	118000	118699	118448	118625	118698	118462	118754	118795	118863
6	102000	102714	102472	102313	102244	102263	102489	102246	102339

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin farklı yüzey pürüzlülüklerinde sayısal analizleri yapılmıştır. Sayısal analizlerde yüzey pürüzlülüğünün akışa olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal bulgular kullanılarak su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı belirlenmiştir. Deneysel ve sayısal olarak belirlenen yerel kayıp katsayıları arasındaki farka hata analizi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Sayısal analizlerde ağ yapısı eleman sayısının 1,250,000 olduğunda elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu ve Realizable k- $\epsilon$  türbülans modelinde hata oranının çok daha az olduğu görülmüştür.
2. Kütleli debinin artmasıyla emniyet valfi giriş-çıkışı arasında oluşan basınç düşüşünün arttığı, bu artışın hemen hemen lineer olduğu belirlenmiştir.
3. Basınç düşüşü oranlarının tüm deneylerde birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.
4. Deneysel çalışmalara hata analizi uygulanmasıyla elde edilen yerel kayıp katsayılarının, sayısal çalışmayı kapsadığı tespit edilmiştir.
5. Deneysel ve sayısal olarak hesaplanan yerel kayıp katsayılarının kütleli debiye göre değişimi incelendiğinde, yerel kayıp katsayılarının neredeyse hiç değişmeyip sabit kaldığı görülmüştür.
6. Sayısal çalışma sonuçlarına göre hesaplanan yerel kayıp katsayılarının ortalaması alınmış ve bulunan

değer ( $K_K = 9.864$ ) Su tasarrufu sağlayan emniyet valfinin yerel kayıp katsayısı olarak belirlenmiştir.

7. Farklı yüzey pürüzlülük değerleriyle yapılan sayısal analizlerden elde edilen giriş basıncı değerlerinin birbirlerine ve deneysel giriş basıncı değerlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.
8. Su tasarrufu sağlayan emniyet valfi için yapılan sayısal analizlerde yüzey pürüzlülüğünün akış ve basınç düşüşü üzerindeki etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu belirlenmiştir.

#### 5. Semboller

- $A_0, A_S$  : Türbülans modeli sabitleri  
 $A_C$  : Girişteki akış yönüne dik yöndeki en-kesit alanı [m<sup>2</sup>]  
 $C_P$  : Özgül ısı [J/kg·K]  
 $C_1, C_2, C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_\mu$  : Türbülans modeli sabitleri  
 $D$  : Geometrinin karakteristik uzunluğu, dairesel boru için çap [m]  
 $d_G$  : Valfin giriş hattındaki kesit çapı (Minimum kesit) [m]  
 $d_P$  : Piston iç çapı (Maksimum kesit) [m]  
 $G_k$  : Türbülans kinetik enerjisi üretimi [kg/m·s<sup>3</sup>]  
 $K$  : Isı iletim katsayısı [W/m·K]  
 $K_K$  : Yerel kayıp katsayısı  
 $k$  : Türbülans kinetik enerjisi [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]

$\dot{m}$	: Kütleli debi [kg/s]
$P_C$	: Çıkış hattı basıncı [Pa]
$P_G$	: Giriş hattı basıncı [Pa]
$Ra$	: Aritmetik ortalama pürüzlülük [ $\mu\text{m}$ ]
$Re$	: Reynolds sayısı
$S_\varepsilon$	: $\varepsilon$ için kaynak terimi [ $\text{m}^2/\text{s}^4$ ]
$T$	: Sıcaklık [K]
$t$	: Zaman [s]
$u$	: Yatay doğrultudaki hız bileşeni [m/s]
$\nu$	: Akışkanın kinematik viskozitesi [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
$V_{ort}$	: Giriş kesiti ortalama akış hızı [m/s]
$w_B$	: Dijital basınç ölçer hassasiyeti [%]
$x$	: Yatay koordinat [m]
$\Delta P_{boru}$	: Düzgün boru old. durumdaki basınç düşüşü [Pa]
$\Delta P_K$	: Tesisat elemanı boyunca meydana gelen basınç düşüşü [Pa]
$\Delta P_{vanamaks}$	: Maksimum basınç düşüşü [Pa]
$\Delta P_{vana.min}$	: Minimum basınç düşüşü [Pa]
$\Delta P_{vana}$	: Vana olduğu durumdaki basınç düşüşü [Pa]
$\% \Delta P_0$	: Basınç düşüşü oranı [%]
$\varepsilon$	: Türbülans yitim (kayıp) oranı [ $\text{m}^2/\text{s}^3$ ]
$\mu$	: Dinamik viskozite [ $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ]
$\mu_t$	: Türbülans viskozitesi [ $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ]
$\rho$	: Yoğunluk [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$\sigma_k$	: k için türbülanslı Prandtl sayısı
$\sigma_\varepsilon$	: $\varepsilon$ için türbülanslı Prandtl sayısı

## 6. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan iş istasyonu ve Ansys yazılımı; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 217M865 numara ile desteklenen proje kapsamında tedarik edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Çengel Y.A., Cimbala J.M., 2012, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi Limited Şirketi, ISBN: 978-975-6240-18-2, İzmir, 938s.
- [2] Parlak N., Gür M., Engin T., Parlak Z., 2014. Mikroborularda Su Akışının Termodinamik

Analizi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 140, 20-28.

- [3] Düz H., 2018. Daimi ve Sıkıştırılmaz Boru Akışında Giriş Uzunluğunun Sayısal Analizi, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 8(2/2), 1-12.
- [4] Parlak N., Gür M., Engin T., Küçük H., 2011. Mikroborularda Tek Fazlı Laminer Su Akışında Viskoz Isınma Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 31(2), 1-11.
- [5] Çelikağ B., 2004. Küresel Vanalarda Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 119s.
- [6] Chern M.J., Wang C.C., Ma C.H., 2007. Performance Test And Flow Visualization Of Ball Valve, Experimental Thermal and Fluid Science, 31, 505-512.
- [7] Duymaz B.A., 2008. Kelebek Vanalarda Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 103s.
- [8] Yüksel B., 2008. Sürgülü Vana Kayıp Katsayısının Sonlu Hacimler Yöntemiyle ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 97s.
- [9] Kamer M.S., 2014. Şebeke Suyu Kesilmesi Durumunda Açık Unutulan Vanalardan Olan Su Kaybının Engellenmesi Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 86s.
- [10] Kamer M.S., Kaya A., Sisman A., 2015. Experimental And Numerical Investigation Of The Flow Analysis Of The Water-Saving Safety Valve, International Journal of Scientific and Technology Research, 4(10), 189-196.
- [11] Kamer M.S., Kaya A., Şahin H.E., Şişman A., 2015. Su Tasarrufu Sağlayan Emniyet Valfinin Optimum Tasarımının Geliştirilmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 149, 5-20.



- [12] Kahraman N., Sekmen U., Çeper B., Akansu S.O., 2008. Boru İçi Akışlarda Türbülantörlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi, Isı Bilimi ve Tekniğı Dergisi, 28(2), 51-59.
- [13] Deng J., Shao X.M., Fu X., Zheng Y., 2009. Evaluation Of The Viscous Heating Induced Jam Fault Of Valve Spool By Fluid-Structure Coupled Simulations, Energy Conversion and Management, 50, 947-954.
- [14] Lisowski E., Rajda J., 2013. CFD Analysis Of Pressure Loss During Flow By Hydraulic Directional Control Valve Constructed From Logic Valves, Energy Conversion and Management, 65, 285-291.
- [15] Chattopadhyay H., Kundu A., Saha B.K., Gangopadhyay T., 2012. Analysis Of Flow Structure Inside A Spool Type Pressure Regulating Valve, Energy Conversion and Management, 53, 196-204.
- [16] Şimşek O., 2011. Eğrisel Geniş Başlıklı Savak Üzerinden Geçen Açık Kanal Akımının Deneysel ve Teorik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 109s.
- [17] Ansys Fluent 14.0 Theory Guide, 2011. Ansys Inc., URL (Erişim tarihi: 28.02.2014) [http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/v140/flu\\_th.pdf](http://cdlab2.fluid.tuwien.ac.at/LEHRE/TURB/Fluent.Inc/v140/flu_th.pdf).
- [18] Bağcı M., 1998. Teknik Resim, Birsen Yayınevi Limited Şirketi, ISBN: 975-511-128-X, İstanbul, 286s.
- [19] Incopera F.P., DeWitt D.P., 2000. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, ISBN: 978-975-04-0106-0, İstanbul, 960s.
- [20] Kaya A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 153s.
- [21] Genceli O.F., 2008. Ölçme Tekniğı, Birsen Yayınevi Limited Şirketi, ISBN: 978-975-511-113-1, İstanbul, 387s.
- [22] Sandalcı M., 2009. Kelebek Vanalarda Performans Katsayılarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 52s.
- [23] Winfield D., Cross M., Croft N., Paddison D., Craig I., 2013. Performance Comparison Of A Single And Triple Tangential Inlet Gas Separation Cyclone: A CFD Study, Powder Technology, 235, 520-531.
- [24] Volino R.J., Schultz M.P., Flack K.A., 2007. Turbulence Structure in Rough- and Smooth-Wall Boundary Layers, Journal of Fluid Mechanics, 592, 263-293.
- [25] Flack K.A., Schultz M.P., 2014. Roughness Effects on Wall-Bounded Turbulent Flows, Physics of Fluids, 26(10), ID. 101305.



## Rüzgâr Enerjisi Güç Sistemi Maksimum Güç Noktası Takibinde Saptır ve Gözle (S & G) ve Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) Yöntemlerinin Sistem Üzerindeki Çalışmalarının Karşılaştırılması

### Comparison of P&O and FLC Methods on the System in the Wind Energy Power System Maximum Power Point Tracking

Burhan AKSOY<sup>1,\*</sup> Ercüment KARAKAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8061-0954

<sup>2</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4219-5160

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/07/2020

Kabul Tarihi : 28/11/2020

#### Anahtar Kelimeler

Bulanık Mantık  
Kalıcı Miknatıslı Senkron Jeneratör  
Maksimum Güç Noktası Takibi  
Saptır ve Gözle  
Yenilenebilir Enerji

#### Özet

Teknolojik ilerlemelere rağmen günümüzde halen elektrik bağlantısı olmayan bölgeler bulunmaktadır. Bu çalışmada rüzgâr türbini ve bataryadan oluşan güç sistemi ile şebekeden uzakta bulunan bölgelere ekonomik ve sürdürülebilir bir güç sağlanması amaçlanmıştır. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sisteminin (REDS) temel amacı, değişken rüzgâr hızlarında maksimum gücü elde edebilmektir. Önerilen sistemde maksimum gücü tespit edebilmek amacıyla, Saptır ve Gözle (S & G) ve Bulanık Mantık denetleyici (BMD) yöntemlerinin sistem üzerindeki çalışmaları karşılaştırılmıştır. Çalışmaları gözlemleyebilmek amacıyla Kalıcı Miknatıslı Senkron Jeneratör (KMSG), Bulanık Mantık Denetleyici (BMD), Saptır ve Gözle (S & G) ünitesi, Batarya Yönetim Sistemi (BYS) ve Buck-Boost dönüştürücüden oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Maksimum gücü elde etmek için (BMD) ve (S&G) yöntemlerinden oluşan Maksimum güç takip algoritmaları (MGNT) önerilmekte ve sonuçları karşılaştırılmaktadır. REDS'den maksimum gücü elde edebilmek için farklı rüzgâr hızı koşullarında çalışması izlenecek olan KMSG tabanlı REDS modeli tasarlanmış ve sisteme girilen değişken rüzgâr hızlarıyla sistemin çalışması her iki algoritmada izlenmiştir. Çalışma MATLAB (SIMULINK) ortamında modellenmiştir.

#### Research Paper

Received Date : 24/07/2020

Accepted Date : 28/11/2020

#### Keywords

Fuzzy Logic  
Maximum Power Tracking  
Perturb and Observe  
Permanent Magnet Synchronous Generator  
Renewable Energy

#### Abstract

Despite technological advances, there are still regions without electricity connection today. In this study, it is aimed to provide an economical and sustainable power to the regions far away from the network with the power system consisting of wind turbine and battery. The main purpose of the Wind Energy Conversion System (WECS) is to achieve maximum power at variable wind speeds. In order to determine the maximum power in the proposed system, the studies of the Perturb and Observe (P&O) and Fuzzy Logic controller (FLC) methods on the system were compared. In order to observe the works, a system consisting of Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), Fuzzy Logic Controller (FLC), Perturb and Observe (P&O) unit, Battery Management System (BMS) and Buck-Boost converter were designed. Maximum power tracking algorithms (MPPT) consisting of (FLC) and (P&O) methods are recommended to obtain the maximum power and the results are compared. To get maximum power from WECS. The PMSG based WECS model, which will be monitored under different wind speed conditions, was designed and the operation of the system with variable wind speeds entered into the system was monitored in both algorithms. The study is modeled in MATLAB (Simulink) environment.

## 1. Giriş

Son yıllarda, artan enerji talebi ve elektrik üretiminde kullanılan kömür gibi fosil yakıtların hızla tükenmesi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış gözlenmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği konusu

büyük bir sorun oluşturduğundan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonunu azaltmak için birçok düzenleme önerilmektedir. Yenilenebilir enerji türlerinden olan güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi, kuruluş maliyetlerinin nispeten uygun olması ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran çok daha fazla bölgede uygulanabilir olmasından dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Rüzgâr enerjisinden güvenilir, uygun maliyetli ve daha kaliteli güç elde etmek

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): burhanaksoy.3441@gmail.com



için daha etkin kontrol stratejileri araştırılmaktadır. Günümüzde geleneksel enerji kaynaklarının yerini yenilenebilir enerji kaynakları almakta ve rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinden elektrik enerjisi üretiminde artış gözlenmektedir. Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin kullanılması ile temiz enerji elde edilmekte ve kirlilik içermeyen CO<sub>2</sub> emisyonu sağlanmaktadır. Kırsal alanlar için en uygun sistemlerden biri olan küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde verimlilik ve bakım maliyeti önemli bir faktördür. Küçük ölçekli KMSG rüzgâr türbinleri; yüksek tork yoğunluğu, düşük atalet, daha fazla verim ve harici bir uyarma devresi gerektirmemesi gibi avantajlarından dolayı yaygın şekilde kullanılmaktadır [1]. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin maliyetini azaltmanın bir yöntemi de Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) yapılmasıdır. MGNT ile Rüzgâr Enerji Dönüşüm Sisteminin en etkin şekilde çalışmasını sağlayacak etkili algoritmaların kullanılması ile maksimum güç elde edilecektir. Rüzgâr enerji sistemlerinin geniş uygulamalarda kullanılabilmesi ve ekonomik kısıtlamalar, bu enerjinin dönüşüm zincirinin sağlam ve güvenilir olmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca daha iyi bir verimlilik sunmalı ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilir olmalıdır. Bu nedenle rüzgâr türbininden maksimum güç takibinin yapılması gerekliliği doğmaktadır [2]. Saptır ve Gözle Yöntemi (S & G) sisteme uygulanması basit ve kolay olmasından dolayı maksimum güç elde etmek için rüzgâr türbini sistemlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir[3]. S&G yöntemi ile mekanik sensörlerin kullanımı azaltılmış olacağından rüzgar hızının ve rüzgar türbini özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç kalmayacaktır. Sistemimize entegre edilmiş olan S & G yönteminde zamana bağlı olarak izlenecek olan sistemin akım ve gerilim bilgisi, adım büyüklüğü olarak adlandıracağımız hız ve performans izleme sistemini oluşturacaktır. Gerçekleştirdiğimiz REDS sistemimizde ihtiyacımız olan veriler sisteme entegre edilecek akım ve voltaj sensörleri ile sağlanmıştır. Adım büyüklüğü arttıkça, sistemden alınan anlık akım ve gerilim bilgisi takibi daha hızlı olacak, ancak sabit durum koşullarında büyük salınımlara neden olacaktır. Küçük adım boyutu azami gücü izlemede hassasiyeti artıracak ancak daha uzun bir zaman gerektirecektir. S&G yönteminin zamana bağlı olarak değişen rüzgâr hızlarında yetersiz kalması nedeniyle

KMSG rotorunun gücü ve hızına bağlı olarak maksimum güç elde etmek için Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) denetleyicileri kullanılmaktadır [4]. S&G yönteminde olduğu gibi Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) tabanlı sistemlerde de rüzgâr türbinine ait türbin bilgilerinin bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bulanık mantık tabanlı sistemlerle uyumlu çalışacak sistemlerde çıkıştan ölçülen akım ve gerilim değerlerine göre görev döngüsünü belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, küçük ölçekli rüzgâr

türbinlerinde buck-boost dönüştürücünün görev döngüsünü (D) ayarlayarak maksimum güç noktasının bulunabilmesi için bulanık mantık tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Tasarladığımız sistem sayesinde sıklıkla kullanılan her iki yöntem karşılaştırılarak sonuçları analiz edilmiştir. Değişken rüzgâr hızlarının uygulama üzerindeki etkisi analiz edilmek üzere sisteme beş farklı rüzgâr hızı verilmiş ve her iki yöntemin davranışları izlenerek sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı elektrik şebekesinden uzakta bulunan ve rüzgâr hızlarının uygun olduğu bölgelerde kurulacak olan küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin çalışmasında kullanılacak en uygun yöntemin belirlenmesi ve bu sayede enerji ihtiyacının en uygun yöntemle sağlanabilmesi olmuştur.

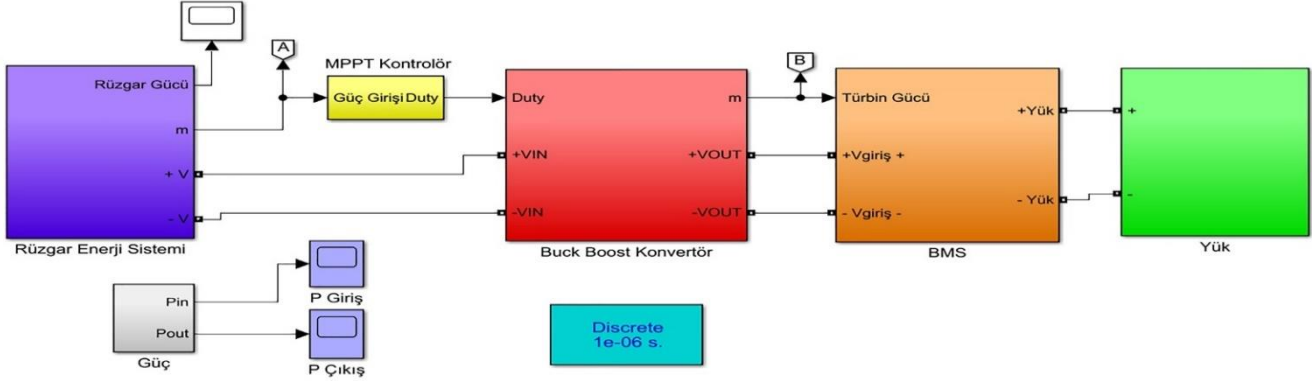
## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Önerilen Sistemin Yapılandırılması

Çalışmamızda önerilen sistem Şekil 1 de görüldüğü üzere Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatör (KMSG), Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) ile Saptır ve Gözle (S & G) ünitesini barındıran MGNT kontrolör, Buck-Boost dönüştürücü ve Batarya Yönetim Sistemi (BYS)'den oluşmaktadır. KMSG, güvenilirliği, maliyeti ve boyutundan dolayı en çok tercih edilen rüzgâr generatörüdür [5]. Oluşturulan sistemde değişken rüzgâr hızlarında KMSG çıkışından alınacak gerilim değişikliğini görebilmek ve MGNT algoritmasını gerçekleştirerek doğal ortam şartlarını sağlayabilmek amacıyla KMSG girişine değişken rüzgâr hızları uygulanmıştır. Bu sayede KMSG'nin devir değişikliği sağlanarak değişken rüzgâr hızlarındaki KMSG davranışları izlenebilmiştir. KMSG çıkışında elde edilen AC gerilim; diyot köprüsü ile DC gerilime çevrilmiştir. AC gerilimden DC gerilime yapılan doğrultma sonucunda oluşabilecek parazitleri engellemek için; köprü diyot çıkışında kondansatör kullanılmıştır. Değişken rüzgâr hızlarında KMSG çıkışından MGNT tespitinin yapılabilmesi için BMD ve S & G ünitesi ve buck-boost dönüştürücü kullanılmıştır. Değişken hızlarda KMSG çıkışından elde edilecek akım ve gerilim değişimleri, MGNT yapılabilmesi için ayrı ayrı BMD'ye ve S & G 'ye aktarılmıştır. BMD ve S & G ünitesi, doğrultucu çıkışındaki akım ve gerilim verilerine dayanarak sistemin çalışmasını kontrol edecek ve Buck-Boost dönüştürücüde kullanılan Mosfet transistörün görev döngüsünü(D) belirleyecektir. Değişken rüzgâr hızlarında maksimum güç noktasını yakalayabilmek için esnek ve basit bir teknik olması ile birlikte önceden türbin bilgilerine ihtiyaç duyulmaması sebebiyle S & G yöntemi ve BMD ünitesi tercih edilmiştir.

BMD ve S&G ünitesi ayrı ayrı çalıştırılmış ve çıkış değerleri detaylıca analiz edilmiştir. Buck-Boost dönüştürücü çıkışına bağlanan Batarya Yönetim Sistemi (BMS) ile sistemin uygun olmayan rüzgâr hızlarındaki enerji kesintisi sorununun önüne geçilmesi

amaçlanmaktadır. Bu sayede şebeke bağlantısı bulunmayan bölgeler için düşünülmüş olan sistemin sürekli olarak enerjili kalması sağlanacak ve alternatif olarak başka bir yerden enerji bağlantısı olmayan bölgeler için enerji sorununun önüne geçilmiş olacaktır.



Şekil 1. Sistemin MATLAB/SIMULINK Şeması.

## 2.2. Rüzgâr Türbini Modeli

Dünya üzerinde rüzgâr enerjisi potansiyeli oldukça büyüktür ve şebekeden elektrik alamayan bazı uzak alanlar için kullanılması uygun görünmektedir [6]. Rüzgâr enerjisi kullanımı, şebeke bağlantısı olmayan kırsal alanlarda büyük bir fayda sağlamaktadır [5]. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr gücünü mekanik bir güce dönüştüren sistemlerdir. İnşa edilen sistem çevre dostudur ve çevreye veya insana zarar vermez. Uzun vadeli bir enerji üretme uygulamasıdır ve her mevsim koşulunda sürekli güç üretilebilir [7]. Rüzgâr türbini tarafından üretilen bu mekanik güç şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho A v^3 \quad (1)$$

Eş. (1) de ifade edildiği gibi,  $\rho$  hava yoğunluğunu (genel olarak  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ),  $\beta$  türbin bıçaklarının derece cinsinden açısını,  $A$  türbin bıçaklarının metrekaresi cinsinden süpürdüğü alanı,  $v$  rüzgârın m/s cinsinden hızını ve  $C_p(\lambda, \beta)$  ise rüzgâr türbininin güç katsayısını ifade etmektedir. Rüzgâr türbininin güç katsayısı olarak ifade edilen  $C_p(\lambda, \beta)$  rüzgâr türbininin güç üretim verimliliğini göstermektedir. Türbin milindeki mevcut mekanik güç ile mevcut rüzgâr gücünün oranı olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâr türbininin karakteristik özelliklerine dayanan genel eşitlik şu şekilde tanımlanabilir.

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5176 \left( 116 * \frac{1}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-21/\lambda_i} + 0.068\lambda \quad (2)$$

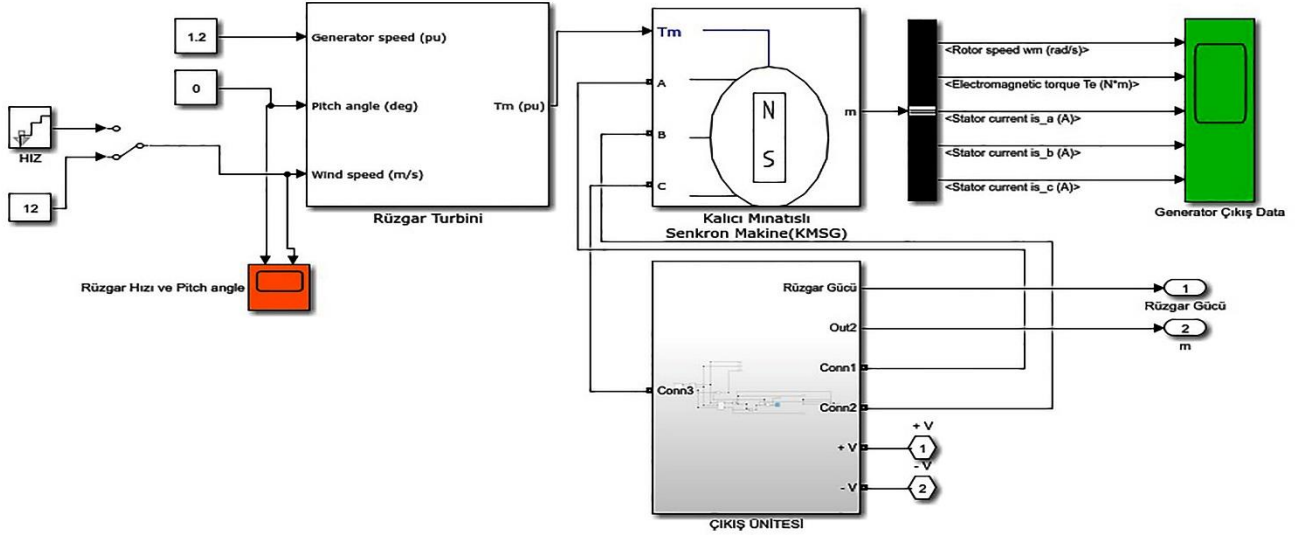
Eş. (2) de kullanılan  $(1/\lambda_i)$  ifadesi şu şekilde açılabilir.

$$1/\lambda_i = 1/(\lambda + 0.08\beta) - (0.035/1 + \beta^3) \quad (3)$$

Eş. (3) de ifade edilmiş olan,  $C_p$  kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) ile kanat eğim açılarının ( $\beta$ ) doğrusal olmayan bir fonksiyonudur.  $\lambda$  türbin hızı ( $\omega_m * R$ ) ile rüzgâr hızının ( $v$ ) oranıdır.

$$\lambda = \frac{\omega_m * R}{v} \quad (4)$$

Eş. (4) de ifade edilmiş olan, sırasıyla  $\omega_m$  rüzgâr türbininin dönme hızı,  $R$  ise türbin kanatlarının süpürdüğü alanın yarıçapıdır. Sabit bir  $\beta$  için  $C_p$  sadece  $\lambda$  'nın doğrusal olmayan bir fonksiyonu haline gelir Eş. (4)' te görüleceği üzere  $\lambda$  ile  $\omega_m$  arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bu hız optimum  $C_p$  ye karşılık gelir ( $\lambda_{opt}$ ). Uç hızı oranının değeri tüm maksimum güç noktaları için sabittir. Kısacası değişken rüzgâr hızlarında rüzgâr türbinini maksimum güce çıkartabilmek için rüzgâr türbinini anma hızının altındaki her değerde her zaman  $\lambda_{opt}$  'da çalıştırılmalıdır. Bu durum rüzgâr türbininin dönme hızını optimum dönme hızına getirecektir. Rüzgâr türbininin miline bağlı generatörün üretmiş olduğu mekanik gücün  $\omega_m$  nin bir fonksiyonudur. Mekanik çıkış gücü değişken rüzgâr hızlarında belirli bir noktada maksimum noktaya ulaşmaktadır. Çalışmamızda bahsi geçen güç noktalarının takibi çalışması yapılmıştır. Şekil 2'de MATLAB/SIMULINK ortamında tasarlanmış KMSG modeli görülmektedir.



Şekil 2. Sistemin MATLAB/SIMULINK Şeması.

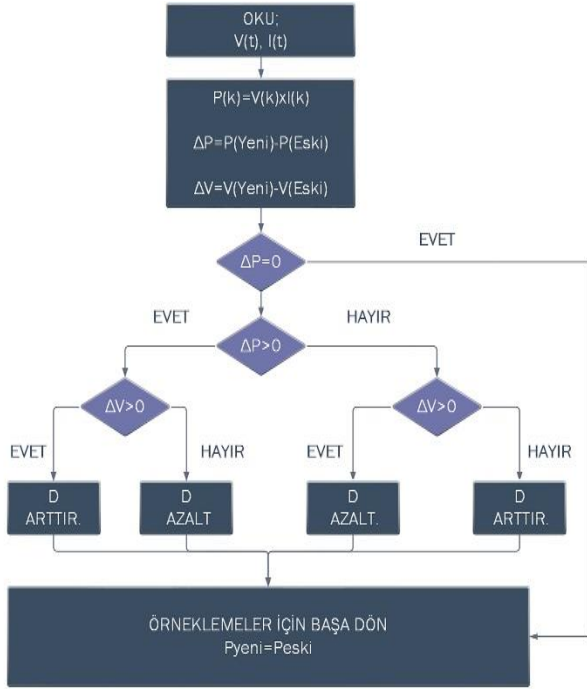
### 2.3. S&G Modeli

Oluşturulan sistemde S&G ve BMD yöntemi, verilen rüzgâr hızı için maksimum noktayı tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. S&G yönteminde, türbinin hızı artış gösterir ve elektriksel çıkış gücü gözlemlenir. Eğer anlık olarak gözlemlenen güç bir önceki güçten daha yüksekse, saptırma yönü pozitifdir ve artışa devam edilmesine izin verilmelidir aksi takdirde saptırma yönü negatiftir ve maksimum güç noktası, dolayısıyla bozulma yönü tersine çevrilmelidir [8]. S&G yönteminde önceden rüzgâr türbinine ait parametrelerin bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bağımsız, esnek ve basit bir teknik olmasından dolayı en çok kullanılan algoritmalarından biridir [9]. Sistemimizde akım ve gerilim değerleri kullanılarak çıkış gücü değerleri hesaplanmıştır. Gücün değişimine göre referans değeri olan belirlenmiş olan akım ya da gerilim değerleri artırılıp azaltılarak MGN izlemesi yapılması sağlanabilmektedir. Sistemimizde kullandığımız S&G metodu, maksimum gücü çekecek en uygun çalışma noktasını belirlemek için referans olarak türbinde üretilen çıkış voltajını kullanmaktadır. Çalışmamızda KMSG çıkış gücü ve yük tarafındaki çıkış gücü akım ve gerilimden yararlanılarak hesaplanır ve karşılaştırılır. Daha sonra çıkış gerilimlerin karşılaştırılması yapılır. Ardından referans olarak belirlediğimiz gerilim değerini belirleyecek olan D katsayısının artırılıp azaltılması yoluyla MGN araması devam edilir. Maksimum güç noktasına ulaşma süresince sürekli olarak saptır ve gözle işlemleri yapılacağından belirli miktarda salınımlar oluşmaktadır [10]. S&G algoritması sistemin her anahtarlama çevriminde bir defa uygulanır. Ancak, S&G yöntemi değişken rüzgâr hızı koşullarında yavaş yanıt verir ve düşük verimliliğe sahiptir. Ayrıca, S&G yönteminde performans büyük ölçüde adım boyutuna

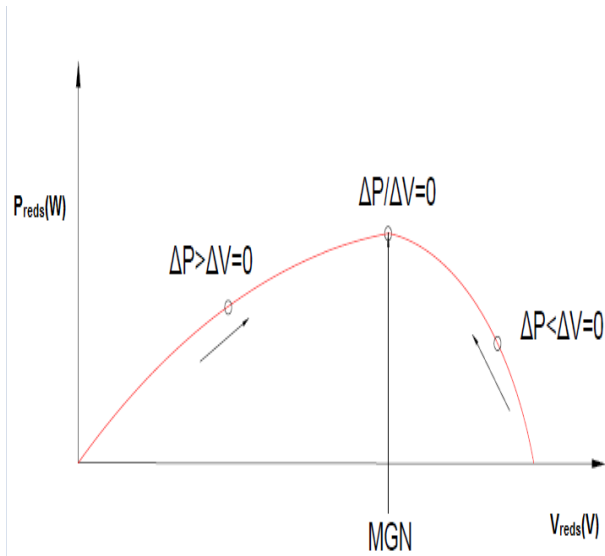
bağlıdır, bu durum MGN'nin izlenme süresini belirler ve etkiler. Bu nedenle, S&G yönteminin iyileştirilmesi için takip adımın ayarlanmasını gerekmektedir.[11]. KMSG'ye ait anlık gerilim ve akım değerleri okunarak, anlık güç değeri hesaplanır. Şekilde verilen akış diyagramında da görüleceği üzere maksimum güç noktası (MGN) bulununcaya kadar işlemler her anahtarlama çevriminde tekrarlanmak zorundadır. Hesaplanan anlık güç değeri bir önceki çevrimde okunan anlık güç değeri ile karşılaştırılarak farkı alınır ve  $\Delta P$  değeri elde edilir. Aynı işlem referans olarak aldığımız gerilim bilgisi içinde geçerlidir. Gerilim bilgileri bir çevrim boyunca okunur ve bir sonraki çevrimdeki gerilim farkı  $\Delta V$  değeri elde edilir. Şekilde verildiği gibi standart bir S&G algoritmasında rüzgâr karakteristik eğrisi eğiminin sıfır olduğu  $\Delta P/\Delta V=0$  noktası sistemimizin maksimum güç noktası (MGN) olarak belirlenmiştir. Klasik S&G algoritmasında MGN değerine ulaşılması daha yavaştır [12]. KMSG çıkışından okunan akım ve gerilim bilgisi sistemin o anki güç bilgisini oluşturmaktadır. Bir sonraki adımda sistemden okunan akım ve gerilim bilgisi sistemin yeni gücü olarak adlandırdığımız  $P_{\text{yeni}}$  bilgisini bize sunacaktır. Sistem ardışık olarak çalıştığı ve akım ve gerilim bilgileri sürekli olarak sistemde işlendiği için sistemden okunan  $P_{\text{yeni}}$  değeri bir sonraki adımda sistemin maksimum gücü aramaya devam edebilmesi için sistemin  $P_{\text{eski}}$  bilgisini oluşturacaktır. Eğer  $P_{\text{yeni}}$ , örneklemeden alınan ve bir önceki anlık gücü temsil eden  $P_{\text{eski}}$  olarak adlandırılmış güçten daha büyükse, gerilim değerindeki değişimlere bakılmaktadır. Bu noktada  $V$  değerindeki bir önceki duruma göre değişimine göre sistem karar verecek ve sisteme gönderilen  $D$  değerinde değişiklik yapılarak sistemin MGN 'yi bulması sağlanacaktır.  $\Delta P/\Delta V$  değerinin sıfır olduğu nokta yani güç eğrisi eğiminin sıfır olduğu

nokta sistemin maksimum güç noktası olarak adlandırılmıştır.

Bu sayede sistem sürekli olarak takip edilerek en uygun noktada maksimum gücü yakalaması sağlanmıştır. S&G tekniğinin rüzgâr enerjisi dönüşümündeki tek dezavantajı, rüzgâr hızının hızlı değişimini takip edememeleri ve böylece genel sistemin verimliliğini ve MGN takip hızını etkilemeleridir. S&G yönteminin akış şeması, Şekil 3.'te gösterilmiştir. Şekil 4'te S&G prensip şeması görülmektedir.



Şekil 3. S&G yöntemi akış şeması.



Şekil 4. S&G yöntemi prensip şeması.

## 2.4. BMD Modeli

S&G yönteminin sakıncalarını gidermek, maksimum güç noktasını takibinin daha sorunsuz yapılabilmesi ve görev döngüsünün belirlenebilmesi amacıyla BMD algoritması önerilmiştir. BMD tabanlı bir sistemin kontrol mekanizması, kontrol stratejisine nitel bilgiyi ekleyerek bir operatörün veya saha çalışanının süreçle ilgili deneyimini barındırmaktadır, ancak resmi bir tasarım metodolojisinin olmaması, BMD kontrollü sistemlerin kararlılığını ve zorluklarını tahmin etme zorluğu gibi sınırlamaları nedeniyle eleştirilmektedir [13]. BMD sistemimize maksimum güç noktasının hızlı ve kesin olarak bulunması gibi avantajlar getirmiştir. BMD genel olarak, Bulanıklaştırma, Kural Tabanı ve Durulama olarak üç aşamadan oluşur. Kurallar, sistemin önceki bilgileri temelinde tasarlanır ve BMD kapalı döngüde çalışan yapay zekâ temelli karar verme denetleyicisidir. Bulanık mantık denetleyicisi güçlü bir denetim özelliğine sahiptir ve doğrusal uygulamalar için daha iyi sonuçlar verir. Sistem hakkında tüm bilgilere ihtiyaç duymaz [14]. Bulanık denetleyicilerin girişleri Şekil 5. ve Şekil 6. da gösterildiği gibi referans olarak verilen güç değeri ile birim zamanda oluşan mevcut güç değerinin farkını oluşturan (E) sinyali ve birim zamanda mevcut güç ile yeni oluşan güç değişimi (CE) sinyalidir. Eş. (5) ve Eş. (6) da (E) ve (CE) sinyallerinin hesaplama formülleri görülmektedir.

$$E = P_{ref}(n) - P_w(n) \quad (5)$$

$$CE = P_w(n) - P_w(n-1) \quad (6)$$

Sinyaller hesaplandıktan ve dilsel değişkenler elde edildikten sonra, BMD'nin çıkış değişkeni, kullandığımız algoritmaya bağlı olarak sistemimize uygulayacağımız görev döngüsü olmaktadır. BMD'nin verimliliği sadece sistemin önceki bilgilerine ve kural tabanına dayalı tablonun doğru hata hesaplamasına bağlıdır. Tablo.1, BMD'yi modellemek için kullanılan kural tablosunu temsil eder. Kurallar, Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Negatif Küçük (NK), Sıfır (Z), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Orta (PO), ve Pozitif Büyük (PB) olmak üzere yedi seviyede çerçevesizdir. Sistemimize bağlı akım ve gerilim sensörlerinden gelen veri kurallar tablosundaki güç değişkenini oluşturmaktadır. Güç verisinde zamana bağlı olarak ortaya çıkacak değişimler gerilim verisinde ortaya çıkan değişimlerle birlikte algoritmada belirtildiği gibi işleme tabi tutulacak ve sonrasında görev döngüsü sinyaline ulaşılacaktır. Çıkarım mekanizması temel olarak tablodaki kuralların uygunluğunu belirleyen BMD üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. Şekiller, BMD kontrol cihazının giriş ve çıkış üyelik fonksiyonunu temsil eder.



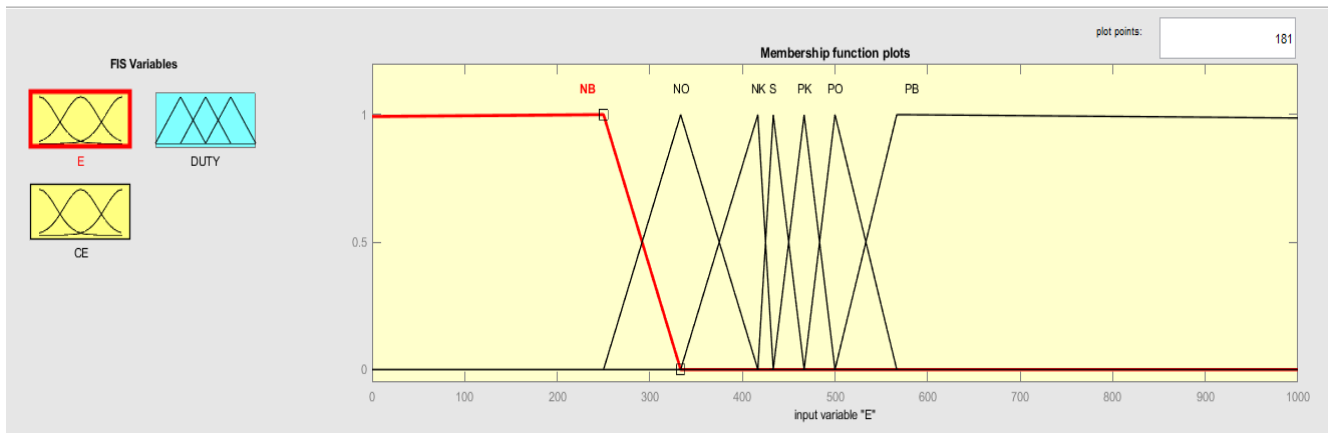
Durulama yöntemi olarak Centroid Yöntemi kullanılmıştır. Maksimum güç noktasının bulunabilmesi için sisteme gönderilen görev döngüsü sinyalinin belirlenmesi BMD tarafından yapılmaktadır ve daha önce kurallar tablosunda belirlenen kurallara uygun olarak haritalanan çıkarım sisteminin sonucu olarak belirlenmektedir.

BMD çıkış gerilimi ve güç değişimini izler ve bulanıklaştırma işlemi için giriş olarak verilen hata sinyali üretir, burada giriş verileri Mamdani yöntemi kullanılarak uygun bulanık dilsel kümelerle dönüştürülmüştür. Sonrasında bulanık küme, algoritma kuralları kullanılarak uygun bir bulanık çıkışın elde edildiği çıkarım sisteminde işlenmiştir. Ardından elde edilen değerler, bir görev döngüsü olarak net değere dönüştürülmüştür. Şekil 5. te giriş güç hatası (E) değişkenine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. Kurallar, Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Negatif Küçük (NK), Sıfır (Z), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Orta (PO), ve Pozitif Büyük (PB) olmak üzere yedi seviyede oluşturulmuştur. Sistemde kullanılan KMSG 1000 Watt gücünde seçildiğinden değişken rüzgâr hızlarında KMSG' nin üreteceği değişken yüklerle uygun seviyelerde üyelik fonksiyonları belirlenmiştir ve kurallar tablosu bu seviyelere uygun olarak oluşturulmuştur. Sistemdeki güç değişimi izlenmiş ve gerilim sensöründen gelecek verilere uygun olarak görev döngüsüne karar verilmiştir. Verilen referans değerinden, KMSG' nin o anda ürettiği güç farkı alınarak BMD girişlerine güç hatası (E) olarak girilmiştir. KMSG' nin güç çıkışı 1000 W olduğundan aralık 0 Watt ile 1000 Watt aralığında sınırlandırılmıştır. KMSG çıkışından zamana bağlı olarak ölçülen güç değişimleri algoritmaya bağlı olarak işleme tabi tutularak görev döngüsü sinyaline karar verilecektir. Şekil 6. da KMSG çıkışından elde edilen gücün zamana

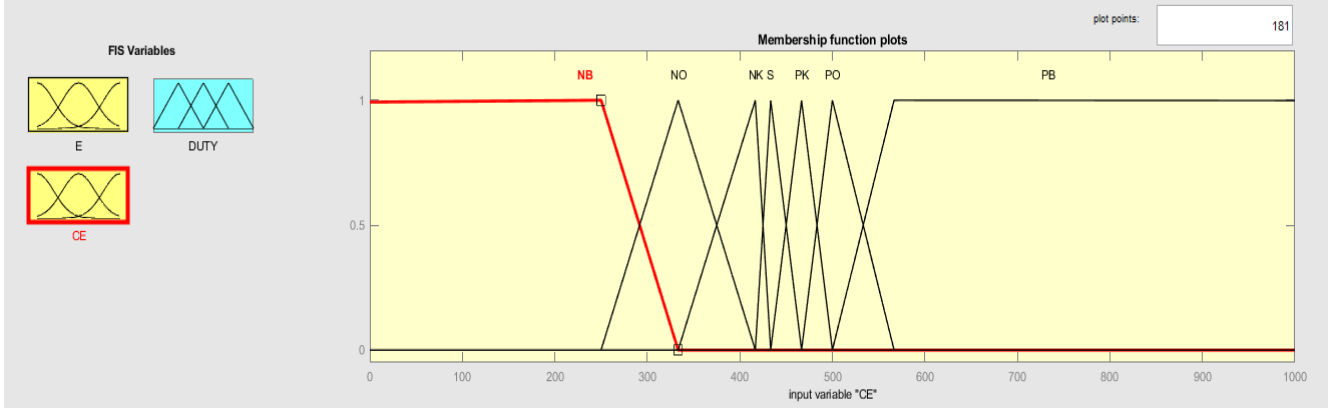
bağlı değişimini gösteren, giriş güç hatası değişimi (CE) değişkenine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. KMSG çıkışından, değişken rüzgâr hızlarında birim zamanda alınan anlık güç değeri ile bir önceki birim zamandaki güç değerinin farkı, algoritmada işleme tabi tutulacak güç hatasındaki değişim (CE) sinyalini vermektedir. Şekil 7. de BMD çıkışından elde edilen görev döngüsü sinyaline (D) ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. BMD çıkışından elde edilecek görev döngüsü sinyali Mosfet transitörün gate ucuna uygulanacak PWM sinyali olduğundan üyelik fonksiyonları 0 ile 1 arasında hesaplanmıştır. Değişken rüzgâr hızlarında giriş değişkenlerinden gelen verilen kurallar tablosu ve üyelik fonksiyonlarına uygun olarak değerlendirilmiş ve işlem sonucunda uygun bir D sinyali elde edilmiştir.

**Tablo 1.** BMD Kural Tablosu.

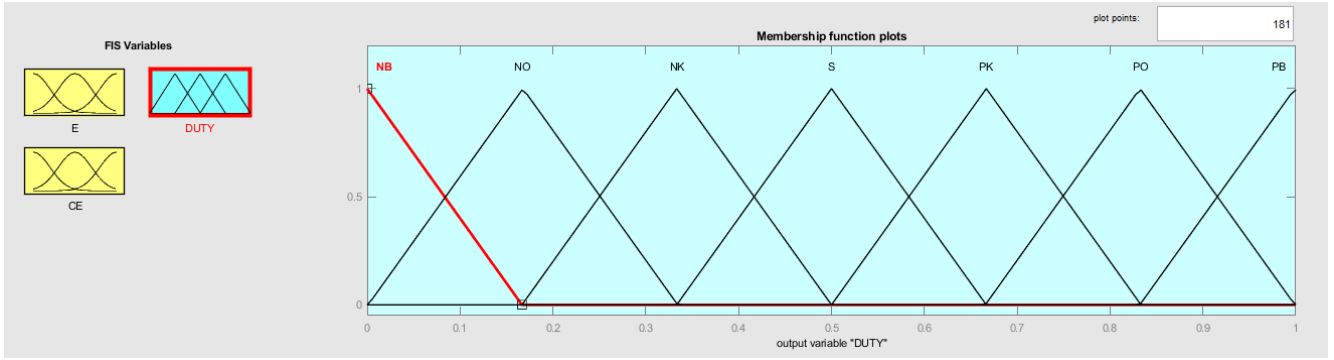
CE \ E	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	NB	S	S	S
NO	NB	NB	NO	NO	S	S	S
NK	NB	NB	NK	NK	PK	PK	PO
S	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
PK	NO	NK	NK	PK	PK	PB	PB
PO	S	S	S	PO	PO	PB	PB
PB	S	S	S	PB	PB	PB	PB



**Şekil 5.** BMD Giriş E Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 6. BMD Giriş CE Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 7. BMD Çıkış(D) Üyelik Fonksiyonu.

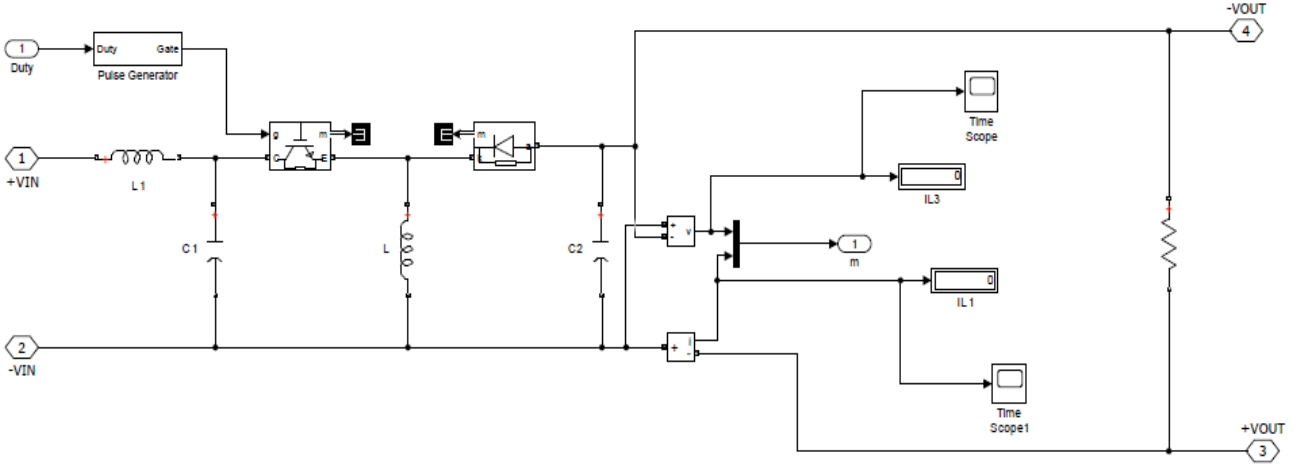
## 2.5. Buck-Boost Dönüştürücü

Boost dönüştürücüler back to back dönüştürücülere göre düşük maliyetli ve kolayca kontrol edilebilir olmasından dolayı küçük ölçekli rüzgâr türbinleri için en yaygın kullanılan dc/dc dönüştürücülerden biridir [15]. Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinin verimliliğini artırmak için güç elektroniği elemanları kullanılarak MGNT uygulamaları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Güç elektroniği dönüştürücülerinde yapılan düzenlemeler rüzgâr türbinlerinde uygulanmaktadır. Büyük ölçekli sistemlerde şebeke bağlantısı için back to back dönüştürücüler yaygın şekilde kullanılmaktadır. 10 kW'dan küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde ise, en çok kullanılan dönüştürücü bir diyot köprü doğrultucu ve bir dc/dc dönüştürücüdür [16]. Buck-Boost dönüştürücü, devresinde bulunan Mosfet transistörlerin görev döngüsünün değiştirilmesi prensibi ile sistemin ihtiyacı olan gerilimi sisteme sağlayabilmek için tasarlanmıştır. Yapı olarak Buck-Boost dönüştürücüler mosfet transistörlere verilen görev döngüsü oranında çıkış geriliminde değişiklik yapabilmektedir. Türbin çıkışından elde edilen gerilim değişken rüzgâr hızları nedeniyle değişken olmaktadır.

Bu aşamada devreye giren S&G algoritması daha öncede açıklandığı gibi maksimum gücün tespitini yapacaktır. Bu aşamada güç değişimleri olması nedeniyle

gerilimde bazı değişiklikler olması kaçınılmazdır. Buck-Boost dönüştürücü bu aşamada gerilimin artırılması ya da azaltılması işlevini üstlenecektir. Çıkış geriliminin artırılması ya da azaltılmasına sistemimizin karar vericisi olarak tasarlanmış olan S&G veya BMD karar verecek ve Mosfet transistörlerin görev döngüsünü sisteme gönderecektir. Geleneksel yaklaşımda Hibrid PV-Rüzgâr sistemlerinde birden çok yenilenebilir kaynağın entegrasyonunu sağlamak için her bir kaynak için bir tane olmak üzere ve ortak bir dc baraya bağlı olan tek girişli bir DC/DC dönüştürücü kullanılmaktadır. Ancak, çok sayıda dönüştürücünün sistemde kullanılması ve kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının iklimsel değişimleri sebebiyle sistemin verimini düşük kalmaktadır [17]. Değişken rüzgâr hızlarına sahip olan rüzgâr türbinlerinde sistemin ürettiği gücü kontrol etmek için gerek maliyet gerekse batarya gereksinimleri göz önüne alındığında bir dc-dc buck / boost dönüştürücü kullanılması sistem için oldukça uygundur [18].

Değişken rüzgâr hızlarındaki maksimum güç noktasını en iyi şekilde tespit edebilmek amacıyla tasarladığımız sistemimizde birden çok DC/DC dönüştürücü kullanmak yerine sistem verimi göz önüne alınarak Buck-Boost dönüştürücü tercih edilmiştir. Şekil 8. de önerilen sistem için tasarlanmış olan Buck-Boost dönüştürücüye ait MATLAB/SIMULINK şeması görülmektedir.

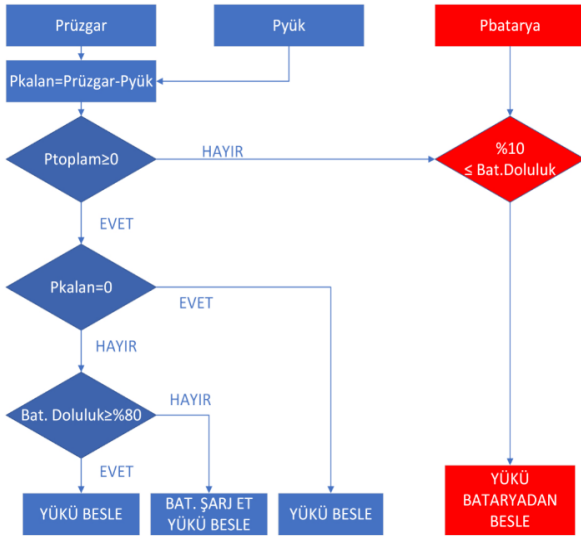


Şekil 8. Buck-Boost dönüştürücü MATLAB/SIMULINK şeması.

## 2.6 Batarya Yönetim Sistemi

REDS'ten üretilen enerji değişken rüzgâr hızları nedeniyle değişkenlik göstermektedir. Hava şartlarının değişkenlik gösterdiği sistemlerde güç arzını sürekli tutabilmek için bir batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır [19]. Sabit bir omik yükü besleyen sistemimizde yükün sürekli olarak beslenmesi prensibi üzerinde durulmuştur. Bu amaç doğrultusunda sistemimize batarya grupları dahil edilmiştir. Bu sayede rüzgârın olmadığı durumlarda batarya sistemi devreye girerek yükün enerjisiz kalması engellenmiştir. Üretilen enerjinin yükün ihtiyacından fazla olması durumunda batarya gruplarının şarj edilmesi batarya yönetim sistemiyle sağlanmıştır. Bu sayede sistemde enerji kesintisinin önüne geçilerek sistemin sürekli enerjili kalması sağlanmıştır. Üretilen enerjinin besleme yüküne ne oranda yettiği ve batarya gruplarının hangi durumlarda şarj edileceğine tasarlanmış olduğumuz enerji yönetim algoritması karar verecektir. Sistemde rüzgâr esmemesi ve enerji kesintisi olması durumunda enerji yönetim algoritması rüzgâr türbini çıkışlarından alınan enerji çıkışlarını kapatarak sistemin besleme noktasını batarya gruplarına çevirecektir. Tam tersi durumda sistemin ihtiyacından fazla üretilen enerji olması durumunda ise enerji yönetim algoritması bataryaların şarj edilmesine karar vererek üretilen fazla enerjinin bataryalarda depolanmasına imkân sağlayacaktır. REDS ten gelen güç bilgisi akım ve gerilim seviyelerinin anlık olarak sensörler sayesinde ölçülmesiyle belirlenir. Genel olarak bataryayı sürekli olarak gereğinden az ya da fazla şarj etmek batarya ömrünü olumsuz olarak etkileyecektir.

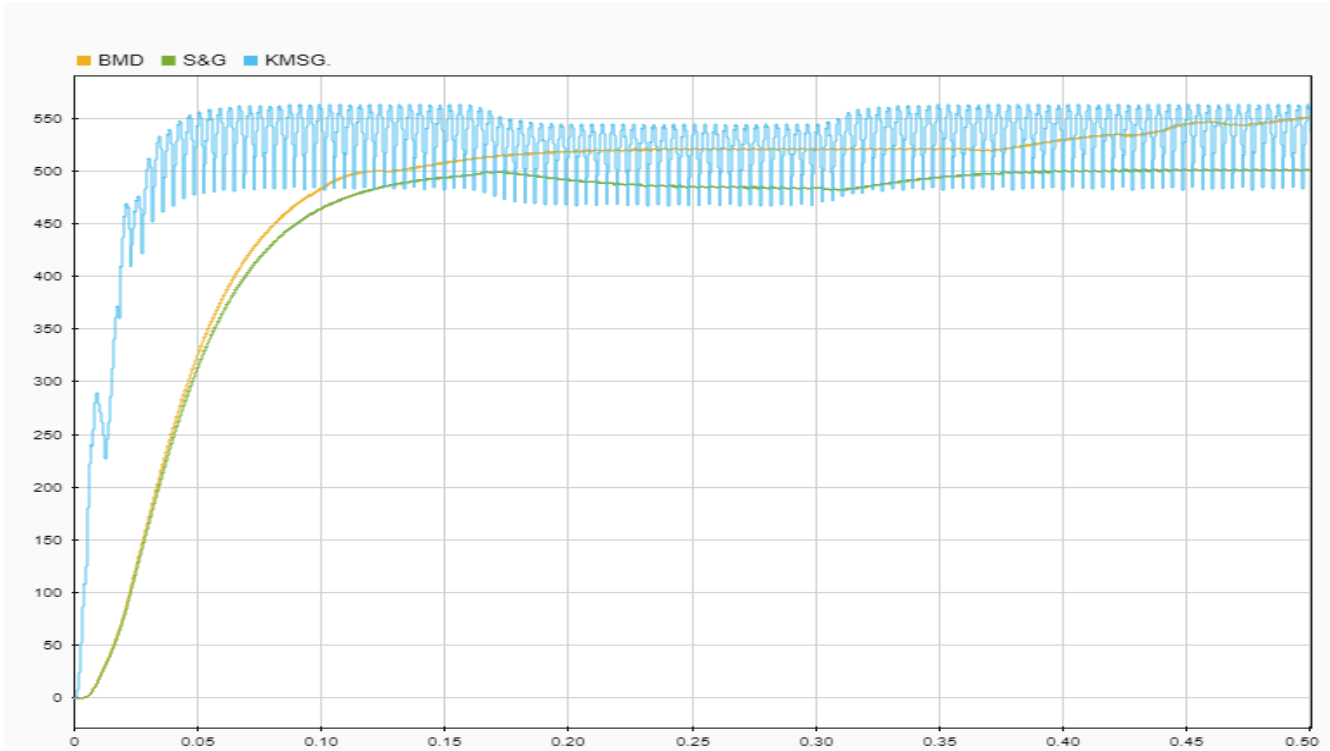
Rüzgâr hızının değişken olduğu sistemlerde batarya ömrünü uzatmak ve enerji verimliliğini sağlamak amacıyla bataryanın hangi şartlarda şarj edileceğine karar verecek bir sistem tasarımında bulanık mantık uygulamaları klasik kontrol yöntemlerine göre daha verimli olabilmektedir [20]. Sabit bir omik yük kullandığımız sistemimizde yükte harcanan güç bilgisinin de sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. Toplam üretilen gücün çıkış yükümüzde harcanan güçten çıkartılmasıyla  $P_{kalan}$  elde edilmiştir.  $P_{kalan}$  sıfırdan büyük ve batarya doluluk oranı %80 den büyükse yüke gerilim uygulanır. Eğer şarj seviyesi %80 den küçükse; sisteme bataryaların şarj edilmesi emri verilir ve yük beslenirken aynı zamanda bataryalar şarj edilir.  $P_{kalan}$  'ın sıfıra eşit olması durumunda yükün doğrudan REDS çıkışından beslenmesi emri sisteme verilir. Sistemde rüzgârın olmadığı durumlar da düşünülerek batarya yönetim algoritması bu yönde şekillendirilmiştir. Sistem çıkışında bulunan yükün batarya yönetim sistemi sayesinde sürekli olarak enerjili kalması sağlanmış ve ortamda rüzgâr olmaması durumunda yükün bataryadan beslenmesi sağlanarak kesintisiz enerji arzı sağlamıştır. Şebeke bağlantısı bulunmayan bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla tercih sebebi olan küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken konulardan biri de tesisin bulunduğu bölgede rüzgâr esmediği durumlarda tesisin enerji ihtiyacının hangi yolla karşılanacağı olmaktadır. Tasarladığımız BYS ile enerji kesintisinin önüne geçilmesi ve sistemin sürekli enerjili kalması amaçlanmaktadır.



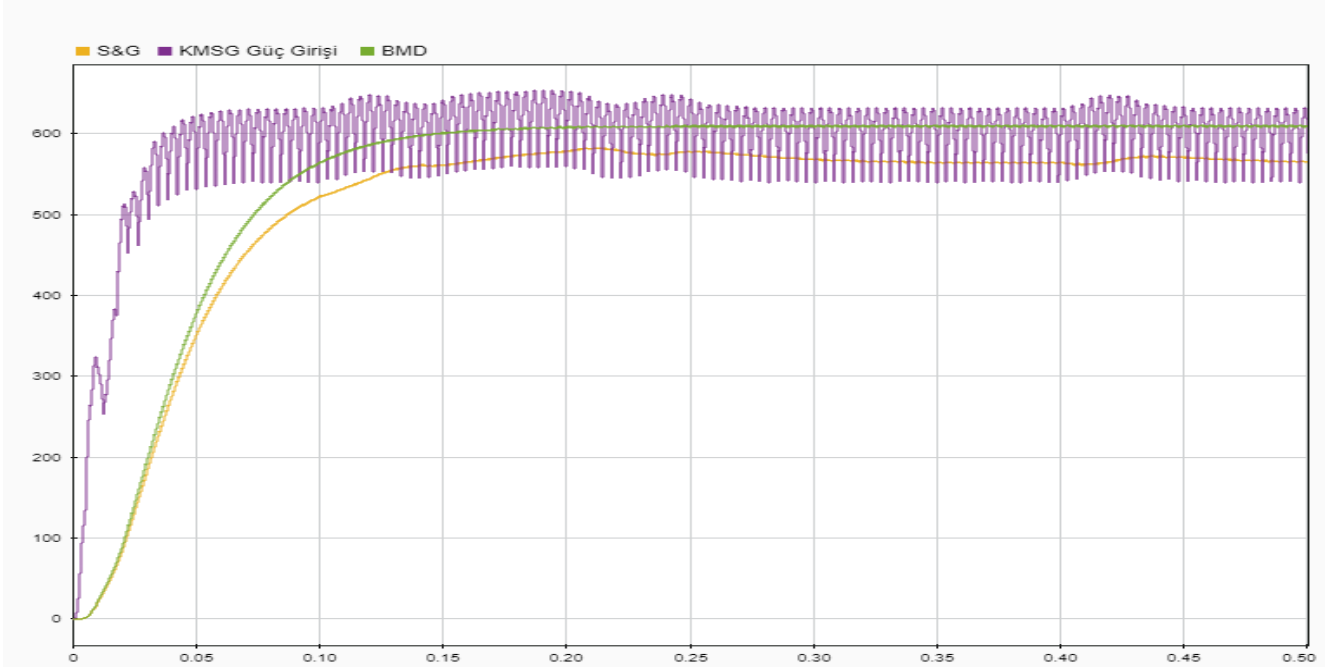
Şekil 9. BYS akış şeması.

### 3. Bulgular ve Tartışma

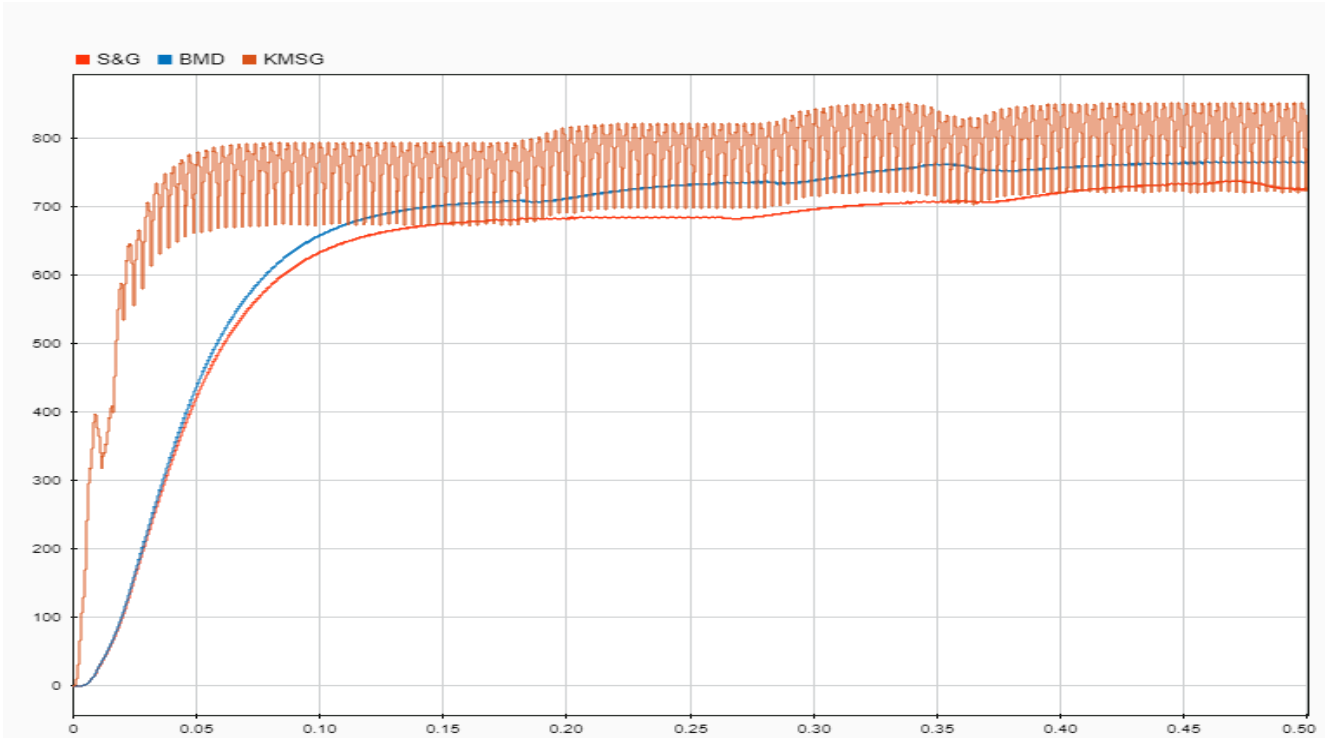
Değişken rüzgâr hızlarında KMSG çıkış gücüne göre BMD ve S&G uygulamaları çıkışları karşılaştırılmış ve sonuçları aşağıda çıkarılmıştır. Rüzgâr hızları simülasyon aşamasında sırasıyla 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 11 m/s ve 12 m/s olarak seçilmiştir. Giriş KMSG gücü 12 m/s lik hızda 1000 W olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede değişken rüzgâr hızlarında giriş ve çıkış güçlerindeki değişim ile birlikte BMD ve S&G algoritmalarındaki çıkış gücündeki değişim ayrı ayrı gözlenerek karşılaştırılmaları yapılabilmektedir. Yapılan simülasyon çalışmalarında sisteme uygulanan değişken hızlarda KMSG çıkışından alınan güç değerleri farklılık göstermesine rağmen sistemin tasarımında kullanılan S&G ve BMD MGNT algoritmalarının güç çıkışını belirli bir noktada yakalayabildiği görülmektedir. Şekil 10-14. de farklı rüzgâr hızlarındaki KMSG çıkışlarında önerilen algoritmaların davranışları ayrı ayrı görülebilmektedir.



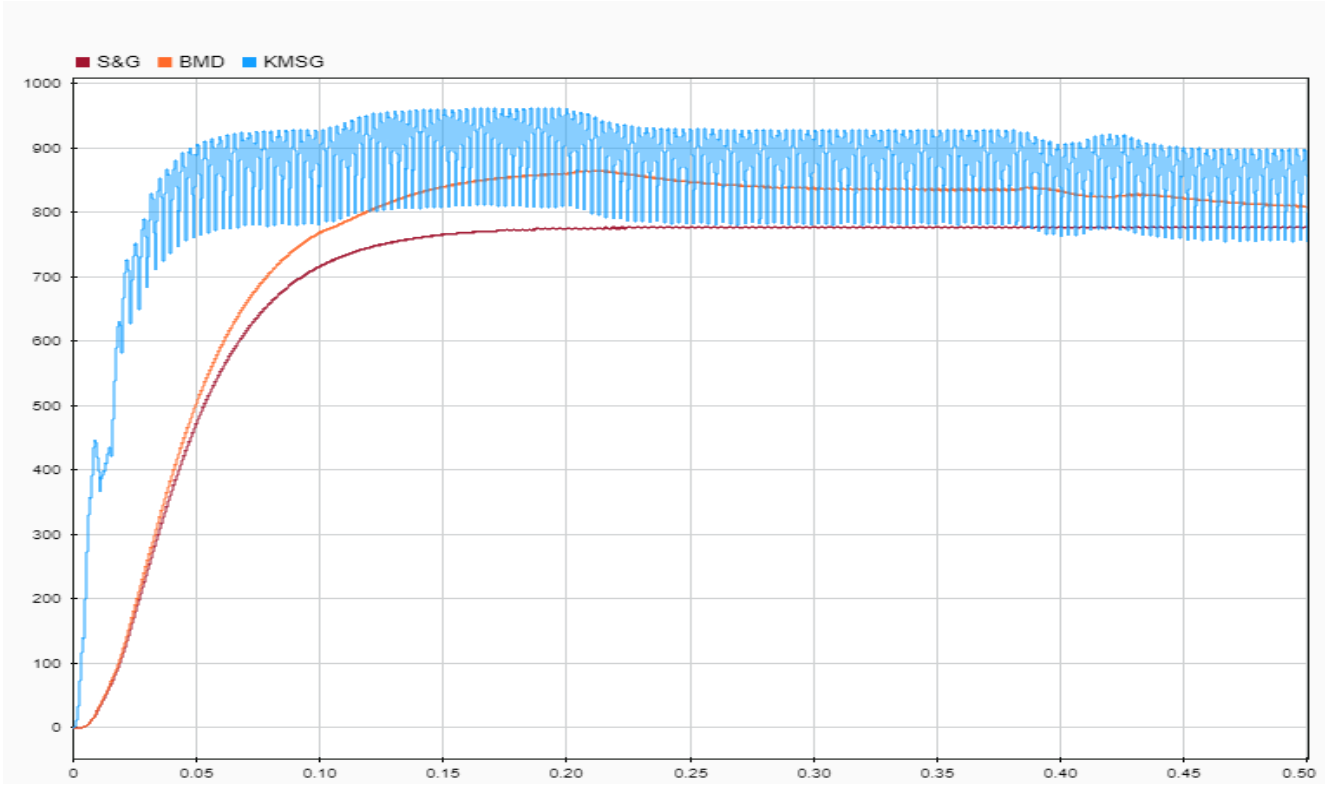
Şekil 10. 6 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&amp;G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



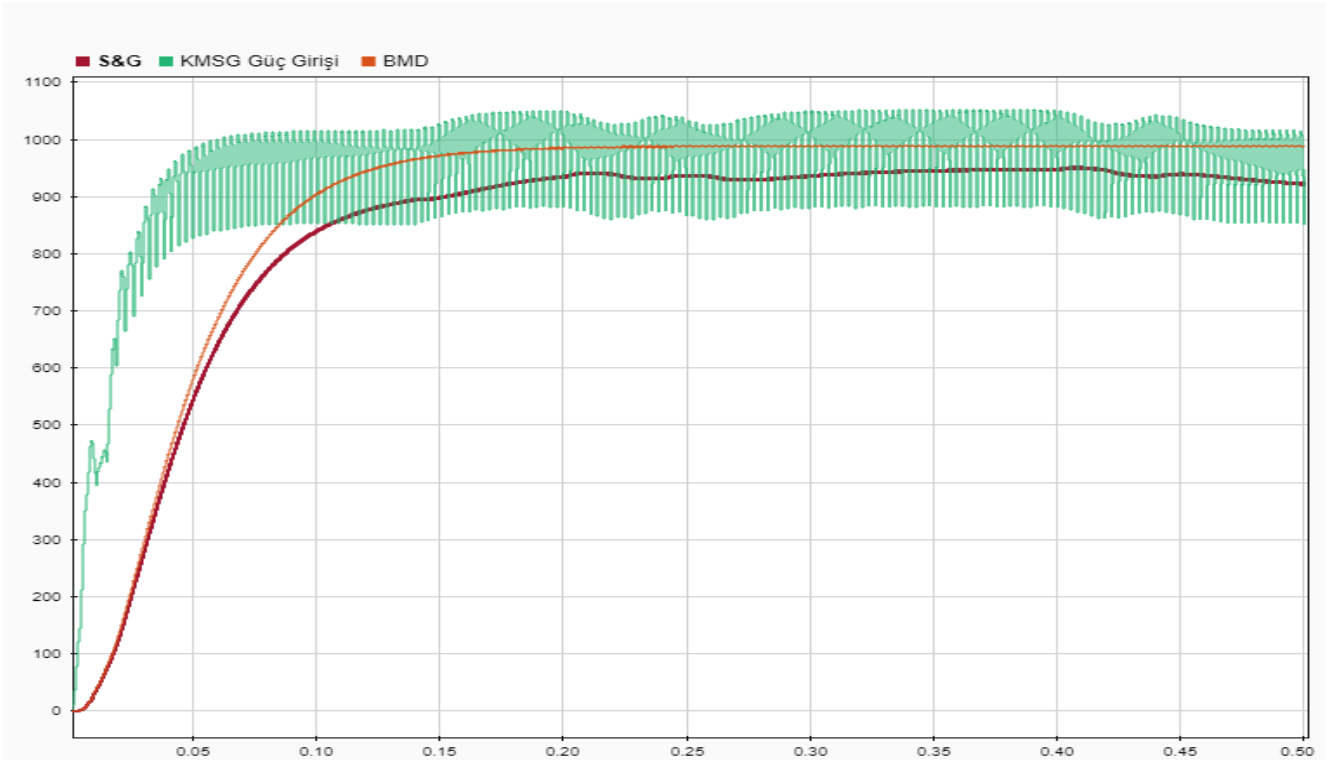
Şekil 11. 8 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



Şekil 12. 10 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



Şekil 13. 11 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



Şekil 14. 12 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



#### 4. Sonuçlar

Bu yazıda S&G ve BMD tabanlı çalışan gibi iki farklı MPPT kontrolörü modellenmiş ve değişen rüzgâr hızları altında rüzgâr türbini güç çıkışları açısından her iki yöntem karşılaştırılmıştır. Her iki denetleyicinin de performansı analiz edilerek BMD tabanlı denetleyicinin S&G tabanlı denetleyiciden daha verimli ve güvenilir olduğu doğrulanmıştır. S&G tabanlı teknik, sistemin kararlı olduğu durumlar için uygundur. Rüzgâr hızının yüksek değişkenlik gösterdiği durumlarda S&G algoritmasının maksimum gücü belirlemesi aşamasında noktalar arasındaki geçişlerinin yavaş olması, bu yöntemin zayıf noktası olarak görülmüştür. BMD yöntemi hızlı bir izleme yeteneğine sahiptir. BMD kontrol yönteminin verimli ve sabit bir durum çıkışı sağlayabilmesi için sistemin önceden kurallar tablosu sayesinde belirlenmesi gerekmektedir. BMD, REDS' deki maksimum güç noktasını izlemek için hızlı ve verimli bir tekniktir. BMD' den elde edilen sonuçlar sabit çıkış, daha hızlı takip kabiliyeti ve daha az çıkış dalgalanmaları açısından S&G tekniğinden daha üstün ve etkilidir. Bu nedenle, BMD tabanlı MPPT yönteminin önerdiğimiz REDS modeli için en iyi seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Eltamaly A., Farh H.M., 2012. Maximum power extraction from wind energy system based on fuzzy logic, *Electric Power Systems Research*, 145.
- [2] Tafticht T., Agbossou K., Cheriti A., 2006. DC Bus Control of Variable Speed Wind Turbine. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Montreal, Que., Canada: IEEE. doi:10.1109/PES.2006.1709469
- [3] Tiwari R., Babu R., 2016. Fuzzy logic based mppt for permanent magnet synchronous. *IFAC (International Federation of Automatic Control)* (s. 462). Sherbrooke: ScienceDirect.
- [4] Shahi A., Bhattacharjee C., 2018. A Study & Analysis of Fuzzy Based P&O MPPT. *IEEE International Conference on Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP-2018)* (s. 978). Bhubaneswar, India: IEEE.
- [5] Bogaraj T., Kanakaraj J., Chelladurai J., 2015. Modeling and simulation of stand-alone hybrid power. *Department of Electrical and Electronics Engineering, Archives of Electrical Engineering*, 10-11.
- [6] Putri R.I., Rifa M., Pujiantara M., Priyadi A., Purnomo M., 2017. Fuzzy MPPT controller for small scale stand alone. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 188.
- [7] Venkateshkumar M., Raghavan R., 2016. Hybrid Photovoltaic and Wind Power System with Battery Management System using Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 72-78.
- [8] Rajin M., Damodharan P., 2015. Maximum power point tracking method using a modified perturb and observe algorithm for grid connected wind energy conversion systems. *IET Renewable Power Generation Research Article*.
- [9] Ahmed J., Salam Z., 2015. An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency. *Applied Energy*, 150, 97-108.
- [10] Tan C.W., Green T., Hernandez-Aramburo C., 2008. Analysis of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic Applications, *2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08)* (s. 237-242). Johor Baharu, Malaysia: 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08)
- [11] Ratna I., Pujiantara M., Ardyono P., 2018. Maximum power extraction improvement using sensorless controller based on adaptive perturb and observe algorithm for PMSG wind turbine application, *IET Electric Power Applications Research Article*, 455-462.
- [12] Azad M.L., Das S., Kumar Sadhu P., Satpati B., Gupta A., Arvind P., 2017. P&O algorithm based MPPT technique for solar PV System under different weather conditions, *2017 International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT]*. IEEE.
- [13] Hamane B., Benghanem M., Bouzid A., Belabbes A., Bouhamida M., Draou A., 2012. Control for variable speed wind turbine driving a doubly fed induction generator using Fuzzy-PI control. *Energy Procedia*, 18, 476-485.
- [14] Kasbi A., Rahali A., 2020. A Simple Methodology for Optimal Fuzzy Control of DFIG Based Wind Turbine. *2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET);2020*. Meknes, Morocco: IEEE.
- [15] Srivastava B.B., Tripathi E.S., 2014. Tracking of Maximum Power from Wind Using Fuzzy Logic

- Controller Based On PMSG. *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)*, 44.
- [16] Khalil A.G., Lee D.C., Seok J.K., 2004. Variable Speed Wind Power Generation System. 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (s. 2039). Aachen, Germany: IEEE.
- [17] Mangu B., Akshatha S., Suryanarayana D., Fernandes B., 2016. Grid-Connected PV-Wind-Battery based Multi-Input Transformer Coupled Bidirectional DC-DC Converter for household Applications. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 1086 - 1095.
- [18] Muyeen S., Takahashi R., Toshiaki M., Tamura J., 2009. Integration of an Energy Capacitor System With a Variable-Speed Wind Generator. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 740-748.
- [19] Roumila Z., Djamila R., Rekioua T., 2017. Energy management based fuzzy logic controller of hybrid system wind/photovoltaic/diesel with storage battery. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), 19525-19535.
- [20] Saranya S.D., Sathyamoorthi S., Gandhiraj R., 2015. A fuzzy logic based energy management system. For a microgrid, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(6), 2663-2669.



## ZnSe/Grafen İnce Filmlerin Optik Özellikleri

### Optical Properties of ZnSe/Graphene Thin Films

Hasan ÖZKAYA<sup>1,\*</sup> Ersin KAYAHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SUNUM Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-7586-6998

<sup>2</sup>Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (LATARUM), Kocaeli Üniversitesi Teknoparkı, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-5933-9824

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 04/06/2020

Kabul Tarihi : 01/12/2020

#### Anahtar Kelimeler

Çinko Selenit (ZnSe)

Grafen

Optik Özellikler

#### Özet

Bu çalışmada ZnSe altlık üzerine “wet transfer” yöntemi kullanılarak aktarılan grafen filmlerin optik özellikleri incelenmiştir. Silisyum pul üzerine fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi kullanılarak nikel ince film kaplanmıştır. Kaplanan ince film üzerine kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) kullanılarak grafen büyütülmüştür. Büyütülen grafen ZnSe altlık üzerine transfer edilmiştir. Yapılan spektroskopik incelemeler neticesinde grafen filme ait sp<sup>3</sup> melezleşmesi gözlenmiştir. Ayrıca, ZnSe altlık üzerine grafenin transfer edilmesiyle optik geçirgenlikte 10% civarında azalma tespit edilmiştir.

#### Research Paper

Received Date : 04/06/2020

Accepted Date : 01/12/2020

#### Keywords

Zinc Selenide

Graphene

Optical Properties

#### Abstract

In this study, optical properties of graphene films which transferred on ZnSe substrate using “wet transfer” method are examined. Nickel thin film was coated on the silicon wafers using physical vapor deposition (PVD) method. Graphene was grown using a chemical vapor deposition method (CVD) on the coated thin film. The grown graphene was transferred to ZnSe substrate. After the spectroscopic investigations, sp<sup>3</sup> hybridization of the graphene film was observed. It is also shown that the reduction in optical transmittance was showed about 10% after the transfer process of Graphene onto ZnSe substrate.

## 1. Giriş

Grafen, tek atom katmanı kalınlığında olduğundan iki boyutlu kabul edilen, kovalent bağ ile bağlı karbon atomlarının altıgen şeklinde yanı bal peteği örgüsü şeklinde dizilimleri sonucu oluşmuş sp<sup>2</sup> melezleşmesine sahip üstün özellikli nanomateryal olarak tanımlanır [1-2]. Ayrıca grafen malzemesi dünyanın en güçlü malzemesi olarak bilinir iken aynı zamanda çoğu malzemeye göre esneklik özelliğine de sahiptir. Grafen malzemesinin üstün özellikleri arasında sahip olduğu yüksek elektron mobilitesi (200000

cm<sup>2</sup>/(V.s), yüksek ısı iletkenliği (5000 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), geniş yüzey alanı (2630 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>), yüksek Young modülü (~1100 GPa), yüksek optik geçirgenlik (~97,7%) ve yüksek kırılma direnci (~130GPa) olarak sıralanabilir [3-5].

Grafen sentezlemek için eksfoliasyon, epitaksiyel ve CVD gibi yöntemler mevcuttur. İlk olarak eksfoliasyon yöntemi grafit malzemesini inceltilecek tek atom katmanı kalınlığındaki grafen malzemesine ulaşmayı amaçlar. Grafit zayıf bağlar ile bağlanmış, paketlenmiş grafen tabakalarından oluşur. Grafit paketlerinin ayrılıp grafen elde edilebilmesi için mekanik veya elektrokimyasal yöntemler kullanılır. Grafite yapıştırılan Scotch bant birkaç kez yapıştırılıp çekilerek grafit tabakaları inceltir. Daha sonra silisyum pullar yüzeyine bant yapıştırılarak grafen

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): hasan.ozkaya@hotmail.com



aktarılır [6-8].

İkinci olarak epitaksiyel büyüme yöntemi ile SiC yapısı vakum altında, büyüme şartlarına göre 1150°C ile 2000°C sıcaklıkta Si atomları yüzeyden uzaklaştırılır geride kalan karbon atomları yapısal olarak dizilimleri Kristal doğrultusunda gerçekleşir ana yapı ile aynı olarak bir araya gelir. Karbon atomlarının dizilimi grafen malzemesini oluşturur. Büyüyen ilk katman grafen SiC'un yüzey katmanındadır. Diğer büyümeler ilk katmanın altında gerçekleşir. Grafenin büyümesinin devamında yüzeyden uzaklaştırılmaya çalışılan Si atomları, büyüyen grafen tabakasının altında kalmaya başlar. Grafen tabakasının altında kalan Si atomları, grafen tabakasını aşamaz ve ortamı terk edemez bu durumda büyüme son bulur. Epitaksiyel yöntem ile büyük alanlı grafen üretilemez ancak yüksek kaliteli grafen üretilebilir [9-10].

Son olarak kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) temel olarak geçiş metalleri (Cu,Ni,Pd,İr vb.) üzerine karbon atomlarının biriktirilmesi esasına dayanır. Metal altlık yüksek sıcaklıkta tavllanır. Bu tavlama sonucunda metal altlığın tane yapısı kabalaşır [11]. Tane sınırları anizotropik olarak genişler. Karbon kaynağı olarak metan gazı sıcaklık altında yardımcı bir gaz ile parçalanır [12]. Parçalanmış metan gazındaki karbon atomları katalizör olan metal altlık içerisine hapis olur [13]. Soğutma esnasında karbon atomları metal altlığın yüzeyinde birikir. Karbon atomlarının yüzeyde birikmesi esnasında grafen yapısı oluşur. CVD yöntemi ile büyük yüzey alanına sahip grafen malzemesi büyütülebilir [14-15].

Grafen sentezlemek için incelediğimiz eksfoliasyon, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve Epitaksiyel yöntemleri karşılaştırıldığında. Eksfoliasyon yönteminde düşük maliyetli, hızlı, kaliteli grafen elde edilir ve boyutları küçüktür. Epitaksiyel yöntemde ise yüksek maliyetli, uzun süreli, yüksek kaliteli grafen elde edilir ama boyutları küçüktür. CVD yöntemi ile kaliteli ve büyük boyutlarda grafen elde edilebilir. Bu çalışmada nikel ince film üzerinde CVD yöntemi kullanılarak büyütülen grafen malzemesi çinko selenit (ZnSe) yüzeyine aktarılarak optik özellikleri farklı spektroskopik yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Grafen sentezinde kullanılan CVD sistemi MTI markasının OTF-1200X modeli olup üç ısıtma bölgesine ve dört gaz akış kanalına sahiptir. CVD fırını içinde yer alan kuvar tüp 5 inç çapındadır. Grafen büyüme işlemlerinde karbon kaynağı olarak yüksek saflıkta Metan (CH<sub>4</sub>) gazı kullanılmıştır. Metanın parçalanması için yüksek saflıkta Hidrojen (H<sub>2</sub>) gazı ilave edilmiştir. Sistemin soğutulması işlemi ise Argon (Ar) gazı altında gerçekleştirilmiştir.

## 2.1. Nikel İnce Film Kaplama

Grafen büyüme işlemi bir geçiş metali olan nikel ince film üzerinde gerçekleştirilmiştir. Nikel ince film PVD yöntemi, elektron demeti tekniği kullanılarak kaplanmıştır. Nova Electronic Materials, LLC. Firmasından temin edilen yüzeyi 300 nm termal oksit kaplı silisyum pul (Si/SiO<sub>x</sub>) kullanılmıştır. Elektron demeti kaplama sistemi 8x10<sup>-6</sup> Torr vakum değerine geldikten sonra ~3 Å/s kaplama hızı ile 300 nm kalınlığında nikel ince film kaplandı.

## 2.2. Grafen Büyütme

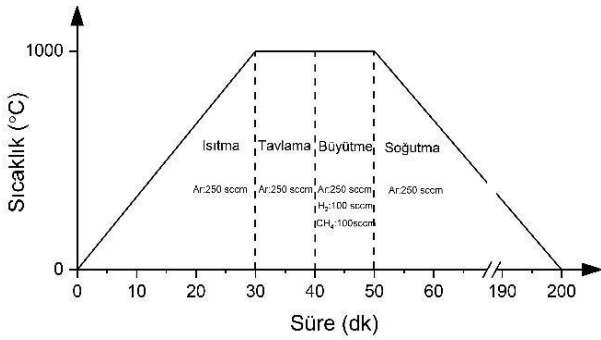
CVD sistemi mekanik bir pompa yardımı ile 10<sup>-2</sup> torr değerinin altına vakuma alınmıştır. CVD sistemi 250 sccm yüksek saflıktaki Ar gazı akışı altında ısıtılmaya başlanmıştır. Hedeflediğimiz ısı değeri olan 1000°C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. 1000°C sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra Ar gazı akışı altında tavlama işlemi için 10 dakika beklenmiştir. Tavlama işlemi tamamlandıktan sonra 100 sccm H<sub>2</sub> ve 100 sccm CH<sub>4</sub> gazı 10 dakika boyunca sisteme gönderilmiştir. Bu süreçte grafen büyüme işlemi gerçekleştirilmiştir. Grafen büyüme işleminin sonunda CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gazları kesilmiştir. Fırın kapağı açılarak sistem Ar gazı atmosferinde oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır (Şekil 1).

## 2.3. Grafenin Yüzdürülmesi ve Aktarımı

Grafen büyütülmüş olan Si altlık artık sırası ile aşağıdan yukarıya doğru Si/SiO<sub>x</sub>/Ni/Grafenden oluşmuştur. Altlık yüzeyine PMMA (polimetil metakrilat) polimeri spin kaplama yöntemi ile serilmiştir. Polimerin sertleşerek dayanıklı hale gelmesi için PMMA polimeri, 180°C'ye ayarlanmış olan sıcak tabla (hot plate) üzerinde ısıtılarak polimerin rijit hale gelmesi sağlanmıştır. Artık altlık Si/SiO<sub>x</sub>/Ni/Grafen/PMMA yapısındadır. Hedeflediğimiz grafen malzemesine ulaşabilmek için öncelikle oksit tabakası (SiO<sub>x</sub>) aşındırılmıştır. Aşındırma işleminde BOE 7:1 (HF:NH<sub>4</sub>F = 12,5:87,5%) çözeltisi kullanılmıştır. BOE çözeltisi içerisinde yer alan hidroflorik asit (HF) cam aşındırıcı özelliğine sahiptir. Bu sebepten BOE ile yapılan aşındırma işlemlerinde Polietilen plastik kap kullanılmıştır. BOE çözeltisi içerisine örnek bırakılmıştır. Oksit tabakasının aşındırılması sonucunda Si puldan Ni/Grafen/PMMA yapısı ayrılmıştır. Sırada nikel aşındırma vardır. Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) nikel aşındırma işleminde kullanılmıştır. Ni/Grafen/PMMA yapısı 1 molar hazırlanan HNO<sub>3</sub> çözeltisi (HNO<sub>3</sub>:Deiyonize su = 16:234ml) içerisine bırakılmıştır. Nikel aşındırılmasından sonra Grafen/PMMA kalmıştır. Grafen/PMMA yapısı iyonlardan ayrıştırılmış su (deiyonize su) içerisine transfer edilmiştir. Grafeni

aktarmak istediğimiz altlık olan Çinko Selenit (ZnSe) temizlenmiştir. Grafen ıslak aktarma (wet transfer) tekniği kullanılarak transfer edilmiştir. Deiyonize su içerisinde Grafen/PMMA yüzer iken, suya daldırılan ZnSe arkadan dikkatlice yaklaştırılmıştır. Grafen/PMMA katmanları ZnSe yüzeyine dokunmasının ardından yavaş şekilde sudan çıkarılmıştır. Benzer aktarma işlemi referans 16 ve 17 'de belirtilmiştir.

Aktarma işleminin sonunda yapımız ZnSe/Grafen/PMMA şeklinde oluşturulmuştur. PMMA'ın yüzeyden temizlenmesi için önceden 80°C ısıtılmış sıcak aseton içerisinde 5-10 dk arasında bekletilmiştir. PMMA'ın yüzeyden uzaklaştırılmasından sonra ZnSe yüzeyine kaplanmış grafen yapısı elde edilmiştir.



Şekil 1. Grafen büyüme süreci.

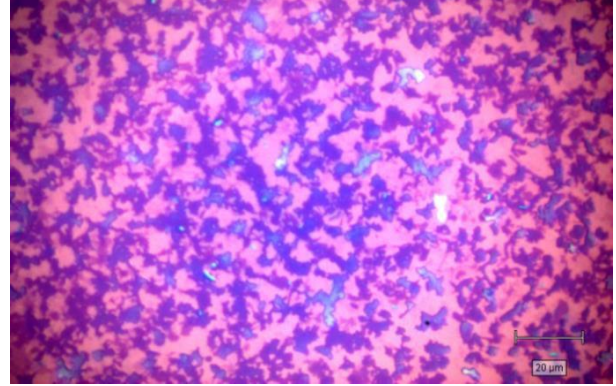
### 3. Bulgular ve Tartışma

CVD yöntemi ile üretimi gerçekleşen grafen ince filmlerin optik ve yapısal özellikleri optik mikroskop (Zeiss Axiolab A1), SEM (LEO Supra Gemini 35 VP), elipsometre (J. A. Woollam Co. M2000 and VASE Ellipsometers) ve Raman spektroskopisi (Renishaw inVia Reflex Raman Microscope and Spectrometer) kullanılarak incelenmiştir.

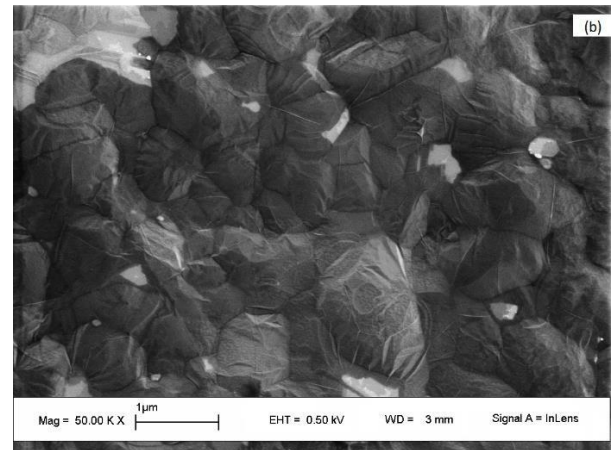
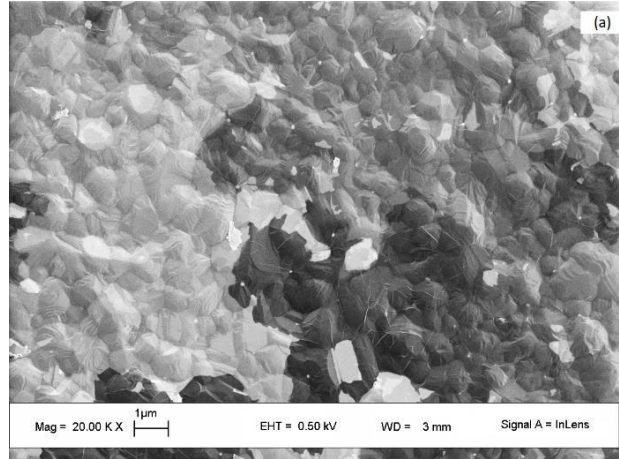
Şekil 2'de optik mikroskop altında incelenen grafen malzemesine ait bir mikrograf verilmiştir. Burada nikel film üzerinde büyütülen grafenin yaprak şeklindeki katmanlı yapısı gözlenmektedir. Açık renkli bölgeler tek katman ve üzeri katmanları temsil etmektedir. Koyu renkli bölgeler ise ikiden fazla grafen katmanlarının varlığını göstermektedir [18].

Şekil 3'te ise grafen ince filmlerin SEM görüntüsü verilmiştir. SEM görüntülerinde açıktan koyuya doğru farklı kontrastlarda katman yapıları gözlenmektedir. Bu yapılar optik mikroskopta görülen katman yapısını yanı sıra grafenin çok katmanlı yapılarını göstermektedir. SEM görüntüsü incelendiğinde, aydınlık kontrasttan karanlık kontrastta doğru 3 ayrı kontast görülmektedir. Aydınlık kontrastlı yerler tek katman ve üzeri katmanları temsil etmektedir. Gri ve oldukça karanlık kontrastlı yerler ikiden fazla grafen katmanını temsil etmektedir. Yapılan mikroskopik incelemeler neticesinde (Şekil 2 ve 3), elde

edilen grafen ince filmlerin bölgesel olarak katmanlı bir yapıda olduğunu göstermiştir. Ayrıca, elde edilen SEM görüntülerinde tane sınırlarının gelişigüzel yönlendiği (anizotropik) görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 2. Çok katmanlı grafenin optik mikroskop görüntüsü.



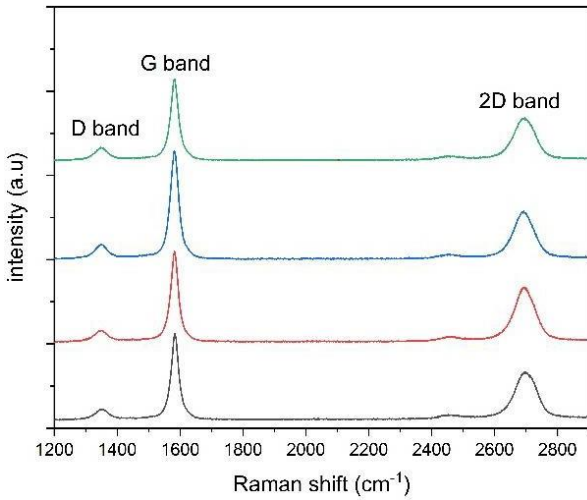
Şekil 3. Ni ince film üzerinde büyütülmüş grafenin SEM görüntüsü (a)20K X, (b)50K X.

Nikel film üzerinde büyütülen grafen ince filmlerin katman yapısı ve kalitesi hakkında bilgi alınabilecek diğer bir yöntem ise Raman spektroskopisi yöntemidir. Farklı noktalardan alınan Raman spektroskopisi ile grafen filmler

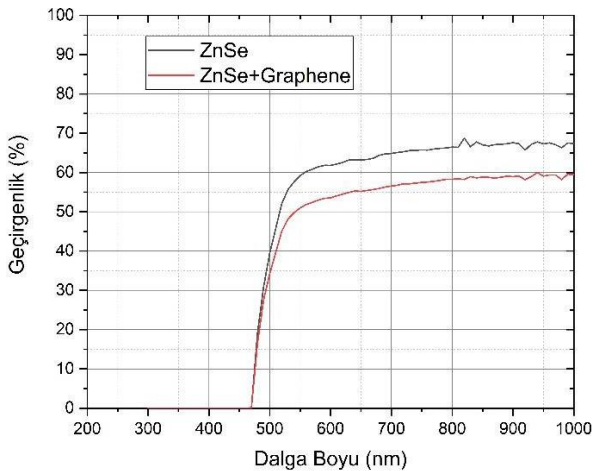


ayrıntılı olarak incelenmiş ve elde edilen spektrumlar Şekil 4'te verilmiştir. Burada karakteristik 2 pik gözlenir. Bunlar 2D (~2700  $\text{cm}^{-1}$ ) ve G (~1580  $\text{cm}^{-1}$ ) pikleri olup karbon atomlarındaki  $\text{sp}^2$  melezleşmesini ifade etmektedir. D piki ise  $\text{sp}^3$  karbonları, yani kusurları ifade etmektedir. Bir başka şekilde saf grafen yapısında D piki gözlenmemektedir. Piklerin şiddetleri grafen tabaka sayısını verir. 2D piki G pikinin 2 katından fazla ise tek katmanlı grafen, 2D piki G pikinden küçük ise çok katmanlı grafen olduğunu gösterir. 2D pikinin şekli ise grafen tabaka adedi hakkında bilgi vermektedir. Katmanlara ait pikler üst üste gelmesiyle 2D piki asimetrik hal almaktadır [19-21].

Raman spektrumları neticesinde elde edilen grafen filmlerin çok katmanlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Grafene ait Raman spektroskopisi.



Şekil 5. ZnSe üzerine transfer edilmiş grafenin optik geçirgenliği.

Elde edilen ince filmlerin geçirgenlik ölçümleri için elipsometreden faydalanılmış ve elde edilen spektrumlar Şekil 5'te verilmiştir. Burada ZnSe malzemesinin 200-480nm dalga boyu aralığında geçirgen olmadığı gözlenmiştir. 550nm den itibaren %60 geçirgenlik değerinin

üzerine çıkmıştır. ZnSe+grafen yapısında geçirgenliğin ~%10 azaldığı gözlenmiştir.

Elde edilen spektroskopik ölçümler neticesinde nikel üzerinde büyütülen grafenin çok katmanlı olduğu ve geçirgenlik ölçümleri neticesinde bu katman miktarının 4-5 kat olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer sonuçlar ref. 22'de de verilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada optoelektronik cihazların üretiminde kullanılan ZnSe ile üstün özelliklere sahip nanomalzeme grafen ile bütünleştirilmiştir. Bunun için öncelikle Si/SiO<sub>2</sub>/Nikel yapısı üzerine CVD yöntemi ile grafen başarı ile büyütülmüştür. Daha sonra ise ZnSe altlık üzerine "wet transfer" yöntemi kullanılarak grafen aktarılmıştır. Bu sayede ZnSe+Grafen yapısı elde edilmiştir.

Yapılan spektroskopik incelemeler sonucunda ZnSe'nin optik geçirgenliğinde grafen kaplanmasından kaynaklanan ~%10'luk bir kayıp gözlemlendi. Elde edilen grafen filmyapısı 4-5 katlı bir yapıdadır.

#### Kaynaklar

- [1] Hancock Y., 2011. The 2010 Nobel Prize in physics ground-breaking experiments on graphene. Journal of Physics D: Applied Physics, 44(47), 473001.
- [2] Slonczewski JC., Weiss PR., 1958. Band Structure of Graphite. Physical Review, 109(2), 272.
- [3] Novoselov KS., Geim AK., Morozov SV., Jiang D., Katsnelson MI., Grigorieva IV., Dubonos SV., Firsov AA., 2005. Two-Dimensional Gas of Massless Dirac Fermions in Graphene. Nature, 438(7065), 197-200.
- [4] Lee C., Wei X., Kysar JW., Hone J., 2008. Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. Science, 321(5887), 385-388.
- [5] Balandin AA., Ghosh S., Bao W., Calizo I., Teweldebrhan D., Miao F., Lau CN., 2008. Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene. Nano Letters, 8(3), 902-907.
- [6] Novoselov KS., Geim AK., Morozov SV., Jiang D., Zhang Y., Dubonos SV., Grigorieva IV., Firsov AA., 2004. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. Science, 306(5696), 666-669.
- [7] Allen MJ., Tung VC., Kaner RB., 2010. Honeycomb Carbon: A Review of Graphene. Chemical reviews, 110(1), 132-145.
- [8] Zhu Y., Murali S., Cai W., Li X., Suk JW., Potts JR., Ruoff RS., 2010. Graphene and Graphene Oxide:



- Synthesis, Properties, and Applications. *Advanced Materials*, 22(35), 3906-3924.
- [9] De Heer W. A., Berger C., Wu X., First P N., Conrad E H., Li X., ... & Potemski M., 2007. Epitaxial graphene. *Solid State Communications*, 143(1-2), 92-100.
- [10] Emtsev KV., Bostwick A., Horn K., Jobst J., Kellogg GL., Ley L., McChesney JL., Ohta T., Reshanov SA., Röhl J., Rotenberg E., Schmid AK., Waldmann D., Weber HB., Seyller T., 2009. Towards Wafer-Size Graphene Layers by Atmospheric Pressure Graphitization of Silicon Carbide. *Nature Materials*, 8(3), 203-207.
- [11] Gertsman V Y., & Birringer R., 1994. On the room-temperature grain growth in nanocrystalline copper. *Scripta metallurgica et materialia*, 30(5), 577-581.
- [12] Lavin-Lopez MP., Valverde JL., Cuevas MC., Garrido A., Sanchez-Silva L., Martinez P., Romero-Izquierdo A., 2014. Synthesis and Characterization of Graphene: Influence of Synthesis Variables. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16(7), 2962-2970.
- [13] Reina A., Jia X., Ho J., Nezich D., Son H., Bulovic V., Dresselhaus MS., Kong J., 2009. Large Area Few-Layer Graphene Films on Arbitrary Substrates by Chemical Vapor Deposition. *Nano Letters*, 9(1), 30-35.
- [14] Choi W., Lahiri I., Seelaboyina R., Kang SY., 2010. Synthesis of Graphene and Its Applications: A Review, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*. 35(1), 52-71.
- [15] Kyle JR., Guvenc A., Wang W., Ghazinejad M., Lin J., Guo S., Ozkan CS., Ozkan M., 2011. Centimeter-Scale High-Resolution Metrology of Entire CVD-Grown Graphene Sheets. *Small*, 7(18), 2599-2606.
- [16] Suk JW., Kitt A., Magnuson CW., Hao Y., Ahmed S., An J., Swan AK., Goldberg BB., Ruoff RS., 2011. Transfer of CVD-Grown Monolayer Graphene onto Arbitrary Substrates. *ACS Nano*, 5(9), 6916-6924.
- [17] Lee Y., Bae S., Jang H., Jang S., Zhu SE., Sim SH., ... & Ahn JH., 2010. Wafer-scale synthesis and transfer of graphene films. *Nano letters*, 10(2), 490-493.
- [18] Bonaccorso F., Lombardo A., Hasan T., Sun Z., Colombo L., & Ferrari AC., 2012. Production and processing of graphene and 2d crystals. *Materials today*, 15(12), 564-589.
- [19] Ferrari AC., 2007. Raman Spectroscopy of Graphene and Graphite: Disorder, Electron-Phonon Coupling, Doping and Nonadiabatic Effects. *Solid State Communications*, 143(1-2), 47-57.
- [20] Ferrari AC., Meyer JC., Scardaci V., Casiraghi C., Lazzeri M., Mauri F., ... & Geim AK., 2006. Raman spectrum of graphene and graphene layers. *Physical review letters*, 97(18), 187401.
- [21] Ferrari AC., & Basko D M., 2013. Raman spectroscopy as a versatile tool for studying the properties of graphene. *Nature nanotechnology*, 8(4), 235-246.
- [22] Nair R R., Blake P., Grigorenko A N., Novoselov K S., Booth T J., Stauber T., ... & Geim A K., 2008. Fine structure constant defines visual transparency of graphene. *Science*, 320(5881), 1308-1308.



## R134a'lı Bir Otomobil İklimlendirme Sisteminde Genleşme Elemanı Tipinin Performansa Etkisinin Deneysel Analizi

### Experimental Analysis of the Effect of Expansion Device Type on the Performance of an R134a Automobile Air Conditioning System

Umut GÜNGÖR<sup>1</sup> Murat HOŞÖZ<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Otomotiv Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9844-7681

<sup>2</sup> Otomotiv Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-3136-9586

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 30/10/2020

Kabul Tarihi : 02/12/2020

#### Anahtar Kelimeler

Araç İklimlendirme  
Orifis Tüp  
R134a  
Termostatik Genleşme Valfi

#### Özet

Bu çalışmada, R134a soğutucu akışkanı kullanılan bir otomobil iklimlendirme sistemi, laboratuvar ortamında kurulmuştur. Sistem, genleşme elemanı olarak termostatik genleşme valfi (TGV) ve orifis tüp (OT) ile donatılmış olup her iki tip genleşme elemanı ile testler yapılarak sistemin çeşitli performans parametreleri belirlenmiştir. Testler esnasında kompresör devri, gerçek kullanıma benzeyecek şekilde 1000 d/d ile 2600 d/d arasında 400 d/d artışlarla değiştirilmiştir. Hava akımlarının yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı giriş sıcaklıkları ise aynı anda 30°C, 35°C ve 40°C değerlerinde tutulmuştur. Sistemin performansını belirlemek amacıyla soğutucu akışkan debisi ve soğutma devresinin çeşitli noktalarından soğutucu akışkan basınç ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına bağlı olarak sistem bileşenlerinin enerji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunların sonucunda soğutma kapasitesi, kompresör gücü, yoğunlaştırıcıda atılan ısı ve soğutma tesir katsayısı (STK) gibi performans parametreleri kompresör devrinin ve hava akımı giriş sıcaklıklarının fonksiyonu olarak belirlenmiş ve iki farklı genleşme elemanı tipi için karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Her iki genleşme elemanı kullanım durumu için kompresör devri ve hava akımı giriş sıcaklıkları arttıkça soğutma kapasitesinin de arttığı, ancak STK'nın düştüğü belirlenmiştir. Bütün testlerin ortalaması olarak TGV kullanan sistemin OT kullanan sisteme göre %12.7 daha büyük soğutma kapasitesi ve %2.4 daha düşük STK değerleri verdiği tespit edilmiştir.

#### Research Paper

Received Date : 30/10/2020

Accepted Date : 02/12/2020

#### Keywords

Mobile Air Conditioning  
Orifice Tube  
R134a  
Thermostatic Expansion Valve

#### Abstract

In this study, a laboratory automobile air conditioning system with refrigerant R134a was set up. The system was equipped with both thermostatic expansion valve (TEV) and orifice tube (OT) as expansion device, and tests were conducted for both expansion devices to evaluate various performance parameters of the system. In the tests, to reflect realistic operations, the compressor speed was changed between 1000 rpm and 2600 rpm with increments of 400 rpm. Furthermore, the temperatures of the air streams entering the condenser and evaporator were simultaneously maintained at 30°C, 35°C and 40°C. In order to evaluate the performance of the system, the refrigerant mass flow rate, refrigerant temperature and pressure measurements at various points of the refrigeration circuit were conducted. Using the measurement data, energy analyses of the system components were performed. Consequently, various performance parameters such as the refrigeration capacity, compressor power, condenser heat rejection rate and coefficient of performance (COP) were determined as functions of the compressor speed and entering air stream temperatures. Then, the results were comparatively presented for both expansion devices. It was found that the refrigeration capacity increased but COP decreased with rising compressor speed and entering air stream temperatures for both expansion devices. As averages of all tests, the system with TEV yielded 12.7% higher cooling capacity but 2.4% lower COP relative to the system with OT.

## 1. Giriş

Kloroflorokarbon (CFC) grubundan bir soğutucu akışkan olan R12'nin geliştirildiği 1930'lu yıllardan bu

yana taşıt iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır [1]. CFC grubu soğutucu akışkanların atmosfere kaçması durumunda bunlar içinde yer alan Klor atomunun CFC molekülünden ayrılarak Ozon ile reaksiyona girmesi ve atmosferin stratosfer tabakasında yer alan Ozonu tüketmesi nedeniyle CFC grubu soğutucu akışkanların kullanımı

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): mhoso@kocaeli.edu.tr



Montreal Protokolü ile sınırlandırılmıştır [2]. Bunun sonucu olarak 1994 yılından itibaren yeni üretilen araçlarda R12 yerine Ozon tüketme potansiyeli (ODP) bulunmayan ve Hidroflorokarbon (HFC) grubundan bir soğutucu akışkan olan R134a kullanılmaya başlanmıştır [3]. Ancak R134a'nın global ısıtma potansiyeli (GWP) 1430 olduğundan, Avrupa Birliği ülkelerinde üretilen yeni araçlarda kullanımı 2017 yılından itibaren sınırlandırılmıştır [4]. R134a yerine geliştirilen ve Hidrofloroolefin (HFO) grubundan bir soğutucu akışkan olan R1234yf ise 4 gibi düşük bir GWP değerine sahip olmasına rağmen günümüz itibarıyla R134a'ya göre yaklaşık 22 kat daha pahalı olup soğutma kapasitesi ve soğutma tesir katsayısının (STK) R134a'dan daha düşüktür [5].

Taşıt iklimlendirme sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda, genişleme elemanı olarak genellikle termostatik genişleme valfi (TGV) kullanıldığı görülmekte olup literatürde bu amaçla orifis tüp (OT) kullanılan az sayıda çalışma mevcuttur. Alkan ve Hoşöz, genişleme elemanı olarak OT bulunduran bir otomobil iklimlendirme sisteminde sabit ve değişken devirli kompresör kullanarak sistemin enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir [6]. Kompresör devrinin artması ile soğutma kapasitesinin ve çevrimde yok edilen toplam ekserjinin arttığını, STK'nın ise azaldığını belirlemişlerdir. Lee and Yoo, bir otomobil klima sisteminin tüm elemanlarının farklı çalışma şartları altındaki deneysel performanslarını araştırmışlardır [7]. Deney sonuçlarını kullanarak performansı belirleyen ampirik denklemler geliştirmişler ve buharlaştırıcı ile yoğuşturucu simülasyonu yapan bir bilgisayar programı hazırlamışlardır. Ayrıca, yoğuşturucu boyutları ve soğutucu akışkan miktarının performansa etkisini incelemişlerdir. Esen ve Hoşöz, genişleme elemanı olarak TGV kullanan deneysel bir otomobil iklimlendirme sisteminin performansını R12 ve R134a soğutucu akışkanları için test etmişlerdir [8]. R134a'lı sistemin soğutma kapasitesi ve STK değerlerinin R12'li sistemden daha düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Brown ve ark., bir otomobil iklimlendirme sisteminde soğutucu akışkan olarak CO<sub>2</sub> ve R134a kullanılması durumlarında soğutma çevriminin yarı teorik modelini oluşturarak sistem performansını araştırmışlardır [9]. R134a soğutucu akışkanının CO<sub>2</sub> soğutucu akışkanından daha yüksek STK değerleri verdiğini ve STK değerinin kompresör devri ile ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir. Kaynaklı ve Horuz, R134a'lı bir otomobil iklimlendirme sisteminin performansının dış ortam sıcaklığı, buharlaşma sıcaklığı ve yoğuşma sıcaklığı ile kompresör devrine bağlı olarak değişimini deneysel olarak incelemişlerdir [10]. Ratts ve Brown, R134a'lı bir otomobil iklimlendirme sisteminin soğutma devresindeki her bir bileşende meydana gelen kayıpları sisteme şarj edilen soğutucu

akışkan miktarının fonksiyonu olarak tanımlamış ve hesaplamışlardır [11]. Kayıpların büyük oranda kompresör ve yoğuşturucuda meydana geldiğini ve sisteme şarj edilen soğutucu akışkan miktarının azalmasıyla kayıpların da azaldığını tespit etmişlerdir. Alkan ve Hosoz, genişleme elemanı olarak TGV bulunduran, değişken ve sabit kapasiteli iki ayrı kompresör kullanabilen R134a'lı deneysel bir otomobil iklimlendirme sisteminin performans analizini gerçekleştirmişlerdir [12]. Deneyler sonucunda, değişken kapasiteli kompresör kullanan sistemin soğutma kapasitesinin daha düşük olmasına rağmen sabit kapasiteli kompresör kullanılan sisteme göre daha yüksek STK değerleri verdiğini belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar, değişken kapasiteli kompresöre sahip R134a'lı bir otomobil iklimlendirme sisteminde genişleme elemanı olarak TGV ve OT kullanarak farklı kompresör hızlarında ve dış ortam sıcaklıklarında sistem performansını belirlemişlerdir [13]. Deneyler sonucunda, her iki tip genişleme elemanı için kompresör devrinin artmasıyla soğutma kapasitesinin arttığını ve STK değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, yoğuşturucuya giren hava sıcaklığının artmasıyla soğutma kapasitesi ve STK değerleri düşerken buharlaştırıcıya giren hava sıcaklığının artmasıyla bunların da arttığını tespit etmişlerdir. TGV kullanan sistemin soğutma kapasitesi ve STK değerlerinin OT kullanan sisteme göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Preissner ve ark., laboratuvar ortamında kurdukları R134a'lı otomobil iklimlendirme sistemine, performansı arttırmak amacıyla emme ve sıvı hatları arasında çalışan bir iç ısı değiştirici ekleyerek ısı değiştirici kullanılan ve kullanılmayan iki sistemin performansını araştırmışlardır [14]. Isı değiştiricisinin kullanıldığı sistemde soğutma kapasitesi ve STK değerlerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Li ve ark., step motor ile çalışan bir elektronik genişleme valfinin otomobil iklimlendirme sisteminde kullanılmasının sistem performansına etkisini incelemişlerdir [15]. Elektronik genişleme valfi kullanan sistemde buharlaştırıcı çıkış sıcaklığının yaklaşık 3°C daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Kocatürk ve Salman, R134a'lı bir otomobil iklimlendirme sistemi deney düzeneği kurarak sistemin performansını yoğuşturucu fanının hızına ve dış çevre şartlarına bağlı olarak incelemişlerdir [16]. Yoğuşturucu fan hızı arttıkça sistemin STK değerlerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Lee ve Jung, bir otomobil iklimlendirme sisteminde R1234yf ve R134a soğutucu akışkanlarının deneysel performans analizini gerçekleştirmişlerdir [17]. Deney sonuçlarına göre, R1234yf'li sistemin STK ve soğutma kapasitesinin R134a'lı sisteme göre sırasıyla %2.7 ve %4 daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Daviran ve ark., TGV kullanan bir otomobil iklimlendirme sisteminin R1234yf ve R134a soğutucu akışkanları için bilgisayar ortamında bir

simülasyon modelini geliştirmişlerdir [18]. Sistemi sabit debide çalıştırdıklarında, R1234yf'li sistemin STK değerlerinin R134'lı sisteme göre yaklaşık %18 daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Sistemi sabit soğutma kapasitesinde çalıştırdıklarında ise R1234yf'li sistemde soğutucu akışkan debisinin R134a'lı sisteme göre yaklaşık %27 daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Direk ve ark., deneysel bir otomobil iklimlendirme sistemine bir iç ısı değiştirici ekleyerek R134a ve R1234yf soğutucu akışkanları için sistemin performansını araştırmışlardır [19]. Sistemde iç ısı değiştirici kullanılmaması durumunda, R1234yf'li sistemin soğutma kapasitesi ve STK değerlerinin R134a'lı sisteme göre ortalama olarak sırasıyla %17.1 ve %12.4 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Sistemde iç ısı değiştirici kullanılması durumunda ise R1234yf'li sistemin soğutma kapasitesi ve STK değerlerinin R134a'lı sisteme göre ortalama olarak sırasıyla %7.9 ve %4.1 daha düşük olduğunu belirlemişler ve iç ısı değiştirici sayesinde performansın önemli ölçüde iyileştiğini tespit etmişlerdir. Sieres ve Santos, düşük kapasiteli deneysel bir iklimlendirme sisteminde R1234yf ve R134a soğutucu akışkanlarını farklı kompresör devirleri, buharlaşma sıcaklıkları ve yoğuşma sıcaklıklarında test etmişlerdir [20]. Enerji verimliliği ve soğutma kapasitesi bakımından iki soğutucu akışkanı kıyasladıklarında, performanslarının birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Meng ve ark., deneysel bir otomobil iklimlendirme sisteminde R134a akışkanına alternatif olarak kütlece 89:11 oranında R1234yf/R134a karışımını farklı kompresör devirlerinde ve ortam şartlarında test etmişlerdir [21]. Deneyler sonucunda, R1234yf/R134a karışımının R134a soğutucu akışkanına çok yakın soğutma kapasitesi ve STK değerleri verdiğini gözlemlemişlerdir. R134a'ya göre daha çevre dostu olan bu karışımın iyi bir R134a alternatifi olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Aral ve ark., soğutucu akışkan olarak R134a ve R1234yf kullanabilen, genleşme elemanı olarak TGV içeren deneysel bir otomobil iklimlendirme/ısı pompası sistemi geliştirerek sistem performansını yaz ve kış çalışma modları için belirlemişlerdir [22]. Yaz modunda, R1234yf'li sistemin R134a'lı sisteme göre ortalama olarak %5.8 daha düşük soğutma kapasitesi ve %11.9 daha düşük STK değerleri verdiğini tespit etmişlerdir. Devcioğlu ve ark., R134a'lı deneysel bir soğutma sisteminde düşük GWP değerine sahip R1234yf ve R1234ze(E) akışkanlarının performanslarını test edilmişlerdir [23]. GWP değeri düşük olan akışkanlardan daha iyi performans elde edebilmek amacıyla sisteme bir iç ısı değiştiricisi eklenmişlerdir. R1234ze(E)'li sistem R1234yf'li sisteme göre daha düşük soğutma kapasitesi ve enerji tüketimi sağlamış, ancak daha yüksek bir STK değeri vermiştir. İç ısı değiştiricisi kullanan R1234ze(E)'li sistem, iç ısı değiştiricisi kullanmayan R134a'lı sisteme göre %3 daha

iyi STK değeri vermiştir. Andrızal ve ark., R134a akışkanı ve genleşme elemanı olarak OT kullanan bir otomobil iklimlendirme deney sisteminin performans analizini yapmışlardır [24]. ADDIE model geliştirme yöntemi ile bir simülasyon oluşturarak gerçek değerlerle simülasyon modelini kıyaslamışlardır. Deney sonuçlarına göre geliştirilen simülasyon modelinin STK değerinin 4.88 olduğunu ve deneysel sistemin sonuçlarının %93 oranında bu değere yaklaştığı gözlemişlerdir. Rajendran ve ark., deneysel bir otomobil iklimlendirme sistemine bir iç ısı değiştiricisi eklemiş ve R134a akışkanı kullanarak iki farklı TGV ayarında performans değerlendirmesi yapmışlardır [25]. Deneyler sonucunda, ısı değiştiricisi eklenen sistemde TGV orijinal ayarında kullanıldığında, STK değeri %2.8 artmıştır. Aynı sistem, TGV'nin yeni bir kızgınlık ayarına göre düzenlendiğinde ise soğutma kapasitesi ve STK değerleri sırasıyla % 6.7 ve % 16.2 artmıştır.

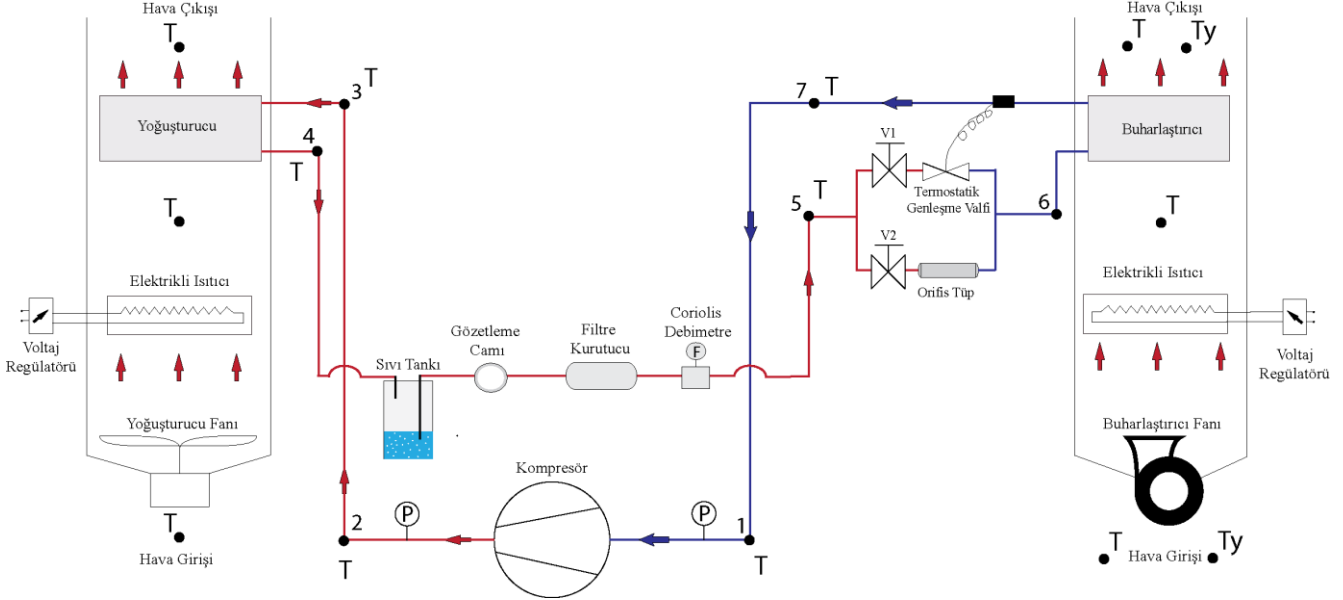
Literatür araştırmasında görüldüğü gibi, taşıt iklimlendirme sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda genleşme elemanı olarak genellikle TGV kullanılmış olup OT kullanan çalışmalar çok nadirdir. Bu çalışmalarda, sistemde değişken kapasiteli kompresör kullanıldığı anlaşılmaktadır. Sunulan çalışmada ise, genleşme elemanı olarak OT ve TGV kullanan sabit kapasiteli kompresöre sahip deneysel bir otomobil iklimlendirme sisteminin soğutucu akışkan debisi, buharlaşma sıcaklığı, soğutma kapasitesi, yoğuşturucuda atılan ısı, kompresör gücü, STK ve kompresör çıkış sıcaklığı gibi performans parametreleri, kompresör devrine ve buharlaştırıcı ile yoğuşturucuya giren hava akımlarının sıcaklıklarına bağlı olarak geniş bir test aralığında belirlenmiş ve her iki tip genleşme elemanı için grafikler ile sunulmuştur.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada, aynı taşıt iklimlendirme sisteminin TGV ve OT kullanması durumlarındaki çeşitli performans parametrelerini karşılaştırmak amacıyla bir otomobil iklimlendirme sisteminin parçaları laboratuvar ortamında bakır boru hatları ile birleştirilerek deneysel bir sistem elde edilmiştir. Sistemde, içten yanmalı motor yerine üç fazlı asenkron bir elektrik motoruyla çalıştırılan eğik plakalı kompresör, lamine tip buharlaştırıcı, mikro kanallı paralel akımlı yoğuşturucu, sıvı tankı, filtre/kurutucu, gözetleme camı ve genleşme elemanı olarak hem TGV hem de OT bulunmaktadır. Sistemin şematik görünümü, Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistemin test edileceği genleşme elemanının tipine bağlı olarak TGV veya OT önündeki vanalardan biri açılarak diğeri kapalı tutulmaktadır.

Deneysel sistemde kullanılan yoğuşturucu ve buharlaştırıcı, her birinin uzunluğu yaklaşık 1 m olan hava

kanalları içine yerleştirilmiştir. Yoğuşturucu kanalı içindeki hava akımı yoğuşturucunun orijinal eksenel fanı ile sağlanırken buharlaştırıcı kanalı içindeki hava akımı orijinal santrifüj fan ile elde edilmektedir. Deneysel sistemdeki yoğuşturucu ve buharlaştırıcı fanları, deneyler esnasında maksimum devirde çalıştırılmış olup yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdaki ortalama hava hızları sırasıyla 3.1 m/s ve 2.1 m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Deneysel otomobil iklimlendirme sisteminin şeması.

Soğutma çevrim bileşenlerine enerji analizi uygulayabilmek için soğutucu akışkanın tüm elemanların giriş ve çıkışındaki özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla kompresör giriş ve çıkışlarındaki soğutucu akışkan basınçları Bourdon tipi manometreler ile ölçülmüş olup kompresör ve genişleme elemanı dışındaki elemanlarda ve boru hatlarında basınç kaybı olmadığı kabul edilmiştir.

Soğutma çevriminin bütün bileşenlerinin giriş ve çıkışlarındaki soğutucu akışkan sıcaklıkları, K tipi termokupullar ile ölçülmüştür. Çevrimde dolaşan soğutucu akışkan debisi, sıvı hattına monte edilmiş Coriolis tipi debimetre ile ölçülmüştür. Kompresörün dönüş hızı, kompresör kasnağına yapıştırılmış yansıtıcı kağıttan ışığın yansması ilkesine göre çalışan fotoelektrik takometre ile ölçülmüştür.

Hava akımının yoğuşturucu hava kanalına giriş kuru termometre sıcaklığı, ısıtıcı sonrası yoğuşturucu girişindeki kuru termometre sıcaklığı ve yoğuşturucu çıkış kuru termometre sıcaklığı K tipi termokupullar ile ölçülmüştür. Hava akımının buharlaştırıcı hava kanalı girişindeki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, ısıtıcı sonrası buharlaştırıcı girişindeki kuru termometre sıcaklığı ve buharlaştırıcı çıkışındaki kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ise yine K tipi termokupullar ile ölçülmüştür. Sistemde kullanılan ölçüm cihazlarının özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Sistemin farklı hava giriş sıcaklıklarında test edilebilmesini sağlamak amacıyla yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdan önce, sırasıyla 5.6 kW ve 1.8 kW güçlerinde elektrikli ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Birer potansiyometre yardımı ile şebeke gerilimi düşürülerek, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı girişlerinde istenen hava sıcaklıkları sağlanacak şekilde bu ısıtıcılar çalıştırılabilmektedir.

Tablo 1. Ölçüm cihazlarının özellikleri.

Ölçülen Parametre	Ölçüm Cihazı	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
Sıcaklık	K tipi termokupl	-50°C/500°C	±0.5°C
Basınç	Bourdon manometre	-1/10, 0/30 bar	±0.1/0.5 bar
Kompresör devri	Fotoelektrik takometre	10/999999 d/d	±%0.1
Hava hızı	Pervaneli anemometre	0.1/15 m/s	±%3
Soğutucu akışkan debisi	Coriolis debimetre	0/350 kg/h	±%0.1

Deneysel sistemde, bütün test koşullarında optimum performansı veren 2400 g R134a soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Kompresörde ise 200 cm<sup>3</sup> PAG tipi kompresör yağı kullanılmıştır.

Testler esnasında, deneysel sistemde genişleme elemanı olarak öncelikle TGV kullanılmıştır. Kompresör devri 1000 d/d ile 2600 d/d arasında 400 d/d artışlar ile değiştirilmiştir. Her kompresör devri için hava akımlarının yoğuşturucu ve buharlaştırıcı giriş sıcaklıkları ise aynı anda 30°C, 35°C ve 40°C değerlerinde tutularak testler yapılmıştır. TGV ile testler tamamlandıktan sonra aynı

şartlar altında OT ile testler gerçekleştirilmiştir. Her genleşme elemanı tipi için 15 adet olmak üzere toplam 30 adet sürekli rejim testi yapılmıştır. Kompresör giriş ve çıkışlarındaki sıcaklık ve basınçlar 2 dakika boyunca  $\pm 1^\circ\text{C}$ 'den fazla değişmediğinde, sistemin sürekli rejime ulaştığı anlaşılmış ve ilgili test için gerekli ölçümler gerçekleştirilmiştir.

### 3. Termodinamik Analiz

Deneysel sistemin Şekil 1'de gösterilen numaralandırılmış noktalarından ölçülen soğutucu akışkan sıcaklıkları ile kompresör emme ve basma basınçları kullanılarak ilgili noktalardaki soğutucu akışkan özellikleri REFPROP 9.1 programından [26] elde edilmiştir. Her bir bileşen için enerjinin korunumu denklemi yazılarak programdan elde edilen soğutucu akışkan özellikleri bu denklemlere taşınmıştır. Enerjinin korunumu denklemlerinde tüm bileşenler için kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir. Bu durumda buharlaştırıcının soğutma kapasitesi aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{soğ}(h_7 - h_6) \quad (1)$$

Burada  $\dot{m}_{soğ}$  soğutucu akışkanın debisini,  $h_7$  ve  $h_6$  ise buharlaştırıcıdan çıkan ve buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın entalpilerini göstermektedir. Sistemde 5 ve 6 noktaları arasında TGV bulunduğu ve bu bileşendeki genleşme işleminin sabit entalpide gerçekleştiği kabul edildiğinden,  $h_6$  değeri  $h_5$ 'e eşit olarak alınmıştır.  $h_5$  entalpisi, kompresör basma hattı basıncı ile 5 noktasında ölçülen sıcaklık kullanılarak belirlenmiştir.  $h_7$  entalpisi ise 7 noktasında ölçülen sıcaklık ve kompresör emme hattı basıncı yardımı ile bulunmuştur. Çevre ile olan ısı transferinin ihmal edilmesiyle soğutucu akışkanın kompresörde absorbe ettiği güç, aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_{soğ}(h_2 - h_1) \quad (2)$$

Soğutma kapasitesinin kompresör gücüne oranı olarak tanımlanan ve sistemin enerji etkenliğini gösteren soğutma tesir katsayısı ise aşağıdaki denklemden belirlenebilir.

$$STK = \dot{Q}_{evap} / \dot{W}_{komp} \quad (3)$$

Soğutucu akışkanın yoğuşturucuda çevre havasına attığı ısı ise aşağıdaki denklemden bulunabilir.

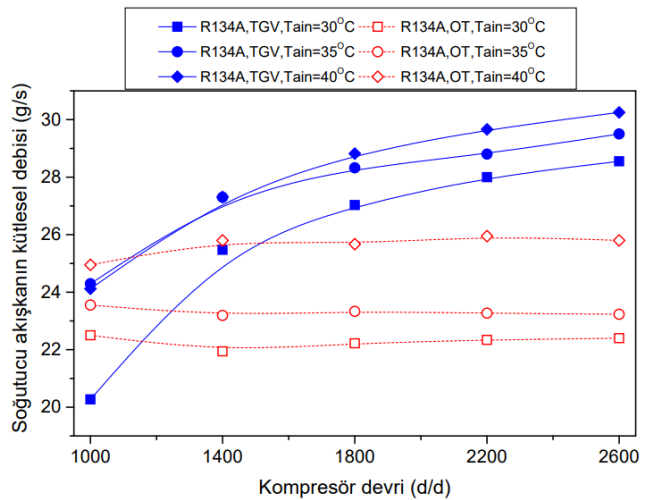
$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m}_{soğ}(h_3 - h_4) \quad (4)$$

Bu denklemdeki  $h_3$  ve  $h_4$  entalpileri, kompresör basma hattı basıncı ile 3 ve 4 noktalarından ölçülen sıcaklıklar yardımı ile belirlenmiştir.

### 4. Bulgular ve Tartışma

Deneysel otomobil iklimlendirme sisteminin OT ve TGV kullanılması durumundaki çeşitli performans parametrelerinin kompresör devri ile değişimi, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı girişindeki üç farklı hava akımı sıcaklığı için Şekil 2-9 arasında gösterilmiştir.

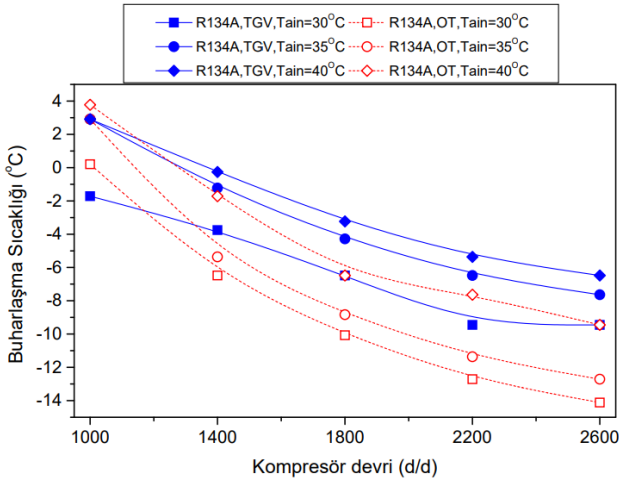
Kompresör devrine göre çevrimde dolaşan soğutucu akışkanın kütsel debisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre, kompresör devri arttıkça TGV'li sistemde debinin hızla arttığı, OT'li sistemde ise hafifçe yükseldiği görülmektedir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı girişindeki hava akımı sıcaklıkları arttıkça, her iki sistemde de debinin arttığı anlaşılmaktadır. TGV'li sistemde devir arttığında buharlaşma basıncı düşmekte ve buharlaştırıcı çıkışındaki kızgınlık artma eğilimi göstermektedir. Bu durumda TGV açılarak soğutucu akışkan debisini arttırmaktadır. OT'li sistemde ise soğutucu akışkan debisi yoğuşturucu ve buharlaştırıcı basınçları arasındaki fark ile orantılıdır. Bu basınç farkı devir ile çok az arttığından OT'li sistemde soğutucu akışkan debisi kompresör devriyle birlikte çok az yükselmektedir. Hava akımı giriş sıcaklıkları arttığında ise buharlaştırıcı çıkışındaki kızgınlığın artma eğiliminde olması nedeni ile TGV açılarak debiyi arttırmakta ve kızgınlığı normal değerine düşürmektedir. OT'li sistemde ise artan hava giriş sıcaklıkları ile birlikte yoğuşturucu ve buharlaştırıcı basınçları arasındaki fark büyüdüğü için soğutucu akışkan debisi de yükselmektedir. Bütün devirlerdeki ve hava giriş sıcaklıklarındaki testlerin ortalaması olarak TGV kullanan sistemin OT kullanan sisteme göre %14.5 daha büyük soğutucu akışkan debisi ile çalıştığı anlaşılmaktadır.



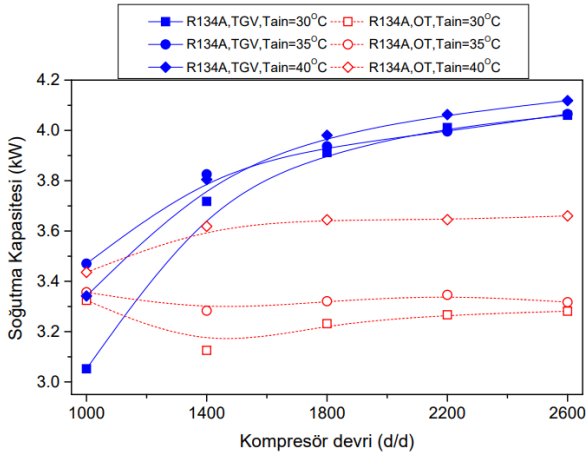
Şekil 2. Soğutucu akışkan debisinin kompresör devri ile değişimi.



Buharlaştırma sıcaklığının kompresör devri ile değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Kompresör devri ile birlikte TGV'li sistemde buharlaştırma sıcaklığının azaldığı, ancak OT'li sistemde daha fazla azaldığı görülmektedir. Yoğuşurucu ve buharlaştırıcı girişindeki hava akımı sıcaklıkları arttıkça her iki sistemde de buharlaştırma sıcaklığının yükseldiği görülmektedir. Kompresör devrinin artmasına bağlı olarak buharlaştırma basıncı düşmekte, yoğuşma basıncı ise artmaktadır. Buharlaştırma sıcaklığı da buharlaştırma basıncı ile birlikte düşmektedir. Artan kompresör devri ile birlikte buharlaştırıcı çıkışındaki kızgınlık her iki sistemde de artma eğilimindedir. Bu durumda TGV açılarak debiyi arttırmakta ancak OT'li sistemin debiye önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Artan debinin sonucu olarak TGV'li sistemde buharlaştırma sıcaklığının devirle azalması, OT'li sistem kadar büyük değerlerde olmamaktadır. OT'li sistemde en düşük ve en yüksek buharlaştırma sıcaklıkları sırayla,  $-14.1^{\circ}\text{C}$  ve  $3.8^{\circ}\text{C}$ 'dir. TGV'li sistemde ise en düşük ve en yüksek buharlaştırma sıcaklıkları sırayla,  $-9.4^{\circ}\text{C}$  ve  $2.9^{\circ}\text{C}$ 'dir. TGV ve OT'li sistemde buharlaştırma sıcaklıklarının ortalaması ise sırasıyla,  $-4.0^{\circ}\text{C}$  ve  $-6.7^{\circ}\text{C}$ 'dir.



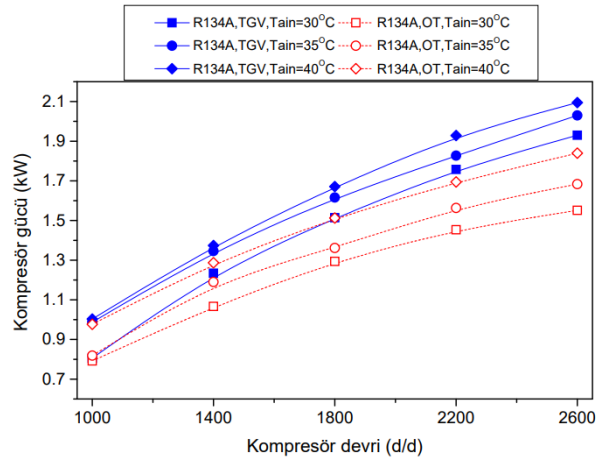
Şekil 3. Buharlaştırma sıcaklığının kompresör devri ile değişimi.



Şekil 4. Soğutma kapasitesinin kompresör devri ile değişimi.

Soğutma kapasitesinin kompresör devri ile değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Soğutma kapasitesi, büyük oranda çevrimde dolaşan soğutucu akışkan debisine bağlıdır. Şekil 2'de görüldüğü gibi TGV'li sistemde soğutucu akışkan debisi kompresör devri ile hızla artarken OT'li sistemde debi, devir ile çok az artmaktadır. Bu nedenle, TGV'li sistemde soğutma kapasitesinin devirle büyük oranda arttığı ancak OT'li sistemde hafif bir artış olduğu görülmektedir. Yoğuşurucu ve buharlaştırıcı girişindeki hava akımı sıcaklıkları arttıkça her iki sistemde de soğutma kapasitesinin arttığı görülmektedir. Buharlaştırıcıya giren hava akımı sıcaklığı arttıkça buharlaşan soğutucu akışkan daha çok ısı çekerek soğutma kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Bütün devirlerdeki ve hava giriş sıcaklıklarındaki testlerin ortalaması olarak TGV kullanan sistem OT kullanan sisteme göre %12.7 daha büyük soğutma kapasitesi sağlamaktadır.

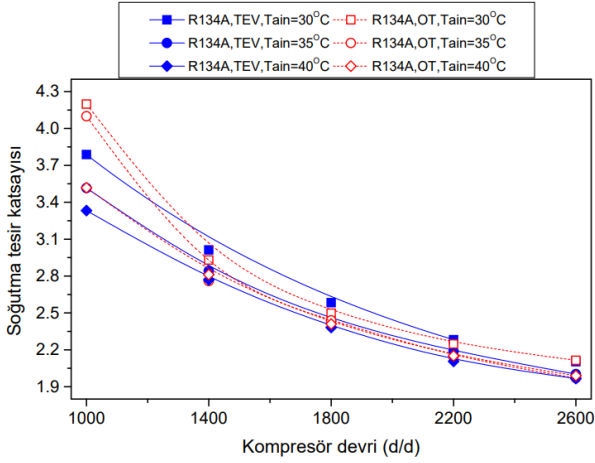
Kompresörde soğutucu akışkanın absorbe ettiği gücün kompresör devri ile değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir. Kompresör gücü, çevrimde dolaşan soğutucu akışkan debisinin ve kompresördeki basınçlar oranının fonksiyonu olarak değişir. Devir arttıkça soğutucu akışkan debisi ve kompresör basınçlar oranı yükseldiğinden, her iki genişleme elemanı için kompresör gücünün de arttığı görülmektedir. Ayrıca buharlaştırıcı ve yoğuşurucuya giren hava akımlarının sıcaklıkları arttıkça soğutucu akışkan debisi artmakta ve bunun sonucunda kompresör gücü de yükselmektedir. Bütün devirlerdeki ve hava giriş sıcaklıklarındaki testlerin ortalaması olarak TGV kullanan sistem OT kullanan sisteme göre %15.1 daha büyük kompresör gücü kullandığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Kompresör gücünün kompresör devri ile değişimi.

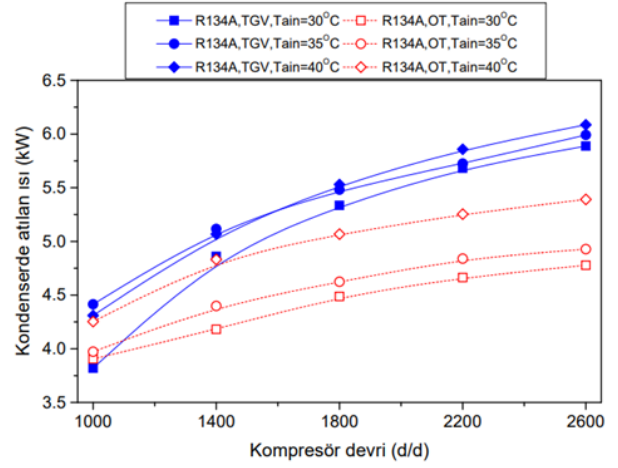
Soğutma tesir katsayısının kompresör devri ile değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Kompresör devri arttıkça kompresör gücü ve soğutma kapasitesi, her iki tip genişleme elemanı için de artmaktadır. Ancak kompresör gücündeki artış soğutma kapasitesindeki artıştan daha büyük oranda olduğu için STK, artan kompresör devri ile düşmektedir.

Yoğuşturucu ve buharlaştırıcıya giren hava akımlarının sıcaklıkları birlikte artırıldığında, STK'nın her iki genişleme elemanı durumunda da düştüğü görülmektedir. Yoğuşturucuya gelen dış hava sıcaklığı arttıkça STK'nın azaldığı, buharlaştırıcıya gelen dış hava sıcaklığının arttıkça STK'nın yükseldiği bilinmektedir. Hava akımlarının giriş sıcaklıkları aynı anda artırıldığında ise yoğuşturucu giriş sıcaklığının STK'yı düşürme yönündeki etkisi, buharlaştırıcı giriş sıcaklığının artırma yönündeki etkisini yenmekte ve STK, artan hava akımı giriş sıcaklıkları ile birlikte düşmektedir. Bütün devirlerdeki ve hava giriş sıcaklıklarındaki testlerin ortalaması olarak TGV kullanan sistemin OT kullanan sisteme göre %2.4 daha düşük STK değerleri verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, TGV'li sistemin enerji kullanım etkenliğinin, OT'li sistem kadar yüksek olmadığı anlaşılmaktadır.



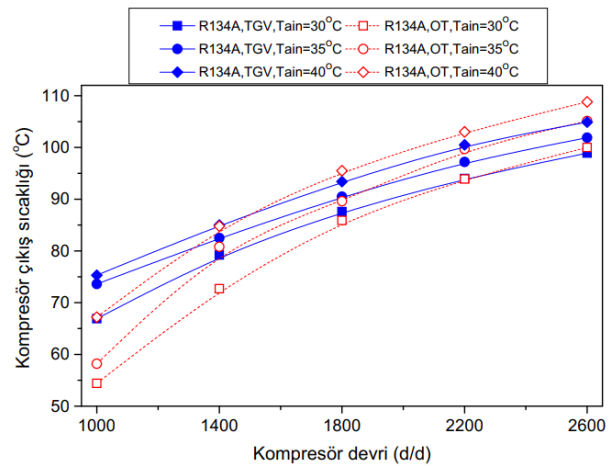
Şekil 6. STK'nın kompresör devri ile değişimi.

Yoğuşturucuda atılan ısının kompresör devri ile değişimi Şekil 7'de gösterilmektedir. Yoğuşturucudan atılan ısı, kompresör gücü ile soğutma kapasitesinin toplamından oluşmaktadır. Kompresör gücü ve soğutma kapasitesi, her iki genişleme elemanı için kompresör devri ile birlikte yükselmektedir. Ancak TGV'li sistemde soğutma kapasitesinin devir ile artışı OT'li sisteme göre daha fazla olmaktadır. Bu durumda yoğuşturucuda atılan ısı, her iki sistemde kompresör devri ile birlikte artmakta, ancak bu artış TGV'li sistemde daha büyük oranda gerçekleşmektedir. Hava akımlarının buharlaştırıcı ve yoğuşturucu girişindeki sıcaklıkları arttıkça hem soğutma kapasitesi hem de kompresör gücü arttığından, yoğuşturucuda atılan ısı da artmaktadır. Bütün devirlerdeki ve hava giriş sıcaklıklarındaki testlerin ortalaması olarak TGV kullanan sistem OT kullanan sisteme göre %13.7 daha büyük yoğuşturucu ısı atımı değerleri vermektedir.



Şekil 7. Yoğuşturucuda atılan ısının kompresör devri ile değişimi.

Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığının kompresör devri ile değişimi, Şekil 8'de gösterilmiştir. Kompresör çıkış sıcaklığı arttıkça kompresör yağı özelliğini kaybedebilmekte ve kompresör ömrü kısalmaktadır. Düşük kompresör çıkış sıcaklıkları ise ihtiyaç duyulan yoğuşturucu ısı transferi alanında artışa neden olmakta ve büyüyen yoğuşturucu nedeni ile iklimlendirme sisteminin ağırlığının artmasına yol açmaktadır. Kompresör devri arttıkça kompresörden çıkan soğutucu akışkanın basıncı ve kompresörde soğutucu akışkana verilen güç arttığı için soğutucu akışkanın kompresör çıkışındaki sıcaklığı da artmaktadır. TGV'li sistemde en düşük ve en yüksek kompresör çıkış sıcaklığı sırasıyla, 66.9°C ve 104.9°C'dir. OT'li sistemde ise en düşük ve en yüksek kompresör çıkış sıcaklığı sırasıyla, 54.4°C ve 108.8°C'dir. TGV ve OT'li sistemde kompresör çıkış sıcaklıkları ortalaması ise sırasıyla, 88.8°C ve 86.6°C'dir.



Şekil 8. Kompresör çıkış sıcaklığının kompresör devri ile değişimi.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, genleşme elemanı olarak TGV ve OT kullanan deneysel bir otomobil iklimlendirme sistemi, üç farklı yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı hava akımı giriş sıcaklığı için kompresör devri değiştirilerek sürekli rejimde test edilmiştir. Deneysel sonuçları yardımıyla deneysel sistemin bileşenlerine enerjinin korunumu denklemi uygulanarak sistemin çeşitli performans parametreleri genleşme elemanı tipine bağlı olarak elde edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- TGV kullanan sistem, OT kullanan sistemden ortalama %14.5 daha yüksek soğutucu akışkan debisi ile çalışmaktadır.
- Deneysel sistemde TGV ve OT kullanılması durumları için ortalama buharlaşma sıcaklıkları, sırasıyla -4.0°C ve -6.7°C olmaktadır.
- TGV kullanımı, OT kullanımına göre ortalama %12.7 daha büyük soğutma kapasitesine yol açmaktadır.
- TGV kullanan sistemde kompresör gücü, OT kullanan sisteme göre ortalama %15.1 daha büyüktür.
- TGV kullanan deneysel sistemin soğutma tesir katsayısı, OT kullanımına göre %2.4 daha düşük olmaktadır.
- TGV kullanımı, OT kullanımına göre %13.7 daha büyük yoğunlaştırıcı ısı atımına neden olmaktadır.
- TGV ve OT kullanılması durumları için soğutucu akışkanın kompresör çıkış sıcaklıkları, ortalama olarak sırasıyla 88.8°C ve 86.6°C'dir.

Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere, sabit kapasiteli kompresör kullanan bir otomobil iklimlendirme sisteminde genleşme elemanı olarak TGV yerine OT kullanıldığında, soğutma kapasitesinde azalma olmakta ancak STK arttığından sistemin enerji kullanım etkinliği yükselmektedir. Gelecek çalışmalarda, R134a yerine geliştirilen R1234yf soğutucu akışkanının kullanıldığı sistemlerde TGV yerine OT kullanımının performansa etkisi araştırılabilir.

## Kaynaklar

- [1] Bhatti M.S., 1999. Evaluation of automotive air conditioning, riding in comfort: Part II. ASHRAE Journal, 41, 44–50.
- [2] UNEP, 1987. Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer, final act. United Nations Environment Programme. <https://www.unenvironment.org/resources/report/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer-final-act>.

- [3] Kuijpers L., 1994. Retrofitting with non-CFC substitutes. United Nations Environment Programme Report.
- [4] EU, 2014. Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006. Official Journal of European Union, L 150/195.
- [5] Zilio C., Brown J.S., Schiochet G., Cavallini A., 2011. The refrigerant R1234yf in air conditioning systems. Energy, 36, 6110–6120.
- [6] Alkan A., Hoşöz M., 2009. Orifis tüp kullanan bir otomobil klimasının sabit ve değişken kapasiteli kompresörler için deneysel performansı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25, 415–421.
- [7] Lee G.H., Yoo J.Y., 2000. Performance analysis and simulation of automobile air conditioning system, International Journal of Refrigeration, 23, 243–254.
- [8] Esen D.O., Hoşöz M., 2005. R12 ve R134a soğutucu akışkanlarının ve kompresör devrinin otomobil klimalarının performansına etkisinin deneysel analizi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 90, 62–68.
- [9] Brown J.S., Yana-Motta S.F., Domanski P.A., 2002. Comparative analysis of an automotive air conditioning systems operating with CO<sub>2</sub> and R134a. International Journal of Refrigeration, 25, 19–32.
- [10] Kaynaklı Ö., Horuz I., 2003. An experimental analysis of automotive air conditioning system. International Communications in Heat and Mass Transfer, 30, 273–284.
- [11] Ratts E.B., Brown J.S., 2000. An experimental analysis of the effect of refrigerant charge level on an automotive refrigeration system. International Journal of Thermal Science, 39, 592–604.
- [12] Alkan A., Hosoz M., 2010. Comparative performance of an automotive air conditioning system using fixed and variable capacity compressors. International Journal of Refrigeration, 33, 487–495.
- [13] Alkan A., Hosoz M., 2010. Experimental performance of an automobile air conditioning system using a variable capacity compressor for two different types of expansion devices, International Journal of Vehicle Design, 52, 160–176.
- [14] Preissner M., Cutler B., Radermacher R., Zhang C. A., 2000. Suction line heat exchanger for R134a automotive air-conditioning system. International Refrigeration and Air Conditioning Conference,

- Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 25-28 Temmuz, 289–294.
- [15] Li X., Chen J., Chen Z., Liu W., Hu W., Liu X., 2004. A new method for controlling refrigerant flow in automobile air conditioning. *Applied Thermal Engineering*, 24, 1073–1085.
- [16] Kocatürk M., Salman M.S., 2006. Otomobil klima sisteminde fan devri ve giriş havası sıcaklığının performansa etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 9, 7–12.
- [17] Lee Y., Jung D., 2011. A brief performance comparison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications. *Applied Thermal Engineering*, 35, 240–242.
- [18] Daviran S., Kasaeian A., Golzari S., Mahian O., Nasirivatan S., Wongwises S., 2016. A comparative study on the performance of HFO-1234yf and HFC-134a as an alternative in automotive air conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1091–1100.
- [19] Direk M., Kelesoglu, Akin A., 2017. Drop-in performance analysis and effect of IHX for an automotive air conditioning system with R1234yf as a replacement of R134a. *Journal of Mechanical Engineering*, 63, 314–319.
- [20] Sieres J., Santos J. M., 2018. Experimental analysis of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a small power refrigerating system. *International Journal of Refrigeration*, 91, 230–238.
- [21] Meng Z., Zhang H., Lei M., Qin Y., Qiu J., 2018. Performance of low GWP R1234yf/R134a mixture as a replacement for R134a in automotive air conditioning systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 362–370.
- [22] Aral M.C., Suhermanto M., Hosoz M., 2020. Performance evaluation of an automotive air conditioning and heat pump system using R1234yf and R134a. *Science and Technology for the Built Environment*, 0, 1–17.
- [23] Devecioğlu A.G., Oruç V., 2018. Improvement on the energy performance of a refrigeration system adapting a plate-type heat exchanger and low-GWP refrigerants as alternatives to R134a. *Energy*, 155, 105–116.
- [24] Andrızal A., Saputra H.D., Setiawan D., Setiawan M.Y., 2020. Design and manufacture of orifice tube car air conditioning system simulator with R134a cooling fluid. *Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 2, 21–30.
- [25] Rajendran P., Narayanaswamy G.R., Dhasan M.L., 2019. Tuning thermostatic expansion valve for implementing suction line heat exchanger in mobile air conditioning system. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41, 1–15.
- [26] Lemmon E.W., Huber M.L., McLinden M. O., 2013. Reference fluid thermodynamic and transport properties (REFPROP), Version 9.1, in NIST standard reference database 23. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.



## Optimum Çekirdek Çapını Elde Etmek İçin Elektrik Direnç Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu

### Optimization of Electric Resistance Welding Parameters by Taguchi Method to Achieve Optimum Nugget Size

Ali SABIRLI<sup>1,\*</sup> Alpaslan FIĞLALI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4215-1467

<sup>2</sup> Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8364-3313

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 25/06/2020

Kabul Tarihi : 28/12/2020

#### Anahtar Kelimeler

Deney Tasarımı  
Taguchi Yöntemi  
Elektrik Direnç Kaynağı  
Çekirdek Çapı

#### Özet

Otomotiv sektöründe kaporta birleştirme işleminde elektrik direnç (punta) kaynağı yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulanan kaynak parametreleri aracın kalitesini doğrudan etkilemektedir. Kaynak parametrelerinin uygun olmaması; yüksek çevrim süresine, istenilmeyen çapakların oluşmasına, kaynak noktalarının kopmasına, enerji ve maliyetlerin artmasına sebep olabilmektedir.

Kaynak parametrelerinin her değerinin kalite üzerine etkisini araştırmak ve deneyleri uygulamak uzun zaman ve uğraş almaktadır ve maliyetli olmaktadır. Daha az deney ile istenilen parametre değerlerini elde etmek için deney tasarımı yöntemleri kullanılabilir.

Bu makalede Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak kaynak kalitesinin ve kaynak kopmalarının bir ölçütü olan çekirdek çapı için uygulanması gereken optimum parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

#### Research Paper

Received Date : 25/06/2020

Accepted Date : 28/12/2020

#### Keywords

Experimental Design  
Taguchi Method  
Electric Resistance Welding  
Nugget Size

#### Abstract

Electric resistance (spot) welding is used extensively in the automotive industry for body assembly process. Applied welding parameters directly affect the quality of the car. If the welding parameters are not applied appropriately, it can cause high cycle time, unwanted burrs, separation and deformation of welding points and increased energy and costs.

Investigation and applying the experiments of effect each value of the welding parameters on quality takes a long time, effort and cost. Experiment design methods can be used to obtain the desired parameter values with fewer experiments.

In this article, it was aimed to determine the optimum welding parameters that should be applied for the nugget size, which is a measure of welding quality and welding separation, by using the Taguchi experiment design method.

## 1. Giriş

Deney tasarımı metotları günümüzde farklı alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle çok fazla sayıda deney yapılmasının önüne geçerek maliyetin azaltılmasına ve çok fazla zaman harcamadan gerekli iyileştirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Deney tasarımı metotları, sisteme ait giriş parametrelerindeki değişikliklerin, sistem çıktılarına nasıl

etkilediğinin sentezinin yapılmasını sağlayarak, sisteme en uygun giriş parametrelerinin seçilmesini sağlayan istatistiksel metotlardır. [1]

Otomotiv sektöründe sac parçalarının birleştirilmesi işleminde kaynak metotları etkin olarak kullanılmaktadır. En çok kullanılan kaynak yöntemlerinin başında ise elektrik direnç kaynağı gelmektedir.

Uzun yıllardır, hafif çelik gövde yapılarının birleştirilmesi direnç nokta kaynağı (RSW) kullanılarak yapılmıştır. Mekanik sabitleme ve perçinleme gibi diğer yöntemlerin aksine, direnç nokta kaynağının işlemi hızlı,

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): [alisabirli41@gmail.com](mailto:alisabirli41@gmail.com)



esnek ve bakımı kolaydır. Ayrıca, otomotiv endüstrisindeki kullanımı köklü geçmişe dayanmaktadır. Dolayısıyla alüminyum sac parçaların birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynağı kullanılması güçlü bir tercihtir.

Bir otomobilde ortalama 4000'den fazla punta kaynak bulunmaktadır. Bu kaynak noktalarının her biri otomobilin kalitesini etkilemektedir. Dolayısıyla her kaynak noktasının maksimum düzeyde kaliteli olması ve kopmaması istenmektedir. Otomotiv sektöründe her bir kaynak noktası periyodik olarak kontrol edilmekte ve problem görülen noktaların iyileştirilmesi yapılmaktadır.

Kaynak noktalarının kopmaması hedeflenirken, aynı zamanda çapaklı ve deformasyonlu kaynak noktalarının da olmamasına özen gösterilmelidir. Özellikle çapaklı kaynak noktaları araçta çizikler oluşturabilir ve yangın çıkmasına sebep olabilir. Dolayısıyla kaynak yapılacak noktaya en uygun parametrelerin seçilmesi önemlidir.

Kaynak kalitesini belirleyen en önemli unsurlardan biri de kaynak çekirdek çapıdır. Çekirdek çapının istenilenden küçük bir değerde olması yapılan kaynağın kalitesiz olduğu anlamına gelmektedir. Otomotiv sektöründe her kaynak noktasının çekirdek çapı aynı şekilde periyodik olarak ölçülmektedir.

Kaliteli kaynak, doğru kaynak parametrelerinin uygulanmasıyla elde edilir. Bu parametrelerin seçimi sac kalınlığına, kaç sacın birleştirildiğine, malzemenin özelliğine göre süreçte değişiklik gösterebilir. Elektrik direnç kaynak kalitesini etkileyen diğer bazı faktörler uygulanan akım değeri ve süresi, uygulanan basınç, kullanılan elektrodun çapı, malzemesi ve yapısı, elektrod tıraşlama ve değişim zamanı, kaynak noktasının pozisyonu, kaynatılan sacların temizliği, sacların doğru birleşimi gibi sıralanabilir.

Bu çalışma Taguchi metodu kullanarak, otomotiv sektöründe en çok kullanılan elektrik direnç kaynak yönteminde en doğru kaynak parametrelerinin seçimi ile istenilen çekirdek çapını elde etmeye yönelik yapılan bir çalışmadır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Deney tasarımı, çeşitli faktörler (değişkenler) ve bunlara verilen cevaplar arasındaki ilişkiyi bulmak anlamına gelmektedir. [2]

Deney hatalarını en aza indirmek deney tasarımının ana amaçlarından bir tanesidir. Genel olarak deney tasarımı en az kaynak, süre ve maliyet ile en iyi ve doğru verileri toplamayı amaçlar. [3]

Deney tasarımının uygulama aşamaları genel olarak 7 madde ile özetlenebilir.

- 1) Problemin Belirlenmesi ve tanımlanması
- 2) Sistemi Etkileyen Faktörler ve Düzeylerin Belirlenmesi
- 3) Deney Düzeninin Seçilmesi
- 4) Verilerin Toplanması ve Deneylerin Gerçekleştirilmesi
- 5) Verilerin Analizi
- 6) Sonuçların Analizi
- 7) Doğrulama Deneylerinin Uygulanması

Deney tasarım metodları, tam faktöriyel ve kesirli faktöriyel olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

Tam faktöriyel tasarımlar, faktörlerin birbirleriyle etkileştiği olası tüm kombinasyonları dikkate alır. Başka bir deyişle, farklı seviyelere sahip birden fazla faktör olduğunda, parametrelerin etkileşimlerini araştırmak için her faktörü ve bunların değerini birbiriyle kesen deney tasarımlarıdır.

Tam faktöriyel tasarımların aksine, kesirli faktöriyel deney tasarımları tüm muhtemel kombinasyonların alt kümesinden oluşmaktadır. Bu alt küme, faktörler arasındaki etkileşimin ön bilgisi kullanılarak belirlenir. Bu şekilde tüm kombinasyonlar yerine, gerekli olmayan deneylerin yapılmaması harcanacak çaba ve zamanı azaltmaktadır.

Kesirli faktöriyel deney tasarımına ait bir metod olan Taguchi metodu, kalite sağlama adımlarını çevrim dışı kalite kontrol altında hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için 3 adıma ayırmıştır. Bu aşamalar sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak belirlenmiştir. [4]

Taguchi deney tasarımı metodu uygulama adımları 7 madde ile özetlenebilir.

1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi,
2. Faktör düzeylerinin seçilmesi
3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi
4. Faktör veya etkileşimlerin kolonlara atanması,
5. Testlerin yapılması,
6. Sonuçların analiz edilmesi,
7. Doğrulama deneylerinin yapılması [5]

Taguchi deney tasarımında, öncelikle sisteme etki eden faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri belirlenir. Daha sonra bu değerlere göre Taguchi ortogonal dizi seçim tablosundan hangi dizinin kullanılacağı belirlenir. Tablo 1'de Taguchi ortogonal dizi tablosu gösterilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda S/N (sinyal / gürültü) oranı ve ortalama değerlere göre sisteme etki eden etkin parametreler belirlenir. Faktörlerin sistemi ne derece etkilediği bu yöntemle belirlenebilmektedir.



**Tablo 1.** Taguchi Ortogonal Dizi Seçim Tablosu [3].

PARAMETRE SAYISI	SEVİYE SAYISI		L4	L8	L9	L16	L18	L25	L27	L32	L36
	2	3									
P=2	S=2	P=2	S=3	P=2	S=4	P=2	S=5	P=2	S=5		
P=3	S=2	P=3	S=3	P=3	S=4	P=3	S=5	P=3	S=5		
P=4	S=2	P=4	S=3	P=4	S=4	P=4	S=5	P=4	S=5		
P=5	S=2	P=5	S=3	P=5	S=4	P=5	S=5	P=5	S=5		
P=6	S=2	P=6	S=3	P=6	S=4	P=6	S=5	P=6	S=5		
P=7	S=2	P=7	S=3	P=7	S=4	P=7	S=5	P=7	S=5		
P=8	S=2	P=8	S=3	P=8	S=4	P=8	S=5	P=8	S=5		
P=9	S=2	P=9	S=3	P=9	S=4	P=9	S=5	P=9	S=5		
P=10	S=2	P=10	S=3	P=10	S=4	P=10	S=5	P=10	S=5		
P=11	S=2	P=11	S=3	P=11	S=4	P=11	S=5	P=11	S=5		
P=12	S=2	P=12	S=3	P=12	S=4	P=12	S=5	P=12	S=5		
P=13	S=2	P=13	S=3	P=13	S=4	P=13	S=5				
P=14	S=2	P=14	S=3	P=14	S=4	P=14	S=5				
P=15	S=2	P=15	S=3	P=15	S=4	P=15	S=5				
P=16	S=2	P=16	S=3	P=16	S=4	P=16	S=5				
P=17	S=2	P=17	S=3	P=17	S=4	P=17	S=5				
P=18	S=2	P=18	S=3	P=18	S=4	P=18	S=5				
P=19	S=2	P=19	S=3	P=19	S=4	P=19	S=5				
P=20	S=2	P=20	S=3	P=20	S=4	P=20	S=5				
P=21	S=2	P=21	S=3	P=21	S=4	P=21	S=5				
P=22	S=2	P=22	S=3	P=22	S=4	P=22	S=5				
P=23	S=2	P=23	S=3	P=23	S=4	P=23	S=5				
P=24	S=2										
P=25	S=2										
P=26	S=2										
P=27	S=2										
P=28	S=2										
P=29	S=2										
P=30	S=2										
P=31	S=2										

Deneyin amaç ve hedeflerine göre; en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi olacak şekilde 3 ayrı S/N değişim fonksiyonu bulunmaktadır. Burada amaç varyasyonu minimuma indirmektir. Aşağıdaki denklemlerde bu fonksiyonların hesaplamaları belirtilmiştir.

En küçük en iyi fonksiyonu için;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2\right) \quad (1)$$

En büyük en iyi fonksiyonu için;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (2)$$

Hedef değer en iyi fonksiyonu için;

$$\frac{S}{N} = -10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$$

formülleri kullanılarak hesaplama yapılır. Burada;

$y_i$ : Performans karakteristiğini,

$i$ : Gözlem değerini,

$n$ : Deney sayısını,

$\bar{y}$ : Gözlem değerlerinin ortalamasını,

$S^2$ : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

Bu çalışmada optimum çekirdek çapını elde edebilmek için kaynak parametrelerinin nasıl etkili olduğu araştırılmıştır. Çalışmada 0,6 mm kalınlığında sac kullanılmıştır. Kaynak parametreleri olarak 8 faktör belirlenmiş ve bu faktörlere ait

seviler seçilmiştir. 7 faktöre ait 3 seviye ve 1 faktöre ait 2 seviye bulunmaktadır. Tam faktöriyel deney tasarımı ile 4374 deney yapılması gerekirken, Taguchi L18 deney tasarım tablosu kullanılarak 18 farklı değer içeren deney seti ile çalışma yapılmıştır.

Kaynak parametrelerini etkileyen faktörler kaynak akımı, basınç, kaynak süresi, sıkma zamanı, soğuma zamanı, tutma zamanı, darbe ve uç tıraşlama frekansı olarak sıralanabilir. Bu parametrelere ait seviyelerin değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Deneylerde kullanılan ve sabit olan faktörler sac kalınlığı ve uç çapıdır. 0,6 mm kalınlığa sahip sac ve 16 mm konik uç kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Faktörler ve Seviyelerin Değerleri.

Faktörler	Değer 1	Değer 2	Değer 3
Darbe (Adet)	1	3	
Akım (A)	7500	8500	10000
Basınç (kgf/cm <sup>2</sup> )	2	3	4
Sıkma Zamanı (cyc)	20	30	40
Kaynak Zamanı (cyc)	10	13	16
Soğuma Zamanı (cyc)	0	1	2
Tutma Zamanı (cyc)	5	10	15
Tıraşlama Frekansı (punta sayısı)	0-50	50-100	100-150

Bir otomotiv firmasından alınan değerlere göre, 0,6 mm kalınlığa sahip sac üzerine yapılan kaynak noktaları için optimum çekirdek çapı değeri 4,3 mm olarak belirlenmiştir. Çekirdek çapı için belirlenen kritik değer ise 3,4 mm'dir. Tablo 3'te farklı sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Farklı Sac Kalınlıkları İçin Kaynak Çekirdeği Çapları [6].

Sac Kalınlığı (mm)	Minimum Çekirdek Çapı (mm)	Optimum Çekirdek Çapı (mm)
0,7	3,5	4,6
0,8	3,8	4,9
0,9	4,0	5,2
1,0	4,2	5,5
1,2	4,6	6,0
1,5	5,2	6,7
1,8	5,7	7,4

Çekirdek çapı, kritik değer altına kesinlikle inmemelidir. Bu değer altındaki kaynak noktalarına iyileştirme yapılarak optimum seviyeye getirilir. Bu çalışma için optimum değer ile kritik değer arasındaki çekirdek çapı farkı 4,3 mm-3,4 mm = 0,9 mm olarak hesaplanabilir. Optimum değer üzerindeki çekirdek çapları kaliteli olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla çekirdek çapının üst sınırı belirlenmemiştir. Burada hedef optimum değeri elde etmektir. Bu değer elde edilemiyorsa daha büyük çekirdek çaplarının oluşması veya kritik seviyenin altına inilmemesi sağlanmalıdır.

Tablo 4'te Taguchi L18 dizisi kullanılarak yapılacak olan 18 deney gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Taguchi L18 dizisine göre yapılacak 18 deney.

Deney	Faktörler							
	Darbe (Adet)	Akım (A)	Basınç (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sıkma Zamanı (cyc)	Kaynak Zamanı (cyc)	Soğuma Zamanı (cyc)	Tutma Zamanı (cyc)	Tıraşlama Frekansı (punta sayısı)
1	1	7500	2	20	10	0	5	0-50
2	1	7500	3	30	13	1	10	50-100
3	1	7500	4	40	16	2	15	100-150
4	1	8500	2	20	13	1	15	100-150
5	1	8500	3	30	16	2	5	0-50
6	1	8500	4	40	10	0	10	50-100
7	1	10000	2	30	10	2	10	100-150
8	1	10000	3	40	13	0	15	0-50
9	3	10000	4	20	16	1	5	50-100
10	3	7500	2	40	16	1	10	0-50
11	3	7500	3	20	10	2	15	50-100
12	3	7500	4	30	13	0	5	100-150
13	3	8500	2	30	16	0	15	50-100
14	3	8500	3	40	10	1	5	100-150
15	3	8500	4	20	13	2	10	0-50
16	3	10000	2	40	13	2	5	50-100
17	3	10000	3	20	16	0	10	100-150
18	3	10000	4	30	10	1	15	0-50

Her deney noktası için bir sekans numarası atanmıştır. Deneyler 3'er defa tekrarlanarak deneylerin doğruluğunun sağlanması yapılmıştır. Toplam 54 deney yapılarak sekans numaraları Şekil 1'de gösterildiği gibi parça üzerine kaydedilmiştir.



**Şekil 1.** Parça üzerinde sekans numaralarının gösterimi.

Bu işlemten sonra kaynak noktaları pnomatik hilti ile koparılmış ve çekirdek çapı dijital kumpas ile hassas olarak ölçülmüştür. Tablo 5'te çekirdek çapı ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Çekirdek Çapı Ölçüm Sonuçları.

Deney	Rassal Deney No	Faktörler								Çekirdek Çapı (mm)		
		Darbe (Adet)	Akım (A)	Basınç (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sıkma Zamanı (cyc)	Kaynak Zamanı (cyc)	Soğuma Zamanı (cyc)	Tutma Zamanı (cyc)	Tıraşlama Frekansı (punta sayısı)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
1	1	1	7500	2	20	10	0	5	0-50	4,72	4,27	4,24
2	7	1	7500	3	30	13	1	10	50-100	3,52	3,53	3,69
3	13	1	7500	4	40	16	2	15	100-150	3,55	3,59	3,51
4	14	1	8500	2	20	13	1	15	100-150	4,99	4,94	4,97
5	2	1	8500	3	30	16	2	5	0-50	5,04	4,93	4,98
6	8	1	8500	4	40	10	0	10	50-100	4,76	4,68	4,66
7	15	1	10000	2	30	10	2	10	100-150	5,20	5,12	5,11
8	3	1	10000	3	40	13	0	15	0-50	5,11	5,11	5,04
9	9	3	10000	4	20	16	1	5	50-100	5,08	5,17	5,19
10	4	3	7500	2	40	16	1	10	0-50	4,26	4,06	4,01
11	10	3	7500	3	20	10	2	15	50-100	3,91	3,95	3,93
12	16	3	7500	4	30	13	0	5	100-150	3,25	3,32	3,25
13	11	3	8500	2	30	16	0	15	50-100	5,25	5,27	5,23
14	17	3	8500	3	40	10	1	5	100-150	4,19	4,14	4,15
15	5	3	8500	4	20	13	2	10	0-50	4,84	4,96	4,98
16	12	3	10000	2	40	13	2	5	50-100	5,07	5,09	5,05
17	18	3	10000	3	20	16	0	10	100-150	5,38	5,34	5,48
18	6	3	10000	4	30	10	1	15	0-50	5,19	5,09	4,86

Rassallaştırma, deneysel verideki yanlı (sistematik) yanlıların ortaya çıkmasını önler. Deney kombinasyonlarının ortalamalarının karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek yanlılığın engellenmesi için her deney kombinasyonunun herhangi bir deney birimine atanması olasılığı aynı olmalıdır. [5] Deneyler Tablo 5'te verilen rassallık ile yapılmıştır. Tablo, Taguchi metodu L18 sistemine göre düzenlenilerek gösterilmiştir.

Çekirdek çapı ölçüm sonuçlarına göre hangi faktörlerin anlamlı olduğu ANOVA testi aracılığıyla belirlenmiştir. Tablo 6'da ANOVA testi sonuçları gösterilmektedir. Tabloda bulunan p değeri en küçük anlamlılık düzeyini temsil etmektedir.  $\alpha=0,05$  anlamlılık düzeyine göre  $p < \alpha$  değerini sağlayan faktörler anlamlıdır. ANOVA testine göre etkin faktörler akım, basınç, sıkma zamanı ve tıraşlama frekansı olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.** ANOVA testi sonuçları.

#### Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,0995	99,74%	97,77%

#### Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Darbe	1	0,00934	0,00934	0,00934	0,94	0,434
Akım	2	5,89143	5,89143	2,94572	297,38	0,003
Basınç	2	0,49467	0,49467	0,24734	24,97	0,039
Sıkma Zamanı	2	0,38983	0,38983	0,19492	19,68	0,048
Kaynak Zamanı	2	0,20453	0,20453	0,10227	10,32	0,088
Soğuma Zamanı	2	0,10377	0,10377	0,05189	5,24	0,160
Tutma Zamanı	2	0,07180	0,07180	0,03590	3,62	0,216
Tıraşlama frekansı	2	0,35505	0,35505	0,17752	17,92	0,053
Residual Error	2	0,01981	0,01981	0,00991		
Total	17	7,54024				

Deneylerin analizi minitab programı Taguchi fonksiyonu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Metodun verdiği S/N oranına göre hangi parametrenin ne derece etkili olduğu ve faktörlere ait hangi seviyelerin kullanılması gerektiği de belirlenmiştir. Tablo 7'de yapılan deneylere ait Taguchi S/N oranı tablosu ve Şekil 2'de S/N oranı grafiği gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Taguchi S/N oranı.

#### Response Table for Signal to Noise Ratios

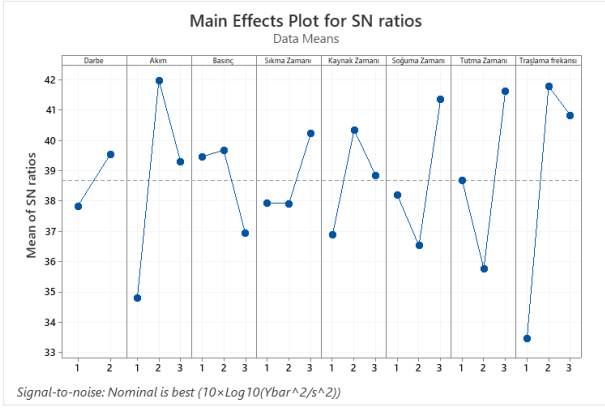
Nominal is best ( $10 \times \log_{10}(\bar{y}bar^2/s^2)$ )

Level	Darbe	Akım	Basınç	Sıkma Zamanı	Kaynak Zamanı	Soğuma Zamanı	Tutma Zamanı	Tıraşlama Frekansı
1	37,83	34,78	39,45	37,93	36,88	38,19	38,67	33,45
2	39,54	41,97	39,67	37,91	40,34	36,52	35,76	41,78
3		39,29	36,92	40,21	38,83	41,34	41,61	40,82
Delta	1,71	7,19	2,75	2,31	3,46	4,81	5,85	8,33
Rank	8	2	6	7	5	4	3	1

Parametelerin etki değerlerinin sıralaması belirlenirken Taguchi S/N oranını gösteren Tablo 7'dan yararlanılmıştır. Tabloda bulunan delta değeri büyüğe doğru etkin değerleri sıralamamıza yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda etkin değerler sıralaması rank kısmında da ifade

edilmiştir. Buna göre etkin değerler sıralaması aşağıda belirtilmiştir.

1. Tıraşlama frekansı,
2. Akım,
3. Tutma zamanı,
4. Soğuma zamanı,
5. Kaynak zamanı
6. Basınç
7. Sıkma zamanı
8. Darbe



Şekil 2. Taguchi S/N oran grafiği

Taguchi metoduna göre deney parametrelerinin hangi seviyelerinin optimum sonuçları vereceği bulunurken Şekil 2'de bulunan S/N oranı grafiğinden yararlanılmıştır. Tabloya göre hangi seviyede en yüksek değer elde edilmişse, o seviye optimum sonuçların bulunmasına yardımcı olacaktır. Buna göre parametrelerin hangi seviyelerinin optimum değerleri vereceği Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Taguchi optimum değerler

Faktör	Seviye	Değer
Darbe	2	3
Akım	2	8500A
Basınç	2	3 kgf
Sıkma Zamanı	3	40 Cyc
Kaynak Zamanı	2	13 Cyc
Soğuma Zamanı	3	2 Cyc
Tutma Zamanı	3	15 Cyc
Tıraşlama Frekansı	2	50-100

### 3. Bulgular ve Tartışma

Taguchi metodu sonuçlarına göre çekirdek çapını etkileyen en önemli faktörler tıraşlama frekansı ve akım olarak belirlenmiştir. Daha sonra sırasıyla tutma zamanı, soğuma zamanı, kaynak zamanı, basınç, sıkma zamanı, ve

darbe olarak sıralanabilir.

Tıraşlama frekansı incelendiğinde 2. seviyenin uygun olduğu görülmüştür. 1. seviye istenilen çekirdek çapına ulaşmada yetersizdir. Bunun sebebi uç ilk tıraşlandığında uç çapının yeterli seviyeye gelmemesidir. Kaynak sayısı arttıkça ucun parçayla temas eden alanı artmaktadır. Uç tıraşlama yapılmadan kaynak yapılmaya devam edilmesi, kaynak noktalarının kopmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda, uç tüketim miktarı dikkate alındığında aynı uç ile daha fazla kaynak yapmak maliyet açısından önemlidir. Daha çok tıraşlama yapılan ucun ömrü daha kısa olacaktır. Dolayısıyla istenilen çekirdek çapı ve kopma meydana gelmemesi için optimum bir değer seçilmelidir.

Akım faktörünü incelediğinde 2. seviyenin uygun olduğu görülmüştür. 1. seviye istenilen çekirdek çapının oluşması için yeterli değildir. 3. seviye istenilen çekirdek çapını elde etmek için kullanılabilir. Fakat akım değerini yükseltmek kullanılan enerjiyi artırarak maliyetin artmasına sebep olacaktır. Aynı zamanda akımı artırdıkça sıçramalar artmakta ve istenilmeyen çapaklar oluşmaktadır.

Zamansal faktörler incelendiğinde, tutma zamanı 3. seviye, soğuma zamanı 3. seviye kaynak zamanı 2. seviye ve sıkma zamanı 3. seviye olarak kullanmak önerilmektedir. Kaynak sırasında kullanılan bu zaman faktörleri, kaynak sürecinin toplam zamanını belirlemektedir.

Otomotiv sektöründe kaynak çevrim zamanının en kısa tutulması istenir. Bunun sebebi robot çalışma süresinin azaltılarak, aynı robot ile daha fazla kaynak yapabilmeye olanığının bulunmasıdır. Ancak kaynak çevriminin kısa tutulması, yapılan deneylerden de anlaşılacağı gibi kaynak kalitesi problemlerine yol açabilir. Yapılan deneylerde zaman faktörlerinin seviyelerinin üst düzeylerde kullanılması önerilmiştir. Örneğin tutma zamanı 5 cyc, 10 cyc ve 15 cyc değerlerinden 3. seviye olan 15 cyc olarak kullanılması uygun görülmektedir. Zaman faktörlerinin daha kısa tutulması istenilen çekirdek çapına ulaşmada yetersiz kalabilir ve çapaklı kaynak oluşması gibi problemlere yol açabilir.

Basınç faktörü kaynak yapılacak sacların arasındaki temas direncini belirlemektedir. Saclar arasında boşluklar bulunuyorsa baskı kuvveti artırılarak sacların birbirine temas etmesi sağlanır. Yapılan deneylerde 2. seviye olan 3 kgf basınç uygun olmaktadır.

Darbe faktörü deney sonuçlarından da görüldüğü gibi en az etkili olan faktördür ve 2. seviye olarak kullanılması uygun görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar

Tablo 8’de gösterildiği gibi Taguchi metoduna göre belirlenen optimum faktör seviyeleri ile deneyler 12 kere tekrar edilmiştir. Tablo 9’da deney sonuçları görülmektedir.

**Tablo 9.** Doğrulama deneyleri

Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
Çap	4,83	4,66	4,53	4,43	4,48	4,52	4,76	4,63	4,53	4,63	4,41	4,78	4,60

Taguchi metodunun verdiği optimum değerler ile gerçekleştirilen doğrulama deneyi sonuçlarına göre ortalama 4,60 mm değerinde çekirdek çapı oluştuğu görülmüştür. Metodun minitab programı ile yapılan analizlerinde 4,53 değerinde çekirdek çapı oluşması beklenmektedir. Tablo 10’da Taguchi metodu tahmin sonucu görülmektedir.

**Tablo 10.** Taguchi tahmini

##### Prediction

S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
55,6820	4,53472	-0,0888048	-4,90606

##### Settings

Darbe	Akım	Basınç	Sıkma Zamanı	Kaynak Zamanı	Soğuma Zamanı	Tutma Zamanı	Tıraşlama frekansı
2	2	2	3	2	3	3	2

Optimum değişken seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları, aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanan güven aralığı (CI) değeri dikkate alınarak değerlendirilmektedir.

$$CI = \sqrt{F_{0,05}(1, v_e) V_e \left( \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (4)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + v_T}$$

Burada  $V_e$ , hata varyansını (0,00991);  $r$ , doğrulama deney sayısını (12);  $N$ , toplam deney sayısını (54);  $v_T$  ise değişkenlerin serbestlik derecelerinin toplamını (15) ifade etmektedir.  $F_{0,05}(1, v_e)$  değeri  $v_e$  hata serbestlik derecesi ile  $F$  tablosundan alınan değer(18,51)’dir.

$n_{eff} = \text{Toplam deney sayısı} / (1 + \text{Ortalama yanıt tahminiyle ilişkili serbestlik derecesi}) = 3,375$  ve bu verilere göre Eş.(4)’ten  $CI=0,1236$  olarak bulunur.

Doğrulama deney sonuçları ortalaması( $\bar{y}$ )’nın, içinde bulunması gereken güven aralığı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Y_{opt} - CI < \bar{y} < Y_{opt} + CI \quad (5)$$

Seçilen seviyelerle hedeflenen optimum çekirdek çapı değeri 4,53 mm ve doğrulama deney ortalaması da 4,60 mm olduğuna göre Eş.(5)’ten güven aralığı;

$$4,53 - 0,1236 < \bar{y} < 4,53 + 0,1236 \Rightarrow 4,4064 < \bar{y} < 4,6536$$

olarak belirlenir. Doğrulama deneylerinden elde edilen ortalama kaynak çapı olan 4,60 mm değerinin tahmin aralığı içerisinde kaldığı ve Taguchi yöntemiyle yapılan optimizasyon çalışmasının 0,05 anlamlılık düzeyinde başarılı olduğu görülmektedir.

Yapılan her bir doğrulama deneyinde bulunan çekirdek çapı sonuçları, istenilen optimum değer olan 4,3 mm çekirdek çapından daha küçük değere hiç düşmemiştir.

Taguchi metodunun vermiş olduğu sonuç ile doğrulama deneyleri sonuçları birbirine yakınlık göstermektedir. Özellikle kritik değer olan 3,4 mm çekirdek çapı değerine yakın bir değer bulunmaması ve optimum değerlere yakın sonuçları önermesi yöntemin başarılı olduğunu göstermektedir. Belirlenen bu seviyeler ile kaynak yapmak istenilen çekirdek çapını elde etmek için uygundur.

Yapılan deneyler ile akım ve tıraşlama frekansının çekirdek çapına olan etkisinin diğer parametrelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Daha yüksek akım değerlerinde çalışıp daha fazla enerji harcamak yerine optimum sonucu verecek olan akım değeri belirlenerek enerji ve maliyet tasarrufu sağlanabilmektedir.

Çalışma yapılan firmaya bazı parçalar tedarikçiler tarafından sağlanmaktadır. Dolayısıyla çalışma yapılan firmada her araca ortalama 1420 adet punta atılmaktadır. Yapılan çalışmalar ile her kaynak noktasının akım değeri ortalama olarak 400A azaltılmıştır. Bu şekilde her bir punta noktasından elde edilen tasarruf 0,00005748288 \$ / spot olarak belirlenmiştir.

Bu şekilde her bir aracın enerji maliyeti düşüşü:

$$1420 * 0,00005748288 = 0,0816256869 \$$$

olarak belirlenmiştir. Firmada yılda ortalama 190000 araç üretilmektedir. Buna göre yıllık:

$$190000 * 0,0816256869 \$ = 15509 \$$$

tasarruf sağlanması hedeflenmektedir. Bu şekilde hem enerji tasarrufu yapılırken hem de araç başına düşen maliyet azaltılmış olmaktadır. Aynı zamanda kaynak kalitesinden taviz verilmeden istenilen çekirdek çapları elde edilebilmekte ve kaynak kopmaları yaşanmamaktadır.

Otomotiv sektöründe kullanılan sac kalınlıkları standarttır. Her aracın aynı bölgesi aynı sac kalınlığına sahiptir. Örneğin, aracın bir bölgesinde 0,7 mm ve 0,8 mm kalınlığa sahip iki sac birleştiriliyorsa bütün araçlarda o bölge aynı saclardan oluşur. Ancak her farklı bölge farklı sac kalınlıklarına sahip olabilir. Farklı sac kalınlıkları için farklı parametrelerin kullanılması gerekebilir. Dolayısıyla her kaynak noktasına bu değerleri uygulamak olumsuz sonuçlara yol açabilir. Farklı kalınlıklardaki sacların kaynak işlemi için aynı şekilde optimum parametreler belirlenebilir.

## Kaynaklar

- [1] Aytekin F.G., Fotolitografi İşleminde UV Sertleştirme Parametrelerinin Deney Tasarımı İle Eniyilenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 372689.
- [2] Yılmaz H., Investigation of Carburized Quenching Process of Shafts Using Design of Experiments, Master Thesis, Atılım University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2017, 490319.
- [3] Gökçe B., Taşgetiren S., 2009. Kalite İçin Deney Tasarımı. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2009, 6(1), 71-83
- [4] Mercan Ş., Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yaralanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019, 559184.
- [5] Taylan D., Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009, 234158.
- [6] Aydın M., Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları. Aybitak Bilim ve İleri Teknolojiler Araştırma Geliştirme
- [7] Şirvancı M., Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı, Literatür Yayıncılık, İstanbul 1997.
- [8] Şener Ü.E., Otomotiv Gövde Üretiminde Kullanılan Elektrik Direnç Kaynağı Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.
- [9] Ünlükal E., Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 223646.
- [10] İş U., Bir Otomobil Fabrikası Kaporta Departmanı'nda Kaynak Parametre Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017, 497159.
- [11] Meral G., Sarıkaya M., Dilipak H., 2011. Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27(4), 332-338.
- [12] Canyılmaz E., Kutay F., 2003. Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 18(3), 51-63.
- [13] Ross, P.J., Taguchi Techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill Professional; 2 edition, 1995.
- [14] Montgomery D. C., Design and analysis of experiments, 6th ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 2005.
- [15] Besterfield D. H., Besterfield C., Besterfield G. H., Besterfield M., Total Quality Management, 1st ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, 1995.
- [16] Hinkelmann K., Kempthorne O., Design and Analysis of Experiments Volume 2 Advanced Experimental Design., A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey, 2005.
- [17] Çömlekçi N., Deney tasarımı ilke ve teknikleri. Alfa Yayınları Ders Kitapları. 2003, 468s.
- [18] Kalyon N., 2019. Elektro Erozyon ile İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü ve İş parçası İşleme Hızının Alüminyum Alaşımı İçin Taguchi Tekniği ile Optimizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 21(62), 595-605.
- [19] Ferah M., 2003. Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayinde Bir Uygulama. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 61-69.